

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Matija Lilić

**Dekarbonizacija transportnog
sektora Republike Hrvatske u cilju
postizanja klimatske neutralnosti
do 2050.**

Zagreb, travanj 2023.

Ovaj rad izrađen je na Katedri za motore i vozila, Zavoda za motore i transportna sredstva na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu pod vodstvom izv. prof. dr. sc. Momira Sjerića i predan na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2022/2023. Ovaj rad izrađen je u okviru aktivnosti istraživačkog projekta **IP-2019-04-4900** „*Istraživanje efikasnijeg i ekološki prihvatljivijeg izgaranja u Ottovim motorima s pretkomorom*“ financiranog od strane Hrvatske zaklade za znanost – HrZZ. Ovim putem se zahvaljujem na potpori i mogućnosti za sudjelovanjem u zajedničkim aktivnostima.

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA.....	III
POPIS OZNAKA	IV
POPIS KRATICA	V
1. Uvod i motivacija	1
2. Pregled literature.....	3
3. Istraživačka pitanja i ciljevi	5
4. O baterijskim električnim vozilima i e-gorivima.....	6
4.1 Baterijska električna vozila.....	6
4.2 E-goriva.....	6
5. Metodologija.....	8
5.1 Određivanja modela srednjeg vozila.....	9
5.2 WLTP ciklus	10
5.3 Određivanje kretanja sastava voznog parka RH	12
5.4 Određivanje kretanja ugljičnog otiska elektroenergetskog sektora	15
5.5 Određivanje udjela e-goriva u mješavini s fosilnim gorivima.....	18
5.6 Izračun WTW emisija hrvatskog voznog parka osobnih vozila u RH.....	19
5.6.1 Izračun CO ₂ emisija vozila s pogonom na fosilna goriva.....	21
5.6.2 Izračun WTW emisija za BEV.....	22
5.6.3 Izračun CO ₂ emisija vozila s pogonom na e-goriva.....	22
6. Rezultati i diskusija.....	27
6.1 Rezultati	27
6.2 Diskusija.....	33
6.2.1 Razmatranje TTW emisija	33
6.2.2 Razmatranje WTW emisija.....	35
7. Zaključak	42
LITERATURA.....	45
SAŽETAK.....	48
SUMMARY	50

POPIS SLIKA

Slika 5.1. Ilustrativni prikaz razmatranih pogonskih sustava i pripadajuće WTW emisije	9
Slika 5.2. Profil brzina vozila u WLTP ciklusu [39].....	11
Slika 5.3. Projekcija ukupnog broja osobnih vozila.....	15
Slika 5.4. Projekcije udjela OIE i ugljičnog otiska el. energije	17
Slika 5.5. Kretanje udjela e-goriva.....	19
Slika 5.6. Dijagram WTW emisija vozila na mješavinu benzina i e-metanola.....	24
Slika 5.7. Dijagram WTW emisija vozila na mješavinu dizela i e-OME _x -a.....	25
Slika 6.1. Kretanje broja osobnih vozila kroz godine u RH.....	27
Slika 6.2. Kretanje sastava voznog parka RH kroz godine	27
Slika 6.3. Predviđanje TTW CO ₂ emisija za RH 2020.-2050. bez upotrebe e-goriva	28
Slika 6.4. Predviđanje TTW CO ₂ emisija za RH 2020.-2050. uz upotrebu e-goriva.....	28
Slika 6.5. Predviđanje WTW CO ₂ emisija za RH 2020.-2050. bez upotrebe e-goriva.....	29
Slika 6.6. Predviđanje WTW CO ₂ emisija za RH 2020.-2050. uz upotrebu e-goriva	29
Slika 6.7. Usporedba TTW emisija CO ₂ flote uz i bez primjena e-goriva.....	30
Slika 6.8. Usporedba WTW emisija CO ₂ flote uz i bez primjena e-goriva.....	30
Slika 6.9. Udio pojedinih vrsta pogona u generiranju TTW CO ₂ emisija bez upotrebe e-goriva	31
Slika 6.10. Udio pojedinih vrsta pogona u generiranju TTW CO ₂ emisija uz upotrebu e-goriva	31
Slika 6.11. Udio pojedinih vrsta pogona u generiranju WTW CO ₂ emisija bez upotrebe e-goriva.....	32
Slika 6.12. Udio pojedinih vrsta pogona u generiranju WTW CO ₂ emisija uz upotrebu e-goriva.....	32
Slika 6.13. Utjecaj dinamike uvođenja BEV-a na TTW emisije flote	34
Slika 6.14. Potrebni udjeli e-goriva i OIE u 2030.	37
Slika 6.15. . Potrebni udjeli e-goriva i OIE u 2050.	39
Slika 6.16. Utjecaj dinamike uvođenja zelenih tehnologija na WTW emisije osobnih vozila u RH	41

POPIS TABLICA

Tablica 5.1. Svojstva srednjih vozila [36], [37], [38]	10
Tablica 5.2. Rezultati simulacije WLTP voznog ciklusa	11
Tablica 5.3. Podaci o broju vozila po pogonima [21]	14
Tablica 5.4. Podaci o broju novoregistriranih vozila [40].....	14
Tablica 5.5. Podaci o udjelu OIE u potrošnji el. energije za RH [42].....	18
Tablica 5.6. Referentne vrijednosti udjela e-goriva	19
Tablica 5.7. Osnovni podaci potrebni za proračun WTW emisija	20
Tablica 5.8. Podaci za fosilna goriva [47].....	22
Tablica 5.9. WTW fosilnih goriva	22
Tablica 5.10. Podaci za e-goriva [27], [48], [49]	23

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
G_{100}	$L/100km$	Volumna potrošnja goriva na 100 km prevaljenih
H_d	MJ/kg	Donja ogrjevna vrijednost goriva
m	kg	Masa
n	-	Broj
$n_{CO_2\ el}$	g_{CO_2}/kWh	Specifični ugljični otisak generirane električne energije
s	km	Put
V	m^3	Volumen
W_{100}	$kWh/100km$	Energija vožnje
η	-	Stupanj djelovanja
ρ	kg/m^3	Gustoća
φ	-	Volumni udio

POPIS KRATICA

Kratika	Značenje
BEV	Baterijsko električno vozilo
CCUS	Hvatanje, uporaba i pohrana ugljika (engl. Carbon Capture, Utilization and Storage)
CO ₂	Ugljikov dioksid
DAC	Direktno hvatanje iz zraka (engl. Direct Air Capture)
EEA	Europska agencija za okoliš
EM	Elektromotor
EU	Europska Unija
MSUI	Motor s unutarnjim izgaranjem
OIE	Obnovljivi izvori energije
TTW	Emisije od spremnika do kotača (engl. Tank-to-Wheel)
WLTP	Svjetska usklađena procedura za testiranje lakih vozila
WTT	Emisije od izvora do spremnika (engl. Well-to-Tank)
WTW	Emisije od izvora do kotača (engl. Well-to-Wheel)

Indeks	Značenje
fos	Odnosi se na fosilno gorivo
egor	Odnosi se na e-gorivo

1. Uvod i motivacija

Pariškim sporazumom 2015. godine države članice Ujedinjenih Naroda obvezale su se ograničiti porast prosječne svjetske temperature na 1.5°C na način da u potpunosti eliminiraju globalnu neto emisiju ugljikovog dioksida [1]. Shodno tome, države članice Europske unije odlučile su do 2030. godine smanjiti emisiju ugljikovog dioksida za barem 55% u odnosu na razinu ugljikovog dioksida iz 1990. godine. Također, cilj EU je do 2050. godine postati prvim klimatski neutralnim društvom [2]. Ti ciljevi su također uvršteni u Europski zeleni plan koji, financijski gledano, čini jednu trećinu „EU sljedeće generacije“, paketa mjera za oporavak zemalja članica Europske unije od posljedica pandemije koronavirusa, vrijednog 1,8 trilijuna € [3]. Nadalje, Europska komisija je u veljači 2023. potvrdila odluku o zabrani prodaje novih benzinskih i dizelskih automobila, odnosno vozila koja nemaju nultu stopu emisije CO₂ od 2035. godine [4]. Ta odluka u ovom trenutku još čeka potvrdu Vijeća Europske unije, no očekuje se da će biti potvrđena ili djelomično usvojena na način da se dozvoli prodaja vozila koja koriste e-goriva. Sve ovo pokazuje ozbiljnost Europske unije u shvaćanju opasnosti globalnog zatopljenja i potrebe za njegovim ograničavanjem kroz eliminaciju emisije stakleničkih plinova, primarno ugljikovog dioksida. Budući da veliki dio ljudskih djelatnosti za posljedicu ima proizvodnju CO₂ pred svim zemljama članicama EU, a tako i pred Republikom Hrvatskom, dugačak je i težak put ka postupnoj transformaciji svih sektora djelatnosti u ugljično neutralne. Jedan od sektora koji će, kao trenutačno jedan od najvećih zagađivača, zasigurno doživjeti veliku promjenu je sektor transporta. Sektor transporta odgovoran je za oko 30% ukupnih emisija CO₂ u EU prema podacima EEA za 2020., godinu od čega 57% otpada na prijevoz osobnim vozilima [5]. Budućnost prijevoza mnogi vide u baterijskim električnim vozilima (BEV) koja se smatraju ugljično neutralnima. Električna vozila ne možemo smatrati u potpunosti ugljično neutralnima iz razloga što se znatne količine CO₂ stvaraju pri proizvodnji i odlaganju električnih vozila. Također, pri proizvodnji električne energije koja pogoni EV otpušta se u atmosferu ugljikov dioksid, ovisno o načinu pretvorbe energije. Kada se sve to uzme u obzir dolazimo do zaključka da kroz svoj životni ciklus EV imaju ugljični otisak usporediv s konvencionalnim vozilima [6]. U tom kontekstu, javlja se rješenje koje ima potencijal parirati EV u kategoriji cjeloživotnog ugljičnog otiska, a to su e-goriva. U ovom radu, na primjeru hrvatskog voznog parka osobnih vozila, analizirat će se potencijal korištenja

e-goriva i BEV u svrhu smanjenja emisije CO₂ osobnih automobila te postizanja cilja klimatske neutralnosti do 2050.

2. Pregled literature

Izvješće Europske agencije za okoliš iz 2021. godine pokazuje da su emisije CO₂ u Europskoj uniji smanjene za 28.3% u zadnjih 30 godina [7], a uvođenje novih tehnologija zasigurno će doprinijeti dekarbonizaciji transportnog sektora [8] i postizanje klimatski neutralne budućnosti. Iako brzina uvođenja novih tehnologija ovisi o velikom broju parametara (tehnološko-ekonomski, geografski, politički, itd.) ona je ključna u ostvarivanju definiranih ciljeva ka postizanju klimatski neutralne budućnosti.

Iako se elektrifikacija transportnog sektora razmatra kao glavni smjer kojim se utječe na smanjenje emisije stakleničkih plinova i usporavanje klimatskih promjena, postoje i dodatne tehnologije čijom se primjenom može postići vrlo sličan ili gotovo isti efekt za postizanje klimatski neutralne budućnosti, a mogu se implementirati u kratkom vremenskom periodu. Analize životnih ciklusa proizvoda (engl. Life Cycle Analysis – LCA) i izračuni emisija CO₂ od izvora do kotača „Well-to-Wheel (WTW)“ pokazuju da je potencijal za smanjenje emisija CO₂ kod primjene e-goriva u motorima s unutarnjim izgaranjem istovjetan (čak i veći za područje SAD-a) potencijalu koji se ostvaruje primjenom električnih vozila [6]. Razlog tome je što se za proizvodnju e-goriva koristi električna energija iz obnovljivih izvora energije (iz energije vjetra) posredstvom čega se proizvodi tzv. „zeleni vodik“ [9] u periodima kada se u elektro-energetskom sustavu nalazi višak električne energije. S druge strane, za proizvodnju e-goriva, primjerice za sintetski metanol potreban je i CO₂ koji se može prikupljati iz okoline promjenom „Carbon Capturing“ sustava (CCS) [10]. Na taj način se značajno smanjuju emisije stakleničkih plinova te se stvaraju povoljni uvjeti za postizanje klimatski neutralne budućnosti i bolje kvalitete zraka. Potencijal i značaj sintetskog metanola dokazuje se projektom North-C-Methanol u Belgiji [11] u koji je uključeno 10 tvrtki partnera, a do 2024. godine biti će izgrađeno demonstracijsko postrojenje za proizvodnju sintetskog metanola iz zelenog vodika (energija vjetra). Projektom je planirano proširenje postrojenja tako da se do 2028. poveća snaga elektrolizatora za 5 puta, odnosno 10 puta do 2030. godine, a shodno tome očekuje se i veća primjena metanola u transportnom sektoru. Primjena e-metanola se ozbiljno razmatra i u pomorskom prometu kao prijelazno rješenje prema brodskom pogonu nulte emisije [12]. Pomorski transport je odgovoran za 3% globalnih antropogenih emisija stakleničkih plinova i prema Pariškom sporazumu iz 2016. potrebno je do 2050. njihovu ukupnu količinu smanjiti najmanje za 50%, u usporedbi s emisijama iz 2008. godine. Primjena e-metanola u kombinaciji s drugim gorivima dobivenim iz obnovljivih izvora energije uz primjenu dvogorivnih (engl.

„dual-fuel“) motora je rješenje koje bi uz razumne troškove omogućilo blagi prijelaz prema pomorskom prometu s nultom emisijom [13]. Zeleni vodik koji se u proizvodnom procesu metanola koristi za sintezu mogao bi se direktno koristiti za izgaranje u motorima s unutarnjim izgaranjem [14], ali zbog problema s transportom i skladištenjem ne predstavlja rješenje koje se može jednostavno i u kratkom vremenskom periodu primijeniti u transportnom sektoru.

Potencijal primjene metanola na Ottovim motorima eksperimentalno je istražen u [15]. Na svim opterećenjima dokazan je porast učinkovitosti u relativnom udjelu od 10% kod primjene metanola. Zahvaljujući nižim temperaturama izgaranja kod primjene metanola ostvarene su niže specifične emisije dušikovih oksida (NO_x) za 5-10 g/kWh te niže emisije ugljikovog dioksida (CO₂) za 10% zahvaljujući većoj učinkovitosti te nižem udjelu ugljika u metanolu u usporedbi s benzinom. Kada se koristi u mješavini goriva, metanol može poboljšati rad za vrijeme hladnog pokretanja zbog velike brzine laminarnog plamena. U [16], autori su istraživali performanse motora, emisije i karakteristike izgaranja tijekom zagrijavanja motora koristeći različit udio metanola u mješavini metanola i benzina (5%, 10% i 30%). Rezultati pokazuju da se s povećanjem udjela metanola skraćuje razdoblje razvoja plamena i trajanje izgaranja. Kod mješavine s 30% metanola prestaje se događati pojava izostanka zapaljenja i djelomičnog izgaranja tijekom hladnog pokretanja te dolazi do značajnog smanjenja emisija CO i HC. Također, postiže se viša temperatura ispuha koja može ubrzati aktivaciju katalizatora.

Studija slučaja Njemačke o ulozi proizvodnje i primjene vodika u ostvarivanju klimatske neutralnosti analizirana je u [17]. Provedena analiza obuhvatila je zahtjeve za pohranom, lokacijama elektrolizatora i doprinosu vodika u transportnom sektoru. Zaključeno je da će vodik imati važnu ulogu kao nositelj energije u raznim granama industrije i transporta, ali da njegova proizvodnja po pitanju ekonomičnosti i klimatske neutralnosti ima smisla ukoliko se koristi veliki udio obnovljivih izvora energije [18]. Potencijal dekarbonizacije gospodarskih vozila primjenom elektrifikacije i e-goriva analiziran je u [19] pri čemu je istraživanje bazirano na Well-to-Wheel (WTW) metodi. Zaključeno je kako baterijska električna vozila i primjena e-goriva nude potencijal smanjenja stakleničkih plinova u udjelima iznad 98% te da e-goriva predstavljaju način pohrane električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije (tzv. *Power-to-Fuel* tehnologija).

3. Istraživačka pitanja i ciljevi

Sektor cestovnog transporta svake godine bilježi sve veće količine ugljikovog dioksida, i stakleničkih plinova općenito [20] kao posljedica kontinuiranog porasta broja cestovnih vozila [21]. Iako svaka sljedeća generacija EURO normi propisuje manje razine emisija štetnih plinova od prethodne [22], a nova vozila imaju sve manju potrošnju goriva, činjenica da broj vozila na prometnicama iz godine u godinu raste nepovoljno utječe na izgled RH da ostvari 55% smanjenja emisije CO₂ u 2030. godini u odnosu na 1990. godinu te da se ostvari klimatska neutralnost transporta do 2050. godine.

Shodno tome, postavlja se glavno istraživačko pitanje: hoće li RH ostvariti klimatske ciljeve u transportnom sektoru osobnih vozila uzimajući u obzir očekivane projekcije o povećanju ukupnog broja vozila, broja električnih vozila, udjela obnovljivih izvora energije u elektroenergetskom sektoru¹ i uvođenju e-goriva? Ukoliko rezultati analize pokažu da zadane ciljeve nije moguće ostvariti, postavlja se pitanje koliko je potrebno povećati udio baterijskih električnih vozila, obnovljivih izvora energije i primjenu e-goriva da bi se ciljevi ostvarili? Kako bi se dobili odgovori na ova pitanja izrađen je matematički model kojim su za period od 2020. do 2050. izračunate emisije CO₂ iz transporta osobnih vozila za slučaj RH.

Cilj ovog rada je uporabom razvijenog matematičkog modela izračunati tzv. „Well-to-Tank“-WTT, „Tank-to-Wheel“-TTW i „Well-to-Wheel“ – WTW emisije CO₂ za transportni sektor osobnih vozila u RH. Pri tome se u obzir uzimaju različiti pogonski sustavi osobnih vozila – Ottovi motori, Dieselovi motori, električni motori, te e-goriva koja se mogu koristiti u Ottovim i Dieselovim motorima kao mješavina ili potpuna supstitucija fosilnog goriva. Izračunate TTW i WTW emisije CO₂ odnose se na nekoliko scenarija koji razmatraju različite dinamike uvođenja, baterijskih električnih vozila, obnovljivih izvora energije i e-goriva, a rezultati su analizirani do 2050. godine. Shodno tome, cilj ovoga rada ujedno je izračunati koju su minimalni udjeli, baterijskih električnih vozila, obnovljivih izvora energije i e-goriva potrebni da bi se ostvarili predefinirani ciljevi EU o dekarbonizaciji transportnog sektora.

¹ Elektroenergetski sektor se u ovom radu razmatra samo u onom opsegu u kojem on utječe na emisije prometnog sektora.

4. O baterijskim električnim vozilima i e-gorivima

4.1 Baterijska električna vozila

Od samog nastanka osobnih motornih vozila, prevladavao je pogon na MSUI. Razlozi tome bili su velika energetska gustoća pogonskog goriva i stupanj tehnološke razvijenosti koji je omogućavao da proizvodnja istih bude isplativa te da proizvedeni automobili pretvaraju kemijsku energiju goriva u mehaničku sa zadovoljavajućim stupnjem djelovanja. Postojalo je i tada nekoliko baterijskih električnih vozila no ona nisu dugo opstala na tržištu zbog neisplativosti proizvodnje i tada slaboj dostupnosti električne energije [23]. S razvitkom tehnologija i ekspanzijom elektroenergetske mreže otvorio se put za ponovno uvođenje BEV-a na tržište.

Za razliku od MSUI koji kemijsku energiju pohranjenu u gorivu procesom izgaranja pretvaraju u mehaničku, baterijska električna vozila pogonjena su elektromotorom koji dobiva energiju iz baterije [24].

Izostanak procesa izgaranja za pretvorbu energije znači da BEV u svojem radu ne stvaraju ugljikov dioksid što ih na prvi pogled čini idealnim kandidatima za dekarbonizaciju prometa, no nažalost to možda i nije slučaj budući da uporaba BEV-a iziskuje otpuštanje ugljikovog dioksida u atmosferu, samo na drugom mjestu, pri proizvodnji same električne energije, iako u značajno manjem iznosu [25]. Količina otpuštenog ugljikovog dioksida tada ovisi o stupnju dekarbonizacije samog elektroenergetskog sektora, no osim toga korištenje BEV sa sobom vuče i neke druge nedostatke kao što su velike emisije pri samoj proizvodnji, smanjen domet u odnosu na konvencionalna vozila, potreba za izgradnjom nove infrastrukture te puno veća prodajna cijena BEV-a u odnosu na vozila s pogonom na MSUI. Visoka prodajna cijena ima za posljedicu usporen rast broja baterijskih električnih vozila na prometnicama i činjenicu da se značajan udio kupnje BEV-a odvija uz korištenje državnih poticaja [26]. Iz svega priloženog možemo zaključiti da baterijska električna vozila predstavljaju još uvijek mladu tehnologiju koja iako puno obećava ima određene nezaobilazne nedostatke te upravo o tome u kojoj mjeri ti problemi budu riješeni ovisit će koliko će ta tehnologija u konačnici biti prihvaćena.

4.2 E-goriva

E-goriva su goriva za čiji je nastanak korištena električna energija u potpunosti iz obnovljivih izvora [27]. Za njihovu sintezu koristi se „zeleni vodik“ i CO₂. Prednost e-goriva

leži u tome što se taj CO₂ može dobiti iz zraka, koristeći „Direct Air Capture“(DAC) [28] tehnologiju ili iz nekih drugih izvora, npr. iz ložišta ili dimnjaka koristeći „Carbon Capture Utilization & Storage“(CCUS) [29] tehnologiju. Na taj način možemo smanjiti količinu ugljikovog dioksida u atmosferi i spriječiti otpuštanje CO₂ u određenim industrijama. Za potrebe ovog rada korišteni su e-metanol i e-OME_x. Za potrebe sinteze metanola moguće je, ovisno o samom procesu, utrošiti i do 1,60 kg CO₂ kako bi se proizvela 1kg e-metanola [10] dok je za proizvodnju 1 kg OME_x-a potrebno uložiti oko 1,63 kg CO₂. Za potrebe ovog rada koristit će se potrošnja CO₂ od 1,4 kgCO₂/kgCH₃OH i 1,63 kgCO₂/kgOME_x prema podacima organizacije Concawe [27]. Potencijal e-goriva leži u nadi da „negativne“ emisije za proizvodnju samog goriva mogu uravnotežiti i anulirati sve emisije nastale u ostalim fazama životnog ciklusa vozila.

Kako se predviđa postupno miješanje e-goriva s fosilnim gorivima udio e-goriva u smjesi te udio obnovljivih izvora energije utjecat će na sposobnost e-goriva da ponište ukupne emisije CO₂ te će zbog toga i ugljični otisak elektroenergetske mreže biti uzet u obzir pri ovoj analizi.

Velike se nade polažu u e-goriva kao sredstvo očuvanja motora s unutarnjim izgaranjem u osobnim vozilima. To je vidljivo u činjenici da se od 2022. godine mješavina biogoriva i e-goriva tvrtke P1 komercijalnog naziva „*P1 FossilFree100 WRC*“ [30] koristi za pogon trkaćih vozila u moto sport natjecanjima FIA WRC i FIA WRTC [31].

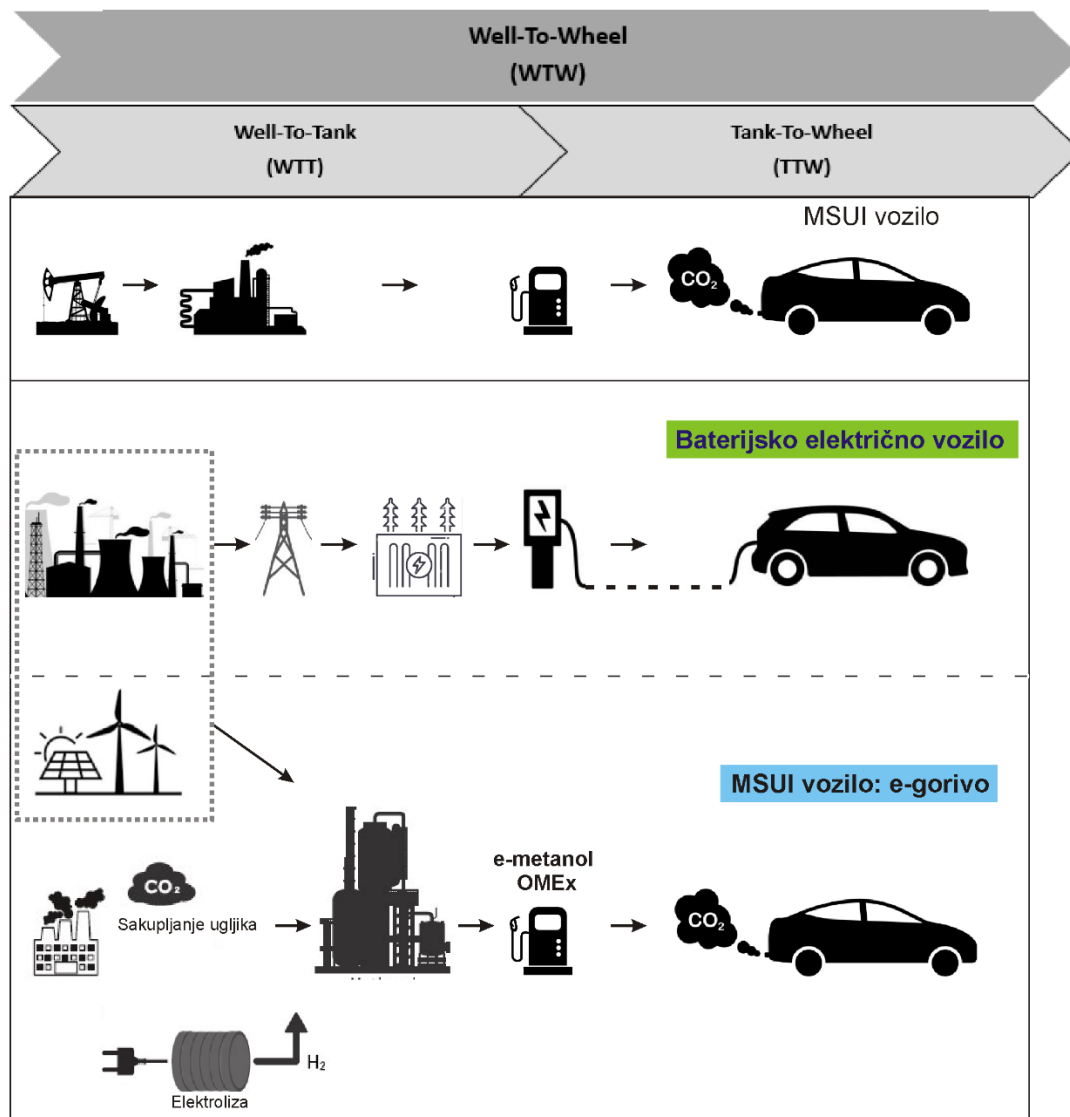
S druge strane, jedan od najvećih problema korištenja e-goriva je njihova neistraženost. Dok određena e-goriva koja vrlo dobro imitiraju dizelsko i benzinsko gorivo imaju svojstva slična tim fosilnim gorivima, ona su ujedno i složenija za proizvesti. S druge strane, jednostavnija goriva zahtijevaju veliku količinu istraživanja kako bi se mogli otkriti i sanirati svi njihovi nedostaci. Primjerice, jedna od potencijalnih zdravstvenih opasnosti korištenja e-metanola, čija će primjena biti analizirana u ovome radu kao zamjena za benzinsko gorivo, je njegova sklonost da pri oksidaciji stvara formaldehide, kancerogene spojeve [32].

5. Metodologija

Jedan od ciljeva ovog rada je na primjeru Republike Hrvatske analizirati sadašnje trendove kretanja emisija ugljikovog dioksida u sektoru transporta te pomoću toga zaključiti može li RH postići ciljeve o redukciji CO₂ za barem 55%, u odnosu na razine iz 1990. godine, te potpunu eliminaciju CO₂ emisija do 2050. zadane Europskim zelenim planom [33] u samom prometnom sektoru. Drugi cilj je shvatiti ulogu i potencijal e-goriva u postizanju tih ciljeva.

Analiza će se odraditi na način da će se na temelju dosadašnjih podataka o kretanju broja vozila, kretanju sastava voznog parka i očekivanih budućih propisa, kao što je zakon o nultim emisijama CO₂ iz novih automobila i kombija od 2035.[34], projicirati kretanje broja vozila i sastav voznog parka do 2050. godine. Nadalje vozni park RH će se modelirati pomoću 3 mjerodavna vozila koja predstavljaju vozilo srednjih karakteristika za svaki od 3 najznačajnija pogonska sustava: pogon Dieselovim i Ottovim motorom, te pogonom na elektromotor. Za svaku vrstu pogona će se analizirati ugljični otisak od izvora do kotača, tzv. „Well-to-Wheel“ za svaku godinu od 2020. do 2050. te će se tako izračunati ukupne emisije ugljikovog dioksida cestovnog prometa osobnih vozila. Emisija CO₂ za pojedini model srednjeg vozila računati će se preko simulacije WLTP ciklusa za svako vozilo, pri čemu se kod električnog vozila uzima u obzir i utjecaj regenerativnog kočenja. Također, pri proračunu emisija električnih vozila uzet će se u obzir i ugljični otisak električne energije u Hrvatskoj, kao i predviđena penetracija obnovljivih izvora električne energije na tržište te posljedično tome smanjenje ugljičnog otiska električne energije u Hrvatskoj. Nakon toga zaključit će se može li prema sadašnjim kretanjima Hrvatska ispuniti ciljeve. U obzir će se uzeti i postupno miješanje e-goriva s fosilnim gorivima, uz pretpostavku da će se do 2050. u potpunosti prijeći na e-goriva.

Proračun i analiza opisani u ovom poglavlju provedeni su korištenjem programskih paketa MATLAB, Simulink i MS Excel.



Slika 5.1. Ilustrativni prikaz razmatranih pogonskih sustava i pripadajuće WTW emisije

Na slici iznad grafički je prikazano razmatranje nastanka ugljikovog dioksida. Možemo vidjeti da se ugljikov dioksid otpušta izgaranjem u motoru automobila u vožnji, u elektranama te u postrojenjima za preradu fosilnih goriva, a prikuplja se za proizvodnju e-goriva.

5.1 Određivanja modela srednjeg vozila

Modeliranje voznog parka pomoću svake podskupine osobnog vozila, u odnosu na pogon, veličinu, EURO normu itd., bilo bi suviše kompleksno, a ne bi značajno pridonijelo točnosti analize. Zato će se vozni park raščlaniti na 3 skupine vozila, ovisno o vrsti pogona, te će se za svaku skupinu odrediti vozilo koje najbolje predstavlja tu skupinu. To takozvano „srednje vozilo“ bira se iz kataloga proizvođača osobnih vozila po kriterijima mase i snage, što znači da odabrano vozilo mora imati masu i snagu slične prosječnim vrijednostima svih

predstavnik tog pogona. Taj kriterij vrijedi za pogon Otto i Diesel motorima, a za prosječno BEV vozilo odabrati će se elektrificirana verzija jednog od druga dva modela. Prema [35] prosječna masa vozila s Otto motorom iznosi 1072kg, dok je prosječna snaga motora 61,8kW, a za vozila s Diesellovim motorom te vrijednosti iznose 1365kg i 78,0kW. Ti kriteriji su odabrani iz razloga što oni igraju važnu ulogu u definiranju potrošnje goriva, odnosno energije nekog vozila. Na temelju toga odabrana su vozila proizvođača Opel Corsa za srednje vozilo s Otto motorom, Volkswagen Golf za srednje vozilo s Diesellovim motorom te Volkswagen e-Golf za srednje baterijsko električno vozilo. U tablici ispod prikazana su najbitnija svojstva vozila koja će se primjenjivati i u simulaciji WLTP voznog ciklusa. Zbog nedostatka podataka o prijenosnim odnosima transmisije vozila, u simulaciji su korištene iskustvene vrijednosti.

Tablica 5.1. Svojstva srednjih vozila [36], [37], [38]

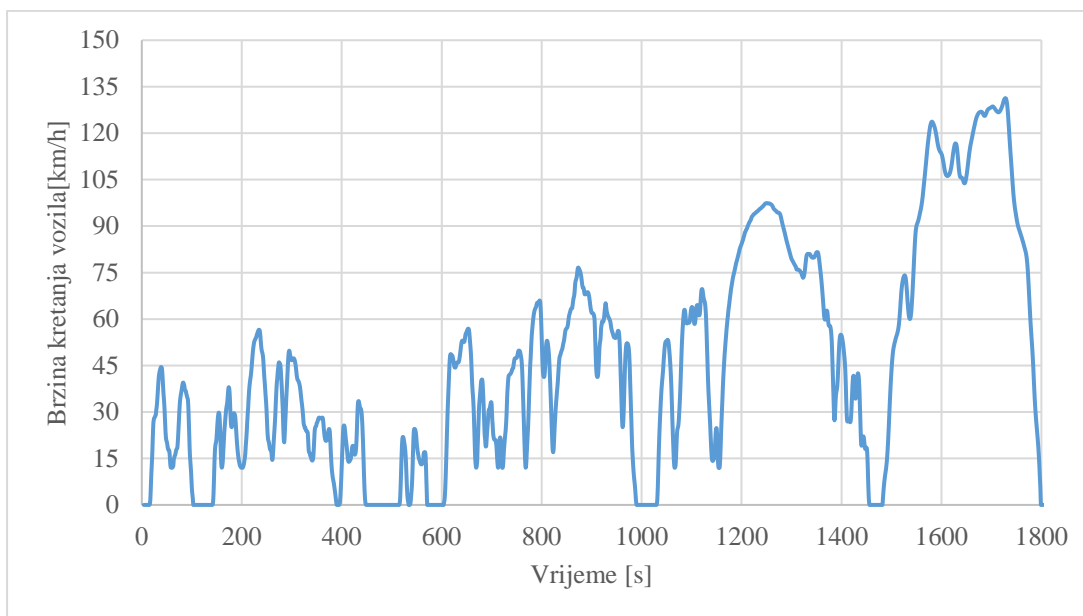
Svojstvo	Vozilo		
	MSUI Otto	MSUI Diesel	BEV
	Opel Corsa	VW Golf	VW e-Golf
Masa praznog vozila[kg]	1055(1,6%) ²	1431(4,8) ²	1690
Nazivna snaga motora[kW/KS]	55/75(11%) ²	85/115(8,9%) ²	100/136
Faktor otpora zraka[-]	0,29	0,275	
Frontalna površina [m ²]	1,96	2,23	
Deklarirana potrošnja goriva[L/100km]	5,3	3,5	-
Deklarirani doseg[km]	-	-	232
Prijenosni omjeri transmisije			
I. stupanj prijenosa[-]	3,91	3,91	-
II. stupanj prijenosa[-]	2,16	2,16	-
III. stupanj prijenosa[-]	1,48	1,48	-
IV. stupanj prijenosa[-]	1,12	1,12	-
V. stupanj prijenosa[-]	0,92	0,92	-
VI. stupanj prijenosa[-]	-	0,81	-
Prijenosni omjer osovinskog reduktora[-]	3,8	3,55	3,55

5.2 WLTP ciklus

Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure, odnosno WLTP ciklus je vozni ciklus koji se koristi za određivanje potrošnje goriva i emisija štetnih i staklenički plinova za

² Odstupanje od referentne vrijednosti

osobna i laka gospodarska vozila(kategorije M1 i N1)[39]. U ovom radu simulirati će se WLTP vozni ciklus kako bi se odredile potrošnje goriva, energije vožnje i stupnjevi djelovanja pojedinih pogonskih sustava u vožnji za svako srednje vozilo. WLTP ciklus određen je profilom brzine kretanja vozila u vremenu, koji je prikazan na slici ispod.



Slika 5.2. Profil brzina vozila u WLTP ciklusu [39]

Simulacijom WLTP voznog ciklusa za svako vozilo dobiveni su rezultati prikazani u tablici ispod.

Tablica 5.2. Rezultati simulacije WLTP voznog ciklusa

Svojstvo	Vozilo		
	MSUI Otto	MSUI Diesel	BEV
	Opel Corsa	VW Golf	VW e-Golf
Potrošnja goriva G_{100} [L/100km]	5,37 (1,32%) ²	3,65 (4,3%) ²	-
Energija vožnje W_{100} [kWh/100km]	11,59	14,49	15,57
Stupanj djelovanja pogonskog sustava[%]	23,2	39,6	67

Za vozila s pogonom na MSUI stupanj djelovanja ovisi o vrsti goriva koja se koristi kao i o konstrukciji motora (Ottov ili Dieselov, odnosno paljenje vanjskim izvorom energije ili plajenje kompresijom). Budući da je konstrukcija motora određena gorivom koje se koristi stupanj djelovanja biti će definiran pomoću pogonskog goriva te će se računati na slijedeći način:

$$\eta_{gorivo} = \frac{W_{100}}{G_{100} \cdot \varphi_{gorivo} \cdot H_{d,gorivo}} \quad (5.1)$$

Za baterijska električna vozila stupanj djelovanja je ulazni podatak za simulaciju WLTP voznog ciklusa tako da je on iteracijskim postupkom određen na način da se varirao raj parametar sve dok se domet izračunat simulacijom WLTP ciklusa nije poklopio s dometom deklariranim od strane proizvođača.

5.3 Određivanje kretanja sastava voznog parka RH

Na stranicama Centra za vozila Hrvatske i Državnog zavoda za statistiku pronađeni su podaci o broju registriranih vozila, po vrsti pogona za razdoblje 2015.-2021. te podaci o broju novoregistriranih, odnosno novih i polovnih vozila u RH za razdoblje 2017.-2021. [21], [40]. Na osnovu tih podataka regresijom je modeliran trend rasta broja vozila do 2050. godine. Isto to je napravljeno i za kretanje broja BEV do 2035.

Modeliranju veličine i sastava flote osobnih vozila pristupano je na sljedeći način: Flota vozila sastoji se od vozila s pogonom na Otto motor, Diesel motor i EM. Svake godine flota vozila se povećava na račun novih prodanih automobila i polovnih automobila uvezanih u RH izvana, najčešće iz zapadne Europe, a smanjuje se na temelju svih automobila koji su izašli iz upotrebe, odloženi na propisan ili nepropisan način, ili su izvezeni, najčešće u države istočno od RH. Sva vozila koja su uvezena ili su kupljena nova u RH čine skupinu koja će se u daljnjem tekstu nazivati „novoregistrirana“ vozila. Sva vozila koja su izašla iz upotrebe ili su izvezena čine skupinu koju će se nazivati „nestala“ vozila. Razlika između broja novoregistriranih i broja nestalih vozila jednaka je povećanju flote. Prema podacima CVH i DZS [21], [40] izračunato je da nova vozila čine oko 36% svih novoregistriranih vozila u RH, da je broj novoregistriranih vozila oko 2,83 puta veći od povećanja flote te da je omjer vozila s pogonjena Diesellovim motorom s vozila pogonjena na Ottovim motorm oko 1,15. Od 2035. godine pa nadalje sva nova prodana vozila po zakonu moraju biti BEV te se ona stoga pridodaju ukupnom broju BEV-a, dok se broj polovnih vozila pridodaju ukupnom broju dizelskih i benzinskih automobila u omjeru 1,15:1 u korist dizelaša. Nakon 2040. godine uvodi se pretpostavka da su sva uvezena vozila ne EM pogon, što znači da se broj novoregistriranih vozila od te godine pridodaje broju BEV-a.

Gore navedene izjave i zapažanja možemo izraziti sljedećim jednadžbama:

$$n_{flota,i} = n_{Otto,i} + n_{Diesel,i} + n_{BEV,i} \quad (5.2)$$

$$\frac{n_{Diesel,i}}{n_{Otto,i}} = 1,15 \quad (5.3)$$

$$n_{flota,i} = n_{flota,i-1} + n_{novoreg,i} - n_{nestali,i} \quad (5.4)$$

$$n_{novoreg,i} = n_{novi,i} + n_{polovni,i} \quad (5.5)$$

$$n_{novi,i} = n_{novoreg,i} \cdot 36\% \quad (5.6)$$

$$n_{BEV,i} = \begin{cases} n_{BEV,i-1} + n_{novi,i}, & 2035 \leq i < 2040; \\ n_{BEV,i-1} + n_{novoreg,i}, & x \geq 2040 \end{cases} \quad (5.7)$$

$$n_{novoreg,i} = 2,83 \cdot (n_{flota,i} - n_{flota,i-1}) \quad (5.8)$$

gdje indeks i označava godinu.

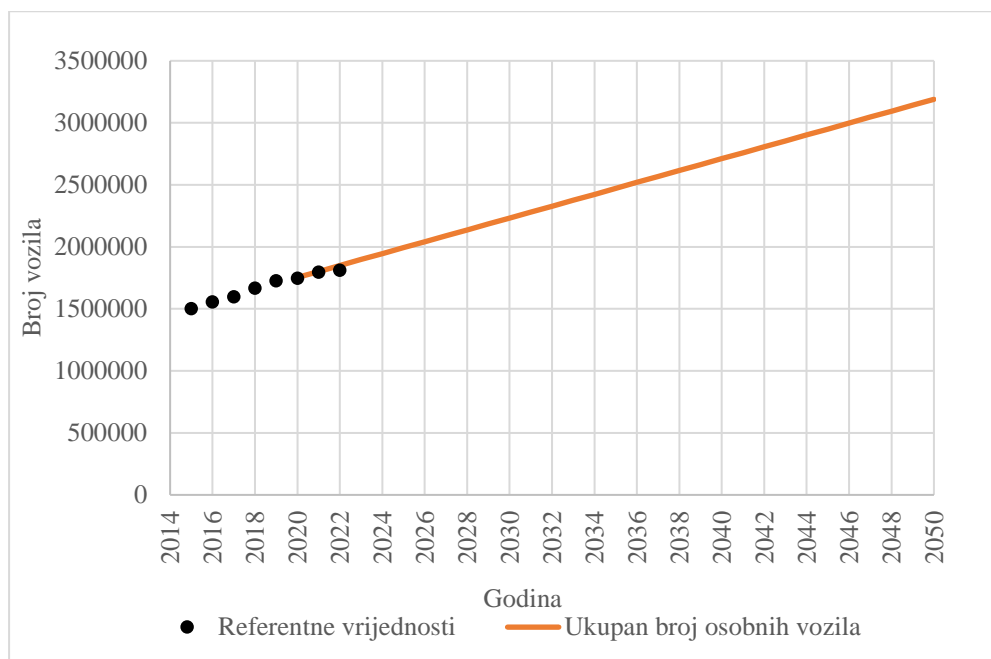
U tablicama ispod prikazani su podaci CVH i DZS pomoću kojih je provedena analiza, također na dijagramima na slikama ispod prikazana je projekcija ukupnog broja vozila.

Tablica 5.3. Podaci o broju vozila po pogonima [21]

Godina	Ukupan broj osobnih vozila	Broj vozila s Otto motorm	Broj vozila s Diesel motorom	Broj baterijskih električnih vozila
2015	1499989	788087	654772	156
2016	1553969	776477	716553	224
2017	1596087	764282	772831	277
2018	1666413	754836	839064	452
2019	1724900	744413	907826	723
2020	1746285	715370	939617	1343
2021	1795465	710539	982487	3054
2022	1811227	708792	1011289	4799

Tablica 5.4. Podaci o broju novoregistriranih vozila [40]

Godina	Broj novoregistriranih novih vozila	Broj novoregistriranih polovnih vozila
2015	51352	42450
2016	87579	53065
2017	93343	55794
2018	67626	27951
2019	77099	35246
2020	51352	42450
2021	87579	53065



Slika 5.3. Projekcija ukupnog broja osobnih vozila

Projekcija ukupnog broja osobnih vozila opisana je sljedećim polinomom:

$$n_{f\text{tota},i} = -5671 \cdot i^2 + 2 \cdot 10^7 \cdot i - 2 \cdot 10^{10} \quad (5.9)$$

Uz faktor korelacije $R^2 = 0,9884$. Potrebno je napomenuti da ovakva analize ne može uzeti u obzir čimbenike kao što su kretanje broja stanovnika ili porast, odnosno pad kupovne moći stanovništva, no takve analize izlaze iz okvira ovog rada, a i činjenica da je regresijska analiza napravljena na srednje velikom skupu podataka ukazuje na pouzdanost analize.

5.4 Određivanje kretanja ugljičnog otiska elektroenergetskog sektora

Za punjenje BEV-a električnom energijom i za proizvodnju e-goriva potrebna je električna energija, za čiju proizvodnju se otpušta ugljikov dioksid. Vidimo dakle da i električna energija ima svoj ugljični otisak. Ugljični otisak električne energije ovisi o tehnologiji korištenoj za njenu proizvodnju. a uvođenjem obnovljivih izvora energije ugljični otisak električne energije će se u EU, a time i u RH svesti na nultu razinu. Kako bi mogli imati cjelovite informacije o ukupnim emisijama CO₂ hrvatskog voznog parka potrebno je uzeti u obzir i ugljikov dioksid koji se otpušta u atmosferu zbog punjenja električne baterije, odnosno sinteze e-goriva.

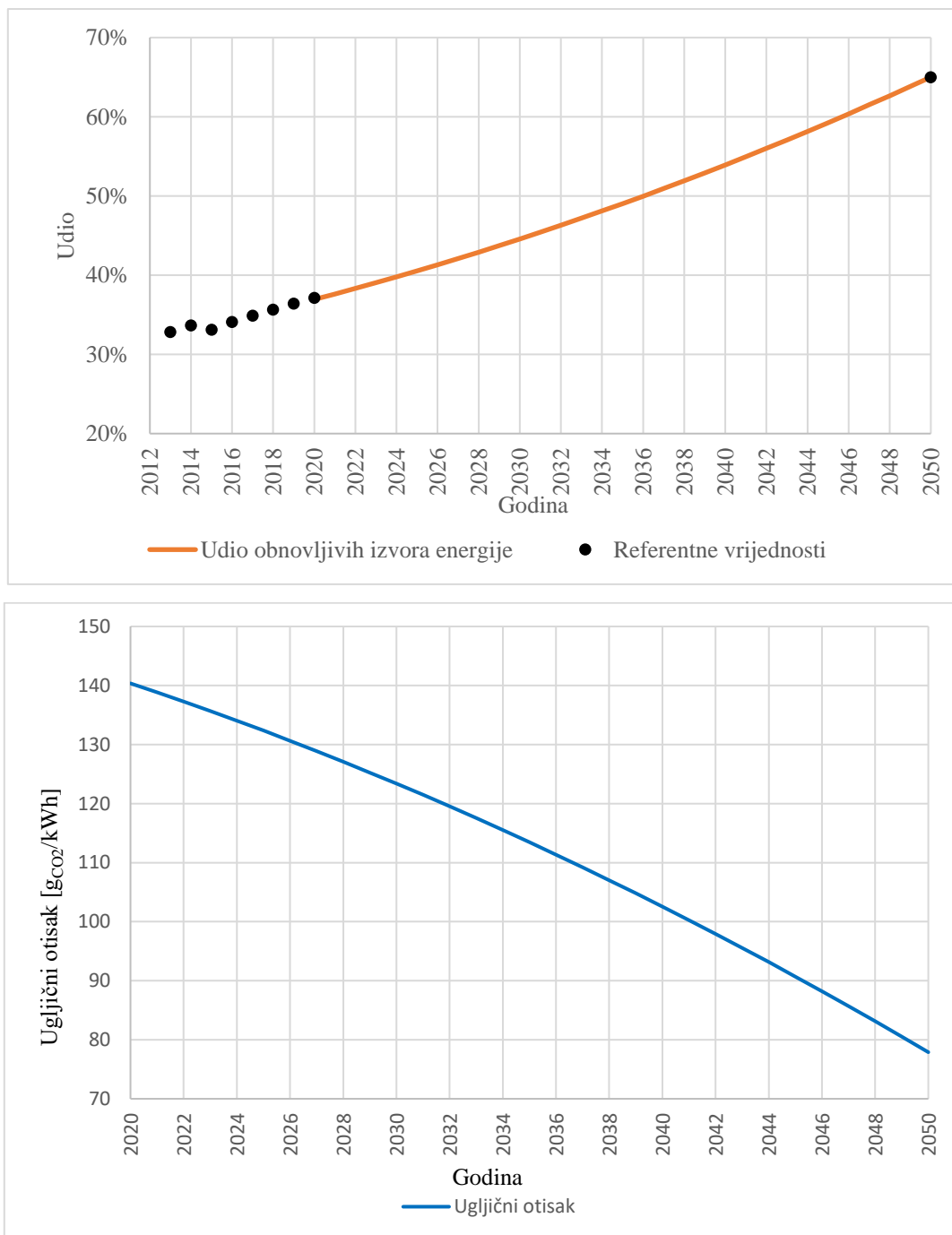
Cilj EU je do 2050. postići 65% OIE u ukupnoj proizvodnji energije [41]. Kombinirajući taj podatak i podatak o udjelu OIE za Hrvatsku u razdoblju 2013.-2021.[42] godine možemo projicirati kretanje udjela OIE kroz vrijeme. Podaci o udjelu OIE se koriste za izračun ugljičnog otiska električne energije izraženog u g_{CO_2}/kWh . U 2021. godini ugljični otisak iznosio je 138 g_{CO_2}/kWh pri udjelu OIE os 38%. Kretanje vrijednosti ugljičnog otiska prikazano je sljedećim jednadžbama:

$$n_{CO_2\ el,i} = (100\% - \%OIE_i) \cdot \frac{138}{1 - 0,38} \frac{g_{CO_2}}{kWh} = (100\% - \%OIE) \cdot 222,58 \frac{g_{CO_2}}{kWh} \quad (5.10)$$

gdje $n_{CO_2\ el,i}$ predstavlja ugljični otisak električne energije izražen u g_{CO_2}/kWh za neku godinu, a $\%OIE_i$ udio obnovljivih izvora energije u toj istoj godini.

Pristup je sljedeći: Budući da OIE imaju nominalan ugljični otisak 0, sav proizvedeni ugljikov dioksid dolazi od neobnovljivih izvora energije. Na primjeru 2021. godine to znači da 138 g CO_2 koji nastaju za proizvodnju 1 kWh energije dolazi od tehnologije koja je proizvela 0,62 kWh. To znači da kada uopće ne bi bilo OIE za proizvodnju 1 kWh morali bi otpustiti 222,58 g CO_2 , a opadanjem udjela neobnovljivih izvora energije pada i sam ugljični otisak proizvedene energije te tako dolazimo do jednadžbe (5.10). Takav pristup je opravdan iz razloga što se u tehnologije za proizvodnju energije koje se nazivaju neobnovljivim ne ulaže značajno na razini EU, iz razloga što se puno ulaže u OIE [43], te takve tehnologije vrlo vjerojatno u budućnosti neće doživjeti napredak u vidu smanjenja ugljičnog otiska nego će postupno izlaziti iz primjene kako se bude povećavala količina OIE.

Prema podacima u tablici ispod, metodom najmanjih kvadrata napravljena je regresijska krivulja koja se koristi za predviđanje kretanja udjela OIE u razdoblju 2020.2050., a posljedično tome i kretanja ugljičnog otiska električne energije. Na slikama ispod možemo vidjeti rezultate tih projekcija.



Slika 5.4. Projekcije udjela OIE i ugljičnog otiska el. energije

Potrebno je naglasiti da su navedeni podaci za potrošnju električne energije u RH, a ne njenu proizvodnju iz razloga što RH ne može domaćom proizvodnjom električne energije zadovoljiti sve svoje energetske potrebe te se stoga određen dio energije uvozi izvana. Potrebno je stoga uzeti u obzir i ugljični otisak te uvezene energije, a to se čini upravo promatranjem udjela OIE potrošene energije.

Tablica 5.5. Podaci o udjelu OIE u potrošnji el. energije za RH [42]

Godina	Udio OIE[%]
2013	32,84
2014	33,65
2015	33,13
2016	34,11
2017	34,89
2018	35,65
2019	36,40
2020	37,13
2050 ³	65

Regresijom podataka iz tablica iznad dobivena je slijedeća formula:

$$\%OIE_i = 8,7 \cdot 10^{-5} \cdot i^2 - 0,3428 \cdot i + 339,766 \quad (5.11)$$

Uz faktor korelacije $R^2 = 0,9990$.

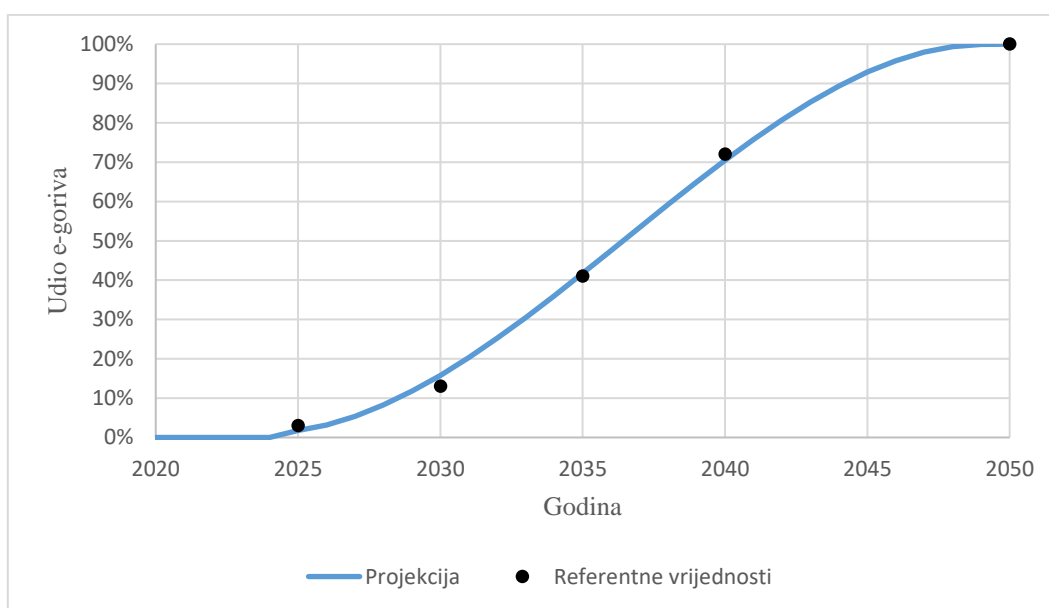
5.5 Određivanje udjela e-goriva u mješavini s fosilnim gorivima

Kako e-goriva još uvijek predstavljaju novu tehnologiju, biti će potrebno neko vrijeme da se u potpunosti implementiraju te da se pokaže njihova prava korist u dekarbonizaciji, ili manjak iste. Organizacija „eFuela Alliance“ skupina je tvrtki i instituta koji vjeruju u potencijal e-goriva te imaju za cilj promoviranje istih. Neki od članova eFuel Alliancea su: ZF, Mahle, Mazda, Bosch, Stihl, Siemens energy i drugi. Na njihovim internetskim stranicama [44] može se naći projekcija postupnog uvođenja e-goriva i njihovog miješanja s konvencionalnim gorivima u udjelima od 0% do 100% 2050. godine. Projekcije organizacije eFuela Alliance predviđaju udjele e-goriva za godine 2025., 2030., 2035., 2040. i 2050. te se te vrijednosti korištene kao referentne točke kroz koje se povukla regresijska krivulja koja će biti korištena u daljnjem radu. Referentne vrijednosti i regresijska krivulja prikazane su u tablici ispod kao i u dijagramu na slici ispod.

³ Ovo nije službeni podatak već cilj EU koji se uzima kao rubni uvjet, odnosno ograničenje sustava

Tablica 5.6. Referentne vrijednosti udjela e-goriva

Godina	Volumni udio e-goriva u mješavini $\varphi_{\text{egor}}[\%]$
2025	4
2030	12
2035	42
2040	71
2050	100



Slika 5.5. Kretanje udjela e-goriva

Rezultat regresije je slijedeći izraz:

$$\varphi_{\text{egor},i} = -7,244 \cdot 10^{-15} \cdot i^6 + 3,5406 \cdot 10^{-11} \cdot i^5 - 4,506 \cdot 10^{-8} \cdot i^4 + 5164 \cdot 10^4 \quad (5.12)$$

Faktor korelacije za ovu regresijsku analizu iznosi $R^2 = 0,9923$.

5.6 Izračun WTW emisija hrvatskog voznog parka osobnih vozila u RH

Svakom je vozilu za njegovo pokretanje i kretanje potrebna mehanička energija koja do kotača može doći raznim putevima i iz raznih izvora. Bilo da se radi o električnoj energiji koja dolazi iz elektroenergetske mreže, a pohranjuje se u baterijama, ili kemijskoj energiji koja može doći iz fosilnih ili sintetskih goriva, negdje na tom putu, od „izvora“ same energije do njenog

krajnjeg oblika i odredišta, odnosno kotača motornog vozila generira se CO₂. Za različite izvore energije generira se različita količina CO₂ na različitim mjestima unutar životnog ciklusa samog nosioca energije. U cijeloj ovoj priči specifična su e-goriva kod kojih se u dijelu njihove složene proizvodnje troši CO₂. Zbog složene prirode i varijacija u CO₂ dinamici od pogonskog sustava do pogonskog sustava potrebno je sustavno kvantificirati količinu nastalog, ili utrošenog, CO₂. Upravo iz tog razloga koriste se WTW emisije [45]

WTW (Well-to-Wheel) emisije sastoje se od WTT(Well-to-Tank) emisija i TTW (Tank-to-Wheel) emisija. WTT emisije obuhvaćaju emisije nastale u proizvodnji i transportu električne energije, odnosno goriva do korisnika, dok TTW emisije obuhvaćaju emisije nastale u vožnji, odnosno izgaranjem goriva. U nastavku slijedi izračun WTT, TTW i WTW emisija svakog pogonskog sustava.

Na temelju simulacija WLTP voznog ciklusa određena je volumna potrošnja goriva po prevaljenom putu, za vozila na dizelska i benzinska goriva, potrošnja energije po prevaljenom putu za sve vrste vozila te efektivne stupnjeve djelovanja za sva vozila koja koriste tekuća goriva. Prema [46] Vozila s pogonom na e-metanol imaju 33% veći efektivni stupanj djelovanja u vožnji i preko 50% manju donju ogrjevnu vrijednost te stoga imaju 57% veću volumnu potrošnju goriva na 100 km prevaljenih. Za e-OME₃₋₅ goriva nisu pronađeni podaci o efektivnom stupnju djelovanja pa će se stoga uzeti da vozila koja koriste ta goriva imaju isti stupanj djelovanja u vožnji kao i vozila na dizelska goriva. Svi ulazni podaci potrebni za izračun emisija dani su tablici ispod.

Tablica 5.7. Osnovni podaci potrebni za proračun WTW emisija

Gorivo/spr -emnik energije	Energija vožnje W ₁₀₀ [kWh/100km]	Stupanj djelovanja η	Volumna potrošnja goriva G ₁₀₀ [L/100km]	Put koji jedno vozilo prijeđe u godini dana s [km]	Donja ogrjevna vrijednost goriva H _d [MJ/kg]
Benzin	11,59	23,2%	5,37	10201	43,5
Dizel	14,49 ⁴	39,6%	3,65	16952	43,5
Baterije	15,77	67%	-	13624	-
e-metanol	11,59 ⁴	31%	8,43	10201 ⁴	19,7
e-OME ₃₋₅	14,49 ⁴	39,6% ³	6,94	16952 ⁴	19,0

⁴ Jednaka vrijednost kao i kod goriva kojeg će zamijeniti

Podaci o prijeđenom putu vozila za vozila s pogonom na benzin i na dizel dobivena su iz [35] dok je za BEV korišten prosjek prijeđenog puta za benzinski i dizelski pogon iz razloga što je krajnji cilj da vozila s električnim pogonom na baterije zamjene sva vozila s pogonom na fosilna goriva.

U sljedećim poglavljima prikazane su metode za izračun emisija različitih pogonskih sustava. Potrebno je napomenuti da će se količina otpuštenog CO₂ svesti na masu CO₂ koja se otpusti/proizvede kako bi jedinka vozila s nekim pogonskim sustavom prevalila put koji je karakterističan za taj pogonski sustav u razdoblju od godine dana. To se radi kako bi se ukupna emisija mogla izračunati na način da se emisija jednog vozila pomnoži s brojem vozila u toj godini te se sve emisije zbroje.

5.6.1 Izračun CO₂ emisija vozila s pogonom na fosilna goriva

Na temelju potrošnje i prijeđenog puta može se utvrditi koliko je goriva potrebno da jedno vozilo prođe određeni put u godini dana. To je opisano sljedećim jednadžbama:

$$m_{goriva,god} = \frac{S}{100} \cdot G_{100} \cdot \rho \quad (5.13)$$

$$WTT_1 = m_{goriva,god} \cdot x_{proizv} \quad (5.14)$$

$$TTW_1 = m_{goriva,god} \cdot \frac{44}{12} \cdot c \quad (5.15)$$

$$WTW_1 = WTT_{1\ vozilo} + TTW_{1\ vozilo} \quad (5.16)$$

gdje je $m_{goriva,god}$ masa goriva potrebna da jedno srednje vozilo, predstavnik pogonskog sustava, prijeđe put specifičan za taj pogonski sustav, a x_{proizv} takozvano faktor porizvodnje, broj koji određuje koliko se uhljikovog dioksida otpusti pri procesu prerade nekog goriva.

Za benzinsko i dizelsko gorivo dani su sljedeći podaci:

Tablica 5.8. Podaci za fosilna goriva [47]

Gorivo	Udio ugljika c[%]	Gustoća ρ[kg/m ³]	Faktor proizvodnje CO ₂ X _{proizv} [kgCO ₂ /kg _{goriva}]
Benzin	86	770	0,94
Dizel	86	830	0,77

i dobiveni su sljedeći rezultati:

Tablica 5.9. WTW fosilnih goriva

Gorivo	WTW ₁ [kgCO ₂]
Benzin	1619
Dizel	1330

5.6.2 Izračun WTW emisija za BEV

Budući da BEV ne koriste fosilna goriva njihove TTW emisije su jednake nuli, te su WTW emisije jednake WTT emisijama, koje dolaze od ugljičnog otiska el. energije. Taj izračun prikazan je jednadžbom (5.17).

$$WTW_1 = WTT_1 = \frac{E_{100}}{\eta} \cdot \frac{s}{100} \cdot n_{CO_2,el,i} = n_{CO_2,el,i} \cdot 3166,05 kWh [kg_{CO_2}] \quad (5.17)$$

5.6.3 Izračun CO₂ emisija vozila s pogonom na e-goriva

Određivanje emisija CO₂ pri korištenju sintetskih goriva najsofisticiranije je zato što se sintetska goriva miješaju s fosilnima i zato što je za njihovu proizvodnju potrebno potrošiti ugljikov dioksid, dok se u vožnji isti otpušta.

$$H_{d,e,i} = H_{d,egor} \cdot \rho_{egor} \cdot \eta_{e,egor} \cdot \varphi_{egor,i} + H_{d,fos} \cdot \rho_{fos} \cdot \eta_{e,fos} \cdot \varphi_{fos,i} \quad (5.18)$$

$$G_{100} = \frac{W_{100}}{H_{d,e,i}} \quad (5.19)$$

$$V_{smjesa,i} = G_{100,i} \cdot \frac{s_i}{100} \quad (5.20)$$

$$m_{egor,i} = V_{smjesa,i} \cdot \varphi_{egor,i} \cdot \rho_{egor} \quad (5.21)$$

$$m_{fos,i} = V_{smjesa,i} \cdot \varphi_{fos,i} \cdot \rho_{fos}$$

(5.22)

$$WTT_i = m_{egor,i} \cdot (x_{proizv,egor} + E_{egor} \cdot n_{CO_2,i}) + m_{fos,i} \cdot x_{proizv,fos} \quad (5.23)$$

$$TTW_i = (m_{egor,i} \cdot c_{egor} + m_{fos,i} \cdot c_{fos}) \cdot \frac{44}{12} \quad (5.24)$$

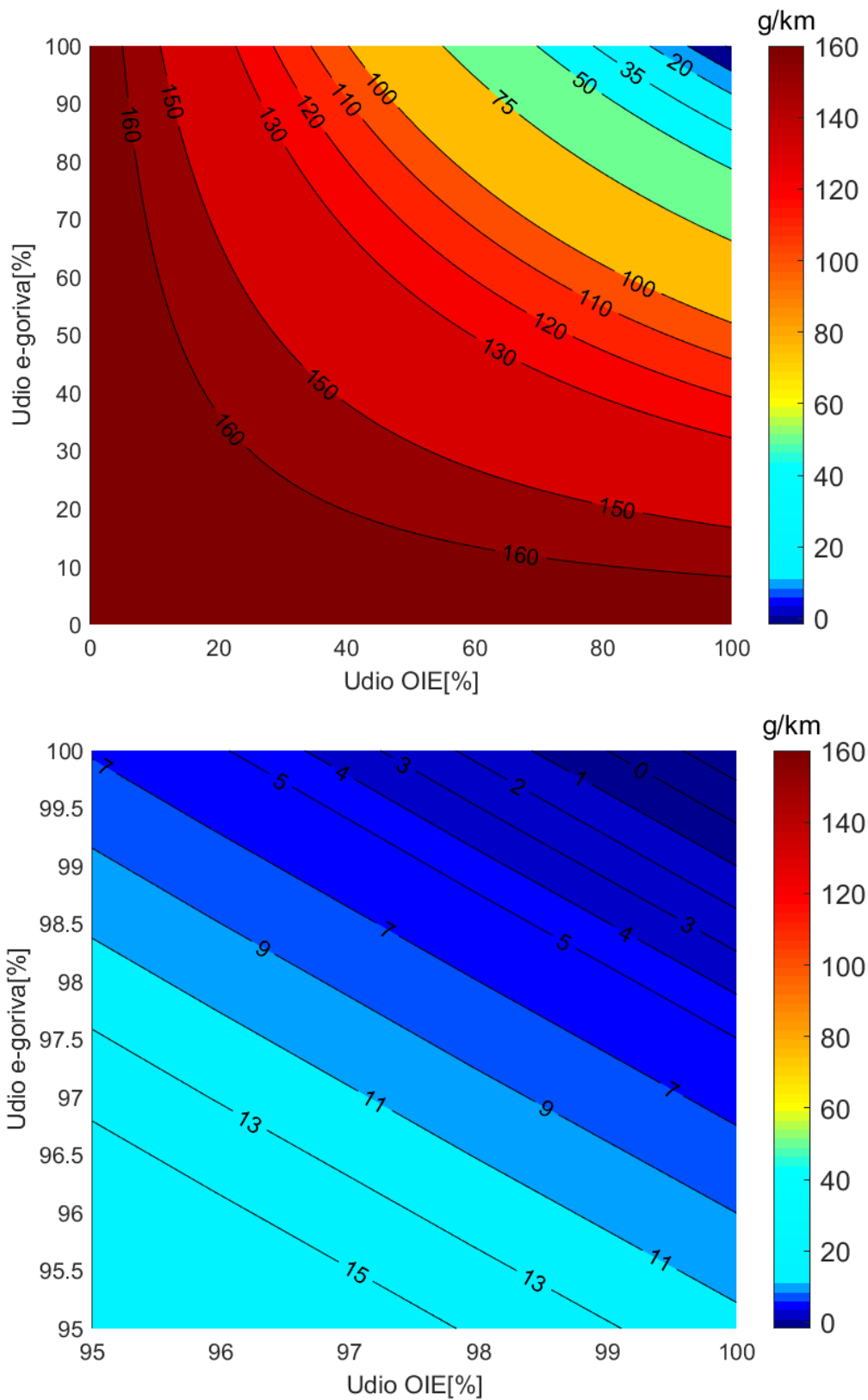
$$WTW_i = WTT_i + TTW_i \quad (5.25)$$

U tablici ispod dani su potrebni podaci za izračun:

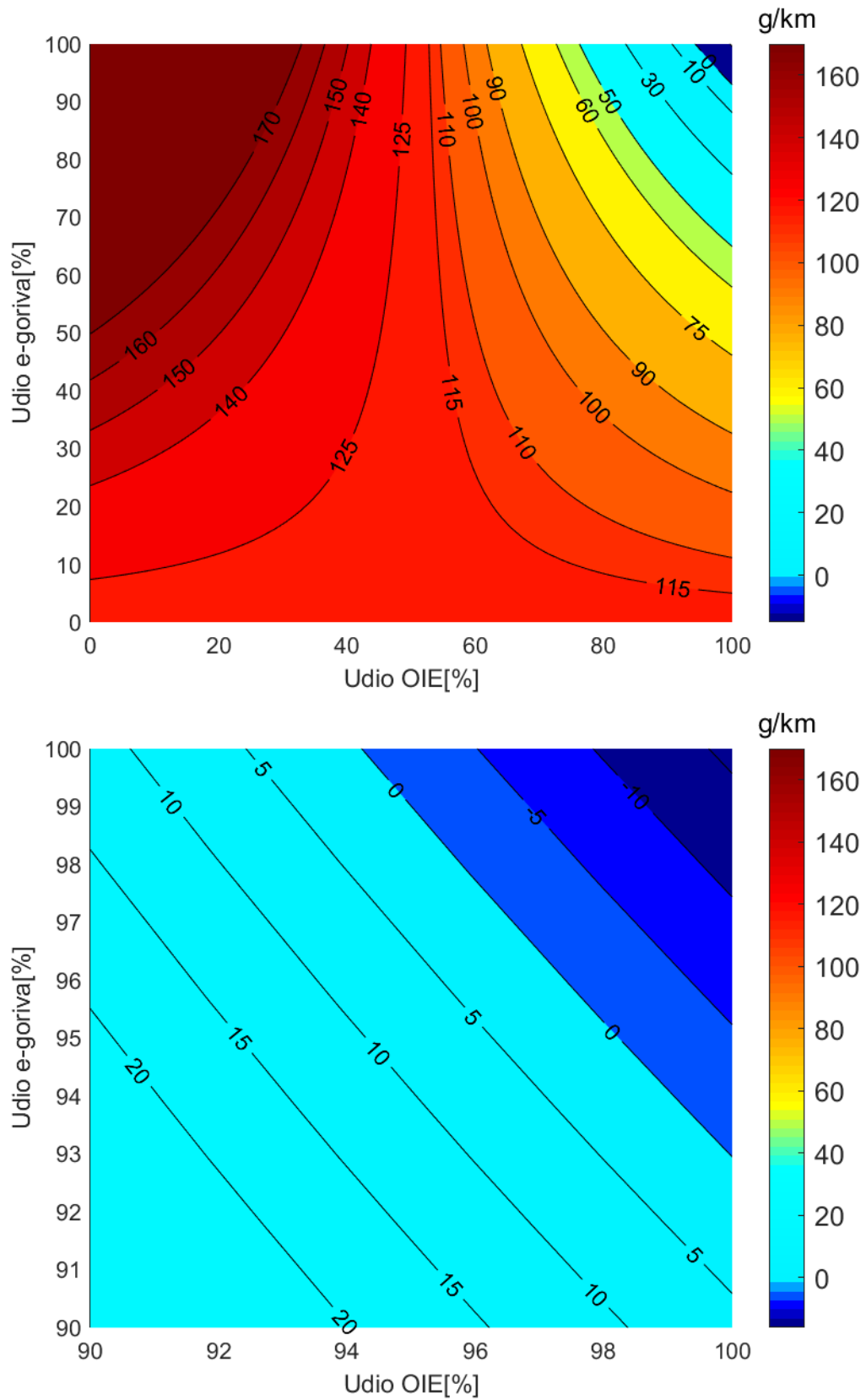
Tablica 5.10. Podaci za e-goriva [27], [48], [49]

E-gorivo	Udio ugljika c [%]	Gustoća ρ [kg/m ³]	Faktor proizvodnje CO ₂ x_{proizv} [kgCO ₂ /kg _{goriva}]	Energija potrebna za sintezu E [kWh/kg]
Metanol	37,5	792	-1,4	11,20
OME ₃₋₅	43,6	1067	-1,83	18,00

Kada bi gore navedene jednadžbe prilagodili za prijeđeni put od 1 km, mogli bi dobiti WTW emisije ugljikovog dioksida za vozilo izražene u g CO₂/km za vozilo s nekim udjelom e-goriva i OIE. WTW emisije jednog vozila po km, ovisno o vrsti goriva, udjelu e-goriva i udjelu obnovljivih izvora energije, odnosno ugljičnom otisku, prikazane su topografskim dijagramima na slikama ispod.



Slika 5.6. Dijagram WTW emisija vozila na mješavinu benzina i e-metanola



Slika 5.7. Dijagram WTW emisija vozila na mješavinu dizela i e-OME_x-a

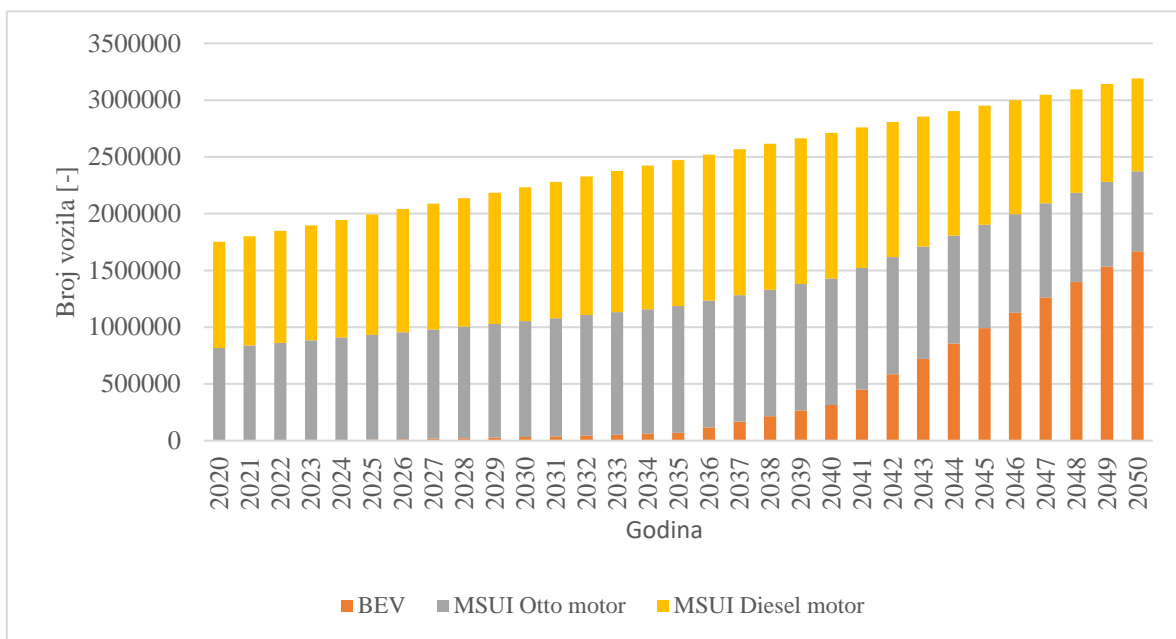
Iz priloženih dijagrama vidimo da vozilo može biti ugljični neutralno čak i bez 100%tnog udjela OIE ili e-goriva. Razlog leži u negativnoj vrijednosti faktora proizvodnje, odnosno činjenici da za proizvodnju e-goriva trebamo utrošiti ugljikov dioksid. Upravo taj utrošak može kompenzirati nastanak CO₂ na drugim mjestima u sustavu, ovisno o udjelu e-goriva i OIE te to vidimo na gore prikazanim slikama, odnosno dijagramima. Potrebno je, doduše, postići veliki udio e-goriva i OIE, ali ti udjeli ne moraju biti 100%. Kada pogledamo izolinije vidimo veliku ovisnost ugljičnog otiska o udjelu OIE, razlog je tome što je potrebna značajna količina energije za proizvodnju e-goriva, 11,20 kWh za 1 kg metanola [49], odnosno 18,00 kWh za 1 kg OME_x-a [48], a u te vrijednosti uključene su, među ostalima energija potrebna za proizvodnju vodika, hvatanje ugljikovog dioksida i odvijanje same reakcije sinteze. Kada te vrijednosti usporedimo sa donjom ogrjevnom vrijednošću samih goriva dobivamo stupanj djelovanja proizvodnje od 50% za proizvodnju e-metanola, odnosno 30% za proizvodnju e-OME_x-a.

Činjenica da udio OIE ima podjednako veliki značaj u WTW emisijama vozila kao i udio e-goriva znači da se eventualna željena smanjenja tih emisija vozila mogu postići na više načina, povećanjem udjela OIE i e-goriva u više omjera. Potrebno je naglasiti da 2 najutjecajnije veličine, utrošak energije i utrošak CO₂ jako ovise o procesu dobivanja goriva, što znači da se daljnjim poboljšanjima procesa mogu postići povoljnije vrijednosti WTW ugljičnog otiska vozila pogonjena e-gorivima ili mješavinom e-goriva i fosilnih goriva.

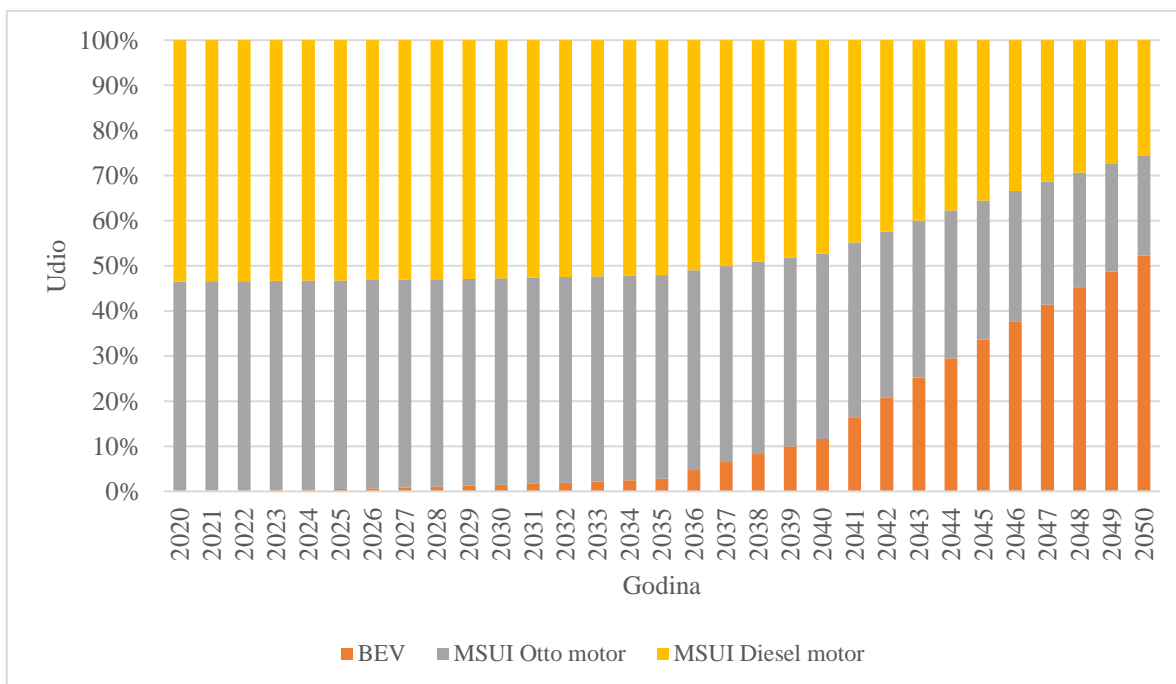
6. Rezultati i diskusija

6.1 Rezultati

Na slikama ispod prikazane su prognoze kretanja sastava hrvatskog voznog parka te „Tank-to-Wheel“ (TTW) i „Well-to-Wheel“ (WTW) emisija CO₂ iz osobnih vozila:

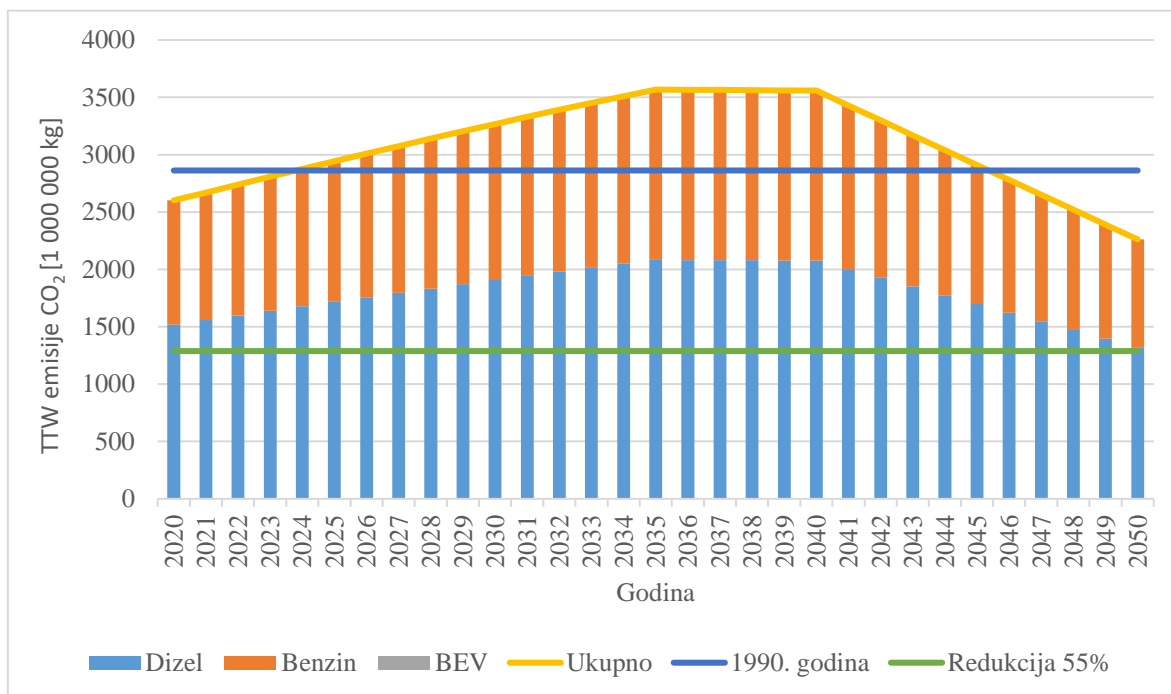


Slika 6.1. Kretanje broja osobnih vozila kroz godine u RH

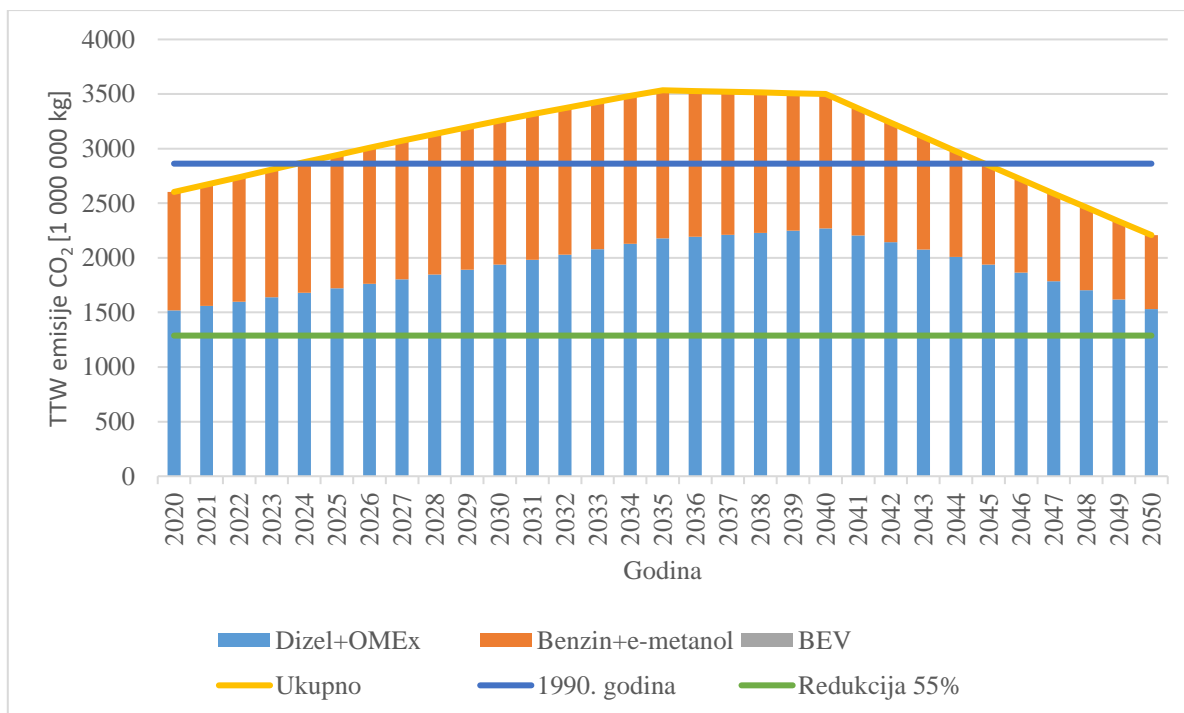


Slika 6.2. Kretanje sastava voznog parka RH kroz godine

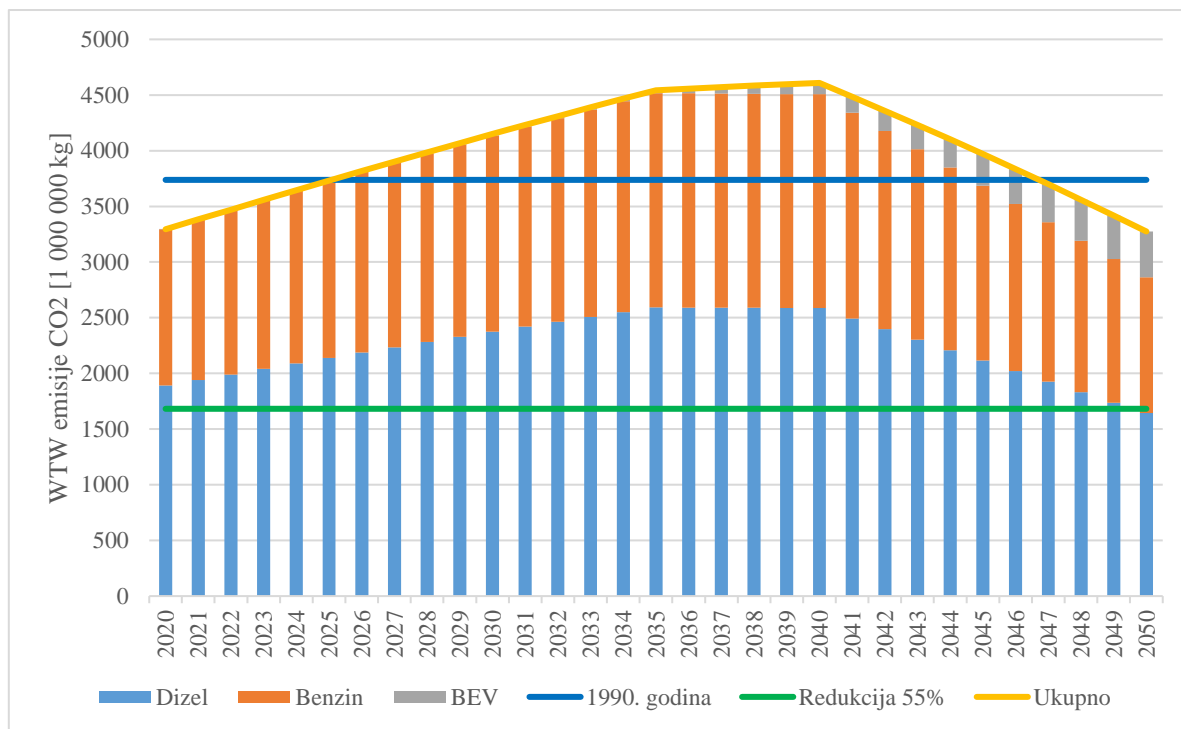
Iz priloženog vidimo da se očekuje stalan porast broja vozila na hrvatskim prometnicama s postupnim smanjenjem udjela vozila s pogonom na fosilna goriva i povećanjem udjela baterijskih električnih vozila.



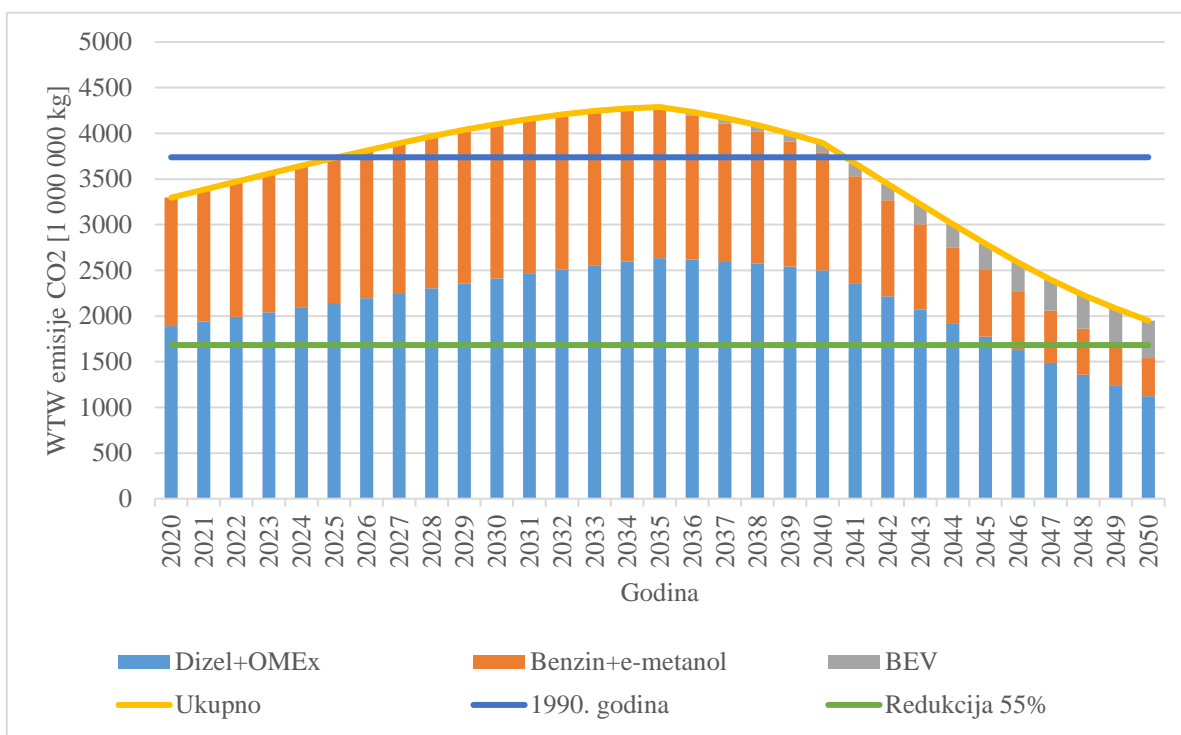
Slika 6.3. Predviđanje TTW CO₂ emisija za RH 2020.-2050. bez upotrebe e-goriva



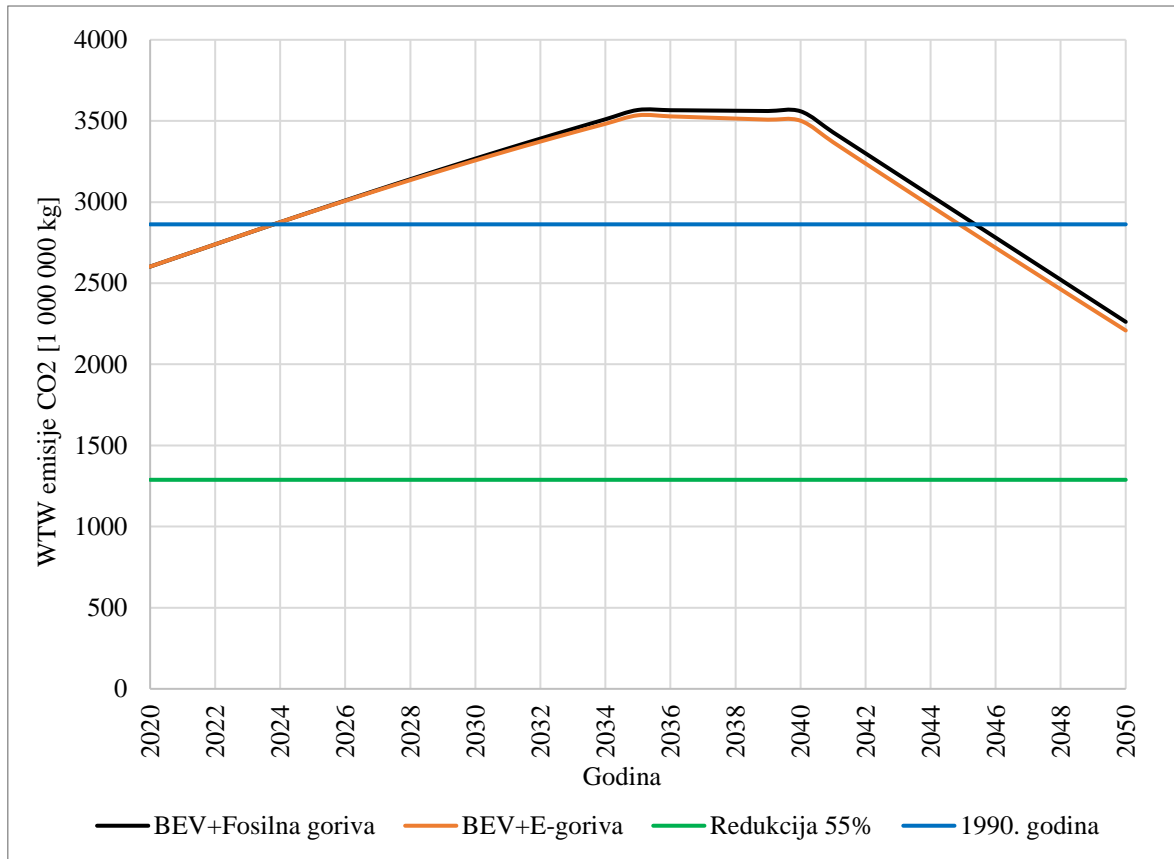
Slika 6.4. Predviđanje TTW CO₂ emisija za RH 2020.-2050. uz upotrebu e-goriva



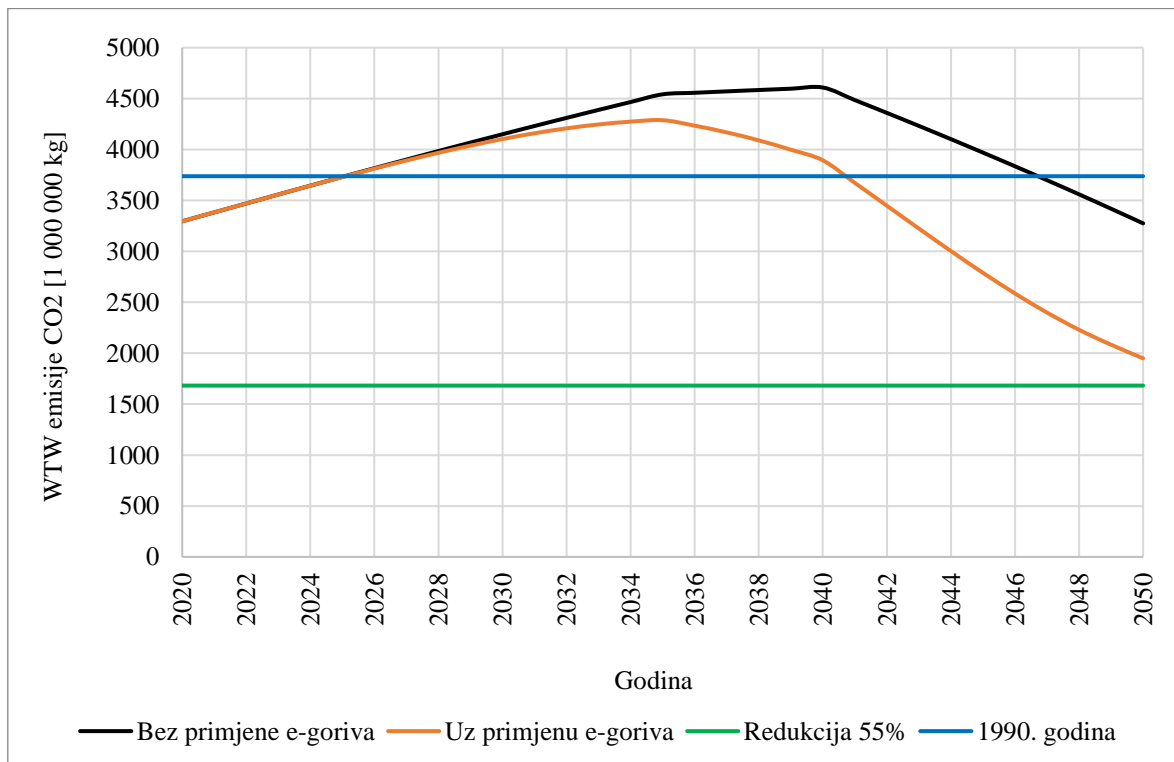
Slika 6.5. Predviđanje WTW CO₂ emisija za RH 2020.-2050. bez upotrebe e-goriva



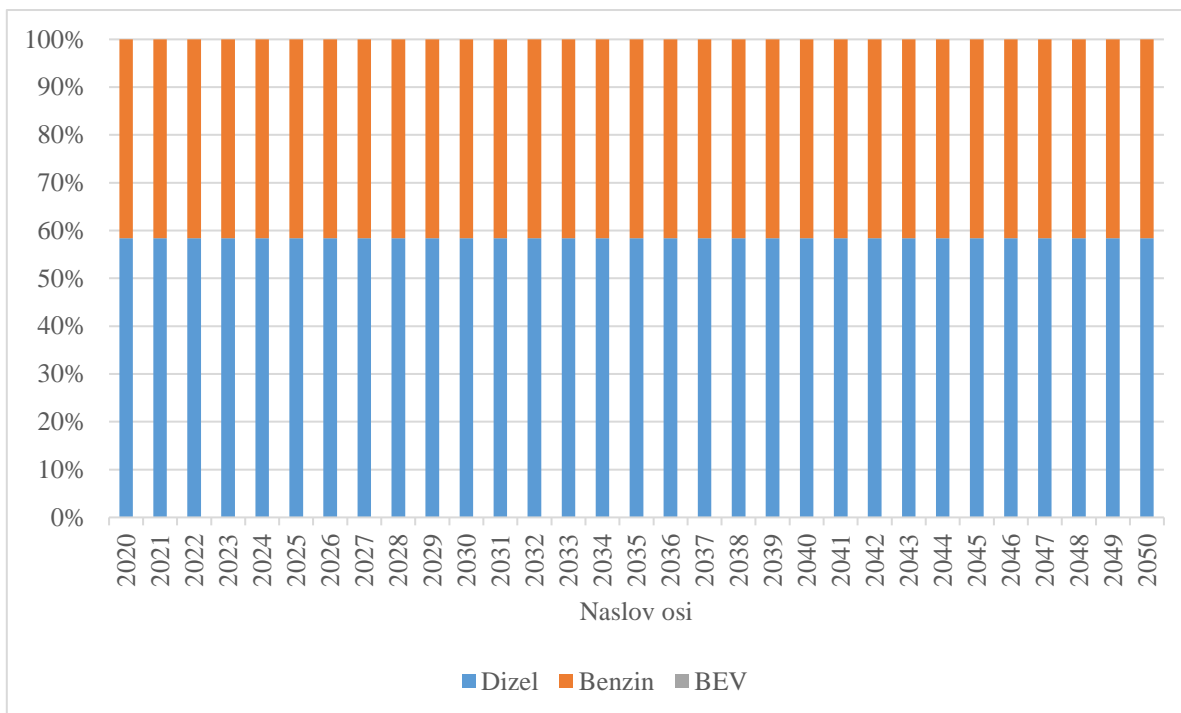
Slika 6.6. Predviđanje WTW CO₂ emisija za RH 2020.-2050. uz upotrebu e-goriva



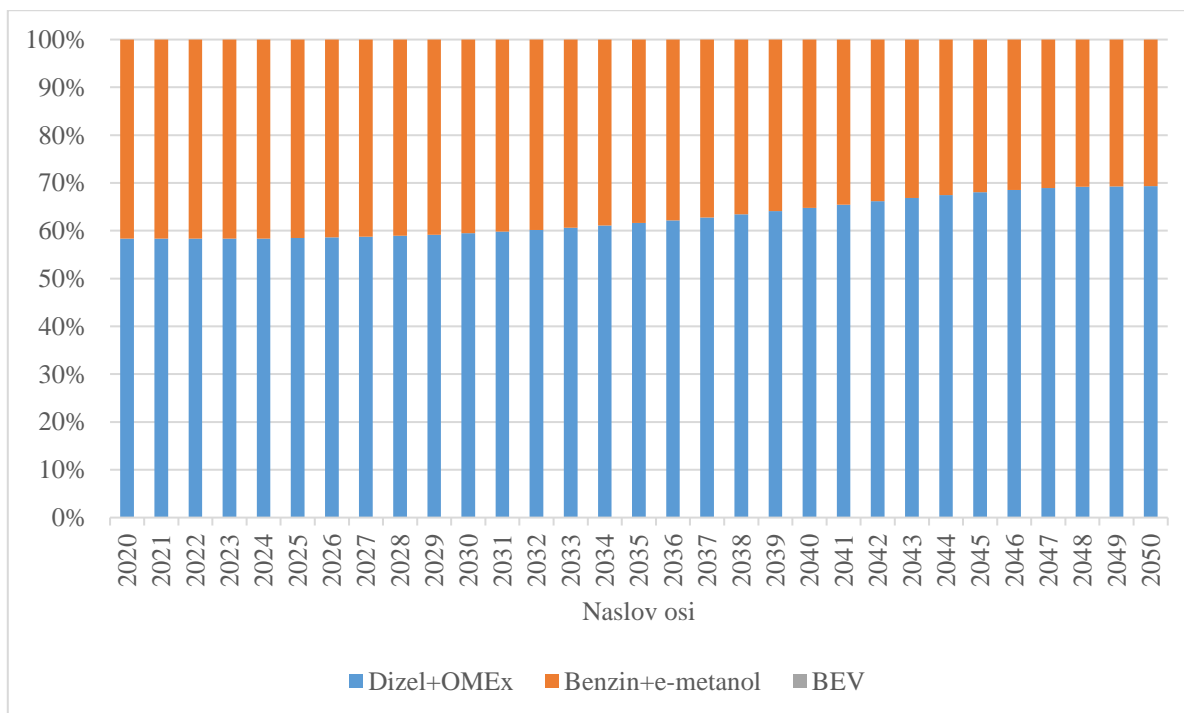
Slika 6.7. Usporedba TTW emisija CO₂ flote uz i bez primjena e-goriva



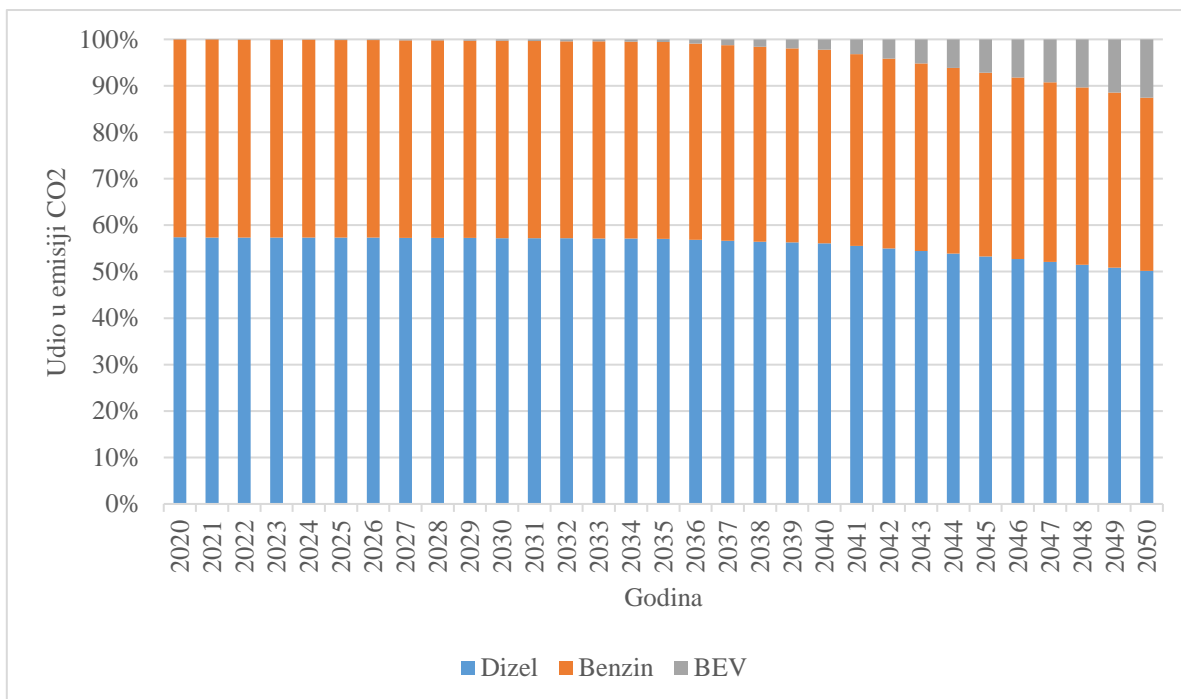
Slika 6.8. Usporedba WTW emisija CO₂ flote uz i bez primjena e-goriva



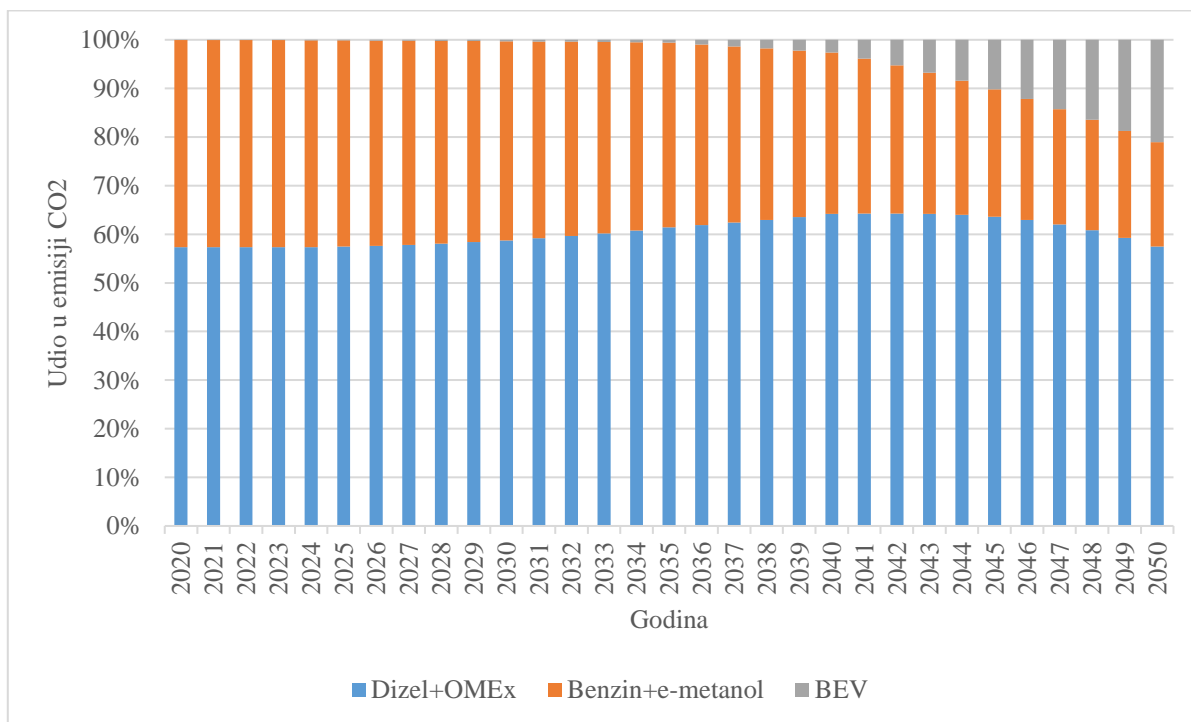
Slika 6.9. Udio pojedinih vrsta pogona u generiranju TTW CO₂ emisija bez upotrebe e-goriva



Slika 6.10. Udio pojedinih vrsta pogona u generiranju TTW CO₂ emisija uz upotrebu e-goriva



Slika 6.11. Udio pojedinih vrsta pogona u generiranju WTW CO₂ emisija bez upotrebe e-goriva



Slika 6.12. Udio pojedinih vrsta pogona u generiranju WTW CO₂ emisija uz upotrebu e-goriva

Iz rezultata vidimo da bez primjene e-goriva pad emisija CO₂ je moguće očekivati tek nakon 2040. godine kada se povećava porast broja baterijskih električnih vozila na prometnicama dok uz primjenu e-goriva vidimo da razina emisija CO₂ počinje padati 5 godina

ranije, 2035. godine. Također, vidimo da uz veću primjenu e-goriva, udio otpuštenog CO₂ koji dolazi od vozila s MSUI pada, prema dijagramima na slikama 6.11 i 6.12.

6.2 Diskusija

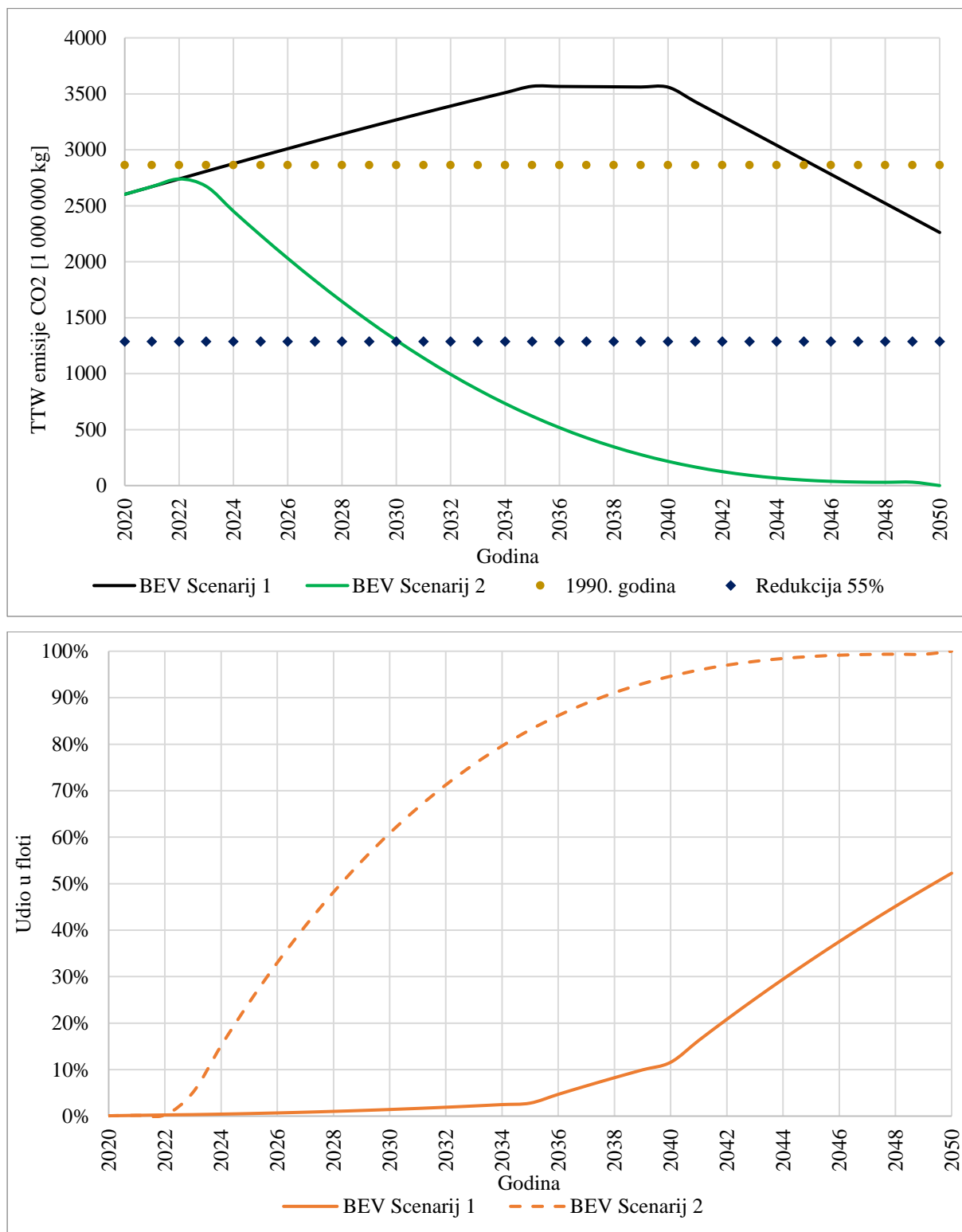
Kao što je već prije i objašnjeno, emisije cestovnih vozila mogu se promatrati na nekoliko načina: TTW emisije, WTW emisije ili LCA emisije. TTW emisije su najjednostavnije za promatrati, ali uzimaju u obzir najmanje čimbenika. WTW emisije su malo složenije za razmatrati, ali obuhvaćaju više čimbenika što ih čini vjerodostojnijim, dok su za promatranje najsloženije, ali ujedno i sveobuhvatne LCA emisije. U nastavku ovog rada tumačit će se rezultati proračuna TTW i WTW emisija cestovnih vozila u RH za razdoblje 2020.-2050. te će se na temelju toga povesti diskusija.

6.2.1 Razmatranje TTW emisija

Iz dijagrama na slikama 6.3 i 6.9 možemo zaključiti da kada bi emisije cestovnih vozila promatrali samo unutar okvira „Tank-to-Wheel“ emisija, kao što to zakonodavac, odnosno EU, i promatra [19], baterijska električna vozila bi predstavljala idealno rješenje, iz razloga što je njihov udio u TTW emisijama flote vozila 0%, odnosno ona ne proizvode „Tank-to-Wheel“ emisije, zbog nedostatka ispušnog sustava. Isto to možemo zaključiti promatrajući dijagrame na slikama 6.2 i 6.3, uočivši da s porastom udjela električnih vozila padaju TTW emisije flote. Također, vidimo da uvođenjem e-goriva ne postizemo značajna smanjenja TTW emisija CO₂ iz razloga što za isti prijeđeni put izgaranjem e-metanola i e-OME_x-a otpušta se tek neznatno manja količina CO₂. Razlog tome je taj što razmatrana e-goriva imaju otprilike duplo manji maseni udio ugljika, ali i otprilike duplo manju ogrjevnu vrijednost, tako da se utjecaji tih dvaju svojstava goriva ponište. Vidimo također da se korištenjem e-goriva kod vozila s Dieselovim motorom povećava udio u proizvedenim emisijama CO₂, iz toga možemo zaključiti da OME_x goriva otpuštaju veće količine CO₂.

Iako je za baterijska električna vozila puno povoljnije promatrati samo njihove TTW emisije, vidimo da čak ni s njima ne možemo postići klimatske ciljeve do 2030., odnosno 2050. godine, ako ih nastavimo uvoditi ovakvom dinamikom. Za postizanje cilja redukcije CO₂ za 55% do 2030., bio bi potreban udio BEV-a od 61,02%, a dok bi za potpunu eliminaciju CO₂ do 2050. bilo potrebno imati udio BEV-a 100%, odnosno svako osobno vozilo na prometnicama RH moralo bi biti električno. Ispunjavanje takvih zahtjeva značilo bi značajan iskorak u uvođenju BEV-a na tržište kad se uzme u obzir da je prognozirani udio BEV-a u 2030. godini

1,42%, a u 2050. godini 52,25%. Utjecaj dinamike uvođenja BEV-a na tržište prikazan je na slici ispod.



Slika 6.13. Utjecaj dinamike uvođenja BEV-a na TTW emisije flote

Na dijagramima na slici iznad prikazana su predviđanja uvođenja BEV-a na tržište na način opisan u poglavlju Metodologija, označeno sa „BEV Scenarij 1“ i dinamika kojom bi bilo potrebno uvoditi BEV na tržište kako bi se postigli zadani ciljevi, označeno s „BEV Scenarij2“, te TTW emisije CO₂ za oba scenarija.

Vidimo doista da je za postizanje klimatskih ciljeva potrebno puno „agresivnije“ uvođenje BEV-a na tržište, što je upitne izvedivosti. Kada pogledamo rezultate vidimo da je u prošloj godini, odnosno 2022. bilo 4799 registriranih BEV-a, a da se predviđa, prema „BEV Scenarij 1“, da će ih do kraja 2023. godine biti 6211, što je porast od 1412 vozila odnosno 29,42%. Prema „BEV Scenarij 2“ bilo bi potrebno imati 96907 vozila što bi predstavljalo porast od 92108 vozila ili 1919,32%, što je skoro duplo veće od porasta flote za kojeg se predviđa da će iznositi 47862 vozila. Kad vidimo da je porast broja BEV-a u 2022. u odnosu na 2021. godinu bio 1745 vozila, postizanje dinamike opisane u „BEV Scenarij 2“, odnosno postizanje klimatskih ciljeva samo pomoću baterijskih električnih vozila za RH se doima nemogućim, pogotovo kada još i razmatra činjenica da porast broja BEV-a mora biti praćen i izgradnjom odgovarajuće infrastrukture, odnosno punionica potrebnih za napajanje svih vozila.

Bilo kako bilo, činjenica je da razmatranje emisija isključivo kroz TTW emisije predstavlja nepotpuno razmatranje sustava, budući da sagledava samo emisije nastale pri oslobađanju energije za pogon vozila, ali ne i one nastale pri proizvodnji ili dobavi te energije, ako razmatramo električna, odnosno konvencionalna vozila. Kad bi htjeli cjelovito promatrati CO₂ emisije cestovnog prometa bolja, ali ne i najbolja, bi opcija bila promatrati „Well-to-Wheel“ (WTW) emisije iz razloga što takav proračun uzima u obzir i druge, gore navedene, emisije te će stoga one biti razmatrane dalje u ovom radu.

6.2.2 Razmatranje WTW emisija

Prema slici 6.4 vidimo da, kad razmatramo WTW emisije, samo uvođenjem električnih vozila i zabranom prodaje vozila koja za pogon koriste MSUI, RH ne može postići zadane ciljeve te da će emisija osobnih vozila 2050. godine još uvijek biti veća od razine iz 1990. godine. Razlog tome je taj što je broj osobnih vozila u konstantnom porastu i što je broj novih vozila u RH relativno malen u odnosu na godišnje povećanje flote što se odražava u sporom porastu udjela BEV u ukupnom broju osobnih vozila kao što možemo vidjeti na slici 6.2. Iako BEV imaju svoj ugljični otisak, koji je posljedica ugljičnog otiska električne energije koja je u njima pohranjena, njihove WTW emisije su znatno manje od emisija vozila na fosilna goriva te oni stoga predstavljaju bolju opciju od vozila na fosilna goriva, čak i ako razmatramo WTW

emisije, umjesto samo TTW. To možemo zaključiti usporedbom dijagrama na slikama 6.2 i 6.11, gdje vidimo da je relativan udio WTW emisija koje proizvode BEV puno manji od njihovog brojčanog udjela u floti vozila. Prebacivanje s pogona na fosilna goriva na pogon električnom energijom i elektromotorima je stoga dobra ideja i sa stajališta WTW emisija, ako imamo za cilj drastično smanjenje emisija CO₂, no s tim ne možemo dostići nultu razinu bez prebacivanja cijelog elektroenergetskog sektora na obnovljive izvore energije, što je malo vjerojatno da će se dogoditi do 2050. godine budući da je cilj EU postići udio OIE od 65% do te iste godine. Nadalje, i kad bi se to postiglo ostala bi na prometnicama vozila s pogonom na konvencionalna goriva koja bi i dalje proizvodila CO₂. Zaključujemo stoga da nam je, u tom slučaju, za cilj potpune WTW CO₂ neutralnosti sektora prometa osobnih vozila neophodna 100% elektrificirana flota osobnih vozila uz 100% implementaciju obnovljivih izvora električne energije, isto kao i u prethodnom slučaju gdje su se razmatrale samo TTW emisije. Vidimo da nema drugog načina da se postigne ugljična neutralnost osim načina da sva vozila zamijenimo baterijskim električnim vozilima i da svu električnu energiju proizvodimo iz obnovljivih izvora. Činjenica je ta da je cilj nulta emisija CO₂ pa je stoga BEV jedina opcija budući da može jedino ta vozila mogu imati nultu emisiju, u rubnom slučaju, osim u slučaju da postoji neka druga, ugljično negativna tehnologija koja bi mogla poništiti pozitivne emisije ostalih tehnologija. Upravo e-goriva su ta koja imaju potencijal biti ugljično negativna.

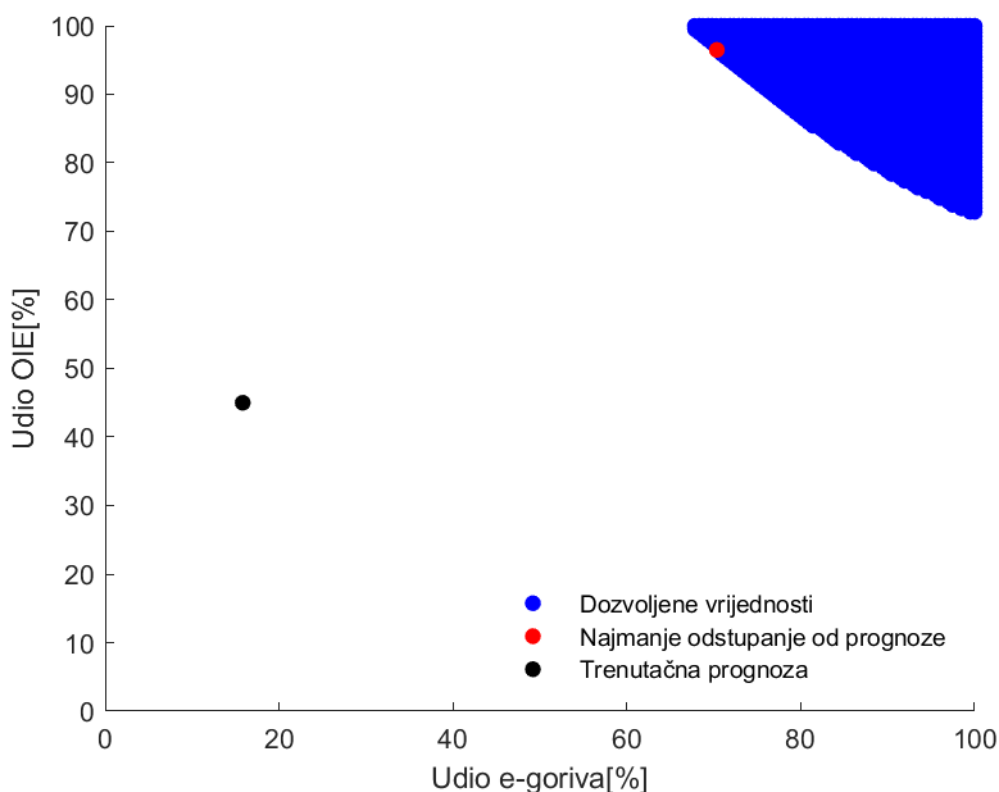
Budući da će vozila s pogonom na MSUI još dugo vremena i u značajnom broju prometovati hrvatskim prometnicama, potrebno je dodatno poraditi na njihovim emisijama kako bi se postigli zadani ciljevi. To nam omogućuje primjena e-goriva.

Iz slike 6.8 vidimo da supstitucijom fosilnih goriva e-gorivima postizemo i više nego osjetno smanjenje WTW emisija CO₂ te da iako čak ni korištenjem e-goriva nećemo cilj redukcije CO₂ za barem 55% uspjeti postići do 2030., a ni do 2050. godine, evidentno je da ćemo ga postići znatno ranije nego dok bez e-goriva. Razlog tome je naravno što se za proizvodnju e-goriva utroši više CO₂ nego što se oslobodi njegovim izgaranjem te tako miješanjem e-metanola i e-OME_x-a s konvencionalnim benzinskim i dizelskim gorivom smanjujemo ugljični otisak goriva, odnosno vozila. Kad promatramo vozilo s pogonom na mješavinu sintetskih i e-goriva njegov otisak ovisi o udjelu pojedinog e-goriva i ugljičnom otisku el. energije. Kad bi ugljični otisak el. energije bio jednak nuli te kad bi gorivo u potpunosti bilo sačinjeno od e-goriva, WTW emisije bi bile negativne, no bit korištenja e-goriva je ta da ovisno o razlici između utrošenog CO₂ pri proizvodnji i oslobođenog CO₂ pri izgaranju

moguće je postići ugljični otisak jednak nuli čak i u slučaju kada elektroenergetska mreža nema udio OIE 100% i u slučaju kada volumni udio e-goriva nije 100%, kao što je i prikazano na slikama 5.6. i 5.7. Dakle, uistinu vidimo cijeli niz elemenata koji čine e-goriva pogodnom opcijom za korištenje u svrhu postizanja klimatske neutralnosti.

E-goriva doista pokazuju značajan potencijal za smanjenje, no vidimo da uz primjenu e-goriva na način koji je opisan u poglavlju Metodologija još uvijek ne uspijemo ispuniti ciljeve. Dinamika kojom se uvode e-goriva i OIE na tržište značajno utječe na ukupne emisije CO₂ hrvatskog voznog parka kroz vrijeme. Za ovu analizu odabrana je dinamika uvođenja e-goriva i OIE koja se smatra realnom i izvedivom, promatrajući analize tržišta, tehnologije i određene ciljeve, no vidimo da ona nije dovoljna za postizanje zadanih ciljeva.

Povećanjem udjela e-goriva i OIE, na razne načine, se može postići željena razina dekarbonizacije transportnog sektora. Analizom opisanom u poglavlju metodologija određeni su svi udjeli OIE i e-goriva koji bi 2030. mogli postići cilj redukcije emisije CO₂ za barem 55% u odnosu na 1990. godinu. Dobivene vrijednosti prikazane su u dijagramu na slici ispod.

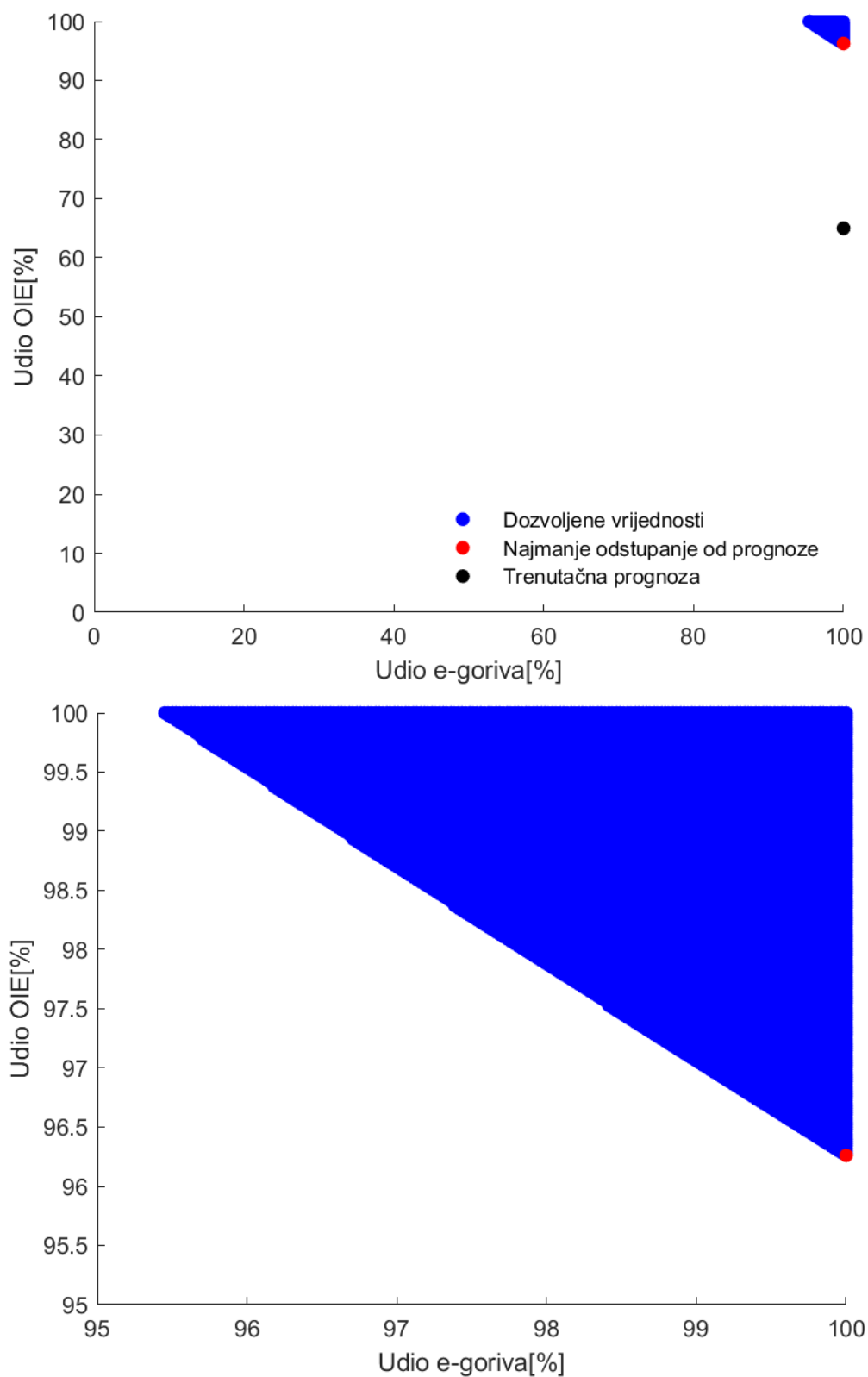


Slika 6.14. Potrebni udjeli e-goriva i OIE u 2030.

Na slici iznad plavo područje predstavljaju sve kombinacije udjela dvaju spomenutih zelenih tehnologija kojima se može postići cilj redukcije CO₂ od barem 55%. Točke na rubu područja zadovoljavaju uvjet redukcije od 55%, dok ga točke unutar područja premašuju. Sadašnja prognoza udjela e-goriva i OIE označena je crnom punom točkom na dijagramu. Vidimo dakle da je to moguće izvesti na mnogo načina te će stoga u ovom radu biti odabrana jedna kombinaciju, odnosno točka u dijagramu koja se smatra najpovoljnijom, odnosno ona kombinaciju za koju se smatra da će imati najveće izgleda da će se ostvariti, u odnosu na ostale. Odabrana točka bi trebala biti ta koja najmanje odstupa od trenutne prognoze, odnosno najmanje je geometrijski udaljena od točke koja predstavlja sadašnju prognozu za 2030. godinu. Ta kombinacija je definirana minimizacijom varijable d prikazane jednadžbom ispod i za tu kombinaciju udjeli e-goriva i OIE iznose 71,89% i 94,70%. Varijabla d označava geometrijsku udaljenost od točke u ravni koja predstavlja sadašnju prognozu udjela OIE i e-goriva, ta točka je u izrazu ispod označena indeksom 0, dok je točka kandidat označena indeksom 1.

$$d = \sqrt{(x_{e-gor,1} - x_{e-gor,0})^2 + (y_{OIE,1} - y_{OIE,0})^2} \quad (6.1)$$

Potrebno je napomenuti da se optimalna točka može odabrati na temelju raznih kriterija, te bi, za potrebe pronalaženja optimalne točke, bilo idealno provesti opširnu tehnološko-sociološko-ekonomsku analizu kako bi se ustvrdio najvjerojatniji put razvoja e-goriva i obnovljivih izvora energije, no to uvelike nadilazi okvir ovog rada tako da će optimalna točka u ovom radu biti odabrana na prije opisan način, a u svrhu ilustracije utjecaja navedenih zelenih tehnologija na emisiju flote vozila. Iako je relativno jednostavan princip, traženje točke koja geometrijski najmanje odstupa od trenutne prognoze predstavlja dobar pristup koji bi se eventualno mogao korigirati određenim težinskim faktorima koji bi množili pribrojnice ispod korijena. Na taj način bi se više ili manje penalizirala razlika između potrebnih i prognoziranih udjela OIE i e-goriva zasebno, odnosno kvantificirala bi se razlika u poteškoći uvođenja jedne tehnologije u odnosu na drugu. Neovisno o odabiru optimalne točke principi i razmatranja opisana u nastavku ovog rada su univerzalni. Analiza koja je provedena za 2030. godinu provedena je i za 2050. godinu pod uvjetom potpune eliminacije WTW emisija ugljikovog dioksida te je na isti način odabrana optimalna točka za tu godinu. Rezultati analize prikazani su u dijagramu na slici ispod. Odabrane vrijednosti udjela OIE i e-goriva redom iznose 96,26% i 100%. Potrebno je napomenuti da udjele potrebne za 2050. godinu nije problematično postići ako se ostvare udjeli potrebni za 2030. godinu.

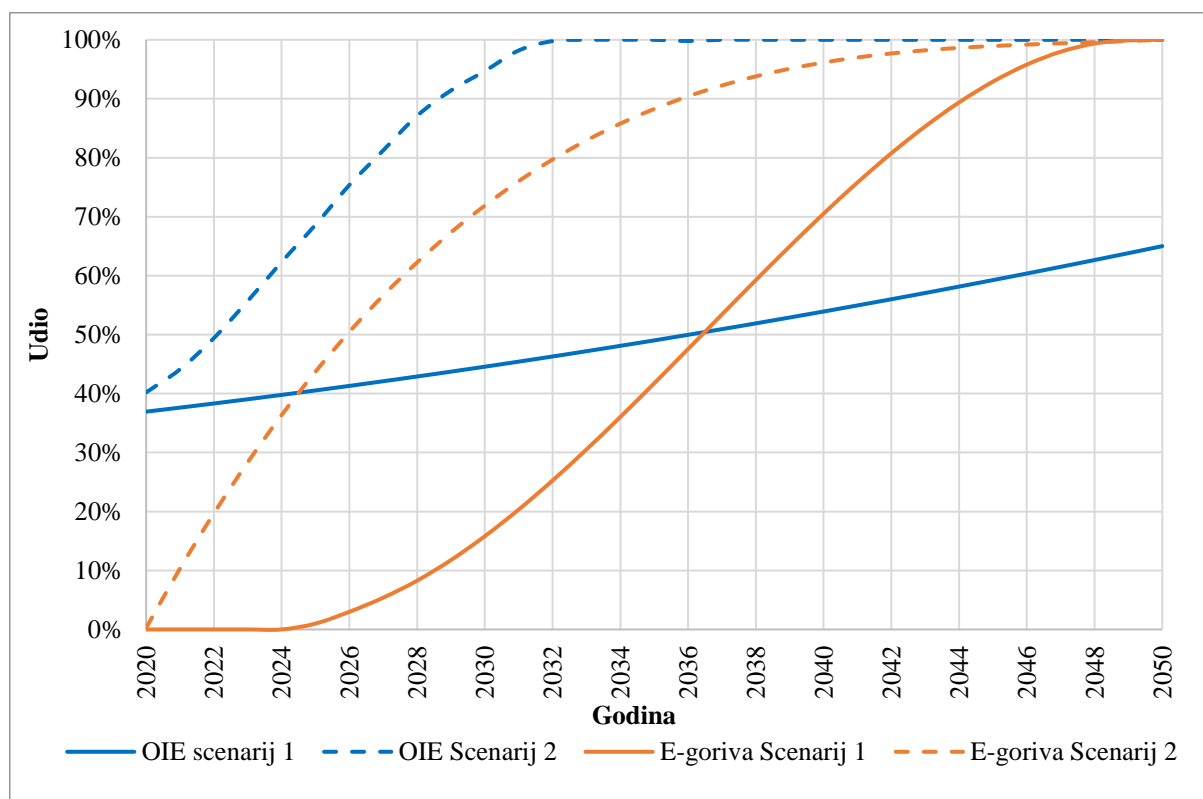
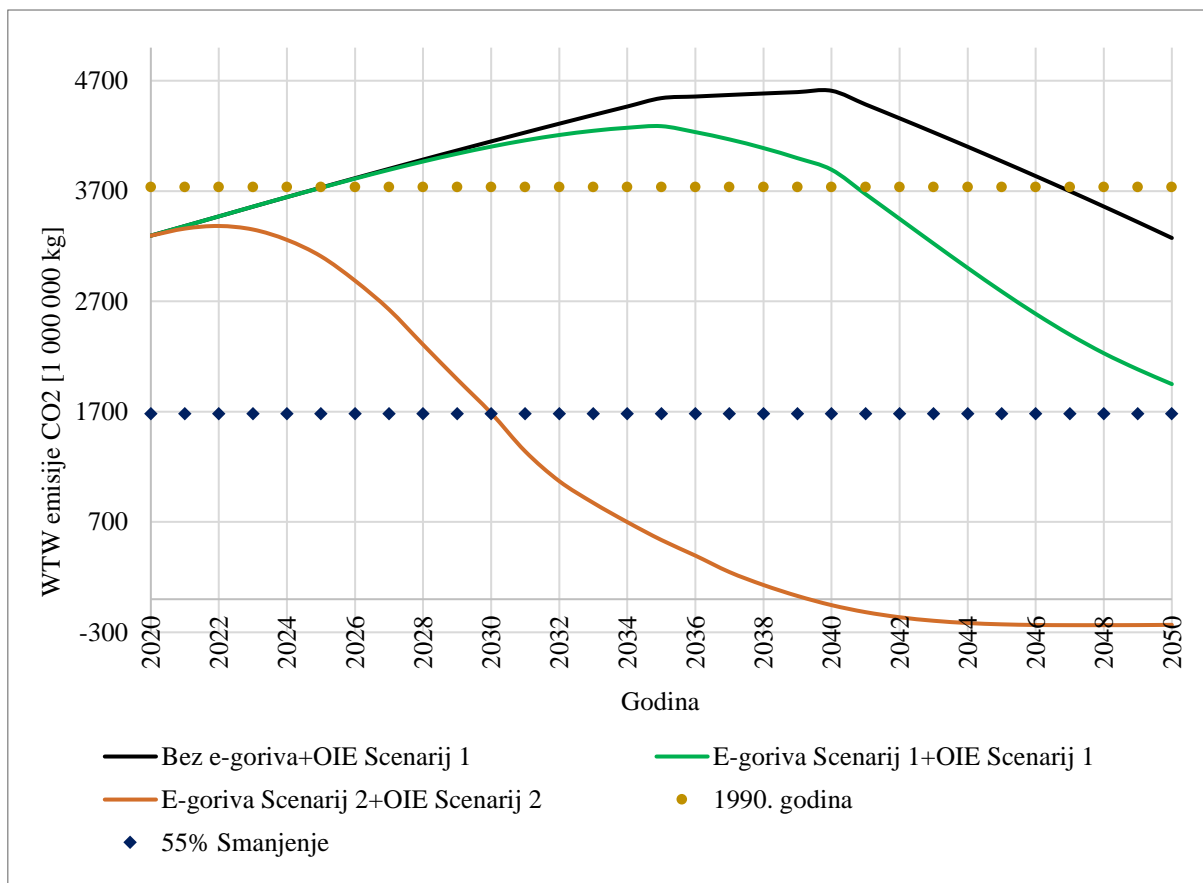


Slika 6.15. . Potrebni udjeli e-goriva i OIE u 2050.

Pomoću vrijednosti dobivenih za 2030. i 2050. godinu, izračunati će se regresijske krivulje koje će opisivati trendove uvođenja e-goriva i obnovljivih izvora energije koji mogu ispuniti klimatske ciljeve u pogledu prometa osobnih vozila u RH.

Na dijagramima na slici ispod prikazane su dinamike uvođenje OIE i e-goriva potrebne da se postignu klimatski ciljevi te WTW emisije flote za prikazane scenarije. Dinamika uvođenja OIE premašuje gore navedene ciljeve, ali to je iz razloga što je do 2030. potreban ogromni porast u udjelu OIE koji brže od potrebnog dovodi do potpune dekarbonizacije elektroenergetskog sektora. Na donjem dijagramu na slici ispod skupovi podataka označeni sa „E-goriva scenarij 1“ i „OIE Scenarij 1“ (puna crta) prikazuju tempo uvođenja tih tehnologija na način opisan u poglavlju Metodologija. Skupovi podataka koji u sebi sadrže naziv „Scenarij 2“ (isprekidana crta), opisuju brži tempo, onaj potreban da se postignu zadani ciljevi. U gornjem dijagramu ime skupa podataka označava koja dinamika uvođenja koje tehnologije je korištena pri izračunu. Vidimo kako brže uvođenje i e-goriva i OIE drastično smanjuje WTW emisije CO₂. Štoviše, kad bi zadana dinamika bila ispunjena, vidimo da bi cilj o ugljičnoj neutralnosti postigli već 2039. godine, odnosno 11 godine prije plana. To je odraz drastično bržeg uvođenja OIE u elektroenergetski sektor, njihovog utjecaja u ugljičnom otisku e-goriva i udjelu vozila s pogon na tekuće gorivo u floti. Iz svega ovoga izvlači se zaključak da su e-goriva zapravo sredstvo indirektno elektrifikacije prometa. Pokazuje se da je uvođenjem e-goriva moguće postići klimatske ciljeve, no ono, slično kao i kod BEV-a mora biti popraćeno snažnom dekarbonizacijom elektroenergetskog sektora, zbog velike potrošnje energije pri proizvodnji e-goriva. Isto kao i kod primjene BEV-a za smanjenje TTW emisija CO₂ vidimo da potrebnu dinamiku uvođenja zelenih tehnologija možemo klasificirati kao ambicioznu. Ako promatramo originalnu dinamiku uvođenja e-goriva vidimo da se 2030. godine očekuje volumni udio od 15,82% dok je za postizanje cilja redukcije CO₂ potreban udio od 71,89% što je 4,53 puta veći iznos. S druge strane, za redukciju od 55% do 2030. godine vidimo da nam je potrebno 94,70% udjela OIE, dok je prognozirano za tu godinu da će udio biti 45%. a cilj EU je do 2050. postići 65%. Dakle vidimo da nam je potrebna i više nego duplo veća brzina dekarbonizacije elektroenergetskog sektora i premašivanje ciljeva EU.

Jedna bitna stvar po kojoj se primjena e-goriva logistički razlikuje od primjene BEV-a je činjenica ne nailaze na veliki problem osmišljavanja i izgradnje potrebne infrastrukture budući da ljudska civilizacija već više od stoljeća razvija i gradi infrastrukturu za proizvodnju i distribuciju tekućih goriva te bi za primjenu e-goriva istu tu strukturu bilo potrebno prilagoditi novim gorivima, koja god ona bila.



Slika 6.16. Utjecaj dinamike uvođenja zelenih tehnologija na WTW emisije osobnih vozila u RH

7. Zaključak

Cilj ovog rada bio je analizirati flotu osobnih vozila Republike Hrvatske te na temelju toga zaključiti kakav je napredak RH ka ostvarenju određenih klimatskih ciljeva, a to su smanjenje emisija CO₂ za barem 55% u odnosu na razinu CO₂ iz 1990. godine do 2030. te potpuna eliminacija emisija ugljikovog dioksida do 2050. godine, u području prijevoza osobnim vozilima te koje bi mjere trebalo poduzeti u slučaju da se postizanje tih ciljeva ne pokaže izglednim, ako se zadrže sadašnji trendovi u automobilskom i elektroenergetskom sektoru.

Analiza je provedena na način da su se prvo pomoću podataka dostupnih na stranicama Centra za vozila Hrvatske i Državnog zavoda za statistiku napravile prognoze kretanja broja osobnih vozila na prometnicama RH te distribucija broja vozila u odnosu na 3 vrste pogona: pogon MSUI na dizelsko i benzinsko gorivo te pogon na elektromotor (BEV). Nadalje, za svaki pogon je određeno mjerodavno „srednje“ vozilo pomoću kojeg je simuliran WLTP ciklus kako bi se odredila potrošnja goriva, odnosno energije za pojedini pogon. Nakon toga, definirani su parametri potrebni za određivanje „Well-to-Tank“, „Tank-to-Wheel“ i „Well-to-Wheel“ emisija pojedinih vrsta pogona za svaku godinu te nakon što je to definirano, proveden je proračun TTW i WTW emisija za svaku godinu u razdoblju 2020.-2050. Utvrđeno je da, ako se nastave sadašnji trendovi, nije moguće postići klimatske ciljeve za 2030., odnosno 2050. godinu u pogledu TTW i WTW emisija flote osobnih vozila. Nakon toga jednoznačno je određena potrebna dinamika rasta udjela BEV kako bi se ti ciljevi postigli u okviru TTW emisija.

Sljedeći korak bilo je razmatranje WTW emisija flote te pronalaženje načina za ispunjavanjem klimatskih ciljeva, u pogledu WTW emisija, na način da se odrede točne vrijednosti udjela e-goriva i OIE koje je potrebno izvesti u 2030. i 2050. godini da bi se ispunili klimatski ciljevi za te specifične godine. Takva analiza generirala je širok spektar vrijednosti, odnosno kombinacija koje zadovoljavaju dane kriterije te je iz tih kombinacija bilo potrebno odabrati jednu kombinaciju, za svaku promatranu godinu, pomoću koje bi se konstruirala potrebna dinamika uvođenja tih tehnologija kroz vrijeme, a do 2050. godine. Optimalna kombinacije odabrane su tako da se svaka kombinacija promatrala kao točka u x-y koordinatnom sustavu u kojem apscisa predstavlja udio e-goriva, a ordinata udio OIE te je nakon toga pronađena točka koja zadovoljava prije spomenute kriterije, a ujedno je i geometrijski najbliža točki koja predstavlja trenutnu prognozu udjela OIE i e-goriva za danu godinu prema inicijalnom proračunu. Nakon što su odabrane kombinacije za 2030. i 2050.

godinu pomoću njih su konstruirane potrebne dinamike uvođenja zelenih tehnologija na tržište te je grafički prikazan njihov utjecaj. Potrebno je naglasiti da konstruirane dinamike prikazuju jedno od mnogih konačnih rješenja i scenarija kojima se mogu postići zadani ciljevi.

Kompletan proračun uzeo je u obzir mnoge parametre kao što su: broj vozila po pogonima za svaku godinu, prijeđeni put u godini dana za sva vozila svih vrsta pogona, ugljični otisak električne energije u svakoj godini, potrošnju goriva i energije svake vrste pogonskog sustava, smjesu fosilnih goriva i e-goriva u promjenjivim omjerima, karakteristike procesa proizvodnje e-goriva te utjecaj korištenja e-goriva na efikasnost MSUI u odnosu na fosilna goriva.

Zaključeno je da se poticanjem korištenja baterijskih električnih vozila postiže smanjenje emisija no da ono ima određena ograničenja zbog kojih čak i uz korištenje električnih vozila nije moguće postići klimatske ciljeve. Prvo ograničenje korištenja električnih vozila ne proizlazi iz same tehnologije već iz stanja tržišta automobila u Republici Hrvatskoj, odnosno činjenice da je broj novih vozila u prodanih u Republici Hrvatskoj iz godine u godinu relativno malen što dovodi do toga da broj električnih vozila sporo raste, a to također znači da će vozila s pogonom na fosilna goriva dugo prometovati cestama i zagađivati zrak. Drugo ograničenje pristupa je činjenica da uvođenje električnih vozila na tržište nije popraćeno dovoljno brzom dekarbonizacijom elektroenergetskog sektora. Nadalje, u ovom radu se pokazalo kako se ta ograničenja mogu nadići korištenjem e-goriva, goriva nastalih kemijskom reakcijom između zelenog vodika i ugljikovog dioksida iz atmosfere ili nekog koncentriranog izvora te da i ta tehnologija zahtijeva brže uvođenje OIE u elektroenergetski sektor te je prikazan jedan od mnogih mogućih trendova kojim je potrebno uvesti e-goriva i obnovljive izvore energije na tržište kako bi se postigli svi zadani ciljevi. U procesu analize došlo se do zaključka da za postizanje ugljične neutralnosti osobnih vozila 2050. nije dovoljno samo zadovoljiti odredbu EU o obnovljivim izvorima energije, koja diktira da do 2050. OIE moraju moći zadovoljiti barem 65% ukupne potrošnje energije, već ju je potrebno i premašiti puno prije njenog roka 2050. godine, odnosno potrebnu je gotovo svu električnu energiju dobivati iz obnovljivih izvora.

Moguće je postići zahtijevano smanjenje emisija do 2030. godine i potpunu dekarbonizaciju prometa osobnih vozila do 2050., no kako bi se to postiglo potrebno je pristupiti tom zadatku na više načina, i uvođenjem električnih vozila, i uvođenjem e-goriva, i snažnijom dekarbonizacijom elektroenergetskog sektora. Uz primjenu razvijenog

matematičkog modela provedena je analiza za vozni park osobnih vozila u RH kojom je određen i pokazan spektar vrijednosti udjela e-goriva i OIE pomoću kojih se može ostvariti 55% smanjenje emisija CO₂ u odnosu na 1990. godinu. Izračunati spektar kombinacija se kreće u rasponu od 67,68% udjela e-goriva i 100% udjela OIE do 100% udjela e-goriva i 72,53% udjela OIE.

Za postizanje klimatske neutralnosti transportnog sektora koji se odnosi na osobna vozila u 2050. godini u RH potrebno je imati raspon kombinacija od 95,45% e-goriva i 100% OIE do 100% e-goriva i 95,40% OIE. Iz navedenog se može zaključiti kako su pred nama i više nego izazovna vremena u kojima će brzina uvođenja naprednih niskougljičnih tehnologija i obnovljivih izvora energije u elektroenergetskom sektoru igrati ključnu ulogu u postizanju klimatske neutralnosti transportnog sektora kako u RH tako i na razini svih članica EU.

LITERATURA

- [1] “The Paris Agreement | UNFCCC.” <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement> (accessed Mar. 07, 2023).
- [2] “Pariški sporazum o klimatskim promjenama - Consilium.” <https://www.consilium.europa.eu/hr/policies/climate-change/paris-agreement/#EU> (accessed Mar. 07, 2023).
- [3] “A European Green Deal.” https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en (accessed Mar. 07, 2023).
- [4] “Spremni za 55 %: od 2035. novi automobili i kombiji bez emisija CO2 | Vijesti | Europski parlament.” <https://www.europarl.europa.eu/news/hr/press-room/20230210IPR74715/spremni-za-55-od-2035-novi-automobili-i-kombiji-bez-emisija-co2> (accessed Mar. 07, 2023).
- [5] “National emissions reported to the UNFCCC and to the EU Greenhouse Gas Monitoring Mechanism — European Environment Agency.” <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/national-emissions-reported-to-the-unfccc-and-to-the-eu-greenhouse-gas-monitoring-mechanism-18> (accessed Mar. 07, 2023).
- [6] A. Garcia, J. Monsalve-Serrano, D. Villalta, and S. Tripathi, “Electric Vehicles vs e-Fuelled ICE Vehicles: Comparison of potentials for Life Cycle CO2 Emission Reduction,” in *SAE Technical Papers*, SAE International, 2022. doi: 10.4271/2022-01-0745.
- [7] D.C.A.E.A., “Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2019 and inventory report 2021,” 2021.
- [8] T. Haas and H. Sander, “Decarbonizing transport in the European Union: Emission performance standards and the perspectives for a European green deal,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 20, pp. 1–15, Oct. 2020, doi: 10.3390/su12208381.
- [9] M. Wappler, D. Unguder, X. Lu, H. Ohlmeyer, H. Teschke, and W. Lueke, “Building the green hydrogen market – Current state and outlook on green hydrogen demand and electrolyzer manufacturing,” *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 47, no. 79. Elsevier Ltd, pp. 33551–33570, Sep. 15, 2022. doi: 10.1016/j.ijhydene.2022.07.253.
- [10] N. Meunier, R. Chauvy, S. Mouhoubi, D. Thomas, and G. De Weireld, “Alternative production of methanol from industrial CO2,” *Renew Energy*, vol. 146, pp. 1192–1203, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.07.010.
- [11] “North-C-Methanol project to produce green methanol in North Sea Port,” *Focus on Catalysts*, 2021.
- [12] E. Lindstad, B. Lagemann, A. Rialland, G. M. Gamlem, and A. Valland, “Reduction of maritime GHG emissions and the potential role of E-fuels,” *Transp Res D Transp Environ*, vol. 101, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.trd.2021.103075.
- [13] J. D. Ampah, A. A. Yusuf, S. Afrane, C. Jin, and H. Liu, “Reviewing two decades of cleaner alternative marine fuels: Towards IMO’s decarbonization of the maritime transport sector,” *J Clean Prod*, vol. 320, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.128871.
- [14] J. D. Becerra-Ruiz, R. G. Gonzalez-Huerta, J. Gracida, A. Amaro-Reyes, and G. Macias-Bobadilla, “Using green-hydrogen and bioethanol fuels in internal combustion engines to reduce emissions,” *Int J Hydrogen Energy*, vol. 44, no. 24, pp. 12324–12332, May 2019, doi: 10.1016/j.ijhydene.2019.02.211.

- [15] J. Vancoillie *et al.*, “The potential of methanol as a fuel for flex-fuel and dedicated spark-ignition engines,” *Appl Energy*, vol. 102, pp. 140–149, 2013, doi: 10.1016/j.apenergy.2012.05.065.
- [16] T. Hu, Y. Wei, S. Liu, and L. Zhou, “Improvement of spark-ignition (SI) engine combustion and emission during cold start, fueled with methanol/gasoline blends,” *Energy and Fuels*, vol. 21, no. 1, pp. 171–175, Jan. 2007, doi: 10.1021/ef0603479.
- [17] B. Lux *et al.*, “The role of hydrogen in a greenhouse gas-neutral energy supply system in Germany,” *Energy Convers Manag*, vol. 270, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.enconman.2022.116188.
- [18] T. Capurso, M. Stefanizzi, M. Torresi, and S. M. Camporeale, “Perspective of the role of hydrogen in the 21st century energy transition,” *Energy Conversion and Management*, vol. 251. Elsevier Ltd, Jan. 01, 2022. doi: 10.1016/j.enconman.2021.114898.
- [19] M. Prussi, L. Laveneziana, L. Testa, and D. Chiaramonti, “Comparing e-Fuels and Electrification for Decarbonization of Heavy-Duty Transports,” *Energies (Basel)*, vol. 15, no. 21, Nov. 2022, doi: 10.3390/en15218075.
- [20] “Greenhouse gas emissions from transport in Europe.” <https://www.eea.europa.eu/ims/greenhouse-gas-emissions-from-transport> (accessed Mar. 14, 2023).
- [21] “Centar za vozila Hrvatske | Statistika.” <https://www.cvh.hr/gradani/tehnicki-pregled/statistika/> (accessed Mar. 14, 2023).
- [22] G. Šagi, R. Tomić, and P. Ilinčić, “RAZVOJ PROPISA O DOPUŠTENIM EMISIJAMA ŠTETNIH TVARI IZ MOTORA S UNUTARNJIM IZGARANJEM,” 2009.
- [23] “Electric Vehicles of the Early 20th Century – LIBRARIES | Blog.” <https://sites.northwestern.edu/northwesternlibrary/2017/06/05/electric-vehicles-of-the-early-20th-century/> (accessed Apr. 14, 2023).
- [24] J. A. Sanguesa, V. Torres-Sanz, P. Garrido, F. J. Martinez, and J. M. Marquez-Barja, “A review on electric vehicles: Technologies and challenges,” *Smart Cities*, vol. 4, no. 1. MDPI, pp. 372–404, Mar. 01, 2021. doi: 10.3390/smartcities4010022.
- [25] C. E. Sandy Thomas, “How green are electric vehicles?,” *Int J Hydrogen Energy*, vol. 37, no. 7, pp. 6053–6062, 2012, doi: 10.1016/j.ijhydene.2011.12.118.
- [26] M. K. Hidrue, G. R. Parsons, W. Kempton, and M. P. Gardner, “Willingness to pay for electric vehicles and their attributes,” *Resour Energy Econ*, vol. 33, no. 3, pp. 686–705, Sep. 2011, doi: 10.1016/j.reseneeco.2011.02.002.
- [27] P. Schmidt, “E-Fuels: A techno-economic assessment of European domestic production and imports towards 2050.”
- [28] “Direct Air Capture – Analysis - IEA.” <https://www.iea.org/reports/direct-air-capture> (accessed Mar. 10, 2023).
- [29] “Carbon capture, utilisation and storage - Fuels & Technologies - IEA.” <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/carbon-capture-utilisation-and-storage> (accessed Mar. 10, 2023).
- [30] techn CBeidl and O. Berndt Straße, “Advances in Fossil-Free Motorsports Fuels for Sustainable Transportation.”
- [31] “FIA WRC switches to 100% sustainable fuel from 2022; P1 Racing Fuels as exclusive provider.” <https://www.wrc.com/en/news/2021/wrc/fia-wrc-switches-to-100--sustainable-fuel-from-2022-p1-racing-fuels-as-exclusive-provider/> (accessed Apr. 25, 2023).

- [32] M. J. Brown and Parkyns N. D., “PROGRESS IN THE PARTIAL OXIDATION OF METHANE TO METHANOL AND FORMALDEHYD,” *Catal Today*, vol. 8, pp. 305–335, 1991.
- [33] “Europski zeleni plan - Consilium.” <https://www.consilium.europa.eu/hr/policies/green-deal/> (accessed Mar. 10, 2023).
- [34] “Sve o EU zabrani prodaje novih automobila na benzin i dizel od 2035. | Vijesti | Europski parlament.” <https://www.europarl.europa.eu/news/hr/headlines/economy/20221019STO44572/sve-o-eu-zabrani-prodaje-novih-automobila-na-benzin-i-dizel-od-2035> (accessed Mar. 10, 2023).
- [35] G. Pejić, “MODEL ZA BRZO PREDVIĐANJE EMISIJA IZ CESTOVNOG TRANSPORTA,” Zagreb, 2019.
- [36] “Opel Hrvatska | Nova osobna i gospodarska vozila.” <https://www.opel.hr/> (accessed Apr. 19, 2023).
- [37] “Volkswagen e-Golf (2017-2021) price and specifications - EV Database.” <https://ev-database.org/car/1087/Volkswagen-e-Golf> (accessed Apr. 19, 2023).
- [38] “Volkswagen konfigurator.” https://konfigurator.volkswagen.hr/cc-hr/hr_HR_VW22/V/models (accessed Apr. 19, 2023).
- [39] “Emission Test Cycles: WLTC.” <https://dieselnet.com/standards/cycles/wltp.php> (accessed Apr. 21, 2023).
- [40] “TRAN-2022-1-2 Registrirana cestovna vozila i cestovne prometne nesreće u 2021. | Državni zavod za statistiku.” <https://podaci.dzs.hr/2022/hr/29136> (accessed Mar. 14, 2023).
- [41] “Obnovljivi izvori energije | Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost.” <https://www.fzoeu.hr/hr/obnovljivi-izvori-energije/7573> (accessed Mar. 20, 2023).
- [42] “Renewable energy share in Croatia 2028 | Statista.” <https://www.statista.com/forecasts/1151152/renewable-energy-share-forecast-in-croatia?locale=en> (accessed Mar. 20, 2023).
- [43] “How the EU aims to transform its energy mix and boost investment in renewables | S&P Global.” <https://www.spglobal.com/esg/insights/how-the-eu-aims-to-transform-its-energy-mix-and-boost-investment-in-renewables> (accessed Mar. 20, 2023).
- [44] “Costs & Outlook - eFuel Alliance.” <https://www.efuel-alliance.eu/efuels/costs-outlook> (accessed Mar. 20, 2023).
- [45] “Well-to-Wheels Analyses.” https://joint-research-centre.ec.europa.eu/welcome-jec-website/jec-activities/well-wheels-analyses_en (accessed Mar. 20, 2023).
- [46] M. Lilić, “Simulacija rada Ottovog motora s pretkomorom uz primjenu e-goriva, Završni rad,” Zagreb, Veljača, 2023.
- [47] “Producing gasoline and diesel emits more CO₂ than we thought - Innovation Origins.” <https://innovationorigins.com/en/producing-gasoline-and-diesel-emits-more-co2-than-we-thought/> (accessed Mar. 14, 2023).
- [48] M. Held, Y. Tönges, D. Pélerin, M. Härtl, G. Wachtmeister, and J. Burger, “On the energetic efficiency of producing polyoxymethylene dimethyl ethers from CO₂ using electrical energy,” *Energy Environ Sci*, vol. 12, no. 3, pp. 1019–1034, Mar. 2019, doi: 10.1039/c8ee02849d.
- [49] A. Babarit, E. Body, J.-C. Gilloteaux, and J.-F. Hétet, “Energy and economic performance of the FARWIND energy system for sustainable fuel production from the far-offshore wind energy resource.”

SAŽETAK

Matija Lilić

Dekarbonizacija transportnog sektora Republike Hrvatske u cilju postizanja klimatske neutralnosti do 2050.

U ovom radu istražene su mogućnosti dekarbonizacije voznog parka osobnih vozila u Republici Hrvatskoj ka postizanju definiranog smanjenja CO₂ od 55% u 2030. odnosu na 1990. i klimatske neutralnosti u 2050. godini. Dekarbonizacija je razmatrana zamjenom konvencionalnih fosilnih goriva s e-gorivima, uvođenjem baterijskih električnih vozila i obnovljivih izvora energije u elektroenergetskom sektoru. Izrađen je matematički model u kojem se potrošnja goriva i energije kod električnih vozila računa razmatranjem tzv. „srednjeg vozila“ za pogon Ottovim i Dieselovim motorom, a prema dostupnim podacima Centra za vozila Hrvatske. Kao vozni ciklus za razmatrane pogonske sustave vozila korišten je WLTP vozni ciklus na osnovu kojega je izračunata potrošnja goriva na 100 prevaljenih kilometara i TTW emisija CO₂. Kod izračuna potrošnje energije baterijskih električnih vozila razmatrano je povećanje mase vozila zbog mase baterije u odnosu na konvencionalni pogon vozila, a CO₂ otisak u obzir uzima WTW emisiju u ovisnosti o trenutnoj i budućim udjelima OIE u elektroenergetskom sektoru Hrvatske. Prvo je provedena TTW analiza flote vozila iz koje je zaključeno da iako u pogledu TTW emisija BEV predstavljaju idealno rješenje, njihov udio u floti do 2030. i 2050 godine je prema sadašnjim predviđanjima premalen da bi se postigli ciljevi, no na temelju analize zaključeno je da bi, kako bi se postigli ciljevi 2030. udio BEV-a u floti trebao iznositi 61,02%, dok bi 2050. taj udio trebao biti 100%. Također, prema WTW analizi flote pokazalo se da iako elektrifikacija osobnih vozila ima veliki potencijal ka postizanju klimatske neutralnosti, nije jedini put koji će osigurati potpunu dekarbonizaciju osobnih vozila, a kao posljedica nedovoljnih udjela OIE kojima bi se to osiguralo, već bi tu uz povećanje udjela OIE bilo potrebno uvesti i e-goriva. Rezultati provedene analize bazirani na WTW emisijama CO₂ za razmatrane pogonske sustave pokazuju da se uz očekivani udio OIE od 44,60% i udio e-goriva od 15,80% do 2030. godine u RH neće osigurati dovoljno smanjenje CO₂ emisije u odnosu na 1990. godinu, a kao posljedica kontinuiranog porasta broja osobnih vozila u RH. Za postizanje definiranog cilja do 2030. godine rezultati pokazuju širok raspon kombinacija udjela e-goriva i OIE, koji varira od 67,68% e-goriva uz 100% OIE do 100% e-goriva uz 72,53% OIE,

dok je za postizanje klimatske neutralnosti do 2050. godine potrebno ostvariti udjele e-goriva i OIE u rasponu od 95,45% e-goriva i 100% OIE do 100% e-goriva i 95,40% OIE.

Ključne riječi: dekarbonizacija, klimatska neutralnost, transport, električna vozila, e-goriva

SUMMARY

Matija Lilić

Decarbonization of transport sector in Republic of Croatia to achieve climate neutrality in 2050

In this paper, the possibilities of decarbonization of the fleet of passenger vehicles in the Republic of Croatia were investigated in order to achieve a defined CO₂ reduction of 55% in 2030 compared to 1990 and climate neutrality in 2050. Decarbonization was considered by replacing conventional fossil fuels with e-fuels, introducing battery electric vehicles and renewable energy sources in the power sector. A mathematical model was created in which the fuel and energy consumption of electric vehicles is calculated by considering the so-called "averaged vehicle" powered by Spark Ignition and Diesel engines, according to available data from the Croatian Vehicle Center. The WLTP driving cycle was used as the driving cycle for the considered vehicle drive systems, on the basis of which the fuel consumption per 100 kilometers traveled and the TTW CO₂ emissions were calculated. When calculating the energy consumption of battery electric vehicles, the increase in vehicle mass due to the mass of the battery compared to conventional vehicle propulsion system was considered, and the CO₂ footprint takes into account WTW emissions depending on the current and future shares of RES in the Croatian power sector. Firstly, a TTW CO₂ emission analysis was conducted and from it was deduced that although in the context of TTW emissions battery electric vehicles represent an ideal solution, their share in the overall fleet in the years 2030. and 2050. is still too small, based on current trends and forecasts, but based on the analyses it is concluded that in order to achieve defined goals, a share of 61,02% 100% BE vehicles in the fleet is needed in 2030. and 2050. respectively. Furthermore, a WTW fleet analysis showed that although electrification of passenger vehicles has great potential to achieve climate neutrality, it is not the only path that will ensure complete decarbonisation of passenger vehicles as the share of RES, that should ensure decarbonisation, is insufficient, for that an increase in share of RES and implementation of e-fuels would be needed. The results of the analysis based on WTW CO₂ emissions for the considered drive systems show that with the expected share of RES of 44,60% and the share of e-fuels of 15,80% by 2030 in the Republic of Croatia, a sufficient reduction of CO₂ emissions compared to 1990 will not be ensured, and as a consequence of the continuous increase in the number of passenger vehicles in the Republic of Croatia. To achieve the desired goal by 2030, the results of the modeled scenarios for the introduction of RES and e-fuels show that it is

necessary to achieve a combination of e-fuels and RES share ranging from 67,68% of e-fuels in the mix and 100% RES to 100% implementation of e-fuels with 72,53% RES, while to achieve carbon neutrality by 2050, it is necessary to achieve values in the range from 95,45% of e-fuels with 100% to 100% e-fuels combined with 95,4% RES, which, in any of the described cases, means that all or almost all fossil fuels should be eliminated by 2050 and that RES should be almost completely implemented.

Keywords: decarbonization, climate neutrality, transport, electric vehicles, e-fuels