

Analiza mjera energetske politike sektora transporta s osvrtnom na Integrirani nacionalni energetska i klimatski plan Republike Hrvatske

Gašpar, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2025

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:419768>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-28**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Ivan Gašpar

Zagreb, 2025. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori:

izv. prof. dr. sc. Tomislav Pukšec, dipl. ing.

Student:

Ivan Gašpar

Zagreb, 2025. godina.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se izv. prof. dr. sc. Tomislavu Pukšecu na mentorstvu, savjetima, strpljenju i vodstvu tijekom pisanja ovog rada. Zahvaljujem se i Luki Hercu i Josipu Miškiću na savjetima i uloženom vremenu kod modeliranja modela. Posebno se zahvaljujem svojoj obitelji i prijateljima koji su mi bili podrška tijekom cijelog trajanja studija.

Ivan Gašpar



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
Procesno-energetski, konstrukcijski, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodstrojarski

| | |
|-------------------------------------|--------|
| Sveučilište u Zagrebu | |
| Fakultet strojarstva i brodogradnje | |
| Datum | Prilog |
| Klasa: 602 - 04 / 25 - 06 / 1 | |
| Ur.broj: 15 - 25 - | |

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Ivan Gašpar** JMBAG: **0035225840**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Analiza mjera energetske politike sektora transporta s osvrtom na Integrirani nacionalni energetski i klimatski plan Republike Hrvatske**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Analysis of energy policy measures of the transport sector with special emphasis on the National energy and climate plan of Republic of Croatia**

Opis zadatka:

Nacionalni energetsko-klimatski plan ključni je strateški dokument svake države članice EU, kojim se definiraju ciljevi i mjere za smanjenje emisija stakleničkih plinova, povećanje energetske učinkovitosti i korištenje obnovljivih izvora energije. Omogućuje koordinirani pristup energetske tranziciji, pridonoseći održivom razvoju i energetske sigurnosti. Njihova važnost ogleda se u usklađivanju nacionalnih politika s ciljevima EU za 2030., čime se omogućuje učinkovitije korištenje resursa i financijskih instrumenata. Jedan od ključnih elemenata je ažuriranje nacionalnog plana i usklađivanje s kretanjem razvoja tehnologije i nacionalne energetske politike.

U radu je potrebno:

1. Prikazati pregled literature na temu ciljeva Europske unije s posebnim osvrtom na nacionalne energetske i klimatske planove.
2. Napraviti analizu Integriranog nacionalnog energetskeg i klimatskog plana Republike Hrvatske s posebnim osvrtom na transportni sektor.
3. Izraditi energetski model RH u LEAP-u (*eng. Low Emissions Analysis Platform*) te odabrati referentnu godinu u dogovoru s mentorom.
4. Izraditi 3 različita scenarija koja predstavljaju različite mjere energetske politike transportnog sektora RH te ih usporediti s Integriranim nacionalnim energetsko klimatskim planom RH za razdoblje od 2021. do 2030.
5. Provesti analizu osjetljivosti ekonomske isplativosti predloženih mjera.

Potrebni podaci i literatura se mogu dobiti kod mentora. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2024.

Datum predaje rada:

1. rok: 20. i 21. 2. 2025.
2. rok: 10. i 11. 7. 2025.
3. rok: 18. i 19. 9. 2025.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 24. 2. – 28. 2. 2025.
2. rok: 15. 7. – 18. 7. 2025.
3. rok: 22. 9. – 26. 9. 2025.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Tomislav Pukšec

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

SADRŽAJ

| | |
|--|-----|
| SADRŽAJ | I |
| POPIS TABLICA..... | III |
| POPIS KRATICA | IV |
| SAŽETAK..... | V |
| SUMMARY | VI |
| 1. UVOD..... | 1 |
| 1.1. Ciljevi Europske unije..... | 1 |
| 1.1.1. Klimatski ciljevi za 2030. | 1 |
| 1.1.2. Pariški sporazum | 1 |
| 1.1.3. Europski zeleni plan..... | 2 |
| 1.1.4. Spremni za 55% | 2 |
| 1.1.5. REPowerEU | 5 |
| 1.2. Integrirani nacionalni energetske i klimatske planove na razini EU | 6 |
| 1.3. Integrirani nacionalni energetske i klimatske plan Republike Hrvatske | 8 |
| 1.3.1. Usporedba verzija iz 2024. i 2023. | 8 |
| 1.3.2. Promet | 9 |
| 2. METODA | 13 |
| 2.1. LEAP..... | 13 |
| 2.2. Modeliranje energetske sustava | 17 |
| 2.2.1. Metoda | 17 |
| 2.2.2. Transformacije | 20 |
| 3. STUDIJA SLUČAJA | 24 |
| 3.1. Cestovni promet | 24 |
| 3.1.1. Cestovni prijevoz putnika | 24 |
| 3.1.2. Cestovni prijevoz robe | 26 |
| 3.2. Željeznički promet | 29 |
| 3.2.1. Željeznički prijevoz putnika..... | 29 |
| 3.2.2. Željeznički prijevoz robe | 29 |
| 3.3. Zračni promet..... | 30 |
| 3.4. Pomorski i riječni promet..... | 31 |
| 3.4.1. Pomorski prijevoz putnika | 31 |
| 3.4.2. Pomorski i riječni prijevoz robe..... | 32 |
| 4. REZULTATI | 33 |
| 4.1. Analiza broja vozila u prometu | 33 |
| 4.2. Analiza potrošnje energije u prometu | 36 |
| 4.3. Analiza emisije stakleničkih plinova | 40 |
| 4.4. Analiza troškova i koristi elektrifikacije prometa osobnih automobila | 41 |
| 5. ZAKLJUČAK..... | 42 |
| LITERATURA..... | 44 |

POPIS SLIKA

| | | |
|-----------|--|----|
| Slika 1. | Ciljevi plana REpowerEU | 6 |
| Slika 2. | Indikativna putanja udjela OIE u prometu [19]..... | 10 |
| Slika 3. | Shema TEN-T mreže na karti Europe [29] | 11 |
| Slika 4. | Izgled sučelja | 14 |
| Slika 5. | Prozor s postavkama modela | 15 |
| Slika 6. | Struktura kalkulacija u LEAP-u [20]..... | 16 |
| Slika 7. | Prikaz rezultata u grafičkom i tabličnom obliku | 17 |
| Slika 8. | Primjer prikaza analize pri analizi prometa..... | 18 |
| Slika 9. | Shema modula transformacija [22] | 21 |
| Slika 10. | Udjeli u instaliranom kapacitetu proizvodnje električne energije u 2023. godini. | 22 |
| Slika 11. | Udjeli u proizvodnji električne energije u 2023. godini..... | 22 |
| Slika 12. | Prozor svojstava modula transformacija | 23 |
| Slika 13. | Udjeli pogonskih goriva u osobnim automobilima | 25 |
| Slika 14. | Udjeli pogonskih goriva u motociklima i mopedima | 25 |
| Slika 15. | Udjeli pogonskih goriva u autobusima..... | 26 |
| Slika 16. | Udjeli vrsta vozila u cestovnom prijevozu putnika | 26 |
| Slika 17. | Udjeli pogonskih goriva u lakim teretnim vozilima..... | 27 |
| Slika 18. | Udjeli pogonskih goriva u kamionima | 28 |
| Slika 19. | Udjeli pogonskih goriva u cestovnim tegljačima | 28 |
| Slika 20. | Udjeli vrsta vozila u cestovnom prijevozu robe | 29 |
| Slika 21. | Udjeli pogonskih goriva u putničkim vlakovima | 29 |
| Slika 22. | Udjeli pogonskih goriva u teretnim vlakovima | 30 |
| Slika 23. | Udjeli pogonskih goriva u zrakoplovima | 31 |
| Slika 24. | Udjeli goriva u putničkim brodovima | 32 |
| Slika 25. | Udjeli pogonskih goriva u teretnim brodovima | 32 |
| Slika 26. | Ukupna broj vozila u prometu po godinama i scenarijima | 34 |
| Slika 27. | Broj vozila po vrstama goriva i godinama u scenariju sporije dekarbonizacije.... | 35 |
| Slika 28. | Broj vozila po vrstama goriva i godinama u scenariju ubrzane dekarbonizacije .. | 35 |
| Slika 29. | Udio vrsta goriva u osobnim automobilima u scenariju sporije dekarbonizacije . | 36 |
| Slika 30. | Udio vrsta goriva u osobnim automobilima u scenariju ubrzane dekarbonizacije | 36 |
| Slika 31. | Ukupna potrošnja energije u prometnom sektoru | 37 |
| Slika 32. | Potrošnja energije u prometnom sektoru po vrstama prijevoza u scenariju sporije dekarbonizacije..... | 38 |
| Slika 33. | Potrošnja energije u prometnom sektoru po vrstama prijevoza u scenariju ubrzane dekarbonizacije..... | 38 |
| Slika 34. | Potrošnja električne energije u prometu u scenariju sporije dekarbonizacije | 39 |
| Slika 35. | Potrošnja električne energije u prometu u scenariju ubrzane dekarbonizacije..... | 39 |
| Slika 36. | Dvadesetogodišnji GWP prometnog sektora i udjeli prometnih grana u njemu za scenarij sporije dekarbonizacije | 40 |
| Slika 37. | Dvadesetogodišnji GWP prometnog sektora i udjeli prometnih grana u njemu za scenarij ubrzane dekarbonizacije..... | 41 |

POPIS TABLICA

| | |
|--|----|
| Tablica 1. Usporedba ciljeva verzija plana iz 2023. i 2024. [18] i [19] | 9 |
| Tablica 2. Broj osobnih automobila po vrstama pogonskih goriva [24] | 24 |
| Tablica 3. Broj motocikala i mopeda po vrstama pogonskih goriva [24] | 25 |
| Tablica 4. Broj autobusa po vrstama pogonskih goriva [24] | 25 |
| Tablica 5. Broj lakih teretnih vozila po vrstama pogonskih goriva [24] | 26 |
| Tablica 6. Broj kamiona po vrstama pogonskih goriva [24] | 27 |
| Tablica 7. Broj cestovnih tegljača po vrstama pogonskih goriva [24] | 28 |
| Tablica 8. Broj lokomotiva i motornih vlakova po vrstama pogonskih goriva [25] | 29 |
| Tablica 9. Broj lokomotiva po vrstama pogonskih goriva [26] | 30 |
| Tablica 10. Broj zrakoplova po vrstama pogonskih goriva [27] | 30 |
| Tablica 11. Broj putničkih brodova po vrstama pogonskih goriva [28] | 31 |
| Tablica 12. Broj teretnih brodova po vrstama pogonskih goriva [28] | 32 |

POPIS KRATICA

| Kratika | Značenje |
|--------------------|--|
| CO ₂ eq | ekvivalent ugljikovog dioksida |
| OIE | obnovljivi izvori energije |
| COP | Konferencija stranaka |
| UNFCCC | Okvirna konvencija Ujedinjenih naroda o promjeni klime |
| EU | Europska unija |
| ETS | Emissions Trading System |
| ESR | Effort Sharing Regulation |
| CBAM | Carbon Border Adjustment Mechanism |
| GW | gigavat |
| NECP | National energy and climate plans |
| EK | Europska komisija |
| RH | Republika Hrvatska |
| kt | kilotona |
| PJ | petadžul |
| Mtoe | milijun tona ekvivalenta nafte |
| CO ₂ | Ugljikov dioksid |
| TEN-T | Trans-European Transport Network |
| MVA | megavolt-amper |
| LEAP | Low Emission Analysis Platform |
| TED | Technology and Environmental Database |
| IPCC | Intergovernmental Panel on Climate Change |
| GWP | Global Warming Potential |
| MW | Megavat |
| GWh | gigavatsat |

SAŽETAK

U prvom dijelu rada iznesen je pregled najvažnijih dokumenata Europske unije o njenim klimatskim ciljevima te je predstavljen Integrirani nacionalni energetska i klimatski plan Republike Hrvatske za razdoblje od 2021. do 2030., uz usporedbu ciljeva verzija iz 2023. i 2024. Posebno su predstavljene mjere Plana u prometnom sektoru. U drugome dijelu objašnjen je način rada programa Low Emissions Analysis Platform i korištenje stock turnover metode u analizi prometnog sektora. Treće poglavlje je studija slučaja prometnog sektora u Republici Hrvatskoj u 2023. godini. Prikazan je pregled svih grana prometnog sektora uz brojeve vozila i udjele pogonskih goriva. Na kraju su modelirana tri scenarija dekarbonizacije prometnog sektora i prikazani rezultati analiza scenarija u pogledu promjene broja vozila, potrošnje energije i emisija stakleničkih plinova. Provedena je i analiza troškova i koristi elektrifikacije prometa osobnih automobila.

Ključne riječi: NECP, prometni sektor, LEAP, energetska model, stock turnover, dekarbonizacija

SUMMARY

The first part of the paper provides an overview of the most important documents of the European Union on its climate goals and presents the Integrated National Energy and Climate Plan for the Republic of Croatia for the period 2021–2030, along with a comparison of the goals of the 2023 and 2024 versions. Special attention is given to the Plan's measures in the transport sector. The second part explains how the Low Emissions Analysis Platform program works and the use of the stock turnover method in analyzing the transport sector. The third chapter is a case study of the transport sector in the Republic of Croatia in 2023. An overview of all branches of the transport sector is presented, along with vehicle numbers and fuel shares. Finally, three scenarios for decarbonization of the transport sector are modeled, and the results of scenario analyses are presented in terms of changes in vehicle numbers, energy consumption, and greenhouse gas emissions. A cost-benefit analysis of passenger car electrification has also been conducted.

Key words: NECP, transport sector, LEAP, energy model, stock turnover, decarbonization

1. UVOD

1.1. Ciljevi Europske unije

Europska unija je prepoznala utjecaj koji klimatske promjene već danas imaju na naš život i okoliš te kako će se one još pogoršati ukoliko se ne poduzmu sveobuhvatni koraci kako bi se one usporile, a u konačnici i zaustavile. U skladu s time postavljen je cilj smanjenja emisija stakleničkih plinova do 2030. godine od barem 55% u odnosu na one iz 1990. godine. To je ujedno prijelazni cilj koji bi omogućio Europi da postane prvi klimatski neutralan kontinent do 2050. godine [1].

1.1.1. Klimatski ciljevi za 2030.

Uz već prethodno navedene ciljeve, Europska je unija zacrtala i ciljeve po pojedinim sektorima kako bi se postigli glavni ciljevi. Tako se u energetske sektoru teži smanjenju emisija stakleničkih plinova od 75%, a u zgradarstvu 36%. Također, u sektoru korištenja zemljišta, prenamjene zemljišta i šumarstva, kako bi se postigla klimatska neutralnost do 2050. godine, potrebno je povećati ponor ugljika na 300 milijuna tona CO₂eq do 2030. godine. Prometni sektor ima najmanji udio korištenja energije iz obnovljivih izvora energije (OIE), 9.6% ukupne potrošnje energije u 2022., a cilj je postići oko 24% do 2030 [2].

1.1.2. Pariški sporazum

Kako su i Europska unija i sve njezine članice ujedno i potpisnice takozvanog Pariškog sporazuma, i njeni su ciljevi u skladu s odredbama Pariškog sporazuma. Pariški je sporazum izglasan 12. prosinca 2015. godine na zasjedanju Konferencije stranaka (COP21) Okvirne konvencije Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC) u Parizu, a glavni su mu ciljevi zadržavanje porasta prosječne globalne temperature znatno ispod 2°C u odnosu na predindustrijske te poduzimanje mjera ograničavanja rasta prosječne globalne temperature iznad 1.5°C razina predindustrijskog razdoblja. Uz to, stranke potpisnice su se obavezale osnažiti sposobnosti prilagođavanja štetnim posljedicama klimatskih promjena, poticati klimatsku otpornost i smanjiti emisiju stakleničkih plinova na način kojim se ne ugrožava proizvodnja hrane te osigurati financiranje projekata koji bi pomogli u ostvarenju tih ciljeva [3]. Kao što je i naglašeno u samome dokumentu, kod provedbe sporazuma treba se u obzir uzeti i socio-ekonomski položaj u kojem se stranka potpisnica nalazi.

1.1.3. Europski zeleni plan

U svrhu ispunjenja ciljeva zacrtanih u Pariškome sporazumu, Europska je unija je 2019. godine iznijela europski zeleni plan. On predstavlja novu strategiju rasta EU koja uzima u obzir nošenje s trenutačnim klimatskim promjenama, a želi europsko društvo preobraziti u prosperitetno društvo s učinkovitim, održivim i globalno konkurentnim gospodarstvom. Također, želi se prekinuti ovisnost rasta gospodarstva o povećanju potrošnje resursa. To je okvirni plan s mjerama za unaprjeđenje učinkovitog iskorištavanja resursa prelaskom na čisto kružno gospodarstvo te za zaustavljanje klimatskih promjena. Kružno gospodarstvo označava model proizvodnje i potrošnje koji za cilj ima produljenje životnog vijeka proizvoda recikliranjem, dijeljenjem, obnavljanjem, popravljanjem i ponovnim korištenjem materijala i proizvoda. Time se maksimalno smanjuje proizvedena količina otpada i čuvaju postojeći resursi. Plan obuhvaća sve sektore gospodarstva s posebnim naglaskom na energetiku, industriju, promet, zgradarstvo i poljoprivredu [4]. Ciljevi iz europskog zelenog plana postali su zakon prihvaćanjem Europskog zakona o klimi.

1.1.4. Spremni za 55%

Europska komisija je u srpnju 2021. godine predložila je komplet mjera kojima bi se ciljevi artikulirani u Pariškom sporazumu i Europskom zelenom planu mogli postići pod imenom Spremni za 55%, a zadnje mjere predložene u kompletu usvojene su 2024. godine. Neke mjere uspostavljaju potpuno nove koncepte i politike, dok su druge ambicioznije revizije već postojećih politika.

Tako komplet uključuje reformu sustava EU-a za trgovanje emisijama (EU ETS), prvotno uvedenog 2005., uključivanjem pomorskog prometa brodova većih od 5000 bruto tona u sustav, osnivanje posebnog sustava EU ETS2 za sektor zgradarstva i cestovnog prometa, povećanjem financiranja modernizacijskog i inovacijskog fonda za dekarbonizaciju sektora u ETS-u, smanjenje ukupnog količine emisijskih jedinica na tržištu te povećanje godišnje stope smanjenja njihovog broja na tržištu. Ovim mjerama će se cilj smanjenja emisija stakleničkih plinova iz sektora obuhvaćenim EU ETS sustavom, koji su odgovorni za oko 40% emisija, do 2030. povećati s početnih 43% na 62% u odnosu na 2005. godinu [5].

Uz to, revidirana je i Uredba o raspodjeli tereta (ESR) koja se odnosi na sektore prometa, zgradarstva, poljoprivrede i otpada. U ovim se sektorima trenutačno proizvodi oko 60% ukupnih emisija EU-a, a revizijom je cilj smanjenja emisija tih sektora u odnosu na 2005.

povećan s 29% na 40%. Također, ažurirana je i Uredba o korištenju zemljišta i šumarstvu, čime je cilj uklanjanja ugljika povećan s 225 milijuna tona ekvivalenta CO₂ na 310 milijuna tona [6].

Kako bi se smanjile emisije stakleničkih plinova u prometnome sektoru, u kojem nastaje gotovo 25% ukupnih emisija stakleničkih plinova u EU, većinski dijelom u cestovnom prometu, dok zračni odnosno pomorski promet čine gotovo cijeli ostatak emisija u sektoru prometa, donesena je Uredba o infrastrukturi za alternativna goriva. Ona utvrđuje konkretne ciljeve kojima bi se omogućilo i olakšalo značajno povećanje broja eklektičnih vozila i vozila na alternativna goriva, to jest vozila koja koriste vodik ili ukapljeni metan kao pogonsko gorivo. Što se tiče cestovnog prometa, glavne odrednice su razvoj i proširenje infrastrukture punionica za električna vozila, punionica vodika i ukapljenog plina. Punionice za električna vozila moraju se nalaziti barem svakih 60 kilometara na glavnim prometnicama, a one za vodik svakih 200 kilometara. Punionice ukapljenog metana se moraju nalaziti barem uz glavne prometnice kako bi se omogućilo nesmetano kretanje vozila na ukapljenim metan širom EU. Također, punionice za električna vozila i vodik morat će se nalaziti i u samim gradskim čvorovima. U pomorskome sektoru, određeno je kako će najmanje 90% kontejnerskih i putničkih brodova u najvećim lukama morati imati pristup opskrbi električnom energijom s kopna, kao i postojanje jednog postrojenja za opskrbu električnom energijom u većini unutarnjih plovnih putova. Sve zračne luke s više od 10 000 letova godišnje morat će osigurati opskrbu električnom energijom za sva zrakoplovna parkirališna mjesta pokraj terminala do 2025., a za ona parkirna mjesta udaljena od terminala do 2030. godine [7]. Uz zrakoplovni i pomorski promet povezane su i inicijative „ReFuelEU Aviation“ odnosno „FuelEU Maritime“. One imaju za cilj smanjenje ugljičnog otiska tih dvaju sektora i povećanje udjela upotrebe održivih goriva. Tako je inicijativom „ReFuelEU Aviation“ propisan minimalni udio distribuiranih održivih goriva u zrakoplovnom prometu, koji se postupno povećava svakih 5 godina, zabranjeno je prekomjerno punjenje zrakoplova gorivom kako bi se izbjegle emisije uzrokovane dodatnom masom zrakoplova te su zračne luke obvezne osigurati potrebnu infrastrukturu za opskrbu, skladištenje i punjenje održivim zrakoplovnim gorivima. Inicijativa „FuelEU Maritime“ se odnosi na brodove teže od 5 000 bruto tona, koja proizvode 90% emisija cijelog pomorskog prometnog sektora, i obvezuje ih postupno smanjivati intenzitet stakleničkih plinova energije koja se upotrebljava na brodu, kao i povezivanje na opskrbu električnom energijom s kopna dok su privezani u pristaništu [8].

Kako bi se spriječilo puko premještanje zagađenja okoliša iz prostora nadležnosti EU u države s lošijim standardima zaštite okoliša i mitigacije klimatskih promjena, uveden je Mehanizam

za ugljičnu prilagodbu na granicama (CBAM). Ovaj mehanizam djeluje u skladu sa sustavom EU za trgovanje emisijama tako što bi uvoznici proizvoda obuhvaćenih mehanizmom, poput željeza, čelika, cementa, električne energije i drugih koji imaju visoke emisije ugljika u proizvodnji, iz EU-a morali kupiti certifikate o CBAM-u kako bi se pokrila razlika u cijeni koja proizlazi iz ETS-a. Dodatna posljedica mehanizma je i poticanje ostalih zemalja na uvođenje sustava sličnih ETS-u [9].

U nastojanju da se smanje emisije stakleničkih plinova, revidirana je i Direktiva o energiji iz obnovljivih izvora. Time je povećan cilj udjela energije iz obnovljivih izvora energije s 30% na 42,5% s dodatnih 2,5% do 2030. U sklopu revizije zadana su i ciljevi po pojedinim sektorima. Tako se u sektoru industrije stremi ka godišnjem povećanju uporabe električne energije iz obnovljivih izvora od 1,6% te cilju da 42% vodika korištenog u industriji dolazi iz obnovljivih goriva nebiološkog podrijetla, a u sektoru grijanja i hlađenja k povećanju od 0,8% na godišnjoj razini do 2026., a nakon toga 1,1%. U zgradarstvu je cilj 49% iskorištene energije proizvedene iz OIE. Također, u prometnome sektoru je državama članicama dato na izbor ili smanjenje intenziteta emisija iz goriva namijenjenih uporabi u prometu od 14,5% ili povećanje udjela OIE u prometu od 29%. Uz to, nova pravila žele omogućiti brže izdavanje dozvola za nove projekte time što će se projekti OIE tretirati kao projekti od prevladavajućeg javnog interesa te povećanje održivosti korištenja bioenergije iz biomase [10].

Sektor industrije, zgradarstva i prometa su glavni sektori obuhvaćeni i revizijom Direktive o energetske učinkovitosti kojom će smanjenje konačne potrošnje energije postati obavezno za sve članice EU. Cilj je smanjiti konačnu potrošnju energije za 11,7% u 2030. u odnosu na predviđanja za konačnu potrošnju energije u 2030. iz 2020. godine, odnosno za 38% u odnosu na predviđanja iz 2007. Ušteda energije je najisplativije je rješenje za klimatski prihvatljiviji energetske sustav. Tako se teži prosječnom godišnjem smanjenju konačne potrošnje energije od 1,49%, uz dostizanje smanjenja od 1,9% za 2030. godinu. U javnome sektoru cilj je svakogodišnje smanjenje konačne potrošnje od 1,9% te energetska obnova zgrada u vlasništvu javnih tijela kako bi se poboljšala i njihova energetska učinkovitost i to u mjeri koja svake godine označuje 3% ukupne podne površine zgrada u vlasništvu javnih tijela [11].

O povećanju energetske učinkovitosti zgrada govori i Direktiva o energetske svojstvima zgrada koja je također revidirana u sklopu paketa Spremnosti za 55%. Gotovo 75% zgrada u EU je energetske neučinkovito tako da ovaj sektor posjeduje vrlo veliki potencijal za smanjenje emisija stakleničkih plinova i povećanje energetske učinkovitosti. Zgradarstvo je trenutačno

odgovorno za 36% svih emisija stakleničkih plinova povezanih s energijom tako da je potrebno uvođenje novih i ambicioznijih standarda energetske učinkovitosti i za stambene i za nestambene zgrade. Uz smanjenje korištenja primarne energije od barem 16% do 2030. te korištenja više energije iz OIE, potrebno je u zgradama osnažiti i infrastrukturu namijenjenu električnim automobilima i biciklima [12].

Paket mjera za tržište vodika i dekarboniziranog plina ima za cilj restrukturirati energetske sektor smanjenjem uporabe fosilnih goriva i prelaskom na OIE. Kako bi se smanjila potrošnja prirodnog plina potiče se primjena plinova iz obnovljivih izvora, poput bioplina i biometana koji nastaju iz organskih izvora te sintetičkog metana i vodika iz obnovljivih izvora koji nastaju u nebiološkim izvorima, i niskougljičnih plinova. Niskougljični plinovi su svi oni plinovi koji tijekom svojeg cijelog životnog ciklusa proizvedu barem 70% manje emisija stakleničkih plinova od prirodnog plina iako se ne proizvode iz obnovljivih izvora. Uz to, uspostavlja se tržište vodika i posebna infrastruktura za vodik kako bi se mogli postići ciljevi 40 gigawata kapaciteta elektrolizatora vodika iz obnovljivih izvora i 10 milijuna tona vodika iz obnovljivih izvora. Također, integrirat će se plinovi iz obnovljivih izvora i niskougljični plinovi u plinsku mrežu, te omogućiti bolje suradnja pri planiranju električnih, plinskih i mreža za vodik [13].

Metan je drugi po količini emisija staklenički plin, samo iza ugljikova dioksida. Iako čini tek nešto više od 11% ukupnih emisija stakleničkih plinova 2020., odgovoran je za otprilike 30% globalnog zatopljanja. Razlog tomu je što metan posjeduje veću sposobnost hvatanja topline te zbog toga ima 84 puta veći potencijal globalnog zagrijavanja od ugljikovog dioksida. Države članice obvezuju se trenutačno smanjiti emisije metana otkrivanjem i sanacijom njegovog istjecanja te ograničavanjem njegovog ispuštanja u pogonima za proizvodnju energije [14].

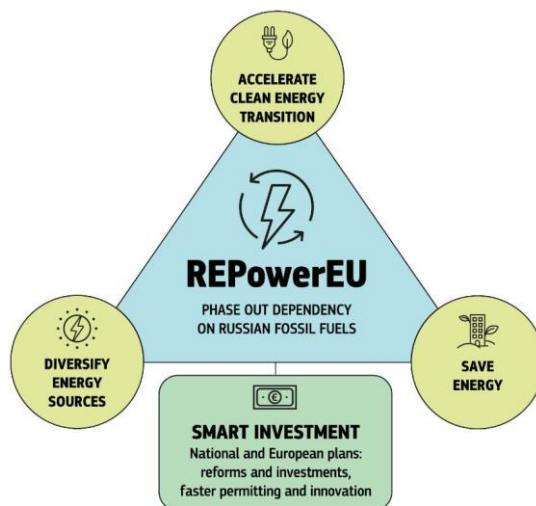
Kako bi se ranjivim skupinama i malim poduzećima olakšala zelena tranzicija i ublažio rast cijena energenata, uveden je Socijalni fond za klimatsku politiku s proračunom od 65 milijardi eura u razdoblju od 2026. do 2032. Fond će biti financiran i prihodom od prodaje emisijskih jedinica u ETS-u te će moći biti korišten kao izravna potpora dohotku ranjivih građana ili kao ulaganje u povećanje energetske učinkovitosti zgrada, njihovu obnovu, dekarbonizaciju grijanja i hlađenja ili kao poticaj za prijevoz s nultim ili niskim emisijama stakleničkih plinova [15].

1.1.5. REPowerEU

Plan „REPowerEU“ nastao je 2022. godine kao odgovor na drastične promjene u energetske sektoru nastalim ruskom invazijom Ukrajine. Cilj je što prije smanjiti ovisnost EU o ruskim

fosilnim gorivima ubrzanjem prelaska na čistu energiju i udruživanjem snaga država članica.

Uz to uvedene su nove mjere koje se tiču uštede energije, diverzifikaciju uvoza fosilnih goriva i pametnog kombiniranja ulaganja i reformi.



Slika 1. Ciljevi plana REpowerEU

U pogledu uštede energije, predložena je revizija cilja iz Direktive o energetskej učinkovitosti na 13% smanjenja konačne potrošnje energije. Potrebno je i optimizirati uporabu infrastrukturu za uvoz, skladištenje i transport plina, postići sporazume s pouzdanim partnerima o uvozu plina te objediniti potražnju zajedničkom kupnjom plina i vodika. Također, kako bi se smanjila ovisnost o ruskome plinu povećan je cilj Direktive o energiji iz obnovljivih izvora na 45% do 2030., povećan je i cilj proizvodnje energije iz solarni fotonaponski modula na 600 GW do 2030. Prezentirana je i Strategija EU-a za solarnu energiju kojom se želi promicati postavljanje i korištenje fotonaponske tehnologije, pojednostaviti i skratiti proces izdavanja dozvola za iste, osigurati dovoljan broj kvalificirane radne snage za uvođenje solarne energije te uspostaviti Savez EU-a za solarnu fotonaponsku industriju [16].

1.2. Integrirani nacionalni energetske i klimatske planovi na razini EU

Kako bi se ciljevi cjelokupne EU uspješno pretočili i implementirali na nacionalnoj razini, Uredbom o upravljanju energetskeom unijom i djelovanjem u području klime (EU)2018/1999 propisana je izrada integriranih nacionalnih energetske i klimatske planova (NECP) pojedinih zemalja članica [17]. Ti planovi izražavaju ciljeve i strategije svake pojedine članice u područjima energetike i klime. Planovi se izrađuju za desetgodišnje razdoblje, a prvo je od 2021. do 2030. godine uz redovita ažuriranja i izvješća o napretku. Pri izradi i naknadom

ažuriranju nacionalnih planova uzeti su u obzir ciljevi utvrđeni u okviru europskog zelenog plana, europskog propisa o klimi, paketu „Spremni za 55%“ i plana REPowerEU.

Podijeljeni su u pet dimenzija: dekarbonizacija, energetska učinkovitost, energetska sigurnost, unutarnje energetske tržište te istraživanje, inovacije i konkurentnost. Dimenzija dekarbonizacije bavi se smanjenjem emisija stakleničkih plinova, povećanjem kapaciteta ponora stakleničkih plinova održivim upravljanjem šumama te povećanjem udjela OIE u proizvodnji energije, dok je dimenzija energetske učinkovitosti fokusirana na načine poboljšanja energetske učinkovitosti u svim sektorima smanjenjem potrošnje energije, kao što je na primjer energetska obnova zgrada. Energetska sigurnost nastoji se postići diverzifikacijom izvora energije čime se smanjuje ovisnost o uvozu energenata te povećanjem otpornosti energetske sustava na prirodne katastrofe i geopolitička previranja. Zatim, u kontekstu dimenzije unutarnjeg energetske tržišta misli se na povezivanje nacionalnih energetske sustava u jedinstveno europsko tržište uklanjanjem tržišnih prepreka, unaprjeđenjem prekogranične infrastrukture te potpunom liberalizacijom tržišta električne energije. Dimenzijom istraživanja, inovacija i konkurentnosti nastoji se potaknuti ulaganja u nove tehnologije koje bi omogućile lakšu i efikasniju tranziciju k održivoj i zelenoj ekonomiji. To se želi postići pojednostavljuvanjem zakonskog okvira za ulaganja te potporama i financiranjem istraživanja i razvoja. Naravno, iako se pojedina predložena mjera u planu primarno odnosi na jednu od dimenzija nacionalnog energetske i klimatskog plana, većina njih će imati utjecaj i na barem još jednu dimenziju, s obzirom kako je cijelo područje vrlo povezano.

Planovi uz nove politike i mjere daju i pregled postojećih energetske i klimatske strategija i politika te analizu trenutnog stanja energetske sektora. Predstavljaju obuhvatan pristup borbi s klimatskim promjenama. U planovima se obrađuju mjere iz različitih sektora gospodarstva kako bi lakše postigli zadani ciljevi smanjenja emisija stakleničkih plinova od barem 55% u odnosu na razine iz 2005. do 2030. i postizanje klimatske neutralnosti do 2050. godine.

Uspješnom implementacijom ovih planova EU će osigurati ulogu globalnog predvodnika u politikama borbe s klimatskim promjenama, potaknuti njihovo širenje u ostalim državama svijeta, a ujedno i svojim građanima pružiti kvalitetniji i sigurniji život. Smanjenjem zagađenja cjelokupnog okoliša, i zraka i tla i voda, smanjit će se i njegov utjecaj na zdravlje europskih građana. Također, kroz inovacije te širenje i uvođenje novih tehnologija dolazi do potrebe za novim radnim mjestima u različitim područjima ljudskih djelatnosti, čime se osnažuju lokalne

ekonomije i povisuje standard građana. Kroz diverzifikaciju izvora energije i većom proizvodnjom električne energije iz OIE smanjuje se i ovisnost europskog energetskeg sustava o stranim energentima, poglavito o ruskome plinu. Time se osigurava stabilna i sigurna opskrba energijom te potiče domaća proizvodnja. Većom domaćom proizvodnjom osigurava se i manji negativni utjecaj globalnih konflikata i ratova na europsko energetske tržište i opskrbu energijom, kao što ga je imala ruska invazija na Ukrajinu. Postojanjem jasnih i ambicioznih dugoročnih planova i strategija dolazi i do predvidljivosti budućih politika i koraka k ostvarivanju zacrtanih ciljeva čime se ulagačima u bilo kojoj grani industrije pruža sigurnost u provođenju projekata te olakšavaju i potiču ulaganja u europsku energetske infrastrukturu i gospodarstvo općenito.

1.3. Integrirani nacionalni energetske i klimatske plan Republike Hrvatske

Kao što je i predviđeno od strane Europske komisije (EK), Republika Hrvatska je prvi nacrt Integriranog nacionalnog energetskeg i klimatskeg plana podnesla 2018. godine. Zatim je, uz uvažavanje preporuka i ocjena EK, 2019. podnesena finalna verzija. U skladu s Uredbom o upravljanju energetskeg unijom i djelovanjem u području klime, sve države članice su 2023. morale podnijeti nove ažurirane nacрте NECP-a. U tim nacrtima trebalo je ažurirati stare mjere i primijeniti nove kako bi se postigli novi ambiciozniji ciljevi EU izraženi u dokumentima objavljenim i usvojenim nakon podnašanja finalnih verzija NECP-a 2019. Nakon toga, ponovljen je postupak ocjenjivanja i davanja preporuka od strane EK te ažurirana finalna verzija NECP-a RH bila u javnoj raspravi do 12. prosinca 2024. godine.

NECP se nadovezuje na već postojeće strategije i planove Republike Hrvatske, kao što su Strategija energetskeg razvoja, Dugoročna strategija obnove nacionalnog fonda zgrada, Strategija niskougljičnog razvoja, Strategija prilagodbe klimatskim promjenama i mnogi drugi zakoni i podzakonski akti. Plan daje i pregled nacionalnih ciljeva za svaku od pet ključnih dimenzija energetske unije te odgovarajuće mjere i politike kojima bi se ti ciljevi ostvarili. Energetska unija je plan Europske komisije koji za cilj ima osiguranje cjenovno pristupačne, sigurne i održive energije europskim građanima.

1.3.1. Usporedba verzija iz 2024. i 2023.

Nova finalna verzija Plana izražava cilj smanjenja emisija stakleničkih plinova u ETS sektoru od 62% u odnosu na razine iz 2005. godine, što je povećanje cilja u odnosu na one izražene u ažuriranom nacrtu iz 2023. prema kojem je cilj bio samo 50,2%, dok je cilj smanjenja emisija sektora van ETS-a 16,7% i nije se mijenjao između novih verzija. U novoj finalnoj verziji Plana

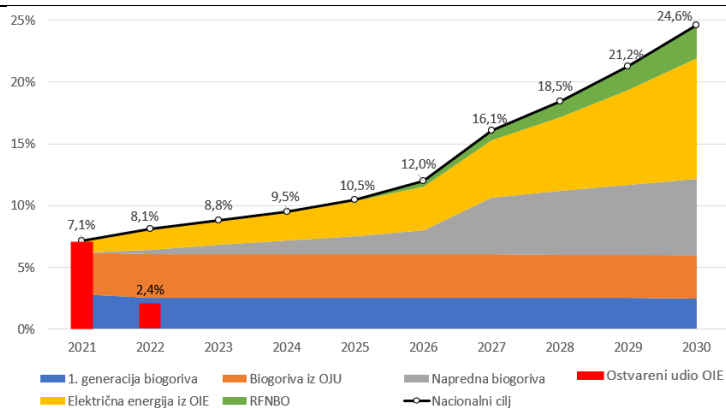
izrečen je i potpuno novi cilj vrijednosti uklanjanja stakleničkih plinova u 2030. od -5 527 kt CO₂eq, što predstavlja povećanje od 593 kt CO₂eq u odnosu na prosjek između 2016. i 2018. godine. Između verzija zadržan je cilj udjela OIE u bruto neposrednoj potrošnji energije od 42,5%, ali je povećan cilj udjela OIE u neposrednoj potrošnji energije u prometu s 21,6% na 24,6%. U pogledu energetske učinkovitosti, cilj potrošnje primarne energije, to jest ukupne potrošnje energije umanjeње za neenergetsku potrošnju je postrožen s 340,9 PJ, odnosno 8,14 Mtoe, na 336,9 PJ, to jest 8,05 Mtoe. Također u toj dimenziji, cilj neposredne potrošnje energije smanjen je sa 274,2 PJ, to jest 6,55 Mtoe, na ambicioznijih 246,2 PJ, odnosno 5,88 Mtoe.

Tablica 1. Usporedba ciljeva verzija plana iz 2023. i 2024. [18] i [19]

| Indikator | Cilj 2023. | Cilj 2024. |
|--|-------------------------|------------------------------|
| Smanjenje emisija stakleničkih plinova u ETS sektoru, u odnosu na 2005. godinu | -50,2% | -62% |
| Smanjenje emisija stakleničkih plinova u sektorima izvan ETS-a, u odnosu na 2005. godinu | -16,7% | -16,7% |
| Vrijednost neto uklanjanja stakleničkih plinova u 2030. | / | -5 527 kt CO ₂ eq |
| Udio obnovljivih izvora energije (OIE) u bruto neposrednoj potrošnji energije | 42,5% | 42,5% |
| Udio obnovljivih izvora energije (OIE) u neposrednoj potrošnji energije u prometu | 21,6% | 24,6% |
| Potrošnja primarne energije (ukupna potrošnja energije bez neenergetske potrošnje) | 340,9 PJ (8,14 Mtoe) | 336,9 PJ (8,05 Mtoe) |
| Neposredna potrošnja energije | 274,2 PJ (6,55 Mtoe) | 246,2 PJ (5,88 Mtoe) |

1.3.2. Promet

Prometni sektor u Republici Hrvatskoj je i dalje uvelike ovisan o uporabi fosilnih goriva čime on negativno utječe na naš okoliš. To je vidljivo u podacima da je udio osobnih vozila na električni pogon manji od 0,3%, a udio OIE u neposrednoj potrošnji energije u prometu od samo 2,4% u 2022. godini. Ovi podaci nam također govore kako u RH nije dovoljno razvijeno tržište električnih vozila, dok tržište vodikom i potrebna javno dostupna infrastruktura u prometnom sektoru ne postoji.

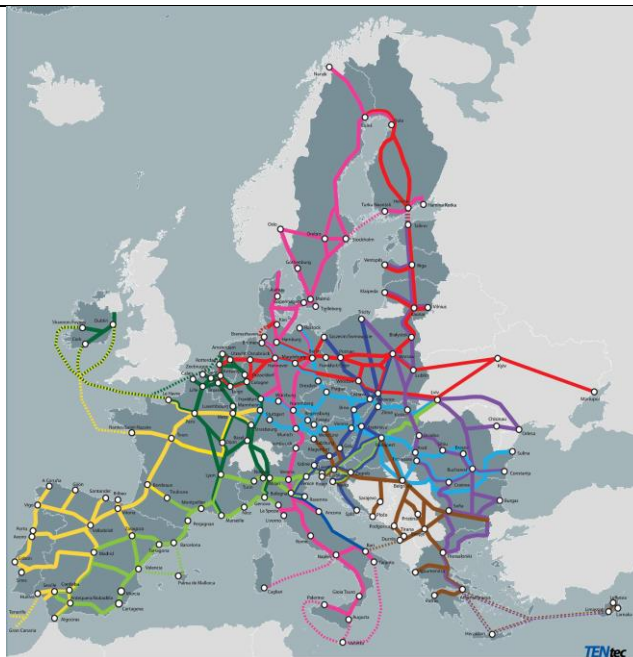


Slika 2. Indikativna putanja udjela OIE u prometu [19]

Mjere kojima se promet želi učiniti održivim, smanjiti emisije stakleničkih plinova u prometu te postići ciljeve udjela OIE u neposrednoj potrošnji energije u prometu od 42,5% i smanjenja potrošnje neposredne potrošnje energije u prometu od 5,2 PJ u 2030. većinom su izražene kao dio mjera dimenzije dekarbonizacije.

Tako se korištenjem regulatornih instrumenata, to jest propisa, standarada ili poreza mogu potaknuti promjene navika građana u prometnome sektoru. To uključuje poticanje upotrebe vozila s manjim emisijama stakleničkih plinova, korištenje javnog prijevoza te pješačkih i biciklističkih staza. Te promjene ponašanja mogu se potaći informiranjem potrošača o ekonomičnosti potrošnje goriva i emisiji CO₂ novih osobnih automobila, naplatom posebne naknade za okoliš za vozila na motorni pogon, naplatom posebnog poreza na motorna vozila te unaprjeđenjem infrastrukture za alternativna goriva. U javnome sektoru promiče se javna nabava čistih vozila u cestovnom prometu.

Programom sufinanciranja kupnje novih vozila na alternativna goriva i razvoja infrastrukture za alternativna goriva u cestovnom prometu definirat će se linije sufinanciranja za kupnju vozila svih kategorija s pogonom na alternativna goriva. Osim sufinanciranja kupnje vozila, putem javnih poziva, sufinancirat će se i projekti infrastrukture za opskrbu alternativnim gorivima. Tim aktivnostima će se povećati broj mjesta za opskrbu vozila električnom energijom u stambenim područjima te instalirana snaga za opskrbu vozila na glavnim cestama u sklopu transeuropske prometne mreže (TEN-T) i gradskim čvorištima. Uz to povećat će se i broj postaja za opskrbu vodikom, a samim time i broj vozila s pogonom na alternativna goriva.



Slika 3. Shema TEN-T mreže na karti Europe [29]

Unaprjeđenjem sustava javnog prijevoza i promicanjem održivog integriranog prometa kroz optimiziranje logistike prijevoza tereta, uvođenjem platformi za integrirani prijevoz putnika, car-sharing sustava, nisko-emisijskih zona te sustava javnih gradskih bicikala u gradovima može se znatno smanjiti emisija stakleničkih plinova i onečišćujućih tvari te postići velika ušteda energije. Uz to, cilj ove mjere je i modernizirati javni prijevoz nabavkom autobusa s električnim ili pogonom na vodik te nabavkom novih niskopodnih i poluniskopodnih tramvaja. U sklopu mjere potiču se i projekti razvoja potpuno autonomnih električnih vozila pete razine autonomije.

U pomorskom prometu i prometu unutarnje plovidbe poticat će se izgradnja infrastrukture za opskrbu brodova električnom energijom, vodikom, ukapljenim prirodnim plinom s kopna te nabava plovila s pogonom na alternativna goriva. Cilj je postaviti ovakvu infrastrukturu instalirane snage 80 MVA u sedam morskih luka te četiri luke unutarnjih plovnih putova do 2030.

Plan razvoja energetski učinkovitog željezničkog prometa temelji se na unaprjeđenju sustava upravljanja i održavanja željezničke infrastrukture, obnovi i modernizaciji infrastrukture, integraciji željeznica u javni prijevoz te ugradnji infrastrukture za korištenje obnovljivih i alternativnih izvora energije. Gdje nije izvediva elektrifikacija željezničkih pruga u sklopu TEN-T mreže, treba se izgraditi dovoljan broj postaja za opskrbu električnom energijom ili vodikom. Cilj je izgraditi 6 ovakvih operativnih lokacija do 2030. Osvremenjivanjem

željezničke infrastrukture povećat će se kvaliteta usluge, a time i broj putnika. Uz to, potrebno je povećati kapacitet željezničke infrastrukture u lukama te osigurati povezanost sa zračnim lukama.

Što se tiče zračnog prometa, potrebno je osigurati opskrbu električnom energijom i pretkondicioniranim zrakom zrakoplova u mirovanju. Ta infrastruktura je potrebna na svim terminalima za komercijalni zračni prijevoz do 2025. godine, a do 2030. i za sve položaje udaljene od terminala. Električna energija koja se za to koristi može ili dolaziti iz mreže ili se proizvoditi na licu mjesta iz obnovljivih izvora. Cilj je 40 jedinica za opskrbu električnom energijom i 50 za opskrbu pretkondicioniranim zrakom u 7 zračnih luka iz TEN-T mreže do 2030. godine.

Kako bi se razvilo tržište niskougljičnih goriva potrebno je razraditi i implementirati planove i programe proizvodnje i korištenja naprednih biogoriva, sintetičkih goriva i održivih zrakoplovnih goriva. Kroz subvencije i poticaje može se pružiti podrška tvrtkama i pilot projektima koje se bave održivim biogorivima. Također je potrebno jačanje suradnje sa znanstvenom zajednicom u tim područjima te razvijanje edukacijskih programa za osposobljavanje radne snage.

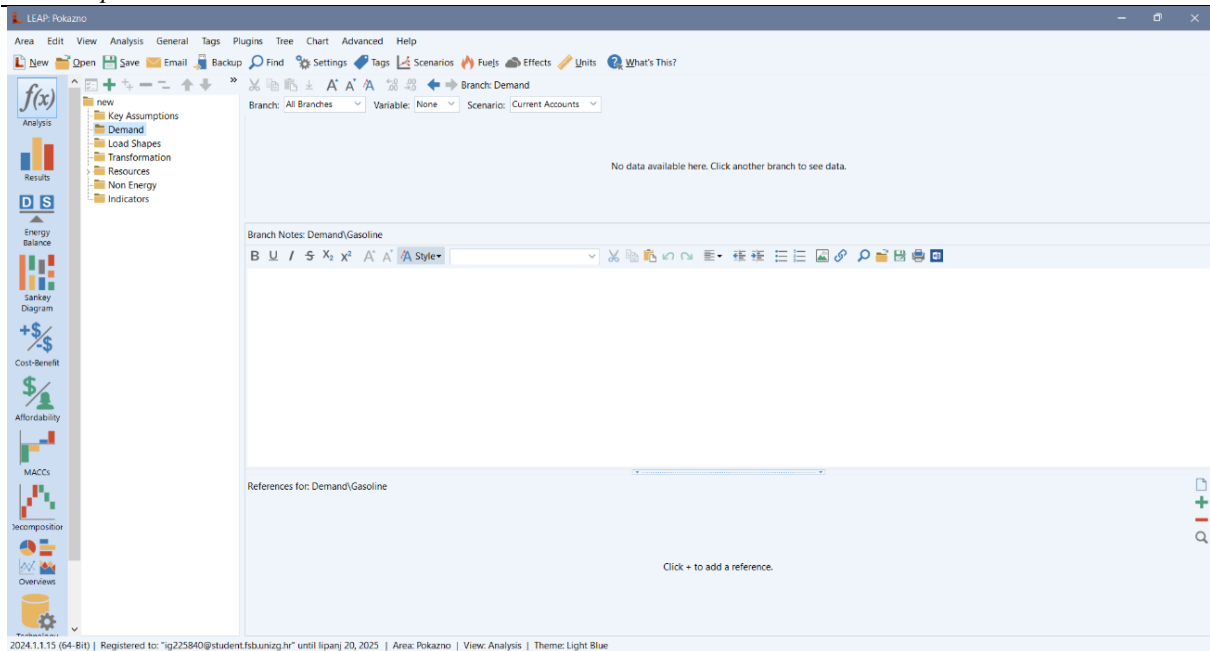
Također, bit će provedena analiza trenutnog sustava subvencija za fosilna goriva kako bi se utvrdila dinamika njihovog ukidanja, a da se ne nanese velika šteta najsiromašnijim građanima te socijalne programe kako bi se negativne posljedice ukidanja ublažile.

2. METODA

2.1. LEAP

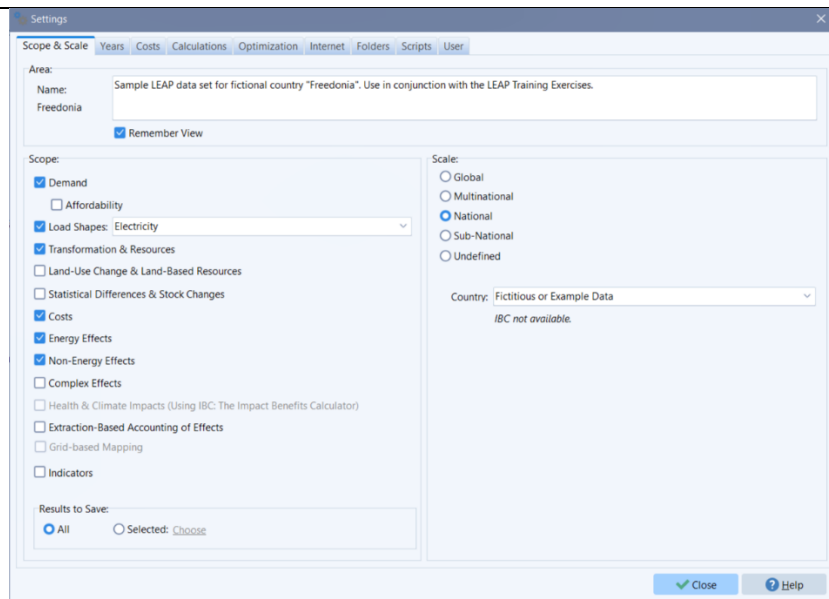
Low Emissions Analysis Platform (LEAP) je softverski alat za analizu energetske politike i procjenu ublažavanja klimatskih promjena. Alat je razvio Stockholm Environment Institute, švedska organizacija koja se bavi istraživanjem održivog razvoja i okolišem. Cilj im je pružiti alate koji omogućuju procjenu utjecaja raznih politika i mjera na okoliš. Alat omogućuje modeliranje cjelokupnog energetske sustava, emisija zagađivača, utjecaja na zdravlje, kao i ekonomsku analizu mjera na srednji ili dugi rok. Pomoću LEAP-a možemo pratiti potražnju i proizvodnju energije te dostupnost i vađenje resursa.

LEAP je prilagođen korisnicima što omogućuje korištenje širokom spektru ljudi, od stručnjaka, istraživača, modelara do tvorca politika. Posjeduje veliku bazu podataka, nazvanu Technology and Environmental Database (TED) koja sadrži podatke poput mjernih jedinica, karakteristika raznih goriva ili zagađivača čime omogućuje vrlo jednostavno postavljanje modela uz mali potrebni početni skup podataka. Uz to, omogućeno je i postavljanje i definiranje novih goriva i njihovih emisija pri izgaranju koja nisu već dio opsežne baze podataka ili revidirati postojeće. Također, modeli se mogu raditi na različitim razinama, od lokalne, preko nacionalne do regionalne pa čak i globalne. Alat je temeljen na konceptu scenarija koji se mogu međusobno uspoređivati. Svaki scenarij može se sastojati od jedne ili više mjera čiji se utjecaj promatra. Program je podijeljen na više „prikaza“, poput prikaza analize, u kojem se ubacuju početni podatci te izrazi za izračun scenarija, prikaza rezultata, energetske ravnoteže, analize troškova i koristi i drugih. Slika prikazuje izgled sučelja programa s vidljivim vrstama prikaza, prikazom analize i stablom podataka.



Slika 4. Izgled sučelja

Prvo je potrebno u postavkama definirati opseg modela, što se modelira i koje pokazatelje želimo pratiti te prvu izračunatu godinu, prvu godinu u kojoj se koriste izrazi iz scenarija te krajnju godinu modela. Zatim je potrebno definirati početno stanje sustava, to jest povijesne podatke o sustavu. Za to je potrebno prethodno odabrati godinu za koju postoje poznati podatci i prikupiti ih. Podatci su organizirani u strukturu stabla, dok su glavne grane stabla različite vrste podataka koje se unose u model. One se mogu dalje granati u različite podgrane kako bi se lakše i preglednije prikazali različiti promatrani sektori. Na slici je prikazan prozor postavki modela s mogućim opcijama opsega i razmjera modela.



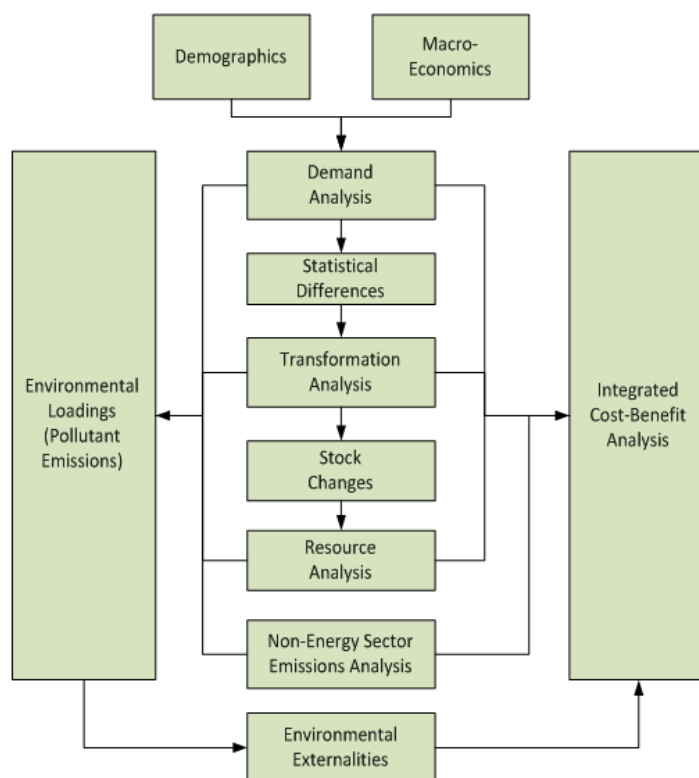
Slika 5. Prozor s postavkama modela

Prva vrsta podataka su ključne pretpostavke, kao što su broj stanovnika, bruto domaći proizvod, prosječna plaća i drugi makroekonomski i demografski podatci. Sljedeća glavna grana jest potražnja gdje se definiraju sektori gospodarstva koji se prate, poput prometnog sektora, industrije, kućanstava i sličnog te se dalje dijele na svoje sastavne dijelove. Ovdje se definira potražnja za različitim oblicima energije i goriva po tehnologijama. Ovisno o primijenjenoj metodi, tehnologije mogu biti sa energetske intenzitetom ili ukupnom energijom ili pri primjeni stock turnover metode tehnologija u prometu ili ostale tehnologije. Ukoliko se koristi gorivo koje pri izgaranju proizvodi emisije, ovdje se lako dodaju njegovi utjecaji na okoliš pomoću podataka Međuvladinog panela o klimatskim promjenama (IPCC) koji su integrirani u LEAP-ovu bazu podataka te program automatski, na temelju trošenog goriva i sektora gospodarstva, predlaže odgovarajuće emisije štetnih plinova. Također, moguće je definirati i godišnju krivulju opterećenja sustava, u odabranoj razlučivosti.

U grani transformacije definiraju se gubici u mreži prilikom prijenosa i distribucije pojedinog energenta. Također, ovdje se opisuje domaća proizvodnja korištenih energenata u modelu. Opisuje se primjenom koji tehnologija se određeni energent proizvodi, učinkovitost procesa, instalirani kapaciteti, povijesna godišnja proizvodnja, dugotrajnost postrojenja i ostali relevantni podatci. I ovdje je, također, vrlo jednostavno moguće unijeti podatke o emisijama stakleničkih plinova za svaku vrstu proizvodnje. Uz to, u kategoriji resursa, moguće je definirati dostupnost resursa potrebnih u proizvodnji na domaćem teritoriju te potrebu za uvozom resursa

iz inozemstva. Dodatno je, ukoliko je potrebno, moguće i odrediti i emisije stakleničkih plinova iz neenergetskih izvora.

Vrlo je važno pravilno postavljanje redosljeda modula u svakoj od kategorija jer on predstavlja tok energije u sustavu. Tako energija teče iz primarnih resursa definiranih u kategoriji resursi, preko svakog od modula u kategoriji transformacije, dok u konačnici ne bude potrošena u kategoriji potražnje. Donja slika pokazuje slijed početnih podataka i kalkulacija modela.

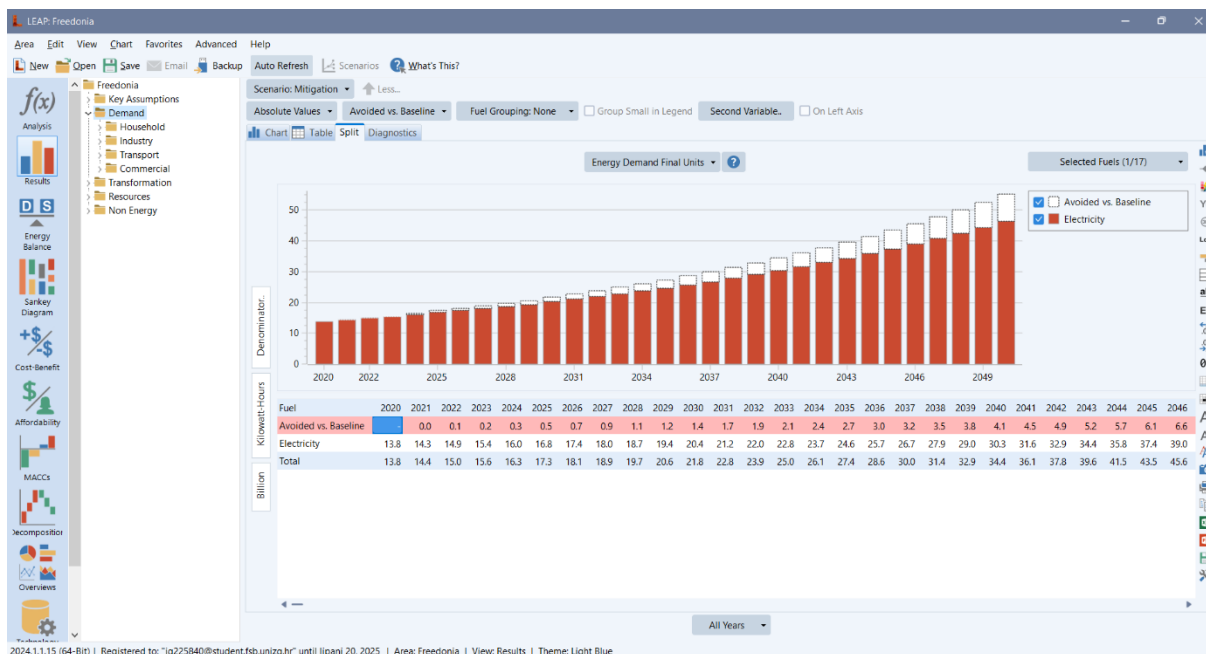


Slika 6. Struktura kalkulacija u LEAP-u [20]

Pri postavljanju scenarija, sve uneseni povijesni podatci se mogu mijenjati u skladu s predviđanjima za svaki opisani scenarij. Scenariji mogu biti sveobuhvatni ili imati podscenarije u kojima je opisana po jedna mjera te se tako može lakše vidjeti utjecaj svake pojedine mjere na cijeli sustav. Predviđena buduća stanja prikazuju se pomoću matematičkih formula kojima se opisuju kretanja potrošnje energije, broja i vrsta jedinica, uvođenja novih tehnologija i goriva, promjena navika stanovništva, ekonomskih pokazatelja i broja stanovnika. Formule mogu prikazivati linearne ili eksponencijalne stope rasta, interpolaciju između zadanih vrijednosti po godinama, skokovite promjene u danim godinama i mnoge druge kako bi što točnije opisali željene promjene u svakome scenariju.

U prikazu rezultati prikazuju se izračunata buduća stanja modela u obliku dijagrama, tablice ili oboje. Mogu se prikazati promjene u svakom od početnih parametara i za proizvodnju i

potražnju te emisije stakleničkih plinova i njihov potencijal za globalno zatopljenje (GWP). GWP prikazuje koliko topline će staklenički plin zadržati u atmosferi u odnosu na ugljikov dioksid u nekome vremenu. Može se prikazati u periodu od 20, 100 i 500 godina te za izravnu emisiju i za ukupnu emisiju koja uzima u obzir i emisije pri proizvodnji. Također, možemo i usporediti različite scenarije i njihove učinke. To omogućuje provođenje analiza učinkovitosti mjera i dugoročnih učinaka svake. Na temelju rezultata i njihove analize može donositi sud o predloženim politikama i mjerama te ih po potrebi prilagoditi kako bi se postigli željeni rezultati u pogledu energetske učinkovitosti i smanjenja utjecaja na okoliš. Ukoliko se provodi i ekonomska analiza isplativosti ili analiza troškova i koristi, te rezultate je moguće vidjeti u odgovarajućim prikazima. Na slici je prikazan prikaz rezultata analize s usporedbom dvaju scenarija u grafičkom i tabličnom obliku.



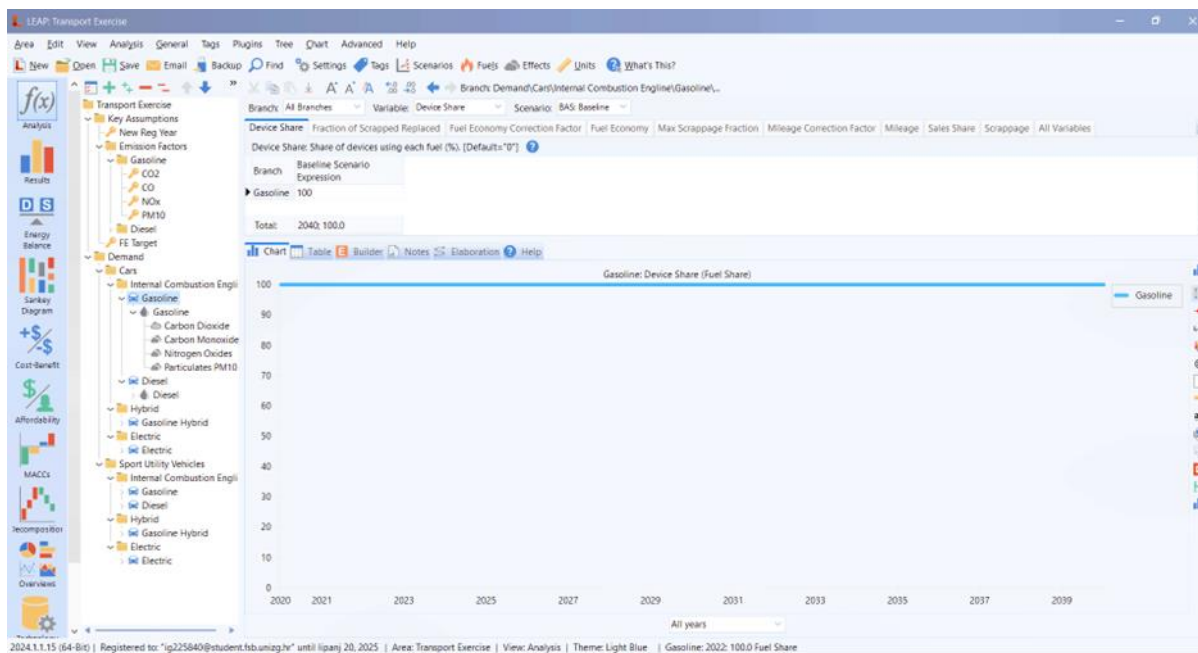
Slika 7. Prikaz rezultata u grafičkom i tabličnom obliku

2.2. Modeliranje energetske sustava

2.2.1. Metoda

Za modeliranje prometnog sektora u Republici Hrvatskoj, korištena je stock turnover metoda. Ona se općenito koristi za modeliranje zamjene i obnove opreme i infrastrukture, a u ovdje konkretno za projekcije broja i vrsta vozila. Ova metoda omogućuje prikaz promjene broja vozila, njihovu zamjenu te prodiranje novih pogonskih goriva i njihov udio u čitavoj floti. Kako bi se metoda mogla primijeniti potrebno je prikupiti podatke o trenutnom broju u vozila po gorivima i po starosti, njihovoj prodaji, godišnje prijeđenim kilometrima te potrošnji

energije. Također, nužno je definirati krivulju životnog vijeka vozila, to jest definirati koliko će vozila proizvedenih u nekoj godini ostati u prometu nakon svake slijedeće godine. Uz tu krivulju, moguće je definirati i krivulje povećanja potrošnje goriva i emisija stakleničkih plinova sa starenjem vozila i smanjenja godišnje prijeđenih kilometara sa starenjem vozila. Na donjoj slici je prikazan primjer izgleda prikaza analize pri analizi prometa s primjenom stock turnover metode uz vidljivu strukturu stabla modela.



Slika 8. Primjer prikaza analize pri analizi prometa

Pri korištenju stock turnover metode LEAP broj postojećih vozila u prometu svake od navedenih vrsta za svaku godinu izračunava po jednadžbi (1)

$$\text{Stock}_{t,y,v} = (\text{Sales}_{t,v} * \text{Survival}_{t,y-v}) \quad (1)$$

gdje su:

$\text{Stock}_{t,y,v}$ – broj postojećih vozila iz dane godine,

$\text{Sales}_{t,v}$ – broj novih prodanih vozila u danoj godini,

$\text{Survival}_{t,y-v}$ - postotak i dalje korištenih vozila iz dane godine, definiran krivuljom životnog vijeka vozila,

t – vrsta vozila,

y – kalendarska godina,

v – godina proizvodnje vozila.

Ukupan broj postojećih vozila svake vrste u prometu u kalendarskoj godini y računa se prema jednadžbi

$$\text{Stock}_{t,y} = \sum_{v=0 \dots V} \text{Stock}_{t,y,v} \quad (2)$$

gdje su:

$\text{Stock}_{t,y}$ – ukupan broj postojećih vozila,

V – maksimalna starost vozila.

Potrošnja goriva vozila u kalendarskoj godini y za vozila proizvedena u godini v određuje se prema izrazu:

$$\text{FuelEconomy}_{t,y,v} = \text{FuelEconomy}_{t,y} * \text{FeDegradation}_{t,y-v} \quad (3)$$

gdje su:

FuelEconomy – potrošnja goriva po jedinici prijeđenog puta vozila,

FeDegradation – faktor povećanja potrošnje goriva sa starenjem vozila.

Godišnje prijeđena udaljenost po vozilu u kalendarskoj godini y za vozila proizvedena u godini v računa se pomoću slijedeće formule:

$$\text{Mileage}_{t,y,v} = \text{Mileage}_{t,y} * \text{MIDegradation}_{t,y-v} \quad (4)$$

gdje su:

Mileage – godišnje prijeđena udaljenost po vozilu,

MIDegradation – faktor smanjenja godišnje prijeđene udaljenosti po vozilu sa starenjem vozila.

Kako bi se odredila ukupna potrošnja energije po vrsti vozila u kalendarskoj godini y za vozila proizvedena u godini v koristi se slijedeća jednadžba:

$$\text{EnergyConsumption}_{t,y,v} = \text{Stock}_{t,y,v} * \text{Mileage}_{t,y,v} * \text{FuelEconomy}_{t,y,v} \quad (5)$$

gdje je

EnergyConsumption – ukupna potrošnja energije po vrsti vozila.

Ukoliko se emisije stakleničkih plinova računaju na osnovi potrošnje energije, jednadžba prema kojoj se one računaju glasi:

$$\text{Emissions}_{t,y,v,p} = \text{EnergyConsumption}_{t,y,v} * \text{EmissionFactor}_{t,y,v,p} * \text{EmDegradation}_{t,y-v,p} \quad (6)$$

gdje su:

Emissions - emisije određenog stakleničkog plina,

EmissionFactor – stopa emisija zagađivača u novim vozilima,

EmDegradation – faktor promjene stope emisija sa starenjem vozila,

p – promatrani zagađivač.

Ako se pak emisije računaju na temelju udaljenosti, jednadžba glasi:

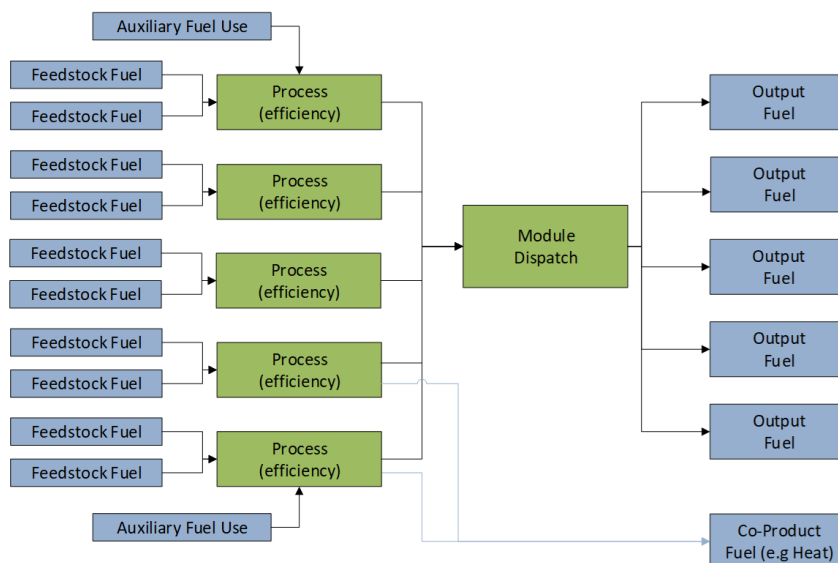
$$\text{Emissions}_{t,y,v,p} = \text{Stock}_{t,y,v} * \text{Mileage}_{t,y,v} * \text{EmissionFactor}_{t,v,p} * \text{EmDegradation}_{t,y-v,p} \quad (7) \quad (6)$$

Navedenim jednadžbama u potpunosti su određena kretanja broja vozila, njihove emisije stakleničkih plinova, godišnje prijeđene udaljenosti, potrošnja goriva i ukupna potrošnja energije [21].

Sektor prometa podijeljen je na različite načine prijevoza, to jest na cestovni, željeznički, zračni te pomorski i riječni promet. Svaki od tih načina, osim zračnog, dodatno je podijeljen na prijevoz putnika i na prijevoz robe. Cestovni promet dodatno je podijeljen po vrstama vozila u cestovnom prijevozu putnika i robe. Kod prijevoza putnika to znači podjelu na osobne automobile, motocikle i mopede te autobuse, a kod prijevoza robe na laka cestovna teretna vozila, kamione i cestovne tegljače. Sve kategorije su potom podijeljene po vrstama korištenih i predviđenih budućih pogonskih goriva. Kako bi se zaokružio cijeli elektroenergetski sustav postoji i dodatna kategorija ukupne potrošnje električne energije u cijelom sustavu, izuzev prometnog sektora.

2.2.2. Transformacije

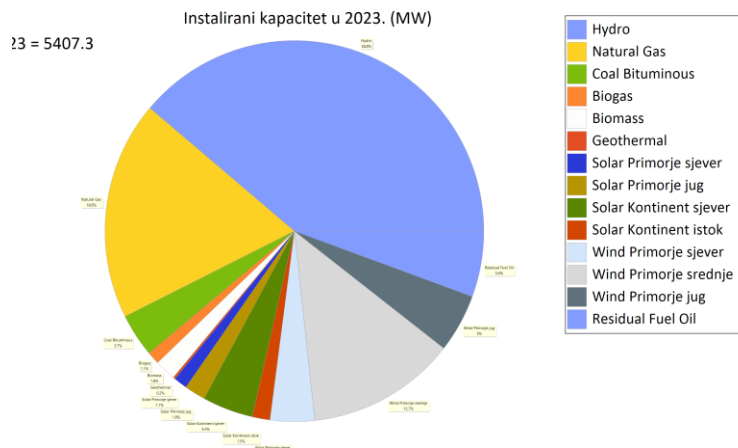
Domaća proizvodnja potrebnih energenata i električne energije te njihovi gubitci u prijenosu i distribuciji definiraju se u grani transformacije. Ovdje se koriste moduli kao podgrane kako bi se prikazali procesi proizvodnje energenata, goriva ili energije. Proces prikazuje različite tehnologije pretvorbe energije. Za svaki modul postavljaju se dobavne sirovine čijom se preradom dobiva traženo izlazno gorivo ili energija te mogući koprodukti, poput toplinske energije ili neenergetskih produkata. Slika prikazuje detaljnu shemu više modula transformacija.



Slika 9. Shema modula transformacija [22]

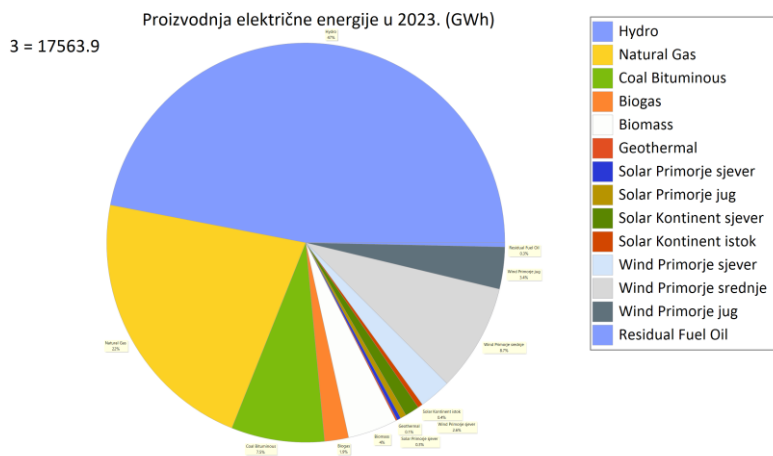
Za svaki proces proizvodnje potrebno je definirati njegovu učinkovitost, instaliranu snagu, povijesnu proizvodnju, korišteno gorivo, produkte, dostupnost, redoslijed uključivanja u proizvodnju, troškove i ostale relevantne podatke, ovisno o opsegu simulacije. Uz to, moguće je odrediti kako se nadoknađuje moguća nedovoljna proizvodnja modula i kako se troši prevelika proizvodnja.

Od ukupno 5407.3 MW instaliranog kapaciteta za proizvodnju električne energije u 2023. u Republici Hrvatskoj najveći dio čine hidroelektrane s gotovo 40% ukupnog instaliranog kapaciteta. Drugi najveći izvor električne energije su vjetroelektrane s udjelom nešto više od 20% udjela. Odmah za njima, s udjelom nešto manjim od 20%, slijede termoelektrane na prirodni plin. Četvrti najveći proizvođač električne energije po instaliranom kapacitetu su solarne elektrane, s udjelom od 9%, dok ostatak kapaciteta čine termoelektrane na ugljen, loživo ulje, biomasu ili bioplina te geotermalne elektrane. Slika prikazuje dijagram udjela pojedinih tehnologija u instaliranom kapacitetu proizvodnje električne energije u 2023. godini [23].



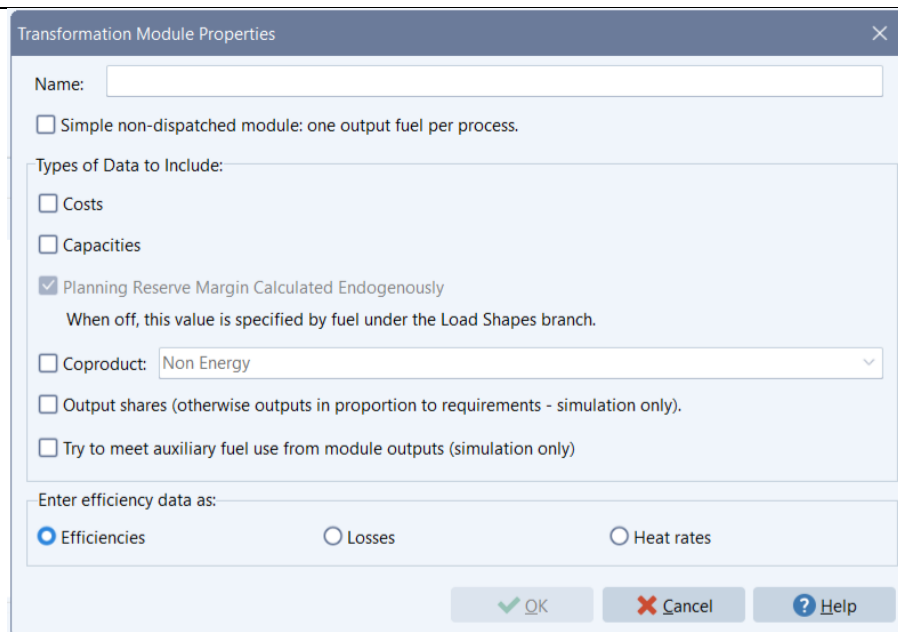
Slika 10. Udjeli u instaliranom kapacitetu proizvodnje električne energije u 2023. godini

Kada se govori o udjelima u samoj proizvodnji električne energije u 2023. godini, stvari se malo mijenjaju. Hidroelektrane ostaju na prvome mjestu s udjelom 47% od ukupne proizvodnje koja je iznosila 17563.9 GWh, slijede ih termoelektrane na prirodni plin s udjelom od 22%. Vjetroelektrane padaju na treće mjesto s udjelom od 15%, termoelektrane na ugljen čine malo manje od 8%, zatim slijede biomasa i solarne elektrane s udjelima 4%, odnosno 2%. Ostatak proizvodnje sastoji se od termoelektrana na bioplin i loživo ulje te geotermalnih elektrana. Slika prikazuje dijagram udjela pojedinih tehnologija u proizvodnji električne energije u 2023. godini.



Slika 11. Udjeli u proizvodnji električne energije u 2023. godini

U scenarijima je zatim moguće modeliranje budućih kapaciteta proizvodnje, bilo to izgradnjom novih kapaciteta postojećih tehnologija, uvođenjem novih i poboljšanih tehnologija ili postupnim ukidanjem tehnologija. Na slici je prikazan prozor utvrđivanja svojstava modula transformacija.



Slika 12. Prozor svojstava modula transformacija

U obzir je uzeta i buduća proizvodnja zelenog vodika i sintetičkih goriva korištenjem električne energije dobivene iz obnovljivih izvora energije i ugljikovog dioksida izdvojenog iz atmosfere. Vodik kao novo gorivo, pogotovo ako je iz zelene proizvodnje, predstavlja dodatnu opciju dekarbonizacije prometa, uz rješavanje nekih problema koje sa sobom nosi elektrifikacija prometnog sektora, poput brzog punjenja spremnika, dužeg dometa i veće gustoće energije, uz zadržavanje nultih emisija stakleničkih plinova. Naravno, i vodik kao gorivo ima svoje probleme za koje će biti potrebno vrijeme da se riješe, kao što je gotovo nepostojeća infrastruktura distribucije i punionica vodikom te potreba za drastičnim povećanjem kapaciteta proizvodnje kako bi se mogla pokriti potražnja. Sintetička goriva predstavljaju rješenje koje se može lakše uvesti u kratkom roku s obzirom na njihovu kompatibilnost s postojećom infrastrukturom crpki i distribucijskom mrežom te mogućnost korištenja u postojećim motorima s unutarnjim izgaranjem. Iako njihovim izgaranjem nastaju emisije ugljikovog dioksida, s obzirom da on već dolazi iz atmosfere, sintetička goriva imaju vrlo mali ili nikakav ugljični otisak. Tako da su i oni realistična opcija u smanjenju emisija stakleničkih plinova u prometnom sektoru, pogotovo u bliskoj budućnosti. Ove nove vrste goriva će biti osobito korisne u načinima transporta gdje elektrifikacija nije u potpunosti izvediva, poput teretnog cestovnog i pomorskog prometa i zračnog prometa.

3. STUDIJA SLUČAJA

Kako je već i rečeno, prvi korak u provedbi analize i modeliranju prometnog sektora u Republici Hrvatskoj je prikupljanje podataka o trenutačnom stanju vozila u prometu. Promet je podijeljen na četiri vrste: cestovni, željeznički, zračni te pomorski i riječni promet. Ove vrste se dalje dijele na prijevoz putnika i prijevoz robe.

3.1. Cestovni promet

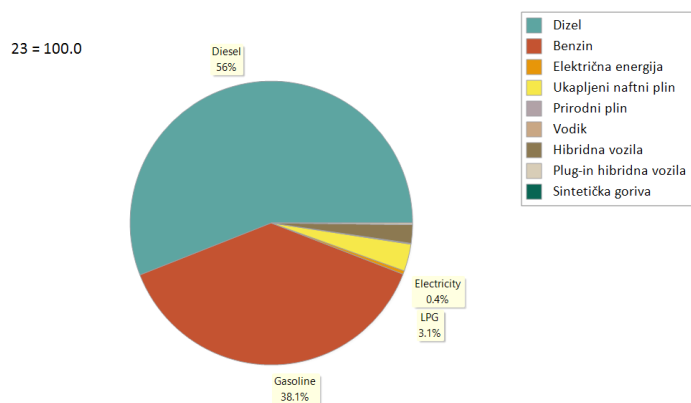
Cestovni promet čini prevladavajući udio u ukupnom broju vozila u RH. Sastoji se od prijevoza putnika, kojeg čine osobni automobili, motocikli i mopedi te autobusi te prijevoza robe kojeg čine laka teretna vozila, kamioni i cestovni tegljači.

3.1.1. Cestovni prijevoz putnika

U sljedećim tablicama i slikama su prikazani brojevi vozila i dijagrami udjela vrsta goriva u cestovnom prijevozu putnika u 2023. godini.

Tablica 2. Broj osobnih automobila po vrstama pogonskih goriva [24]

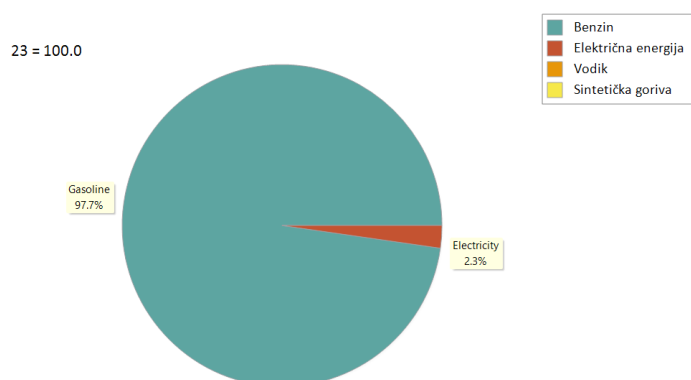
| OSOBNI AUTOMOBILI | |
|--|-------------|
| Vrsta goriva | Broj vozila |
| Dizelsko gorivo | 1 069 231 |
| Benzinsko gorivo | 731 270 |
| Električna energija | 7 058 |
| Ukapljeni naftni plin (LPG) | 59 214 |
| Prirodni plin | 1 910 |
| Hibridna vozila (benzin) | 40 112 |
| Plug-in hibridna vozila (električna energija i benzin) | 3 820 |
| Vodik | 1 |
| Sintetička goriva | 0 |
| Ukupno | 1 912 616 |



Slika 13. Udjeli pogonskih goriva u osobnim automobilima

Tablica 3. Broj motocikala i mopeda po vrstama pogonskih goriva [24]

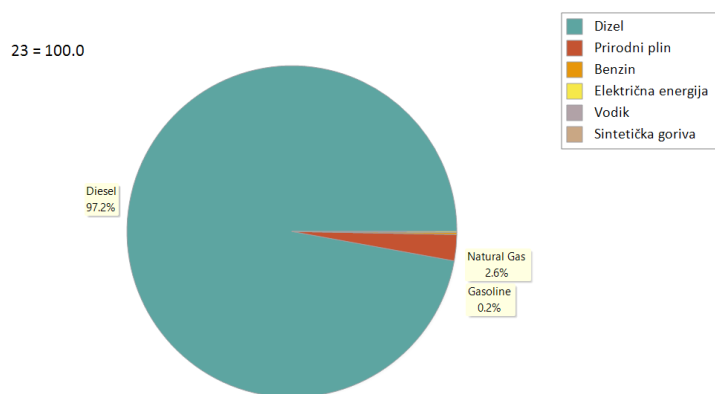
| MOTOCIKLI I MOPEDI | |
|---------------------|-------------|
| Vrsta goriva | Broj vozila |
| Benzinsko gorivo | 170 828 |
| Električna energija | 3 942 |
| Vodik | 0 |
| Sintetička goriva | 0 |
| Ukupno | 174 770 |



Slika 14. Udjeli pogonskih goriva u motociklima i mopedima

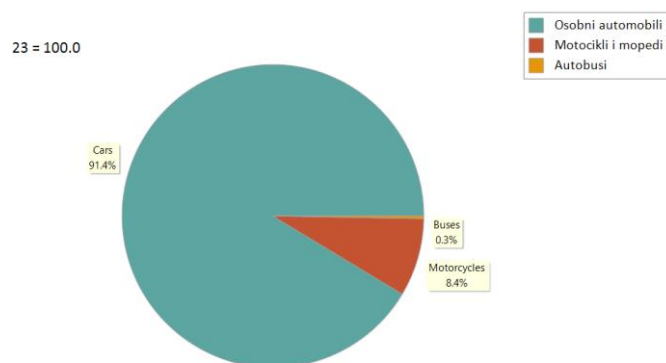
Tablica 4. Broj autobusa po vrstama pogonskih goriva [24]

| AUTOBUSI | |
|---------------------|-------------|
| Vrsta goriva | Broj vozila |
| Dizelsko gorivo | 5 634 |
| Benzinsko gorivo | 11 |
| Električna energija | 6 |
| Prirodni plin | 148 |
| Vodik | 0 |
| Sintetička goriva | 0 |
| Ukupno | 5 799 |



Slika 15. Udjeli pogonskih goriva u autobusima

Među cestovnim vozilima za prijevoz putnika najveći udio čine osobni automobili s preko 90% zastupljenosti, dok motocikli i mopedi čine gotovo cijeli ostatak flote. Vidljivo je kako u 2023. u sve tri kategorije vozila dominiraju vozila na fosilna goriva i čine preko 97% voznog parka u svim kategorijama. Iz ovih brojki je jasno kako je ovaj sektor prometa i vrlo ovisan o fosilnim gorivima i da je upotreba alternativnih goriva tek u začetku te da su potrebni veliki napori u dekarbonizaciji cestovnog prijevoza putnika, kako bi se postigli ciljevi klimatske neutralnosti do 2050. godine.



Slika 16. Udjeli vrsta vozila u cestovnom prijevozu putnika

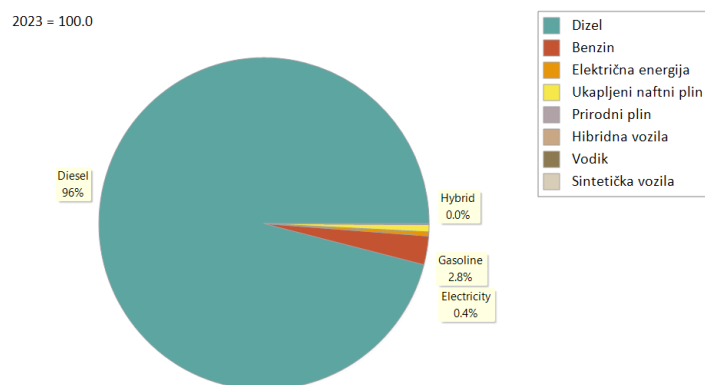
3.1.2. Cestovni prijevoz robe

U sljedećim tablicama i slikama su prikazani brojevi vozila i dijagrami udjela vrsta goriva u cestovnom prijevozu robe u 2023.

Tablica 5. Broj lakih teretnih vozila po vrstama pogonskih goriva [24]

| LAKA TERETNA VOZILA | |
|---------------------|-------------|
| Vrsta goriva | Broj vozila |
| | |

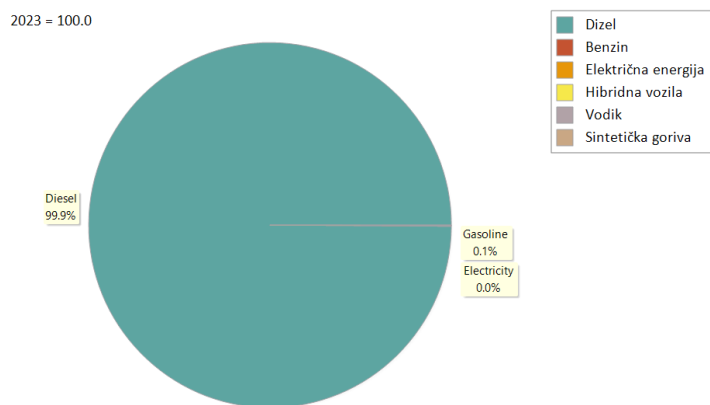
| | |
|-----------------------------|---------|
| Dizelsko gorivo | 175 975 |
| Benzinsko gorivo | 5 156 |
| Električna energija | 716 |
| Ukapljeni naftni plin (LPG) | 1 284 |
| Prirodni plin | 183 |
| Hibridna vozila (benzin) | 91 |
| Vodik | 0 |
| Sintetička goriva | 0 |
| Ukupno | 183 405 |



Slika 17. Udjeli pogonskih goriva u lakim teretnim vozilima

Tablica 6. Broj kamiona po vrstama pogonskih goriva [24]

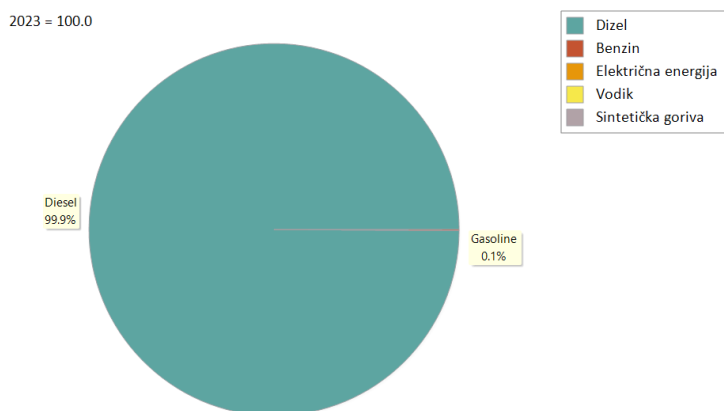
| KAMIONI | |
|--------------------------|-------------|
| Vrsta goriva | Broj vozila |
| Dizelsko gorivo | 37 549 |
| Benzinsko gorivo | 25 |
| Električna energija | 7 |
| Hibridna vozila (benzin) | 20 |
| Vodik | 0 |
| Sintetička goriva | 0 |
| Ukupno | 37 601 |



Slika 18. Udjeli pogonskih goriva u kamionima

Tablica 7. Broj cestovnih tegljača po vrstama pogonskih goriva [24]

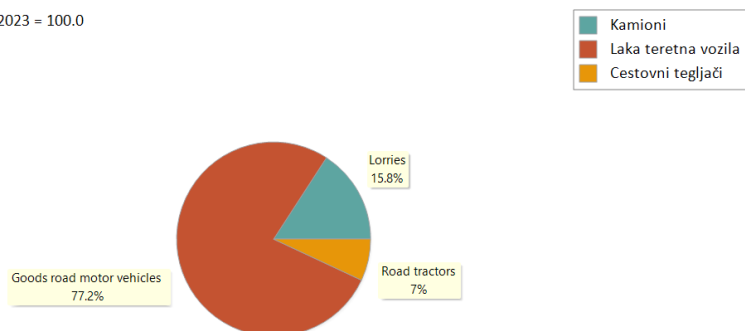
| CESTOVNI TEGLJAČI | |
|-------------------|-------------|
| Vrsta goriva | Broj vozila |
| Dizelsko gorivo | 16 489 |
| Benzinsko gorivo | 15 |
| Vodik | 0 |
| Sintetička goriva | 0 |
| Ukupno | 16 504 |



Slika 19. Udjeli pogonskih goriva u cestovnim tegljačima

Više od tri četvrtine vozila ovog sektora čine laka teretna vozila, kamioni čine 16%, dok su ostatak cestovni tegljači. Kao što je slučaj i kod cestovnog prijevoza putnika, i u cestovnom prijevozu robe postoji velika ovisnost o fosilnim gorivima. U ovome sektoru problem je još izraženiji s obzirom da je udio vozila na alternativna goriva još niži, a kod cestovnih tegljača nije zabilježeno niti jedno vozilo koje ih koristi.

2023 = 100.0



Slika 20. Udjeli vrsta vozila u cestovnom prijevozu robe

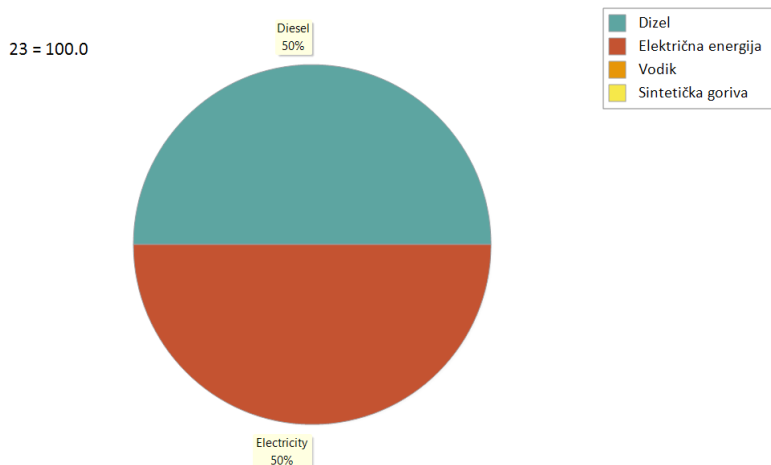
3.2. Željeznički promet

3.2.1. Željeznički prijevoz putnika

U sljedećoj tablici i slici su prikazani brojevi vozila i dijagrami udjela vrsta goriva u željezničkom prijevozu putnika u 2023.

Tablica 8. Broj lokomotiva i motornih vlakova po vrstama pogonskih goriva [25]

| LOKOMOTIVE I MOTORNI VLAKOVI | |
|------------------------------|-------------|
| Vrsta goriva | Broj vozila |
| Dizelsko gorivo | 95 |
| Električna energija | 95 |
| Vodik | 0 |
| Sintetička goriva | 0 |
| Ukupno | 190 |



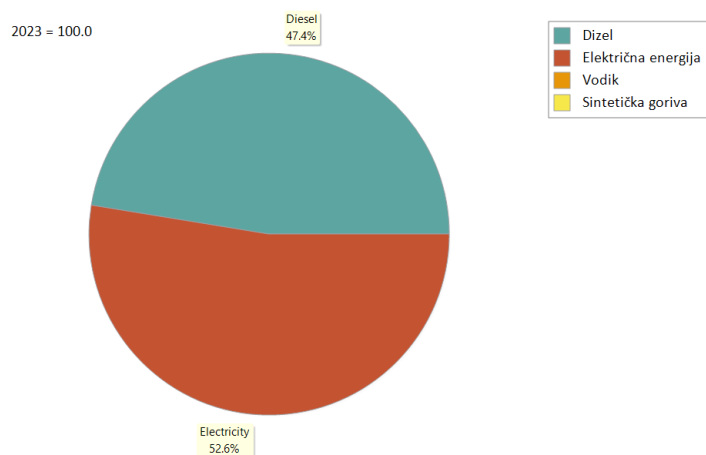
Slika 21. Udjeli pogonskih goriva u putničkim vlakovima

3.2.2. Željeznički prijevoz robe

U sljedećoj tablici i slici su prikazani brojevi vozila i dijagrami udjela vrsta goriva u željezničkom prijevozu robe u 2023.

Tablica 9. Broj lokomotiva po vrstama pogonskih goriva [26]

| LOKOMOTIVE | |
|---------------------|-------------|
| Vrsta goriva | Broj vozila |
| Dizelsko gorivo | 46 |
| Električna energija | 51 |
| Vodik | 0 |
| Sintetička goriva | 0 |
| Ukupno | 97 |



Slika 22. Udjeli pogonskih goriva u teretnim vlakovima

Željeznički promet pokazuje višu razinu elektrifikacije prometa te je broj dizelskih i električnih vučnih vozila je otprilike podjednak. Zasižno jedan od glavnih limitirajućih faktora u nastojanjima elektrifikacije željezničkog prometa jest činjenica kako udio elektrificiranih željezničkih pruga iznosi manje od 40%. Ovaj sektor posjeduje veliki potencijal u borbi s klimatskim promjenama, s obzirom da se po putniku ili toni robe troši manja količina energije nego u cestovnom prometu. Povećanjem udjela ovog sektora u ukupnom prometu, uz daljnju elektrifikaciju pruga, moguće je napraviti veliki korak u smanjenju emisija stakleničkih plinova u prometnom sektoru.

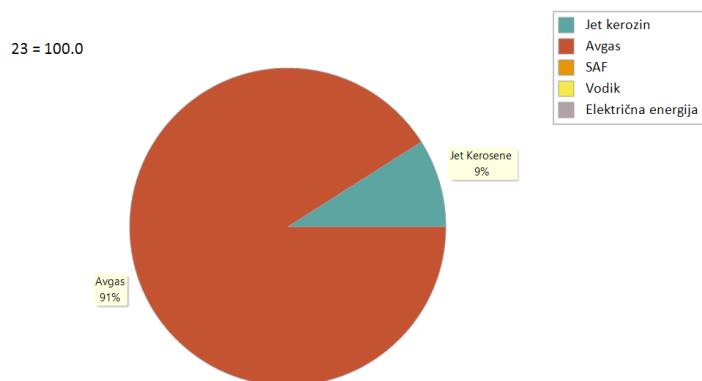
3.3. Zračni promet

U sljedećoj tablici i slici su prikazani brojevi vozila i dijagrami udjela vrsta goriva u zračnom prijevozu u 2023.

Tablica 10. Broj zrakoplova po vrstama pogonskih goriva [27]

| ZRAKOPLOVI | |
|--------------|-------------|
| Vrsta goriva | Broj vozila |

| | |
|---------------------------------|-----|
| Jet kerozin | 34 |
| Avgas | 343 |
| Sustainable Aviation Fuel (SAF) | 0 |
| Vodik | 0 |
| Električna energija | 0 |
| Ukupno | 377 |



Slika 23. Udjeli pogonskih goriva u zrakoplovima

Zračni promet je trenutno u potpunosti ovisan o fosilnim gorivima, i u komercijalnim i u nekomercijalnim letovima. Sustainable Aviation Fuel (SAF) je održivo sintetičko gorivo koje pruža način smanjenja ovisnosti zračnog prometa o fosilnim gorivima i moguće ga je koristiti u trenutnim mlazni motorima, ali zbog ograničene proizvodnje nije još u širokoj uporabi. Postoje i planovi uvođenja motora s vodikom kao pogonskim gorivom, dok mali zrakoplovi s električnim pogonom već postoje i certificirani su od strane nadležnih tijela

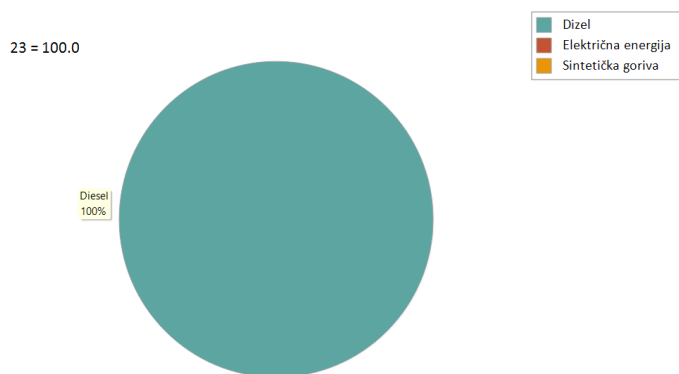
3.4. Pomorski i riječni promet

3.4.1. Pomorski prijevoz putnika

U sljedećoj tablici i slici su prikazani brojevi vozila i dijagrami udjela vrsta goriva u pomorskom prijevozu putnika u 2023.

Tablica 11. Broj putničkih brodova po vrstama pogonskih goriva [28]

| PUTNIČKI BRODOVI | |
|---------------------|-------------|
| Vrsta goriva | Broj vozila |
| Dizel | 92 |
| Električna energija | 0 |
| Sintetička goriva | 0 |
| Ukupno | 92 |



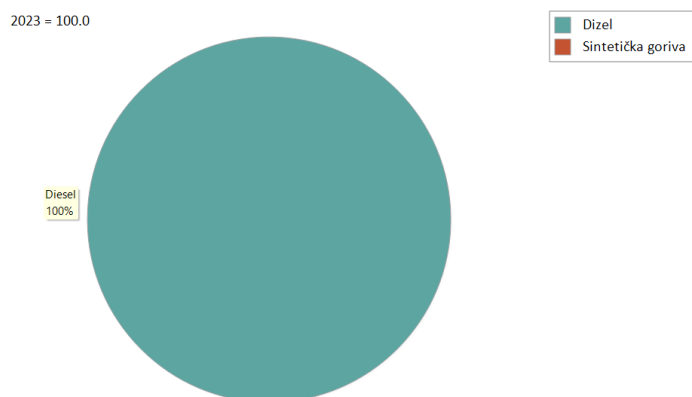
Slika 24. Udjeli goriva u putničkim brodovima

3.4.2. Pomorski i riječni prijevoz robe

U sljedećoj tablici i slici su prikazani brojevi vozila i dijagrami udjela vrsta goriva u pomorskom i riječnom prijevozu robe u 2023.

Tablica 12. Broj teretnih brodova po vrstama pogonskih goriva [28]

| TERETNI BRODOVI | |
|-------------------|-------------|
| Vrsta goriva | Broj vozila |
| Dizel | 49 |
| Sintetička goriva | 0 |
| Ukupno | 49 |



Slika 25. Udjeli pogonskih goriva u teretnim brodovima

Pomorski i riječni promet u potpunosti je ovisan o fosilnim gorivima. S obzirom na blizinu naseljenih otoka kopnu, ali i njihovu međusobnu malu udaljenost, postoji potencijal za elektrifikaciju putničkog pomorskog prijevoza. Tako Jadrolinija ima u planu uvođenje u rad tri električna broda do 2026. godine što predstavlja početak značajnije elektrifikacije pomorskog prometa u Republici Hrvatskoj.

4. REZULTATI

Modelirana su tri različita scenarija. Prvi, referentni, scenarij pretpostavlja zadržavanje trenutnog omjera vozila i njihovih pogonskih goriva u budućnosti te nepromijenjene navike građana u prometu.

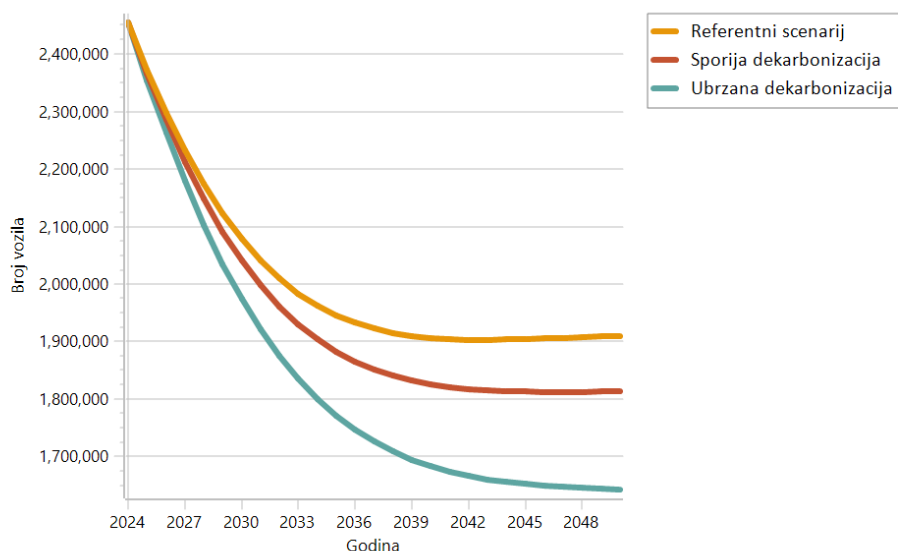
Drugi scenarij, ubrzana dekarbonizacija, prati smjernice i ciljeve Europske unije koji se tiču dekarbonizacije prometnog sektora, poput zabrane prodaje novih automobila i kombija s motorima s unutarnjim izgaranjem, osim sintetičkih goriva, ili zahtjeva da 90% novih gradskih autobusa nakon 2030. budu s nultim emisijama stakleničkih plinova, a nakon 2035. svi. Predviđen je značajniji upliv sintetičkih goriva od 2030. godine, a od 2035. i vodika. Također, predviđen je i odmak od korištenja osobnih automobila i motocikala k autobusnom prijevozu, ali i odmak od cjelokupnog cestovnog prometa k energetski učinkovitijem željezničkom prometu i u prijevozu putnika i u prijevozu robe za što su potrebna ulaganja u željezničku infrastrukturu, kako u pogledu elektrifikacije pruga, tako i u smanjenju vremena putovanja i kašnjenja.

Treći scenarij, sporija dekarbonizacija, predstavlja srednji put između prvog i drugog scenarija. U tom scenariju dolazi do odgode zabrane prodaje novih dizelskih i benzinskih do 2040. godine, a za hibridna vozila još dodatnih pet godina. Uz to, i ulazak sintetičkih goriva i vodika u široku potrošnju također kasni pet godina u odnosu na drugi scenarij. Povećanje korištenja autobusa i željezničkog prijevoza je manje, dok je pad prodaje cestovnih vozila blaži. Razlog tomu je pretpostavljena sporija stopa obnove postojećih željezničkih pruga i voznog parka vlakova. Posljedica svih ovih odgoda jest i produžena i veća ovisnost prometnog sektora o fosilnom gorivima.

4.1. Analiza broja vozila u prometu

Na slici je prikazani kretanje ukupnog broja vozila kroz godine za sva tri scenarija. U svakome od scenarija dolazi do pada broja vozila. Pad je najizraženiji u scenariju ubrzane dekarbonizacije gdje je najveći prijelaz s prijevoza osobnim automobilima i cestovnim teretnim vozilima na autobusni i željeznički prijevoz. Za ovaj pad je uvelike najzaslužniji pad broja osobnih automobila koji trenutno čine više od 80% svih vozila u prometu. Manji pad broja vozila u scenariju sporije dekarbonizacije je zahvaljujući smanjenoj promijeni navika u prometu. Vidljivo je kako pad ukupnog broja vozila u scenariju ubrzane dekarbonizacije iznosi više od 800 000 vozila, odnosno da je 2050. godine u prometu 33% manje vozila nego danas te

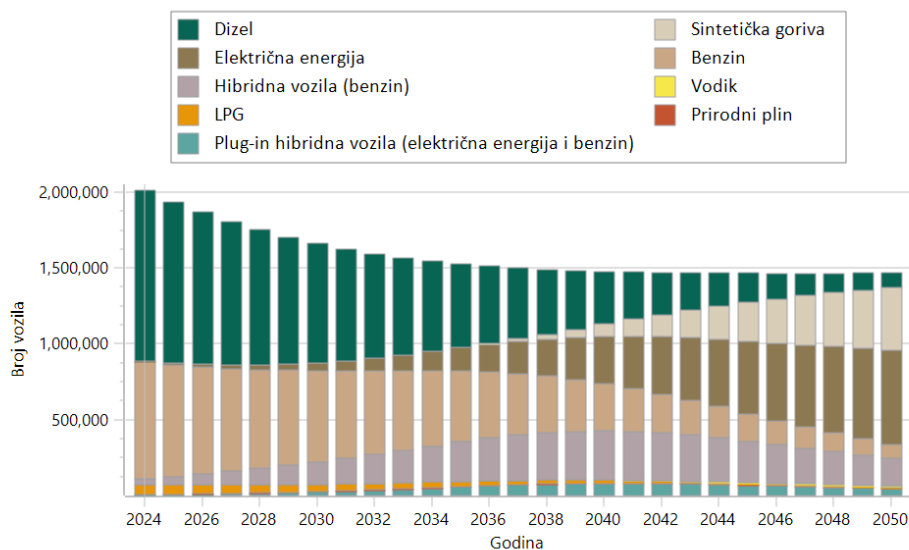
više od 250 000 vozila, odnosno 14% u odnosu na referentni scenarij u 2050. Scenarij sporije dekarbonizacije donosi pad broja vozila od gotovo 650 000 vozila, to jest 26% u odnosu na početnu godinu i gotovo 100 000, to jest 5% u odnosu na 2050. u referentnom scenariju.



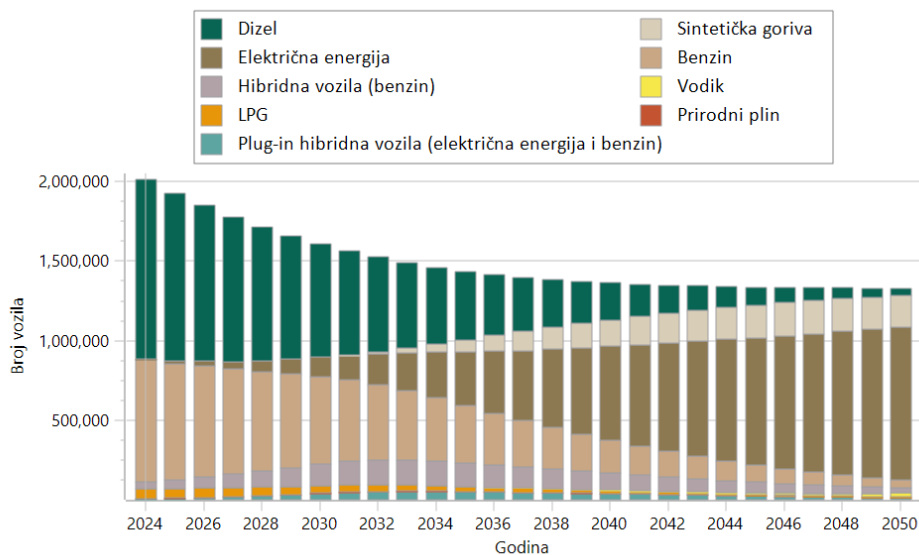
Slika 26. Ukupna broj vozila u prometu po godinama i scenarijima

NECP RH izražava cilj postizanja udjela hibridnih i plug-in hibridnih vozila u prodaji od 30% do 2030. godine. Ovaj cilj se postiže u oba scenarija dekarbonizacije. U ubrzanome scenariju udio hibridnih vozila iznosi 35% uz dodatnih 33% električnih vozila, dok su u sporijem scenariju udjeli 30% hibridnih te dodatnih 13% električnih vozila.

Slike prikazuju brojeve osobnih automobila po vrstama goriva i godinama za scenarij ubrzanе dekarbonizacije, odnosno sporije dekarbonizacije. Očit je mnogo značajniji udio električnih vozila u ukupnome voznom parku i njihovo brže širenje u scenariju ubrzanе dekarbonizacije, kao veći udio zaostalih osobnih automobila s pogonom na fosilna goriva u scenariju sporije dekarbonizacije zbog odgode zabrane njihove prodaje, što se posebno odnosi na vozila s hibridnim pogonom čija je zabrana prodaje, u tom scenariju, bila značajnije odgođena.

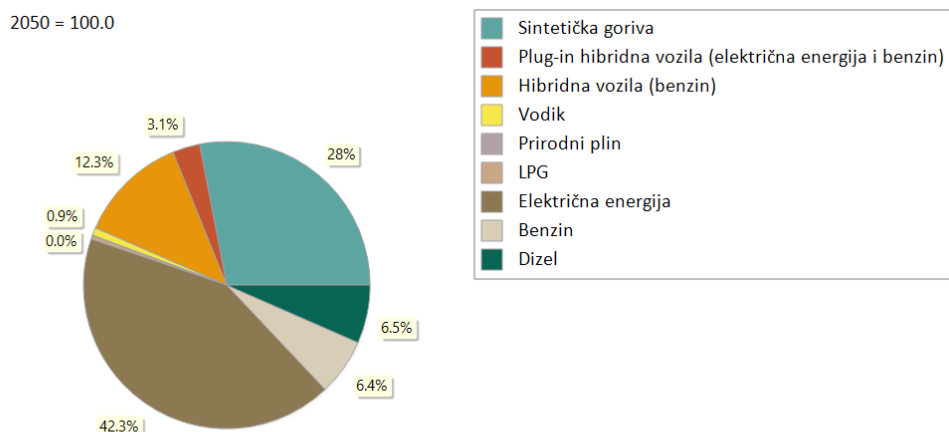


Slika 27. Broj vozila po vrstama goriva i godinama u scenariju sporije dekarbonizacije

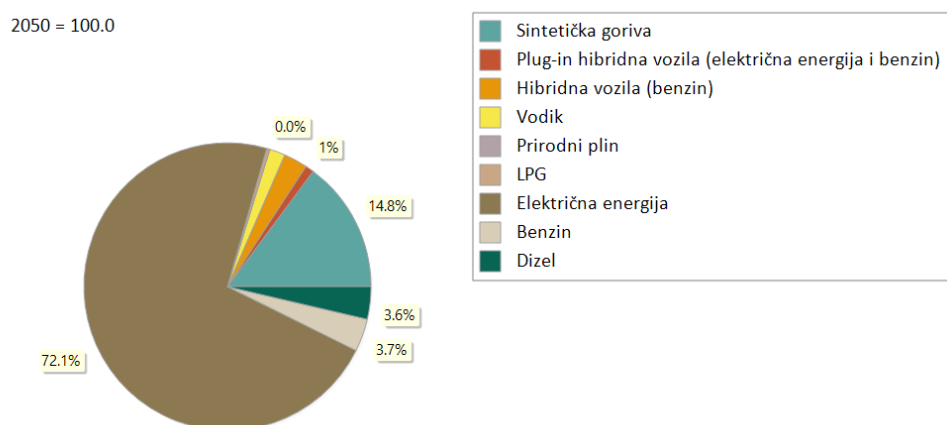


Slika 28. Broj vozila po vrstama goriva i godinama u scenariju ubrzane dekarbonizacije

Donje slike prikazuju udjele vrsta goriva u osobnim automobilima u 2050. godini. za scenarije sporije i ubrzane dekarbonizacije.



Slika 29. Udio vrsta goriva u osobnim automobilima u scenariju sporije dekarbonizacije

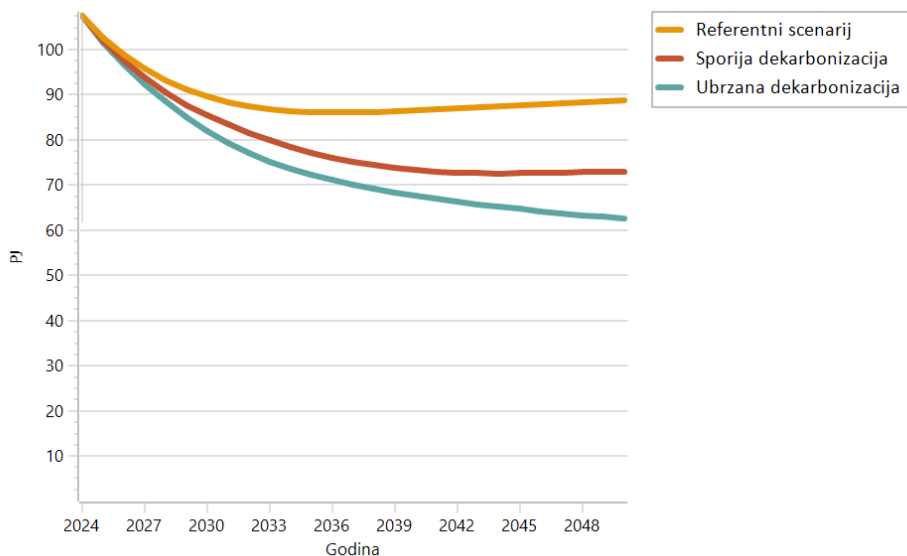


Slika 30. Udio vrsta goriva u osobnim automobilima u scenariju ubrzane dekarbonizacije

4.2. Analiza potrošnje energije u prometu

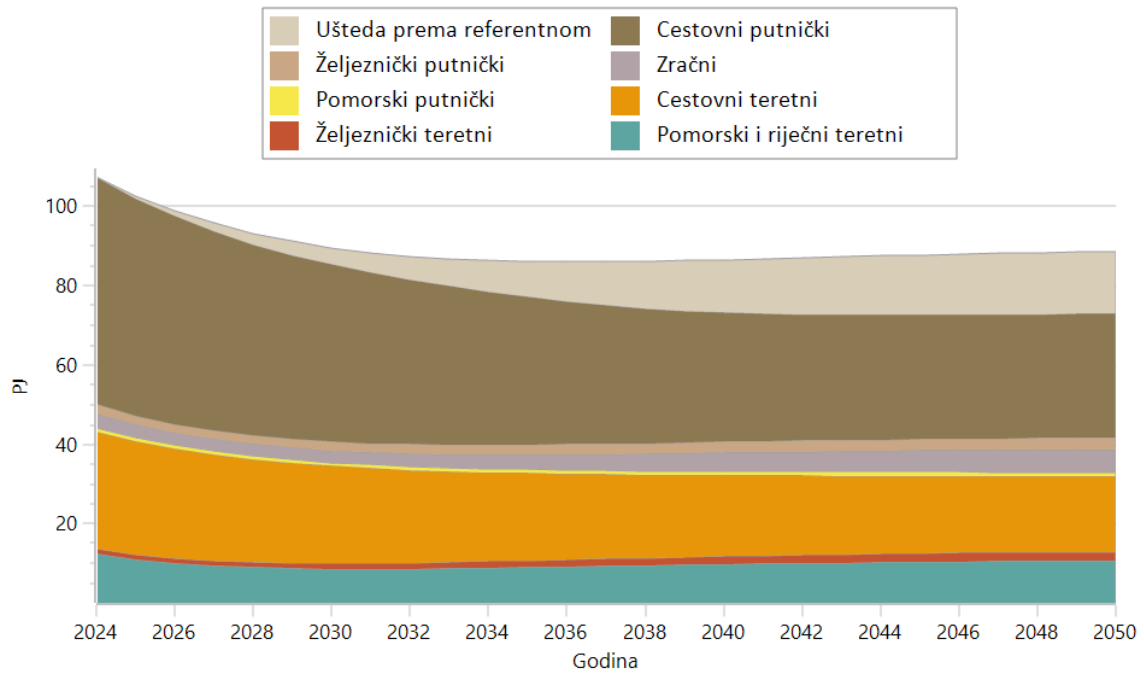
Na donjoj slici prikazana je ukupna potrošnja energije u prometnom sektoru za sve scenarije kroz godine. Vidljiv je značajan pad potrošnje energije u svim scenarijima s početnih 102 PJ. U referentnom scenariju pad je najblaži te dostiže minimum u 2036. godini uz potrošnju 86 PJ te zatim blago raste ponajviše zbog povećanja potrošnje energije u pomorskom i riječnom teretnom prometu. U scenariju sporije dekarbonizacije pad potrošnje energije je značajniji te se

stacionira pri potrošnji od 73 PJ. Pad potrošnje energije je najznačajniji u scenariju ubrzane dekarbonizacije gdje do 2050. opadne na razinu 62.5 PJ uz daljnji trend pada potrošnje. To predstavlja pad od gotovo 40% za vrijeme trajanja modela.

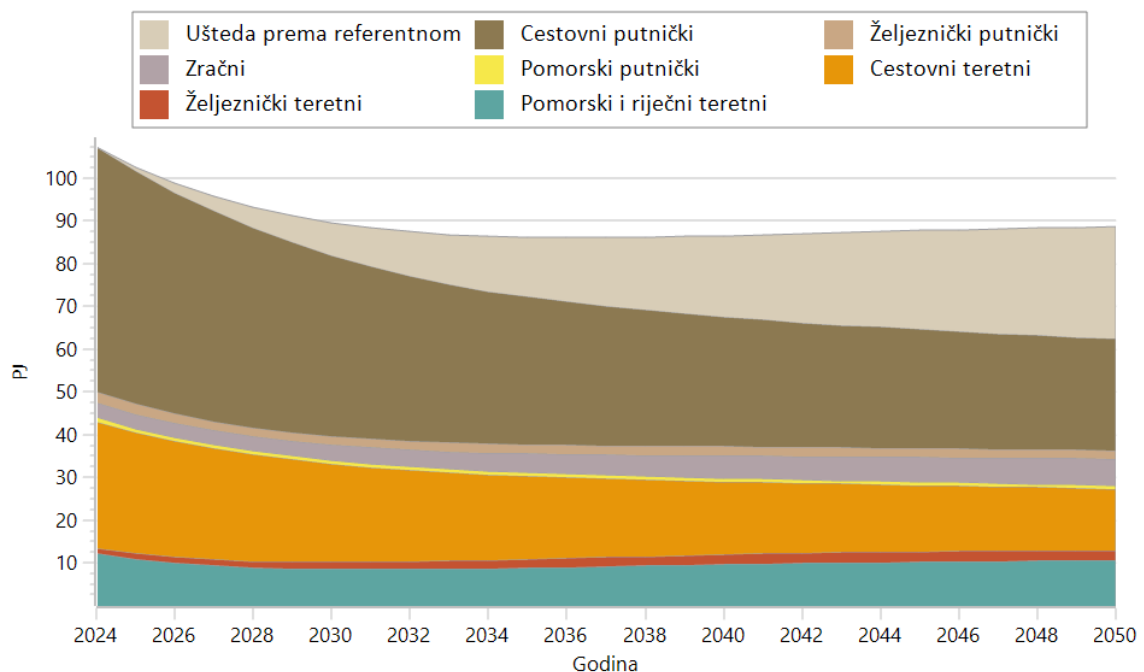


Slika 31. Ukupna potrošnja energije u prometnom sektoru

Dijagrami na sljedećim slikama prikazuju potrošnju energije u prometnom sektoru u scenarijima ubrzane i sporije dekarbonizacije prema načinu prijevoza i uz prikaz ušteda energije u odnosu na referentni scenarij. Vidimo kako je u oba scenarija najznačajniji pad potrošnje u cestovnom putničkom prijevozu te cestovnom teretnom prijevozu što je i logično s obzirom da ta dva vida prijevoza predstavljaju većinu vozila u prometu. Tako se u cestovnom prijevozu putnika potrošnja energije smanjuje s početnih 57 PJ na 26 PJ u 2050. godini, što odgovara padu u iznosu 55% u scenariju ubrzane dekarbonizacije, a u scenariju sporije dekarbonizacije konačna vrijednost potrošnje energije u cestovnom prijevozu putnika iznosi 31 PJ, to jest pad od 45%. U cestovnom prijevozu robe padovi potrošnje su nešto skromniji i iznose 52% te 36% u odnosu na početnu potrošnju u iznosu 29.5 PJ.



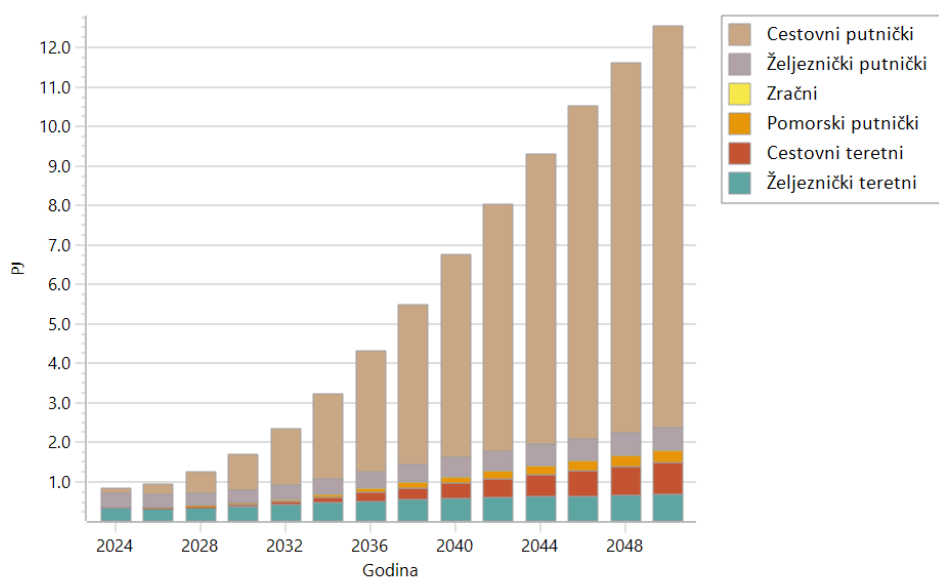
Slika 32. Potrošnja energije u prometnom sektoru po vrstama prijevoza u scenariju sporije dekarbonizacije



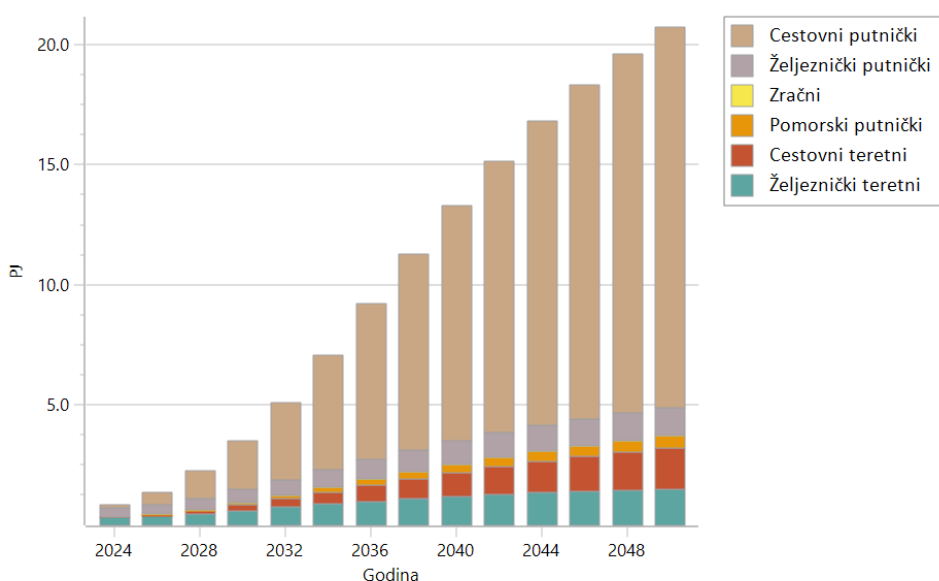
Slika 33. Potrošnja energije u prometnom sektoru po vrstama prijevoza u scenariju ubrzane dekarbonizacije

Zanimljivo je i promotriti povećanje u potrošnji električne energije u prometnom sektoru. U scenariju ubrzane dekarbonizacije dolazi do drastičnog rasta, s manje od 1 PJ energije do

konačnih više od 20 PJ u 2050. godini. Sa slike je očito kako je za taj veliki porast potrošnje električne energije najzaslužniji cestovni prijevoz putnika iako i u ostalim vrstama prometa dolazi do značajnoga rasta potrošnje. Iako je početku željeznički promet dominantni potrošač električne energije, cestovni promet ga vrlo brzo prestigne. Pri scenariju sporije dekarbonizacije potrošnja električne energije u prometu je manja, ali i dalje predstavlja znatno povećanje u odnosu na trenutno stanje te dostiže potrošnju od 12.5 PJ energije. Ove brojke prikazane su na dijagramima na slikama.



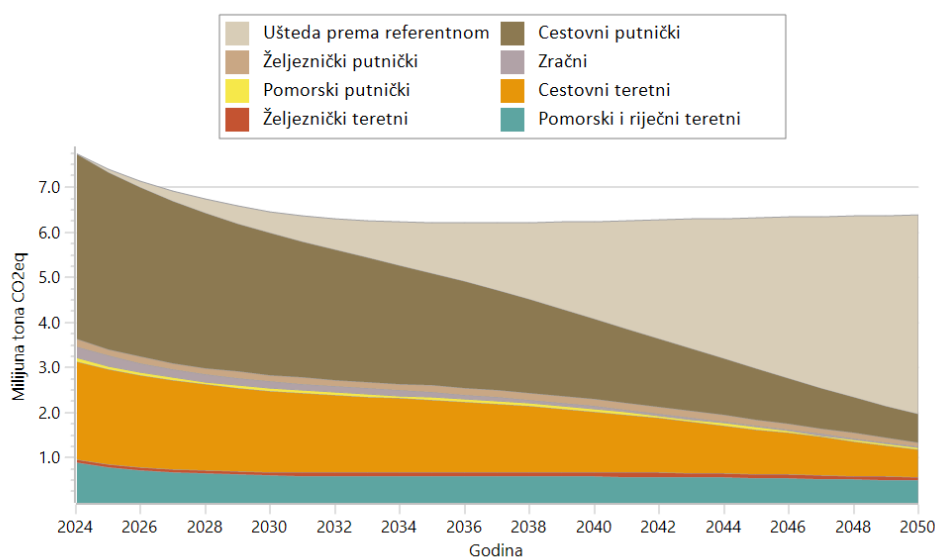
Slika 34. Potrošnja električne energije u prometu u scenariju sporije dekarbonizacije



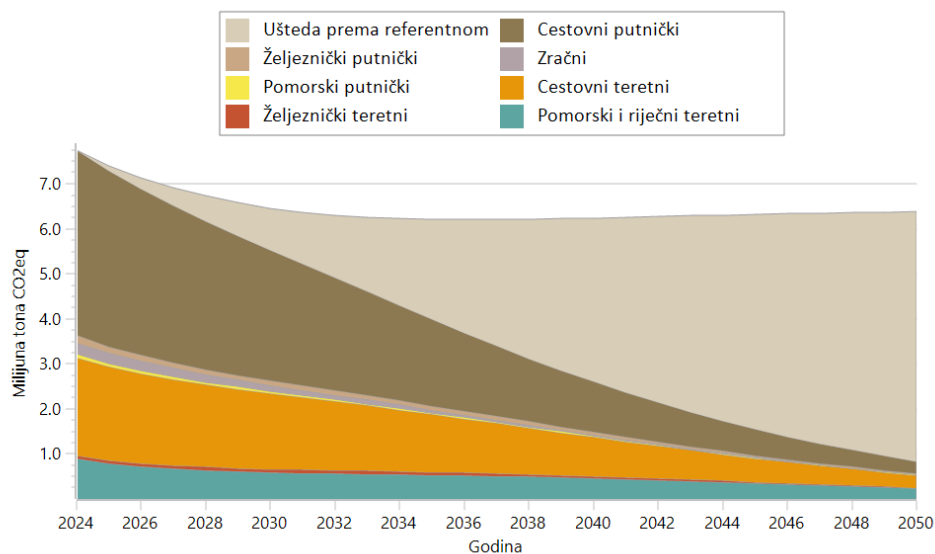
Slika 35. Potrošnja električne energije u prometu u scenariju ubrzane dekarbonizacije

4.3. Analiza emisije stakleničkih plinova

U prometnom sektoru nastaje 25% emisija stakleničkih plinova u EU pa on predstavlja važan čimbenik u borbi s klimatskim promjenama. Slike prikazuju smanjenje u dvadesetogodišnjem potencijalu za globalno zatopljenje (GWP) prometnog sektora u odnosu na referentni scenarij i udjele svake vrste prometa u emisijama. Vidljivo je kako u oba scenarija dolazi do značajnog smanjenja u emisijama u odnosu na očekivane pri zadržavanju trenutnog stanja u voznom parku i navikama građana. U ubrzanome scenariju do 2050. godine izravne emisije prometnog sektora padnu na manje od jednog milijuna tona CO₂eq, u odnosu na početnih 7.8 milijuna tona uz trend daljnjeg smanjenja zbog izlaska starijih, i dalje korištenih vozila s pogonom na fosilna goriva. To je pad od gotovo 90% u odnosu na početnu vrijednost te 86% na vrijednost iz 2050. u referentnom scenariju. U scenariju sporije dekarbonizacije konačna vrijednost emisija iznosi 2 milijuna tona CO₂eq, odnosno postiže se smanjenje 74% u odnosu na početnu vrijednost te 69% u odnosu na očekivanu vrijednost u referentnom scenariju za 2050. godinu.



Slika 36. Dvadesetogodišnji GWP prometnog sektora i udjeli prometnih grana u njemu za scenarij sporije dekarbonizacije



Slika 37. Dvadesetogodišnji GWP prometnog sektora i udjeli prometnih grana u njemu za scenarij ubrzanе dekarbonizacije

4.4. Analiza troškova i koristi elektrifikacije prometa osobnih automobila

Kako bi prikazala ekonomska isplativost elektrifikacije prometa osobnih automobila provedena je analiza troškova i koristi iste za scenarij ubrzanе dekarbonizacije u odnosu na referentni scenarij. Zbog povećanja potražnje za električnom energijom u scenariju ubrzanе dekarbonizacije, dolazi do rasta ukupnih troškova u proizvodnji električne energije. Kumulativni troškovi proizvodnje električne energije scenarija ubrzanе dekarbonizacije veći su od onih u referentnome scenariju za 3.63 milijarde eura. Zahvaljujući smanjenju potražnje za fosilnim gorivima, dolazi do uštede od 5.28 milijardi eura u vađenju i uvozu resursa. Razlika troškova vozila između ta dva scenarija iznosi 4.97 milijardi eura. Pretpostavljena je diskontna stopa u visini 5%. Ukupno smanjenje emisije stakleničkih plinova iznosi 87.01 milijuna tona CO₂eq. Ukupna neto sadašnja vrijednost između scenarija je 3.3 milijarde eura. Time dolazimo do troška izbjegnutih emisija stakleničkih plinova u visini 38.24 eura po toni CO₂eq.

5. ZAKLJUČAK

U ovome radu predstavljene su najvažnije strategije i ciljevi Europske unije u borbi s klimatskim promjenama u svim sektorima energetske sustava. Poblje su opisane mjere i politike predložene u Integriranom nacionalnom energetske i klimatske planu Republike Hrvatske te promjene između nacrtu i konačne verzije Plana. Provedena je i studija slučaja trenutnog stanja u prometu u RH. U sklopu rada su uz pomoć softverske alata Low Emission Analysis Platform modelirana tri scenarija prometnog sektora. Svaki od tih scenarija predstavlja različito tempo dekarbonizacije prometa. Rezultati scenarija pokazani su kroz brojeve pojedinih vozila u prometu, ukupnu potrošnju energije te emisije stakleničkih plinova prometnog sektora.

Prometni sektor čini vrlo važan dio energetske sustava i značajan udio emisija stakleničkih plinova. Tako se dekarbonizacijom prometa može napraviti veliki korak k ciljevima Europske unije u pogledu postojanja prvom klimatski neutralnim kontinentom 2050. godine. Osim smanjenja emisija stakleničkih plinova, postoje i mnoge druge prednosti odmicanja od masovne uporabe fosilnih goriva u prometnom sektoru. Tako se, zahvaljujući smanjenju štetnih emisija, postiže i čišći i kvalitetniji zrak što ima veliki utjecaj na poboljšanje javnog zdravlja i kvalitetu života građana. Još jedna prednost je i smanjenje onečišćenja bukom, s obzirom da su električna vozila i vozila na vodik znatno tiša u radu od vozila s motorom s unutarnjim izgaranjem.

Prednosti mogu biti i ekonomske, u vidu otvaranja novih radnih mjesta u izgradnji i održavanju infrastrukture, ali i razvoja novih tehnologija što dodatno ojačava gospodarstvo i olakšava prijelaz u dekarbonizirano društvo. Smanjenjem ovisnosti i većom uporabom energije iz obnovljivih izvora stvara se i sigurniji energetske sustav koji je manje podložan vanjskim geopolitičkim događanjima koja mogu znatno utjecati na cijene fosilnih goriva, a time i na cijene električne energije. Osim same dekarbonizacije cestovnog prometa veliku ulogu u smanjenju emisija stakleničkih plinova igra i promjena navika građana. To je konkretno vidljivo u povećanom korištenju gradskog prijevoza te ostalih učinkovitijih načina transporta. Povećanjem udjela putnika i roba u željezničkom prometu smanjuje se potreba za cestovnih vozilima čime se dodatno smanjuje njihov broj, a time i njihove emisije stakleničkih plinova i bez elektrifikacije voznog parka.

Slijedenjem smjernica i ciljeva Europske unije može se ostvariti značajno u smanjenje emisija stakleničkih plinova, te ih do 2050. godine u prometnom sektoru smanjiti za gotovo 90% u odnosu razinu 2023.godinu. Kako bi to bilo uopće moguće potrebna su značajna ulaganja u

infrastrukturu obnovljivih izvora energije, mrežu punionica električnom energijom i vodikom te kontinuiranom daljnjom elektrifikacijom željezničkih pruga. Također, poželjno je ulagati u obnovljive izvore energije kako se dodatna potreba za električnom energijom u prometnom sektoru ne bi nadoknađivala pojačanim radom termoelektrana te tako djelomično negiralo smanjenje emisija stakleničkih plinova u samome prometu.

LITERATURA

- [1] European Commission, dostupno: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2030-climate-targets_en (pristupljeno 28.12.2024.)
- [2] EU Climate Target Plan 2030 Key contributors and policy Tools
- [3] UNFCCC, dostupno: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/parisagreement_publication.pdf (pristupljeno 28.12.2024.)
- [4] European Commission, dostupno: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_19_6691 (pristupljeno 30.12.2024.)
- [5] European Council, dostupno: <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/fit-for-55-eu-emissions-trading-system/> (pristupljeno 30.12.2024.)
- [6] European Council, dostupno: <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/fit-for-55-effort-sharing-regulation/> (pristupljeno 30.12.2024.)
- [7] European Council, dostupno: <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/fit-for-55-afir-alternative-fuels-infrastructure-regulation/> (pristupljeno 30.12.2024.)
- [8] European Council, dostupno: <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/fit-for-55-refueled-and-fueled/> (pristupljeno 30.12.2024.)
- [9] European Council, dostupno: <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/fit-for-55-cbam-carbon-border-adjustment-mechanism/> (pristupljeno 30.12.2024.)
- [10] European Council, dostupno: <https://www.consilium.europa.eu/infographics/fit-for-55-how-the-eu-plans-to-boost-renewable-energy/> (pristupljeno 30.12.2024.)
- [11] European Council, dostupno: <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/fit-for-55-how-the-eu-will-become-more-energy-efficient/> (pristupljeno 30.12.2024.)
- [12] European Council, dostupno: <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/fit-for-55-making-buildings-in-the-eu-greener/> (pristupljeno 30.12.2024.)
- [13] European Council, dostupno: <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/fit-for-55-hydrogen-and-decarbonised-gas-market-package-explained/> (pristupljeno 30.12.2024.)
- [14] European Council, dostupno: <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/fit-for-55-cutting-methane-emissions-in-fossil-fuels/> (pristupljeno 30.12.2024.)
- [15] European Council, dostupno: <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/fit-for-55-social-climate-fund/> (pristupljeno 30.12.2024.)

- [16] Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the regions REPowerEU Plan
- [17] Regulation (EU) 2018/1999 of the European Parliament and of the Council
- [18] Integrirani nacionalni i energetska plan za Republiku Hrvatsku za razdoblje od 2021. do 2030. godine, lipanj 2023.
- [19] Integrirani nacionalni i energetska plan za Republiku Hrvatsku za razdoblje od 2021. do 2030. godine, kolovoz 2024.
- [20] Low Emissions Analysis Platform, dostupno: <https://leap.sei.org/default.asp?action=introduction> (pristupljeno 18.1.2025.)
- [21] Low Emissions Analysis Platform, dostupno: https://cdn.leap.sei.org/Help24/Demand/Vintaging_Calculations.htm?rhhlterm=transport%20analysis (pristupljeno 18.1.2025.)
- [22] Low Emissions Analysis Platform, dostupno: https://cdn.leap.sei.org/Help24/Transformation/Schematic_of_Standard_Module.htm (pristupljeno 18.1.2025.)
- [23] Energetski institut Hrvoje Požar, Energija u Hrvatskoj 2023
- [24] Eurostat, dostupno: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/transport/database> (pristupljeno 19.1.2025.)
- [25] HŽ Putnički prijevoz, Statistika za 2023.
- [26] HŽ Infrastruktura, Statistika HŽ Infrastrukture za 2023.
- [27] Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo, Registar zrakoplova
- [28] Državni zavod za statistiku, Transport i komunikacije
- [29] Transport Community, dostupno: <https://www.transport-community.org/wp-content/uploads/2024/01/TEN-T-revision-2023-annex-3-1.pdf> (pristupljeno 15.2.2025.)