

Usporedba različitih konfiguracija energetskega sustava Republike Hrvatske u energetskej tranziciji

Herc, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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:235:558352>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-16**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Luka Herc

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Neven Duić, dipl. ing.

Student:

Luka Herc

Zagreb, 2021.

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

Zahvaljujem se projektu INTERENERGY (IP-2019-04-9482) Istraživanje puteva energetske tranzicije - međuovisnost "power-to-X" tehnologija, tehnologija odgovora potrošnje i povezivanja tržišta energijom na pristupu literaturi.

Također, zahvaljujem se prof. dr. sc. Nevenu Duiću na mentorstvu te asistentu Antunu Pfeiferu, mag.ing.mech. na pruženoj pomoći i savjetima tokom sastavljanja ovog rada, kao i svojoj obitelji na potpori tokom studiranja.

Luka Herc



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

| | |
|-------------------------------------|---------|
| Sveučilište u Zagrebu | |
| Fakultet strojarstva i brodogradnje | |
| Datum: | Prilog: |
| Klasa: 602 - 04 / 21 - 6 / 1 | |
| Ur. broj: 15 - 1703 - 20 - | |

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Luka Herc** Mat. br.: 0035200073

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Usporedba različitih konfiguracija energetskega sustava Republike Hrvatske u energetskejoj tranziciji**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Comparison of different configurations of the energy system of the Republic of Croatia in energy transition**

Opis zadatka:

U dugoročnom energetske planiranju tranzicije nacionalnoga energetskega sustava od onog temeljenog na fosilnim gorivima prema energetske sustavu temeljenom na varijabilnim obnovljivim izvorima energije (VOIE) bit će od gospodarske i stručne važnosti razabrati između različitih alternativnih konfiguracija sustava i tehnologija koje su na raspolaganju za integraciju najpovoljnijih i ekološki prihvatljivih izvora energije. Za energetske sustav Republike Hrvatske, u ovom zadatku se ispituje učinak različitih tehnologija za pružanje balansiranja u uvjetima varijabilne proizvodnje na sustav te, posljedično, isplativost različitih puteva energetske tranzicije s ciljem postizanja sustava 100% temeljenog na VOIE u 2050. godini.

U okviru zadatka potrebno je:

1. Napraviti pregled tehnologija odziva potrošnje i tehnologija koje mogu pružiti balansiranje varijabilne proizvodnje na strani proizvodnje i na strani potrošnje energije.
2. Modelirati energetske sustav Republike Hrvatske u računalnom alatu za energetske planiranje EnergyPLAN u 2018., 2030., 2040. i 2050. godini.
3. Predložiti rješenje kroz konkretan kod u programskom jeziku prema vlastitom odabiru, koji će predstavljati dodatni alat za brz izračun velikog broja različitih konfiguracija energetskega sustava.
4. Prikazati rezultate u 2030., 2040. i 2050. godini, koji govore o smanjenju „kritičnog viška proizvedene električne energije“ [TWh/godišnje] u sustavu s visokim udjelom VOIE, godišnjim troškovima instalacije opreme i operativnim troškovima [MEUR] te emisijama CO₂ [Mt] te prema tim rezultatima usporediti puteve energetske tranzicije.


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


Zadatak zadan:
12. studenoga 2020.

Datum predaje rada:
14. siječnja 2021.

Predviđeni datum obrane:
18. – 22. siječnja 2021.

Zadatak zdao:


Prof. dr. sc. Neven Duić

Predsjednica Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

| | |
|--|-----|
| SADRŽAJ | I |
| POPIS SLIKA | III |
| POPIS TABLICA..... | VI |
| POPIS OZNAKA | VII |
| POPIS KRATICA | IX |
| SAŽETAK..... | X |
| SUMMARY | XI |
| 1. UVOD..... | 1 |
| 2. PREGLED TEHNOLOGIJA FLEKSIBILIZACIJE I BRZOG ODZIVA | 3 |
| 2.1. Fleksibilnost potrošnje | 3 |
| 2.1.1. Aktivan odgovor potrošača | 3 |
| 2.1.2. Izravan odgovor potrošnje | 4 |
| 2.2. Fleksibilnost termoelektrana | 8 |
| 2.3. Tehnologije pretvorbe električne u toplinsku energiju | 10 |
| 2.4. Koncepti „vozilo na mreži“ i „pametno punjenje“ | 12 |
| 2.5. Pohrana energije..... | 13 |
| 2.5.1. Pohrana u obliku kemijske energije | 14 |
| 2.5.2. Pohrana energije u mehaničkom obliku..... | 16 |
| 2.5.3. Električne baterije | 18 |
| 2.5.4. Pohrana u obliku toplinske energije..... | 20 |
| 3. METODA | 22 |
| 3.1. Opis procesa | 23 |
| 3.2. Multi-kriterijska analiza | 25 |
| 3.3. Izrada simulacija i korišteni alati | 27 |
| 3.4. Izrada krivulja | 27 |
| 3.4.1. Modeliranje potrošnje energije u sustavima zagrijavanja prostora i potrošne tople vode..... | 28 |
| 3.4.2. Modeliranje sustava rashlađivanja prostora..... | 29 |
| 3.4.3. Proizvodnja iz energije vjetra | 30 |
| 3.4.4. Proizvodnja iz energije Sunca..... | 30 |
| 3.4.5. Proizvodnja u hidroelektranama | 30 |
| 4. PRIMJENA NA SLUČAJU HRVATSKE | 32 |
| 4.1. Ulazni podaci | 32 |
| 4.1.1. Demografija | 32 |
| 4.1.2. Potrošnja električne energije..... | 32 |
| 4.1.3. Potrošnja energije u svrhu zagrijavanja prostora i potrošne tople vode | 33 |
| 4.1.4. Potrošnja energije u industriji | 35 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 4.1.5. | Potrošnja energije u sektoru prometa..... | 37 |
| 4.1.6. | Hidroelektrane..... | 39 |
| 4.1.7. | Termoenergetska postrojenja..... | 40 |
| 4.1.8. | Nuklearne elektrane..... | 42 |
| 4.1.9. | Geotermalne elektrane..... | 42 |
| 4.1.10. | Raspoloživi potencijali..... | 42 |
| 4.2. | Troškovi..... | 43 |
| 4.3. | Krivulje..... | 45 |
| 4.3.1. | Sustavi zagrijavanja prostora i PTV-a..... | 45 |
| 4.3.2. | Rashlađivanje prostora..... | 46 |
| 4.3.3. | Proizvodnja iz energije vjetra..... | 46 |
| 4.3.4. | Proizvodnja iz energije sunca..... | 47 |
| 4.3.5. | Proizvodnja iz akumulacijskih hidroelektrana..... | 48 |
| 4.3.6. | Proizvodnja iz protočnih hidroelektrana..... | 49 |
| 4.4. | Podaci za Hrvatsku 2018..... | 49 |
| 5. | REZULTATI..... | 51 |
| 5.1. | Rezultati za Hrvatsku 2018..... | 51 |
| 5.2. | Rezultati za 2030. godinu..... | 52 |
| 5.2.1. | Odabir najpovoljnijeg sustava za 2030. godinu..... | 59 |
| 5.3. | Rezultati za 2040. godinu..... | 63 |
| 5.3.1. | Odabir najpovoljnijeg sustava 2040. godinu..... | 72 |
| 5.4. | Rezultati za 2050. godinu..... | 76 |
| 5.4.1. | Odabir najpovoljnijeg sustava za 2050. godinu..... | 81 |
| 5.5. | Usporedba rezultata..... | 86 |
| 5.6. | Usporedba predloženog scenarija sa S1 scenarijem Energetske strategije Republike Hrvatske..... | 91 |
| 6. | ZAKLJUČAK..... | 93 |
| 7. | LITERATURA..... | 95 |
| | PRILOZI..... | 102 |
| | II. Python kod, dio I..... | 103 |
| | III. Python kod, dio II..... | 107 |
| | IV. VBA kod..... | 110 |
| | V. Rezultati multi-kriterijske analize za 2030..... | 111 |
| | VI. Rezultati multi-kriterijske analize za 2040..... | 116 |
| | VII. Rezultati multi-kriterijske analize za 2050..... | 121 |

POPIS SLIKA

| | |
|---|----|
| Slika 1. Usporedba sustava bez (lijevo) i s (desno) fleksibilnim termoelektranama | 9 |
| Slika 2. Pogon nuklearnih elektrana pri djelomičnom opterećenju [15]..... | 10 |
| Slika 3. Mogućnosti povezivanja sektora zagrijavanja prostora i elektro-energetskog sustava [17] | 11 |
| Slika 4. Primjena P2H [19] | 12 |
| Slika 5. Tehnologije pohrane energije [20] | 14 |
| Slika 6. Koncept P2G sustava | 15 |
| Slika 7. Princip rada gorivog članka [22]..... | 15 |
| Slika 8. Komponente sustava pohrane energije u zamašnjacima [23] | 17 |
| Slika 9. Shematski prikaz sustava reverzibilne hidroelektrane [24] | 17 |
| Slika 10. Shema CAES sustava [26] | 18 |
| Slika 11. Shema rada električne baterije kod pražnjenja (lijevo) i punjenja (desno) [27] | 19 |
| Slika 12. Specifična cijena li-ion baterija [30] | 19 |
| Slika 13. Pohrana energije u obliku rastaljenih soli [31] | 20 |
| Slika 14. Pohrana energije u obliku zagrijanih stijena [34] | 21 |
| Slika 15. Shema alata EnergyPLAN [35]..... | 22 |
| Slika 16. Dijagram toka procesa | 24 |
| Slika 17. Dijagram toka primjene tehnologija i pretpostavka | 25 |
| Slika 18. Tipična raspodjela potrošnje PTV-a [41]..... | 29 |
| Slika 19. Demografija [46]..... | 32 |
| Slika 20. Potrošnja električne energije [45] | 33 |
| Slika 21. Potrošnja energije u industriji, poljoprivredi i građevinskom sektoru..... | 37 |
| Slika 22. Propotovana udaljenost | 38 |
| Slika 23. Toplinske potrebe u CTS-u | 45 |
| Slika 24. Toplinske potrebe kod individualnih sustava grijanja | 45 |
| Slika 25. Rashladne potrebe | 46 |
| Slika 26. Lokacije za izradu krivulja energije vjetra [41], [67] | 47 |
| Slika 27. Proizvodnja iz vjetroelektrana | 47 |
| Slika 28. Proizvodnja iz FN elektrana..... | 48 |
| Slika 29. Proizvodnja iz akumulacijskih hidroelektrana [45] | 48 |
| Slika 30. Proizvodnja iz protočnih hidroelektrana [45] | 49 |
| Slika 31. Usporedba rezultata za udio OIE iz EnergyPLAN-a i iz IEA..... | 51 |
| Slika 32. Usporedba rezultata za emisije CO ₂ iz EnergyPLAN-a i iz IEA..... | 51 |
| Slika 33. Utjecaj korištenja biogoriva, električnih vozila te električnih vozila s V2G i pametnim punjenjem na Kritičnu proizvodnju električne energije (CEEP)..... | 52 |
| Slika 34. Utjecaj korištenja biogoriva, električnih vozila te električnih vozila s V2G i pametnim punjenjem na potrošnju biomase | 52 |
| Slika 35. Utjecaj korištenja biogoriva, električnih vozila te električnih vozila s V2G i pametnim punjenjem na ukupne godišnje troškove | 53 |
| Slika 36. Utjecaj integracije P2H sustava na CEEP | 53 |
| Slika 37. Utjecaj integracije P2H sustava na ukupne godišnje troškove | 54 |
| Slika 38. Utjecaj integracije P2H sustava na emisije CO ₂ | 54 |
| Slika 39. Utjecaj smanjenja opterećenja nuklearne elektrane CEEP | 55 |
| Slika 40. Utjecaj smanjenja opterećenja nuklearne elektrane na Ukupne godišnje troškove . | 55 |
| Slika 41. Utjecaj fleksibilnosti potrošnje na CEEP..... | 56 |
| Slika 42. Utjecaj sustava generiranja topline na potrošnje na CEEP..... | 56 |
| Slika 43. Utjecaj sustava generiranja topline na potrošnje na emisije CO ₂ | 57 |

| | |
|---|----|
| Slika 44. Utjecaj goriva u termoelektranama na potrošnje na CEEP | 57 |
| Slika 45. Utjecaj goriva u termoelektranama na potrošnje na emisije CO ₂ | 58 |
| Slika 46. Utjecaj goriva u termoelektranama na potrošnje na ukupne godišnje troškove | 58 |
| Slika 47. Odnos udjela OIE i CEEP-a | 59 |
| Slika 48. Odnos udjela OIE i CEEP-a uz CEEP ≤ 5 % | 60 |
| Slika 49. Potrošnja biomase | 60 |
| Slika 50. Ukupni godišnji troškovi | 61 |
| Slika 51. Investicijski godišnji troškovi | 61 |
| Slika 52. Operativni godišnji troškovi | 62 |
| Slika 53. Utjecaj korištenja biogoriva, električnih vozila te električnih vozila s V2G i pametnim punjenjem na CEEP | 63 |
| Slika 54. Utjecaj korištenja biogoriva, električnih vozila te električnih vozila s V2G i pametnim punjenjem na emisije CO ₂ | 63 |
| Slika 55. Utjecaj korištenja biogoriva, električnih vozila te električnih vozila s V2G i pametnim punjenjem na ukupne godišnje troškove | 64 |
| Slika 56. Utjecaj korištenja biogoriva, električnih vozila te električnih vozila s V2G i pametnim punjenjem na potrošnju biomase | 64 |
| Slika 57. Utjecaj povećanja kapaciteta P2H na CEEP | 65 |
| Slika 58. Utjecaj korištenja dizalica topline na CEEP | 65 |
| Slika 59. Utjecaj korištenja dizalica topline na emisije CO ₂ | 66 |
| Slika 60. Utjecaj korištenja dizalica topline na potrošnju biomase | 66 |
| Slika 61. Utjecaj korištenja dizalica topline na ukupne godišnje troškove | 67 |
| Slika 62. Utjecaj goriva u industriji na CEEP i udio OIE | 67 |
| Slika 63. Utjecaj goriva u industriji na emisije CO ₂ | 67 |
| Slika 64. Utjecaj goriva u industriji na potrošnju biomase | 68 |
| Slika 65. Utjecaj goriva u industriji na ukupne godišnje troškove | 68 |
| Slika 66. Utjecaj promjene goriva u termoelektranama na CEEP i udio OIE | 69 |
| Slika 67. Utjecaj promjene goriva u termoelektranama na ukupne godišnje troškove | 69 |
| Slika 68. Utjecaj promjene goriva u termoelektranama na emisije CO ₂ | 69 |
| Slika 69. Utjecaj promjene goriva u termoelektranama na potrošnju biomase | 70 |
| Slika 70. Utjecaj fleksibilne potrošnje na CEEP i udio OIE | 70 |
| Slika 71. Utjecaj fleksibilne potrošnje na potrošnju biomase | 71 |
| Slika 72. Utjecaj fleksibilne potrošnje na ukupne godišnje troškove | 71 |
| Slika 73. Utjecaj fleksibilne potrošnje na emisije CO ₂ | 72 |
| Slika 74. Utjecaj baterijske pohrane energije na CEEP i udio OIE. Sustav s 2500 MW baterijske pohrane (lijevo) i 0 MW (desno) | 72 |
| Slika 75. Odnos udjela OIE i CEEP-a | 73 |
| Slika 76. Rješenja s CEEP < 5% | 73 |
| Slika 77. Potrošnja biomase | 74 |
| Slika 78. Ukupni godišnji troškovi | 74 |
| Slika 79. Investicijski godišnji troškovi | 75 |
| Slika 80. Godišnji operativni troškovi | 75 |
| Slika 81. Utjecaj baterijske pohrane na CEEP | 77 |
| Slika 82. Utjecaj baterijske pohrane na ukupne godišnje troškove | 77 |
| Slika 83. Utjecaj pohrane električne energije u obliku toplinske energije na CEEP | 78 |
| Slika 84. Utjecaj pohrane električne energije u obliku toplinske energije na ukupne godišnje troškove | 78 |
| Slika 85. CEEP za slučaj korištenja sintetskih goriva u sektoru prometa | 79 |
| Slika 86. Ukupni godišnji troškovi za slučaj korištenja sintetskih goriva u sektoru prometa .. | 79 |
| Slika 87. Utjecaj povećanja kapaciteta reverzibilnih hidroelektrana na CEEP | 80 |

| | |
|--|----|
| Slika 88. Utjecaj promjene goriva u industriji na CEEP i udio OIE | 80 |
| Slika 89. Utjecaj promjene goriva u industriji na potrošnju biomase | 81 |
| Slika 90. CEEP | 82 |
| Slika 91. CEEP do 5 %..... | 82 |
| Slika 92. Potrošnja biomase | 83 |
| Slika 93. Ukupni godišnji troškovi..... | 83 |
| Slika 94. Investicijski godišnji troškovi | 84 |
| Slika 95. Operativni godišnji troškovi..... | 84 |
| Slika 96. Emisije CO ₂ | 84 |
| Slika 97. Usporedba udjela OIE..... | 86 |
| Slika 98. Usporedba emisija CO ₂ | 86 |
| Slika 99. Usporedba ukupnih troškova sustava..... | 87 |
| Slika 100. Usporedba specifičnih troškova sustava | 87 |
| Slika 101. Usporedba investicijskih troškova sustava | 88 |
| Slika 102. Usporedba operativnih troškova sustava..... | 88 |
| Slika 103. Usporedba potrošnje biomase | 89 |
| Slika 104. Raspon i srednje vrijednosti CEEP-a (A), emisija CO ₂ (B) ukupnih godišnjih troškova (C) i potrošnje biomase (D) | 90 |
| Slika 105. Kapacitet VOIE..... | 90 |
| Slika 106. Potrošnja električne energije | 91 |
| Slika 107. Usporedba smanjenja emisija predloženog scenarija i Energetske strategije | 91 |
| Slika 108. Usporedba udjela OIE predloženog scenarija i Energetske strategije | 92 |
| Slika 109. Usporedba kapaciteta VE (lijevo) i FN elektrana (desno) predloženog scenarija i Energetske strategije..... | 92 |

POPIS TABLICA

| | |
|--|-----|
| Tablica 1. Dostupna povećanja ili smanjenja opterećenja elektroenergetskog sustava u Hrvatskoj | 4 |
| Tablica 2. Proces i mogućnosti pružanja usluga odziva potrošnje u industriji [50] | 5 |
| Tablica 3. Težinski faktori multi-kriterijske analize | 26 |
| Tablica 4. Podaci o provedbi simulacija | 27 |
| Tablica 5. Prosječne toplinske karakteristike postojećih objekata [47] | 33 |
| Tablica 6. Specifična potrošnja energije obnovljenih i novih zgrada [48]..... | 34 |
| Tablica 7. Pretpostavke i rezultati provođenja mjere energetske učinkovitosti | 35 |
| Tablica 8. Potrošnja primarne energije u industriji, poljoprivredi i građevinskom sektoru [5]..... | 36 |
| Tablica 9. Projekcija potrošnje finalne energije u industriji | 36 |
| Tablica 10. Potrošnja goriva u 2018. [49] | 37 |
| Tablica 11. Izračun proputovane udaljenosti na godišnjoj razini..... | 38 |
| Tablica 12. Instalirane snage i prosječna proizvodnja hidroelektrana u Hrvatskoj | 39 |
| Tablica 13. Pretpostavke proširenja kapaciteta kod hidroelektrana | 40 |
| Tablica 14. Podaci o termoelektranama | 40 |
| Tablica 15. Podaci o kogeneracijskim elektranama | 41 |
| Tablica 16. Podaci o proizvodnim kapacitetima u CTS-u bez kogeneracije | 41 |
| Tablica 17. Pretpostavke kapaciteta termoelektrana u budućnosti | 42 |
| Tablica 18. Tehnički potencijali OIE u Republici Hrvatskoj [4] | 43 |
| Tablica 19. Cijene osobnih vozila [62] | 44 |
| Tablica 20. Cijene infrastrukture za električna vozila [64] | 44 |
| Tablica 21. Cijene emisijskih jedinica | 44 |
| Tablica 22. Finalna potrošnja goriva za zagrijavanje prostora [49], [70] | 49 |
| Tablica 23. Instalirani kapaciteti i proizvodnja 2018 [5], [68], [69]..... | 50 |
| Tablica 24. Rezultati za referentni model u 2018. godini | 51 |
| Tablica 25. Podaci o odabranom sustavu | 62 |
| Tablica 26. Podaci o odabranom sustavu | 75 |
| Tablica 27. Podaci o odabranom sustavu | 85 |
| Tablica 28. Rezultati multi-kriterijske analize za 2030..... | 111 |
| Tablica 29. Rezultati multi-kriterijske analize za 2040..... | 116 |
| Tablica 30. Rezultati multi-kriterijske analize za 2050..... | 121 |

POPIS OZNAKA

| Oznaka | Jedinica | Opis |
|--------------|----------|---|
| g_x | - | Faktor prikladnosti pojedinog sustava |
| f_{OIE} | - | Faktor udjela OIE u odnosu na raspon rješenja |
| f_{CO_2} | - | Faktor emisija CO ₂ u odnosu na raspon rješenja |
| f_{CEEP} | - | Faktor iznosa CEEP-a u odnosu na raspon rješenja |
| f_{BIO} | - | Faktor potrošnje biomase u odnosu na raspon rješenja |
| f_{TAC} | - | Faktor ukupnih godišnjih troškova u odnosu na raspon rješenja |
| g_{OIE} | - | Težinski faktor udjela OIE |
| g_{CO_2} | - | Težinski faktor emisija CO ₂ |
| g_{CEEP} | - | Težinski faktor CEEP-a |
| g_{BIO} | - | Težinski faktor potrošnje biomase |
| g_{TAC} | - | Težinski faktor ukupnih godišnjih troškova |
| OIE_x | - | Udio OIE razmatranog sustava |
| OIE_{min} | - | Minimalni udio OIE |
| OIE_{max} | - | Maksimalan udio OIE |
| CO_{2x} | - | Emisije razmatranog sustava |
| CO_{2min} | - | Minimalne emisije |
| CO_{2max} | - | Maksimalne emisije |
| $CEEP_x$ | - | CEEP razmatranog sustava |
| $CEEP_{min}$ | - | Minimalni CEEP |
| $CEEP_{max}$ | - | Maksimalan CEEP |
| BIO_x | - | Potrošnja biomase razmatranog sustava |
| BIO_{min} | - | Minimalna potrošnja biomase |
| BIO_{max} | - | Maksimalna potrošnja biomase |
| TAC_x | - | Ukupni godišnji troškovi razmatranog sustava |
| TAC_{min} | - | Minimalni godišnji troškovi |
| TAC_{max} | - | Maksimalni godišnji troškovi |
| Q_t | MW | Potrebna snaga za grijanje u nekom satu |
| SS | °C h | Stupanj sat |
| Q_{god} | MWh | Ukupne godišnje toplinske potrebe |

| | | |
|-----------------|------|--|
| Q_{PTVsat} | MW | Potrošnja potrošne tople vode u određenom satu |
| Q_{PTVgod} | MWh | Ukupna godišnja potrošnja potrošne tople vode |
| μ | - | Faktor korištenja PTV |
| Q_c | MW | Potražnja za hlađenjem u nekom satu |
| Q_{c_god} | MWh | Ukupna godišnja potražnja za hlađenjem |
| SS_c | °C h | Stupanj sat za hlađenje |
| $T_{projektna}$ | °C | Projektna temperatura |
| $T_{vanjska}$ | °C | Vanjska temperatura |

POPIS KRATICA

| Kratika | Naziv |
|---------|---|
| VOIE | Varijabilni obnovljivi izvori energije |
| OIE | Obnovljivi izvori energije |
| CEEP | Kritičan višak proizvodnje električne energije, <i>engl. „critical excess electricity production“</i> |
| FN | Fotonaponska elektrana |
| MSUI | Motor s unutarnjim izgaranjem |
| V2G | Vozilo na mreži, <i>engl. „Vehicle to grid“</i> |
| V2H | Spoj vozila i kućanstva, <i>engl. „Vehicle to home“</i> |
| P2G | Električna energija u plin, <i>engl. „Power to gas“</i> |
| P2H | Električna energija u toplinsku energiju, <i>engl. „Power to heat“</i> |
| PTV | Potrošna topla voda |
| COP | Faktor djelovanja, <i>engl. „Coefficient of performance“</i> |
| CTS | Centralizirani toplinski sustav |
| CCS | Hvatanje i pohrana ugljika (<i>engl. „carbon capture and storage“</i>) |
| NEK | Nuklearna elektrana Krško |

SAŽETAK

Republika Hrvatska, kao članica Europske Unije i potpisnica Pariškog Klimatskog Sporazuma ima obvezu pridonijeti svjetskom naporu ograničavanja porasta prosječne globalne srednje temperature za 2 °C, a poželjno i unutar 1,5 °C. Konkretni cilj ovih ograničenja je postupno smanjivanje emisija stakleničkih plinova te dostizanje klimatski neutralnog energetskog sustava do 2050., što se u slučaju Hrvatske planira postupnim smanjenjem korištenja fosilnih goriva uz povećanje proizvodnje iz varijabilnih obnovljivih izvora energije (VOIE).

Uz povećanje korištenja OIE, potrebno je provoditi mjere povećanja energetske učinkovitosti, naročito u stambenom sektoru, te uvođenje međusobne povezanosti između sektora potrošnje koji se počinju oslanjati na isti energetske vektor. Hrvatska u ovom smislu ima i prednost nepovoljne demografske situacije čime se olakšavaju napori prema tranziciji energetskog sustava te se osim uz primjenu mjera energetske učinkovitosti i uz negativan prirodni prirast, smanjuje potrošnja energije.

Također, dodatan cilj koji se ostvaruje u ovom radu je dostizanje energetske nezavisnosti Republike Hrvatske što kao rezultat ima povoljne učinke na stabilnost i pouzdanost energetskog sustava, a i eliminira negativnu tržišnu bilancu sa zemljama izvoznicama fosilnih goriva.

U ovom radu se razmatra izgradnja proizvodnih kapaciteta iz VOIE uz istovremeno smanjivanje kapaciteta termoenergetskih postrojenja te implementacije mjera fleksibilnosti i pohrane energije. Primjenom navedenih promjena u energetskom sustavu, dolazi se do samoodrživog sustava s visokim udjelom obnovljivih izvora energije. Također, postižu se ukupni godišnji troškovi nižeg iznosa u usporedbi s baznom godinom kako u ukupnom iznosu, tako i po stanovniku, uz gotovo nultu emisiju stakleničkih plinova i tek neznatno višom potrošnjom biomase.

Sve u ovom radu korištene tehnologije već su danas prepoznate kao izrazito obećavajuće i moguće za skoriju primjenu. Razmatrajući brzinu napretka i poboljšanja određenih tehnologija, uvode se pretpostavke smanjenja troškova. Ipak, na primjeru tehnologija poput električnih baterija je vidljiva određena mjera odstupanja brzine poboljšanja tehnologije, tj. projicirana poboljšanja su često podcjenjivala stvarna poboljšanja, što dodatno pridonosi smanjenju godišnjih troškova, a time i isplativosti sustava.

Ključne riječi: Dekarbonizacija, Energetska nezavisnost, Fleksibilnost, Obnovljivi izvori energije

SUMMARY

The Republic of Croatia is a member of the European Union and a signatory state to the Paris Climate accords. With signing of Paris Climate accords, it has taken over an obligation to take part in the global effort with the goal of limiting the increase of average global mean temperature by 2 ° C, and preferably within 1,5 ° C. The means of reaching this goal are presented in gradual decrease of greenhouse gas emissions with the goal of reaching net zero emissions energy system by the year 2050. Republic of Croatia plans to achieve this goal with the gradual decrease of fossil fuel use while at the same time increasing generation from renewable energy sources.

In addition to increasing the use of renewables, there is also a necessity to implement energy efficiency measures, especially in the housing sector, and to introduce cross-sector linkages between consumption sectors that are beginning to rely on the same energy vector. In a sense, Croatia has somewhat of the advantage due to unfavorable demographic situation, which facilitates efforts towards the transition of the energy system and, in addition to the application of energy efficiency measures, also acts to reduce energy consumption.

Additional goal achieved in this paper is the achievement of Croatia's energy independence which reflects favorably on the stability and reliability of the energy system and eliminates the negative trade balance with fossil fuel exporting countries as well.

This thesis discusses the construction of variable renewable energy generation capacities, while reducing the capacity of thermal power plants. At the same time, flexibility options and energy storage technologies are being implemented. The self-sufficient energy system with high share of renewable energy sources is achieved with the application of said technologies. Results show that total annual costs are lower compared to the base year, both in total and per capita, with almost zero greenhouse gas emissions and only slightly higher biomass consumption.

All the technologies considered in this thesis are already recognized as highly promising and applicable in a near future. Considering the rate of improvement, the assumptions of cost reduction of considered technologies are introduced. However, technologies such as electric batteries show a certain measure of deviation in the rate of technology improvement. For example, projected improvements often underestimated the actual improvements, which further contributes to reducing total annual costs and thus the cost-effectiveness of the system.

Key words: Decarbonization, energy self-sufficiency, flexibility, renewable energy sources

1. UVOD

Potpisivanjem Pariškog sporazuma 22. travnja 2016. godine, Republika Hrvatska se obvezala pristupiti globalnom cilju ograničavanja te naposljetku i smanjenja emisija stakleničkih plinova, kako bi se rast prosječnih temperatura održao ispod 2, a po mogućnosti i 1,5 °C u odnosu na predindustrijske razine [1].

Također, kao članica Europske Unije, Republika Hrvatska ima i ambicioznije ciljeve zadane Europskim Zelenim Planom smanjenja emisija stakleničkih plinova za najmanje 55% do 2030 te dostizanjem neto nula emisija do 2050 [2].

Smanjenje emisija CO₂ se može postići na više načina, koji ne moraju nužno uključivati dodavanje proizvodnih kapaciteta iz VOIE, ali je ta metoda već dokazano najdjelotvornija iz ekonomske strane zbog niskih niveliranih troškova proizvodnje iz energije vjetra i Sunca [3]. Primjerice, iste ciljeve je moguće postići primjenom nuklearne energije, ili uz primjenu hvatanja i pohranjivanja ugljika, ali uz brojne izazove s ekonomske strane i strane planiranja u smislu vremena građenja i priključenja postrojenja na mrežu. Time se dolazi do zaključka da primjena navedenih tehnologija ima smisla tek kod sustava kod kojih nisu zadovoljeni uvjeti za dostatnu proizvodnju energije iz VOIE.

Hrvatska pripada u regije sa zadovoljavajućim tehničkim potencijalima proizvodnje iz energije vjetra [4], Sunca te dodatnim neiskorištenim kapacitetima u hidroenergiji pa nije potrebno pribjegavati korištenju navedenih tehnologija.

Također, energetske sektor Republike Hrvatske je dugi niz godina uvožno orijentiran kako u pogledu proizvodnje električne energije [5], tako i u smislu nedostatne proizvodnje sirove nafte i plina. Oslanjanjem na uvoz energije, posebice električne energije, se elektroenergetski sustav Republike Hrvatske može bitno dovesti u nepovoljni položaj nemogućnosti samostalne regulacije sustava čime se ugrožava stabilnost elektroenergetskog sustava. Ovim radom se također prikazuje mogućnost potpune energetske nezavisnosti energetskog sustava Republike Hrvatske što je kako politički, tako i ekonomski cilj.

Prijašnjih godina su često bili zadavani samo ciljevi povećanja proizvodnje energije iz OIE, dok se aspekt mogućnosti implementacije te rješavanja vezanih problema nije pridodavala potrebna pažnja. Ipak, postizanje klimatskih ciljeva uz dodavanje proizvodnih kapaciteta se može samo do određene mjere primijeniti. Nastavkom dodavanja proizvodnih kapaciteta bez

istovremenog osuvremenjivanja elektro-energetskog sustava se riskira dolazak u situaciju povećanja troškova sustava uslijed moguće pojave varijacija u proizvodnji koje ostatak sustava ne bi mogao uravnotežiti. Primjerice, Republika Hrvatska se oslanja na uravnoteženje proizvodnje iz VOIE putem odgovarajućih varijacija u proizvodnji iz hidroelektrana, termoelektrana te putem prekograničnih veza. Taj način regulacije trenutno daje dobre rezultate, ali postoji opasnost uslijed povećanja kapaciteta VOIE, a time i varijacija u proizvodnji. Problem postaje još bolje izražen uslijed provedbe pretpostavljenih smanjenja kapaciteta termoenergetskih postrojenja uvjetovanih napuštanjem fosilnih goriva te poteškoća u realizaciji novih hidroenergetskih projekata zbog mjera zaštite okoliša. Također, potrebno je ukloniti vezanost na okolne energetske sustave u smislu pouzdanja u usluge balansiranja ili preuzimanja viška energije iz VOIE jer se može očekivati da će i sustavi okolnih država postići energetske tranzicije. Iz tog razloga može doći do situacije da ne postoji mogućnost dobave energije putem prekograničnih veza. Također, može doći i do suprotne situacije, tj. da elektroenergetski sustav generira previše električne energije u odnosu na potrošnju, ali ne postoji mogućnost prodaje električne energije putem prekograničnih veza. Uslijed opisane situacije dolazi do pojave isključivanja kapaciteta VOIE (*engl. „curtailment“*) što je nepovoljno za sve dionike jer dolazi do smanjenja proizvodnje iz VOIE iako je ona tehnički moguća te time i povećanja troškova sustava jer se moraju koristiti drugi izvori energije viših pogonskih troškova. Time se dolazi do zaključka da je u svrhu očuvanja pouzdanosti elektro-energetskog sustava potrebno planirati ne samo sustave proizvodnje, nego i sustave balansiranja potrošnje. Uz implementaciju navedenih sustava, dolazi se do realizacije stabilnog elektroenergetskog sustava baziranog na VOIE.

Prijašnji radovi o razvoju energetskog sustava Republike Hrvatske su analizirali navedenu problematiku izgradnje kapaciteta VOIE te se je analizom uvođenja električnih vozila dokazalo da se njihova primjena isplati čak i uz zadržavanje postojećeg sustava baziranog na hidroelektranama i termoelektranama [6]. Mogućnosti uspješne integracije fotonaponskih elektrana (FN) se također prikazuju uz istovremeno korištenje fleksibilne potrošnje i tehnologija vozila na mrežu (*engl. „Vehicle to grid“, V2G*) te pametnog punjenja električnih vozila (*engl. „Smart charge“*) [7]. Na moguće probleme s porastom viškova proizvodnje električne energije (*engl. „Critical excess electricity production“, CEEP*) uz dodavanje VOIE ukazuje [8]. Isti rad također pokazuje mogućnost boljeg vođenja sustava uz istovremenu integraciju FN i energije vjetra što se razlikuje od dosadašnje prakse primarno uvođenja samo proizvodnih kapaciteta iz energije vjetra uz tek minimalna povećanja kapaciteta FN-a.

2. PREGLED TEHNOLOGIJA FLEKSIBILIZACIJE I BRZOG

ODZIVA

2.1. Fleksibilnost potrošnje

Povijesno gledano, proizvodnja električne energije je uvijek pratila potrošnju, tj. uvijek je bilo potrebno osigurati jednaku proizvodnju kao potrošnja. Drugim riječima, potrebno je osigurati kako frekvencija mreže ne bi odstupala od nazivnih 50 Hz za više ili manje od 0,5 Hz. Potrebno je održavati frekvenciju u rasponu između 49,5 i 50,5 Hz [9], [10]. Regulacija frekvencije se u klasičnim energetske sustavima oslanja na postojanje rotacijske rezerve u obliku turbina.

Situacija se bitno mijenja uvođenjem većih kapaciteta VOIE. U tom slučaju više nije moguće na jednak način varirati proizvodnju. Kod sustava sa visokim udjelom VOIE proizvodnja je uvjetovana vremenskim uvjetima osim u slučaju provedbe izbacivanja pojedinih postrojenja iz mreže ili uz korištenje prekograničnih prijenosnih kapaciteta. Iako primjenjive, ove opcije nisu najprikladnije zbog nezadovoljstva potrošača u slučaju isključenja. Opcija korištenja prekograničnih prijenosnih kapaciteta može postati nepouzdana uslijed prelaska i susjednih regija na sustave s visokim udjelom VOIE.

Dio rješenja ovog problema se nalazi u povećanju fleksibilnosti samog sustava na način da se dio potrošnje uskladi s proizvodnjom, tj. osigura mogućnost da potrošnja slijedi promjenjivu proizvodnju. Provedba takvih rješenja je moguća na dva načina:

2.1.1. *Aktivan odgovor potrošača*

U ovu vrstu odziva potrošnje pripada princip poticanja korisnika da prebaci dio potrošnje u vrijeme niže cijene električne energije što se može postići varijabilnim cijenama električne energije kao indikatorom prikladnosti dodavanja opterećenja.

Ipak, prema [11], mogu nastati problemi sa strane pouzdanosti ovog pristupa zbog nedovoljne edukacije i racionalnosti krajnjeg potrošača, posebice kod korištenja varijabilnih cijena. Potrošač se ne bi trebao smatrati racionalnim i odgovornim te pretpostavljati da zna kad je dobro vrijeme da uključi neki uređaj. Stoga, ukoliko se provodi aktivan odziv potrošnje na strani potrošača, potrebno je uložiti u edukaciju krajnjih korisnika.

Praktična primjena ove vrste fleksibilnosti se nalazi u nekim industrijskim primjenama, gdje se mogu vremenski preraspodijeliti određeni procesi uz prethodnu najavu potrebe od strane operatora sustava.

2.1.2. Izravan odgovor potrošnje

Ovaj princip podrazumijeva automatizaciju ili djelomičnu automatizaciju odziva potrošnje. Provodi se uz pomoć uređaja spojenih s operatorom sustava putem internetske veze. Primjer ove vrste odziva potrošnje su sustavi grijanja, hlađenja i ventilacije koji mogu promijeniti opterećenje bez primjetnog utjecaja na toplinsku ugodnost.

U Hrvatskoj je 2014. postojao potencijal fleksibilizacije potrošnje u iznosu od 5,27 TWh [12] na temelju čega su određivani raspoloživi kapaciteti fleksibilne potrošnje koji se koriste u scenarijima za 2040. i 2050. Također, u nekim od scenarija se pretpostavlja dodatna elektrifikacija industrijskih procesa te se time omogućuje dodatni potencijal fleksibilne potrošnje. Tablica 1 prikazuje dostupne potencijale za smanjenje ili povećanje opterećenja elektro-energetskog sustava. Najveći potencijal za smanjenjem potrošnje imaju hladnjače i sustavi ventilacije, dok električni grijači i kućanski aparati kao perilice rublja imaju najveći potencijal povećanja potrošnje na zahtjev operatora.

Tablica 1. Dostupna povećanja ili smanjenja opterećenja elektroenergetskog sustava u Hrvatskoj

| Proces | Smanjenje opterećenja | Povećanje opterećenja |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Jedinica | MW | MW |
| Industrija aluminijska | 0 | 0 |
| Industrija bakra | 0 | 0 |
| Industrija cinka | 0 | 0 |
| Industrija klora | 0 | 0 |
| Pamučna industrija | 8 | 2 |
| Industrija papira | 5 | 3 |
| Reciklaža papira | 0 | 0 |
| Proizvodnja čelika | 35 | 0 |
| Proizvodnja cementa | 49 | 12 |

| | | |
|---|-----|-----|
| Kalcijev karbid | 0 | 0 |
| Zračna separacija | 0 | 0 |
| Hlađenje u industriji | 10 | 9.3 |
| Ventilacija u industriji | 3 | 0 |
| Hlađenje u trgovinama | 39 | 0 |
| Hlađenje skladišnih prostora | 5 | 4 |
| Hlađenje hotela I restorana | 8 | 6 |
| Ventilacija u komercijalnom sektoru | 76 | 0 |
| Hlađenje u komercijalnom sektoru | 24 | 0 |
| Skladištenje topline u komercijalnom sektoru | 0 | 108 |
| Grijanje skladišnih prostora | 0 | 0 |
| Vodovod | 18 | 15 |
| Postrojenje za obradu voda | 4 | 5 |
| Hladnjače | 106 | 0 |
| Perilice rublja | 37 | 223 |
| Sušila rublja | 3 | 20 |
| Perilice posuđa | 10 | 60 |
| Hlađenje u sektoru kućanstva | 37 | 0 |
| Skladištenje topline u kućanstvima | 0 | 199 |
| Električni grijač u kućanskom spremniku topline | 0 | 294 |
| Cirkulacijske pumpe | 28 | 0 |

Tablica 2. prikazuje dostupne procese u smislu odziva potrošnje te karakteristike navedenih procesa. Svaki od prikazanih procesa zahtjeva barem pola sata prethodne najave do odziva potrošnje, dok trajanje i učestalost upotrebe varira. Iz navedenog proizlazi da je osim same implementacije sustava odziva potrošnje potrebno i pravodobno planiranje pogona sustava što pak ukazuje na prognozu potrošnje i proizvodnje energije.

Tablica 2. Proces i mogućnosti pružanja usluga odziva potrošnje u industriji [50]

| Vrsta procesa | Minimalno trajanje | Maksimalno trajanje | Ograničenja upotrebe | Vrsta usluge |
|---------------|--------------------|---------------------|--|----------------------|
| Pakiranje | 0.5 h | 1 h | 1 do 2 puta dnevno uz obavijest 4 do 8 sati prije korištenja | Kapacitet i energija |

| | | | | |
|------------------------------------|-------|-----|--|-------------------------|
| Hlađenje | 0.5 h | 1 h | Manje od jednom dnevno | Rezerva i fleksibilnost |
| | | | Kontinuirano unutar određenog vremenskog perioda | Regulacija |
| | | | 1 do 2 puta dnevno uz obavijest 4 do 8 sati prije korištenja | Kapacitet i energija |
| Omatanje | 1 h | 1 h | 1 do 2 puta dnevno uz obavijest 4 do 8 sati prije korištenja | Kapacitet i energija |
| Tkanje | 1 h | 1 h | 1 do 2 puta dnevno uz obavijest 4 do 8 sati prije korištenja | Kapacitet i energija |
| Šivanje | 0.5 h | 1 h | 1 do 2 puta dnevno uz obavijest 4 do 8 sati prije korištenja | Kapacitet i energija |
| Obrada metala | 0.5 h | 1 h | 1 do 2 puta dnevno uz obavijest 4 do 8 sati prije korištenja | Kapacitet i energija |
| Sječa drvene materije | 1 h | 4 h | 1 do 2 puta dnevno uz obavijest 4 do 8 sati prije korištenja | Kapacitet i energija |
| Procesi izdvajanja vlage prešanjem | 0.5 h | 1 h | Manje od jednom dnevno | Rezerva i fleksibilnost |
| | | | Kontinuirano unutar određenog vremenskog perioda | Regulacija |
| | | | 1 do 2 puta dnevno uz obavijest 4 do 8 sati prije korištenja | Kapacitet i energija |
| Elektroliza | 4 h | 8 h | Manje od jednom dnevno | Rezerva i fleksibilnost |
| | | | Kontinuirano unutar određenog vremenskog perioda | Regulacija |
| | | | 1 do 2 puta dnevno uz obavijest 4 do 8 sati prije korištenja | Kapacitet i energija |
| Pogon kompresora | 1 h | 3 h | Manje od jednom dnevno | Rezerva i fleksibilnost |
| | | | Kontinuirano unutar određenog vremenskog perioda | Regulacija |

| | | | | |
|-------------------------|-------|-----|--|-------------------------|
| | | | 1 do 2 puta dnevno uz obavijest 4 do 8 sati prije korištenja | Kapacitet i energija |
| Brušenje | 1 h | 4 h | 1 do 2 puta dnevno uz obavijest 4 do 8 sati prije korištenja | Kapacitet i energija |
| Katalitičko karikiranje | 0.5 h | 1 h | Manje od jednom dnevno | Rezerva i fleksibilnost |
| | | | Kontinuirano unutar određenog vremenskog perioda | Regulacija |
| | | | 1 do 2 puta dnevno uz obavijest 4 do 8 sati prije korištenja | Kapacitet i energija |
| Procesi miješanja | 0.5 h | 1 h | Manje od jednom dnevno | Rezerva i fleksibilnost |
| | | | Kontinuirano unutar određenog vremenskog perioda | Regulacija |
| | | | 1 do 2 puta dnevno uz obavijest 4 do 8 sati prije korištenja | Kapacitet i energija |
| Procesi mljevenja | 0.5 h | 1 h | 1 do 2 puta dnevno uz obavijest 4 do 8 sati prije korištenja | Kapacitet i energija |
| Električne peći | 0.5 h | 1 h | Manje od jednom dnevno | Rezerva i fleksibilnost |
| | | | Kontinuirano unutar određenog vremenskog perioda | Regulacija |
| | | | 1 do 2 puta dnevno uz obavijest 4 do 8 sati prije korištenja | Kapacitet i energija |
| Drobljenje | 1 h | 4 h | 1 do 2 puta dnevno uz obavijest 4 do 8 sati prije korištenja | Kapacitet i energija |
| Elektroliza | 4 h | 8 h | Manje od jednom dnevno | Rezerva i fleksibilnost |
| | | | Kontinuirano unutar određenog vremenskog perioda | Regulacija |
| | | | 1 do 2 puta dnevno uz obavijest 4 do 8 sati prije korištenja | Kapacitet i energija |

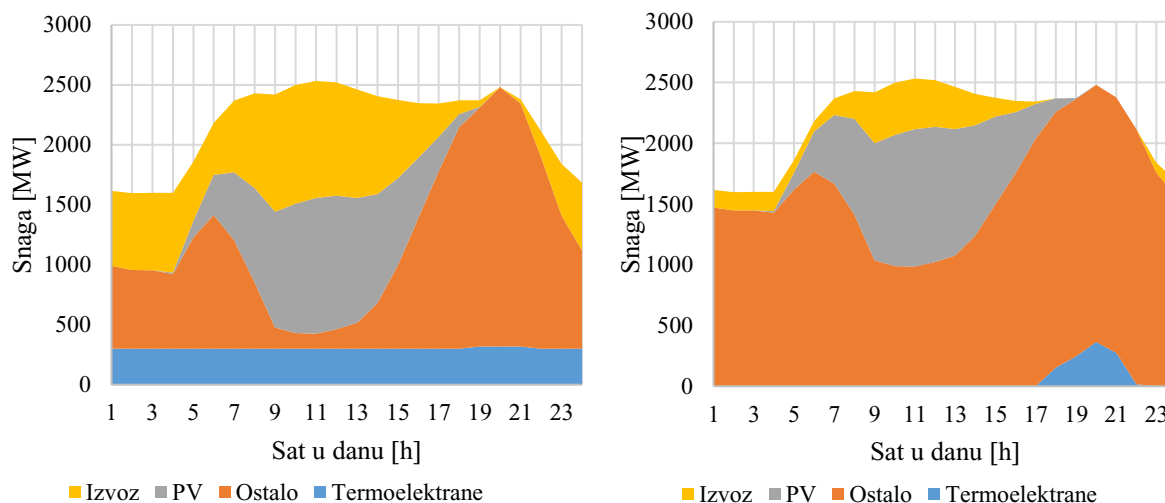
| | | | | |
|-------------------------|-------|-----|--|-------------------------|
| Drobljenje i separacija | 1 h | 4 h | 1 do 2 puta dnevno uz obavijest 4 do 8 sati prije korištenja | Kapacitet i energija |
| Rezanje metala | 1 h | 4 h | 1 do 2 puta dnevno uz obavijest 4 do 8 sati prije korištenja | Kapacitet i energija |
| Završno sklapanje | 0.5 h | 1 h | Manje od jednom dnevno | Rezerva i fleksibilnost |
| | | | Kontinuirano unutar određenog vremenskog perioda | Regulacija |
| | | | 1 do 2 puta dnevno uz obavijest 4 do 8 sati prije korištenja | Kapacitet i energija |

2.2. Fleksibilnost termoelektrana

Prisutnost VOIE uz istovremeni pogon nefleksibilnih termoenergetskih postrojenja kao baznih elektrana na ugljen ili nuklearnih elektrana, može prouzročiti visoki CEEP ili pak nedostatak energije u slučajevima brzih promjena proizvodnje iz VOIE. Kako se proizvodnja iz VOIE mijenja, bazna termoelektrana ne može dovoljno brzo prilagoditi vlastitu proizvodnju te može doći do problema sa stabilnosti. Ovaj problem je najizraženiji kod visokih kapaciteta fotonaponskih elektrana kad dolazi do brzog smanjenja proizvodnje tokom kasnih poslijepodnevni sati uz istovremeno povećanje opterećenja mreže.

Slika 1. prikazuje usporedbu dva sustava od kojih oba imaju instaliranih 2000 MW fotonaponskih elektrana (FN). Kao što je ranije opisano, uslijed brzog smanjivanja proizvodnje iz FN, dolazi do potrebe za povećanjem proizvodnje iz drugih izvora u tom vremenskom periodu. Lijeva slika prikazuje sustav bez fleksibilnih termoelektrana. U prikazanom primjeru, zbog nedostatka fleksibilnosti, termoelektrane rade gotovo jednakom snagom cijeli dan kako bi se mogla zadovoljiti vršna opterećenja koja se možda ne bi mogla zadovoljiti u slučaju potpunog gašenja termoelektrana. Posljedica takvog načina pogona bi bila generiranje većeg iznosa električne energije od potrebnog. Zbog zahtjeva za stabilnosti sustava se ovaj način pogona ne može primijeniti osim u slučaju mogućnosti izvoza viškova energije. Posljedično se često pribjegava smanjenju proizvodnje iz VOIE. Alternativno, može se provesti remont termoelektrana s dodatnim omogućavanjem fleksibilnog rada izvan inicijalno projektiranih radnih parametara. Provođenjem ovih mjera se može postići bolja integracija proizvodnje iz FN

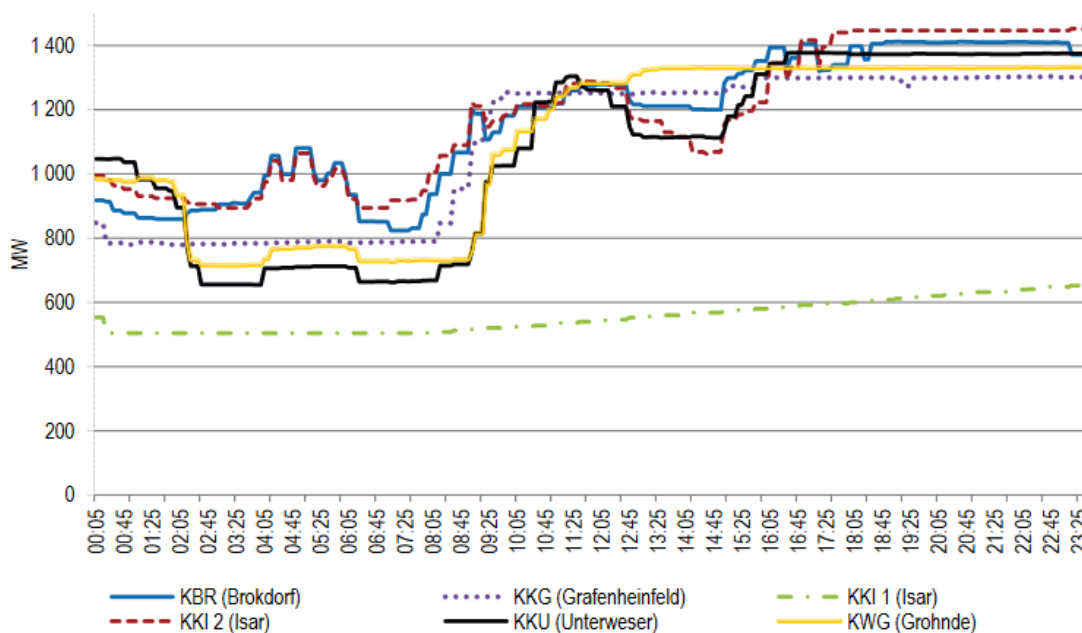
te time smanjiti izvoz ukoliko je ova mogućnost primjenjiva kao i smanjenje potrošnje goriva u termoelektranama.



Slika 1. Usporedba sustava bez (lijevo) i s (desno) fleksibilnim termoelektranama

Smanjenje minimalnog opterećenja uključuje gašenje elektrana i brzo dovođenje u pogonsko stanje. To se može postići zamjenom velikih nefleksibilnih postrojenja manjim postrojenjima baziranim na plinskim turbinama ili motorima s unutrašnjim izgaranjem. Također, postojećim termoelektranama se može omogućiti brzo priključivanje na mrežu iz hladnog stanja, a nakon prestanka rada se ne smije dopustiti hlađenje sustava ukoliko se očekuje potreba za korištenjem u narednom vremenskom periodu. Brz dolazak na mrežu se može omogućiti održavanjem kritičnih komponenta kao dijelova same turbine progrijanim, što se može postići kombinacijom izvora topline i cirkulacije vrućeg zraka kroz sustav [14]. Naravno, jednako ključan faktor je pravodobnost i ispravnost vremenske prognoze, a time i proizvodnje iz VOIE te prognoza same potrošnje.

Također, i nuklearne elektrane se mogu voditi na fleksibilan način. Ipak, brze promjene opterećenja uzrokuju potrebu za češćim zamjenama i inspekcijama opreme za upravljanje kontrolnim šipkama. Promjena generirane električne energije na generatoru se može postići preusmjeravanjem viškova generirane pare na sustav hlađenja što nije povoljno sa strane učinkovitog iskorištavanja goriva pa dovodi do smanjenja prihoda od generirane električne energije, ali dovodi do veće stabilnosti sustava [15], [16]. Slika 2. prikazuje pogon nuklearnih elektrana pri djelomičnom opterećenju i praćenju potrošnje tijekom jednog dana.



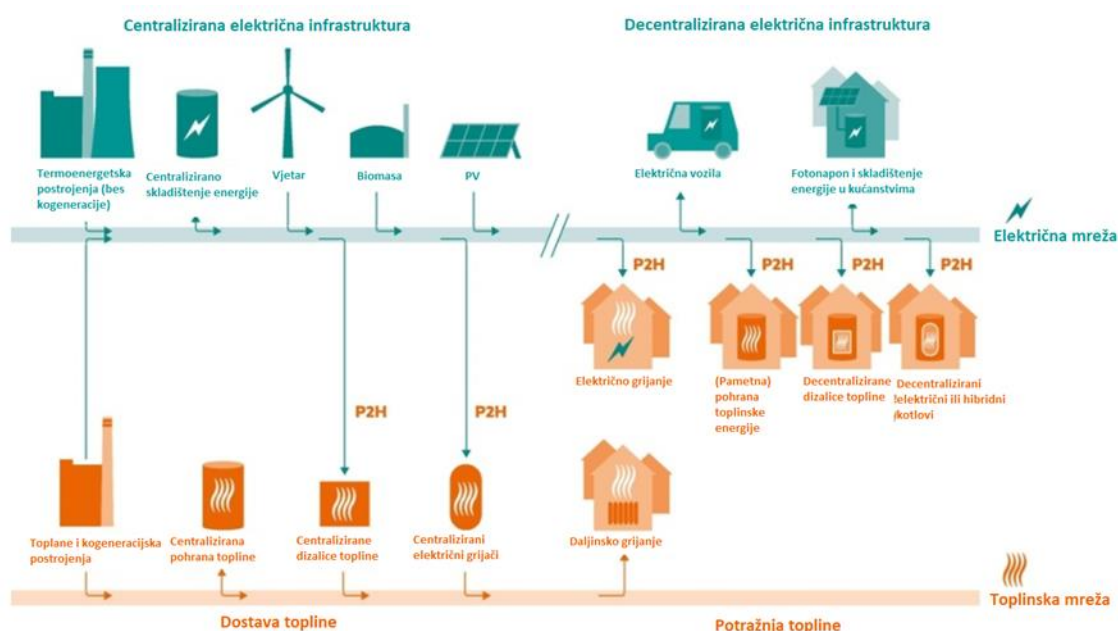
Slika 2. Pogon nuklearnih elektrana pri djelomičnom opterećenju [15]

2.3. Tehnologije pretvorbe električne u toplinsku energiju

Tehnologije pretvorbe električne u toplinsku energiju *engl. „Power to heat“* (P2H) podrazumijevaju pretvorbu električne energije u toplinsku energiju, koja se može izravno koristiti ili služiti kao pohrana energije. Ovi sustavi se sastoje od otporničkih grijača ili dizalica topline. Ideja iza primjene ove tehnologije je zamjena sustava grijanja zasnovanih na izgaranju goriva te regulacija elektro-energetskog sustava [17]. Uslijed velikih instaliranih snaga proizvodnih jedinica iz OIE, može zbog nefleksibilnosti ostatka mreže doći do situacije da proizvodnja električne energije nadmašuje potrošnju. Sa stajališta stabilnosti elektroenergetskog sustava, ova situacija je neprihvatljiva. Stoga, potrebno je uskladiti proizvodnju i potrošnju. Često se kao rješenju ovog problema pribjegava isključenju dijela proizvodnih jedinica s mreže, što ima za utjecaj smanjenje proizvodnje i OIE i ne iskorištavanje dostupnog potencijala. Alternativno rješenje ovog problema je iskorištavanje sve generirane energije. U slučajevima prekomjerne proizvodnje, cijena električne energije pada ili čak poprima negativne vrijednosti. Time se otvara mogućnost masovnog korištenja električne energije za proizvodnju topline. Povoljnost korištenja električne energije u svrhu generiranja topline ovisi o podrijetlu električne energije. Potrebno je razlikovati korištenje električne energije generirane procesom izgaranja u termoelektranama te električne energije generirane iz energije vode, Sunca ili vjetra. Ovdje se dolazi do pitanja eksurgije kao mjere maksimalnog

moćnog rada otvorenog sustava [18]. Korištenjem električne energije generirane u termoelektrani u toplinske svrhe predstavlja velike toplinske gubitke od kojih je najistaknutiji gubitak u konverziji kemijske energije goriva u električnu u termoelektrani. Ova se pojava naziva destrukcijom eksurgije. Također, dolazi do veće emisije stakleničkih plinova u usporedbi s izravnim korištenjem. S druge strane, procesi proizvodnje iz OIE ne generiraju velike količine otpadne topline i emisije stakleničkih plinova te se iz tog razloga generirana električna energija iz OIE može koristiti u svrhu generiranja toplinske energije.

Kao što prikazuje Slika 3., pretvorba električne u toplinsku energiju može služiti kao poveznica između elektro-energetskog i toplinskog sustava. P2H sustavi se najčešće razmatraju kao dopuna klasičnom sustavu grijanja.

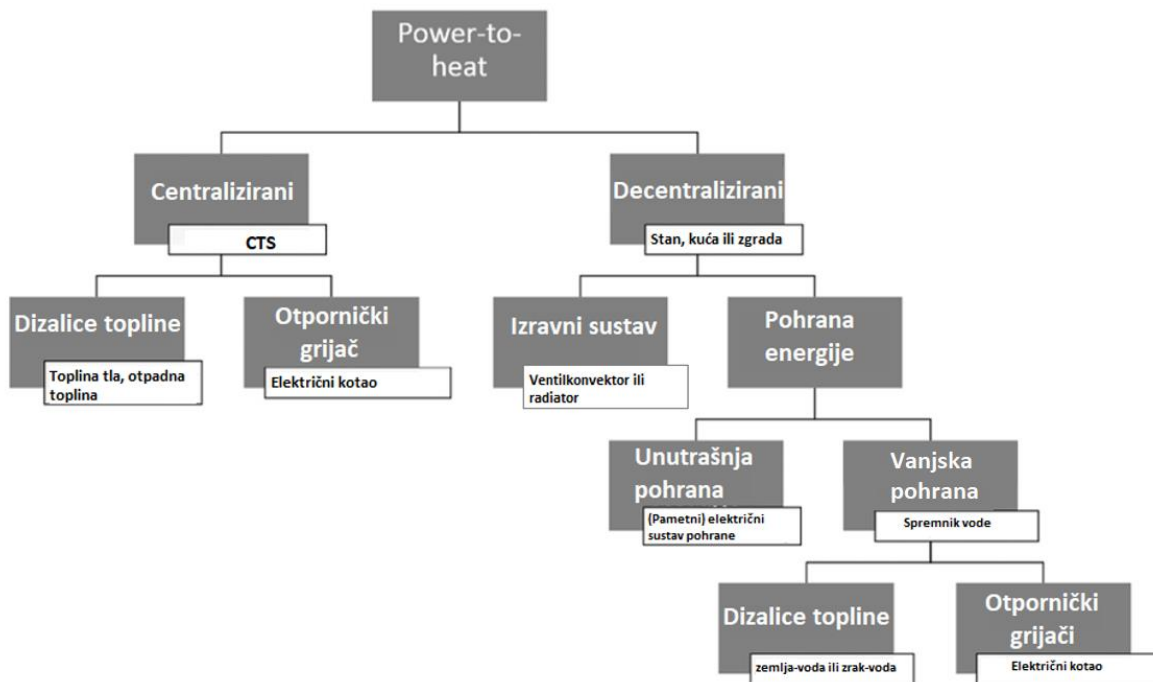


Slika 3. Mogućnosti povezivanja sektora zagrijavanja prostora i elektro-energetskog sustava [17]

Podjelu P2H sustava prikazuje Slika 4.

P2H se može podijeliti na:

1. Centralizirane toplinske sustave – kogeneracijsko postrojenje može sadržavati klasičan CHP blok, kotlove, ali i dizalice topline ili električne kotlove
2. Decentralizirane toplinske sustave – sustavi na razini kućanstva ili zgrade



Slika 4. Primjena P2H [19]

Učinkovitost ove tehnologije se može opisati faktorom pretvorbe električne energije u toplinsku (Koeficijent grijanja krat. COP od *engl. „Coefficient of Performance“*), a kreće od $COP=1$ kod otporničkih grijača do 5-6 s već dostupnim dizalicama topline do čak 7 u većim visokoučinkovitim sustavima ili pak 10 što je teoretski moguć iznos. Ipak, najčešće se taj faktor kreće između 3 i 4, jer u velikoj mjeri ovisi o temperaturi okoliša te temperaturi grijaćeg medija. Dizalice topline su s investicijske strane u znatno nepovoljnijem položaju u odnosu na otporničke grijače, ali zbog visoke učinkovitosti, operativni troškovi su nekoliko puta niži pa dizalica topline postaje ekonomski povoljnija od grijača. Osim samog zagrijavanja, izvor fleksibilnosti je i skladištena toplina u obliku tople vode u spremniku koji se naziva spremnik topline ili električni kotao (uz uvjet prisutnosti otporničkog grijača). Tehnologije pretvorbe električne energije u toplinsku energiju se smatraju najfleksibilnijim i prvim izborom brzog odziva (ispod sekunde).

2.4. Koncepti „vozilo na mreži“ i „pametno punjenje“

Masovna elektrifikacija prometa može imati utjecaj na smanjenje emisija, ali i povećanje potrošnje električne energije te stvaranju visokih vršnih opterećenja. Problem se javlja uslijed kombinacije karakteristika sustava s visokim udjelom OIE i visokim udjelom elektrifikacije prometa. Slično kao i kod primjera opisanog kod fleksibilnosti termoelektrana, elektrifikacijom

transporta i priključivanjem vozila na punjač nakon dolaska korisnika kući, može doći do porasta potrošnje električne energije u već sad najopterećenijem dijelu dana kasnih poslijepodnevni sati.

Jedan od načina rješavanja ovog problema je optimiranje punjenja električnog vozila kad to više odgovara operatoru elektroenergetskog sustava, što uvelike ovisi o samom sustavu i proizvodnji u nekom danu. Primjerice, najpovoljnije vrijeme punjenja kod sustava s većom proizvodnjom iz energije vjetra je tokom noćnih sati kad postoji smanjena potrošnja, dok se optimalno vrijeme sustava s većom proizvodnjom iz FN nalazi tokom dana uslijed proizvodnje koja može premašiti potrošnju. Time se uvodi tehnologija pametnog punjenja.

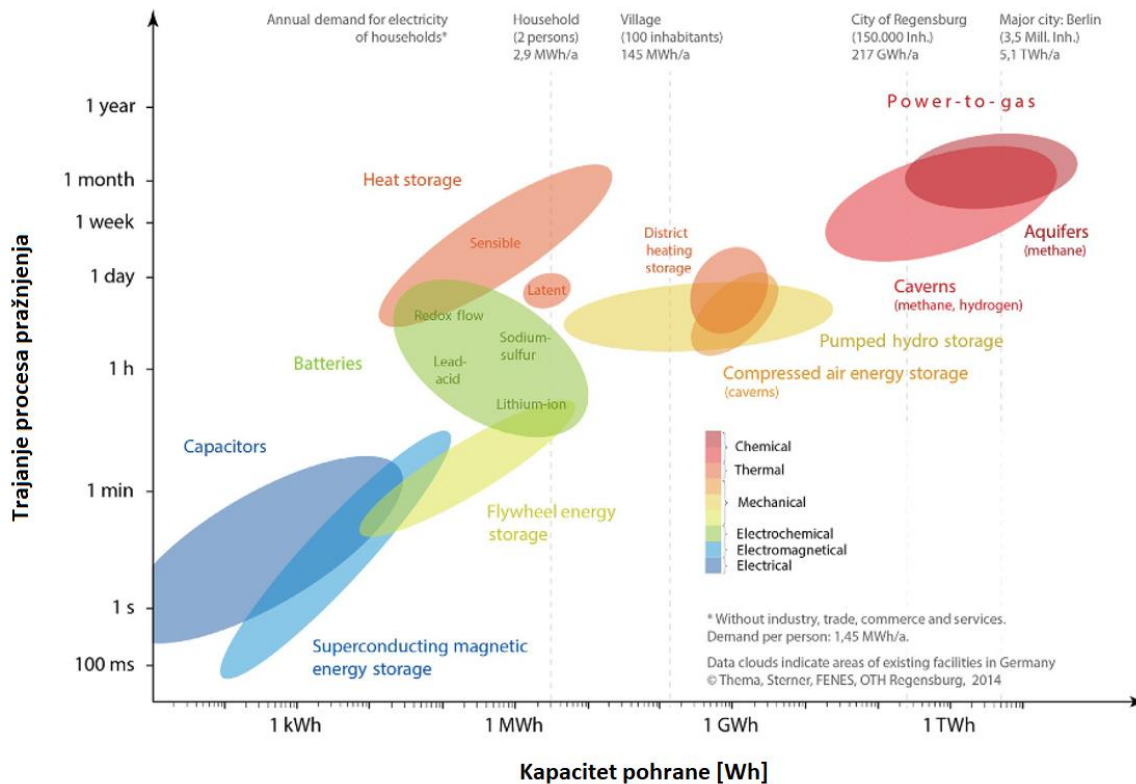
Drugi problem koji se može riješiti korištenjem električnih vozila dolazi do izražaja ako ih se ne promatra samo kao vozilo, nego i kao sustav pohrane energije, a time i svojevrzne elektrane. Uz primjenu tehnologije V2G omogućuje se povrat dijela električne energije pohranjene u bateriji samog vozila u električnu mrežu V2G ili kućanstvo (engl. „*Vehicle to home*“, V2H). Oba ova koncepta omogućuju smanjenje vršnih opterećenja u elektroenergetskom sustavu što ima za utjecaj niže emisije, ali i niže troškove samog sustava zbog izostanka potrebe za gradnjom vršnih elektrana. Drugi razlog smanjenja troškova je očekivano sniženje cijena električnih vozila (Tablica 19.) uz istodobno povećanje cijena vozila s motorima s unutarnjim izgaranjem (MSUI) što također ima rezultat u smanjenju uvoza fosilnih goriva. Uz niže investicijske kao i operativne troškove, očekuje se postupna zamjena vozila s MSUI električnim vozilima.

2.5. Pohrana energije

Pojam „Pohrana energije“ označava skup tehnologija uz čije korištenje se može pohraniti električna energija u nekom od oblika [20]. Koristi se za uspostavljanje veze između proizvodnje i potrošnje energije kod sustava s visokim udjelom VOIE. Viškovi proizvodnje energije primjerice iz VOIE se spremaju za korištenje kad se za to ukaže potreba uslijed smanjene proizvodnje zbog nepovoljnih vremenskih uvjeta te se na taj način kompenzirati varijacije u proizvodnji. Slika 5. prikazuje neke od dostupnih tehnologija pohrane energije koji se mogu podijeliti na:

- Kemijska energija
- Toplinska
- Mehanička

- Elektrokemijska
- Elektromagnetska
- Električna



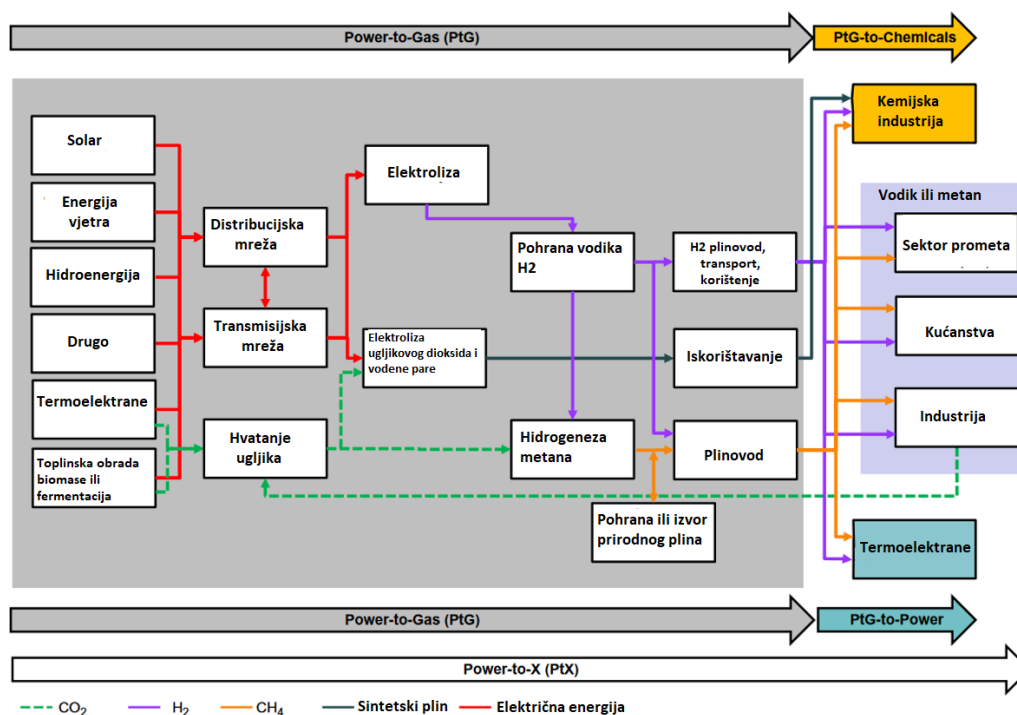
Slika 5. Tehnologije pohrane energije [20]

2.5.1. Pohrana u obliku kemijske energije

Sustavi pohrane u obliku kemijske energije (*engl.* „power to gas“, P2G) podrazumijevaju potrebu za provedbom kemijskih reakcija kako bi se oslobodila pohranjena energija. Ovi sustavi mogu sadržavati pohranu energije u obliku sintetskih goriva [21]. Slika 6. prikazuje proces sinteze goriva uz korištenje električne energije. Kako bi se sustav najučinkovitije koristio, potrebno je iskoristiti viškove proizvodnje električne energije u elektrolizatoru, kako bi se elektrolizom vode proizveo vodik H_2 koji se može zasebno skladištiti u specijalnim sustavima ili izravno koristiti. Alternativa je uvođenje drugog djela procesa u kojem se iz netom generiranog vodika i ugljikovog dioksida CO_2 pridobivenog putem hvatanja ugljika mogu sintetizirati ugljikovodici te pohraniti.

Sama pohrana može biti u obliku geološke pohrane u iscrpljena plinska polja ili u spremnike u obliku ukapljenog prirodnog plina, ako je proizvedeni ugljikovodik jednakih karakteristika kao

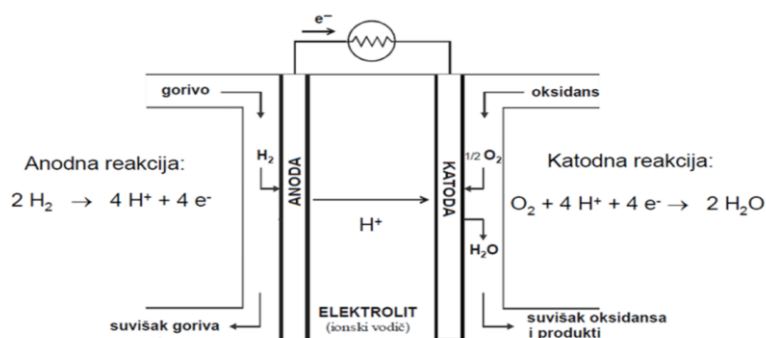
prirodni plin. Kod sinteze tekućih goriva, u svrhu pohrane se mogu koristiti postojeći kapaciteti pohrane tekućih naftnih derivata ili sirove nafte



Slika 6. Koncept P2G sustava

Alternativni način korištenja ove tehnologije od prikazanog je da se umjesto u svrhu proizvodnje sintetskih goriva, vodik H_2 iskoristi u gorivom članku te na taj način izravno generira električnu energiju i toplinu kao nusproizvod.

Princip rada gorivog članka prikazuje Slika 7. Vodik ulazi u anodni prostor PEM gorivog članka gdje se odvija reakcija oksidacije. Produkti oksidacije su vodikovi kationi koji prelaze kroz elektrolit do katode gorivog članka. Drugi dio produkata oksidacije su negativno nabijeni elektroni koji prolaze s vanjske strane uređaja, kroz trošilo gdje u sustavu istosmjerne struje obavljaju rad. Krug se zatvara dolaskom elektrona i kationa na katodni dio gdje dolazi do reakcije redukcije i stvaranja vode [22].



Slika 7. Princip rada gorivog članka [22]

Nedostatak tehnologije P2G je niska energetska učinkovitost uslijed energetskih konverzija što se može pokazati ograničavajućim faktorom u primjeni zbog potrebe za velikim količinama električne energije.

2.5.2. Pohrana energije u mehaničkom obliku

Pohrana energije u mehaničkom obliku zahtjeva transformaciju nekog od mehaničkih oblika energije kao što su gravitacijska potencijalna, energija sadržana kod medija pod tlakom rotacijska energija, u električnu energiju.

Sustavi pohrane koji pripadaju u ovaj oblik se znatno međusobno razlikuju prema učinkovitosti.

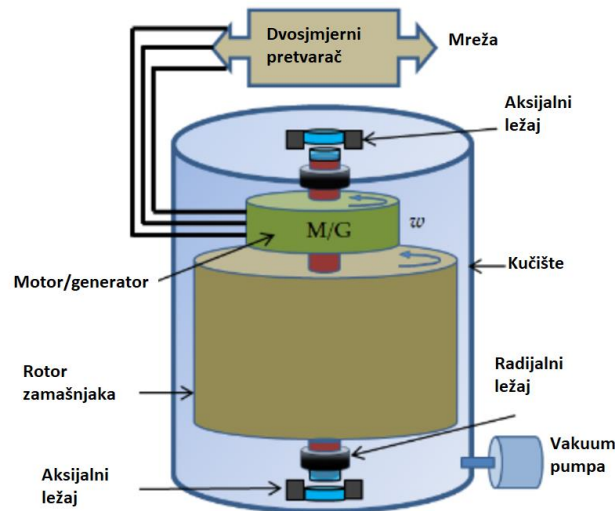
2.5.2.1. Zamašnjaci

Pohrana u obliku rotacijske energije korištenjem zamašnjaka se zasniva na dodavanju rotacijske energije vrtnjom zamašnjaka putem elektromotora, dok se kod isporuke energije proces odvija u suprotnom redoslijedu tako da električni motor preuzima ulogu generatora. Slika 8. prikazuje shematski prikaz zamašnjaka.

Prednost korištenja zamašnjaka je visoka pouzdanost sustava, trajnost, visoka učinkovitost, niski utjecaj na okoliš, izostanak potrebe za specifičnim uvjetima potrebnim za izgradnju te mogućnost pohrane velikih količina energije ukoliko se kombinira rad više pojedinačnih zamašnjaka u farmu zamašnjaka [23].

Mana pohrane putem zamašnjaka je zahtjev za radom sustava u određenim brzinama vrtnje kod kojih je osigurana pouzdana pretvorba rotacijske u električnu energiju ostavljajući dio energije nepovrativ. Ipak, ukupna učinkovitost ovog sustava iznosi između 90 i 95 %.

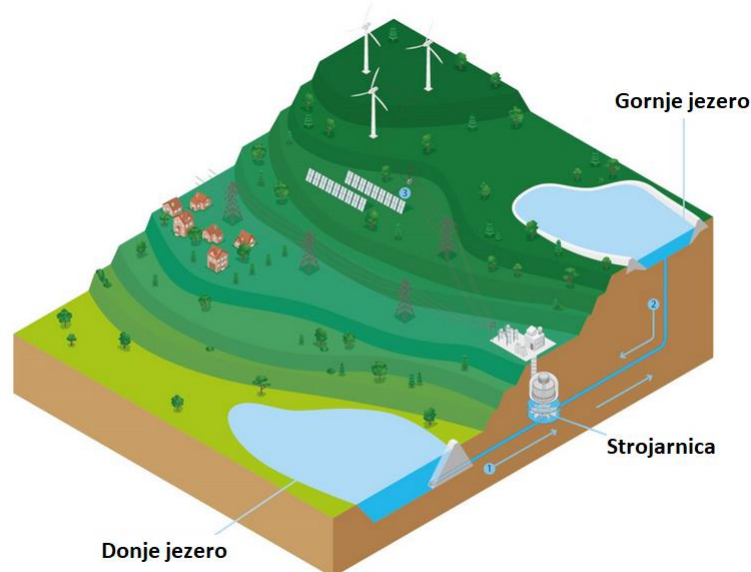
Trenutno se najčešće primjene ovakvog sustava nalaze u regulaciji mreže, posebice kod velikih potrošača kao sustava podzemne željeznice.



Slika 8. Komponente sustava pohrane energije u zamašnjacima [23]

2.5.2.2. Reverzibilne hidroelektrane

Reverzibilne hidroelektrane se oslanjaju na korištenje visinske razlike između dvije razine vode kako bi uz propuštanje vode prema nižem jezeru mogle generirati električnu energiju, tj. transformirati potencijalnu gravitacijsku energiju u električnu energiju ili u pumpnom režimu rada puniti gornji spremnik te time spremati energiju. Ovo je trenutno najraširenija tehnologija pohrane energije s oko 94% dostupnih kapaciteta ili 9 TWh pohrane [24]. Učinkovitost ove tehnologije se kreće oko 80% [25]. Osnovnu shemu ovog sustava prikazuje Slika 9.

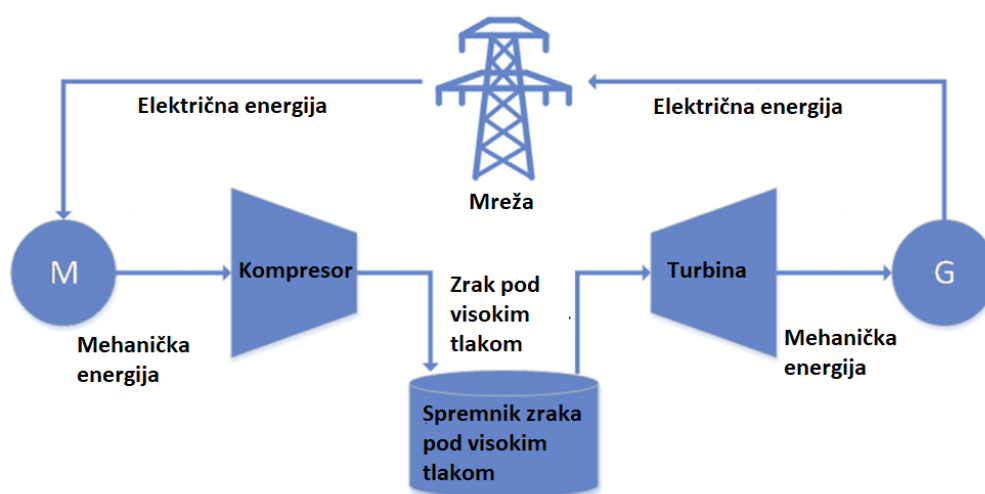


Slika 9. Shematski prikaz sustava reverzibilne hidroelektrane [24]

2.5.2.3. Zrak pod tlakom (CAES)

Sustav pohrane energije u obliku zraka pod visokim tlakom se u osnovnoj varijanti sastoji od kompresora, spremnika zraka pod tlakom i turbine tj. ekspanzijskog uređaja. Princip rada ovog sustava prikazuje Slika 10.

Učinkovitost ovog sustava je u rasponu između 42 i 89 % s najčešćom učinkovitosti od oko 50 %. Mana ovog sustava pohrane je niska energetska gustoća sa samo oko 2 do 6 Wh/l, a investicijski troškovi iznose između 400 i 1500 \$/kWh [26].



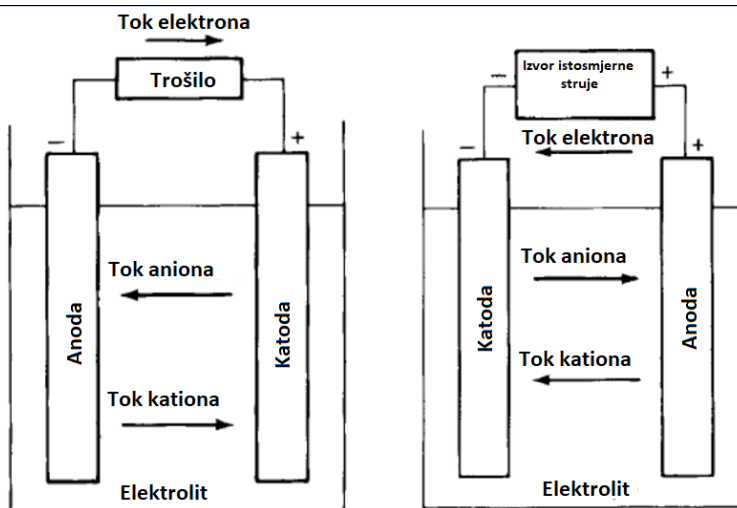
Slika 10. Shema CAES sustava [26]

2.5.3. Električne baterije

Električne baterije predstavljaju elektrokemijsku pohranu električne energije.

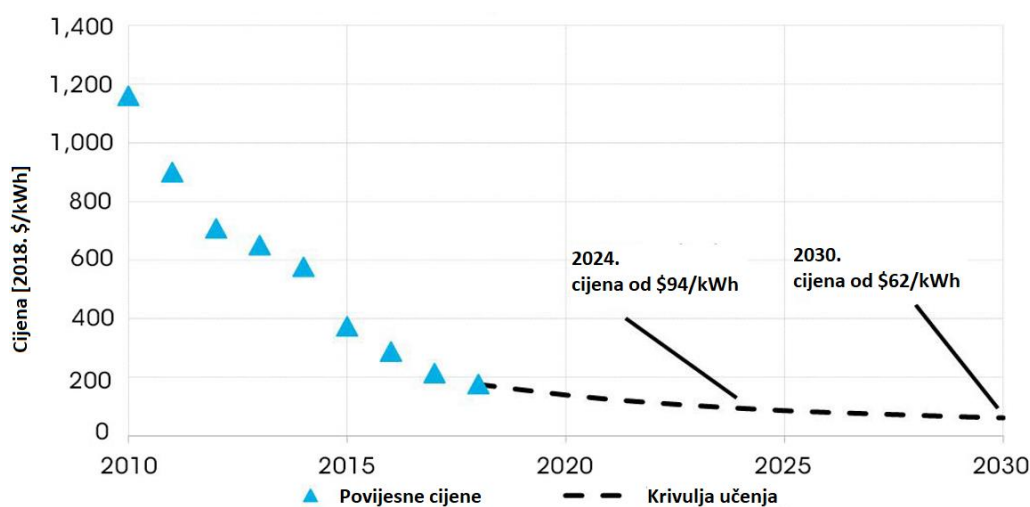
Sastoji se od dva različita metala od kojih jedan djeluje kao anoda, a drugi kao katoda koji su odvojeni elektrolitom. Elektrolit je najčešće u tekućem stanju, ali kod specijalnih primjena se mogu koristiti te se razvijaju sustavi sa krutim elektrolitom. Kruti elektrolit omogućuje postizanje veće trajnosti i energetske gustoće baterija što je ključno za daljnji napredak.

Kod priključenja potrošača na terminale baterije, elektroni odlaze s anode, koja oksidira, kroz potrošač i dolaze do katode, koja zatim reducira. Anioni pak prelaze kroz elektrolit na anodu, a kationi na katodu. Punjenje se odvija u suprotnom smjeru, a oksidacija se odvija na katodi, dok se redukcija odvija na anodi (Slika 11) [27].



Slika 11. Shema rada električne baterije kod pražnjenja (lijevo) i punjenja (desno) [27]

Trenutno već postoji nekoliko projekata stacionarne pohrane električne energije u električnim baterijama u svrhu balansiranja mreže [28]. Prednost korištenja baterija je jednostavnost, modularnost, cijena te veliki potencijal uslijed očekivanog napretka tehnologije. Trenutno je mana ove vrste pohrane što zahtjeva relativno velik volumen zbog niske volumenske energetske gustoće. Dodatna prednost ovog sustava je mogućnost pribavljanja povoljnih baterija sa starih električnih vozila koja više nisu prigodna za korištenje kod vozila zbog nastupile degradacije, ali ne predstavljaju barijere u primjeni kod stacionarne pohrane, jer u tom slučaju volumen nije presudni faktor. Slika 12. prikazuje povijesne cijene litij ionskih baterija te nagli pad posljednjih desetak godina uz što se očekuje i daljnji pad cijena te dostizanje cijene od 57 \$/kWh do 2023. [29][66].



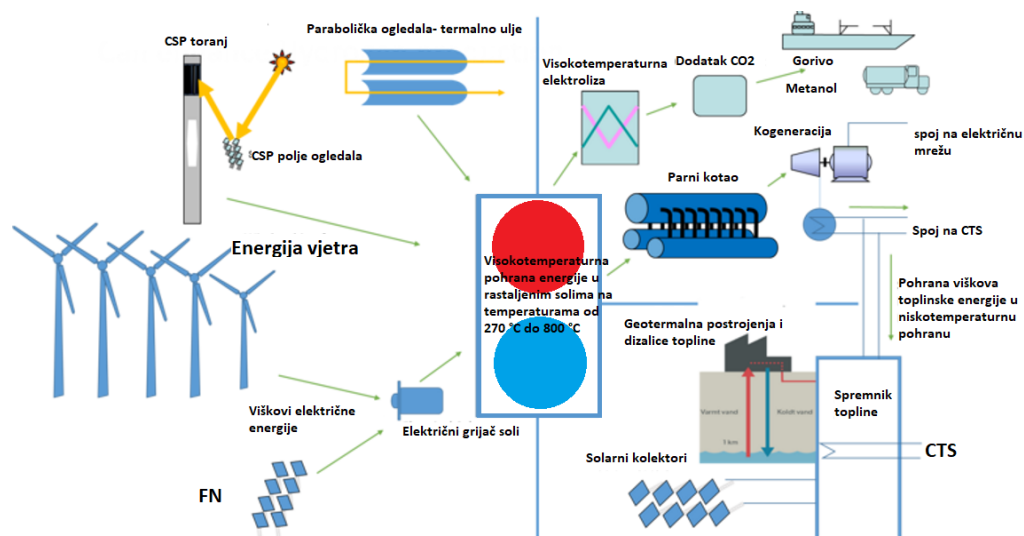
Slika 12. Specifična cijena li-ion baterija [30]

2.5.4. Pohrana u obliku toplinske energije

Pohrana u obliku toplinske energije se osim već razmotrenog slučaja unutar primjene sa sustavima grijanja, može primijeniti u kombinaciji s rastaljenim solima ili sa zagrijavanjem stijena [31].

Shemu sustava pohrane energije u obliku rastaljenih soli prikazuje Slika 13. Primjena rastaljenih soli je prigodna zbog visoke temperature isparavanja, niske viskoznosti te visoke latentne topline. Odabir soli ovisi o planiranim temperaturnim režimima primjene, ali trebalo bi izabrati sol koja ima temperaturu taljenja ispod donje, a temperaturu isparivanja iznad gornje očekivane temperature u sustavu. Primjerice, temperature se mogu kretati između 300 i 500 °C kod primjene NaNO_3 ili KNO_3 pa sve do raspona od 320 °C do 800 °C za NaOH [32].

Ovaj princip pohrane se trenutno koristi u koncentriranim sunčevim elektranama gdje služi za pohranu energije kako bi postrojenje moglo generirati električnu energiju i izvan osunčanih sati. Ipak, kako prikazuje Slika 13., kao izvor topline može poslužiti bilo koji izvor topline dovoljno visoke temperature.



Slika 13. Pohrana energije u obliku rastaljenih soli [31]

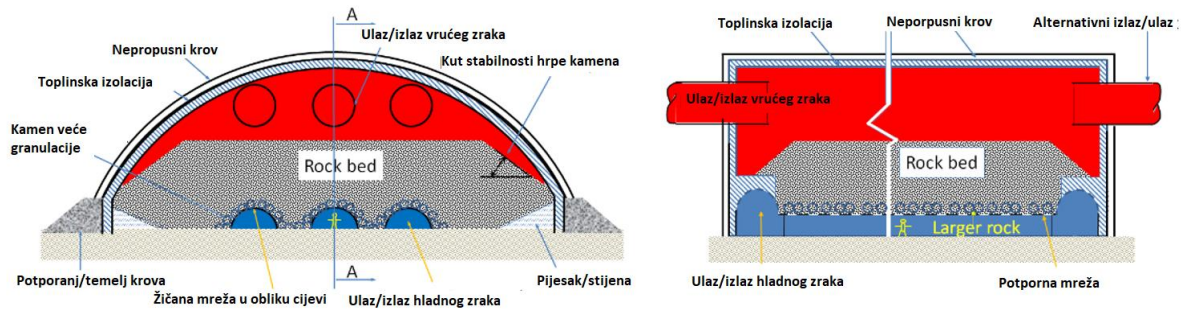
Princip pohrane energije u obliku zagrijanih stijena se zasniva na pohrani toplinske energije u stijenama. Sustav se sastoji od 4 glavna dijela:

- Hrpa drobljenog kamena
- Izolacijski materijal
- Sustav dovoda vrućeg zraka
- Sustav odvoda vrućeg zraka

Shemu sustava ove vrste pohrane energije prikazuje Slika 14.

Veličina i kapacitet sustava ovise o dostupnim materijalima ovisno o toplinskim svojstvima pojedine vrste stijene uz uvjet da je primjenjivo za temperature od 600 °C. Primjerice vapnenac kao najzastupljenija stijena u Hrvatskoj ima toplinski kapacitet od 0,84 kJ/kgK [33].

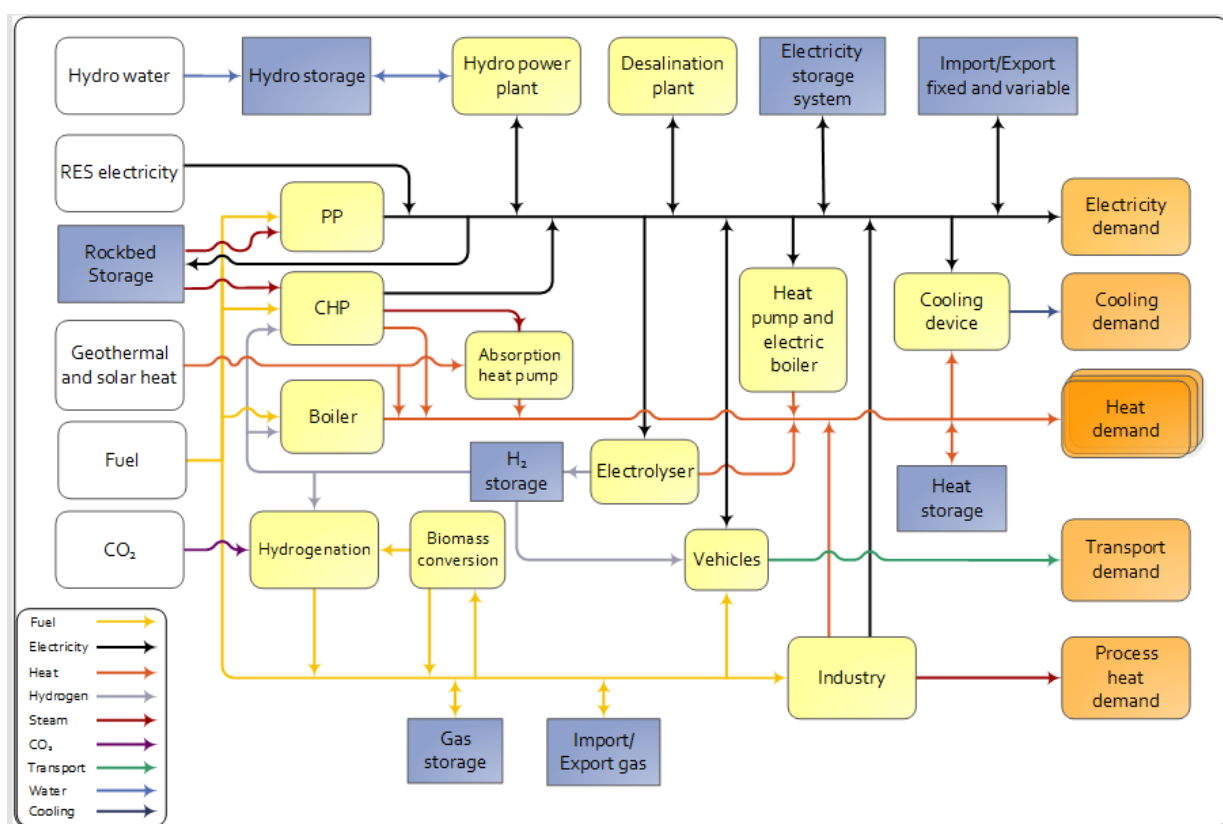
Investicijski trošak ovog sustava značajno ovisi o kapacitetu i kreće se između 5 i 10 \$ /kWh za sustave kapaciteta iznad 1 GWh [34].



Slika 14. Pohrana energije u obliku zagrijanih stijena [34]

3. METODA

Cilj ovog rada je usporediti i prikazati različite načine postizanja postupne dekarbonizacije energetske sustava Republike Hrvatske do 2050. Za provedbu simulacija energetske sustava se koristi alat EnergyPLAN [35] koji omogućuje detaljnu simulaciju energetske sustava te pruža jasan pregled rezultata što omogućuje daljnju analizu i ocjenu prihvatljivosti pojedinog rješenja. EnergyPLAN je deterministički alat, tj. uz nepromijenjene ulazne podatke, uvijek daje jednak rezultat. Ta karakteristika ga čini pogodnim za uočavanje utjecaja pojedinih varijabli na krajnje rezultate. Pretpostavlja se izolirani elektro-energetski sustav iz razloga objašnjenih u uvodu.



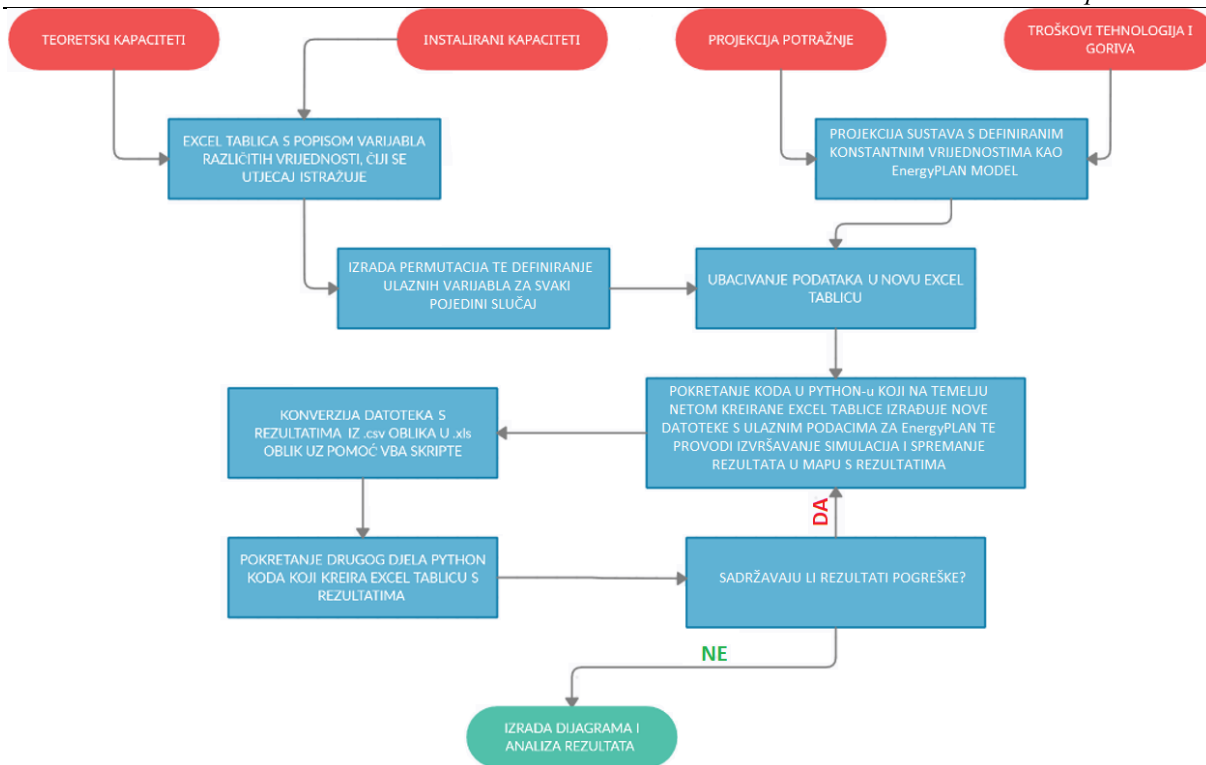
Slika 15. Shema alata EnergyPLAN [35]

Zbog navedenih problema u određivanju povoljnih sustava, javlja se potreba za izradom velikog broja simulacija gdje se svaka od simulacija razlikuje od ostalih po iznosu neke od promatranih varijabli.

Za potrebe automatizacije izračuna se koristi programski jezik Python [36].

3.1. Opis procesa

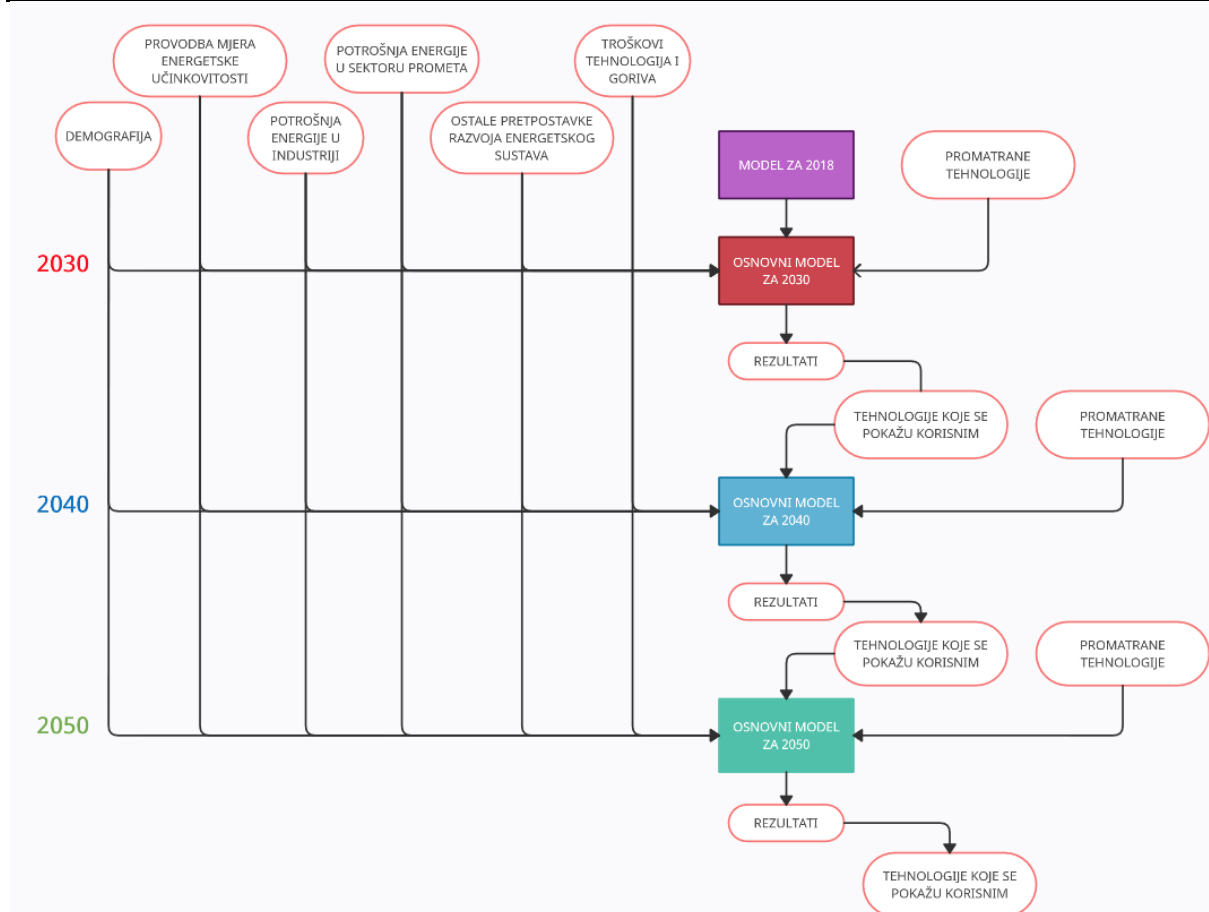
Dijagram toka provedbe simulacija prikazuje Slika 16. Prvi korak je u prikupljanju podataka o teoretskim kapacitetima, instaliranim kapacitetima, projekcijama potrošnje energije u svim sektorima te o troškovima tehnologija i goriva. Nakon prikupljanja podataka i izrade krivulja, za svaku od godina koje se proučavaju, izrađuje se osnovni model koji sadržava sve podatke potrebne za pokretanje simulacije. Također, na osnovu teoretskih kapaciteta i instaliranih kapaciteta se formira Excel tablica koja sadržava promjenjive varijable te nekoliko različitih veličina za svaku. Zatim se iz tih vrijednosti formiraju permutacije svih varijabli, čime se definiraju različiti sustavi koji ulaze u daljnju analizu. U sljedećem se koraku kombiniraju podaci iz osnovnog modela s podacima iz netom izrađenih permutacija te se time dobivaju potpuno definirani ulazni podaci za različite sustave. Sljedeći korak je pokretanje skripte izrađene u programskom jeziku „Python“ koja iz netom kreirane Excel tablice s ulaznim podacima kreira zasebne ulazne datoteke za svaku pojedinu simulaciju te ih redom pokreće i sprema izlazne datoteke u određenu mapu od strane korisnika u obliku tekstualnog dokumenta. Netom kreirane izlazne datoteke je potrebno prebaciti u Excel oblik kako bi se mogli izvaditi traženi podatci, a što se obavlja VBA skriptom. Zatim se drugim djelom Python skripte kreira Excel datoteka koja sadržava sve od strane korisnika tražene izlazne podatke. Također, provjerava se ispravnost rezultata ukoliko je došlo do greške kod provedbe simulacija. Ako se ustanove greške u nekom od promatranih slučajeva, ponovo se pokreće simulacija tog slučaja sve dok se ne dobiju valjani rezultati. Izradi dijagrama i analizi rezultata se pristupa tek nakon potpuno uspješne provedbe simulacija.



Slika 16. Dijagram toka procesa

Dijagram toka procesa sastavljanja modela, odabira tehnologija za pojedinu godinu te međusobne povezanosti odabranih tehnologija prema godini korištenja prikazuje Slika 17. Osnovni modeli se međusobno razlikuju prema uvedenim pretpostavkama.

U sljedećem skupu simulacija se ne koriste tehnologije koje su se pokazale lošijima, dok se razmatra uvođenje i dodatnih kapaciteta tehnologija koje su se pokazale uspješnim te neke novije koje nisu ranije razmatrane. Uvodi se i pretpostavka da se u sljedećim sustavima ne mogu koristiti niže instalirane snage proizvodnih kapaciteta iz VOIE čime se zadržava vremenski slijed razvoja sustava.



Slika 17. Dijagram toka primjene tehnologija i pretpostavka

3.2. Multi-kriterijska analiza

Multi-kriterijska analiza se provodi kako bi se odabrao najpogodniji sustav za određenu godinu. U obzir se uzima udio OIE, emisije CO₂, ukupni godišnji troškovi, investicijski troškovi, operativni troškovi te potrošnja biomase. Izraz „Ukupni godišnji troškovi“ predstavlja zbroj godišnjih investicijskih i operativnih troškova. Troškovi se svode na godišnju razinu zbog činjenice da korištene tehnologije imaju drugačije duljine životnog vijeka nakon čijeg isteka se pretpostavlja zamjena postrojenja. Na taj način se dobiva godišnji trošak investicije koji može predstavljati ili ratu otplate ili godišnju investiciju uslijed izlaska iz pogona starijih postrojenja te njihove zamijene novim postrojenjima. Svakom od kriterija se pridodaje težinski faktor kojim se kao najbolje rješenje odabire sustav s najvećim ukupnim faktorom. Težinske faktore multi-kriterijske analize [37] prikazuje Tablica 3., dok jednadžba (1) prikazuje postupak izračuna. Najveći težinski faktor je odabran za emisiju CO₂ iznosa 30. Ukupnim godišnjim troškovima i udjelu OIE se dodjeljuje težinski faktor 20 uslijed nešto nižeg prioriteta. Težinski faktor iznosa 15 se dodjeljuje CEEP-u i potrošnji biomase. Ovo je najniži iznos težinskog faktora. Razlog

tome leži u činjenici da se prije provedbe multi kriterijske analize odbacuju rješenja s CEEP > 5 % kao neprihvatljiva te već time iznos CEEP-a postaje prihvatljiv, iako se preferira što niža vrijednost. Razlog odabira niskog težinskog faktora za potrošnju biomase je široka dostupnost resursa koja čak i kod slučajeva s najvećom potrošnjom biomase ne predstavlja problem (Tablica 18).

Tablica 3. Težinski faktori multi-kriterijske analize

| Veličina | Težinski faktor | Simbol |
|--------------------------|-----------------|------------|
| Udio OIE | 20 | g_{OIE} |
| Emisije CO ₂ | 30 | g_{CO2} |
| CEEP | 15 | g_{CEEP} |
| Potrošnja biomase | 15 | g_{BIO} |
| Ukupni godišnji troškovi | 20 | g_{TAC} |

Svaki se rezultat ocjenjuje putem jednadžbe (1)

$$g_x = \frac{f_{OIE} \cdot g_{OIE} + f_{CO2} \cdot g_{CO2} + f_{CEEP} \cdot g_{CEEP} + f_{BIO} \cdot g_{BIO} + f_{TAC} \cdot g_{TAC}}{g_{OIE} + g_{CO2} + g_{CEEP} + g_{BIO} + g_{TAC}} \quad (1)$$

Gdje je:

- g_x – veličina koja ocjenjuje prikladnost rješenja
- f_{OIE} – odnos iznosa veličine udjela OIE i raspoloživog raspona veličina što prikazuje jednadžba (2)

$$f_{OIE} = \frac{OIE_x - OIE_{min}}{OIE_{max} - OIE_{min}} \quad (2)$$

- f_{CO2} – odnos iznosa emisija CO₂ i raspoloživog raspona veličina što prikazuje jednadžba (3)

$$f_{CO2} = 1 - \frac{CO2_x - CO2_{min}}{CO2_{max} - CO2_{min}} \quad (3)$$

- f_{CEEP} – odnos iznosa CEEP-a i raspoloživog raspona veličina što prikazuje jednadžba (4)

$$f_{CEEP} = 1 - \frac{CEEP_x - CEEP_{min}}{CEEP_{max} - CEEP_{min}} \quad (4)$$

- f_{BIO} – odnos iznosa potrošnje biomase i raspoloživog raspona veličina što prikazuje jednadžba (5)

$$f_{BIO} = 1 - \frac{BIO_x - BIO_{min}}{BIO_{max} - BIO_{min}} \quad (5)$$

- f_{TAC} – odnos ukupnih godišnjih troškova (TAC) i raspoloživog raspona veličina što prikazuje jednadžba (6)

$$f_{TAC} = 1 - \frac{TAC_x - TAC_{min}}{TAC_{max} - TAC_{min}} \quad (6)$$

3.3. Izrada simulacija i korišteni alati

Za provedbu simulacija je korišten program Python, a proračun se vršio na računaru Lenovo Ideapad 330 s četverojezgrenim procesorom i5-8300H takta 2,3 GHz i 8 GB DDR4 memorije frekvencije 2400 MHz.

Prosječno vrijeme izvršavanja jedne simulacije je 6 s, ali se taj iznos smanjio na 2,8 s uvođenjem paralelnog rada unutar 2 računara putem programa ASTER [38]. Također, valja napomenuti da ovo nije ukupno vrijeme, jer je potrebno još uračunati vrijeme potrebno za naknadnu obradu rezultata i kreiranje tablice s rezultatima.

Tablica 4. Podaci o provedbi simulacija

| Godina | Broj simulacija | Utrošeno vrijeme [h] |
|--------|-----------------|-------------------------------------|
| 2030 | 13.824 | 23,04 |
| 2040 | 15.552 | 25,92 |
| 2050 | 57.024 | 95,04 ($\approx 80^*$ h. uz ASTER) |

*Ova metoda se koristila tek pod kraj provedbe simulacija te iz tog razloga ne dolazi do većih ušteda vremena

3.4. Izrada krivulja

Sljedeće poglavlje opisuje izradu satnih distribucija potrebnih za provedbu simulacija u EnergyPLAN-u te uvedene pretpostavke. Opisuje se modeliranje potrošnje energije u sustavima grijanja i hlađenja. Također, daje se prikaz izrade krivulja proizvodnje energije iz VOIE.

3.4.1. Modeliranje potrošnje energije u sustavima zagrijavanja prostora i potrošne tople vode

Analiza se provodi na satnoj razini zbog potrebe za upisivanjem podataka u EnergyPLAN na satnoj razini. Za izračun satne distribucije potrošnje toplinske energije se koristi metoda stupanj sat opisana ulaznim podacima vanjske temperature zraka, željenoj temperaturi grijane ili hladene prostorije, temperaturi iznad ili ispod koje se pretpostavlja rad sustava te pretpostavkama o vremenu rada sustava. Jedina razlika u radu CTS-a i individualnih sustava je u pretpostavkama o ulasku i izlasku iz sezone grijanja tj. činjenici da kod individualnih sustava postoji mogućnost rada i tokom ljetnih mjeseci ukoliko se temperature dovoljno snize dok to nije mogućnost u CTS-u zbog potrebe za pripremom sustava koja često traje nekoliko dana.

U proračun se uvode pretpostavke:

- 1) Sezona grijanja počinje najranije 15. rujna (tehnička spremnost sustava), a završava najkasnije 15. svibnja u ovisnosti o vanjskim temperaturama, [39], [40]
- 2) Sustav grijanja ne radi u slučaju vanjske temperature zraka više od 15 °C
- 3) Sustav grijanja radi od 6:00 do 23:00
- 4) U slučaju vanjske temperature niže od -15 °C unutar vremenskog intervala od 6:00 do 23:00 sati se sustav grijanja uključuje

U svrhu određivanja toplinskih potreba na satnoj razini se koristi jednadžba (7)

$$Q_t = \frac{SS \cdot Q_{god}}{\sum_1^{8760} SS} \quad (7)$$

Gdje je:

Q_t – satno toplinsko opterećenje [MWh]

Q_{god} – ukupna godišnja potrošnja toplinske energije [MWh]

SS – stupanj sat [°C] je definiran kao razlika projektne i vanjske temperature. Za projektnu temperaturu je uzeto 21°C, a vanjska je prosječna temperatura svakog sata u godini.

$$SS = T_{projektna} - T_{vanjska} \quad (8)$$

Osim pretpostavke o radu sustava, razlika između CTS-a i individualnih sustava se očitava iz korištene temperaturne distribucije. Za slučaj CTS-a krivulja razdiobe temperature je izrađena na temelju podataka o temperaturi i potrošnji energije za lokacije najvećih CTS-ova, dok je kod individualnih sustava, korištena uprosječena distribucija temperature s obzirom na populaciju.

U svrhu određivanja dnevne satne raspodjele potrošnje PTV-a je korištena tipična raspodjela potrošnje PTV-a (Slika 18, [41]). Satno opterećenje je potom određeno prema izrazu:

$$Q_{PTVsat} = \frac{Q_{PTVgod} \cdot \mu}{365 \cdot 100} \quad (9)$$

Gdje je:

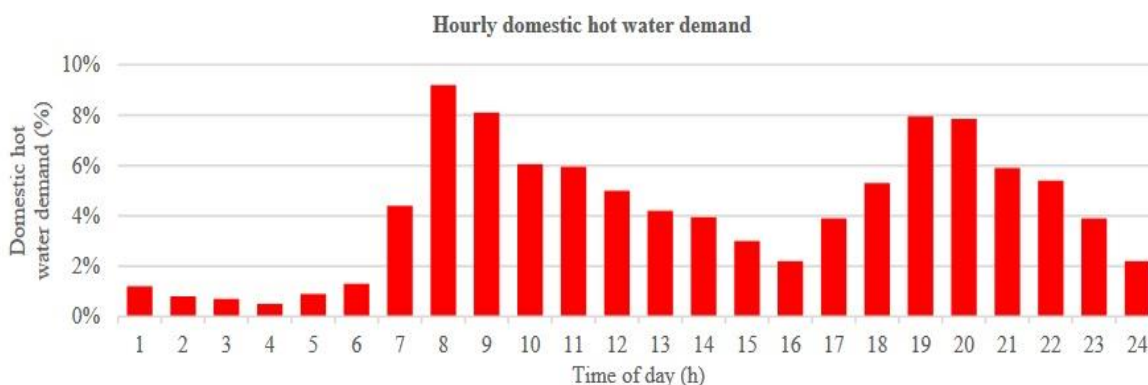
Q_{PTVsat} – satna toplinska potrošnja potrošne tople vode [MWh]

μ – faktor opterećenja

Q_{PTVgod} – ukupna godišnja potrošnja PTV-a [MWh]

U svrhu izrade krivulja, može se pretpostaviti, bez potrebe za ubacivanjem stvarnih potreba za grijanjem $Q_{god}=1$, čime se dobiva relativna distribucija u rasponu 0 do 1.

Kombinacijom navedenih podataka i jednadžba (7) i (9) se dolazi do satne distribucije potrošnje toplinske energije u CTS-u, te u slučaju korištenja individualnih sustava.



Slika 18. Tipična raspodjela potrošnje PTV-a [41]

3.4.2. Modeliranje sustava rashlađivanja prostora

Distribucija potrošnje energije u sustavima za rashlađivanje prostora se također modelira stupanj-sat metodom. U ovom se slučaju na temelju razlike vanjske temperature i željene temperature određuje potrošnja energije.

U proračun se uvode pretpostavke:

- 1) Sustav grijanja ne radi u slučaju vanjske temperature zraka niže od 25 °C
- 2) Sustav hlađenja ne radi od 23:00 do 6:00

U svrhu određivanja rashladnih potreba na satnoj razini se koristi jednačba (10).

$$Q_c = \frac{SS \cdot Q_{c_god}}{\sum_1^{8760} SS_c} \quad (10)$$

Gdje je:

Q_c – satno rashladno opterećenje [MWh]

Q_{c_god} – ukupna godišnja potražnja za hlađenjem [MWh]

SS_c – stupanj sat [$^{\circ}\text{C}$] je definiran kao razlika projektne i vanjske temperature. Za projektnu temperaturu je uzeto 25°C , a vanjska je prosječna temperatura svakog sata u godini.

$$SS_c = T_{vanjska} - T_{projektna} \quad (11)$$

3.4.3. *Proizvodnja iz energije vjetra*

Krivulja proizvodnje iz energije vjetra se izrađuje na temelju podataka o vjetroelektranama [42] čija se proizvodnja modelira pomoću dostupnog alata na stranici Renewablesinja [43]. Zatim se na temelju krivulja za četiri najveće vjetroelektrane s obzirom na instalirane kapacitete određuje zajednička krivulja. Netom izrađenu krivulju je potrebno prilagoditi stvarnim podacima o proizvodnji iz baze podataka IRENA [44] tako da faktor opterećenja ispada jednak. Pretpostavlja se izgradnja samo kopnenih sustava.

3.4.4. *Proizvodnja iz energije Sunca*

Pretpostavlja se instalacija većine sustava po krovovima stambenih i poslovnih objekata. Iz tog se razloga koristila na temelju gustoće populacije, prostorno uprosječena krivulja iz „Renewablesinja“ [43]. Također, iznosi krivulje su korigirani na temelju stvarnih podataka o proizvodnji sa IRENA-e [44].

3.4.5. *Proizvodnja u hidroelektranama*

Hidroelektrane se dijele na akumulacijske i protočne. Proizvodnja se modelira prema stvarnim podacima na mjesečnoj razini proizvodnje sa stranice ENTSO-e [45]. Kod modela koji proučavaju buduće energetske sustave se koristi distribucija iz 2017., dok se za 2018., koriste

zabilježeni podaci za tu godinu. Kod budućih scenarija se pretpostavlja prosječna proizvodnja energije u hidroelektranama s obzirom na godišnje varijacije u proizvodnji.

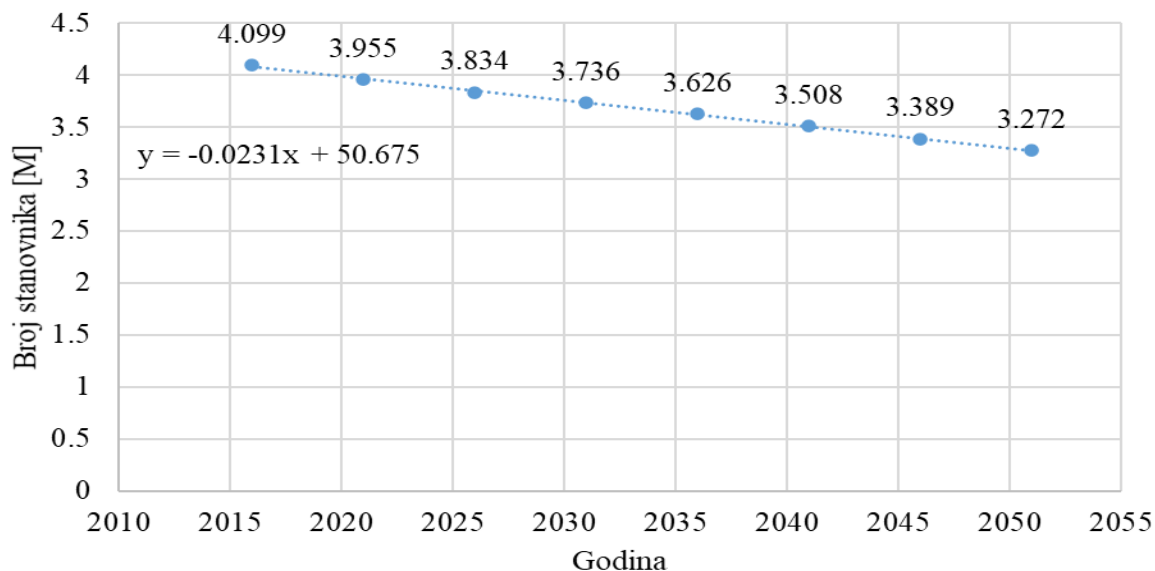
4. PRIMJENA NA SLUČAJU HRVATSKE

4.1. Ulazni podaci

U sljedećem dijelu rada se daje prikaz ulaznih podataka i pretpostavka kretanja potrošnje energije. Razmatra se utjecaj demografije na potrošnju energije, primjene mjera energetske učinkovitosti na potrošnju energije u svim sektorima. Zatim se daje pregled dostupnih i planiranih kapaciteta kao i tehničkih potencijala.

4.1.1. Demografija

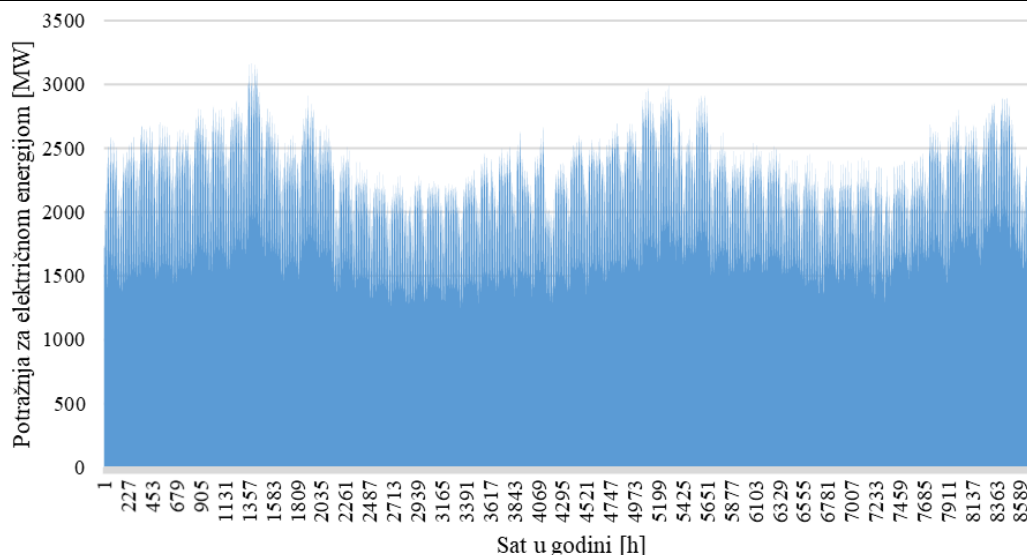
Projekciju demografskih kretanja unutar Republike Hrvatske prikazuje Slika 19. Predviđa se nastavak negativnog trenda te dostizanje populacije od 3,272 milijuna do sredine stoljeća.



Slika 19. Demografija [46]

4.1.2. Potrošnja električne energije

Distribucija potrošnje električne energije je dobivena sa stranice ENTSO-e za 2017, a prikazuje je Slika 20. [45]. Maksimalna se opterećenja postižu tokom zime uslijed povećanih potreba za zagrijavanjem prostora te tokom ljeta zbog potrebe za rashladnim opterećenjem.



Slika 20. Potrošnja električne energije [45]

4.1.3. Potrošnja energije u svrhu zagrijavanja prostora i potrošne tople vode

S obzirom da je sektor zgradarstva odgovoran za veliki dio potrošnje finalne energije i postojeće stanje fonda zgrada koji se sastoji od velikog broja starih zgrada loših energetske svojstava, pretpostavlja se provođenje energetske obnove postojećih zgrada, rušenje određenog broja postojećih zgrada te izgradnja novih stambenih kapaciteta povoljnijih karakteristika te mogućnošću implementacije sustava grijanja baziranih na obnovljivim izvorima te dizalicama topline. Također, provođenje mjera energetske učinkovitosti je jedan od preduvjeta dekarbonizacije sektora zgradarstva. Toplinske karakteristike postojećih zgrada prikazuje Tablica 5., dok Tablica 6. prikazuje karakteristike novih i obnovljenih zgrada. Može se primijetiti da prevladavaju visoki iznosi što predstavlja većinom energetske ne-obnovljeni stambeni fond. Kao izvor podataka o postojećem stambenom fondu je korišten izvještaj projekta RESFLEX [47], dok su karakteristike novih zgrada pretpostavljene prema Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama [48]. Korištene pretpostavke o izgradnji, obnovi i rušenju zgrada prikazuje Tablica 7.

Tablica 5. Prosječne toplinske karakteristike postojećih objekata [47]

| Županija | Specifična potrošnja korisne energije za grijanje [kWh/m ²] | Udio ukupne površine u HR [%] |
|------------------------|---|-------------------------------|
| Bjelovarsko bilogorska | 265 | 2.9 |
| Brodsko posavska | 265 | 3.65 |

| | | |
|------------------------|-----|-------|
| Dubrovačko neretvanska | 180 | 2.77 |
| Grad Zagreb | 258 | 17.59 |
| Istarska | 122 | 5.16 |
| Karlovačka | 265 | 2.96 |
| Koprivničko križevačka | 265 | 2.85 |
| Krapinsko zagorska | 265 | 2.96 |
| Ličko senjska | 193 | 1.21 |
| Međimurska | 265 | 2.85 |
| Osječko baranjska | 263 | 7.54 |
| Požeško slavonska | 265 | 1.85 |
| Primorsko goranska | 193 | 7.21 |
| Sisačko moslavačka | 265 | 4.21 |
| Splitsko dalmatinska | 122 | 9.58 |
| Šibensko kninska | 122 | 2.55 |
| Varaždinska | 265 | 3.94 |
| Virovitičko podravska | 265 | 2.05 |
| Vukovarsko srijemska | 265 | 4.25 |
| Zadarska | 122 | 4.18 |
| Zagrebačka | 265 | 7.76 |

Tablica 6. Specifična potrošnja energije obnovljenih i novih zgrada [48]

| Županija | Specifična potrošnja korisne energije za grijanje obnovljenih zgrada [kWh/m ²] | Specifična potrošnja korisne energije za grijanje novih zgrada [kWh/m ²] |
|------------------------|--|--|
| Bjelovarsko bilogorska | 70 | 40 |
| Brodsko posavska | 70 | 40 |
| Dubrovačko neretvanska | 50 | 30 |
| Grad Zagreb | 70 | 40 |
| Istarska | 50 | 30 |
| Karlovačka | 70 | 40 |
| Koprivničko križevačka | 70 | 40 |

| | | |
|-----------------------|----|----|
| Krapinsko zagorska | 70 | 40 |
| Ličko senjska | 80 | 35 |
| Međimurska | 70 | 40 |
| Osječko baranjska | 70 | 40 |
| Požeško slavonska | 70 | 40 |
| Primorsko goranska | 80 | 30 |
| Sisačko moslavačka | 70 | 40 |
| Splitsko dalmatinska | 50 | 30 |
| Šibensko kninska | 50 | 30 |
| Varaždinska | 70 | 40 |
| Virovitičko podravska | 70 | 40 |
| Vukovarsko srijemska | 70 | 40 |
| Zadarska | 50 | 30 |
| Zagrebačka | 70 | 40 |

Tablica 7. Pretpostavke i rezultati provođenja mjere energetske učinkovitosti

| | Obnova | Rušenje | Izgradnja | Toplinske potrebe |
|-----------------|---------------|----------------|------------------|--------------------------|
| Jedinica | % | % | % | TWh |
| 2018 | - | - | - | 26.84 [49] |
| 2030 | 20 | 1,5 | 2 | 21.18 |
| 2040 | 43 | 2,75 | 5,5 | 15.92 |
| 2050 | 65 | 4 | 8 | 11.29 |

4.1.4. Potrošnja energije u industriji

Kretanje potrošnje energije u sektorima industrije, poljoprivrede te građevine prikazuje Tablica 8. Potrošnja energije u navedenim sektorima do 2016. potrošnja pada, a 2017. i 2018. raste. Potrošnja energije u promatranim sektorima industrije je posljednjih godina u porastu uslijed povećane industrijske aktivnosti. Kod budućih scenarija se pretpostavlja daljnji porast aktivnosti ovih sektora, ali se uvode mjere povećanja energetske učinkovitosti te dolazi do pada potrošnje finalne energije.

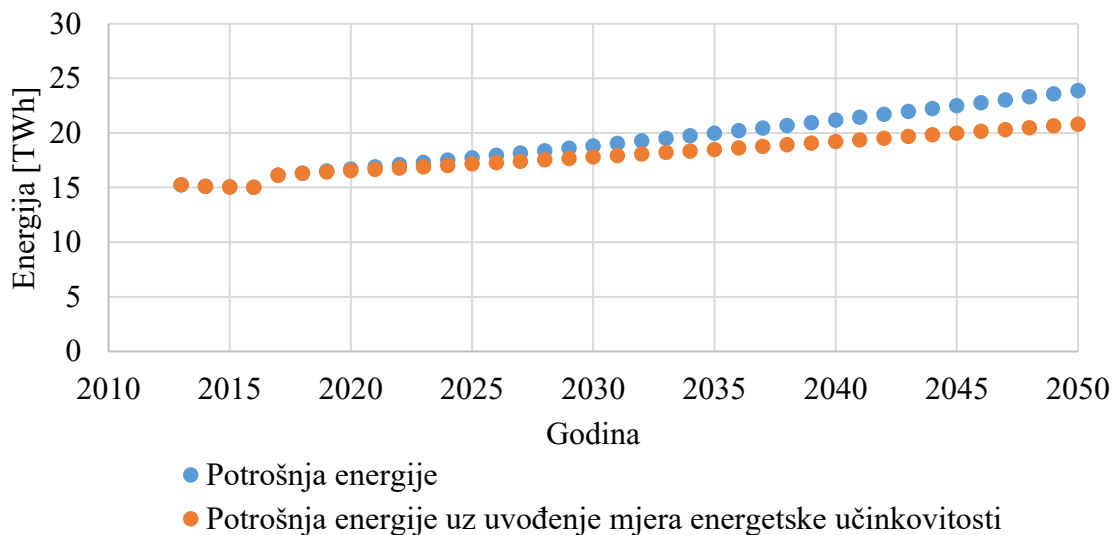
Tablica 8. Potrošnja primarne energije u industriji, poljoprivredi i građevinskom sektoru [5]

| Godina | Industrija | Poljoprivredni i građevinski sektor | Ukupno | Promjena |
|-----------------|-------------------|--|----------------|-----------------|
| Jedinica | PJ | PJ | PJ | % |
| 2013 | 40.91 | 14.07 | 54.98 | |
| 2014 | 40.63 | 13.86 | 54.49 | -0.891 |
| 2015 | 40.42 | 13.8 | 54.22 | -0.496 |
| 2016 | 40.3 | 13.83 | 54.13 | -0.166 |
| 2017 | 44.48 | 13.65 | 58.13 | 7.390 |
| 2018 | 44.62 | 14.16 | 58.78 | 1.118 |
| | | | Prosječan rast | 1,391 |

Podatke o potrošnji finalne energije u sektoru industrije, građevinskom sektoru i poljoprivredi prikazuju Tablica 9. i Slika 21. Potrošnja energije raste što je posljedica povećane industrijske aktivnosti posljednjih godina i uslijed očekivanog povećanja aktivnosti u građevinskom sektoru uslijed izgradnje novih elektro-energetskih proizvodnih kapaciteta i obnove stambenog fonda. Uz implementaciju mjera energetske učinkovitosti, dolazi do smanjenja potrošnje finalne energije za 15 % u odnosu na scenarij bez mjera energetske učinkovitosti. Također, dodatne uštede primarne energije i smanjenje energetske intenzivnosti se očekuje kod elektrifikacije industrije razmatrane u budućim energetske sustavima.

Tablica 9. Projekcija potrošnje finalne energije u industriji

| Godina | Potrošnja energije u industriji | Jedinica |
|---------------|--|-----------------|
| 2018 | 16,33 | TWh |
| 2030 | 17,8 | TWh |
| 2040 | 19,23 | TWh |
| 2050 | 20,82 | TWh |



Slika 21. Potrošnja energije u industriji, poljoprivredi i građevinskom sektoru

4.1.5. Potrošnja energije u sektoru prometa

S obzirom na velike razlike u učinkovitosti, a time i potrošnji energije kod različitih vrsta vozila i pogona, sektor prometa se svodi na propotovane udaljenosti, a ne na energiju te se na taj način provodi daljnja analiza. Raspodjelu potrošnje goriva u sektoru prometa za 2018. godinu prikazuje Tablica 10.

Tablica 10. Potrošnja goriva u 2018. [49]

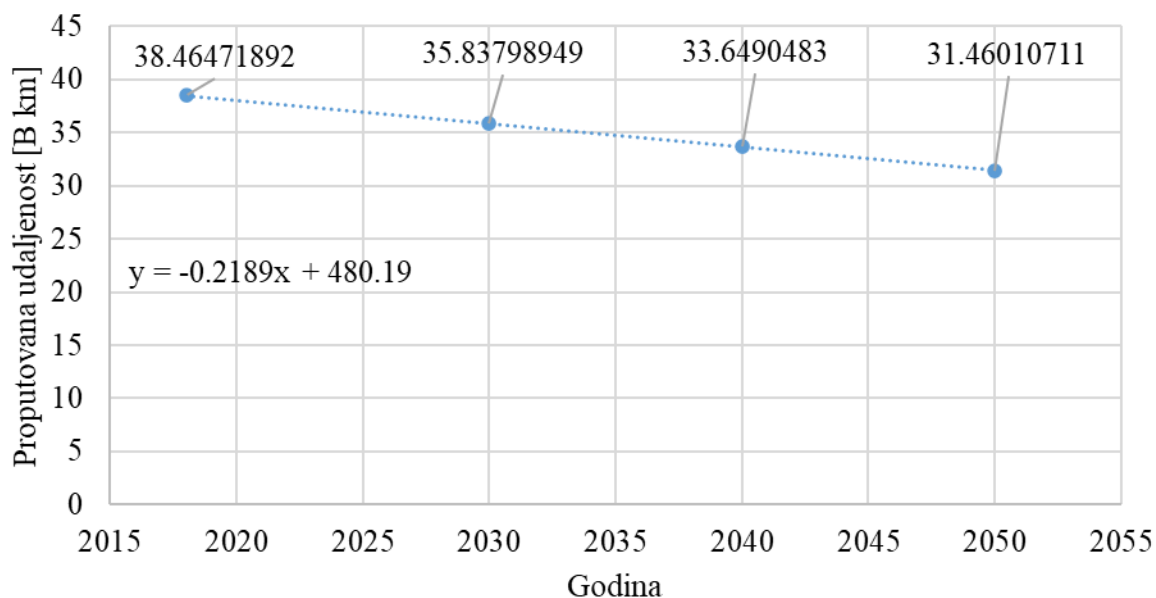
| Gorivo | Iznos | Jedinica |
|---|--------|----------|
| Benzin | 6,04 | TWh |
| Dizel | 17,16 | TWh |
| Zrakoplovno gorivo | 0,006 | TWh |
| Mješavina benzinskog goriva i biogoriva | 0,005 | TWh |
| Mješavina dizelskog goriva i biodizela | 0,305 | TWh |
| Biodizel | 0,005 | TWh |
| Kerozin | 0,118 | TWh |
| LPG | 0,92 | TWh |
| Prirodni plin | 0,049 | TWh |
| Ukupno fosilna goriva | 24,375 | TWh |
| Ukupno biogoriva | 0,328 | TWh |
| Električna energija | 0,282 | TWh |

Kako bi se mogla provesti analiza u budućim godinama, potrebno je potrošnju goriva transformirati u propotovanu udaljenost kao što prikazuje Tablica 11.

Tablica 11. Izračun propotovane udaljenosti na godišnjoj razini

| Gorivo | Utrošena energija 2018. | Faktor pretvorbe (učinkovitost), [35] | Propotovana udaljenost |
|---------------------|----------------------------|---|---------------------------|
| - | TWh | km/kWh | Bkm |
| Tekuća goriva | 24,703 | 1,5 | 37,055 |
| Električna energija | 0,282 | 5 | 1,41 |
| Ukupno | - | - | 38,465 |

Na temelju propotovane udaljenosti u početnoj 2018. godini i uz projekciju demografije se može izračunati propotovana udaljenost i u budućim godinama što prikazuje Slika 22. Propotovana se udaljenost uslijed smanjenja populacije smanjuje s 38,46 milijarda km u 2018. sve do 31,46 B km u 2050.



Slika 22. Propotovana udaljenost

4.1.6. Hidroelektrane

Instalirane snage i prosječne proizvodnje hidroelektrana u Hrvatskoj prikazuje Tablica 12. Instalirana snaga akumulacijskih hidroelektrana je 1368,2 MW, dok je kod protočnih 405 MW

Tablica 12. Instalirane snage i prosječna proizvodnja hidroelektrana u Hrvatskoj

| Hidroelektrana | Snaga [5] | Prosječna proizvodnja [50] |
|-----------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| - | MW | TWh |
| HE Zakučac | 538 | 1,44 |
| HE Orlovac | 237 | 0,353 |
| HE Senj | 216 | 0,97 |
| HE Dubrovnik | 235 (117,5) | 0,6605 |
| HE Vinodol | 90 | 0,13666 |
| HE Kraljevac | 46,4 | 0,06 |
| HE Peruća | 60 | 0,16 |
| HE Đale | 40,8 | 0,128 |
| HE Sklope | 22,5 | 0,085 |
| Ukupno Akumulacijske | 1368,2 | 3,99 |
| HE Varaždin | 94,6 | 0,45 |
| HE Čakovec | 77,4 | 0,35 |
| HE Dubrava | 79,8 | 0,35 |
| HE Gojak | 55,5 | 0,2135 |
| HE Rijeka | 36,8 | 0,08445 |
| HE Miljacka | 20 | 0,08 |
| HE Lešće | 41,2 | 0,2135 |
| Ukupno protočne | 405,3 | 1,856 |
| RHE Velebit | 270 (-240) | 0,43 |
| RHE Fužina | 4,6 (-5,7) | 0,00289 |
| RHE Lepenica | 0,8 (-1,2) | 0,000267 |
| Ukupno reverzibilne | 275,4 | 0,4332 |
| Male hidroelektrane | 33,1 | 0,1144 |

U sustavu 2030. se predviđa povećanje kapaciteta akumulacijskih hidroelektrana dodatkom HES Kosinj/HE Senj 2 [51]. Također, do 2030 se očekuje ukupno povećanje kapaciteta obnovom hidroelektrana u iznosu od 160 MW [52]. Do 2040. se kod protočnih hidroelektrana očekuje provedba projekta Zagreb na Savi te koji uključuje i hidroelektrane [53]. Povećanje hidroenergetskih kapaciteta prikazuje Tablica 13.

Tablica 13. Pretpostavke proširenja kapaciteta kod hidroelektrana

| Godina | 2018 | 2030 | 2040 | 2050 |
|------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| Naziv | MW | MW | MW | MW |
| Akumulacijske hidroelektrane | 1368,2 | 1892,6 | 1892,6 | 1892,6 |
| Protočne hidroelektrane | 435,4 | 474,2 | 504,7 | 504,7 |
| Reverzibilne | 275 (-247) | 275 (-247) | 275 (-247) | 275 (-247) |

4.1.7. Termoenergetska postrojenja

Podatke o kondenzacijskim termoelektranama prikazuje Tablica 14., dok Tablica 15. prikazuje podatke o kogeneracijskim elektranama [54]. Prikazane su nazivne snage te udjeli pojedinih vrsta goriva. Podatke o kotlovnicaama spojenim na CTS prikazuje Tablica 16. Također su prikazane nazivne snage te korištena goriva.

Tablica 14. Podaci o termoelektranama

| Naziv | Snaga | Gorivo | | | |
|----------------|--------------|--------------|-------------|---------------|--------------|
| | | Ugljen | Loživo ulje | Prirodni plin | Biomasa |
| Jedinica | MW | - | - | - | - |
| TE Plomin 2 | 210 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| KTE Jertovec | 74 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Bioplin | 50,6 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Biomasa ostalo | 64,8 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Ukupno | 399,4 | 0,526 | 0 | 0,185 | 0,289 |

Tablica 15. Podaci o kogeneracijskim elektranama

| Naziv | Instalirana el. snaga CHP bloka | Toplinski kapacitet | Gorivo | | | |
|---------------|---------------------------------|---------------------|----------|-------------|---------------|--------------|
| | | | Ugljen | Loživo ulje | Prirodni plin | Biomasa |
| Jedinica | MW | MW | - | - | - | - |
| TE-TO Zagreb | 422 | 512 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| EL-TO Zagreb | 50 | 125,5 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| TE-TO Osijek | 92 | 177 | 0 | 0 | 0,967 | 0,033 |
| TE-TO Sisak | 238 | 60 | 0 | 0 | 0,987 | 0,013 |
| Ukupno | 802 | 874,5 | 0 | 0 | 0,992 | 0,008 |

Tablica 16. Podaci o proizvodnim kapacitetima u CTS-u bez kogeneracije

| Naziv | Snaga | Gorivo | | | | Izvor |
|---------------|--------|--------|-------------|---------------|---------|------------|
| | | Ugljen | Loživo ulje | Prirodni plin | Biomasa | |
| - | MW | Udio | Udio | Udio | Udio | |
| TE-TO Zagreb | 451 | 0 | 0 | 1 | 0 | [54] |
| EL-TO Zagreb | 333,2 | 0 | 0 | 1 | 0 | [54] |
| TE-TO Osijek | 35 | 0 | 0 | 1 | 0 | [54] |
| TE-TO Sisak | 40,416 | 0 | 0 | 1 | 0 | [54] |
| Velika Gorica | 69,612 | 0 | 0,69 | 0,31 | 0 | [55], [57] |
| Zaprešić | 20,36 | 0 | 0 | 1 | 0 | [55], [54] |
| Samobor | 16,6 | 0 | 0 | 1 | 0 | [55], [54] |
| Karlovac | 117,4 | 0 | 0 | 1 | 0 | [58] |
| Rijeka | 102 | 0 | 0 | 1 | 0 | [59] |
| Vukovar | 46 | 0 | 0 | 1 | 0 | [59] |
| Varaždin | 27,1 | 0 | 0 | 1 | 0 | [59] |
| Virovitica | 9,8 | 0 | 0 | 1 | 0 | [59] |

| | | | | | | |
|----------------|---------------|----------|--------------|--------------|----------|------|
| Ogulin | 4,4 | 0 | 0 | 1 | 0 | [59] |
| Slavonski Brod | 35 | 0 | 0 | 1 | 0 | [59] |
| Ukupno | 1307,9 | 0 | 0,037 | 0,963 | 0 | |

Tablica 17. Pretpostavke kapaciteta termoelektrana u budućnosti

| Vrsta | 2018 | 2030 | 2040 | 2050 |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | MW | MW | MW | MW |
| Kondenzacijska termoelektrana | 399,4 | 0 | 0 | 0 |
| Kogeneracijsko postrojenje | 802 | 1000 | 800 | 700 |
| Termoelektrane ukupno | 1201,4 | 1000 | 800 | 700 |

4.1.8. Nuklearne elektrane

Republika Hrvatska zajedno s Republikom Slovenijom upravlja nuklearnom elektranom Krško (NEK) te se generirana energija dijeli između Slovenije i Hrvatske u jednakim omjerima. NEK trenutno ima dozvolu rada do 2043. godine kad se očekuje prestanak rada postrojenja te početak procesa razgradnje [56]. Uslijed navedenog, u scenarijima 2018., 2030. i 2040. se planira korištenje NEK, dok se u scenariju 2050. ne koristi nuklearna energija.

4.1.9. Geotermalne elektrane

Potencijal proizvodnje električne energije iz geotermalnih elektrana na području Republike Hrvatske se procjenjuje na 100 MW [4]. Zbog toga se očekuje postupni porast kapaciteta geotermalnih elektrana s 10 MW 2018. godine na 40 MW 2030, 70 MW 2040. i 100 MW 2050. godine.

4.1.10. Raspoloživi potencijali

Raspoložive tehničke potencijale iz OIE u Hrvatskoj [4] prikazuje Tablica 18. U sklopu ovog rada, najbitniji su podaci o ograničenjima kapaciteta energije vjetera i energije Sunca. Pretpostavlja se povećanje kapaciteta energije vjetera i FN-a, dok se povećanje kapaciteta hidroelektrana zadržava unutar postojećih projekata.

Tablica 18. Tehnički potencijali OIE u Republici Hrvatskoj [4]

| OIE | Tehnički potencijal | Jedinica |
|--|---|----------|
| Potencijal vodotoka | 3700-4250 | MW |
| Energija vjetra | 7000-9000 | MW |
| Energija sunca | 8000 | MW |
| Drvena biomasa | 36,2-72,21 | PJ/god |
| Poljoprivredni ostaci | 18,44-57,93 | PJ/god |
| Bioplin i biometan | 5,83 – 11,5 | PJ/god |
| Ostali otpad | 13,54 – 17,27 | PJ/god |
| Biomasa uzgojena iz usjeva prikladnih za hranu i krmivo | 5,99 – 6,08 | PJ/god |
| Biomasa uzgojena iz neprehrambenih sirovina za potrebe biogoriva i ostalih potreba biogospodarstva | 60 – 109,43 | PJ/god |
| Geotermalna energija | 56,5 - 67,6 do 100 uz istraživanje novih lokacija | MW |
| | 456 | MWt |

4.2. Troškovi

Ulazni podaci većine investicijskih i operativnih troškova su modelirani prema bazi podataka troškova [60], dok se za troškove goriva koristio izvještaj Heat Roadmap Europe 2050. [61].

Podaci o projekciji cijena vozila proizlaze iz [62] gdje se pretpostavlja dostizanje specifične cijene baterija od 76 USD/kWh. Ipak, izgledno je da je ovo pesimistična prognoza jer već sad neki proizvođači kao Tesla Motors imaju specifičnu cijenu baterija oko 127 \$/kWh [63] te planiraju istu spustiti do 57 \$/kWh unutar nekoliko godina [29] čime se otvara mogućnost masovne proizvodnje povoljnih električnih vozila. Cijene električnih vozila za 2040. te 2050. pretpostavljaju sniženje cijene baterija na 45 USD/kWh do 2040. te na 30 USD/kWh do 2050., dok se u isto vrijeme očekuje sniženje troškova proizvodnje preostalih sklopova vozila za 5 % do 2040. te za 10 % do 2050.

Tablica 19. Cijene osobnih vozila [62]

| Godina | Cijena električnog vozila | Cijena klasičnog vozila |
|--------|---------------------------|-------------------------|
| | 1000 € | 1000 € |
| 2018 | 34,06 | 26,85 |
| 2030 | 22,3 | 28,18 |
| 2040 | 21 | 29,3 |
| 2050 | 19,7 | 30,41 |

Cijena instalacije i korištenja V2G usluge se pretpostavlja s 1000 € po vozilu [65].

Troškovi fleksibilizacije sustava pretpostavljaju trošak pametnog brojila po iznosu od 200 € po priključku.

Trošak pratećih tehnologija potrebnih za uvođenje elektrifikacije prometa [64] prikazuje Tablica 20. Pretpostavlja se uglavnom punjenje vozila na kućnim priključcima te instalacija u iznosu 70 % električnih vozila, instalacija broja sporih punjača od 25 % broja vozila te instalacija brzih punjača u iznosu 10 % vozila.

U slučaju korištenja tehnologije V2G, dodaje se trošak od 1000 € po vozilu [65].

Tablica 20. Cijene infrastrukture za električna vozila [64]

| Naziv | Snaga | Broj u odnosu na broj električnih vozila | Cijena |
|--------------|-------|--|--------|
| - | kW | - | €/kom. |
| Kućni punjač | 11 | 0,7 | 500 |
| Javni punjač | 22 | 0,25 | 2500 |
| Brzi punjač | 150 | 0,1 | 80000 |

Pretpostavlja se povećanje cijene emisijskih jedinica u europskom sustavu trgovanja emisijama s cijene od 8 €/tCO₂ 2018., [66] do cijene od 100 €/tCO₂ 2050. godine.

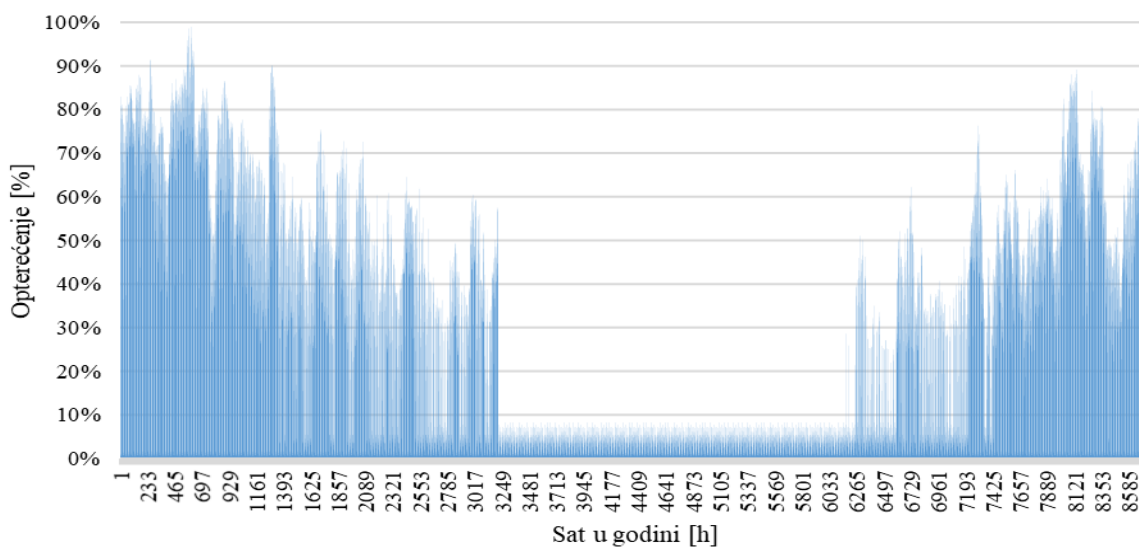
Tablica 21. Cijene emisijskih jedinica

| Godina | Cijena emisija CO ₂ | Jedinica |
|--------|--------------------------------|--------------------|
| 2018 | 8 | €/tCO ₂ |
| 2030 | 50 | €/tCO ₂ |
| 2040 | 75 | €/tCO ₂ |
| 2050 | 100 | €/tCO ₂ |

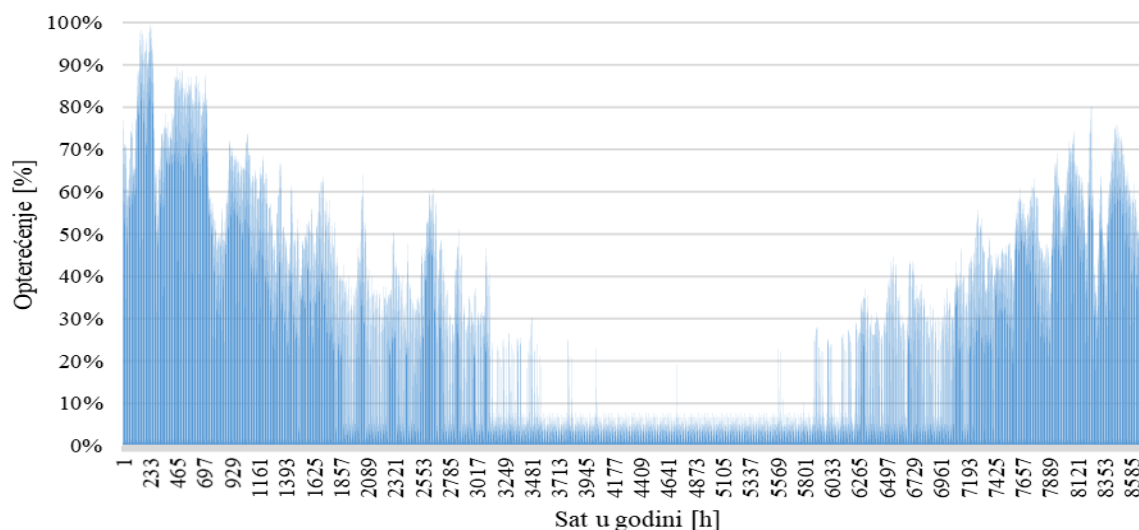
4.3. Krivulje

4.3.1. Sustavi zagrijavanja prostora i PTV-a

Potrošnja energije u sustava grijanja i pripreme PTV-a se modelira putem stupanj-sat metode. Za slučaj korištenja CTS-a krivulja razdiobe temperature je izrađena na temelju podataka o temperaturi i potrošnji energije za lokacije najvećih CTS-ova u Hrvatskoj, tj. za Grad Zagreb, Osijek i Karlovac [43], [5]. Kod individualnih sustava, korištena distribucija je uprosječna distribucija temperature s obzirom na populaciju [43]. Postupak izrade krivulja i uvedene pretpostavke su prikazane u poglavlju 3.4.1. Raspodjelu potrošnje energije u CTS-u prikazuje Slika 23., dok Slika 24. prikazuje potrošnju kod korištenja individualnih sustava grijanja.



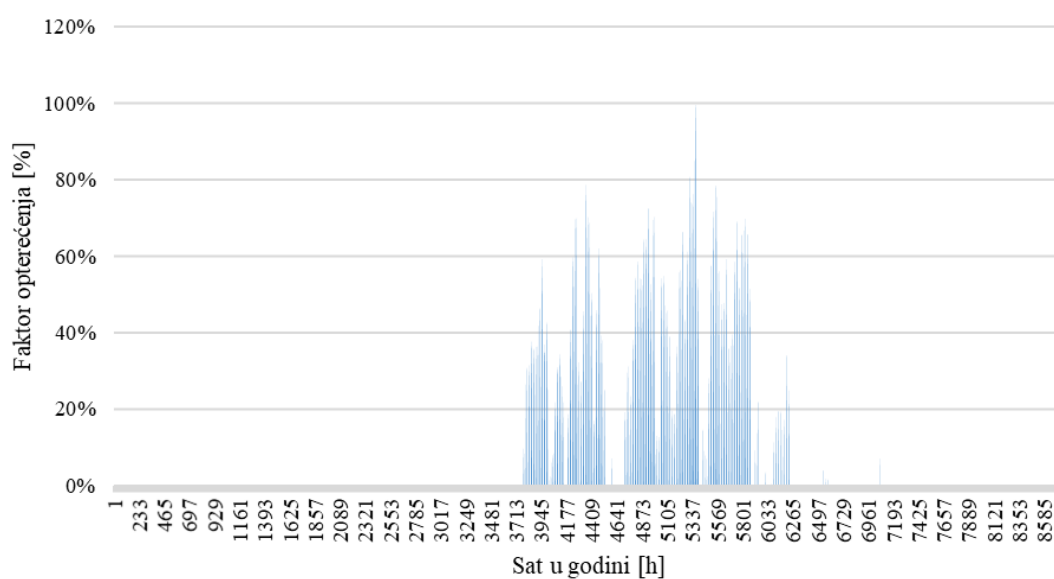
Slika 23. Toplinske potrebe u CTS-u



Slika 24. Toplinske potrebe kod individualnih sustava grijanja

4.3.2. Rashlađivanje prostora

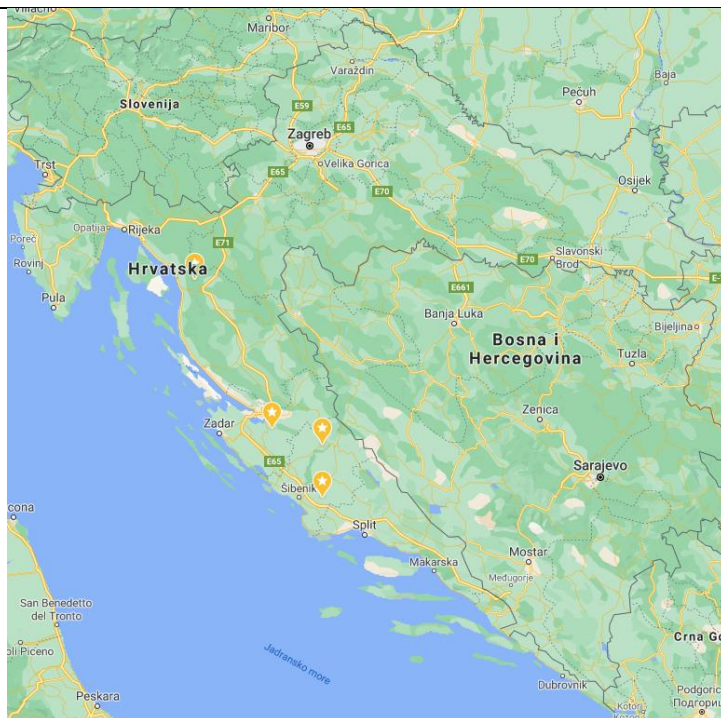
Potrošnja energije za hlađenje se također modelira stupanj-sat metodom. U ovom se slučaju na temelju razlike vanjske temperature [43] i željene temperature određuje potrošnja energije. Uvedene pretpostavke i detaljan postupak su prikazani u poglavlju 3.4.2. Raspodjelu potrošnje energije u svrhu hlađenja prikazuje Slika 25. Pretpostavlja se postupni porast potražnje za hlađenjem putem centraliziranih toplinskih sustava s 1 TWh 2030., 1,5 TWh 2040. te 2 TWh 2050.



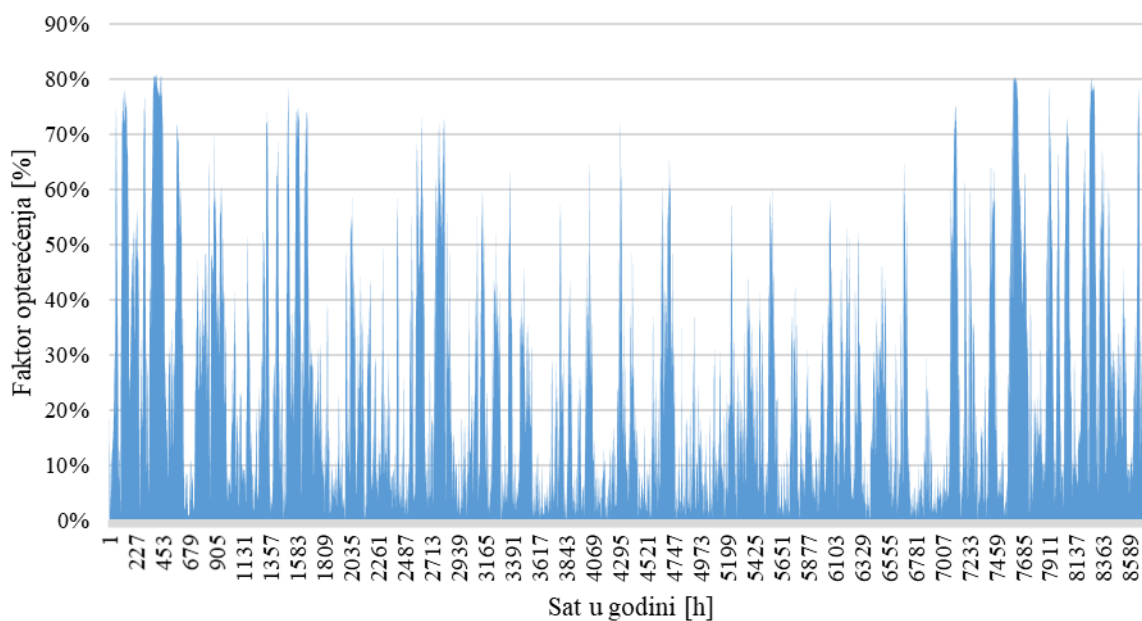
Slika 25. Rashladne potrebe

4.3.3. Proizvodnja iz energije vjetra

Krivulja proizvodnje iz energije vjetra na području Hrvatske je izrađena kombinacijom podataka o proizvodnji na lokacijama koje prikazuje Slika 26. uz metodu opisanu u poglavlju: 3.4.3. [41], [43], [44]. Slika 27. prikazuje krivulju proizvodnje iz energije vjetra.



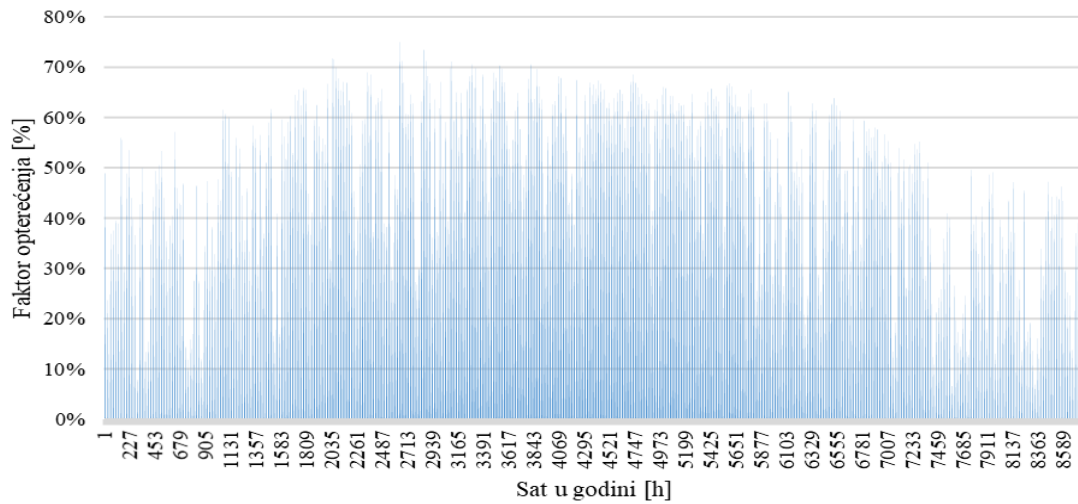
Slika 26. Lokacije za izradu krivulje energije vjetra [41], [67]



Slika 27. Proizvodnja iz vjetroelektrana

4.3.4. *Proizvodnja iz energije sunca*

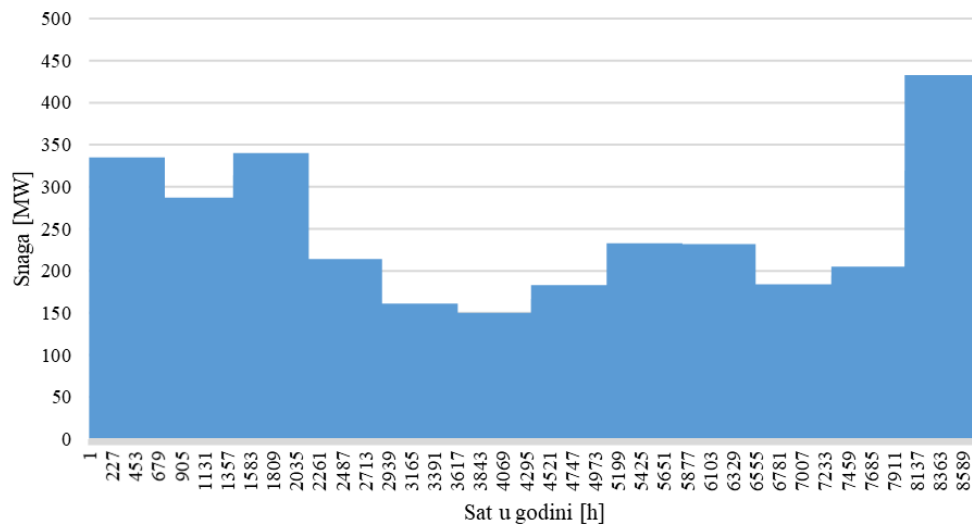
Distribuciju proizvodnje električne energije iz fotonaponskih sustava [43] prikazuje Slika 28 [44]. Metoda određivanja krivulje je prikazana u poglavlju: 3.4.4.



Slika 28. Proizvodnja iz FN elektrana

4.3.5. Proizvodnja iz akumulacijskih hidroelektrana

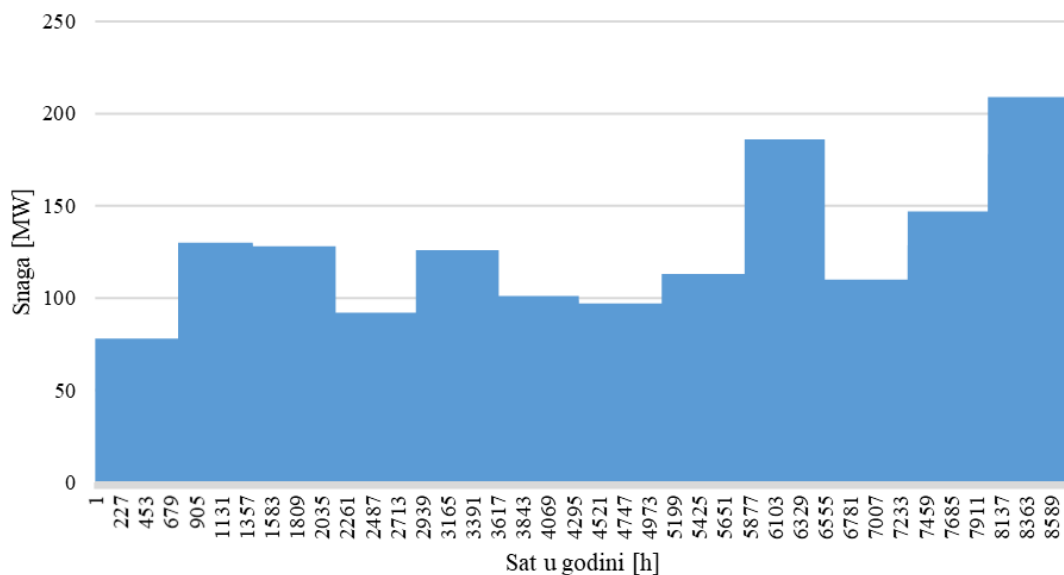
Distribuciju proizvodnje iz akumulacijskih hidroelektrana za 2017. godinu koja se koristi u slučajevima za 2030., 2040., i 2050. godinu prikazuje Slika 29. Najveća proizvodnja se odvija tokom zimskih i proljetnih mjeseca, dok je tokom ljetnih proizvodnja gotovo duplo manja.



Slika 29. Proizvodnja iz akumulacijskih hidroelektrana [45]

4.3.6. *Proizvodnja iz protočnih hidroelektrana*

Distribuciju proizvodnje iz protočnih hidroelektrana prikazuje Slika 30. U ovom slučaju dolazi do nešto drugačije raspodjele proizvodnje te većih varijacija tokom godine uvjetovanih kišnim i sušnim razdobljima.



Slika 30. Proizvodnja iz protočnih hidroelektrana [45]

4.4. Podaci za Hrvatsku 2018

Sljedeće tablice prikazuju podatke za sustav Republike Hrvatske 2018. godine. Potrošnju goriva kod individualnih sustava zagrijavanja prikazuje Tablica 22., dok Tablica 23. prikazuje podatke o proizvodnim kapacitetima. Preostali podaci su prikazani u poglavlju 4.1.

Tablica 22. Finalna potrošnja goriva za zagrijavanje prostora [49], [70]

| Gorivo | Količina | Jedinica |
|---------------------|----------|----------|
| Ugljen | 0,043 | TWh |
| Tekuća goriva | 2,48 | TWh |
| Prirodni plin | 9,16 | TWh |
| Biomasa | 18,83 | TWh |
| Električna energija | 0,348 | TWh |
| CTS | 1,75 | TWh |

Tablica 23. Instalirani kapaciteti i proizvodnja 2018 [5], [68], [69]

| Naziv | Kapacitet | Proizvodnja |
|-------------------------------|-------------------|-----------------|
| Jedinica | MW | TWh |
| Vjetroelektrane | 586,3 | 1,3354 |
| Fotonaponske elektrane | 67,7 | 0,0749 |
| Geotermalne elektrane | 10 | 0,002 |
| Nuklearne elektrane | 348 (696*) | 2,715 (5,43*) |
| Termoelektrane | 1201,4 | 4,4365 |
| Akumulacijske hidroelektrane | 1368,2 (1485,7**) | 4,68 (5,4491**) |
| Protočne hidroelektrane | 438,4 | 1,97 |
| Kondenzacijske termoelektrane | 399,4 | - |
| Kogeneracijske termoelektrane | 802 | - |

*Smanjenje zbog dijeljenja Nuklearne elektrane Krško s Republikom Slovenijom

**Smanjenje zbog dijeljenja jednog agregata, a time i proizvedene energije u HE Dubrovnik s BIH

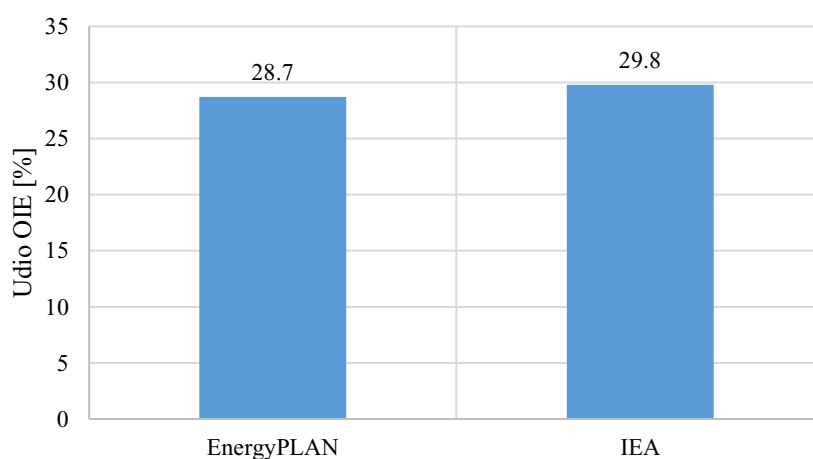
5. REZULTATI

5.1. Rezultati za Hrvatsku 2018

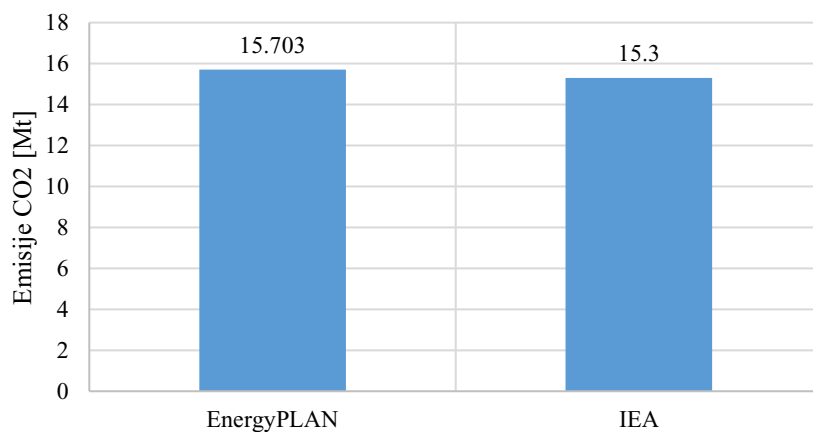
Rezultate za referentni model i stvarne podatke o sustavu u 2018. prikazuje Tablica 24. Rezultati iz simulacije unutar programa EnergyPLAN se uspoređuju s dostupnim podacima iz IEA te dolazi do podudaranja rezultata kao što prikazuje Tablica 24. Rezultate prikazuju također Slika 31. i Slika 32.

Tablica 24. Rezultati za referentni model u 2018. godini

| Naziv | Iznos EnergyPLAN | Iznos IEA [3] | Jedinica |
|-------------------------|------------------|---------------|----------|
| Udio OIE | 28,7 | 29,8 | % |
| Emisije CO ₂ | 15,703 | 15,300 | Mt |



Slika 31. Usporedba rezultata za udio OIE iz EnergyPLAN-a i iz IEA

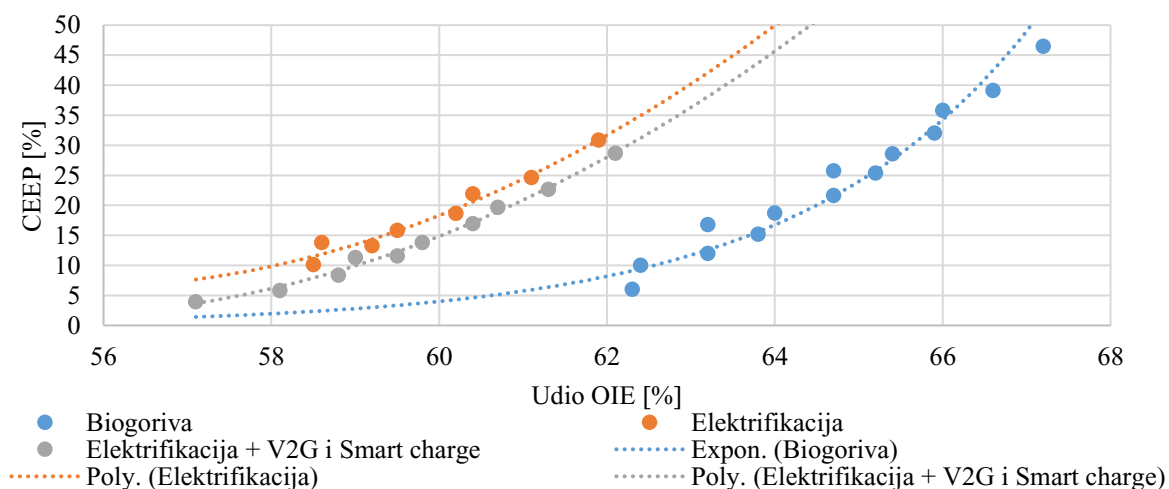


Slika 32. Usporedba rezultata za emisije CO₂ iz EnergyPLAN-a i iz IEA

5.2. Rezultati za 2030. godinu

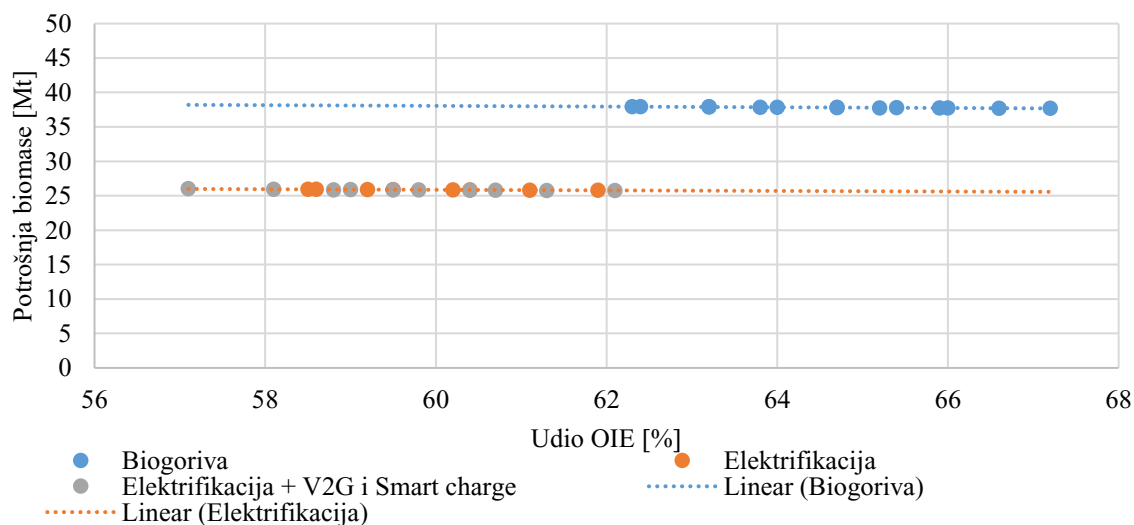
Sljedeće slike prikazuju rezultate utjecaja korištenih tehnologija na CEEP, potrošnju biomase, troškove, udio OIE i emisije CO₂.

Utjecaj korištenja biogoriva, električnih vozila te električnih vozila s V2G i tehnologijom pametnog punjenja prikazuje Slika 33. Korištenje V2G tehnologije smanjuje CEEP, ali se kao i za bazni slučaj primjene električnih vozila smanjuje udio OIE. Pretpostavlja se zamjena do 50 % fosilnih gorivima električnom energijom koja može biti u obliku samo punjenja, u kombinaciji s V2G i „pametnim punjenjem“ ili pak u obliku biogoriva.



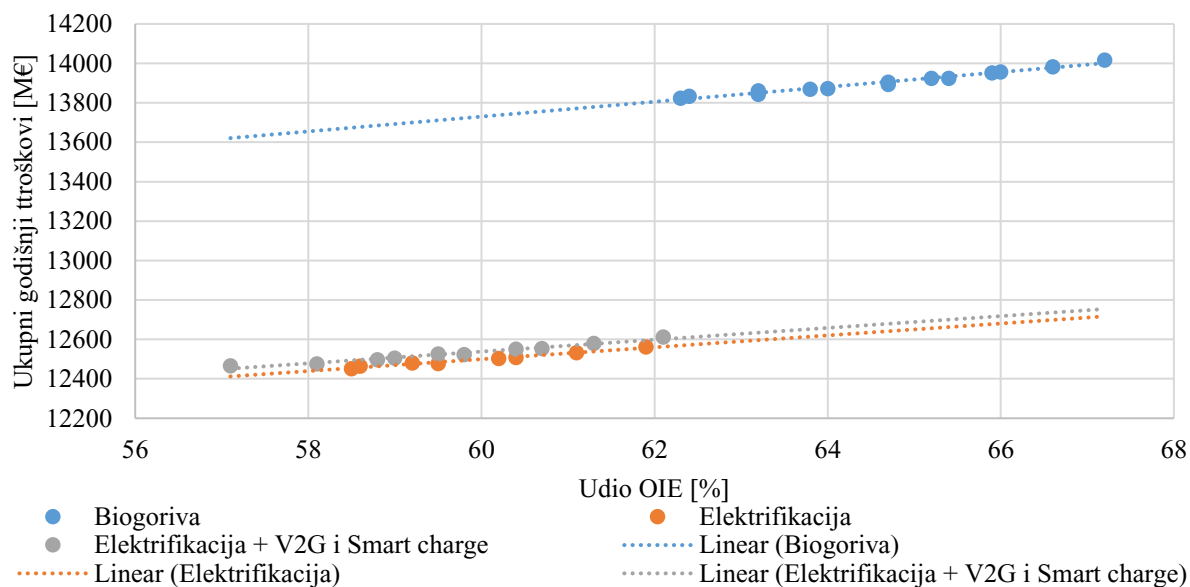
Slika 33. Utjecaj korištenja biogoriva, električnih vozila te električnih vozila s V2G i pametnim punjenjem na CEEP

Također, dolazi i do smanjenja potrošnje biomase s 38 na 26 TWh kao što prikazuje Slika 34.



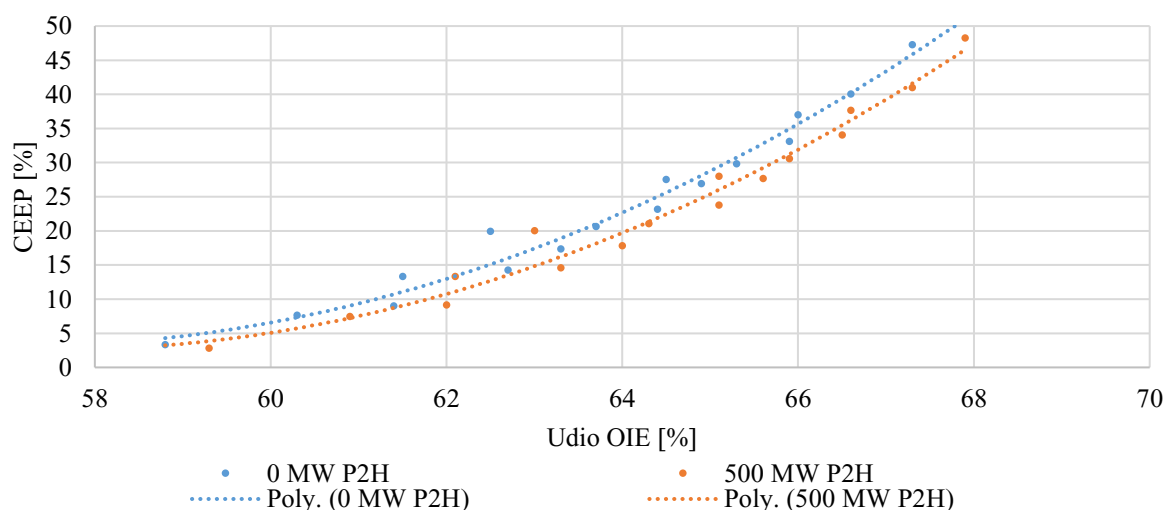
Slika 34. Utjecaj korištenja biogoriva, električnih vozila te električnih vozila s V2G i pametnim punjenjem na potrošnju biomase

Elektrifikacijom se smanjuju troškovi, ali ipak zbog potrebne dodatne opreme, sustav s V2G i pametnim punjenjem poprima više troškove u usporedbi sa sustavom bez tih tehnologija kao što prikazuje Slika 35.



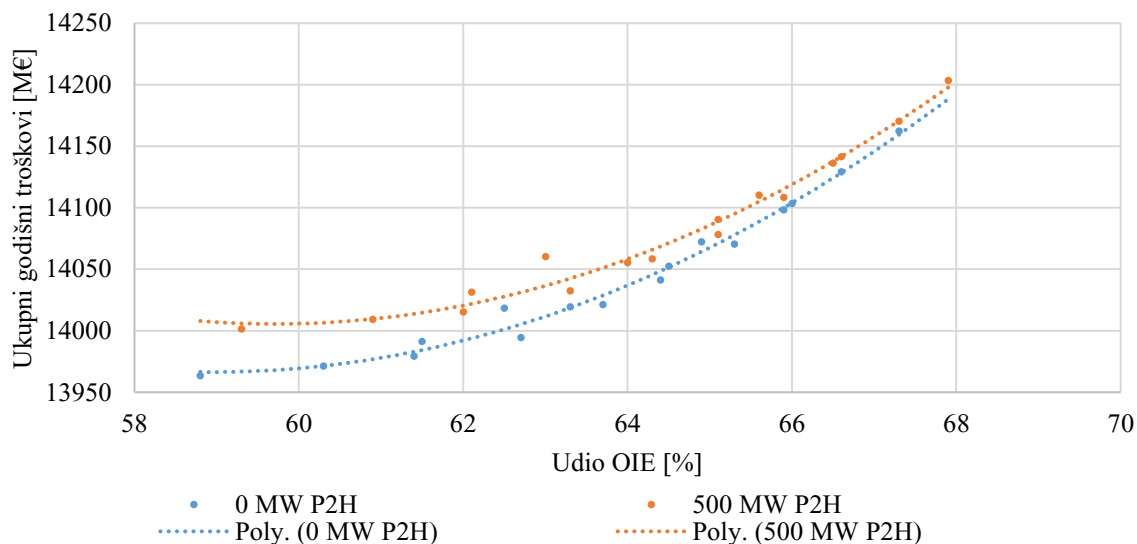
Slika 35. Utjecaj korištenja biogoriva, električnih vozila te električnih vozila s V2G i pametnim punjenjem na ukupne godišnje troškove

Rezultate primjene tehnologije P2H na CEEP i udio OIE prikazuje Slika 36. Povećanjem kapaciteta P2H dolazi do smanjenja CEEP-a za 2 do 5 % s time da se veće smanjenje ostvaruje kod višeg udjela OIE, a time i viših kapaciteta VOIE.



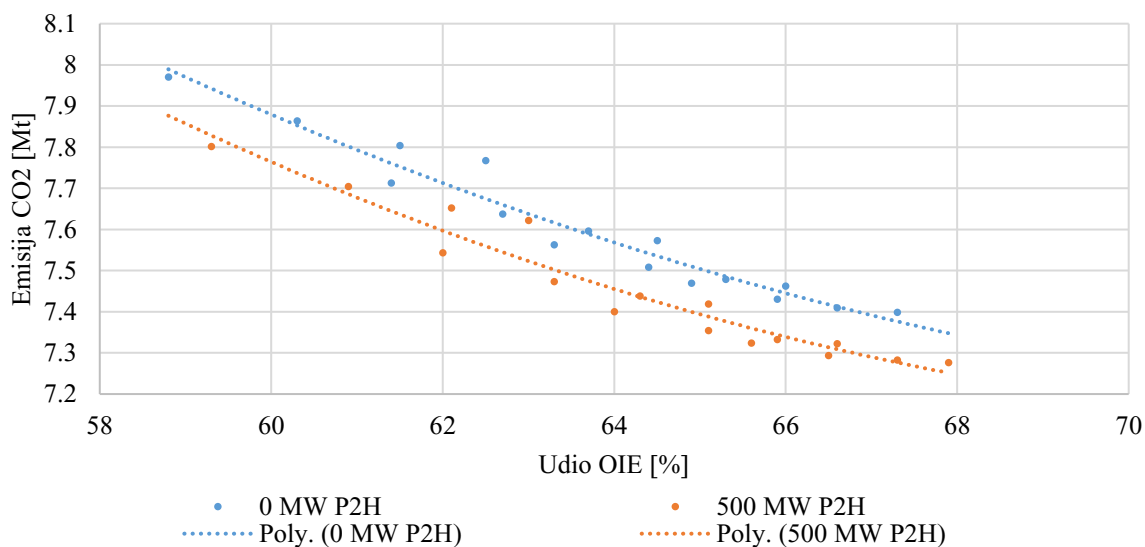
Slika 36. Utjecaj integracije P2H sustava na CEEP

Uslijed visokih troškova dizalica topline, dolazi do većeg godišnjeg troška za oko 50 M€ sustava koji sadržava P2H sustav što prikazuje Slika 37. Iz iste slike je vidljivo da se razlika u troškovima smanjuje kako se povećava proizvodnja iz VOIE.



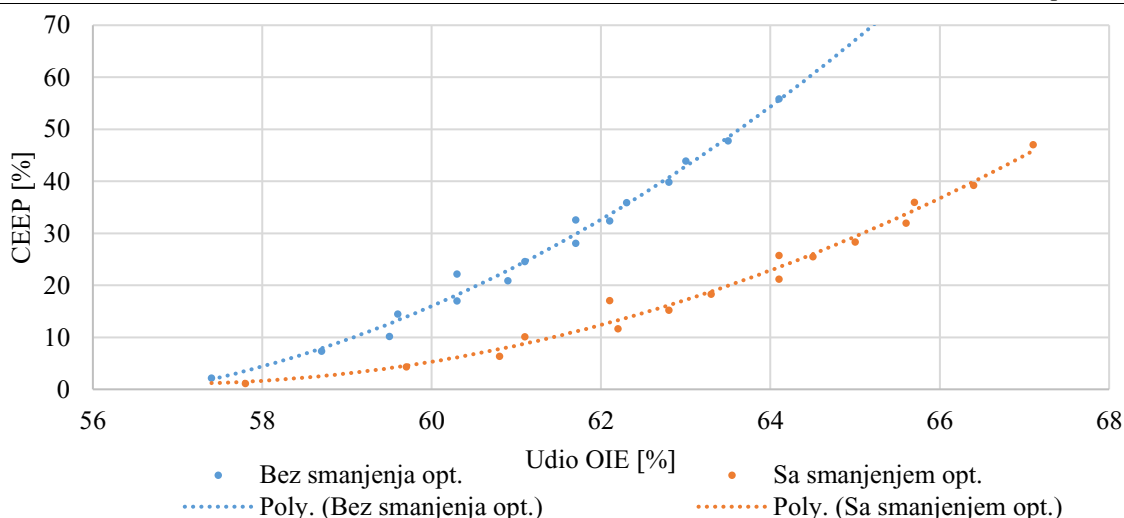
Slika 37. Utjecaj integracije P2H sustava na ukupne godišnje troškove

Integracija P2H sustava također ima utjecaj na smanjenje emisija CO₂ jer se korištenjem tog sustava izbjegava korištenje dijela fosilnih goriva za potrebe generiranja topline u centraliziranim toplinskim sustavima što prikazuje Slika 38.



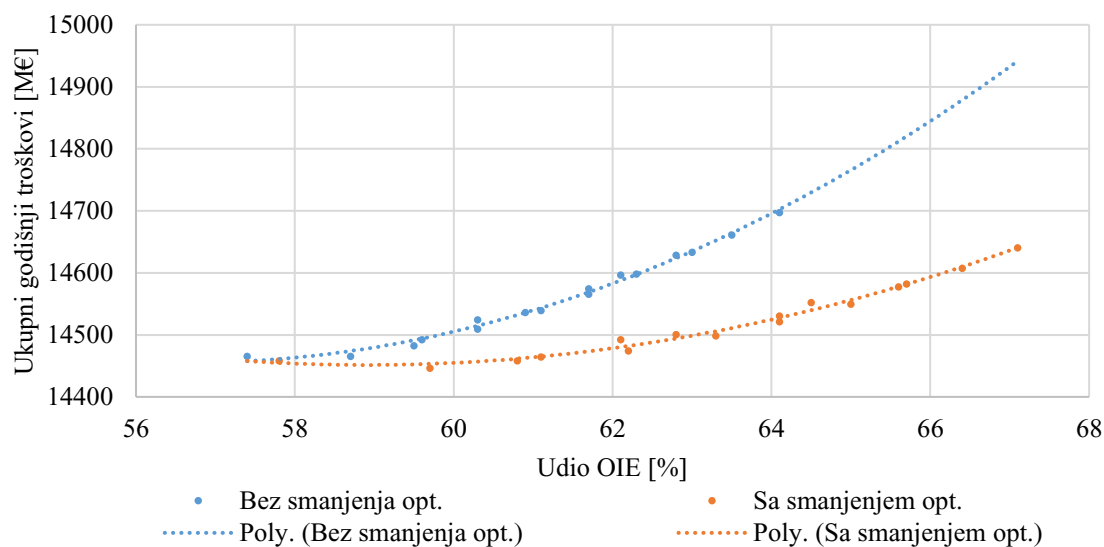
Slika 38. Utjecaj integracije P2H sustava na emisije CO₂

Rezultate provedbe smanjenja opterećenja nuklearne elektrane prikazuje Slika 39. Vidljiva je razlika između CEEP-a koje gotovo da nema kod nižih udjela OIE, dok se porastom generirane energije u VOIE krivulje razdvajaju. Krivulja „Bez smanjenja opterećenja.“ predstavlja rad nuklearne elektrane u baznom režimu i u tom slučaju ona ne mijenja ili mijenja u vrlo malom dijelu. U suprotnom slučaju, fleksibilan rad nuklearnih elektrana omogućuje veću integraciju VOIE. Tako primjerice dolazi do smanjenja od 30 % CEEP-a kod viših udjela OIE.



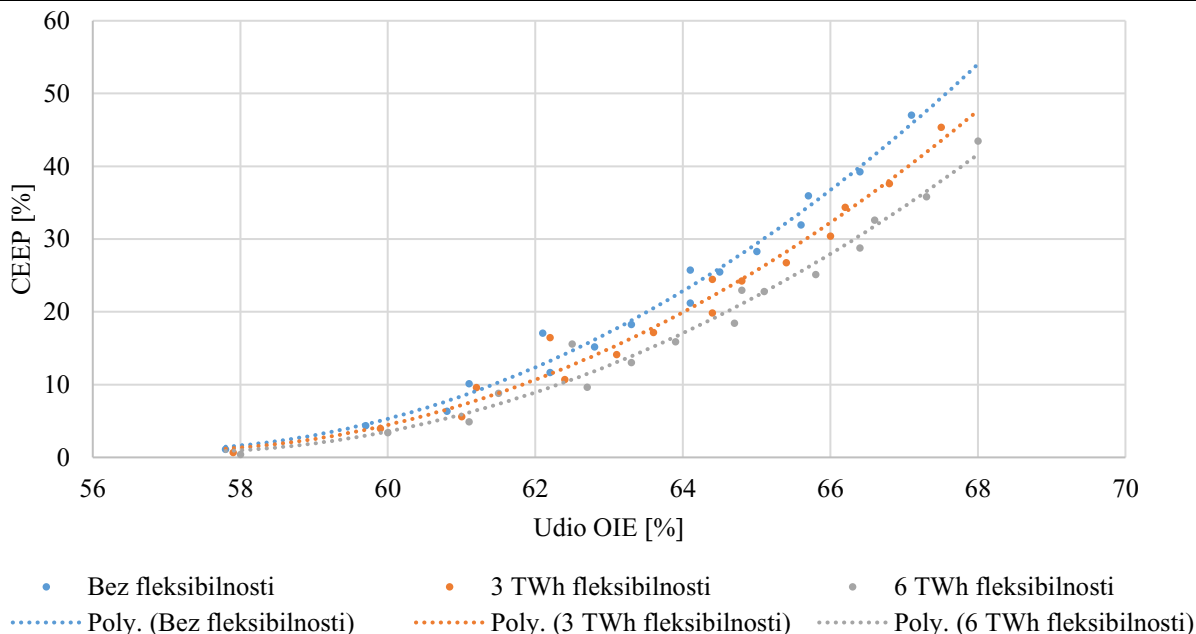
Slika 39. Utjecaj smanjenja opterećenja nuklearne elektrane CEEP

Smanjenje opterećenja nuklearne elektrane rezultira smanjenjem učinkovitosti elektrane uz istu ili tek nešto manju potrošnju goriva. Ipak, dolazi do ušteda u radu cjelokupnog sustava kao što prikazuje Slika 40. Uštede na razini cjelokupnog sustava mogu dostići oko 200 do 250 M€ godišnje.



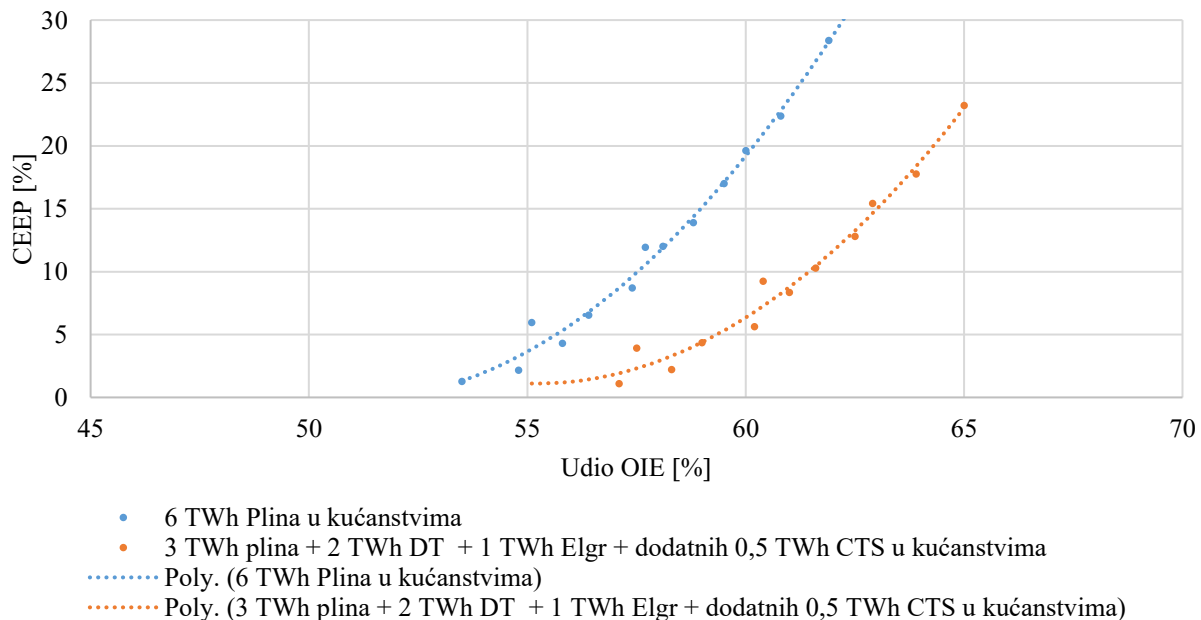
Slika 40. Utjecaj smanjenja opterećenja nuklearne elektrane na Ukupne godišnje troškove

Fleksibilna potrošnja također ima utjecaj na smanjenje CEEP-a kao što prikazuje Slika 41. Uspoređuje se sustav bez fleksibilne potrošnje, s 3 TWh, i 6 TWh fleksibilne potrošnje. Moguće je postići smanjenje CEEP-a između 1 i 10 % s time da veće uštede i u ovom slučaju dolaze do izražaja kod većeg udjela OIE.



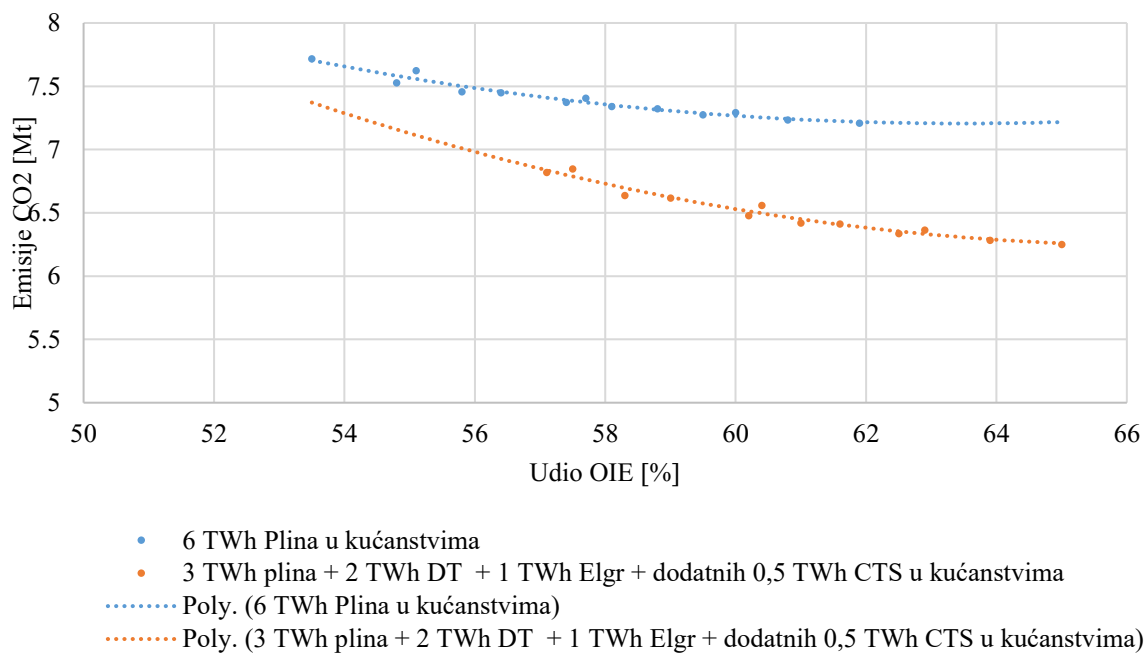
Slika 41. Utjecaj fleksibilnosti potrošnje na CEEP

Smanjenje korištenja plina sa 6 na 3 TWh uz istovremeno povećanje korištenja dizalica topline s 0 na 2 TWh i električnih grijača s 0 na 1 TWh godišnje. Smanjenje korištenja plina nema velikog utjecaja na CEEP, ali dolazi do povećanja udjela OIE za oko 3 do 4 % što prikazuje Slika 42.



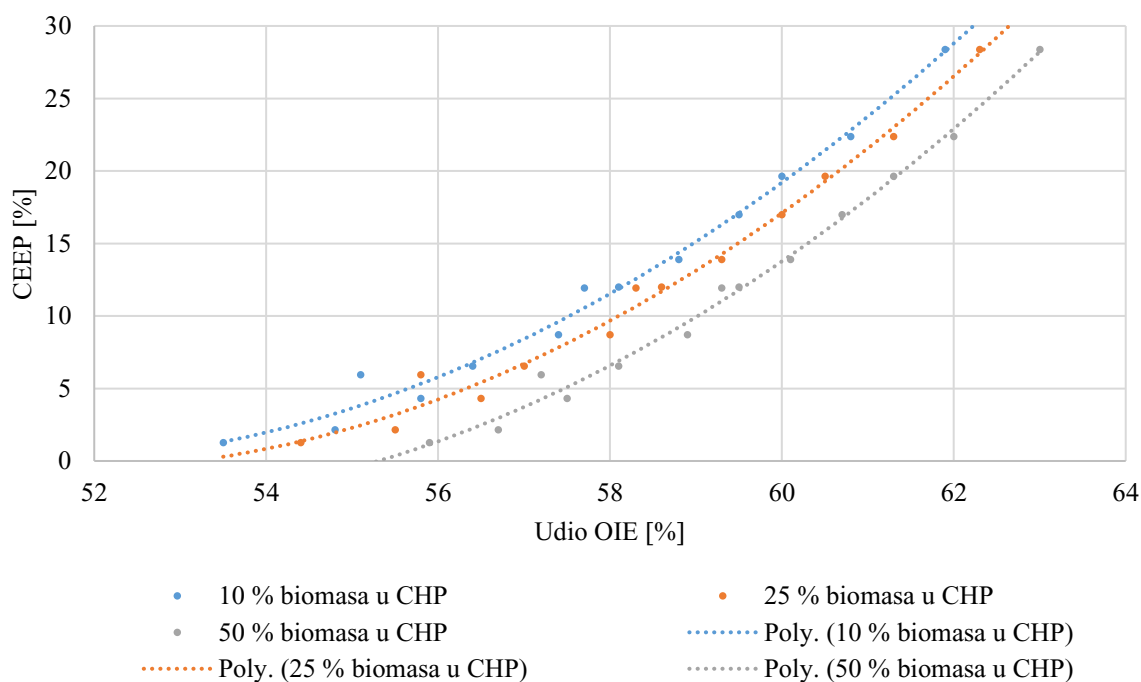
Slika 42. Utjecaj sustava generiranja topline na potrošnje na CEEP

Uvođenjem dizalica topline, električnih grijača, smanjenjem potrošnje plina te širenjem CTS-a dolazi do smanjenja emisija CO₂ u rasponu od 0,5 do 1 Mt što prikazuje Slika 43.



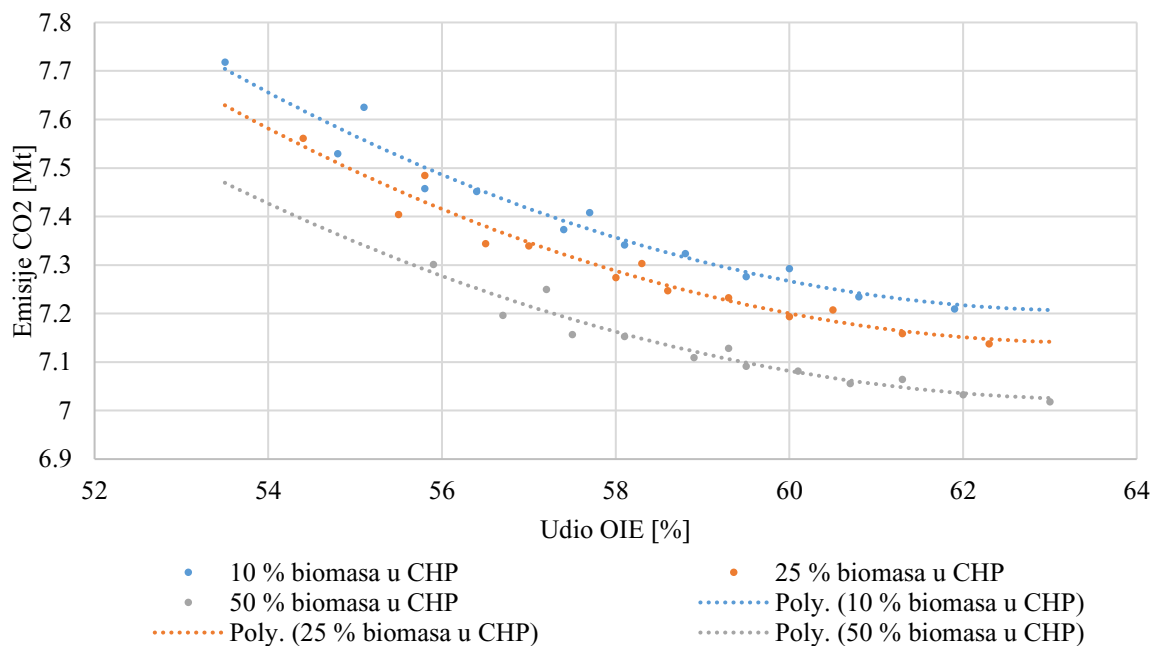
Slika 43. Utjecaj sustava generiranja topline na potrošnje na emisije CO₂

Promjena goriva u termoelektranama također nema utjecaj na CEEP, ali ima utjecaj na povećanje udjela OIE za oko 3 % što prikazuje Slika 44.



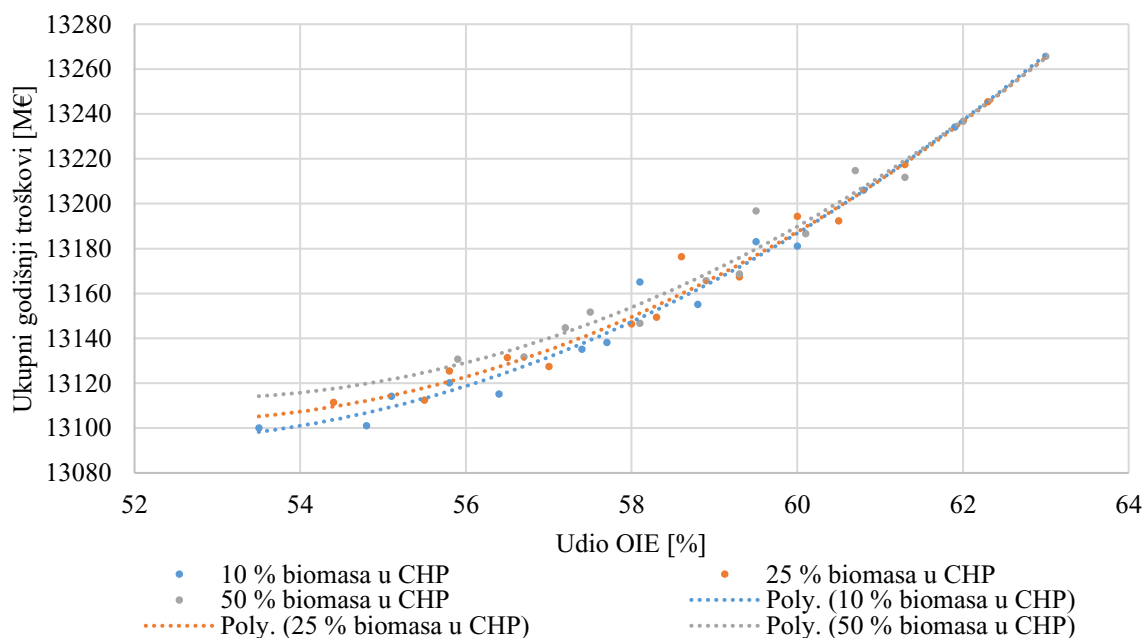
Slika 44. Utjecaj goriva u termoelektranama na potrošnje na CEEP

Uz implementaciju korištenja većeg udjela biomase dolazi i do smanjenja emisija CO₂. na taj je način moguće smanjiti emisije CO₂ za do 0,25 Mt kao što prikazuje Slika 45.



Slika 45. Utjecaj goriva u termoelektranama na potrošnje na emisije CO₂

Utjecaj promjene goriva u termoenergetskim postrojenjima na ukupne godišnje troškove prikazuje Slika 46. Oprema termoenergetskih postrojenja na biomasu je karakterizirana višim investicijskim troškovima u usporedbi sa sustavima na prirodni plin pa zbog toga dolazi do blagog povećanja godišnjih troškova do 20 M€.

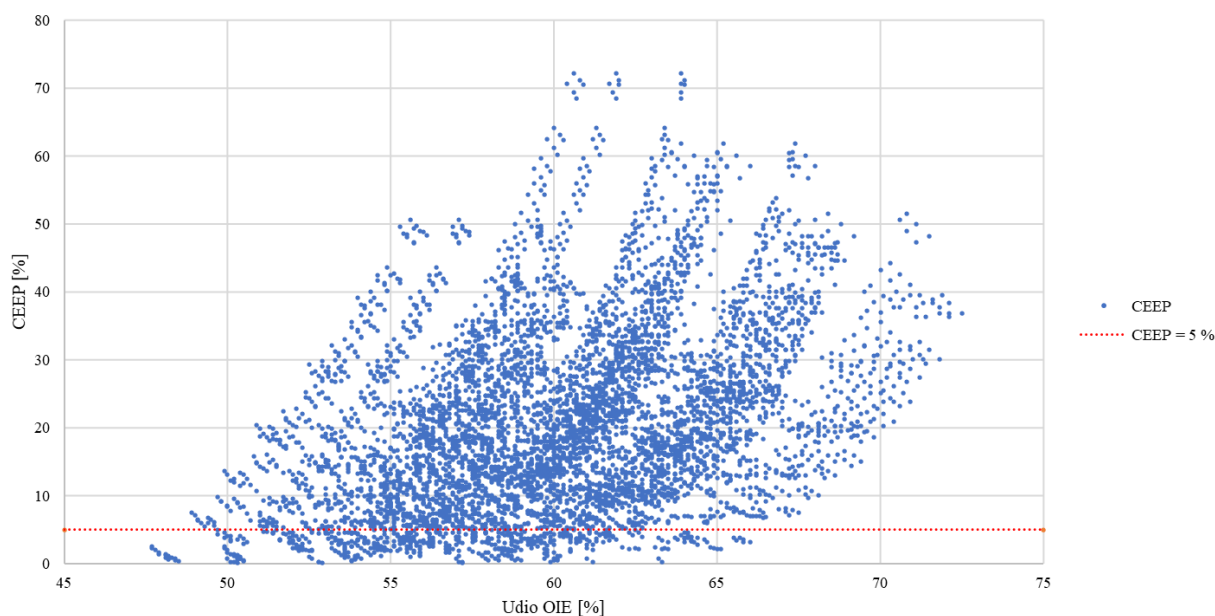


Slika 46. Utjecaj goriva u termoelektranama na potrošnje na ukupne godišnje troškove

5.2.1. Odabir najpovoljnijeg sustava za 2030. godinu

Ukupne rezultate za 2030. prikazuje Slika 47. Velik dio slučajeva ima CEEP veći od 5 %, dok je cilj rada dobiti sustav s niskim CEEP-om. Iz tog se razloga eliminira dio rezultata s CEEP >5 %. Na slici je prikazana granica prema iznosu CEEP-a. Za daljnje razmatranje i primjenu multi-kriterijske analize preostaje samo dio rezultata ispod linije CEEP = 5 %.

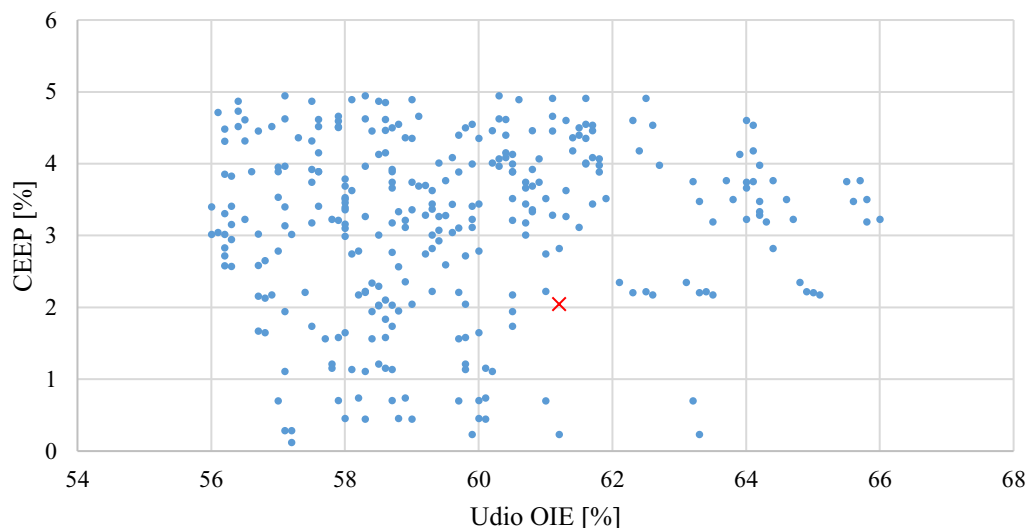
Rezultate multi-kriterijske analize za 2030. godinu prikazuje Tablica 28. Rezultati su poredani od sustava s najvećim do sustava s najmanjim rezultatom analize u rasponu 0 do 1. Spomenuta tablica također prikazuje korištenu konfiguraciju sustava, a detaljan opis sustava prikazuje Tablica 25.



Slika 47. Odnos udjela OIE i CEEP-a

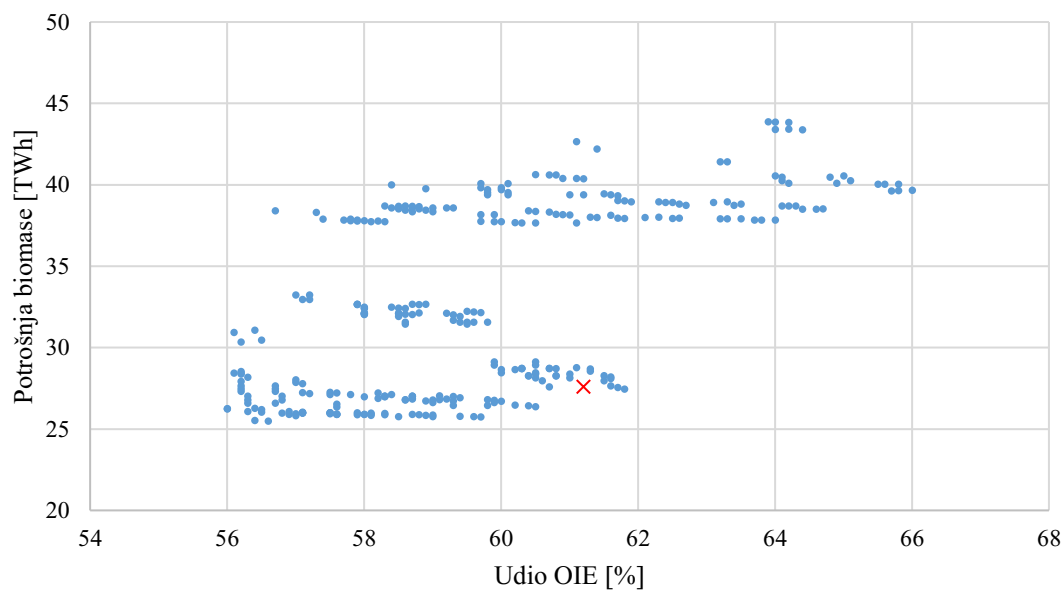
Nakon toga se provodi multi-kriterijska analiza čijom provedbom se dobiva rješenje naznačeno crvenim križićem na dijagramima.

Kao što prikazuje Slika 48., dolazi se do iznosa CEEP-a od 2 % pri udjelu OIE od 61 %.



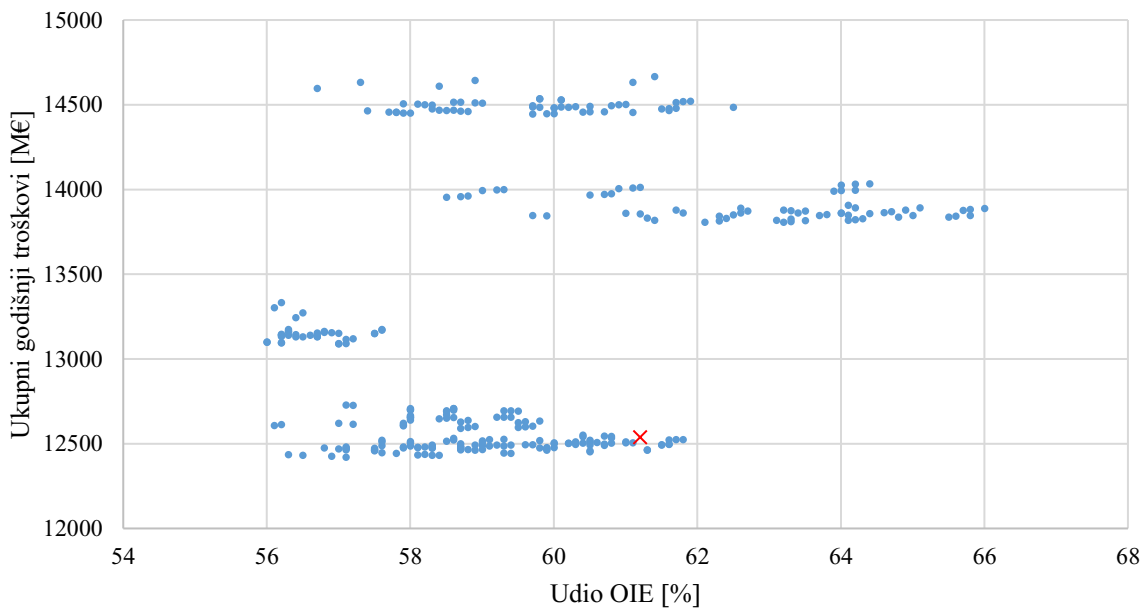
Slika 48. Odnos udjela OIE i CEEP-a uz CEEP \leq 5 %

Potrošnja biomase iznosi 27,6 TWh što se može pokriti na održivi način korištenjem poljoprivrednih ostataka, ostataka iz drvne industrije te usjeva pogodnih za energetske upotrebu (Tablica 18). Slika 49 grafički prikazuje potrošnju biomase.



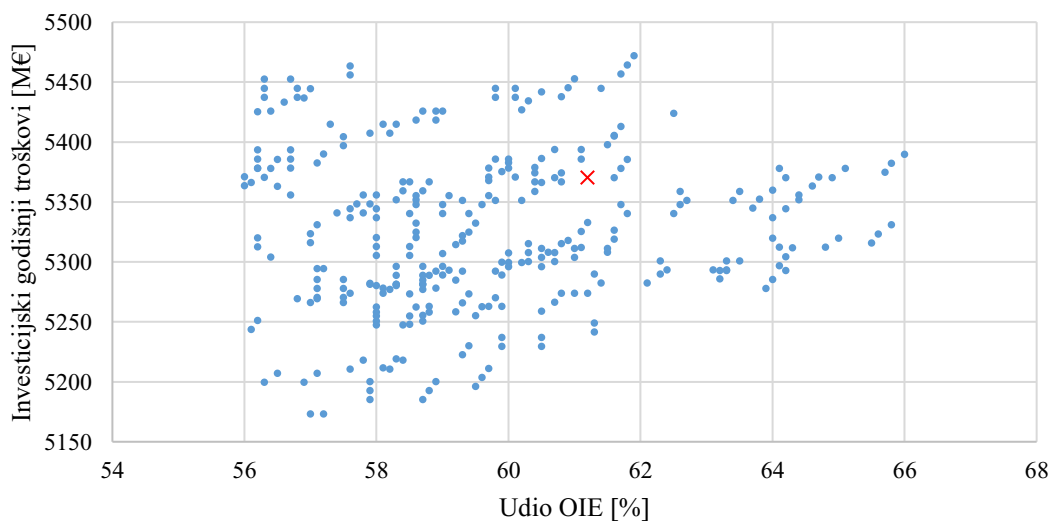
Slika 49. Potrošnja biomase

Ukupne godišnje troškove sustava prikazuje Slika 50. Vidljivo je da odabrani sustav ima gotovo najniže troškove iznosa 12,54 B€ godišnje.



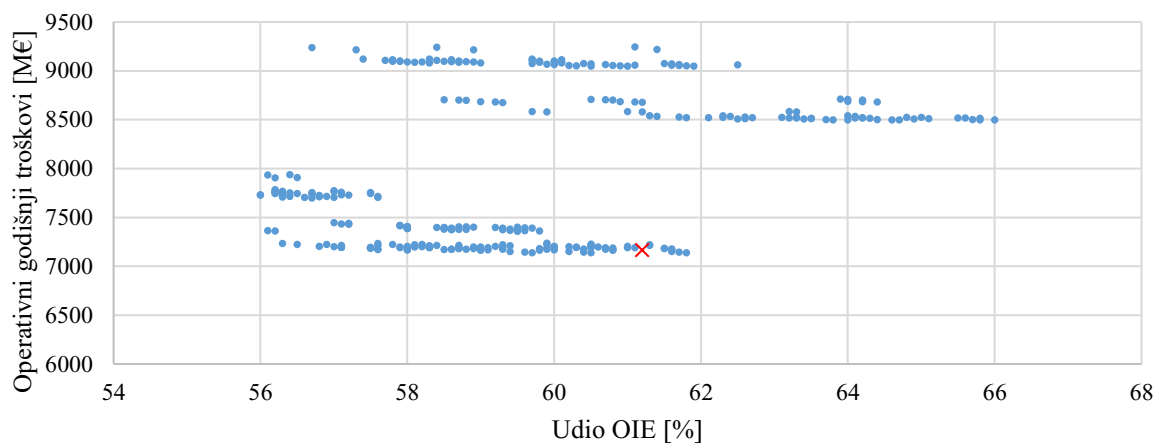
Slika 50. Ukupni godišnji troškovi

Investicijski troškovi odabranog sustava su veći od prosjeka populacije s iznosom od 5,37 B€ do čeg dolazi uslijed masovne implementacije električnih vozila s pratećom infrastrukturom, dizalicama topline te mjerama povećanja fleksibilnosti kako potrošnje, tako i proizvodnje. Rezultate prikazuje Slika 51.



Slika 51. Investicijski godišnji troškovi

Operativni troškovi odabranog sustava, u suprotnosti s investicijskim troškovima, iskazuju niže vrijednosti u iznosu od 7,17 B€. Do nižih operativnih troškova dolazi uslijed korištenja električnih vozila te povećanja fleksibilnosti sustava što omogućuje učinkovitiji rad sustava i raspolaganje dostupnim resursima.



Slika 52. Operativni godišnji troškovi

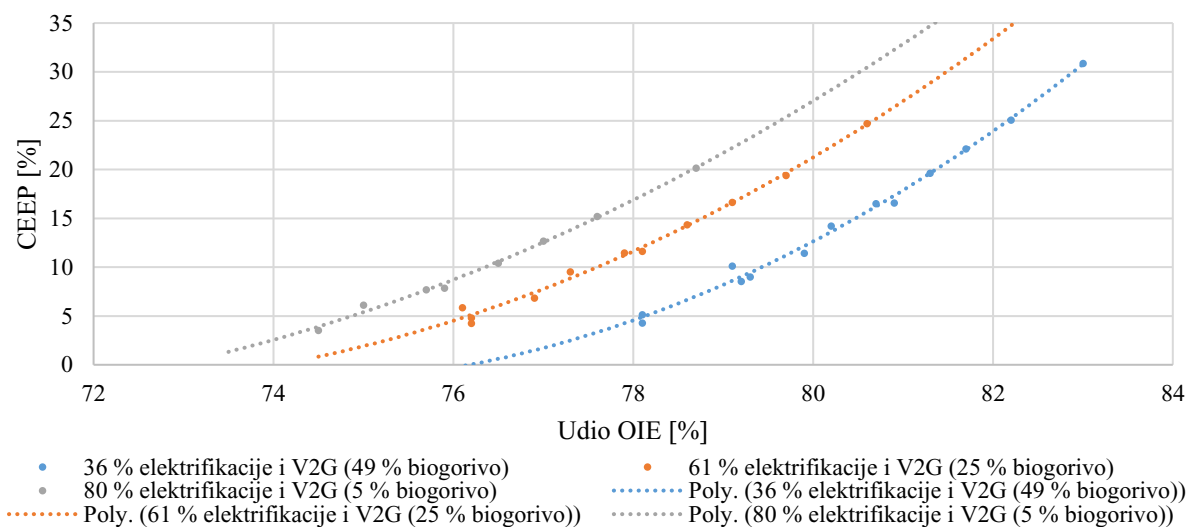
Podaci o odabranom sustavu su prikazani u Tablica 25.

Tablica 25. Podaci o odabranom sustavu

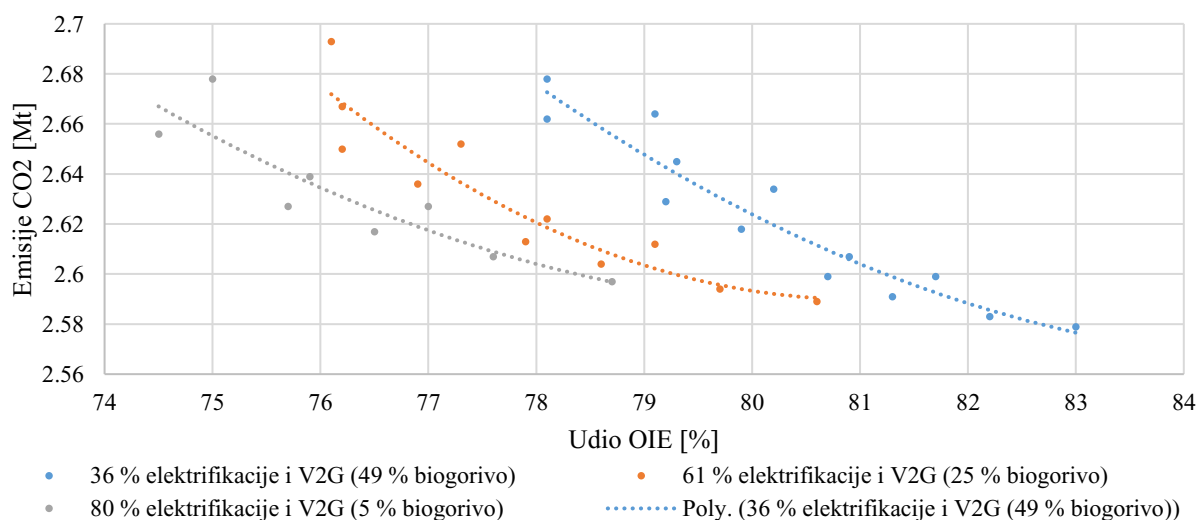
| Veličina | Iznos | Jedinica |
|--|---------|----------|
| Udio OIE | 61,2 | % |
| Emisija CO ₂ | 6,062 | Mt |
| CEEP | 2,048 | % |
| Potrošnja biomase | 27,6 | TWh |
| Ukupni godišnji troškovi | 12538,7 | M€ |
| Godišnji investicijski troškovi | 5370,4 | M€ |
| Godišnji operativni troškovi | 7168,3 | M€ |
| Kapacitet vjetroelektrana | 5000 | MW |
| Kapacitet fotonaponskih elektrana | 2500 | MW |
| Udio biomase u termoelektranama | 50 | % |
| Proizvodnja toplinske energije iz dizalica topline i električnih grijača | 3 | TWh |
| Udio električnih vozila | 56 | % |
| V2G i pametno punjenje | DA | - |
| Kapacitet P2H | 500 | MW |
| Fleksibilna potrošnja | 6 | TWh |
| Minimalno opterećenje termoelektrana | 0 | MW |
| Djelomično opterećenje nuklearne elektrane | DA | - |

5.3. Rezultati za 2040. godinu

Sljedeće slike prikazuju rezultate za sustav 2040. godine. Kod svih razmatranih sustava 2040. se pretpostavlja povećanje fleksibilnosti termoelektrana, nuklearnih elektrana te 500 MW P2H. Odnos CEEP-a i udjela OIE u vezi udjela korištenja biogoriva ili električnih vozila prikazuje Slika 53. Valja primijetiti da se dodavanjem većeg udjela električnih vozila snižava udio OIE, ali se također snižava i CEEP što je jedan od kriterija stabilnosti sustava. U ovom slučaju se u sektoru prometa udio fosilnih goriva od 20 %, dok ostatak čine električna energija i biogoriva u raznim omjerima.

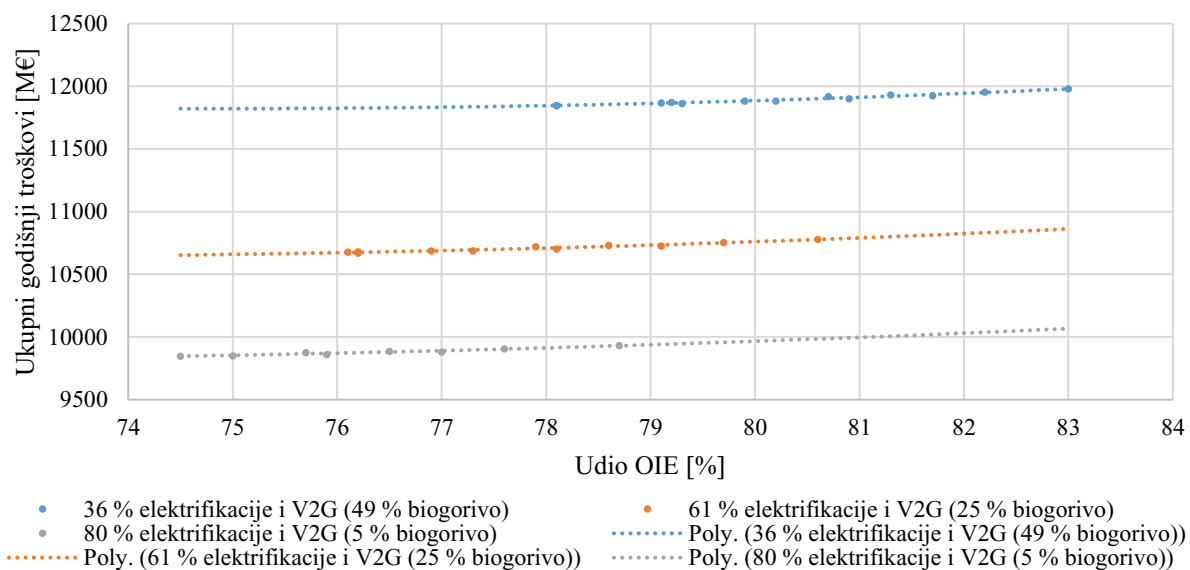


Slika 53. Utjecaj korištenja biogoriva, električnih vozila te električnih vozila s V2G i pametnim punjenjem na CEEP



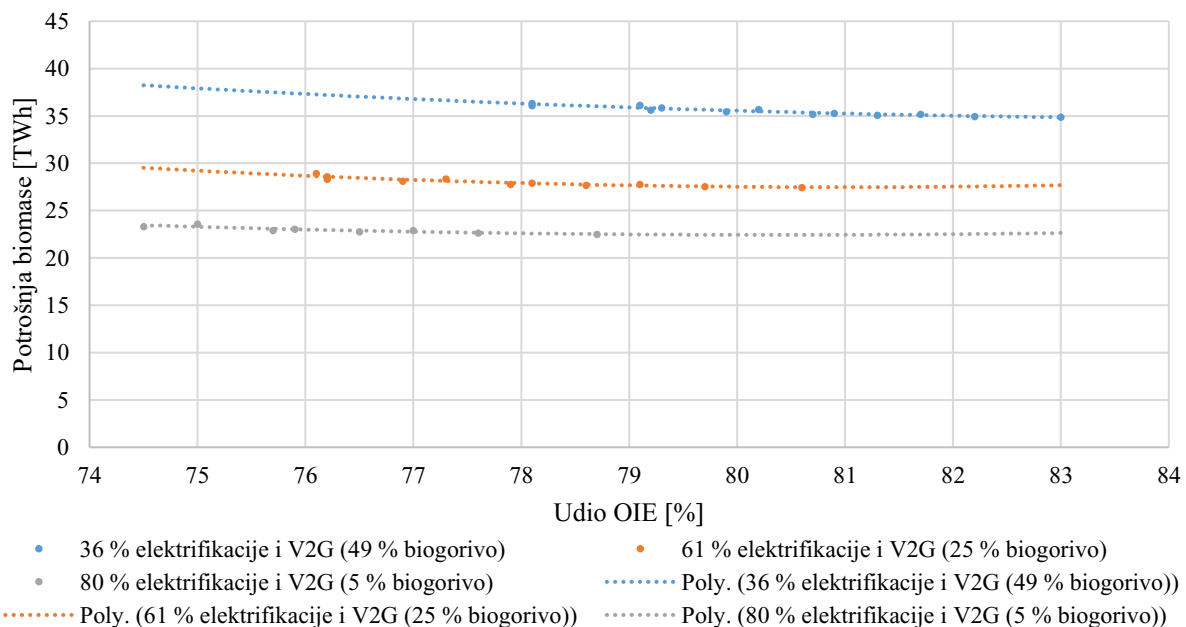
Slika 54. Utjecaj korištenja biogoriva, električnih vozila te električnih vozila s V2G i pametnim punjenjem na emisije CO₂

Vidljivo je kao što prikazuje Slika 55. da se povećanjem korištenja električnih vozila također dolazi do smanjenja troškova zbog projicirane niže cijene i operativnih troškova električnih vozila i vezane infrastrukture u odnosu na vozila s unutrašnjim izgaranjem.



Slika 55. Utjecaj korištenja biogoriva, električnih vozila te električnih vozila s V2G i pametnim punjenjem na ukupne godišnje troškove

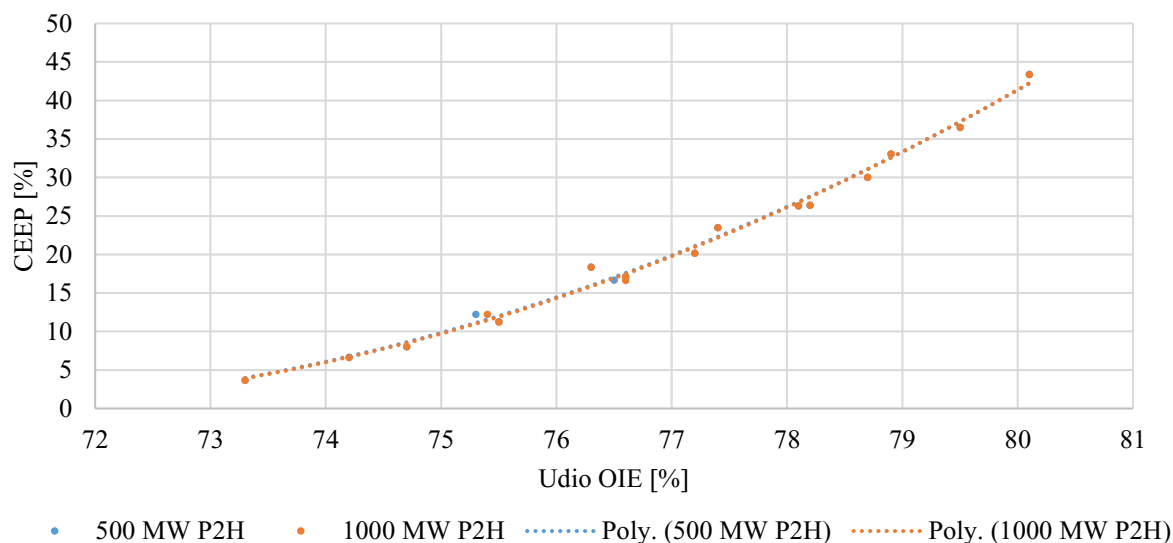
Također, kao što prikazuje Slika 56., elektrifikacijom dolazi i do smanjenja korištenja biomase što je također jedan od ciljeva s obzirom na dostupne ograničene količine.



Slika 56. Utjecaj korištenja biogoriva, električnih vozila te električnih vozila s V2G i pametnim punjenjem na potrošnju biomase

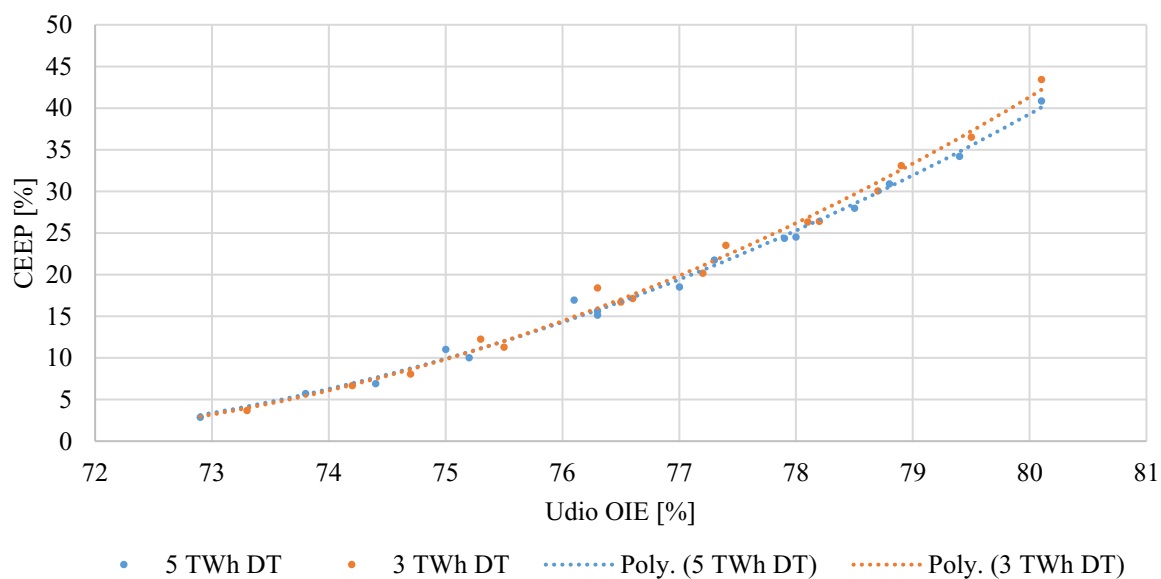
Usporedbu korištenja 500 i 1000 MW P2H sustava te njihov utjecaj na CEEP prikazuje Slika

57. Rezultati prikazuju da daljnje povećanje ne rezultira smanjenjem CEEP-a.



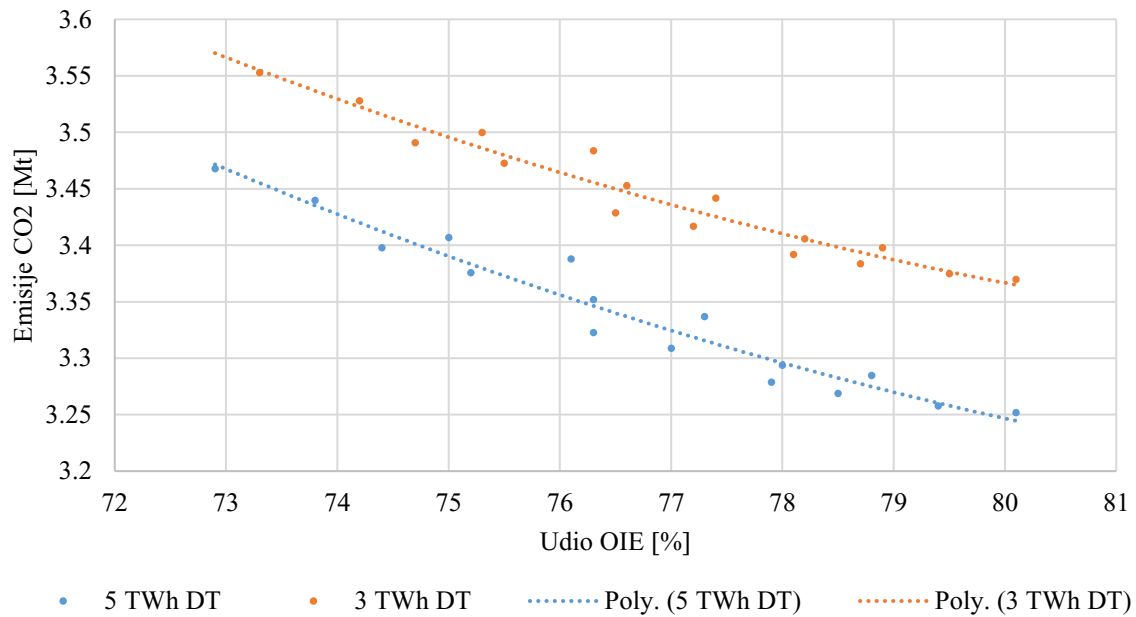
Slika 57. Utjecaj povećanja kapaciteta P2H na CEEP

Korištenje većeg kapaciteta dizalica topline ima utjecaj na smanjenje CEEP-a tek pri višem udjelu OIE kod veće proizvodnje iz VOIE što prikazuje Slika 58.



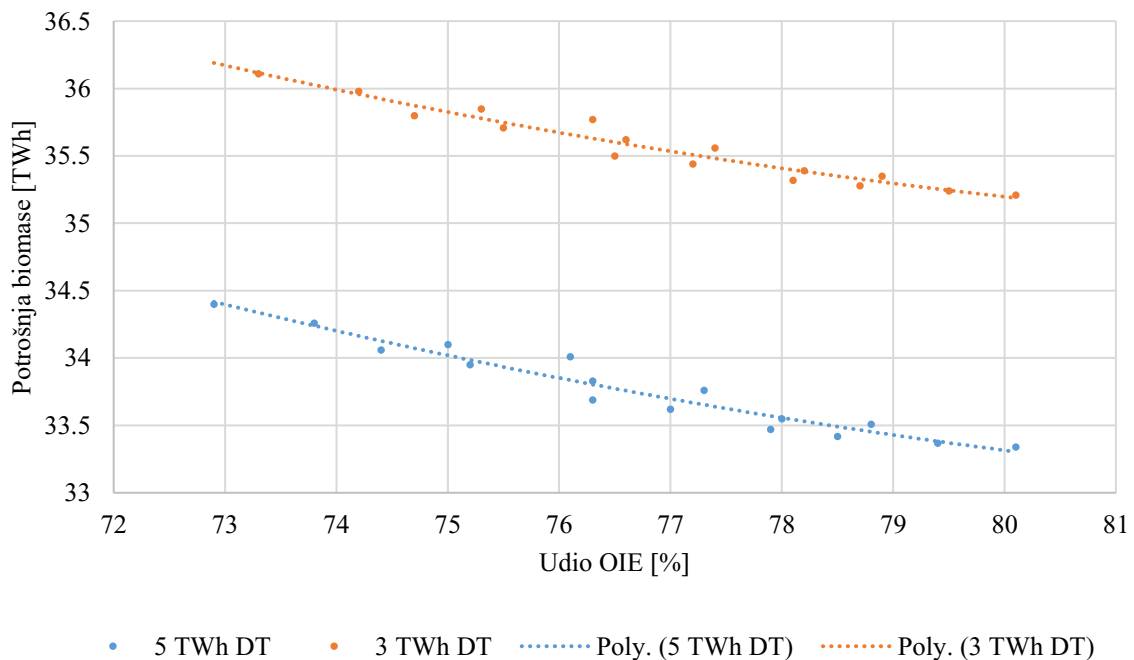
Slika 58. Utjecaj korištenja dizalica topline na CEEP

Također, dolazi do smanjenja emisija CO₂ uslijed korištenja dizalica topline u većoj mjeri zbog istovremenog prestanka korištenja prirodnog plina u sustavima grijanja koji se koristio u iznosu do 1 TWh kod sustava s nižim korištenjem dizalica topline.

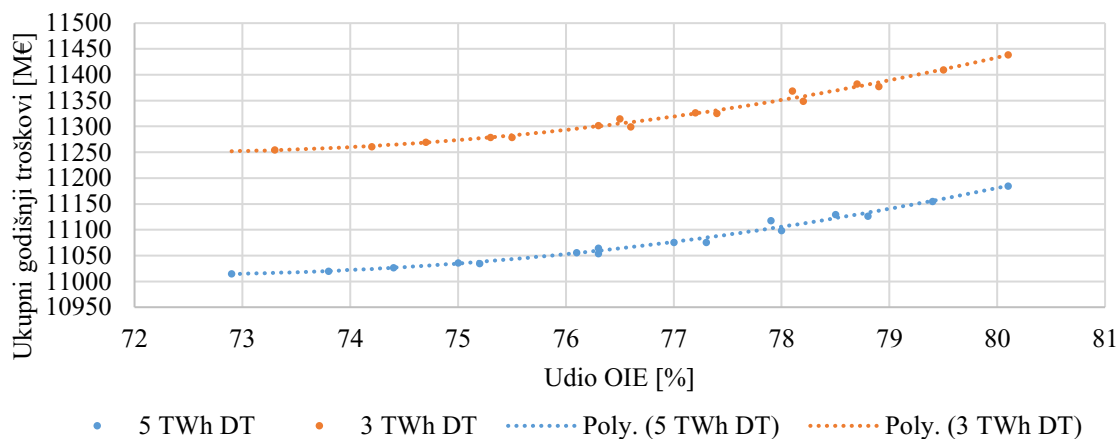


Slika 59. Utjecaj korištenja dizalica topline na emisije CO₂

Usljed zamijene dijela biomase dizalicama topline dolazi i do smanjenja korištenja biomase što prikazuje Slika 60. Također dolazi i do smanjenja ukupnih godišnjih troškova za otprilike 250 M€ kao što prikazuje Slika 61.

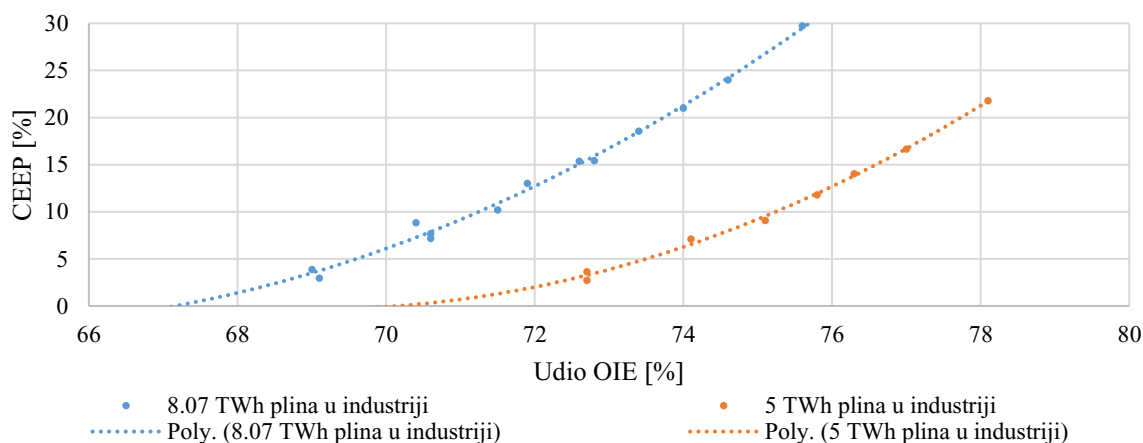


Slika 60. Utjecaj korištenja dizalica topline na potrošnju biomase

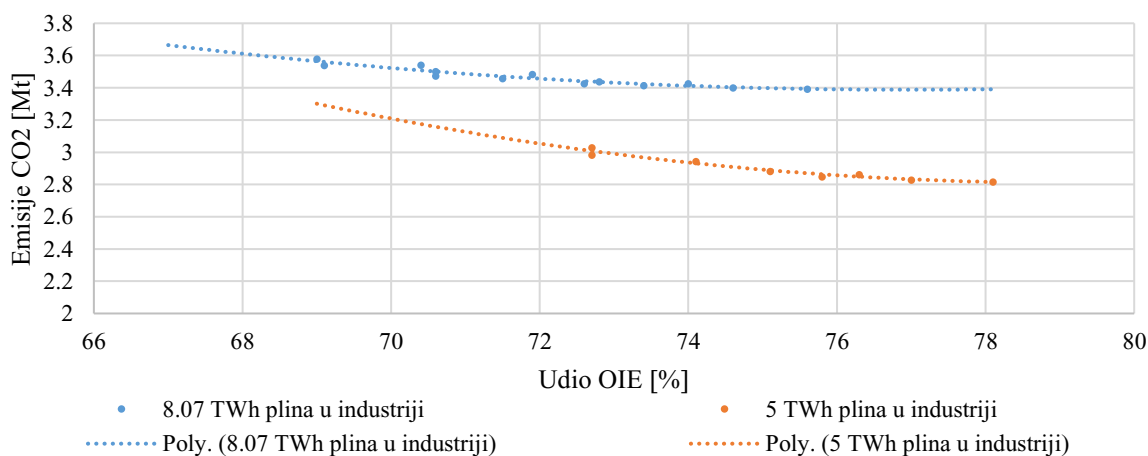


Slika 61. Utjecaj korištenja dizalica topline na ukupne godišnje troškove

Zamjena goriva u industriji, iako uključuje elektrifikaciju dodatnih 2 TWh industrijske potrošnje, nema veliki utjecaj na CEEP kao što prikazuje Slika 62., ali ima utjecaj na povećanje udjela OIE za oko 4 % uz zadržavanje istog iznosa CEEP-a te smanjenje emisija između 0,4 do 0,6 Mt CO₂ godišnje zbog istiskivanja plina prema podacima koje prikazuje Slika 63.

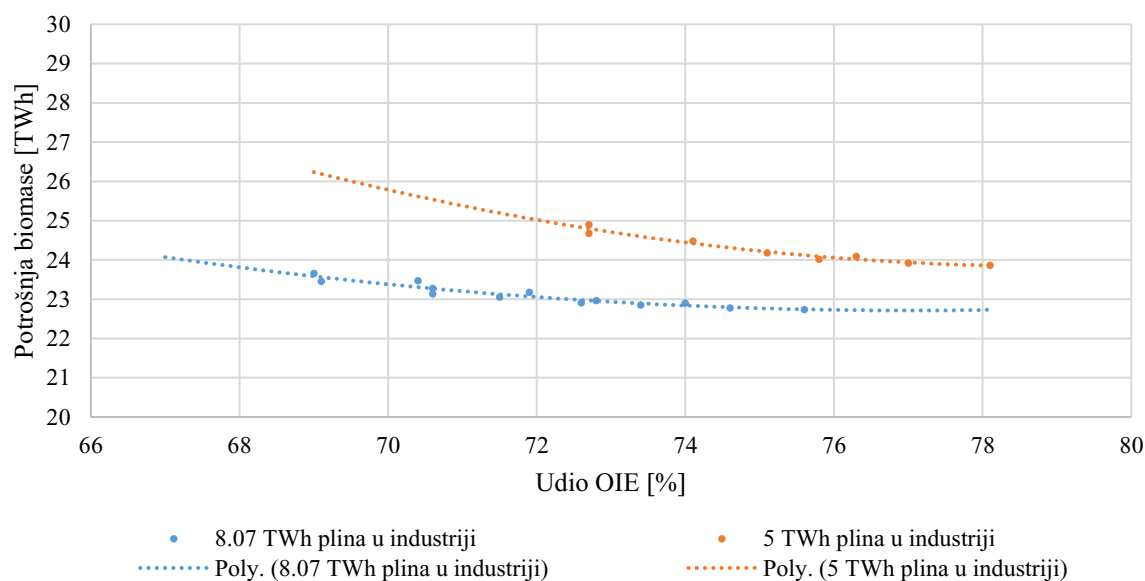


Slika 62. Utjecaj goriva u industriji na CEEP i udio OIE

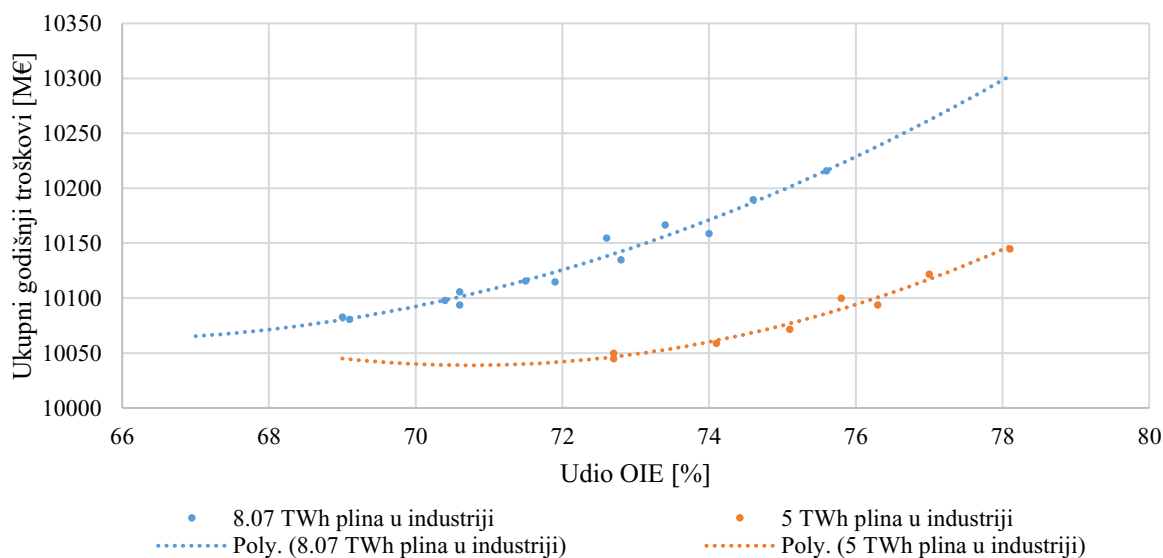


Slika 63. Utjecaj goriva u industriji na emisije CO₂

Također, zbog elektrifikacije dolazi do smanjenja korištenja biomase za oko 2 TWh (Slika 64), te smanjenja godišnjih troškova između 75 i 100 M€ uslijed smanjenja nabave prirodnog plina što prikazuje Slika 65.

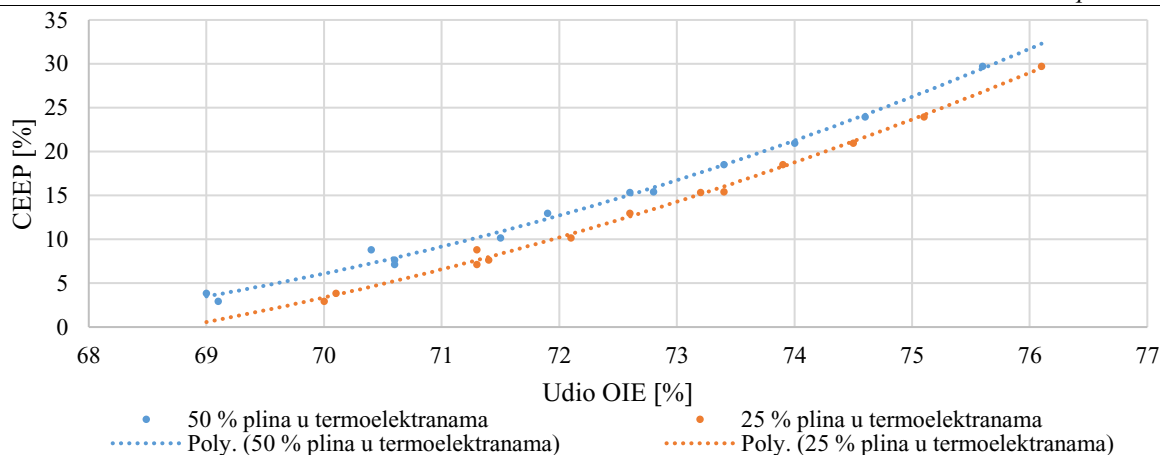


Slika 64. Utjecaj goriva u industriji na potrošnju biomase



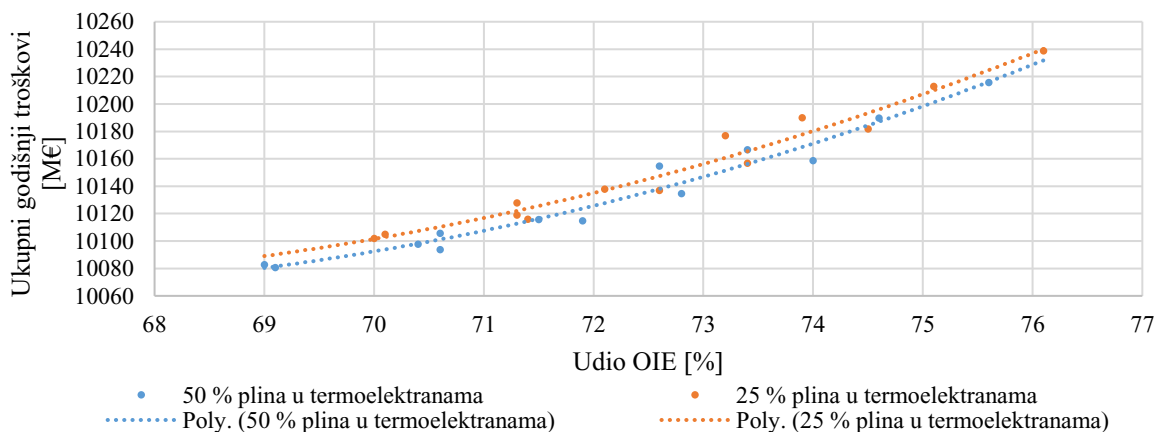
Slika 65. Utjecaj goriva u industriji na ukupne godišnje troškove

Promjena goriva nema velikog utjecaja na CEEP, ali dolazi do povećanja udjela OIE od tek 1 % (Slika 66) zbog male proizvodnje od oko 1 TWh iz termoelektrana.



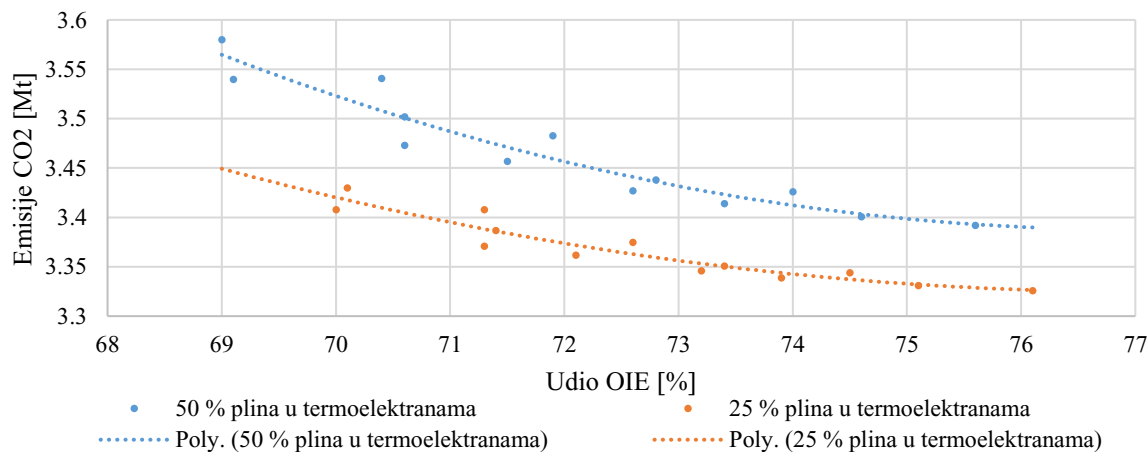
Slika 66. Utjecaj promjene goriva u termoelektranama na CEEP i udio OIE

Godišnji troškovi su viši u slučaju većeg udjela biomase zbog viših investicijskih cijena postrojenja na biomasu u usporedbi s postrojenjima na prirodni plin što prikazuje Slika 67.

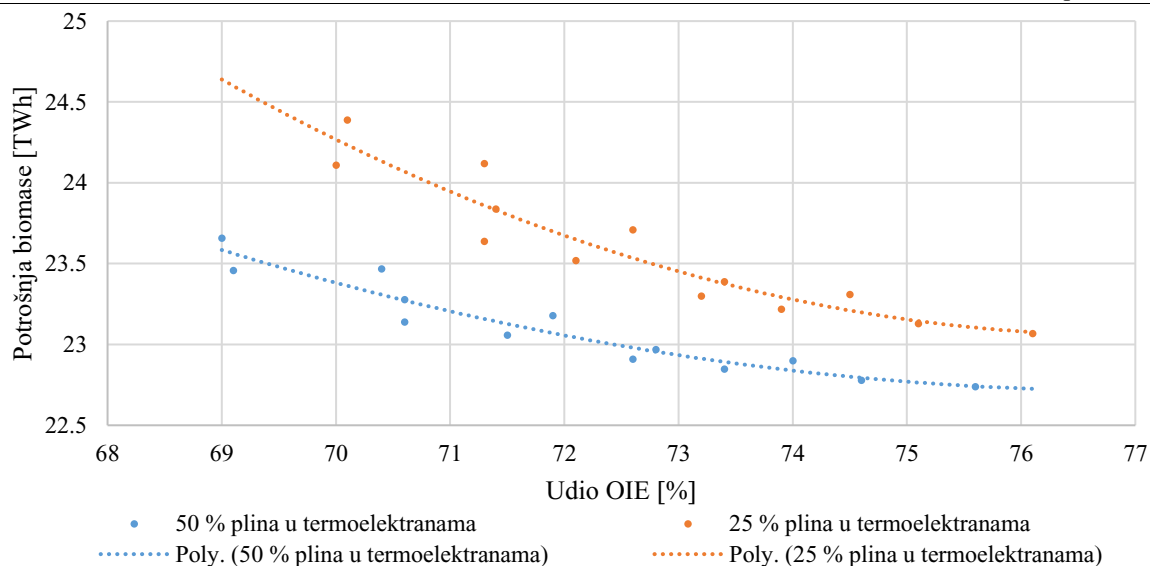


Slika 67. Utjecaj promjene goriva u termoelektranama na ukupne godišnje troškove

Promjenom goriva dolazi i do smanjenja emisija između 0,05 i 0,1 Mt CO₂, a time i vezanim povećanjem potrošnje biomase za 0,05 do 0,15 TWh kao što prikazuju Slika 68. i Slika 69.

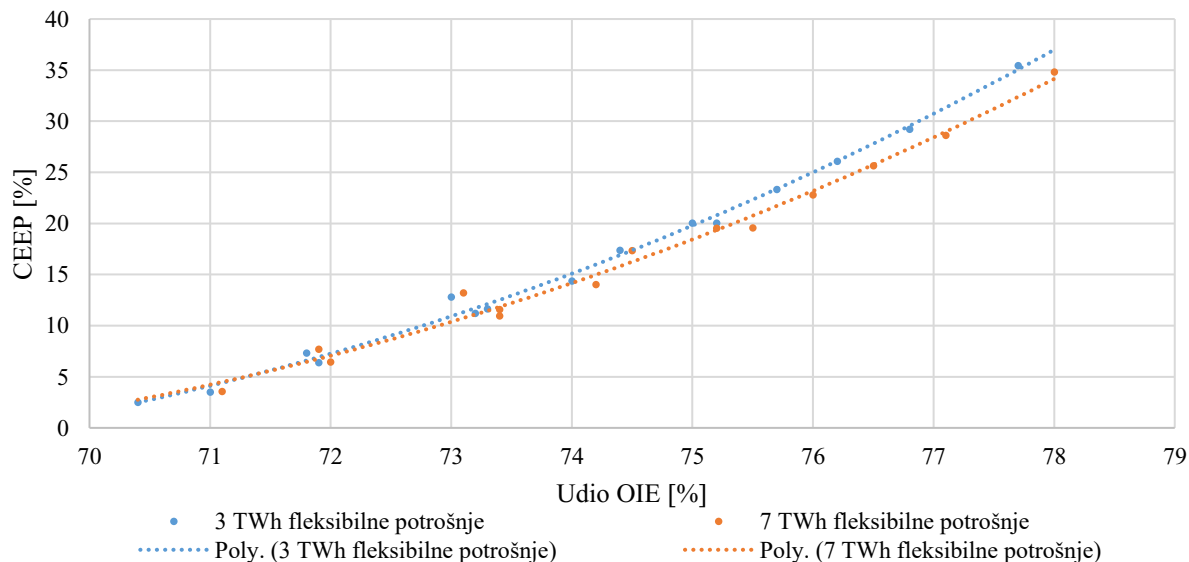


Slika 68. Utjecaj promjene goriva u termoelektranama na emisije CO₂

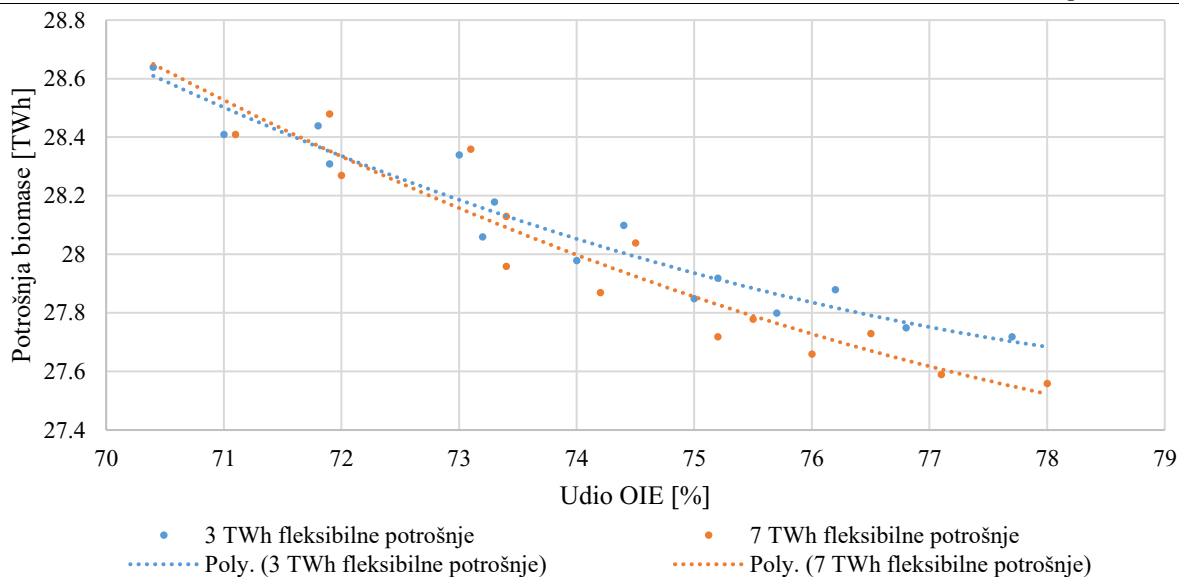


Slika 69. Utjecaj promjene goriva u termoelektranama na potrošnju biomase

Utjecaj fleksibilne potrošnje na CEEP i udio OIE prikazuje Slika 70. Razmatra se povećanje sa 3 na 7 TWh. Kod nižeg udjela OIE nema koristi od povećanja fleksibilne potrošnje, dok se kod višeg udjela OIE može očekivati smanjenje CEEP-a za oko 3 do 5 %. Smanjenje potrošnje biomase također dolazi do izražaja tek kod većeg udjela OIE, a dolazi do smanjenja od oko 0,2 TWh.



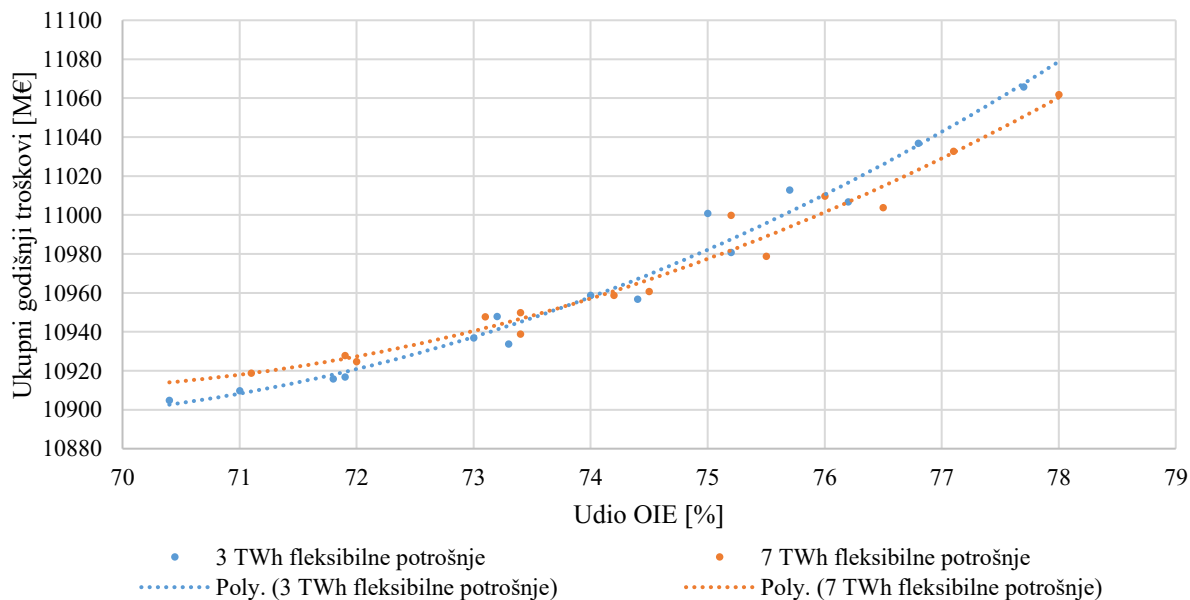
Slika 70. Utjecaj fleksibilne potrošnje na CEEP i udio OIE



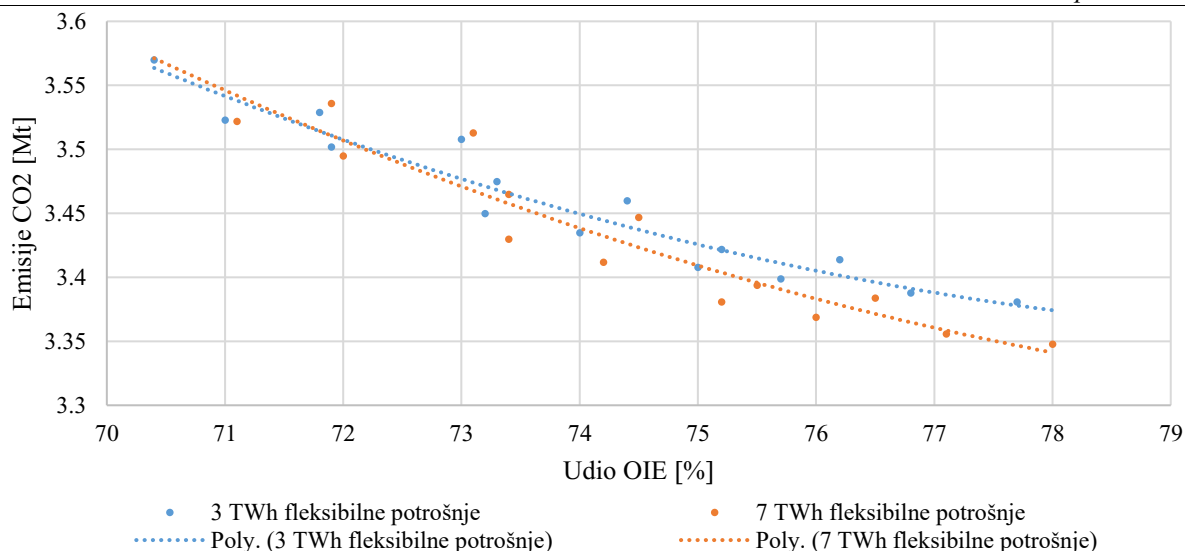
Slika 71. Utjecaj fleksibilne potrošnje na potrošnju biomase

Isplativost povećanja fleksibilnosti potrošnje ovisi o proizvodnji iz VOIE kao što prikazuje Slika 72. Kod nižeg udjela VOIE sustav s većom fleksibilnosti zbog potrebe za implementacijom sustava pametnih brojlara može biti oko 20 M€ skuplji, dok taj isti sustav kod većeg udjela VOIE može pokazati 20 M€ niže ukupne godišnje troškove.

Emisije CO₂ se također smanjuju s uvođenjem veće fleksibilnosti tek kod većeg udjela OIE kao što prikazuje Slika 73.

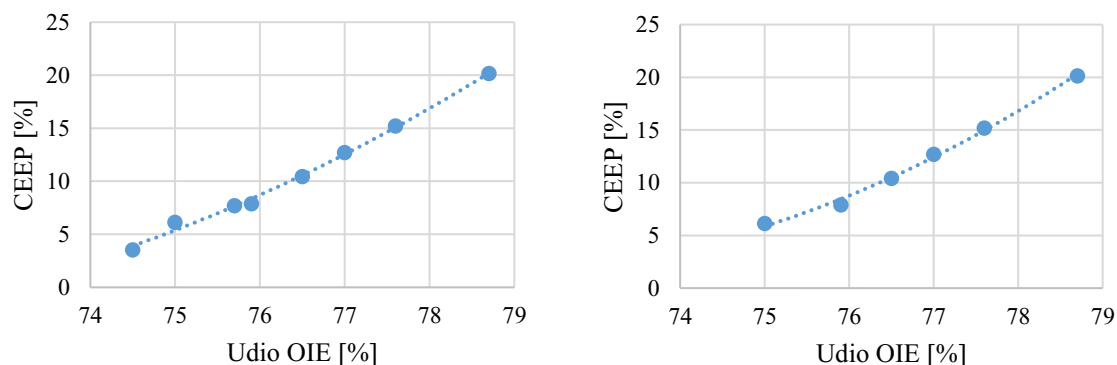


Slika 72. Utjecaj fleksibilne potrošnje na ukupne godišnje troškove



Slika 73. Utjecaj fleksibilne potrošnje na emisije CO₂

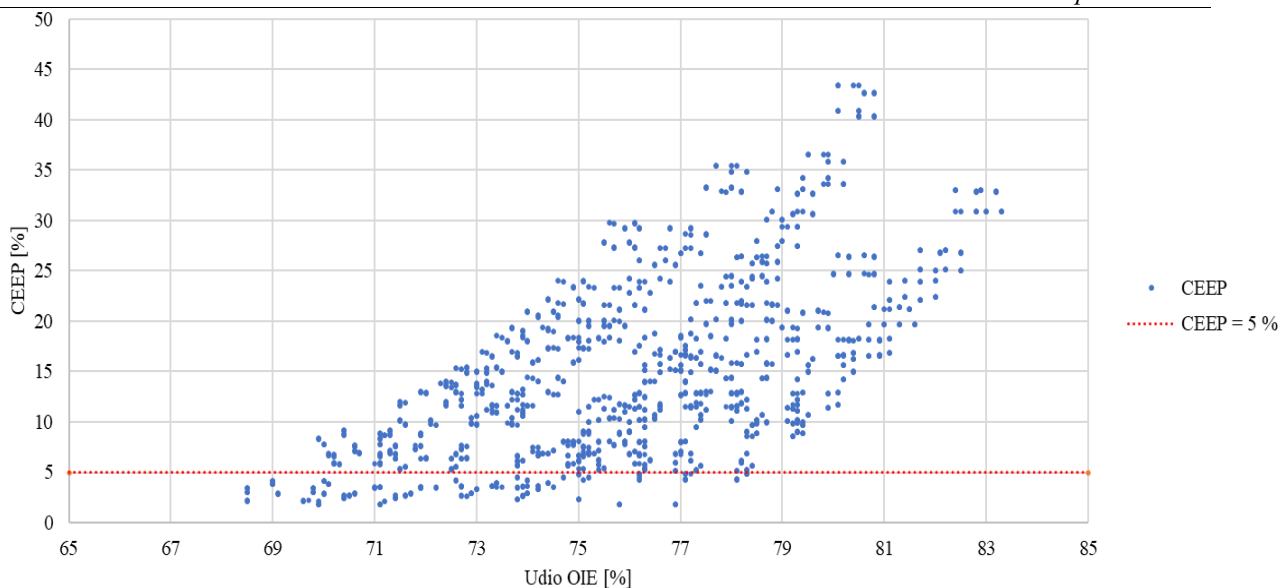
Uvođenje baterijske pohrane energije gotovo da nema utjecaj na smanjenje kritičnih viškova proizvodnje, ali dolazi do izražaja kod slučaja potrebe osiguranja stabilnosti sustava uslijed nedostatka proizvodnje iz VOIE (Slika 74.).



Slika 74. Utjecaj baterijske pohrane energije na CEEP i udio OIE. Sustav s 2500 MW baterijske pohrane (lijevo) i 0 MW (desno)

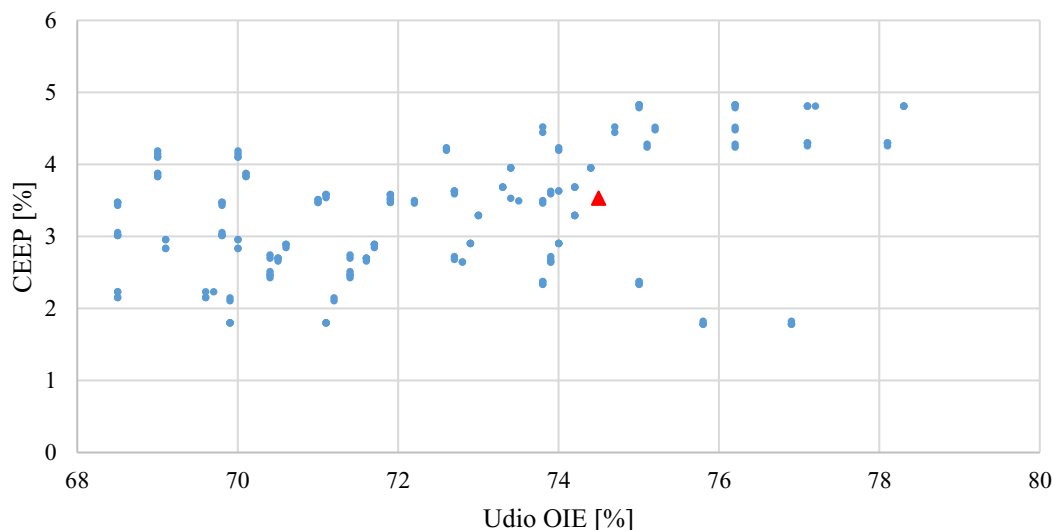
5.3.1. Odabir najpovoljnijeg sustava 2040. godinu

Potrebno je odrediti najpovoljniju kombinaciju za sustav 2040. Počinjemo od odnosa CEEP-a i udjela OIE što prikazuje Slika 75. Cilj je sniziti CEEP ispod 5 % ukupne proizvodnje, ali je vidljivo da velik dio rješenja ima CEEP iznad 5 % pa se odbacuju sva rješenja koja ne ulaze u taj segment, čime se dobiva skup rezultata koji prikazuje Slika 76.



Slika 75. Odnos udjela OIE i CEEP-a

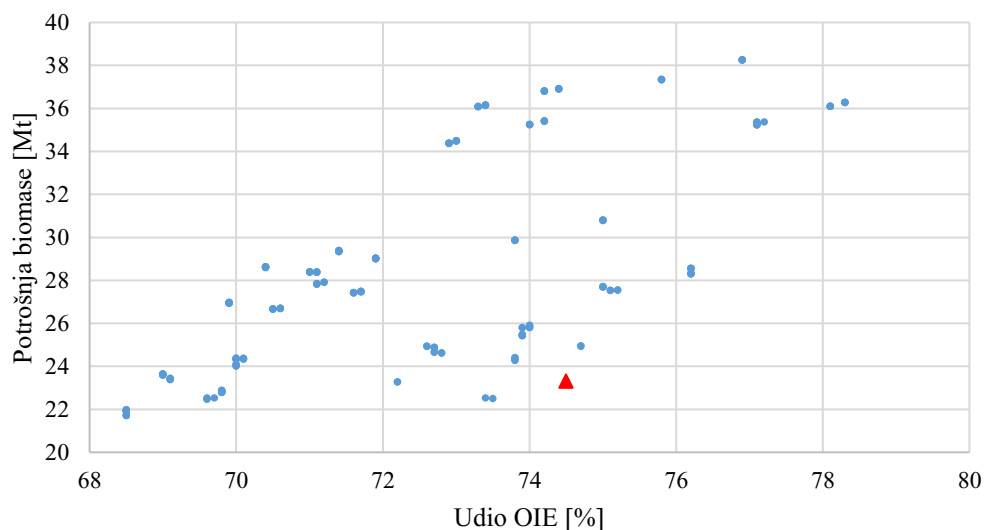
Postupak se nastavlja provođenjem multi-kriterijske analize. Slika 76. daje prikaz odnosa CEEP-a i udjela OIE. Odabrani sustav daje CEEP u iznosu od 3,5 %, dok je udio OIE 74,5 %. Rezultati multi-kriterijske analize i o razmatranim sustavima su prikazani u Tablica 29., dok Tablica 26. prikazuje podatke o odabranom sustavu. Rezultati multi-kriterijske analiza su poredani od sustava s najvišim rezultatom do sustava s najmanjim u rasponu od 0 do 1.



Slika 76. Rješenja s CEEP<5%

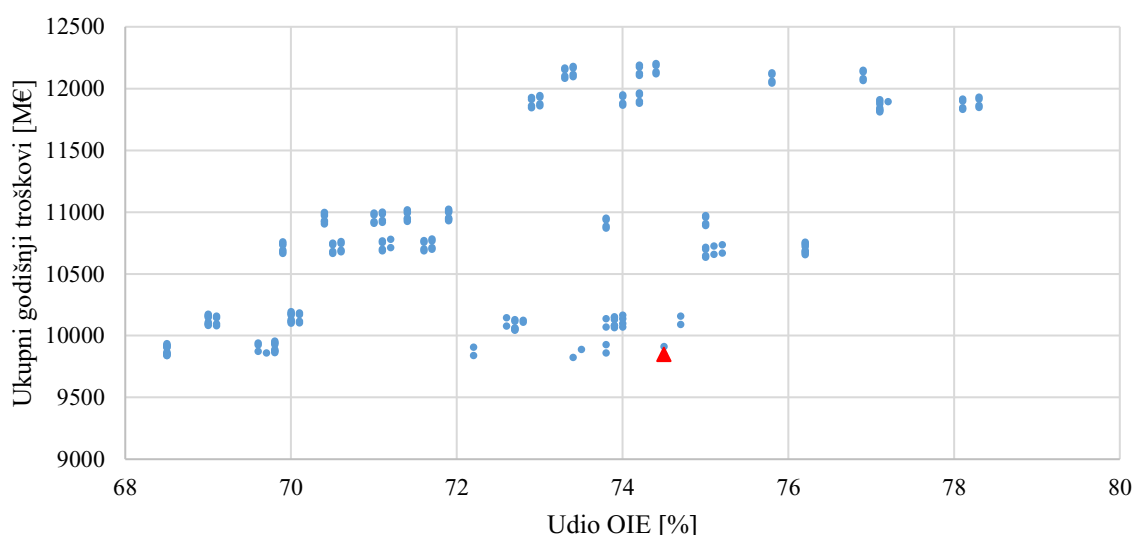
Usporedbu potrošnje biomase razmatranih sustava prikazuje Slika 77. Rješenja su podijeljena u dva dijela od kojih ona sa višim iznosom predstavljaju sustave s korištenjem veće količine biomase u sektoru prometa za proizvodnju biogoriva. Odabrani sustav u većoj mjeri koristi

električnu energiju u sektoru prometa te stoga pruža nižu potrošnju biomase u iznosu od 23,32 TWh.



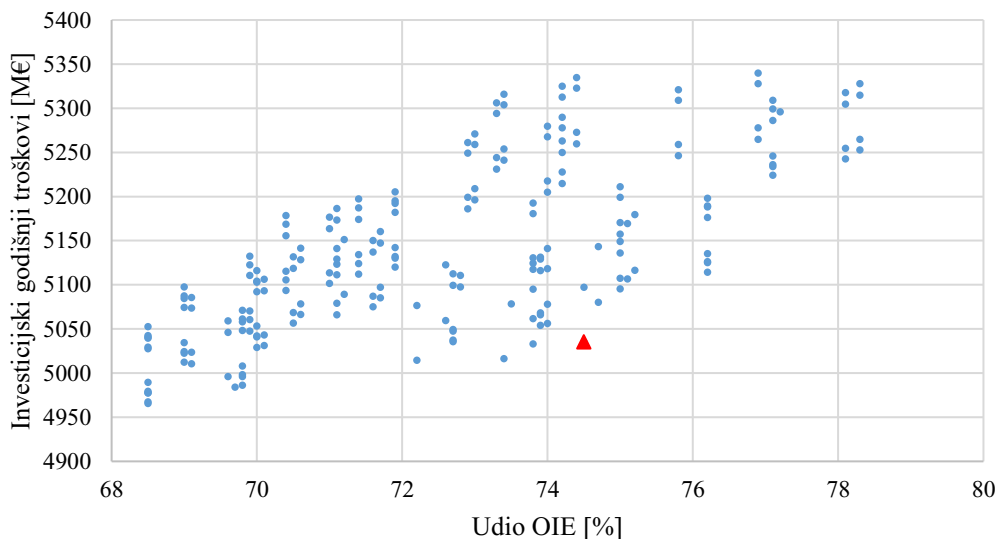
Slika 77. Potrošnja biomase

Ukupne godišnje troškove sustava prikazuje Slika 78. Vidljivo je da su rješenja u odnosu na ukupne troškove podijeljena u dva djela od kojih se jedan proteže od 9,8 do 10,2 milijarda € godišnje, dok se drugi proteže od 10,6 do 11,05 milijarda € godišnje. Odabire se dio s nižim ukupnim troškovima za daljnju analizu. Odabrani slučaj pruža ukupne troškove u iznosu od 9,85 B€.



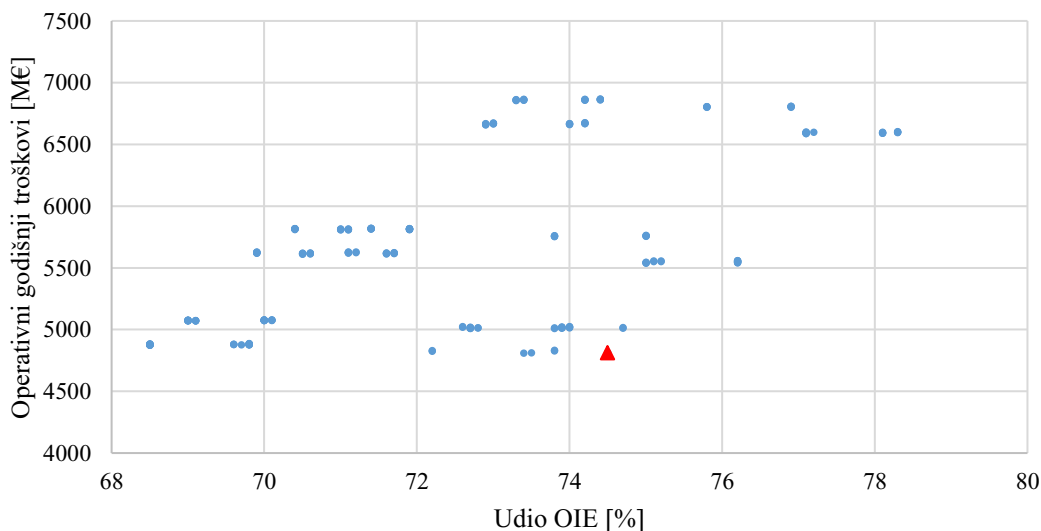
Slika 78. Ukupni godišnji troškovi

Slika 79. prikazuje godišnje investicijske troškove. Odabrani sustav iskazuje trošak od 5,04 B€ godišnje te se nalazi među sustavima s nižim troškovima.



Slika 79. Investicijski godišnji troškovi

Odnos operativnih troškova razmatranih sustava prikazuje Slika 80. Odabrani sustav pruža operativne troškove u iznosu od 4,81 B€. Niski operativni troškovi su posljedica korištenja dizalica topline u sustavima grijanja, električnih vozila te povećanje fleksibilnosti sustava.



Slika 80. Godišnji operativni troškovi

Tablica 26 prikazuje detaljne podatke o odabranom sustavu.

Tablica 26. Podaci o odabranom sustavu

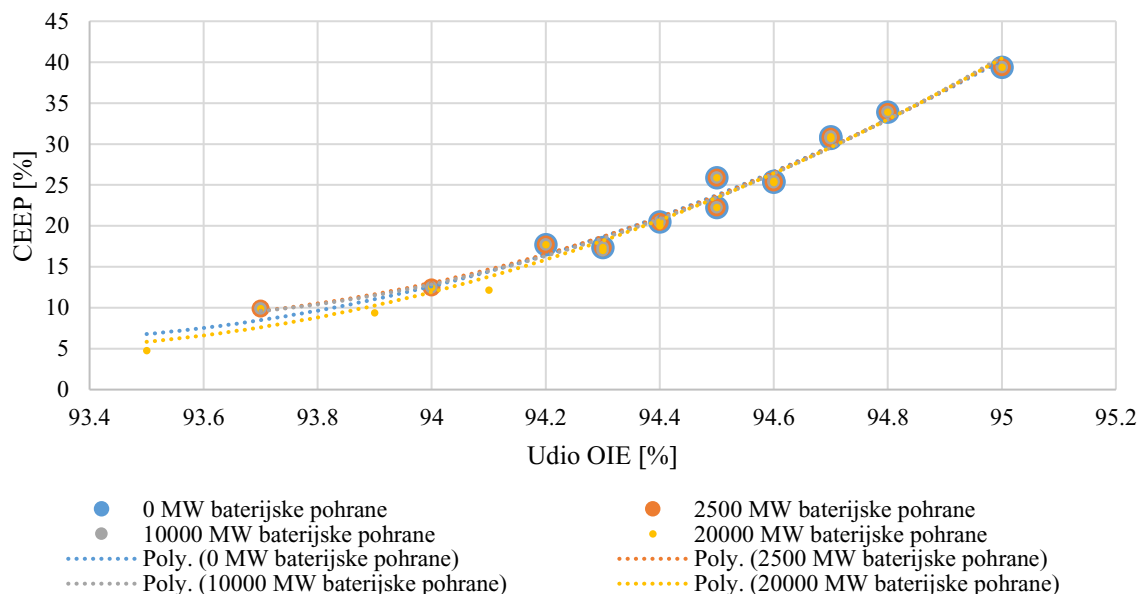
| Veličina | Iznos | Jedinica |
|-------------------------|-------|----------|
| Udio OIE | 74,5 | % |
| Emisija CO ₂ | 2,656 | Mt |

| | | |
|--|---------|--------|
| CEEP | 3,5315 | % |
| Potrošnja biomase | 23,32 | TWh |
| Ukupni godišnji troškovi | 9847,07 | M€ |
| Godišnji investicijski troškovi | 5035,57 | M€ |
| Godišnji operativni troškovi | 4811,5 | M€ |
| Kapacitet vjetroelektrana | 5500 | MW |
| Kapacitet fotonaponskih elektrana | 4250 | MW |
| Udio biomase u termoelektranama | 75 | % |
| Proizvodnja toplinske energije iz dizalica topline i električnih grijača | 6 | TWh |
| Udio električnih vozila | 80,3 | % |
| V2G i pametno punjenje | DA | - |
| Kapacitet P2H | 500 | MW |
| Fleksibilna potrošnja | 3 | TWh |
| Potrošnja prirodnog plina u industriji | 5 | TWh |
| Kapacitet baterijske pohrane | 2500/5 | MW/GWh |

5.4. Rezultati za 2050. godinu

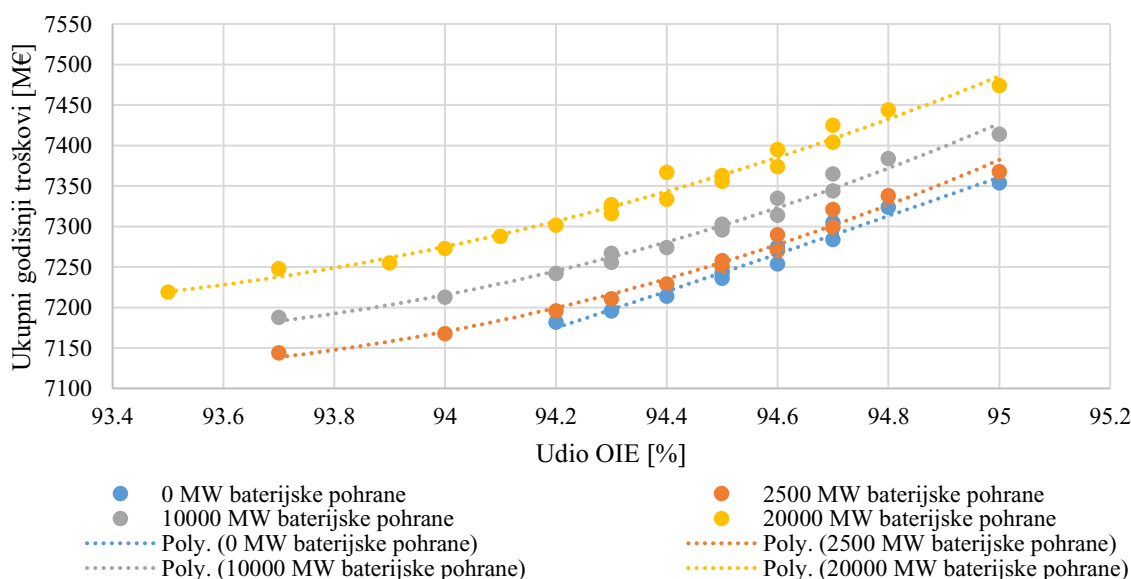
Sljedeće slike prikazuju rezultate za sustav 2050. godine.

Rezultate primjene baterijske pohrane na CEEP prikazuje Slika 81. U ovom slučaju baterijska pohrana nema velik utjecaj na CEEP jer se iznosi CEEP-a neznatno razlikuju, ali ima doprinos stabilnosti sustava. Može se uočiti da sustav s 0 MW baterija ima CEEP u iznosu 17 %, dok se dodavanjem samo 2500 MW priključne snage i 5 GWh baterijske pohrane CEEP snižava na 9 % te integracijom maksimalnih 20000 MW priključne snage i pohrane od 40 GWh, na 4,8 %.



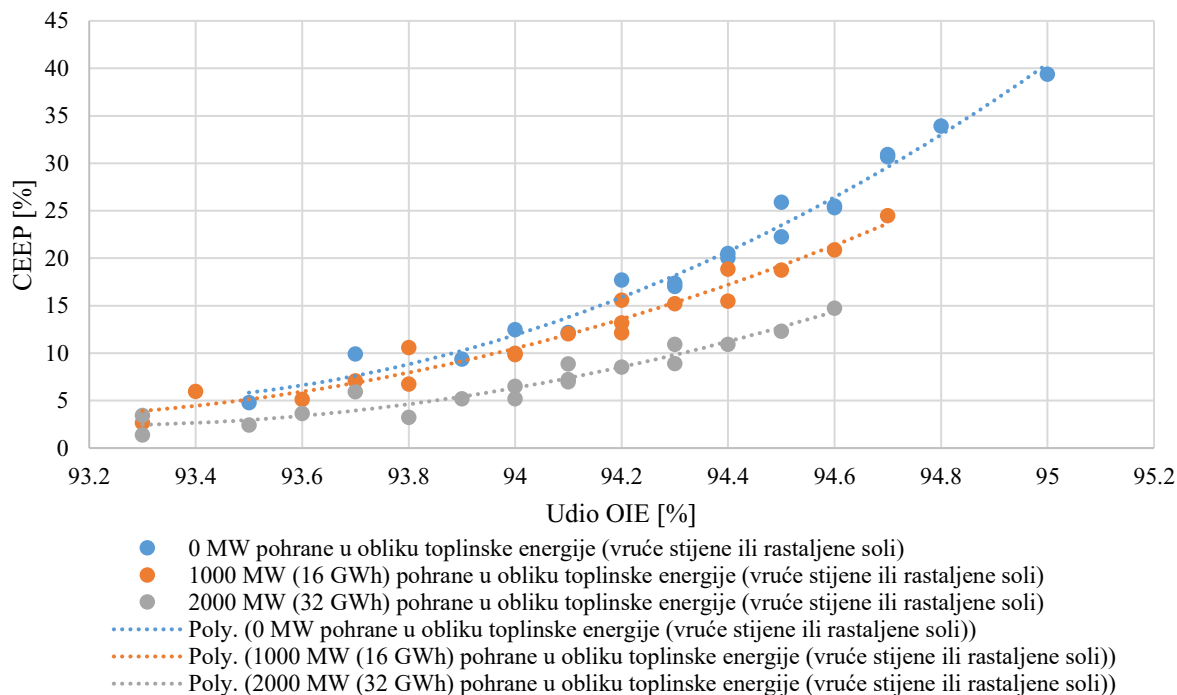
Slika 81. Utjecaj baterijske pohrane na CEEP

Uslijed većeg kapaciteta, povećanjem kapaciteta baterijske pohrane rastu i ukupni godišnji troškovi što prikazuje Slika 82.



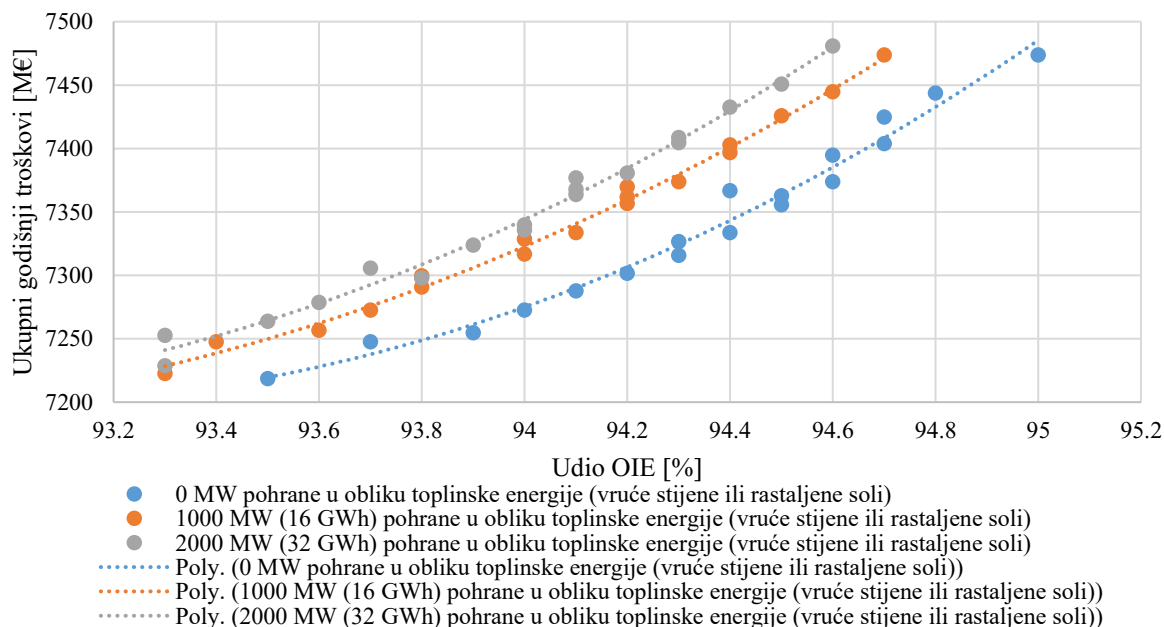
Slika 82. Utjecaj baterijske pohrane na ukupne godišnje troškove

Rezultate primjene sustava pohrane energije u obliku toplinske energije u sustavu pohrane putem zagrijanih stijena (*engl. „Rock bed storage“*) ili u obliku rastaljenih soli prikazuje Slika 83. Ova tehnologija ima zamjetan učinak na pružanje stabilnosti sustava tako da se uz dodatak 1000 MW snage i 16 GWh pohrane može smanjiti CEEP do 5 %, dok se dodatkom 2000 MW i 32 GWh pohrane, može postići smanjenje od 10 %.



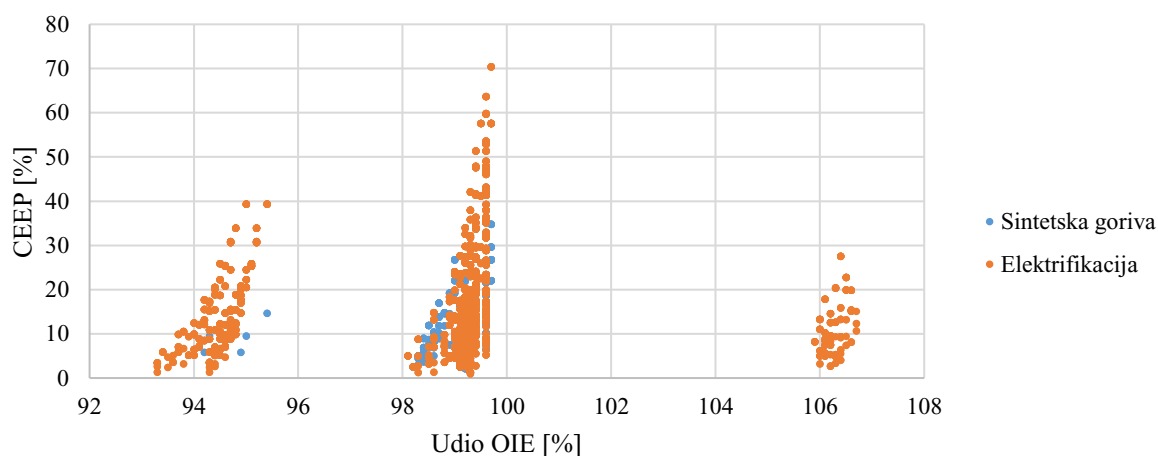
Slika 83. Utjecaj pohrane električne energije u obliku toplinske energije na CEEP

Ukupni godišnji trošak primjene pohrane energije u sustavu zagrijanih stijena ili rastaljenih soli kapaciteta 2000 MW je za oko 50 M€ viši od sustava bez primjene te tehnologije što prikazuje Slika 84. Ipak, razmatrajući prednosti zbog pridodane stabilnosti sustava, ovo je prihvatljiv trošak.

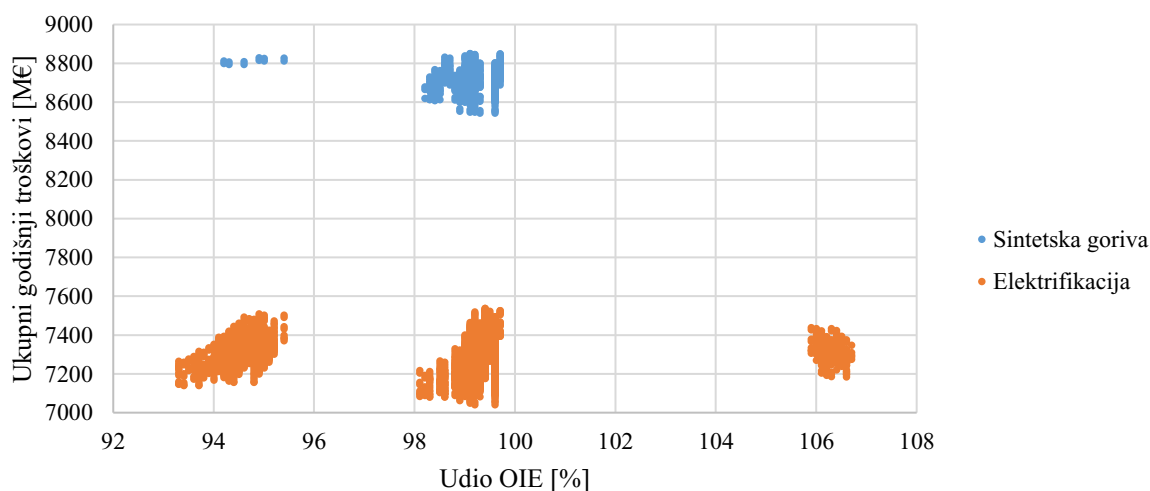


Slika 84. Utjecaj pohrane električne energije u obliku toplinske energije na ukupne godišnje troškove

Razmatrana je također i mogućnost implementacije korištenja sintetskih goriva u prometu, ali se od toga odustalo zbog većih troškova (Slika 86.) i zbog višeg CEEP-a (Slika 85.). Također, manji je broj rezultata prikazan zbog veće potrošnje energije i problemima sa stabilnosti sustava sa sintetskim gorivima što bi moglo biti problematično zbog ograničenih kapaciteta proizvodnje unutar granica Republike Hrvatske što prikazuje Tablica 18. Iz navedenog razloga, takav sustav zahtjeva oslanjanje na uvoz električne energije što se želi izbjeći.

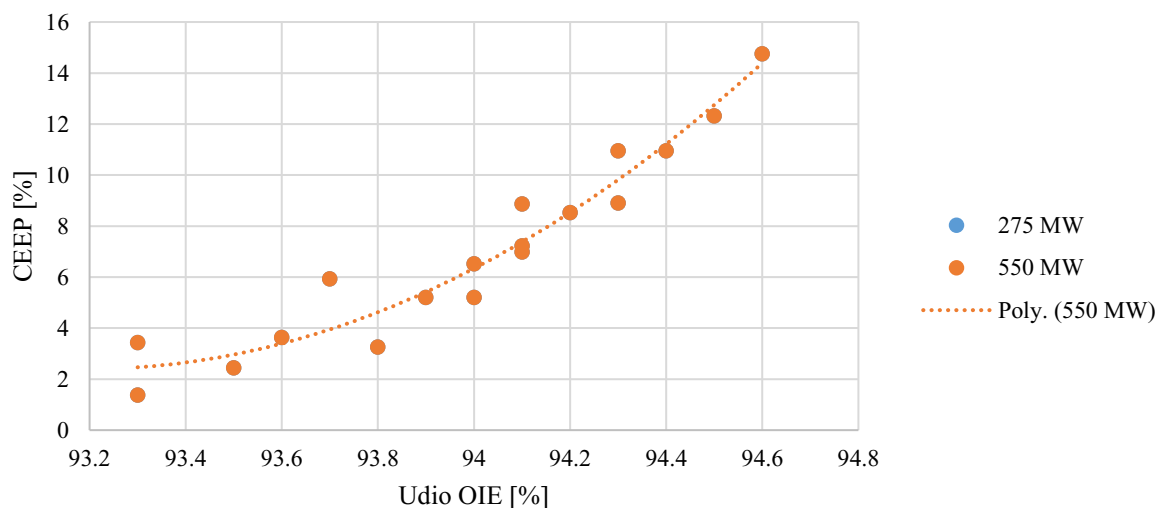


Slika 85. CEEP za slučaj korištenja sintetskih goriva u sektoru prometa



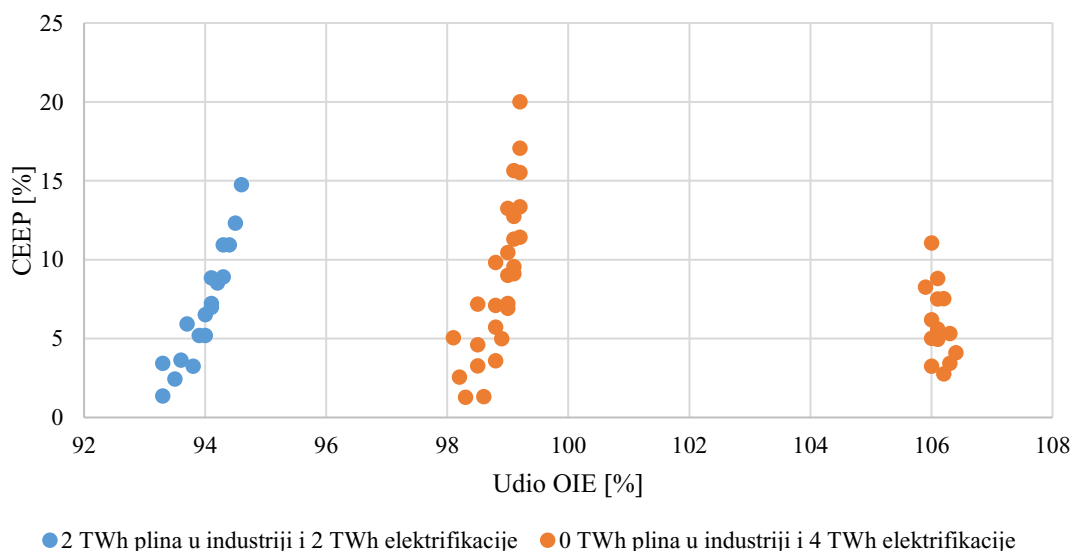
Slika 86. Ukupni godišnji troškovi za slučaj korištenja sintetskih goriva u sektoru prometa

Razmatrano je i povećanje snage i kapaciteta reverzibilnih hidroelektrana. Udvostručenjem kapaciteta kao što prikazuje Slika 87. ne dolazi do smanjenja CEEP-a. U daljnjem postupku nije razmatrano dodatno povećanje ove vrste pohrane energije zbog visokih troškova i potrebe za korištenjem velikih prostora te time i značajan utjecaj na okoliš.



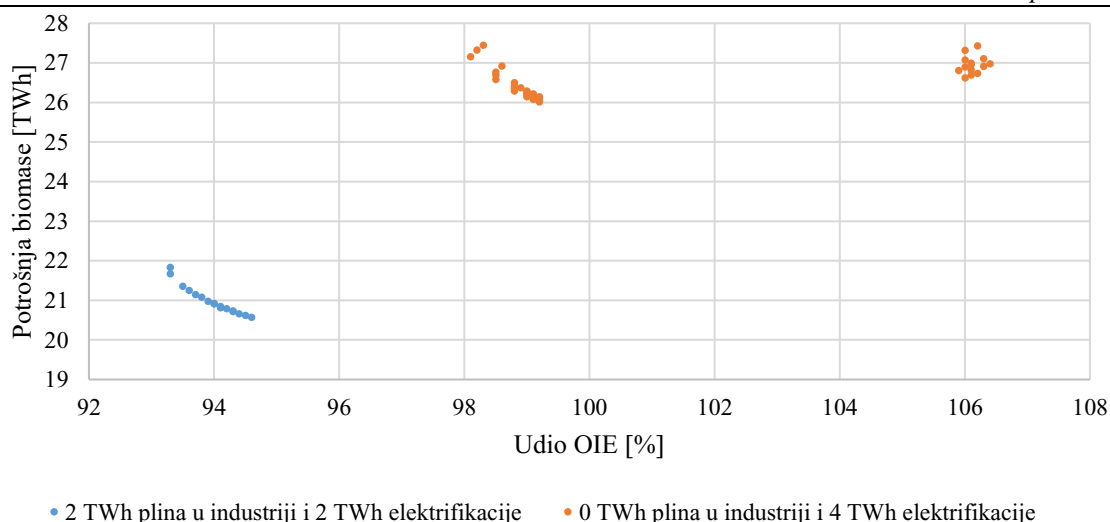
Slika 87. Utjecaj povećanja kapaciteta reverzibilnih hidroelektrana na CEEP

Utjecaj promjene goriva u industriji na CEEP i udio OIE prikazuje Slika 88. Elektrifikacijom procesa i prestankom korištenja prirodnog plina se omogućuje povećanje udjela OIE na 99 % uz mogućnosti zadržavanja CEEP-a ispod 5 %. Rezultati s preko 100 % OIE predstavljaju sustave koji podrazumijevaju generiranje sintetskog plina i korištenje u industriji, ali zbog toga što se u nekim slučajevima pretpostavlja izbacivanje plina iz industrije, preostaje samo izvoz plina. Taj skup rješenja se ne razmatra kao moguće rješenje zbog nedostatka potrebe za ovakvim načinom rada sustava.



Slika 88. Utjecaj promjene goriva u industriji na CEEP i udio OIE

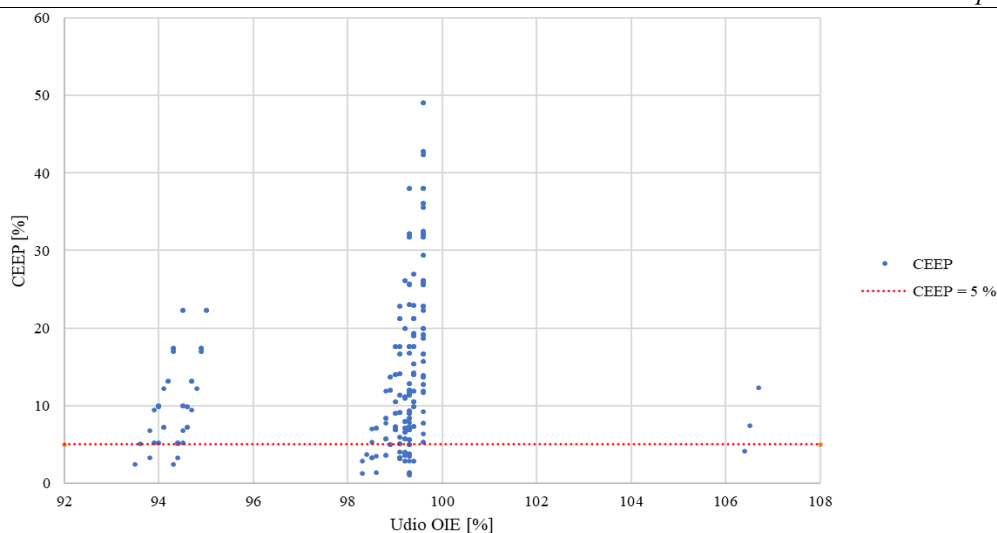
Utjecaj promjene goriva u industriji na potrošnju biomase prikazuje Slika 89. Povećanjem izravnog korištenja biomase u industriji se povećava potrošnja, te se uslijed povećanog korištenja električne energije povećava potrošnja biomase u termoenergetskim postrojenjima.



Slika 89. Utjecaj promjene goriva u industriji na potrošnju biomase

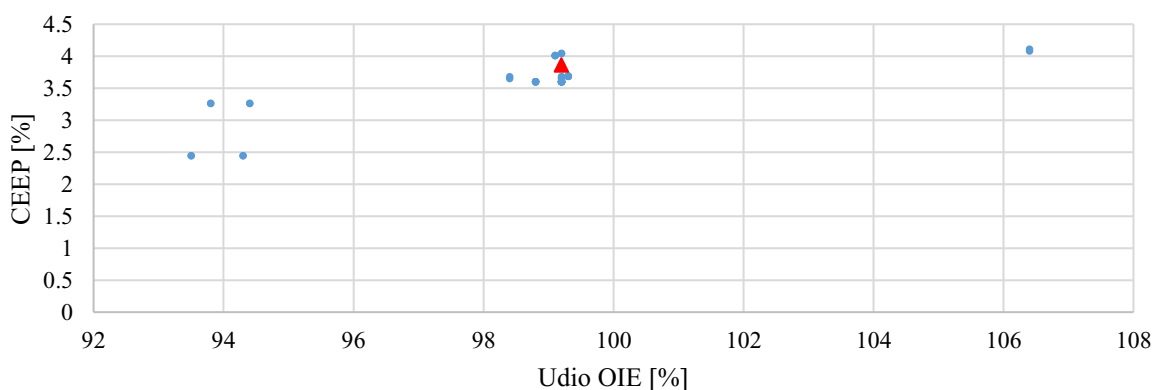
5.4.1. Odabir najpovoljnijeg sustava za 2050. godinu

Odnos CEEP-a i udjela OIE kod sustava za 2050. godinu prikazuje Slika 90. Velik dio slučajeva prelazi granicu od 5 % CEEP-a pa se ti slučajevi eliminiraju u sljedećem koraku. Također, vidljiv je da su rješenja podijeljena u 3 skupine. Objašnjenje tome leži o promatranim konfiguracijama rada termoelektrana. Primjerice, prvi skup rješenja s lijeve strane je okarakteriziran korištenjem termoelektrana s gorivom koje se sastoji od 75 % biomase i 25 % prirodnog plina. Sljedeći skup se sastoji od 2 djela. Prvi zamjenjuje prirodni plin sintetskim plinom uz zadržavanje istog omjera tehnologija u termoelektranama. Drugi, okarakteriziran jednakim odjelom OIE, podrazumijeva korištenje samo biomase u termoelektranama, a sintetskog plina u industriji. Kod posljednjeg skupa dolazi do prekomjerne proizvodnje sintetskog plina za vlastite jer se pretpostavlja potrošnja i u termoelektranama, ali uslijed velikog kapaciteta VOIE, ne iskorištava se sav proizvedeni plin pa se izvozi.



Slika 90. CEEP

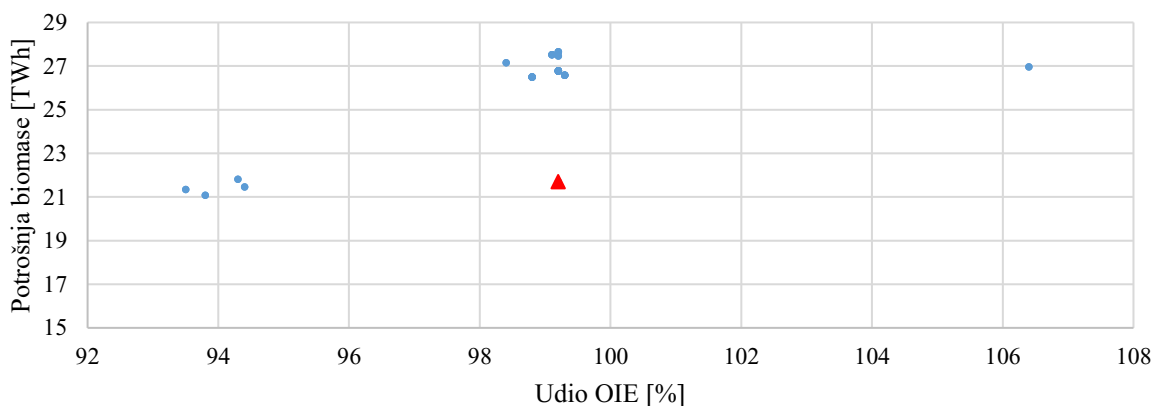
Potrebno je profiltrirati sustave koji se oslanjaju na proizvodnju iz većih kapaciteta VOIE nego što su dostupni kapaciteti te zadržati postojeće kapacitete iz VOIE. Preostale sustave nakon uvođenja napomenutih ograničenja prikazuje Slika 91. Sljedeći korak je provođenje multi-kriterijske analize. Rezultate analize zajedno sa osnovnim podacima za svaki od proučavanih sustava prikazuje Tablica 30. Rezultati su poredani od sustava s najvećim do sustava s najmanjim rezultatom analize u rasponu 0 do 1. Opširnije podatke o odabranom sustavu prikazuje Tablica 27. Odabrani sustav pruža CEEP u iznosu od 3,86 % i udio OIE od 99,2 %. Udio OIE ne dostiže 100 % jer se pretpostavlja potrošnja fosilnih goriva do iznosa od 0,5 TWh u zračnom prometu.



Slika 91. CEEP do 5 %

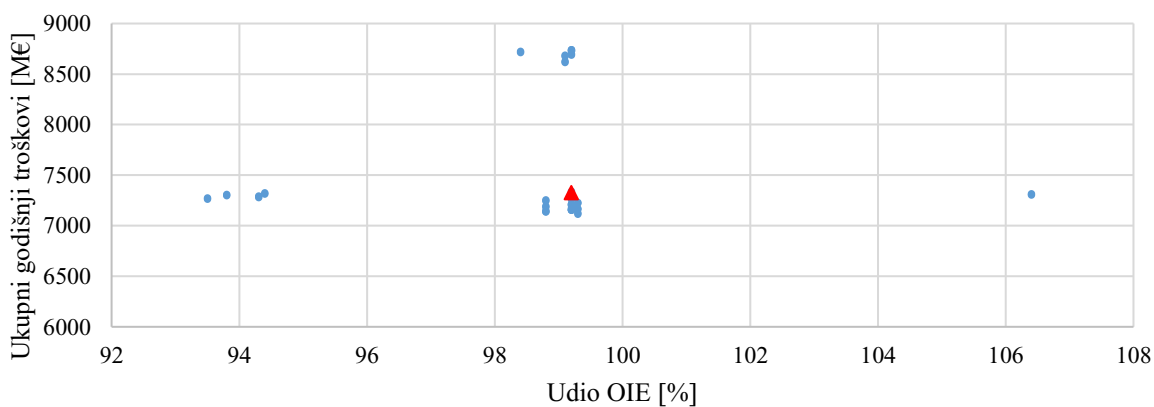
Ovaj sustav iskorištava viškove proizvodnje električne energije iz VOIE kako bi se putem tehnologije P2G generirao sintetski plin. Sintetski plin istiskuje preostalu potrošnju prirodnog plina u industrijskom sektoru. Uz korištenje sintetskog plina se ograničava potrošnja biomase

te ona ostaje na razini od 21,71 TWh što je usporedivo sa potrošnjom u baznoj godini. Rezultate potrošnje biomase prikazuje Slika 92.



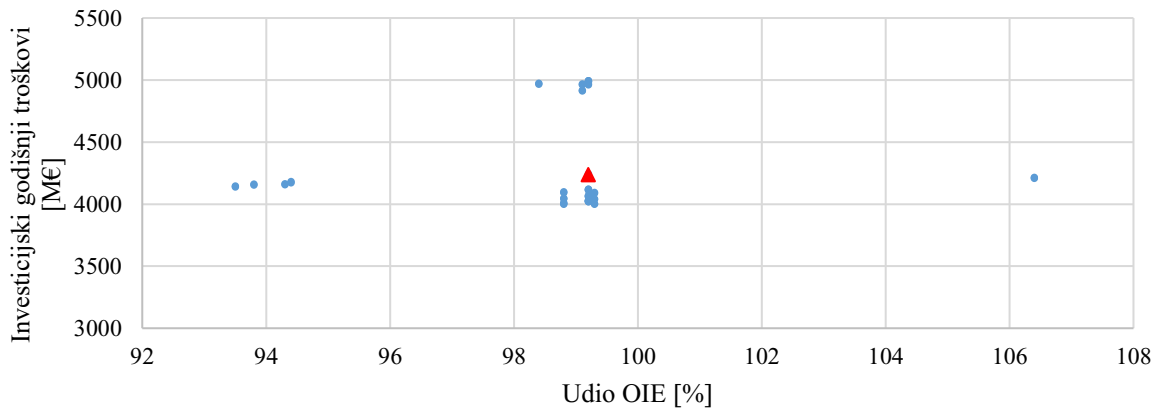
Slika 92. Potrošnja biomase

Rezultate za ukupne godišnje troškove prikazuje Slika 93. Troškovi odabranog sustava iznose 7,328 B€ godišnje. Općenito, troškovi su podijeljeni u dvije skupine od kojih se jedna nalazi između 7 i 7,5 B€, dok se druga nalazi između 8,5 i 9 B€. Razlika je uvjetovana korištenjem električnih vozila ili oslanjanjem na sintetska goriva.



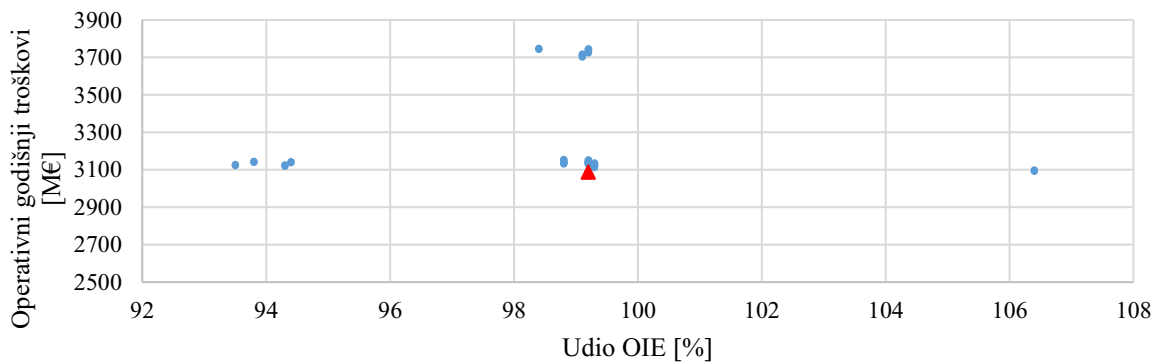
Slika 93. Ukupni godišnji troškovi

Investicijski troškovi odabranog sustava iznose od 4,24 B€, dok se kao što prikazuje Slika 94. troškovi kreću između 4 i 5 B€.



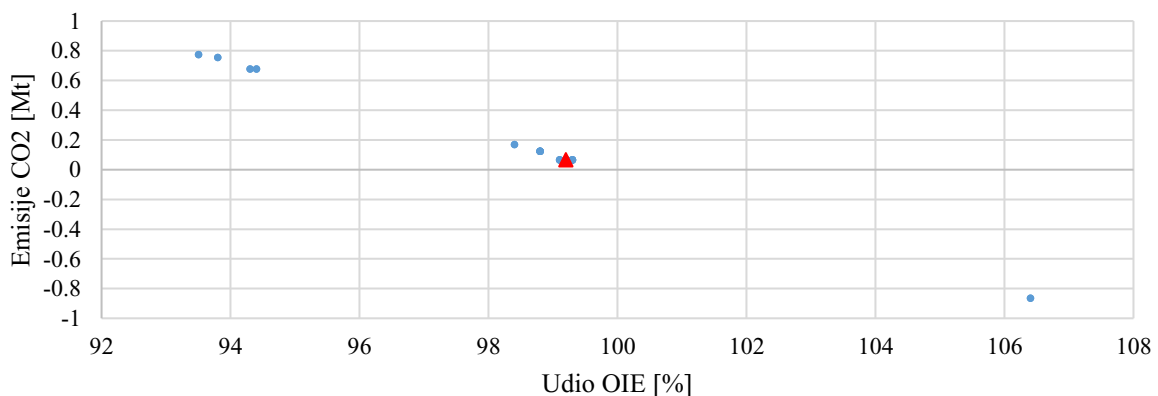
Slika 94. Investicijski godišnji troškovi

Godišnji operativni troškovi odabranog sustava iznose 3,1 B€. Raspon rezultata se kreće između 3 i 3,8 B€ kao što prikazuje Slika 95.



Slika 95. Operativni godišnji troškovi

Emisije CO₂ odabranog sustava iznose 0,067 Mt godišnje čime se u potpunosti ispunjavaju ciljevi EU o smanjenju emisija do 2050. Neki sustavi postižu i negativne emisije uslijed proizvodnje veće količine sintetskih goriva, nego se koriste.



Slika 96. Emisije CO₂

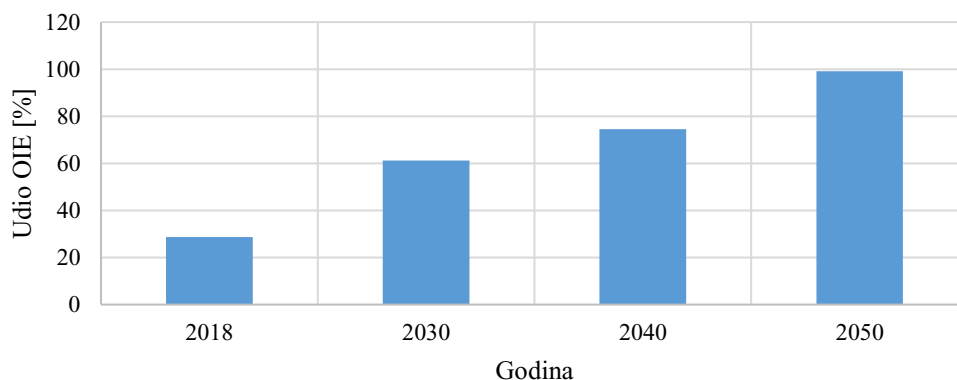
S obzirom na projicirane potencijale za proizvodnju iz vjetra od 9000 MW i iz FN od 8000 MW, optimalan je scenarij s instaliranim kapacitetima od 8500 MW vjetroelektrana i 7750 MW FN elektrana čije podatke prikazuje Tablica 27.

Tablica 27. Podaci o odabranom sustavu

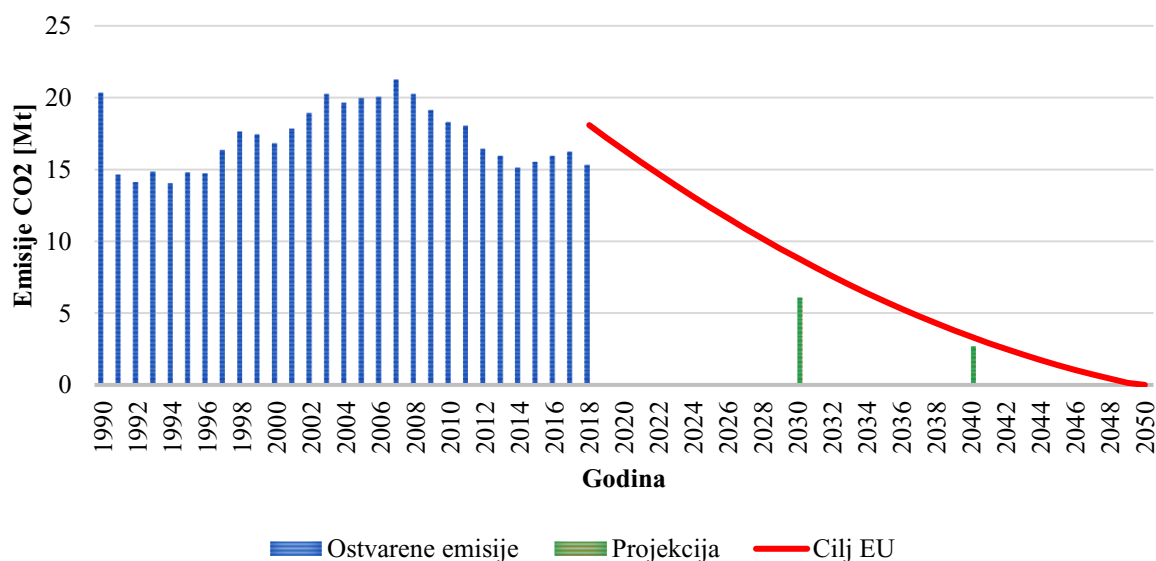
| Veličina | Iznos | Jedinica |
|--|-----------|----------|
| Udio OIE | 99,2 | % |
| Emisija CO ₂ | 0,067 | Mt |
| CEEP | 3,86 | % |
| Potrošnja biomase | 21,71 | TWh |
| Ukupni godišnji troškovi | 7328 | M€ |
| Godišnji investicijski troškovi | 4239 | M€ |
| Godišnji operativni troškovi | 3089 | M€ |
| Kapacitet vjetroelektrana | 8500 | MW |
| Kapacitet fotonaponskih elektrana | 7750 | MW |
| Udio biomase u termoelektranama | 100 | % |
| Proizvodnja toplinske energije iz dizalica topline i električnih grijača | 4 | TWh |
| Udio električnih vozila | 94 | % |
| V2G i pametno punjenje | DA | - |
| Kapacitet P2H | 500 | MW |
| Fleksibilna potrošnja | 7 | TWh |
| Elektrifikacija industrije | 2 | TWh |
| Potrošnja prirodnog plina u industriji (zamjena sintetskim plinom) | 3 | TWh |
| Sinteza sintetskog plina kao zamijene za prirodni plin | 3 | TWh |
| Kapacitet baterijske pohrane | 20000(40) | MW(GWh) |
| Kapacitet toplinske pohrane električne energije | 2000(36) | MW(GWh) |
| Kapacitet reverzibilnih hidroelektrana | 280 | MW |

5.5. Usporedba rezultata

Usporedbu rezultata udjela OIE Slika 97. Udio OIE raste od 28,7 2018. godine sve do 99,2 % 2050. Ciljevi emisija zadani od strane EU kao i ostvarene povijesne emisije uz projicirane emisije u budućnosti, prikazuje Slika 98. vidljivo je da se emisijski ciljevi i prestižu za svaku od promatranih godina.

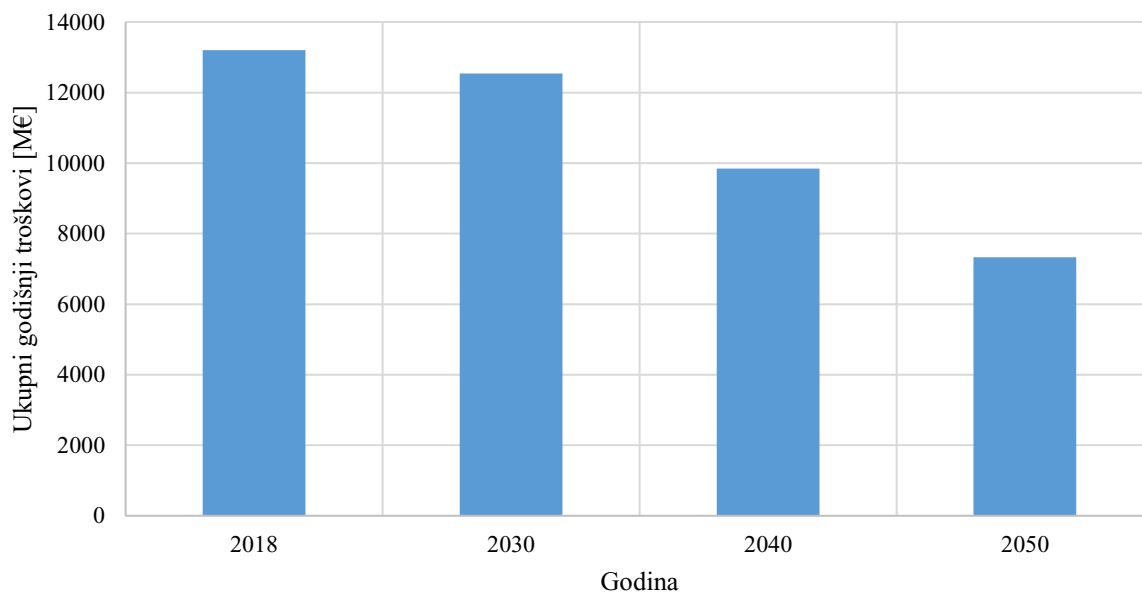


Slika 97. Usporedba udjela OIE

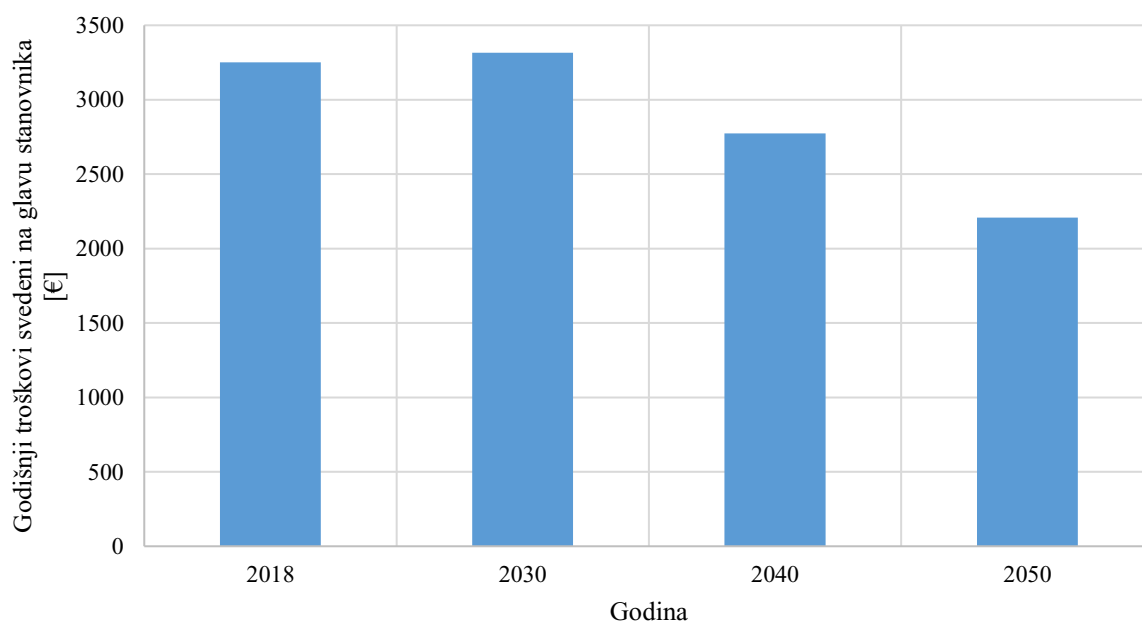


Slika 98. Usporedba emisija CO₂

Ukupni troškovi se smanjuju s 13201 M€ u 2018 sve do 7328 M€ 2050. kao što prikazuje Slika 99. S druge strane, kod specifičnih troškova dolazi do blagog porasta do 2030 na 3315 €/cap, a zatim smanjivanje do 2207 €/cap čime se pokazuje da razlog smanjivanju troškova nije samo nepovoljna demografija, već bolja ekonomska isplativost sustava (Slika 100.)

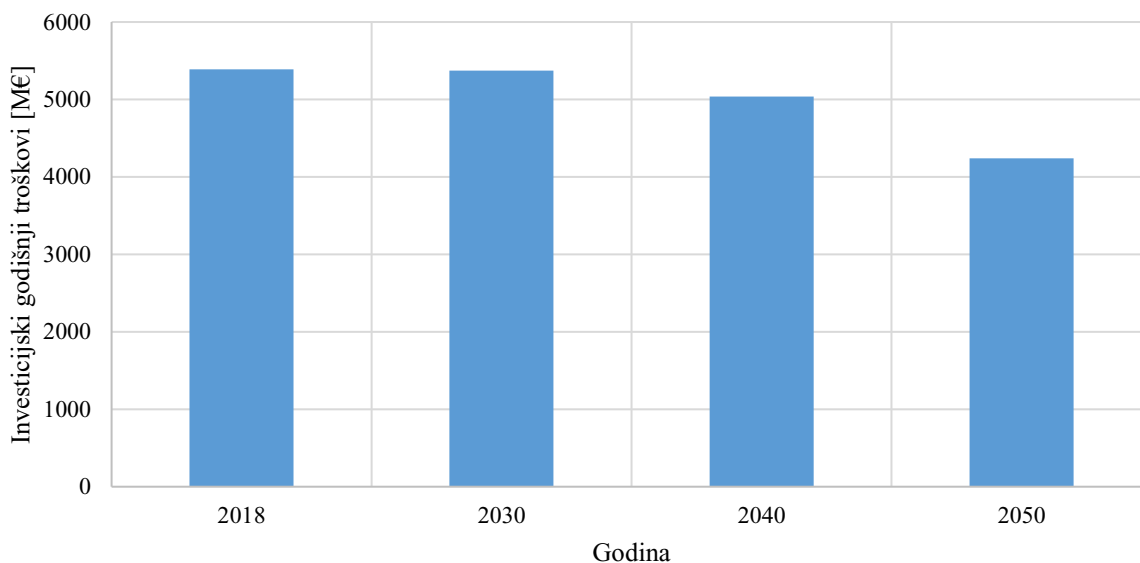


Slika 99. Usporedba ukupnih troškova sustava



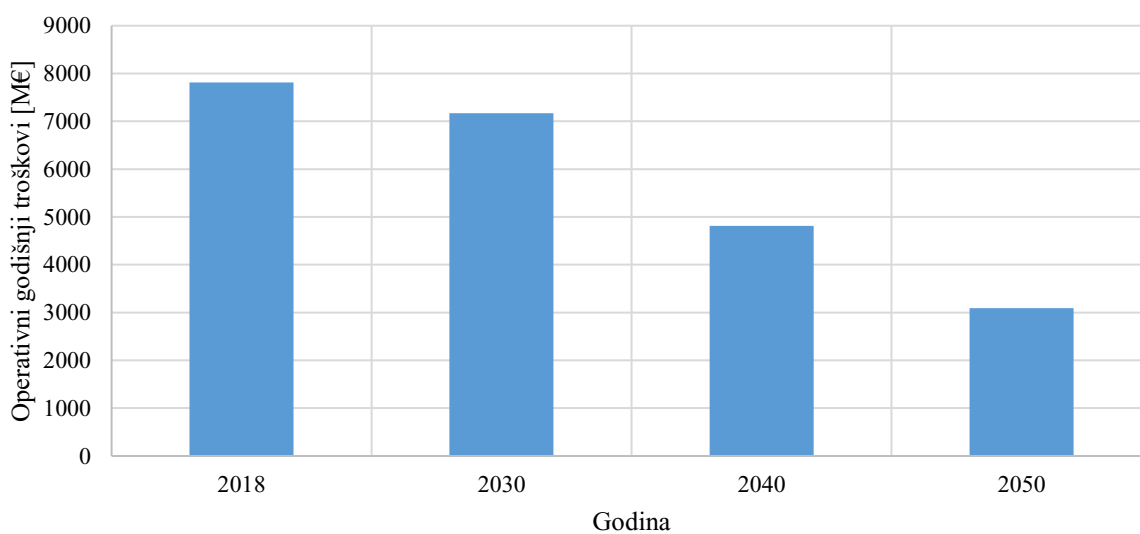
Slika 100. Usporedba specifičnih troškova sustava

Kao što prikazuje Slika 101., kod investicijskih troškova u 2030. u odnosu na 2018. dolazi do blagog porasta na 5367 M€ u usporedbi s 5388 M€ 2018., dok se do 2050. taj trošak smanjuje na 4239 M€ godišnje.



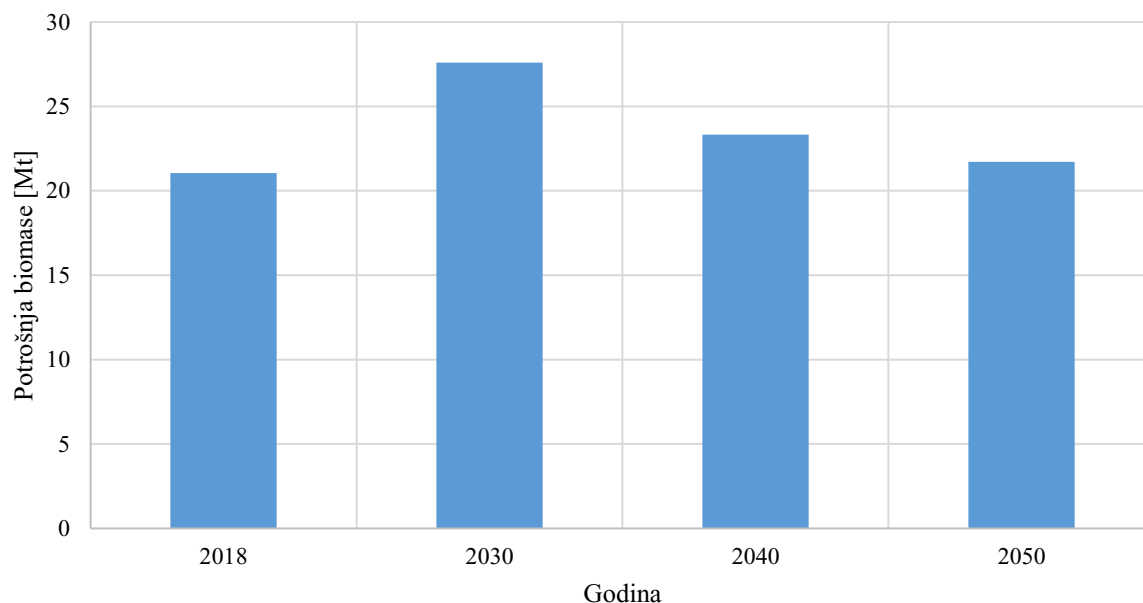
Slika 101. Usporedba investicijskih troškova sustava

Operativni troškovi se smanjuju svakom godinom s početnih 7813 M€ 2018. sve do 3089 M€ 2050.



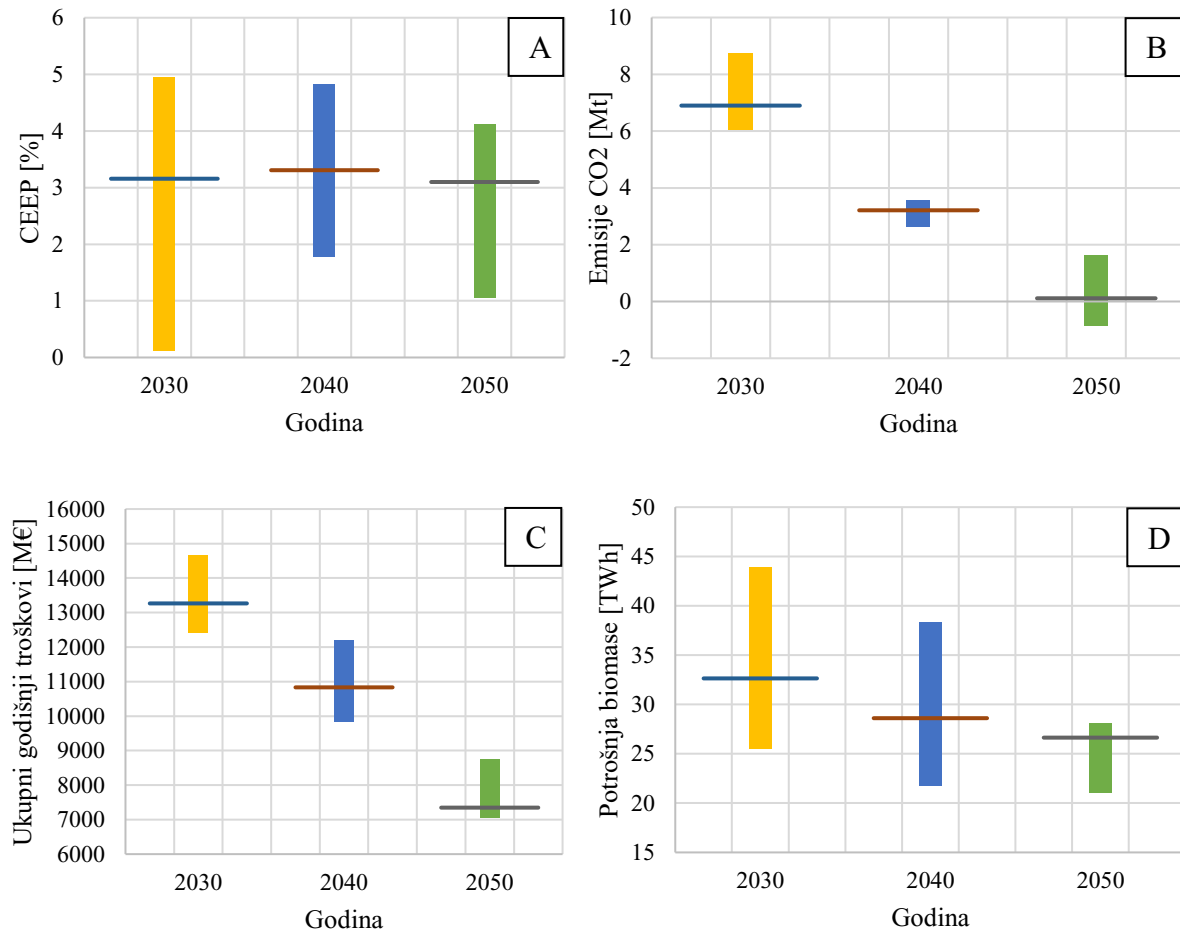
Slika 102. Usporedba operativnih troškova sustava

Potrošnja biomase kao što prikazuje Slika 103., bilježi rast 2030. na 28,27 TWh u usporedbi s 21,05 TWh 2018. te se snižava na 21,71 do 2050.



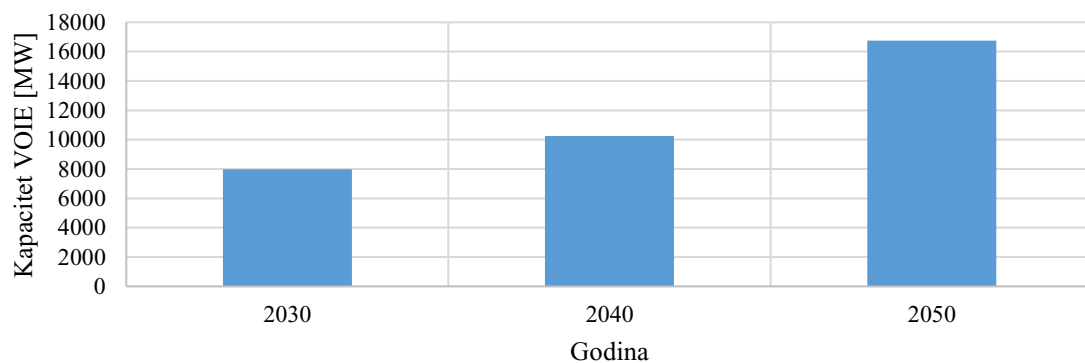
Slika 103. Usporedba potrošnje biomase

Rezultate usporedbe vrijednosti CEEP-a, emisija CO₂, ukupnih godišnjih troškova sustava i potrošnje biomase prikazuje Slika 104. Prikazana je maksimalna gornja i minimalna donja vrijednost te srednja vrijednost varijable. Prosječan iznos CEEP-a ostaje jednak, dok se emisije, troškovi te potrošnja biomase smanjuju. 2050. dolazi i do negativnih emisija CO₂ zbog prisutnosti slučajeva s korištenjem sintetskih goriva za što se koristi tehnologija hvatanja ugljika (CCS).

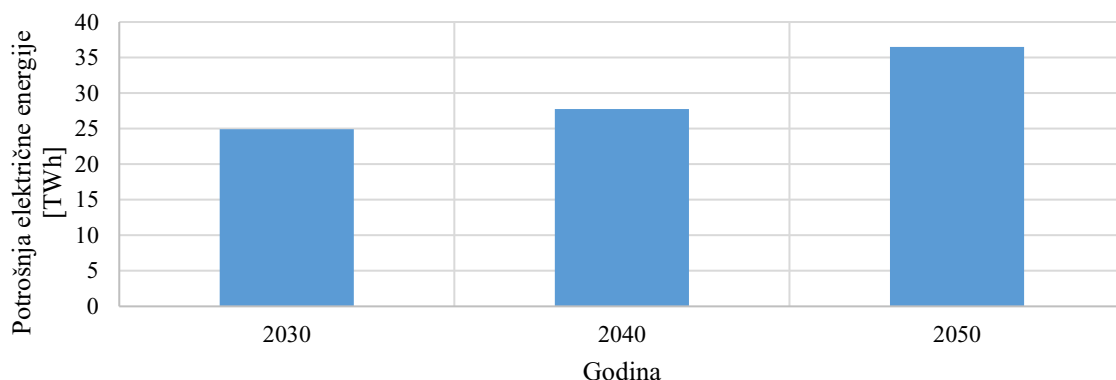


Slika 104. Raspon i srednje vrijednosti CEEP-a (A), emisija CO₂ (B) ukupnih godišnjih troškova (C) i potrošnje biomase (D)

Ukupan kapacitet VOIE za 2030. 2040. i 2050. prikazuje Slika 105. Vidljivo je da do 2050. dolazi do većeg povećanja kapaciteta VOIE u usporedbi s prijašnjim godinama. Razlog tome leži u izlasku NEK iz pogona te korištenja tehnologije P2G koja zahtjeva velike količine energije kao što prikazuje Slika 106.



Slika 105. Kapacitet VOIE

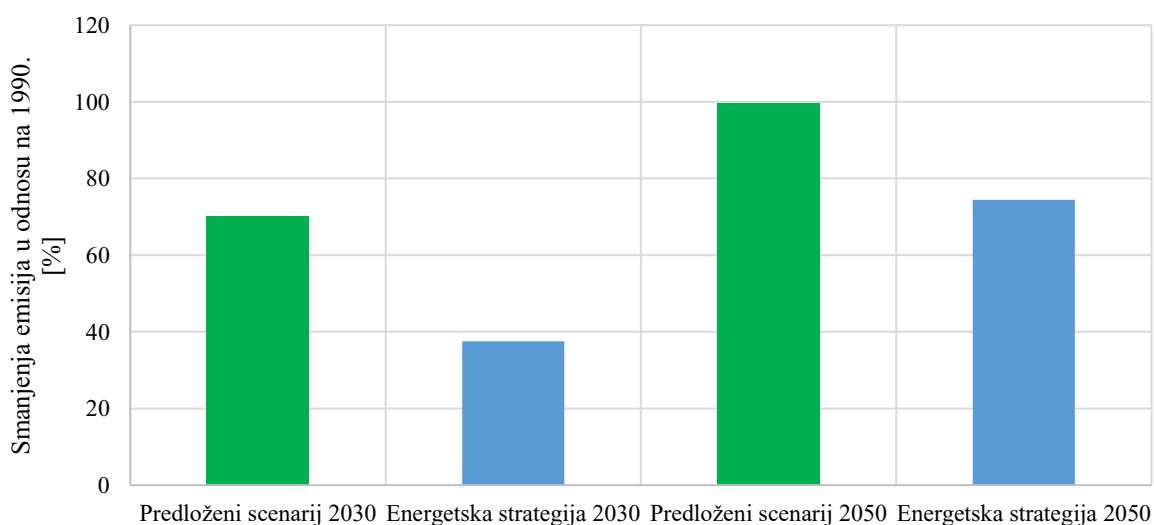


Slika 106. Potrošnja električne energije

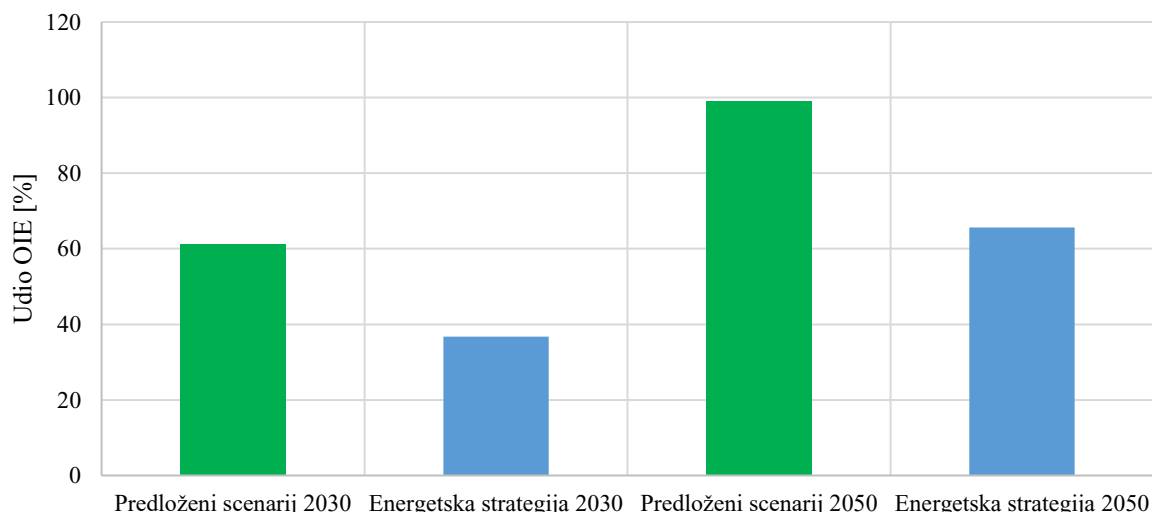
5.6. Usporedba predloženog scenarija sa S1 scenarijem Energetske strategije Republike Hrvatske

Predloženi scenarij pruža veće smanjenje emisija u usporedbi sa S1 scenarijem iz Energetske strategije Republike Hrvatske [4] kao što prikazuje Slika 107. Energetska strategija predviđa smanjenje od 37,5 % do 2030. te 74,4 % do 2050. Očekivano smanjenje u slučaju predloženog scenarija iznosi 70,14 % do 2030. te 99,7 % do 2050. godine u usporedbi s emisijama iz 1990. godine.

Usporedbu udjela OIE za 2030. i 2050. predloženog scenarija te scenarija S1 iz Energetske strategije prikazuje Slika 108. Kod predloženog scenarija dolazi do većeg udjela OIE za oko 25 % 2030. te za 35 % 2050. godine u kojoj predloženi scenarij dostiže udio OIE od 99,2 dok Energetska strategija predlaže 65,6 %.

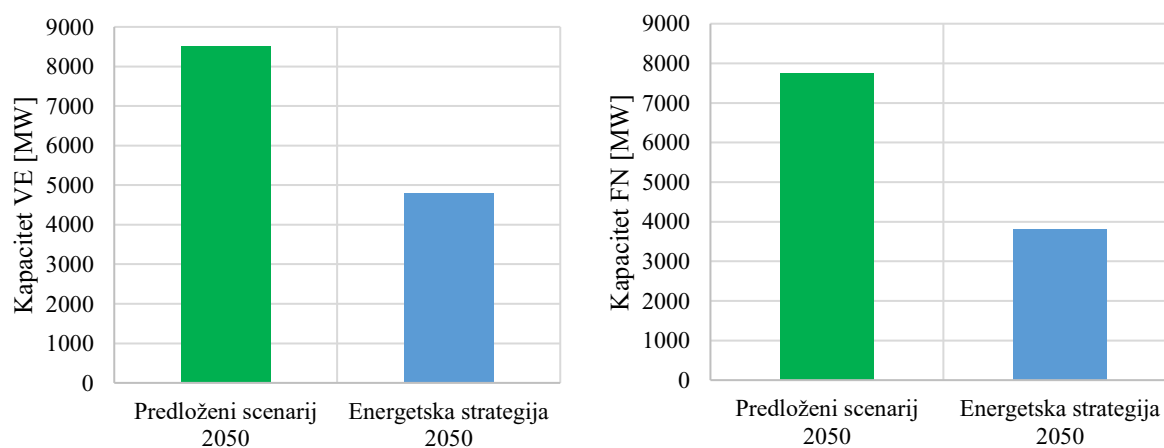


Slika 107. Usporedba smanjenja emisija predloženog scenarija i Energetske strategije



Slika 108. Usporedba udjela OIE predloženog scenarija i Energetske strategije

Usporedbu kapaciteta VE i FN predloženog scenarija i Energetske strategije prikazuje Slika 109. Energetska strategija predlaže manji kapacitet VE iznosa 4800 MW u odnosu na 8500 MW predložen u ovom radu. Predloženi kapacitet FN iznosi 7750 MW u ovom radu, dok Energetska strategija predlaže 3800 MW. Ipak, razlika se tumači time što se u predloženom scenariju dolazi do potpune tranzicije prema VOIE uz korištenje tehnologija pohrane energije i odziva potrošnje. Pristup fleksibilnosti u Energetskoj strategiji je drugačiji te se temelji na korištenju brzih i fleksibilnih jedinica pogonjenih prirodnim plinom.



Slika 109. Usporedba kapaciteta VE (lijevo) i FN elektrana (desno) predloženog scenarija i Energetske strategije

Energetska strategija predlaže izgradnju do 400 MW baterijske pohrane do 2050. što je manji iznos od predloženih 20.000 MW u ovom radu. Ovdje se također vidi različit pristup fleksibilnosti u usporedbi s Energetskom strategijom.

6. ZAKLJUČAK

Ovim radom se demonstrira metoda pronalaska najbolje konfiguracije energetskog sustava metodom izvedbe velikog broja simulacija u računalnom programu EnergyPLAN uz korištenje programskog jezika Python. Primjenjuje se takozvana „Brute force“ metoda koja često može biti vremenski neučinkovita, ali daje detaljan prikaz svih raspoloživih rješenja što se može promatrati i kao prednost nad optimizacijskim algoritmom, jer se razvoj energetskog sustava često ne provodi na optimalan način. Mana ove metode je izravna ovisnost rezultata o pretpostavljenim kapacitetima i ulaznim podacima od strane autora.

Metoda se primjenjuje na primjeru Hrvatskog energetskog sustava. Odabrani sustav za 2050. podrazumijeva izgradnju ukupno 4000 MW kapaciteta vjetroelektrana u odnosu na postojeće kapacitete u 2018. od 586 MW. Također, podrazumijeva se izgradnja FN elektrana do ukupnog kapaciteta od 6500 MW u odnosu na kapacitet od 70 MW 2018. godine. Pretpostavljena izgradnja dodatnih kapaciteta ne prekoračuje tehnički potencijal OIE na području Republike Hrvatske. Kako bi se ispunili klimatski ciljevi, pretpostavlja se elektrifikacija dijelova industrije, dok se drugi dio prebacuje na potrošnju biomase umjesto fosilnih goriva. Sektor prometa podrazumijeva elektrifikaciju većeg dijela, osim dijelova pomorskog i zračnog prometa gdje se pretpostavlja korištenje biogoriva. Alternativno razmatrano rješenje je bilo povećano korištenje biogoriva u sektoru prometa. Od tog rješenja se odustalo uslijed netom generirane visoke potrošnje biomase koju je bolje koristiti u sektorima poput industrije gdje nije moguće elektrificirati sve procese te u kogeneracijskim postrojenjima. Mjere fleksibilnosti sustava su također ključan dio rješenja. Odabrani sustav podrazumijeva prebacivanje do 7 TWh potrošnje električne energije u fleksibilan način rada. što je oko četvrtina ukupne potrošnje. Također, zbog očekivanih varijacija u proizvodnji električne energije, implementiraju se sustavi pohrane energije. Republika Hrvatska već 2018. godine raspolaže sa sustavom pohrane energije u vidu reverzibilnih hidroelektrana, ali se taj sustav pokazao nedovoljan. Iz tog razloga se razmatraju sustavi pohrane u električnim baterijama te u sustavima toplinske pohrane energije. Dolazi se do potrebe za 40 GWh baterijske pohrane i 32 GWh. Kod sustava grijanja se uvode dizalice topline, dok u isto vrijeme dolazi do porasta korištenja CTS-a koji također koristi i električnu energiju putem P2H sustava. Slična pojava je uočljiva primjerice i kod pohrane energije kod sustava za 2050.

Valja primijetiti da smisao primjene nekih od tehnologija dolazi do izražaja tek pri višim kapacitetima VOIE. Primjerice, primjena fleksibilne potrošnje kod sustava za 2040. daje

pozitivan učinak tek pri višim kapacitetima VOIE što i ima smisla jer tek tad dolazi do potrebe za kompenzacijom varijacija u proizvodnji. Slična pojava se može zamijetiti i kod tehnologija kao P2H, gdje je kod nižih kapaciteta VOIE utjecaj na CEEP gotovo neprimjetan. Tek povećanjem kapaciteta VOIE dolazi do razdvajanja krivulja. Ovim radom se dokazuje mogućnost uspostavljanja obnovljivih, klimatski neutralnih, financijski prihvatljivih i samoodrživih energetske sustava do 2050. čak i uz korištenje relativno ograničenih kapaciteta VOIE. Time se dobiva sustav u 2050. s 99,2 % udjela obnovljivih izvora energije, emisija CO₂ od 0,067 Mt, te godišnjih troškova sustava u iznosu od 7130 M€.

7. LITERATURA

- [1] Pariški klimatski sporazum, dostupno na: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>, (pristupljeno 20.12.2020.)
- [2] Europski Zeleni Plan, dostupno na: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_hr, (pristupljeno 20.12.2020.)
- [3] IEA, Dostupno na: <https://www.iea.org/>, (pristupljeno 1.1.2021.)
- [4] Vlada Republike Hrvatske, Prijedlog strategije energetskog razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu, Zagreb, listopad 2019., Dostupno na: https://www.sabor.hr/sites/default/files/uploads/sabor/2019-10-31/111602/STRATEGIJA_ENERG_RAZVOJ_2030.pdf, (pristupljeno 5.1.2021.)
- [5] EiHP, Energija u Hrvatskoj, Godišnji energetski pregled, Dostupno na: <http://www.eihp.hr/wp-content/uploads/2020/04/Energija2018.pdf>, (pristupljeno 5.1.2021.)
- [6] Prebeg, P.; Gasparovic, G.; Krajacic, G.; Duic, N.; Long-term energy planning of Croatian power system using multi-objective optimization with focus on renewable energy and integration of electric vehicles, Applied Energy, Volume 184, 2016, Pages 1493-1507, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.03.086>, (pristupljeno 6.1.2021.)
- [7] Pfeifer, A.; Krajačić, G.; Ljubas, D.; Duić, N.; Increasing the integration of solar photovoltaics in energy mix on the road to low emissions energy system – Economic and environmental implications, Renewable Energy, Volume 143, 2019, Pages 1310-1317, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.080>, (pristupljeno 6.1.2021.)
- [8] Komušanac, I.; Ćosić, B.; Duić, N.; Impact of high penetration of wind and solar PV generation on the country power system load: The case study of Croatia, Applied Energy, Volume 184, 2016, Pages 1470-1482, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.06.099>, (pristupljeno 6.1.2021.)
- [9] HOPS, Dodatni tehnički uvjeti za priključak i pogon vjetroelektrana na prijenosnoj mreži, Dostupno na: https://www.hops.hr/page-file/DvJmiVq8yoNAUbKzW4VM85/ostali-propisi/Dodatni_tehnicky_uvjeti_za_prikljucak_i_pogon_vjetroelektrana_na_prijenosnoj_mrezi1.pdf, (pristupljeno 20.12.2020.)
- [10] Održavanje frekvencije sustava, HEP, dostupno na: <https://www.hep.hr/proizvodnja/proizvodi-i-usluge/pomocne-usluge-ees/odrzavanje-frekvencije/1722>, (pristupljeno 20.12.2020.)

- [11] Christensen, T. H., Larsen, S. P. A. K., & Knudsen, H. N. (2019). How to engage households in energy demand response solutions? In *eceee 2019 Summer Study proceedings: Is efficient sufficient?* European Council for an Energy Efficient Economy, ECEEE. ECEEE Summer Study, (pristupljeno 15.12.2020.)
- [12] Gils, H. C.; Assessment of the theoretical demand response potential in Europe, *Energy*, Volume 67, 2014, Pages 1-18, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.019>, (pristupljeno 15.12.2020.)
- [13] Starke, M.; Alkadi N.; Assessment of Industrial Load for Demand Response across U.S. Regions of the Western Interconnect, Oak Ridge National Laboratory, 2013.; <https://info.ornl.gov/sites/publications/Files/Pub45942.pdf>, (pristupljeno 25.12.2020.)
- [14] Kosman, Wojciech & Rusin, Andrzej. (2019). Preheating procedure for fast start-up of a steam turbine from a cold state. *E3S Web of Conferences*. 137. 01024. 10.1051/e3sconf/201913701024, (pristupljeno 4.1.2021.)
- [15] Fleksibilnost nuklearnih elektrana, NEA, dostupno na: <https://www.oecd-nea.org/ndd/reports/2011/load-following-npp.pdf>, (pristupljeno 4.1.2021.)
- [16] Fleksibilnost nuklearnih elektrana, IEA, dostupno na: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1756_web.pdf, (pristupljeno 4.1.2021.)
- [17] Bloess, A.; Schill, W.-P.; Zerrahn, A.; Power-to-heat for renewable energy integration: A review of technologies, modeling approaches, and flexibility potentials, *Applied Energy*, Volume 212, 2018, Pages 1611-1626, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.12.073>, (pristupljeno 6.1.2021.)
- [18] Galović, A. *Termodinamika I*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2018, (pristupljeno 6.1.2021.)
- [19] Zerrahn, A.; Schill, W. P.; Kemfert, C.; On the economics of electrical storage for variable renewable energy sources, *European Economic Review*, 108, 2018/02/19, 10.1016/j.eurocorev.2018.07.004, (pristupljeno 3.1.2021.)
- [20] Stadler, I.; Sterner, M.; 2.3 - Urban Energy Storage and Sector Coupling, Editor(s): Peter Droege, *Urban Energy Transition (Second Edition)*, Elsevier, 2018, Pages 225-244, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102074-6.00026-7>, (pristupljeno 3.1.2021.)
- [21] Wulf, C.; Linssen, J.; Zapp, P.; Chapter 9 - Power-to-Gas—Concepts, Demonstration, and Prospects, Editor(s): Catherine Azzaro-Pantel, *Hydrogen Supply Chains*, Academic Press, 2018, Pages 309-345, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811197-0.00009-9>, (pristupljeno 3.1.2021.)

- [22] Gorivi članci, FKIT, dostupno na: https://www.fkit.unizg.hr/download/repository/Skripta_gorivni_clanci.pdf, (pristupljeno 3.1.2021.)
- [23] Amiryar, M. E.; Pullen, K. R.; A Review of Flywheel Energy Storage System Technologies and Their Applications, School of Mathematics, Computer Science and Engineering, University of London, London EC1V 0HB, UK, 2017.; <https://www.google.hr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjk35H38PtAhWP-ioKHQSCAooQFjAKegQIAxAC&url=https%3A%2F%2Fwww.mdpi.com%2F2076-3417%2F%2F3%2F286%2Fpdf&usg=AOvVaw0hsrRisAY69-RcqYTzcoXd>, (pristupljeno 5.1.2021.)
- [24] Podaci o reverzibilnim hidroelektranama, dostupno na: <https://www.hydropower.org/resources/factsheets/pumped-storage>, (pristupljeno 2.1.2021.)
- [25] Podaci o reverzibilnim hidroelektranama, General Electric, dostupno na: <https://www.ge.com/renewableenergy/hydro-power/hydro-pumped-storage>, (pristupljeno 2.1.2021.)
- [26] Dooner, M.; Wang, J.; 14 - Compressed-Air Energy Storage, Editor(s): Trevor M. Letcher, Future Energy (Third Edition), Elsevier, 2020, Pages 279-312, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102886-5.00014-1>, (pristupljeno 2.1.2021.)
- [27] Električne baterije, FER, dostupno na: https://www.fer.unizg.hr/download/repository/04_Baterije.pdf, (pristupljeno 2.1.2021.)
- [28] Stacionarna pohrana energije u baterijama, dostupno na: <https://hornsdalespowerreserve.com.au/>, (pristupljeno 2.1.2021.)
- [29] Cijena električnih baterija, dostupno na: <https://cleantechnica.com/2020/09/21/tesla-battery-day-guide-under-57-per-kwh-pack-possible/>, (pristupljeno 4.1.2021.)
- [30] Projekcija cijena električnih baterija, dostupno na: <https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/>, (pristupljeno 4.1.2021.)
- [31] Pohrana energije u rastaljenim solima, dostupno na: <https://www.aalborgcsp.com/business-areas/thermal-energy-storage-tes/retrofitting-with-molten-salt-storage/>, (pristupljeno 2.1.2021.)
- [32] Podaci o pohrani energije u rastaljenim solima, Stanford, dostupno na: <http://large.stanford.edu/courses/2015/ph240/dodaro2/>, (pristupljeno 2.1.2021.)

- [33] Podaci o toplinskim kapacitetima krutina, dostupno na: <http://zeus.phys.uconn.edu/halld/diamonds/heating-10-2004/heatcap.html>, (pristupljeno 5.1.2021.)
- [34] Allen, K.; Backström, T.; Joubert, E.; Gauché, P.; Rock bed thermal storage: Concepts and costs, <https://doi.org/10.1063/1.4949101>, (pristupljeno 2.1.2021.)
- [35] EnergyPLAN, Dostupno na: <https://www.energyplan.eu/>, (pristupljeno 2.1.2021.)
- [36] Python, Dostupno na: <https://www.python.org/>, (pristupljeno 5.12.2020.)
- [37] Dodgson, J & Spackman, Michael & Pearman, Alan & Phillips, Lawrence. (2009). Multi-Criteria Analysis: A Manual. , (pristupljeno 8.1.2021.)
- [38] Računalni program ASTER, dostupno na: <https://www.ibik.ru/>, (pristupljeno 25.12.2020.)
- [39] HEP Toplinarstvo, Početak sezone grijanja, Dostupno na: <https://www.hep.hr/toplinarstvo/zavrsetak-ogrjevnje-sezone-2018-2019-i-najava-radovana-toplinskim-sustavima/1741>, (pristupljeno 10.12.2020.)
- [40] HEP Toplinarstvo, Završetak sezone grijanja, Dostupno na: <https://www.hep.hr/toplinarstvo/zapocinjje-ukljucivanje-grijanja-u-ogrjevnoj-sezoni-2019-2020/1753>, (pristupljeno 10.12.2020.)
- [41] Pavičević, M.; Novosel, T.; Pukšec, T.; Duić, N.; Hourly optimization and sizing of district heating systems considering building refurbishment – Case study for the city of Zagreb, Energy, Volume 137, 2017, Pages 1264-1276, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.06.105> , (pristupljeno 15.12.2020.)
- [42] WindPower.net, Baza podataka o vjetroelektranama, Dostupno na: https://www.thewindpower.net/store_windfarms_view_all_en.php, (pristupljeno 5.12.2020.)
- [43] Renewableninja, Dostupno na: <https://www.renewables.ninja/>, (pristupljeno 5.12.2020.)
- [44] IRENA, Dostupno na: <https://www.irena.org/>, (pristupljeno 5.12.2020.)
- [45] ENTSO-e, Dostupno na: <https://www.entsoe.eu/>, (pristupljeno 5.12.2020.)
- [46] Prijedlog strategije niskougljičnog razvoja Republike Hrvatske do 2030. S pogledom na 2050. godinu, Dostupno na: <https://mzoe.gov.hr/o-ministarstvu-1065/djelokrug-4925/klima/strategije-planovi-i-programi-1915/strategija-niskougljicnog-razvoja-hrvatske/1930>, (pristupljeno 5.12.2020.)

- [47] Energetski neovisna Hrvatska bazirana na visokom udjelu obnovljivih izvora energije te različitih tehnologija brzog odziva – RESFlex, Mapiranje potreba za energijom-električna, toplinska, rashladna energija i transport, dostupno na: <https://het.hr/repozitorij/>, (pristupljeno 5.12.2020.)
- [48] Ministarstvo graditeljstva i prostornoga uređenja, Tehnički propis o izmjenama i dopunama Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018_08_70_1422.html, (pristupljeno 5.12.2020.)
- [49] Eurostat, Dostupno na: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/energy-balances>, (pristupljeno 5.12.2020.)
- [50] HEP, Podaci o hidroelektranama, Dostupno na: <https://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/1528>, (pristupljeno 4.12.2020.)
- [51] HEP, Hidroenergetski sustav Senj 2, Dostupno na: <https://www.hep.hr/projekti/hidroenergetski-sustav-senj-2/247>, (pristupljeno 4.12.2020.)
- [52] HEP u hidroelektrane ulaže 3,6 milijarde kuna do 2028. Dostupno na: <https://www.poslovni.hr/hrvatska/hep-u-hidroelektrane-ulaze-36-milijarde-kuna-do-2028-347846>, (pristupljeno 4.12.2020.)
- [53] Krajcar, S.; Zagreb na Savi, Zagreb, Rujan 2014., Dostupno na: https://eko.zagreb.hr/UserDocsImages/arhiva/dokumenti/EU%20projekti/envision/05_EnVision.pdf, (pristupljeno 4.12.2020.)
- [54] HEP, Podaci o termoelektranama, <https://www.hep.hr/proizvodnja/termoelektrane-1560/termoelektrane-toplane/1732>, (pristupljeno 4.12.2020.)
- [55] Keep Warm, Improving the performance of District Heating Systems in Central and Eastern Europe, Dostupno na: https://keepwarmeurope.eu/fileadmin/user_upload/Resources/Promotional_materials/KeepWarm_showroom_HR_EN.pdf, (pristupljeno 4.12.2020.)
- [56] Republika Hrvatska, Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, Sažetak Treće revizije Programa razgradnje Nuklearne elektrane Krško (NEK) i Treće revizije Programa odlaganja radioaktivnog otpada (RAO) i istrošenoga nuklearnog goriva (ING) NEK, Dostupno na: <https://mzoe.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA%20ZA%20ENERGETIKU/Strategije,%20planovi%20i%20programi/hr%20necp/Sa%C5%BEetak%20TRE%C4%86E%20REVIZIJE%20Programa%20razgradnje%20NEK%20i%20Programa%20odlaganja%20RAO%20i%20ING%20iz%20NEK.pdf>, (pristupljeno 2.12.2020.)

- [57] Podaci o CTS-u u Velikoj Gorici, <https://turopoljeinfo.wordpress.com/2018/03/18/znanstvenici-mapirali-potraznju-za-toplinom-i-isplativost-prosirenja-sustava-u-velikoj-gorici/>, (pristupljeno 4.12.2020.)
- [58] Godišnje izvješće o stanju i poslovanju Gradske toplane d.o.o. Karlovac u 2014. godini, Dostupno na: https://www.google.hr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi9kuWEv_DtAhWR-voKHaPdDaIQFjACegQIBBAC&url=https%3A%2F%2Fwww.karlovac.hr%2FUserDocsImages%2Fdokumenti%2FStranice%2Ftoplana.pdf&usg=AOvVaw0E4IE6nvalcbpqrLT11lsa, (pristupljeno 4.12.2020.)
- [59] Ministarstvo gospodarstva, Program korištenja potencijala za učinkovitost u grijanju i hlađenju za razdoblje 2016. – 2030., Studeni 2015., Dostupno na: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/croatia_report_eed_art_141update_hr.pdf, (pristupljeno 2.12.2020.)
- [60] Baza podataka o cijenama, https://www.energyplan.eu/useful_resources/costdatabase/, (pristupljeno 1.12.2020.)
- [61] Duić, N.; Štefanić, N.; Lulić, Z.; Krajačić, G.; Pukšec, T.; Novosel, T.; EU28 fuel prices for 2015, 2030 and 2050, dostupno na: https://heatroadmap.eu/wp-content/uploads/2020/01/HRE4_D6.1-Future-fuel-price-review.pdf, (pristupljeno 1.12.2020.)
- [62] Lutsey, Nicholas & Nicholas, Michael. (2019). Update on electric vehicle costs in the United States through 2030. 10.13140/RG.2.2.25390.56646., (pristupljeno 3.12.2020.)
- [63] How Battery Costs Impact Tesla's Margins: An Interactive Analysis, Dostupno na: <https://www.forbes.com/sites/greatspeculations/2020/01/13/how-battery-costs-impact-teslas-margins-an-interactive-analysis/>, (pristupljeno 5.12.2020.)
- [64] Levy, j.; Riu, I.; Zoi, C.; The Costs of EV Fast Charging Infrastructure and Economic Benefits to Rapid Scale-Up, 18.6.2020, Dostupno na: https://www.evgo.com/wp-content/uploads/2020/05/2020.05.18_EVgo-Whitepaper_DCFC-cost-and-policy.pdf, (pristupljeno 5.12.2020.)
- [65] Mohammad Hossein Sarparandeh, Mehdi Ehsan, "Pricing of Vehicle-to-Grid Services in a Microgrid by Nash Bargaining Theory", *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2017, Article ID 1840140, 11 pages, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/1840140>, (pristupljeno 5.12.2020.)

- [66] Cijene emisijskih jedinica, <https://ember-climate.org/data/carbon-price-viewer/>, (pristupljeno 12.12.2020.)
- [67] Google Karte, <https://www.google.hr/maps?source=tldsi&hl=hr>, (pristupljeno 8.12.2020.)
- [68] HEP, Podaci o HE Dubrovnik, Dostupno na: <https://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/he-dubrovnik/he-dubrovnik-1735/1735>, (pristupljeno 6.12.2020.)
- [69] Proizvodnja NEK 2018., Dostupno na: <https://www.nek.si/hr/novinarski-centar/novosti/v-nek-smo-ze-presegli-nacrtovano-proizvodnjo-za-let-2018>, (pristupljeno 6.12.2020.)
- [70] Eurostat, Potrošnja energije u kućanstvima, Dostupno na: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data>, (pristupljeno 8.12.2020.)

PRILOZI

- I. CD-R disc
- II. Python kod, dio 1
- III. Python kod, dio 2
- IV. VBA kod

II. Python kod, dio I

```
from tkinter import filedialog
from tkinter import Tk
from tkinter import *

root = Tk()

root.input = filedialog.askopenfilename( filetypes = ( ".xlsx", "*.xlsx"), ("All files", "*.*") ,title = "Open
input data table" )
root.withdraw()
folder_EnergyPLAN = filedialog.askdirectory(title = "Open EnergyPLAN folder")
folder_csv_xlsx = filedialog.askdirectory(title = "csv folder")
outputtable = filedialog.askopenfilename( filetypes = ( ".xlsx", "*.xlsx"), ("All files", "*.*") ,title = "Open
case name table" )

'-----get input file-----'
import openpyxl
path = ((root.input))
wb_obj = openpyxl.load_workbook(path)
sheet_obj = wb_obj.active
m_row = sheet_obj.max_row
m_col = sheet_obj.max_column

'-----define file storage location and create datasets-----'
import pyautogui
import time
import subprocess

for j in range(1, m_col + 1):
    name = sheet_obj.cell(row=2200, column=j).value
    outputFile = open(r'{0}\energyPlan Data\Data\{1}.txt'.format(folder_EnergyPLAN,name), 'w')
    for i in range(1, m_row + 1):
        cell_obj = sheet_obj.cell(row=i, column=j)
        print(cell_obj.value, file=outputFile)
    outputFile.close()
```

```
'-----run EnergyPLAN-----'  
  
import subprocess  
proc1 = subprocess.Popen('{}\energyPLAN.exe'.format(folder_EnergyPLAN))  
path = (outputtable)  
wb_obj = openpyxl.load_workbook(path)  
sheet_obj = wb_obj.active  
m_row = sheet_obj.max_row  
m_col = sheet_obj.max_column  
time.sleep(60)  
  
for j in range(1, m_col+1):  
    name = sheet_obj.cell(row=1, column=j).value  
    pyautogui.click(121, 90)  
    pyautogui.typewrite('{}\txt'.format(name))  
    time.sleep(0.1)  
    pyautogui.typewrite(['enter'])  
    pyautogui.moveTo(320, 117)  
    time.sleep(0.1)  
    while pyautogui.pixel(362, 117)[0] != 255:  
        time.sleep(0.1)  
        if pyautogui.pixel(362, 117)[0] == 255:  
            break  
    pyautogui.click(320, 117)  
    time.sleep(0.1)  
    while pyautogui.pixel(362, 117)[0] != 255:  
        time.sleep(0.1)  
        if pyautogui.pixel(362, 117)[0] == 255:  
            break  
  
    time.sleep(0.2)  
    POWERSHELL_COMMAND = r'C:\WINDOWS\system32\WindowsPowerShell\v1.0\powershell.exe'  
    subprocess.Popen([POWERSHELL_COMMAND,  
                      'Get-clipboard > {0}\{1}.csv'.format(folder_csv_xlsx, name)],  
                     stdout = subprocess.PIPE,  
                     stderr = subprocess.PIPE)
```



```
time.sleep(0.8)

import os

os.system('cmd /c "echo off | clip"')
time.sleep(0.2)
'-----Correct errors-----'

for j in range(1, m_col + 1):
    name = sheet_obj.cell(row=1, column=j).value
    from pathlib import Path
    file = Path() / (r'{0}\{1}.csv'.format(folder_csv_xlsx, name)) # or Path('./doc.txt')
    size = file.stat().st_size
    if size < 70000:
        pyautogui.click(121, 90)
        pyautogui.typewrite('{}\{}'.format(name))
        pyautogui.typewrite(['enter'])
        pyautogui.moveTo(320, 117)
        time.sleep(0.1)
        while pyautogui.pixel(362, 117)[0] != 255:
            time.sleep(0.1)
            if pyautogui.pixel(362, 117)[0] == 255:
                break
        pyautogui.click(320, 117)
        time.sleep(0.1)
        while pyautogui.pixel(362, 117)[0] != 255:
            time.sleep(0.1)
            if pyautogui.pixel(362, 117)[0] == 255:
                break

        time.sleep(0.5)
        POWERSHELL_COMMAND =
r'C:\WINDOWS\system32\WindowsPowerShell\v1.0\powershell.exe'
        subprocess.Popen([POWERSHELL_COMMAND,
                          'Get-clipboard > {0}\{1}.csv'.format(folder_csv_xlsx, name)],
                          stdout=subprocess.PIPE,
                          stderr=subprocess.PIPE)
        time.sleep(1.5)
```

```
import os

os.system('cmd /c "echo off | clip"')
time.sleep(0.5)

else: print(name, 'is ok')
```

III. Python kod, dio II

```
from tkinter import filedialog
from tkinter import Tk
from tkinter import *

folder_csv_xlsx = filedialog.askdirectory(title = "csv folder")
outputtable = filedialog.askopenfilename( filetypes = ( ".xlsx", "*.xlsx"), ("All files", "*.*") ,title = "Open
case name table" )

import openpyxl
path = (outputtable)
wb_obj = openpyxl.load_workbook(path)
sheet_obj = wb_obj.active
m_row = sheet_obj.max_row
m_col = sheet_obj.max_column

results = (outputtable)
wb1 = openpyxl.load_workbook(results)
sheet_obj1 = wb1.active
m_row = sheet_obj.max_row
m_col = sheet_obj.max_column

for j in range(1, m_col +1):
    name = sheet_obj1.cell(row=1, column=j).value
    ulaz = (r"{0}\{1}.xlsx".format(folder_csv_xlsx, name))
    wb2 = openpyxl.load_workbook(ulaz)
    sheet_obj2 = wb2.active
    m_row = sheet_obj2.max_row
    m_col = sheet_obj2.max_column

    namee = sheet_obj2.cell(row=5, column=2)
    wind = sheet_obj2.cell(row=85, column=6)
    pv = sheet_obj2.cell(row=85, column=7)
    river = sheet_obj2.cell(row=85, column=8)
```

```
imp = sheet_obj2.cell(row=85, column=100)
exp = sheet_obj2.cell(row=85, column=101)
ceep = sheet_obj2.cell(row=85, column=102)
dem = sheet_obj2.cell(row=85, column=2)
res = sheet_obj2.cell(row=21, column=2)
reselect = sheet_obj2.cell(row=22, column=2)
restwh = sheet_obj2.cell(row=23, column=2)
co2tot = sheet_obj2.cell(row=17, column=2)
co2cor = sheet_obj2.cell(row=18, column=2)
```

```
v2gdem = sheet_obj2.cell(row=85, column=76)
v2gcharg = sheet_obj2.cell(row=85, column=77)
hp = sheet_obj2.cell(row=85, column=56)
flex = sheet_obj2.cell(row=85, column=55)
pump = sheet_obj2.cell(row=85, column=63)
battin = sheet_obj2.cell(row=85, column=66)
rockin = sheet_obj2.cell(row=85, column=69)
h2el = sheet_obj2.cell(row=85, column=80)
hphh = sheet_obj2.cell(row=85, column=87)
ebhh = sheet_obj2.cell(row=85, column=89)
```

```
error = sheet_obj2.cell(row=2, column=1)
biomass = sheet_obj2.cell(row=34, column=2)
totalanncost = sheet_obj2.cell(row=68, column=2)
invest = sheet_obj2.cell(row=66, column=2)
fixopex = sheet_obj2.cell(row=64, column=2)
varopex = sheet_obj2.cell(row=62, column=2)
```

```
sheet_obj1.cell(row=2, column=j).value = namee.value
sheet_obj1.cell(row=3, column=j).value = wind.value
sheet_obj1.cell(row=4, column=j).value = pv.value
sheet_obj1.cell(row=5, column=j).value = river.value
sheet_obj1.cell(row=6, column=j).value = imp.value
sheet_obj1.cell(row=7, column=j).value = exp.value
sheet_obj1.cell(row=8, column=j).value = ceep.value
sheet_obj1.cell(row=9, column=j).value = dem.value
sheet_obj1.cell(row=10, column=j).value = res.value
```

```
sheet_obj1.cell(row=11, column=j).value = reselect.value  
sheet_obj1.cell(row=12, column=j).value = restwh.value  
sheet_obj1.cell(row=13, column=j).value = co2tot.value  
sheet_obj1.cell(row=14, column=j).value = co2cor.value
```

```
sheet_obj1.cell(row=16, column=j).value = v2gdem.value  
sheet_obj1.cell(row=17, column=j).value = v2gcharg.value  
sheet_obj1.cell(row=18, column=j).value = hp.value  
sheet_obj1.cell(row=19, column=j).value = flex.value  
sheet_obj1.cell(row=20, column=j).value = pump.value  
sheet_obj1.cell(row=21, column=j).value = battin.value  
sheet_obj1.cell(row=22, column=j).value = rockin.value  
sheet_obj1.cell(row=23, column=j).value = h2el.value  
sheet_obj1.cell(row=24, column=j).value = hphh.value  
sheet_obj1.cell(row=25, column=j).value = ebhh.value
```

```
sheet_obj1.cell(row=27, column=j).value = error.value
```

```
sheet_obj1.cell(row=28, column=j).value = biomass.value  
sheet_obj1.cell(row=29, column=j).value = totalanncost.value  
sheet_obj1.cell(row=30, column=j).value = invest.value  
sheet_obj1.cell(row=31, column=j).value = fixopex.value  
sheet_obj1.cell(row=32, column=j).value = varopex.value
```

```
wb2.close()
```

```
wb1.save(r"{}\nameofthefile.xls".format(folder_csv_xlsx))
```

IV. VBA kod

```
Sub CSVtoXLSX()  
'UpdatebyExtendoffice20170814  
    Dim xFd As FileDialog  
    Dim xSPath As String  
    Dim xCSVFile As String  
    Dim xWsheet As String  
    Application.DisplayAlerts = False  
    Application.StatusBar = True  
    xWsheet = ActiveWorkbook.Name  
    Set xFd = Application.FileDialog(msoFileDialogFolderPicker)  
    xFd.Title = "Select a folder:"  
    If xFd.Show = -1 Then  
        xSPath = xFd.SelectedItems(1)  
    Else  
        Exit Sub  
    End If  
    If Right(xSPath, 1) <> "\" Then xSPath = xSPath + "\"  
    xCSVFile = Dir(xSPath & "*.csv")  
    Do While xCSVFile <> ""  
        Application.StatusBar = "Converting: " & xCSVFile  
        Workbooks.Open Filename:=xSPath & xCSVFile  
        ActiveWorkbook.SaveAs Replace(xSPath & xCSVFile, ".csv", ".xlsx", vbTextCompare),  
xlWorkbookDefault  
        ActiveWorkbook.Close  
        Windows(xWsheet).Activate  
        xCSVFile = Dir  
    Loop  
    Application.StatusBar = False  
    Application.DisplayAlerts = True  
End Sub
```

V. Rezultati multi-kriterijske analize za 2030.

Tablica 28. prikazuje rezultate multi-kriterijske analize. Rezultati su poredani od sustava s najvećim do sustava s najmanjim rezultatom analize u rasponu 0 do 1.

Tablica 28. Rezultati multi-kriterijske analize za 2030.

| Udio OIE | Emisije CO2 | CEEP | Potrošnja biomase | Ukupni godišnji troškovi | Kapacitet vjetroelektrana | Kapacitet FN elektrana | Udio plina u CHP | Električna energija za grijanje u kućanstvima | Promet | P2H | Fleksibilna potrošnja | Fleksibilne termoelektrane | Fleksibilne nuklearne elektrane | Rezultat |
|----------|-------------|------|-------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|------------------|---|--------|-----|-----------------------|----------------------------|---------------------------------|----------|
| % | Mt | % | TWh | M€ | MW | MW | - | TWh | - | MW | TWh | - | - | - |
| 61.2 | 6.062 | 2.05 | 27.6 | 12538.7 | 5000 | 2500 | 0.5 | 3 | V2G | 500 | 6 | DA | DA | 0.814 |
| 60.2 | 6.278 | 1.11 | 28.66 | 12503.7 | 3750 | 3750 | 0.5 | 3 | V2G | 0 | 6 | DA | DA | 0.793 |
| 61 | 6.176 | 2.23 | 28.16 | 12506.7 | 5000 | 2500 | 0.5 | 3 | V2G | 0 | 6 | DA | DA | 0.79 |
| 60.5 | 6.24 | 1.74 | 28.47 | 12493.4 | 3750 | 3750 | 0.5 | 3 | EI | 500 | 6 | DA | DA | 0.786 |
| 61.5 | 6.139 | 3.12 | 27.97 | 12494.4 | 5000 | 2500 | 0.5 | 3 | EI | 500 | 6 | DA | DA | 0.779 |
| 61.8 | 6.034 | 3.89 | 27.46 | 12525.7 | 3750 | 5000 | 0.5 | 3 | V2G | 500 | 6 | DA | DA | 0.774 |
| 60.7 | 6.062 | 3.01 | 27.6 | 12546.7 | 5000 | 2500 | 0.5 | 3 | V2G | 500 | 6 | DA | NE | 0.773 |
| 60 | 6.278 | 1.65 | 28.66 | 12507.7 | 3750 | 3750 | 0.5 | 3 | V2G | 0 | 6 | DA | NE | 0.772 |
| 59.8 | 6.294 | 2.05 | 26.46 | 12519.4 | 5000 | 2500 | 0.75 | 3 | V2G | 500 | 6 | DA | DA | 0.771 |
| 60.5 | 6.335 | 1.95 | 28.94 | 12454.4 | 3750 | 3750 | 0.5 | 3 | EI | 0 | 6 | DA | DA | 0.769 |
| 61 | 6.223 | 2.75 | 28.39 | 12512.2 | 5000 | 2500 | 0.5 | 3 | V2G | 0 | 3 | DA | DA | 0.766 |
| 61.7 | 6.057 | 4.09 | 27.57 | 12525.2 | 3750 | 5000 | 0.5 | 3 | V2G | 500 | 3 | DA | DA | 0.762 |
| 61.6 | 6.075 | 4.01 | 27.66 | 12523.7 | 3750 | 5000 | 0.5 | 3 | V2G | 500 | 0 | DA | DA | 0.76 |
| 60.5 | 6.374 | 2.18 | 29.13 | 12458.9 | 3750 | 3750 | 0.5 | 3 | EI | 0 | 3 | DA | DA | 0.756 |
| 61.3 | 6.258 | 3.27 | 28.56 | 12464.4 | 5000 | 2500 | 0.5 | 3 | EI | 0 | 6 | DA | DA | 0.755 |
| 60.5 | 6.176 | 3.22 | 28.16 | 12514.7 | 5000 | 2500 | 0.5 | 3 | V2G | 0 | 6 | DA | NE | 0.748 |
| 59 | 6.433 | 2.05 | 25.78 | 12508.1 | 5000 | 2500 | 0.9 | 3 | V2G | 500 | 6 | DA | DA | 0.746 |
| 60.8 | 6.199 | 3.36 | 28.27 | 12536.2 | 2500 | 6250 | 0.5 | 3 | V2G | 500 | 3 | DA | DA | 0.744 |
| 60 | 6.24 | 2.79 | 28.47 | 12501.4 | 3750 | 3750 | 0.5 | 3 | EI | 500 | 6 | DA | NE | 0.743 |
| 61.3 | 6.287 | 3.63 | 28.7 | 12465.9 | 5000 | 2500 | 0.5 | 3 | EI | 0 | 3 | DA | DA | 0.739 |
| 60.7 | 6.292 | 3.18 | 28.72 | 12491.7 | 2500 | 6250 | 0.5 | 3 | V2G | 0 | 0 | DA | DA | 0.738 |
| 61.6 | 6.166 | 4.36 | 28.11 | 12498.7 | 3750 | 5000 | 0.5 | 3 | V2G | 0 | 6 | DA | DA | 0.738 |
| 59.3 | 6.465 | 2.23 | 26.74 | 12487.4 | 5000 | 2500 | 0.75 | 3 | V2G | 0 | 6 | DA | DA | 0.737 |
| 60.5 | 6.252 | 3.89 | 26.39 | 12506.4 | 3750 | 5000 | 0.75 | 3 | V2G | 500 | 6 | DA | DA | 0.734 |
| 58.3 | 6.617 | 1.11 | 26.99 | 12483.4 | 3750 | 3750 | 0.75 | 3 | V2G | 0 | 6 | DA | DA | 0.733 |
| 60.8 | 6.203 | 3.69 | 28.29 | 12544.7 | 2500 | 6250 | 0.5 | 3 | V2G | 500 | 6 | DA | DA | 0.733 |
| 59.3 | 6.294 | 3.01 | 26.46 | 12527.4 | 5000 | 2500 | 0.75 | 3 | V2G | 500 | 6 | DA | NE | 0.73 |
| 59.9 | 6.409 | 3.12 | 26.65 | 12475.1 | 5000 | 2500 | 0.75 | 3 | EI | 500 | 6 | DA | DA | 0.729 |
| 58.7 | 6.561 | 1.74 | 26.9 | 12474.1 | 3750 | 3750 | 0.75 | 3 | EI | 500 | 6 | DA | DA | 0.729 |
| 61.6 | 6.186 | 4.55 | 28.21 | 12498.2 | 3750 | 5000 | 0.5 | 3 | V2G | 0 | 3 | DA | DA | 0.729 |
| 61.5 | 6.203 | 4.5 | 28.29 | 12495.7 | 3750 | 5000 | 0.5 | 3 | V2G | 0 | 0 | DA | DA | 0.726 |
| 60.4 | 6.286 | 4.09 | 26.45 | 12505.9 | 3750 | 5000 | 0.75 | 3 | V2G | 500 | 3 | DA | DA | 0.722 |
| 60.5 | 6.223 | 3.89 | 28.39 | 12521.2 | 5000 | 2500 | 0.5 | 3 | V2G | 0 | 3 | DA | NE | 0.719 |
| 60.7 | 6.295 | 3.74 | 28.74 | 12499.2 | 2500 | 6250 | 0.5 | 3 | V2G | 0 | 3 | DA | DA | 0.719 |
| 60.2 | 6.314 | 4.01 | 26.49 | 12504.4 | 3750 | 5000 | 0.75 | 3 | V2G | 500 | 0 | DA | DA | 0.717 |
| 59.9 | 6.335 | 3.23 | 28.94 | 12464.4 | 3750 | 3750 | 0.5 | 3 | EI | 0 | 6 | DA | NE | 0.716 |
| 60.8 | 6.293 | 3.93 | 28.73 | 12504.7 | 2500 | 6250 | 0.5 | 3 | V2G | 0 | 6 | DA | DA | 0.715 |
| 60.4 | 6.199 | 4.16 | 28.27 | 12543.2 | 2500 | 6250 | 0.5 | 3 | V2G | 500 | 3 | DA | NE | 0.711 |
| 58 | 6.617 | 1.65 | 26.99 | 12487.4 | 3750 | 3750 | 0.75 | 3 | V2G | 0 | 6 | DA | NE | 0.71 |
| 59.7 | 6.383 | 3.89 | 25.75 | 12496.1 | 3750 | 5000 | 0.9 | 3 | V2G | 500 | 6 | DA | DA | 0.71 |
| 59.2 | 6.535 | 2.75 | 26.86 | 12492.9 | 5000 | 2500 | 0.75 | 3 | V2G | 0 | 3 | DA | DA | 0.71 |
| 58.3 | 6.639 | 2.23 | 25.89 | 12475.1 | 5000 | 2500 | 0.9 | 3 | V2G | 0 | 6 | DA | DA | 0.706 |
| 58.5 | 6.433 | 3.01 | 25.78 | 12516.1 | 5000 | 2500 | 0.9 | 3 | V2G | 500 | 6 | DA | NE | 0.705 |
| 60.3 | 6.292 | 3.97 | 28.72 | 12497.7 | 2500 | 6250 | 0.5 | 3 | V2G | 0 | 0 | DA | NE | 0.705 |
| 59.9 | 6.374 | 3.41 | 29.13 | 12468.9 | 3750 | 3750 | 0.5 | 3 | EI | 0 | 3 | DA | NE | 0.704 |
| 60.6 | 6.139 | 4.9 | 27.97 | 12508.4 | 5000 | 2500 | 0.5 | 3 | EI | 500 | 6 | DA | NE | 0.704 |
| 58.4 | 6.703 | 1.95 | 27.13 | 12434.1 | 3750 | 3750 | 0.75 | 3 | EI | 0 | 6 | DA | DA | 0.703 |
| 58.9 | 6.571 | 3.12 | 25.86 | 12463.8 | 5000 | 2500 | 0.9 | 3 | EI | 500 | 6 | DA | DA | 0.699 |
| 58.9 | 6.465 | 3.22 | 26.74 | 12494.4 | 5000 | 2500 | 0.75 | 3 | V2G | 0 | 6 | DA | NE | 0.698 |
| 61.1 | 6.302 | 4.66 | 28.78 | 12506.4 | 2500 | 6250 | 0.5 | 3 | EI | 500 | 6 | DA | DA | 0.697 |
| 59.6 | 6.424 | 4.09 | 25.78 | 12495.6 | 3750 | 5000 | 0.9 | 3 | V2G | 500 | 3 | DA | DA | 0.697 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------|-------|------|-------|---------|------|------|------|---|-----|-----|---|----|----|-------|
| 57.1 | 6.821 | 1.11 | 25.99 | 12472.1 | 3750 | 3750 | 0.9 | 3 | V2G | 0 | 6 | DA | DA | 0.695 |
| 60.4 | 6.203 | 4.62 | 28.29 | 12551.7 | 2500 | 6250 | 0.5 | 3 | V2G | 500 | 6 | DA | NE | 0.695 |
| 59.4 | 6.588 | 3.27 | 26.94 | 12444.1 | 5000 | 2500 | 0.75 | 3 | El | 0 | 6 | DA | DA | 0.695 |
| 57.5 | 6.753 | 1.74 | 25.96 | 12462.8 | 3750 | 3750 | 0.9 | 3 | El | 500 | 6 | DA | DA | 0.693 |
| 59.4 | 6.457 | 4.01 | 25.79 | 12494.1 | 3750 | 5000 | 0.9 | 3 | V2G | 500 | 0 | DA | DA | 0.691 |
| 59 | 6.5 | 3.36 | 26.8 | 12517.9 | 2500 | 6250 | 0.75 | 3 | V2G | 500 | 3 | DA | DA | 0.688 |
| 60 | 6.45 | 4.36 | 26.72 | 12479.4 | 3750 | 5000 | 0.75 | 3 | V2G | 0 | 6 | DA | DA | 0.687 |
| 58.2 | 6.561 | 2.79 | 26.9 | 12482.1 | 3750 | 3750 | 0.75 | 3 | El | 500 | 6 | DA | NE | 0.686 |
| 58.2 | 6.761 | 2.18 | 27.23 | 12438.6 | 3750 | 3750 | 0.75 | 3 | El | 0 | 3 | DA | DA | 0.684 |
| 60.3 | 6.295 | 4.63 | 28.74 | 12506.2 | 2500 | 6250 | 0.5 | 3 | V2G | 0 | 3 | DA | NE | 0.683 |
| 59.1 | 6.505 | 3.69 | 26.81 | 12525.4 | 2500 | 6250 | 0.75 | 3 | V2G | 500 | 6 | DA | DA | 0.679 |
| 59.3 | 6.632 | 3.63 | 27.01 | 12446.6 | 5000 | 2500 | 0.75 | 3 | El | 0 | 3 | DA | DA | 0.676 |
| 59.9 | 6.48 | 4.55 | 26.77 | 12477.9 | 3750 | 5000 | 0.75 | 3 | V2G | 0 | 3 | DA | DA | 0.676 |
| 58.1 | 6.722 | 2.75 | 25.94 | 12480.6 | 5000 | 2500 | 0.9 | 3 | V2G | 0 | 3 | DA | DA | 0.675 |
| 58.7 | 6.638 | 3.18 | 27.02 | 12471.4 | 2500 | 6250 | 0.75 | 3 | V2G | 0 | 0 | DA | DA | 0.675 |
| 60.3 | 6.293 | 4.95 | 28.73 | 12512.7 | 2500 | 6250 | 0.5 | 3 | V2G | 0 | 6 | DA | NE | 0.673 |
| 56.8 | 6.821 | 1.65 | 25.99 | 12476.1 | 3750 | 3750 | 0.9 | 3 | V2G | 0 | 6 | DA | NE | 0.672 |
| 59.8 | 6.505 | 4.5 | 26.81 | 12476.4 | 3750 | 5000 | 0.75 | 3 | V2G | 0 | 0 | DA | DA | 0.672 |
| 57.9 | 6.639 | 3.22 | 25.89 | 12483.1 | 5000 | 2500 | 0.9 | 3 | V2G | 0 | 6 | DA | NE | 0.666 |
| 58.7 | 6.535 | 3.89 | 26.86 | 12501.9 | 5000 | 2500 | 0.75 | 3 | V2G | 0 | 3 | DA | NE | 0.663 |
| 57.1 | 6.925 | 1.95 | 26.05 | 12422.8 | 3750 | 3750 | 0.9 | 3 | El | 0 | 6 | DA | DA | 0.662 |
| 58.3 | 6.786 | 3.27 | 25.97 | 12432.8 | 5000 | 2500 | 0.9 | 3 | El | 0 | 6 | DA | DA | 0.66 |
| 58 | 6.68 | 3.36 | 25.92 | 12506.6 | 2500 | 6250 | 0.9 | 3 | V2G | 500 | 3 | DA | DA | 0.657 |
| 59 | 6.62 | 4.36 | 25.88 | 12467.1 | 3750 | 5000 | 0.9 | 3 | V2G | 0 | 6 | DA | DA | 0.656 |
| 58.7 | 6.644 | 3.74 | 27.03 | 12479.9 | 2500 | 6250 | 0.75 | 3 | V2G | 0 | 3 | DA | DA | 0.656 |
| 58.6 | 6.5 | 4.16 | 26.8 | 12523.9 | 2500 | 6250 | 0.75 | 3 | V2G | 500 | 3 | DA | NE | 0.655 |
| 59 | 6.409 | 4.9 | 26.65 | 12489.1 | 5000 | 2500 | 0.75 | 3 | El | 500 | 6 | DA | NE | 0.655 |
| 66 | 6.064 | 3.23 | 39.67 | 13890.2 | 3750 | 2500 | 0.5 | 3 | Bio | 500 | 6 | DA | DA | 0.654 |
| 58.7 | 6.64 | 3.93 | 27.03 | 12485.4 | 2500 | 6250 | 0.75 | 3 | V2G | 0 | 6 | DA | DA | 0.65 |
| 65.1 | 6.185 | 2.18 | 40.26 | 13893.2 | 2500 | 3750 | 0.5 | 3 | Bio | 500 | 6 | DA | DA | 0.65 |
| 64.9 | 6.157 | 2.22 | 40.12 | 13880.7 | 2500 | 3750 | 0.5 | 3 | Bio | 500 | 3 | DA | DA | 0.65 |
| 57.8 | 6.703 | 3.23 | 27.13 | 12444.1 | 3750 | 3750 | 0.75 | 3 | El | 0 | 6 | DA | NE | 0.65 |
| 57 | 6.753 | 2.79 | 25.96 | 12470.8 | 3750 | 3750 | 0.9 | 3 | El | 500 | 6 | DA | NE | 0.649 |
| 58 | 6.687 | 3.69 | 25.92 | 12514.1 | 2500 | 6250 | 0.9 | 3 | V2G | 500 | 6 | DA | DA | 0.645 |
| 65.8 | 6.141 | 3.2 | 40.05 | 13848.2 | 3750 | 2500 | 0.5 | 3 | Bio | 0 | 6 | DA | DA | 0.643 |
| 65.8 | 6.06 | 3.51 | 39.65 | 13883.7 | 3750 | 2500 | 0.5 | 3 | Bio | 500 | 3 | DA | DA | 0.642 |
| 56.9 | 6.994 | 2.18 | 26.09 | 12427.3 | 3750 | 3750 | 0.9 | 3 | El | 0 | 3 | DA | DA | 0.642 |
| 58.8 | 6.656 | 4.55 | 25.9 | 12466.6 | 3750 | 5000 | 0.9 | 3 | V2G | 0 | 3 | DA | DA | 0.642 |
| 58.3 | 6.638 | 3.97 | 27.02 | 12478.4 | 2500 | 6250 | 0.75 | 3 | V2G | 0 | 0 | DA | NE | 0.642 |
| 65 | 6.246 | 2.21 | 40.56 | 13847.2 | 2500 | 3750 | 0.5 | 3 | Bio | 0 | 6 | DA | DA | 0.642 |
| 63.3 | 6.42 | 0.23 | 41.42 | 13877.2 | 2500 | 2500 | 0.5 | 3 | Bio | 0 | 6 | DA | DA | 0.64 |
| 58.6 | 6.505 | 4.62 | 26.81 | 12533.4 | 2500 | 6250 | 0.75 | 3 | V2G | 500 | 6 | DA | NE | 0.639 |
| 58.1 | 6.839 | 3.63 | 26 | 12435.3 | 5000 | 2500 | 0.9 | 3 | El | 0 | 3 | DA | DA | 0.638 |
| 58.7 | 6.686 | 4.5 | 25.92 | 12465.1 | 3750 | 5000 | 0.9 | 3 | V2G | 0 | 0 | DA | DA | 0.638 |
| 57.5 | 6.846 | 3.18 | 26.01 | 12460.1 | 2500 | 6250 | 0.9 | 3 | V2G | 0 | 0 | DA | DA | 0.637 |
| 64.8 | 6.231 | 2.35 | 40.49 | 13838.7 | 2500 | 3750 | 0.5 | 3 | Bio | 0 | 3 | DA | DA | 0.636 |
| 59.8 | 6.872 | 2.72 | 31.57 | 12635.4 | 3750 | 2500 | 0.5 | 3 | El | 500 | 6 | NE | DA | 0.634 |
| 59.1 | 6.654 | 4.66 | 27.05 | 12488.1 | 2500 | 6250 | 0.75 | 3 | El | 500 | 6 | DA | DA | 0.634 |
| 65.7 | 6.056 | 3.77 | 39.63 | 13878.2 | 3750 | 2500 | 0.5 | 3 | Bio | 500 | 0 | DA | DA | 0.633 |
| 57.6 | 6.761 | 3.41 | 27.23 | 12448.6 | 3750 | 3750 | 0.75 | 3 | El | 0 | 3 | DA | NE | 0.633 |
| 65.6 | 6.141 | 3.48 | 40.05 | 13843.7 | 3750 | 2500 | 0.5 | 3 | Bio | 0 | 3 | DA | DA | 0.631 |
| 59.5 | 6.85 | 2.6 | 31.46 | 12694.7 | 3750 | 2500 | 0.5 | 3 | V2G | 500 | 6 | NE | DA | 0.63 |
| 57.6 | 6.722 | 3.89 | 25.94 | 12489.6 | 5000 | 2500 | 0.9 | 3 | V2G | 0 | 3 | DA | NE | 0.629 |
| 58.1 | 6.571 | 4.9 | 25.86 | 12477.8 | 5000 | 2500 | 0.9 | 3 | El | 500 | 6 | DA | NE | 0.626 |
| 57.6 | 6.68 | 4.16 | 25.92 | 12512.6 | 2500 | 6250 | 0.9 | 3 | V2G | 500 | 3 | DA | NE | 0.624 |
| 63.2 | 6.42 | 0.7 | 41.42 | 13880.2 | 2500 | 2500 | 0.5 | 3 | Bio | 0 | 6 | DA | NE | 0.623 |
| 65.5 | 6.142 | 3.76 | 40.05 | 13838.2 | 3750 | 2500 | 0.5 | 3 | Bio | 0 | 0 | DA | DA | 0.62 |
| 58.3 | 6.644 | 4.63 | 27.03 | 12486.9 | 2500 | 6250 | 0.75 | 3 | V2G | 0 | 3 | DA | NE | 0.62 |
| 59.6 | 6.875 | 3.05 | 31.58 | 12630.9 | 3750 | 2500 | 0.5 | 3 | El | 500 | 3 | NE | DA | 0.62 |
| 58.8 | 6.989 | 1.96 | 32.14 | 12639.4 | 2500 | 3750 | 0.5 | 3 | El | 500 | 6 | NE | DA | 0.62 |
| 58.7 | 6.971 | 2.04 | 32.05 | 12629.9 | 2500 | 3750 | 0.5 | 3 | El | 500 | 3 | NE | DA | 0.619 |
| 57.5 | 6.853 | 3.74 | 26.01 | 12467.6 | 2500 | 6250 | 0.9 | 3 | V2G | 0 | 3 | DA | DA | 0.618 |
| 58.6 | 6.976 | 1.84 | 32.07 | 12699.7 | 2500 | 3750 | 0.5 | 3 | V2G | 500 | 6 | NE | DA | 0.616 |
| 64.7 | 6.297 | 3.23 | 38.53 | 13870.9 | 3750 | 2500 | 0.75 | 3 | Bio | 500 | 6 | DA | DA | 0.613 |
| 57.5 | 6.848 | 3.93 | 26.01 | 12474.1 | 2500 | 6250 | 0.9 | 3 | V2G | 0 | 6 | DA | DA | 0.613 |
| 57.2 | 7.158 | 0.12 | 32.97 | 12728.7 | 2500 | 2500 | 0.5 | 3 | V2G | 500 | 6 | NE | DA | 0.611 |
| 59.5 | 6.875 | 3.28 | 31.58 | 12625.4 | 3750 | 2500 | 0.5 | 3 | El | 500 | 0 | NE | DA | 0.611 |
| 58.3 | 6.64 | 4.95 | 27.03 | 12493.4 | 2500 | 6250 | 0.75 | 3 | V2G | 0 | 6 | DA | NE | 0.61 |
| 59.4 | 6.873 | 3.08 | 31.57 | 12695.2 | 3750 | 2500 | 0.5 | 3 | V2G | 500 | 3 | NE | DA | 0.609 |
| 56.5 | 6.925 | 3.23 | 26.05 | 12432.8 | 3750 | 3750 | 0.9 | 3 | El | 0 | 6 | DA | NE | 0.609 |
| 57.6 | 6.687 | 4.62 | 25.92 | 12522.1 | 2500 | 6250 | 0.9 | 3 | V2G | 500 | 6 | DA | NE | 0.607 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------|-------|------|-------|---------|------|------|------|---|-----|-----|---|----|----|-------|
| 58.5 | 6.981 | 2.03 | 32.1 | 12696.2 | 2500 | 3750 | 0.5 | 3 | V2G | 500 | 3 | NE | DA | 0.607 |
| 57.2 | 7.215 | 0.29 | 33.25 | 12617.4 | 2500 | 2500 | 0.5 | 3 | El | 0 | 6 | NE | DA | 0.607 |
| 58.5 | 6.988 | 2.04 | 32.13 | 12691.7 | 2500 | 3750 | 0.5 | 3 | V2G | 500 | 0 | NE | DA | 0.607 |
| 59.4 | 6.948 | 2.93 | 31.94 | 12658.7 | 3750 | 2500 | 0.5 | 3 | V2G | 0 | 6 | NE | DA | 0.606 |
| 57.1 | 6.846 | 3.97 | 26.01 | 12466.1 | 2500 | 6250 | 0.9 | 3 | V2G | 0 | 0 | DA | NE | 0.604 |
| 59.7 | 6.995 | 3.11 | 32.17 | 12605.4 | 3750 | 2500 | 0.5 | 3 | El | 0 | 6 | NE | DA | 0.604 |
| 57.1 | 7.158 | 0.29 | 32.97 | 12730.7 | 2500 | 2500 | 0.5 | 3 | V2G | 500 | 6 | NE | NE | 0.604 |
| 64.6 | 6.291 | 3.51 | 38.52 | 13865.4 | 3750 | 2500 | 0.75 | 3 | Bio | 500 | 3 | DA | DA | 0.604 |
| 63.4 | 6.436 | 2.22 | 38.76 | 13862.4 | 2500 | 3750 | 0.75 | 3 | Bio | 500 | 3 | DA | DA | 0.602 |
| 58.6 | 7.046 | 2.11 | 32.42 | 12655.7 | 2500 | 3750 | 0.5 | 3 | V2G | 0 | 6 | NE | DA | 0.601 |
| 63.5 | 6.478 | 2.18 | 38.83 | 13873.9 | 2500 | 3750 | 0.75 | 3 | Bio | 500 | 6 | DA | DA | 0.599 |
| 58.9 | 7.098 | 2.36 | 32.67 | 12603.4 | 2500 | 3750 | 0.5 | 3 | El | 0 | 6 | NE | DA | 0.596 |
| 57.9 | 6.865 | 4.66 | 26.02 | 12476.8 | 2500 | 6250 | 0.9 | 3 | El | 500 | 6 | DA | DA | 0.596 |
| 64.3 | 6.412 | 3.2 | 38.72 | 13828.9 | 3750 | 2500 | 0.75 | 3 | Bio | 0 | 6 | DA | DA | 0.595 |
| 64.4 | 6.285 | 3.77 | 38.51 | 13858.9 | 3750 | 2500 | 0.75 | 3 | Bio | 500 | 0 | DA | DA | 0.593 |
| 59.3 | 6.897 | 3.44 | 31.69 | 12695.7 | 3750 | 2500 | 0.5 | 3 | V2G | 500 | 0 | NE | DA | 0.592 |
| 58.5 | 7.053 | 2.3 | 32.45 | 12652.2 | 2500 | 3750 | 0.5 | 3 | V2G | 0 | 3 | NE | DA | 0.592 |
| 56.3 | 6.994 | 3.41 | 26.09 | 12437.3 | 3750 | 3750 | 0.9 | 3 | El | 0 | 3 | DA | NE | 0.591 |
| 59.6 | 7.003 | 3.44 | 32.21 | 12601.9 | 3750 | 2500 | 0.5 | 3 | El | 0 | 3 | NE | DA | 0.591 |
| 57 | 7.215 | 0.7 | 33.25 | 12621.4 | 2500 | 2500 | 0.5 | 3 | El | 0 | 6 | NE | NE | 0.59 |
| 64 | 6.437 | 3.23 | 37.85 | 13860.6 | 3750 | 2500 | 0.9 | 3 | Bio | 500 | 6 | DA | DA | 0.59 |
| 58.8 | 7.095 | 2.57 | 32.66 | 12597.9 | 2500 | 3750 | 0.5 | 3 | El | 0 | 3 | NE | DA | 0.588 |
| 58.4 | 7.063 | 2.34 | 32.5 | 12648.7 | 2500 | 3750 | 0.5 | 3 | V2G | 0 | 0 | NE | DA | 0.587 |
| 59.3 | 6.966 | 3.37 | 32.03 | 12658.2 | 3750 | 2500 | 0.5 | 3 | V2G | 0 | 3 | NE | DA | 0.587 |
| 63.3 | 6.569 | 2.21 | 38.97 | 13827.9 | 2500 | 3750 | 0.75 | 3 | Bio | 0 | 6 | DA | DA | 0.587 |
| 64.2 | 6.413 | 3.48 | 38.72 | 13824.4 | 3750 | 2500 | 0.75 | 3 | Bio | 0 | 3 | DA | DA | 0.585 |
| 57.1 | 6.853 | 4.63 | 26.01 | 12475.6 | 2500 | 6250 | 0.9 | 3 | V2G | 0 | 3 | DA | NE | 0.582 |
| 63.1 | 6.547 | 2.35 | 38.94 | 13819.4 | 2500 | 3750 | 0.75 | 3 | Bio | 0 | 3 | DA | DA | 0.582 |
| 64.2 | 6.157 | 3.98 | 40.12 | 13893.7 | 2500 | 3750 | 0.5 | 3 | Bio | 500 | 3 | DA | NE | 0.58 |
| 58.7 | 7.098 | 2.77 | 32.67 | 12592.4 | 2500 | 3750 | 0.5 | 3 | El | 0 | 0 | NE | DA | 0.58 |
| 63.8 | 6.429 | 3.51 | 37.84 | 13854.1 | 3750 | 2500 | 0.9 | 3 | Bio | 500 | 3 | DA | DA | 0.579 |
| 56.7 | 7.05 | 1.67 | 26.61 | 13155.7 | 3750 | 3750 | 0.5 | 0 | V2G | 500 | 6 | DA | DA | 0.579 |
| 59.5 | 7.011 | 3.77 | 32.25 | 12598.4 | 3750 | 2500 | 0.5 | 3 | El | 0 | 0 | NE | DA | 0.578 |
| 64.1 | 6.413 | 3.76 | 38.72 | 13818.9 | 3750 | 2500 | 0.75 | 3 | Bio | 0 | 0 | DA | DA | 0.575 |
| 62.5 | 6.603 | 2.22 | 37.94 | 13851.1 | 2500 | 3750 | 0.9 | 3 | Bio | 500 | 3 | DA | DA | 0.573 |
| 57.1 | 6.848 | 4.95 | 26.01 | 12482.1 | 2500 | 6250 | 0.9 | 3 | V2G | 0 | 6 | DA | NE | 0.572 |
| 59.2 | 6.988 | 3.7 | 32.13 | 12658.7 | 3750 | 2500 | 0.5 | 3 | V2G | 0 | 0 | NE | DA | 0.572 |
| 61.2 | 6.831 | 0.23 | 39.4 | 13856.9 | 2500 | 2500 | 0.75 | 3 | Bio | 0 | 6 | DA | DA | 0.571 |
| 63.7 | 6.422 | 3.77 | 37.84 | 13848.6 | 3750 | 2500 | 0.9 | 3 | Bio | 500 | 0 | DA | DA | 0.57 |
| 62.6 | 6.654 | 2.18 | 37.96 | 13863.6 | 2500 | 3750 | 0.9 | 3 | Bio | 500 | 6 | DA | DA | 0.569 |
| 63.5 | 6.574 | 3.2 | 37.92 | 13817.6 | 3750 | 2500 | 0.9 | 3 | Bio | 0 | 6 | DA | DA | 0.569 |
| 58 | 6.988 | 2.99 | 32.13 | 12699.7 | 2500 | 3750 | 0.5 | 3 | V2G | 500 | 0 | NE | NE | 0.566 |
| 64.1 | 6.231 | 4.18 | 40.49 | 13850.7 | 2500 | 3750 | 0.5 | 3 | Bio | 0 | 3 | DA | NE | 0.564 |
| 58 | 6.976 | 3.1 | 32.07 | 12709.7 | 2500 | 3750 | 0.5 | 3 | V2G | 500 | 6 | NE | NE | 0.564 |
| 58 | 6.981 | 3.16 | 32.1 | 12704.2 | 2500 | 3750 | 0.5 | 3 | V2G | 500 | 3 | NE | NE | 0.561 |
| 56.8 | 7.086 | 2.13 | 26.79 | 13158.2 | 3750 | 3750 | 0.5 | 0 | V2G | 500 | 3 | DA | DA | 0.561 |
| 58 | 6.971 | 3.46 | 32.05 | 12640.9 | 2500 | 3750 | 0.5 | 3 | El | 500 | 3 | NE | NE | 0.559 |
| 63.3 | 6.576 | 3.48 | 37.92 | 13813.1 | 3750 | 2500 | 0.9 | 3 | Bio | 0 | 3 | DA | DA | 0.556 |
| 64.1 | 6.185 | 4.54 | 40.26 | 13909.2 | 2500 | 3750 | 0.5 | 3 | Bio | 500 | 6 | DA | NE | 0.555 |
| 62.3 | 6.763 | 2.21 | 38.02 | 13816.6 | 2500 | 3750 | 0.9 | 3 | Bio | 0 | 6 | DA | DA | 0.554 |
| 58.6 | 6.85 | 4.47 | 31.46 | 12709.7 | 3750 | 2500 | 0.5 | 3 | V2G | 500 | 6 | NE | NE | 0.552 |
| 61 | 6.831 | 0.7 | 39.4 | 13860.9 | 2500 | 2500 | 0.75 | 3 | Bio | 0 | 6 | DA | NE | 0.552 |
| 62.1 | 6.737 | 2.35 | 38.01 | 13808.1 | 2500 | 3750 | 0.9 | 3 | Bio | 0 | 3 | DA | DA | 0.549 |
| 63.2 | 6.576 | 3.76 | 37.92 | 13807.6 | 3750 | 2500 | 0.9 | 3 | Bio | 0 | 0 | DA | DA | 0.546 |
| 58 | 7.063 | 3.4 | 32.5 | 12656.7 | 2500 | 3750 | 0.5 | 3 | V2G | 0 | 0 | NE | NE | 0.546 |
| 64 | 6.246 | 4.61 | 40.56 | 13863.2 | 2500 | 3750 | 0.5 | 3 | Bio | 0 | 6 | DA | NE | 0.546 |
| 58 | 6.989 | 3.79 | 32.14 | 12654.4 | 2500 | 3750 | 0.5 | 3 | El | 500 | 6 | NE | NE | 0.545 |
| 58 | 7.046 | 3.51 | 32.42 | 12666.7 | 2500 | 3750 | 0.5 | 3 | V2G | 0 | 6 | NE | NE | 0.544 |
| 56.7 | 7.197 | 2.16 | 27.33 | 13131.7 | 3750 | 3750 | 0.5 | 0 | V2G | 0 | 6 | DA | DA | 0.543 |
| 58 | 7.053 | 3.53 | 32.45 | 12661.2 | 2500 | 3750 | 0.5 | 3 | V2G | 0 | 3 | NE | NE | 0.543 |
| 56.3 | 7.05 | 2.58 | 26.61 | 13162.7 | 3750 | 3750 | 0.5 | 0 | V2G | 500 | 6 | DA | NE | 0.542 |
| 58.6 | 6.873 | 4.86 | 31.57 | 12709.2 | 3750 | 2500 | 0.5 | 3 | V2G | 500 | 3 | NE | NE | 0.537 |
| 56.8 | 7.137 | 2.65 | 27.04 | 13164.7 | 3750 | 3750 | 0.5 | 0 | V2G | 500 | 0 | DA | DA | 0.536 |
| 57.6 | 7 | 3.89 | 26.36 | 13171.7 | 5000 | 2500 | 0.5 | 0 | V2G | 500 | 6 | DA | DA | 0.534 |
| 57.2 | 7.169 | 3.02 | 27.19 | 13121.4 | 3750 | 3750 | 0.5 | 0 | El | 500 | 6 | DA | DA | 0.532 |
| 62.7 | 6.436 | 3.98 | 38.76 | 13874.4 | 2500 | 3750 | 0.75 | 3 | Bio | 500 | 3 | DA | NE | 0.532 |
| 59.9 | 7.078 | 0.23 | 38.19 | 13845.6 | 2500 | 2500 | 0.9 | 3 | Bio | 0 | 6 | DA | DA | 0.528 |
| 58.5 | 6.948 | 4.87 | 31.94 | 12673.7 | 3750 | 2500 | 0.5 | 3 | V2G | 0 | 6 | NE | NE | 0.526 |
| 56.7 | 7.227 | 2.59 | 27.48 | 13133.2 | 3750 | 3750 | 0.5 | 0 | V2G | 0 | 3 | DA | DA | 0.526 |
| 56.2 | 7.508 | 2.72 | 28.45 | 12614.1 | 3750 | 2500 | 0.75 | 3 | El | 500 | 6 | NE | DA | 0.519 |
| 56.3 | 7.086 | 3.16 | 26.79 | 13166.2 | 3750 | 3750 | 0.5 | 0 | V2G | 500 | 3 | DA | NE | 0.518 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------|-------|------|-------|---------|------|------|------|---|-----|-----|---|----|----|-------|
| 57.1 | 7.181 | 3.41 | 27.25 | 13117.9 | 3750 | 3750 | 0.5 | 0 | El | 500 | 3 | DA | DA | 0.516 |
| 57 | 7.109 | 3.89 | 25.83 | 13153.4 | 5000 | 2500 | 0.75 | 0 | V2G | 500 | 6 | DA | DA | 0.516 |
| 57.1 | 7.293 | 3.14 | 27.8 | 13092.4 | 3750 | 3750 | 0.5 | 0 | El | 0 | 6 | DA | DA | 0.51 |
| 62.4 | 6.547 | 4.18 | 38.94 | 13831.4 | 2500 | 3750 | 0.75 | 3 | Bio | 0 | 3 | DA | NE | 0.51 |
| 59.7 | 7.078 | 0.7 | 38.19 | 13848.6 | 2500 | 2500 | 0.9 | 3 | Bio | 0 | 6 | DA | NE | 0.51 |
| 57.9 | 7.098 | 4.51 | 32.67 | 12606.4 | 2500 | 3750 | 0.5 | 3 | El | 0 | 0 | NE | NE | 0.509 |
| 57.6 | 7.035 | 4.52 | 26.54 | 13175.2 | 5000 | 2500 | 0.5 | 0 | V2G | 500 | 3 | DA | DA | 0.509 |
| 57.9 | 7.095 | 4.52 | 32.66 | 12612.9 | 2500 | 3750 | 0.5 | 3 | El | 0 | 3 | NE | NE | 0.508 |
| 64.4 | 6.823 | 2.82 | 43.39 | 14035.2 | 2500 | 2500 | 0.5 | 3 | Bio | 500 | 6 | NE | DA | 0.507 |
| 56.1 | 7.513 | 3.05 | 28.45 | 12609.6 | 3750 | 2500 | 0.75 | 3 | El | 500 | 3 | NE | DA | 0.506 |
| 56.7 | 7.264 | 3.02 | 27.66 | 13136.7 | 3750 | 3750 | 0.5 | 0 | V2G | 0 | 0 | DA | DA | 0.506 |
| 62.6 | 6.478 | 4.54 | 38.83 | 13890.9 | 2500 | 3750 | 0.75 | 3 | Bio | 500 | 6 | DA | NE | 0.506 |
| 57.9 | 7.098 | 4.6 | 32.67 | 12621.4 | 2500 | 3750 | 0.5 | 3 | El | 0 | 6 | NE | NE | 0.505 |
| 56.6 | 7.175 | 3.89 | 25.5 | 13142.1 | 5000 | 2500 | 0.9 | 0 | V2G | 500 | 6 | DA | DA | 0.504 |
| 61.8 | 6.603 | 3.98 | 37.94 | 13863.1 | 2500 | 3750 | 0.9 | 3 | Bio | 500 | 3 | DA | NE | 0.503 |
| 56.2 | 7.32 | 2.58 | 27.93 | 13134.4 | 2500 | 5000 | 0.5 | 0 | El | 500 | 6 | DA | DA | 0.501 |
| 56.2 | 7.197 | 3.31 | 27.33 | 13140.7 | 3750 | 3750 | 0.5 | 0 | V2G | 0 | 6 | DA | NE | 0.497 |
| 57.5 | 7.157 | 4.32 | 27.13 | 13151.7 | 5000 | 2500 | 0.5 | 0 | V2G | 0 | 6 | DA | DA | 0.497 |
| 56 | 7.363 | 3.02 | 26.24 | 13102.1 | 3750 | 3750 | 0.75 | 0 | El | 500 | 6 | DA | DA | 0.496 |
| 57 | 7.309 | 3.54 | 27.88 | 13090.9 | 3750 | 3750 | 0.5 | 0 | El | 0 | 3 | DA | DA | 0.493 |
| 62.3 | 6.569 | 4.61 | 38.97 | 13843.9 | 2500 | 3750 | 0.75 | 3 | Bio | 0 | 6 | DA | NE | 0.491 |
| 56.3 | 7.137 | 3.83 | 27.04 | 13174.7 | 3750 | 3750 | 0.5 | 0 | V2G | 500 | 0 | DA | NE | 0.489 |
| 64.2 | 6.831 | 3.29 | 43.43 | 14032.7 | 2500 | 2500 | 0.5 | 3 | Bio | 500 | 3 | NE | DA | 0.487 |
| 56.9 | 7.163 | 4.52 | 25.91 | 13155.9 | 5000 | 2500 | 0.75 | 0 | V2G | 500 | 3 | DA | DA | 0.487 |
| 56.3 | 7.372 | 2.95 | 28.19 | 13141.9 | 2500 | 5000 | 0.5 | 0 | El | 500 | 3 | DA | DA | 0.484 |
| 56.2 | 7.412 | 2.83 | 28.39 | 13096.4 | 2500 | 5000 | 0.5 | 0 | El | 0 | 6 | DA | DA | 0.483 |
| 56 | 7.381 | 3.41 | 26.27 | 13099.6 | 3750 | 3750 | 0.75 | 0 | El | 500 | 3 | DA | DA | 0.482 |
| 61.4 | 6.737 | 4.18 | 38.01 | 13820.1 | 2500 | 3750 | 0.9 | 3 | Bio | 0 | 3 | DA | NE | 0.477 |
| 61.7 | 6.654 | 4.54 | 37.96 | 13879.6 | 2500 | 3750 | 0.9 | 3 | Bio | 500 | 6 | DA | NE | 0.476 |
| 64.2 | 6.916 | 3.34 | 43.85 | 13998.2 | 2500 | 2500 | 0.5 | 3 | Bio | 0 | 6 | NE | DA | 0.476 |
| 57 | 7.341 | 3.95 | 28.04 | 13093.4 | 3750 | 3750 | 0.5 | 0 | El | 0 | 0 | DA | DA | 0.475 |
| 56.2 | 7.227 | 3.86 | 27.48 | 13143.2 | 3750 | 3750 | 0.5 | 0 | V2G | 0 | 3 | DA | NE | 0.475 |
| 57.5 | 7.185 | 4.87 | 27.27 | 13153.2 | 5000 | 2500 | 0.5 | 0 | V2G | 0 | 3 | DA | DA | 0.475 |
| 56.4 | 7.24 | 4.52 | 25.54 | 13145.6 | 5000 | 2500 | 0.9 | 0 | V2G | 500 | 3 | DA | DA | 0.473 |
| 56.2 | 7.445 | 3.02 | 28.55 | 13098.9 | 2500 | 5000 | 0.5 | 0 | El | 0 | 3 | DA | DA | 0.472 |
| 64 | 6.827 | 3.75 | 43.41 | 14028.2 | 2500 | 2500 | 0.5 | 3 | Bio | 500 | 0 | NE | DA | 0.47 |
| 56.5 | 7.345 | 4.32 | 26.21 | 13131.4 | 5000 | 2500 | 0.75 | 0 | V2G | 0 | 6 | DA | DA | 0.465 |
| 64 | 6.922 | 3.67 | 43.87 | 13994.7 | 2500 | 2500 | 0.5 | 3 | Bio | 0 | 3 | NE | DA | 0.461 |
| 61.3 | 6.763 | 4.61 | 38.02 | 13832.6 | 2500 | 3750 | 0.9 | 3 | Bio | 0 | 6 | DA | NE | 0.458 |
| 56.2 | 7.264 | 4.32 | 27.66 | 13146.7 | 3750 | 3750 | 0.5 | 0 | V2G | 0 | 0 | DA | NE | 0.455 |
| 63.9 | 6.925 | 4.13 | 43.89 | 13991.2 | 2500 | 2500 | 0.5 | 3 | Bio | 0 | 0 | NE | DA | 0.445 |
| 60.1 | 7.198 | 0.45 | 39.4 | 14530.2 | 2500 | 2500 | 0.5 | 0 | Bio | 500 | 6 | DA | DA | 0.442 |
| 56.4 | 7.388 | 4.87 | 26.28 | 13132.9 | 5000 | 2500 | 0.75 | 0 | V2G | 0 | 3 | DA | DA | 0.44 |
| 60 | 7.261 | 0.46 | 39.71 | 14482.2 | 2500 | 2500 | 0.5 | 0 | Bio | 0 | 6 | DA | DA | 0.434 |
| 60.1 | 7.229 | 0.74 | 39.55 | 14530.7 | 2500 | 2500 | 0.5 | 0 | Bio | 500 | 3 | DA | DA | 0.428 |
| 60 | 7.288 | 0.71 | 39.84 | 14482.7 | 2500 | 2500 | 0.5 | 0 | Bio | 0 | 3 | DA | DA | 0.422 |
| 59.8 | 7.198 | 1.14 | 39.4 | 14535.2 | 2500 | 2500 | 0.5 | 0 | Bio | 500 | 6 | DA | NE | 0.413 |
| 59 | 7.408 | 0.45 | 38.37 | 14511.9 | 2500 | 2500 | 0.75 | 0 | Bio | 500 | 6 | DA | DA | 0.406 |
| 59.8 | 7.261 | 1.22 | 39.71 | 14487.2 | 2500 | 2500 | 0.5 | 0 | Bio | 0 | 6 | DA | NE | 0.406 |
| 60.1 | 7.339 | 1.16 | 40.09 | 14489.2 | 2500 | 2500 | 0.5 | 0 | Bio | 0 | 0 | DA | DA | 0.402 |
| 61.2 | 7.435 | 2.82 | 40.39 | 14014.9 | 2500 | 2500 | 0.75 | 3 | Bio | 500 | 6 | NE | DA | 0.401 |
| 61.9 | 7.11 | 3.52 | 38.97 | 14522.2 | 2500 | 3750 | 0.5 | 0 | Bio | 500 | 6 | DA | DA | 0.396 |
| 59.8 | 7.229 | 1.59 | 39.55 | 14536.7 | 2500 | 2500 | 0.5 | 0 | Bio | 500 | 3 | DA | NE | 0.395 |
| 58.8 | 7.501 | 0.46 | 38.53 | 14462.9 | 2500 | 2500 | 0.75 | 0 | Bio | 0 | 6 | DA | DA | 0.395 |
| 58.9 | 7.453 | 0.74 | 38.45 | 14512.4 | 2500 | 2500 | 0.75 | 0 | Bio | 500 | 3 | DA | DA | 0.389 |
| 59.7 | 7.288 | 1.57 | 39.84 | 14488.7 | 2500 | 2500 | 0.5 | 0 | Bio | 0 | 3 | DA | NE | 0.389 |
| 61.7 | 7.186 | 3.44 | 39.34 | 14480.2 | 2500 | 3750 | 0.5 | 0 | Bio | 0 | 6 | DA | DA | 0.387 |
| 58.3 | 7.533 | 0.45 | 37.76 | 14500.6 | 2500 | 2500 | 0.9 | 0 | Bio | 500 | 6 | DA | DA | 0.384 |
| 61.1 | 7.447 | 3.29 | 40.41 | 14011.4 | 2500 | 2500 | 0.75 | 3 | Bio | 500 | 3 | NE | DA | 0.384 |
| 58.7 | 7.543 | 0.71 | 38.59 | 14463.4 | 2500 | 2500 | 0.75 | 0 | Bio | 0 | 3 | DA | DA | 0.38 |
| 58.7 | 7.408 | 1.14 | 38.37 | 14515.9 | 2500 | 2500 | 0.75 | 0 | Bio | 500 | 6 | DA | NE | 0.378 |
| 61.8 | 7.122 | 4.07 | 39.03 | 14519.7 | 2500 | 3750 | 0.5 | 0 | Bio | 500 | 3 | DA | DA | 0.375 |
| 58 | 7.646 | 0.46 | 37.82 | 14451.6 | 2500 | 2500 | 0.9 | 0 | Bio | 0 | 6 | DA | DA | 0.369 |
| 62.5 | 7.104 | 4.91 | 38.94 | 14487.2 | 3750 | 2500 | 0.5 | 0 | Bio | 0 | 6 | DA | DA | 0.369 |
| 61 | 7.275 | 3.52 | 38.16 | 14503.9 | 2500 | 3750 | 0.75 | 0 | Bio | 500 | 6 | DA | DA | 0.368 |
| 58.2 | 7.588 | 0.74 | 37.79 | 14501.1 | 2500 | 2500 | 0.9 | 0 | Bio | 500 | 3 | DA | DA | 0.367 |
| 60.9 | 7.441 | 3.75 | 40.4 | 14006.9 | 2500 | 2500 | 0.75 | 3 | Bio | 500 | 0 | NE | DA | 0.366 |
| 61.6 | 7.201 | 4 | 39.41 | 14478.7 | 2500 | 3750 | 0.5 | 0 | Bio | 0 | 3 | DA | DA | 0.365 |
| 58.5 | 7.501 | 1.22 | 38.53 | 14467.9 | 2500 | 2500 | 0.75 | 0 | Bio | 0 | 6 | DA | NE | 0.365 |
| 60.8 | 7.575 | 3.34 | 40.62 | 13976.9 | 2500 | 2500 | 0.75 | 3 | Bio | 0 | 6 | NE | DA | 0.363 |
| 61.7 | 7.125 | 4.46 | 39.04 | 14515.2 | 2500 | 3750 | 0.5 | 0 | Bio | 500 | 0 | DA | DA | 0.361 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------|-------|------|-------|---------|------|------|------|---|-----|-----|---|----|----|-------|
| 59.7 | 7.339 | 2.21 | 40.09 | 14496.2 | 2500 | 2500 | 0.5 | 0 | Bio | 0 | 0 | DA | NE | 0.36 |
| 58.1 | 7.533 | 1.14 | 37.76 | 14505.6 | 2500 | 2500 | 0.9 | 0 | Bio | 500 | 6 | DA | NE | 0.358 |
| 58.6 | 7.453 | 1.59 | 38.45 | 14517.4 | 2500 | 2500 | 0.75 | 0 | Bio | 500 | 3 | DA | NE | 0.357 |
| 57.9 | 7.695 | 0.71 | 37.85 | 14452.1 | 2500 | 2500 | 0.9 | 0 | Bio | 0 | 3 | DA | DA | 0.354 |
| 60.7 | 7.39 | 3.44 | 38.35 | 14460.9 | 2500 | 3750 | 0.75 | 0 | Bio | 0 | 6 | DA | DA | 0.354 |
| 58.6 | 7.618 | 1.16 | 38.72 | 14469.9 | 2500 | 2500 | 0.75 | 0 | Bio | 0 | 0 | DA | DA | 0.354 |
| 56.5 | 7.84 | 4.62 | 30.48 | 13274.4 | 3750 | 2500 | 0.5 | 0 | El | 500 | 6 | NE | DA | 0.353 |
| 60.5 | 7.374 | 3.52 | 37.67 | 14492.6 | 2500 | 3750 | 0.9 | 0 | Bio | 500 | 6 | DA | DA | 0.352 |
| 60.7 | 7.584 | 3.67 | 40.63 | 13973.4 | 2500 | 2500 | 0.75 | 3 | Bio | 0 | 3 | NE | DA | 0.35 |
| 56.2 | 7.814 | 4.48 | 30.35 | 13333.7 | 3750 | 2500 | 0.5 | 0 | V2G | 500 | 6 | NE | DA | 0.35 |
| 61.5 | 7.213 | 4.4 | 39.47 | 14477.2 | 2500 | 3750 | 0.5 | 0 | Bio | 0 | 0 | DA | DA | 0.349 |
| 60.9 | 7.293 | 4.07 | 38.19 | 14501.4 | 2500 | 3750 | 0.75 | 0 | Bio | 500 | 3 | DA | DA | 0.347 |
| 58.4 | 7.543 | 1.57 | 38.59 | 14469.4 | 2500 | 2500 | 0.75 | 0 | Bio | 0 | 3 | DA | NE | 0.346 |
| 57.8 | 7.646 | 1.22 | 37.82 | 14456.6 | 2500 | 2500 | 0.9 | 0 | Bio | 0 | 6 | DA | NE | 0.341 |
| 61.6 | 7.267 | 4.91 | 38.14 | 14467.9 | 3750 | 2500 | 0.75 | 0 | Bio | 0 | 6 | DA | DA | 0.341 |
| 59.3 | 7.802 | 2.82 | 38.59 | 14001.6 | 2500 | 2500 | 0.9 | 3 | Bio | 500 | 6 | NE | DA | 0.338 |
| 57.9 | 7.588 | 1.59 | 37.79 | 14507.1 | 2500 | 2500 | 0.9 | 0 | Bio | 500 | 3 | DA | NE | 0.334 |
| 60.8 | 7.298 | 4.46 | 38.2 | 14496.9 | 2500 | 3750 | 0.75 | 0 | Bio | 500 | 0 | DA | DA | 0.332 |
| 60 | 7.512 | 3.44 | 37.75 | 14449.6 | 2500 | 3750 | 0.9 | 0 | Bio | 0 | 6 | DA | DA | 0.332 |
| 56.4 | 7.963 | 4.73 | 31.08 | 13246.4 | 3750 | 2500 | 0.5 | 0 | El | 0 | 6 | NE | DA | 0.332 |
| 60.5 | 7.588 | 4.13 | 40.64 | 13969.9 | 2500 | 2500 | 0.75 | 3 | Bio | 0 | 0 | NE | DA | 0.331 |
| 60.5 | 7.411 | 4 | 38.38 | 14459.4 | 2500 | 3750 | 0.75 | 0 | Bio | 0 | 3 | DA | DA | 0.33 |
| 60.3 | 7.396 | 4.07 | 37.68 | 14490.1 | 2500 | 3750 | 0.9 | 0 | Bio | 500 | 3 | DA | DA | 0.329 |
| 57.8 | 7.786 | 1.16 | 37.9 | 14458.6 | 2500 | 2500 | 0.9 | 0 | Bio | 0 | 0 | DA | DA | 0.327 |
| 56.1 | 7.934 | 4.72 | 30.94 | 13303.7 | 3750 | 2500 | 0.5 | 0 | V2G | 0 | 6 | NE | DA | 0.325 |
| 61.1 | 7.364 | 4.91 | 37.67 | 14456.6 | 3750 | 2500 | 0.9 | 0 | Bio | 0 | 6 | DA | DA | 0.325 |
| 57.7 | 7.695 | 1.57 | 37.85 | 14458.1 | 2500 | 2500 | 0.9 | 0 | Bio | 0 | 3 | DA | NE | 0.323 |
| 59.2 | 7.817 | 3.29 | 38.6 | 13999.1 | 2500 | 2500 | 0.9 | 3 | Bio | 500 | 3 | NE | DA | 0.32 |
| 58.3 | 7.618 | 2.21 | 38.72 | 14476.9 | 2500 | 2500 | 0.75 | 0 | Bio | 0 | 0 | DA | NE | 0.314 |
| 60.2 | 7.402 | 4.46 | 37.69 | 14485.6 | 2500 | 3750 | 0.9 | 0 | Bio | 500 | 0 | DA | DA | 0.314 |
| 60.4 | 7.43 | 4.4 | 38.41 | 14457.9 | 2500 | 3750 | 0.75 | 0 | Bio | 0 | 0 | DA | DA | 0.313 |
| 59.9 | 7.537 | 4 | 37.76 | 14448.1 | 2500 | 3750 | 0.9 | 0 | Bio | 0 | 3 | DA | DA | 0.31 |
| 59 | 7.81 | 3.75 | 38.59 | 13994.6 | 2500 | 2500 | 0.9 | 3 | Bio | 500 | 0 | NE | DA | 0.303 |
| 58.8 | 7.971 | 3.34 | 38.68 | 13963.6 | 2500 | 2500 | 0.9 | 3 | Bio | 0 | 6 | NE | DA | 0.296 |
| 59.7 | 7.56 | 4.4 | 37.77 | 14446.6 | 2500 | 3750 | 0.9 | 0 | Bio | 0 | 0 | DA | DA | 0.291 |
| 57.4 | 7.786 | 2.21 | 37.9 | 14465.6 | 2500 | 2500 | 0.9 | 0 | Bio | 0 | 0 | DA | NE | 0.285 |
| 58.7 | 7.981 | 3.67 | 38.69 | 13960.1 | 2500 | 2500 | 0.9 | 3 | Bio | 0 | 3 | NE | DA | 0.283 |
| 58.5 | 7.986 | 4.13 | 38.69 | 13956.6 | 2500 | 2500 | 0.9 | 3 | Bio | 0 | 0 | NE | DA | 0.264 |
| 61.4 | 7.773 | 4.37 | 42.21 | 14667.2 | 2500 | 2500 | 0.5 | 0 | Bio | 500 | 6 | NE | DA | 0.247 |
| 61.1 | 7.866 | 4.46 | 42.67 | 14633.2 | 2500 | 2500 | 0.5 | 0 | Bio | 0 | 6 | NE | DA | 0.227 |
| 58.9 | 8.269 | 4.37 | 39.78 | 14645.9 | 2500 | 2500 | 0.75 | 0 | Bio | 500 | 6 | NE | DA | 0.163 |
| 58.4 | 8.41 | 4.46 | 40.01 | 14610.9 | 2500 | 2500 | 0.75 | 0 | Bio | 0 | 6 | NE | DA | 0.136 |
| 57.3 | 8.567 | 4.37 | 38.32 | 14633.6 | 2500 | 2500 | 0.9 | 0 | Bio | 500 | 6 | NE | DA | 0.111 |
| 56.7 | 8.736 | 4.46 | 38.41 | 14597.6 | 2500 | 2500 | 0.9 | 0 | Bio | 0 | 6 | NE | DA | 0.08 |

VI. Rezultati multi-kriterijske analize za 2040.

Tablica 29. prikazuje rezultate multi-kriterijske analize. Rezultati su poredani od sustava s najvećim do sustava s najmanjim rezultatom analize u rasponu 0 do 1.

Tablica 29. Rezultati multi-kriterijske analize za 2040.

| Udio OIE | Emisije CO2 | CEEP | Potrošnja biomase | Ukupni godišnji troškovi | Kapacitet vjetroelektrana | Kapacitet FN elektrana | Udio plina u CHP | električna energija za grijanje kućanstva | Udio V2G | P2H | Fleksibilna potrošnja | Plin u industriji | Baterije | Rezultat |
|----------|-------------|------|-------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|------------------|---|----------|------|-----------------------|-------------------|----------|----------|
| % | Mt | % | TWh | M€ | MW | MW | - | TWh | % | MW | TWh | TWh | MW | - |
| 74.5 | 2.66 | 3.53 | 23.32 | 9847.07 | 5500 | 4250 | 0.25 | 6 | 80 | 500 | 3 | 5 | 2500 | 0.817 |
| 74.5 | 2.65 | 3.49 | 23.28 | 9912.07 | 5500 | 4250 | 0.25 | 6 | 80 | 1000 | 3 | 5 | 2500 | 0.816 |
| 73.8 | 2.73 | 3.46 | 24.41 | 9860.04 | 3500 | 6750 | 0.25 | 6 | 80 | 500 | 7 | 5 | 2500 | 0.771 |
| 73.8 | 2.73 | 3.5 | 24.42 | 9928.04 | 3500 | 6750 | 0.25 | 6 | 80 | 1000 | 7 | 5 | 2500 | 0.763 |
| 73.9 | 2.81 | 2.65 | 25.45 | 10132.07 | 4250 | 5500 | 0.25 | 4 | 80 | 1000 | 3 | 5 | 0 | 0.756 |
| 73.9 | 2.82 | 2.68 | 25.49 | 10081.07 | 4250 | 5500 | 0.25 | 4 | 80 | 500 | 3 | 5 | 2500 | 0.756 |
| 73.9 | 2.81 | 2.65 | 25.44 | 10146.07 | 4250 | 5500 | 0.25 | 4 | 80 | 1000 | 3 | 5 | 2500 | 0.755 |
| 73.9 | 2.82 | 2.72 | 25.5 | 10066.07 | 4250 | 5500 | 0.25 | 4 | 80 | 500 | 3 | 5 | 0 | 0.755 |
| 73.5 | 2.81 | 3.49 | 22.52 | 9889.87 | 5500 | 4250 | 0.5 | 6 | 80 | 1000 | 3 | 5 | 2500 | 0.754 |
| 73.4 | 2.81 | 3.53 | 22.55 | 9825.87 | 5500 | 4250 | 0.5 | 6 | 80 | 500 | 3 | 5 | 2500 | 0.753 |
| 76.2 | 2.65 | 4.28 | 28.32 | 10680.07 | 5500 | 3500 | 0.25 | 6 | 61 | 500 | 3 | 5 | 2500 | 0.702 |
| 74 | 2.84 | 3.63 | 25.83 | 10071.07 | 3500 | 6750 | 0.25 | 4 | 80 | 500 | 3 | 5 | 0 | 0.702 |
| 76.2 | 2.65 | 4.24 | 28.31 | 10747.07 | 5500 | 3500 | 0.25 | 6 | 61 | 1000 | 3 | 5 | 2500 | 0.699 |
| 73.9 | 2.84 | 3.63 | 25.82 | 10084.07 | 3500 | 6750 | 0.25 | 4 | 80 | 500 | 3 | 5 | 2500 | 0.699 |
| 74.7 | 2.77 | 4.45 | 24.94 | 10160.07 | 5500 | 4250 | 0.25 | 4 | 80 | 1000 | 3 | 5 | 2500 | 0.698 |
| 74.7 | 2.78 | 4.52 | 24.98 | 10093.07 | 5500 | 4250 | 0.25 | 4 | 80 | 500 | 3 | 5 | 2500 | 0.698 |
| 74 | 2.84 | 3.63 | 25.82 | 10138.07 | 3500 | 6750 | 0.25 | 4 | 80 | 1000 | 3 | 5 | 0 | 0.696 |
| 73.9 | 2.84 | 3.59 | 25.81 | 10153.07 | 3500 | 6750 | 0.25 | 4 | 80 | 1000 | 3 | 5 | 2500 | 0.695 |
| 76.2 | 2.65 | 4.52 | 28.35 | 10690.04 | 5500 | 3500 | 0.25 | 6 | 61 | 500 | 7 | 5 | 2500 | 0.689 |
| 72.8 | 2.97 | 2.65 | 24.63 | 10124.87 | 4250 | 5500 | 0.5 | 4 | 80 | 1000 | 3 | 5 | 2500 | 0.689 |
| 72.8 | 2.98 | 2.65 | 24.64 | 10110.87 | 4250 | 5500 | 0.5 | 4 | 80 | 1000 | 3 | 5 | 0 | 0.689 |
| 72.7 | 2.98 | 2.68 | 24.67 | 10059.87 | 4250 | 5500 | 0.5 | 4 | 80 | 500 | 3 | 5 | 2500 | 0.687 |
| 76.2 | 2.65 | 4.48 | 28.34 | 10758.04 | 5500 | 3500 | 0.25 | 6 | 61 | 1000 | 7 | 5 | 2500 | 0.686 |
| 72.7 | 2.98 | 2.72 | 24.68 | 10044.87 | 4250 | 5500 | 0.5 | 4 | 80 | 500 | 3 | 5 | 0 | 0.686 |
| 72.2 | 2.96 | 3.46 | 23.29 | 9839.84 | 3500 | 6750 | 0.5 | 6 | 80 | 500 | 7 | 5 | 2500 | 0.676 |
| 75 | 2.83 | 2.37 | 30.82 | 10892.07 | 3500 | 5500 | 0.25 | 4 | 61 | 500 | 3 | 5 | 0 | 0.672 |
| 75 | 2.83 | 2.37 | 30.81 | 10908.07 | 3500 | 5500 | 0.25 | 4 | 61 | 500 | 3 | 5 | 2500 | 0.671 |
| 75 | 2.83 | 2.34 | 30.81 | 10960.07 | 3500 | 5500 | 0.25 | 4 | 61 | 1000 | 3 | 5 | 0 | 0.671 |
| 76.2 | 2.67 | 4.83 | 28.58 | 10656.07 | 4250 | 5500 | 0.25 | 6 | 61 | 500 | 3 | 5 | 0 | 0.669 |
| 75 | 2.83 | 2.34 | 30.8 | 10974.07 | 3500 | 5500 | 0.25 | 4 | 61 | 1000 | 3 | 5 | 2500 | 0.669 |
| 76.2 | 2.67 | 4.83 | 28.58 | 10669.07 | 4250 | 5500 | 0.25 | 6 | 61 | 500 | 3 | 5 | 2500 | 0.668 |
| 72.2 | 2.96 | 3.5 | 23.29 | 9907.84 | 3500 | 6750 | 0.5 | 6 | 80 | 1000 | 7 | 5 | 2500 | 0.668 |
| 74 | 2.85 | 4.23 | 25.93 | 10100.04 | 3500 | 6750 | 0.25 | 4 | 80 | 500 | 7 | 5 | 2500 | 0.667 |
| 76.2 | 2.67 | 4.79 | 28.56 | 10737.07 | 4250 | 5500 | 0.25 | 6 | 61 | 1000 | 3 | 5 | 2500 | 0.665 |
| 76.2 | 2.67 | 4.83 | 28.57 | 10722.07 | 4250 | 5500 | 0.25 | 6 | 61 | 1000 | 3 | 5 | 0 | 0.664 |
| 74 | 2.84 | 4.19 | 25.91 | 10167.04 | 3500 | 6750 | 0.25 | 4 | 80 | 1000 | 7 | 5 | 2500 | 0.664 |
| 73.8 | 2.91 | 4.45 | 24.29 | 10137.87 | 5500 | 4250 | 0.5 | 4 | 80 | 1000 | 3 | 5 | 2500 | 0.645 |
| 73.8 | 2.91 | 4.52 | 24.32 | 10070.87 | 5500 | 4250 | 0.5 | 4 | 80 | 500 | 3 | 5 | 2500 | 0.644 |
| 75.1 | 2.81 | 4.28 | 27.55 | 10658.87 | 5500 | 3500 | 0.5 | 6 | 61 | 500 | 3 | 5 | 2500 | 0.638 |
| 75.1 | 2.81 | 4.24 | 27.55 | 10725.87 | 5500 | 3500 | 0.5 | 6 | 61 | 1000 | 3 | 5 | 2500 | 0.635 |
| 75.2 | 2.81 | 4.52 | 27.57 | 10668.84 | 5500 | 3500 | 0.5 | 6 | 61 | 500 | 7 | 5 | 2500 | 0.626 |
| 72.7 | 3.03 | 3.63 | 24.9 | 10049.87 | 3500 | 6750 | 0.5 | 4 | 80 | 500 | 3 | 5 | 0 | 0.624 |
| 72.7 | 3.03 | 3.63 | 24.9 | 10063.87 | 3500 | 6750 | 0.5 | 4 | 80 | 500 | 3 | 5 | 2500 | 0.624 |
| 75.2 | 2.81 | 4.48 | 27.56 | 10736.84 | 5500 | 3500 | 0.5 | 6 | 61 | 1000 | 7 | 5 | 2500 | 0.623 |
| 72.7 | 3.03 | 3.59 | 24.89 | 10131.87 | 3500 | 6750 | 0.5 | 4 | 80 | 1000 | 3 | 5 | 2500 | 0.62 |
| 72.7 | 3.03 | 3.63 | 24.89 | 10116.87 | 3500 | 6750 | 0.5 | 4 | 80 | 1000 | 3 | 5 | 0 | 0.619 |
| 75 | 2.84 | 4.83 | 27.73 | 10634.87 | 4250 | 5500 | 0.5 | 6 | 61 | 500 | 3 | 5 | 0 | 0.598 |
| 75 | 2.84 | 4.83 | 27.72 | 10648.87 | 4250 | 5500 | 0.5 | 6 | 61 | 500 | 3 | 5 | 2500 | 0.597 |
| 73.8 | 3.02 | 2.37 | 29.89 | 10871.87 | 3500 | 5500 | 0.5 | 4 | 61 | 500 | 3 | 5 | 0 | 0.597 |
| 73.8 | 3.02 | 2.37 | 29.89 | 10886.87 | 3500 | 5500 | 0.5 | 4 | 61 | 500 | 3 | 5 | 2500 | 0.596 |
| 75 | 2.84 | 4.79 | 27.71 | 10716.87 | 4250 | 5500 | 0.5 | 6 | 61 | 1000 | 3 | 5 | 2500 | 0.594 |
| 73.8 | 3.02 | 2.34 | 29.88 | 10939.87 | 3500 | 5500 | 0.5 | 4 | 61 | 1000 | 3 | 5 | 0 | 0.594 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|-------|----------|------|------|------|---|----|------|---|---|------|-------|
| 72.9 | 3.47 | 2.9 | 34.4 | 11914.47 | 3500 | 3500 | 0.5 | 6 | 36 | 1000 | 3 | 8 | 0 | 0.28 |
| 72.9 | 3.47 | 2.9 | 34.39 | 11928.47 | 3500 | 3500 | 0.5 | 6 | 36 | 1000 | 3 | 8 | 2500 | 0.279 |
| 73 | 3.49 | 3.29 | 34.51 | 11861.44 | 3500 | 3500 | 0.5 | 6 | 36 | 500 | 7 | 8 | 0 | 0.259 |
| 73 | 3.49 | 3.29 | 34.5 | 11876.44 | 3500 | 3500 | 0.5 | 6 | 36 | 500 | 7 | 8 | 2500 | 0.258 |
| 73 | 3.49 | 3.29 | 34.5 | 11944.44 | 3500 | 3500 | 0.5 | 6 | 36 | 1000 | 7 | 8 | 2500 | 0.253 |
| 73 | 3.49 | 3.29 | 34.51 | 11930.44 | 3500 | 3500 | 0.5 | 6 | 36 | 1000 | 7 | 8 | 0 | 0.253 |
| 74.2 | 3.4 | 3.69 | 36.83 | 12106.67 | 3500 | 3500 | 0.25 | 4 | 36 | 500 | 3 | 8 | 0 | 0.25 |
| 74.2 | 3.4 | 3.68 | 36.82 | 12122.67 | 3500 | 3500 | 0.25 | 4 | 36 | 500 | 3 | 8 | 2500 | 0.249 |
| 74.2 | 3.4 | 3.69 | 36.83 | 12175.67 | 3500 | 3500 | 0.25 | 4 | 36 | 1000 | 3 | 8 | 0 | 0.245 |
| 74.2 | 3.4 | 3.68 | 36.82 | 12189.67 | 3500 | 3500 | 0.25 | 4 | 36 | 1000 | 3 | 8 | 2500 | 0.244 |
| 74.4 | 3.41 | 3.95 | 36.92 | 12135.64 | 3500 | 3500 | 0.25 | 4 | 36 | 500 | 7 | 8 | 2500 | 0.237 |
| 74.4 | 3.41 | 3.95 | 36.93 | 12119.64 | 3500 | 3500 | 0.25 | 4 | 36 | 500 | 7 | 8 | 0 | 0.237 |
| 74.4 | 3.41 | 3.95 | 36.93 | 12188.64 | 3500 | 3500 | 0.25 | 4 | 36 | 1000 | 7 | 8 | 0 | 0.232 |
| 74.4 | 3.41 | 3.95 | 36.92 | 12202.64 | 3500 | 3500 | 0.25 | 4 | 36 | 1000 | 7 | 8 | 2500 | 0.231 |
| 73.3 | 3.55 | 3.69 | 36.11 | 12085.47 | 3500 | 3500 | 0.5 | 4 | 36 | 500 | 3 | 8 | 0 | 0.192 |
| 73.3 | 3.55 | 3.68 | 36.1 | 12101.47 | 3500 | 3500 | 0.5 | 4 | 36 | 500 | 3 | 8 | 2500 | 0.192 |
| 73.3 | 3.55 | 3.69 | 36.1 | 12154.47 | 3500 | 3500 | 0.5 | 4 | 36 | 1000 | 3 | 8 | 0 | 0.187 |
| 73.3 | 3.55 | 3.68 | 36.1 | 12168.47 | 3500 | 3500 | 0.5 | 4 | 36 | 1000 | 3 | 8 | 2500 | 0.186 |
| 73.4 | 3.56 | 3.95 | 36.16 | 12114.44 | 3500 | 3500 | 0.5 | 4 | 36 | 500 | 7 | 8 | 2500 | 0.175 |
| 73.4 | 3.57 | 3.95 | 36.17 | 12098.44 | 3500 | 3500 | 0.5 | 4 | 36 | 500 | 7 | 8 | 0 | 0.175 |
| 73.4 | 3.57 | 3.95 | 36.17 | 12167.44 | 3500 | 3500 | 0.5 | 4 | 36 | 1000 | 7 | 8 | 0 | 0.17 |
| 73.4 | 3.56 | 3.95 | 36.16 | 12181.44 | 3500 | 3500 | 0.5 | 4 | 36 | 1000 | 7 | 8 | 2500 | 0.169 |

VII. Rezultati multi-kriterijske analize za 2050.

Tablica 30. prikazuje rezultate multi-kriterijske analize. Rezultati su poredani od sustava s najvećim do sustava s najmanjim rezultatom analize u rasponu 0 do 1.

Tablica 30. Rezultati multi-kriterijske analize za 2050.

| Udio OIE | Emisije CO2 | CEEP | Potrošnja biomase | Ukupni godišnji troškovi | Kapacitet vjetroelektrana | Kapacitet FN elektrana | Udio plina u CHP | Promet | Fleksibilna potrošnja | Plin u industriji | Baterije | Toplinska pohrana | Reverzibilne hidroelektrane | Sintetski plin | Rezultat |
|----------|-------------|-------|-------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|------------------|-----------|-----------------------|-------------------|----------|-------------------|-----------------------------|----------------|----------|
| % | Mt | % | TWh | M€ | MW | MW | - | - | TWh | TWh | MW | MW | MW | TWh | - |
| 99.2 | 0.067 | 3.864 | 21.71 | 7328 | 8500 | 7750 | 0 | Sintetska | 7 | 0 | 20000 | 2000 | 275.4 | 3 | 0.782 |
| 99.2 | 0.067 | 3.864 | 21.71 | 7342 | 8500 | 7750 | 0 | Sintetska | 7 | 0 | 20000 | 2000 | 550.8 | 3 | 0.78 |
| 99.3 | 0.067 | 3.692 | 26.6 | 7115 | 6500 | 5250 | 0 | Sintetska | 7 | 0 | 2500 | 2000 | 275.4 | 0 | 0.715 |
| 99.3 | 0.067 | 3.692 | 26.59 | 7128 | 6500 | 5250 | 0 | Sintetska | 7 | 0 | 2500 | 2000 | 550.8 | 0 | 0.714 |
| 99.2 | 0.067 | 3.606 | 26.8 | 7155.6 | 6500 | 6500 | 0 | Sintetska | 8 | 0 | 0 | 2000 | 550.8 | 0 | 0.71 |
| 99.2 | 0.067 | 3.606 | 26.8 | 7155.6 | 6500 | 6500 | 0 | Sintetska | 8 | 0 | 0 | 2000 | 550.8 | 0 | 0.71 |
| 99.2 | 0.067 | 3.607 | 26.8 | 7157.6 | 6500 | 6500 | 0 | Sintetska | 8 | 0 | 2500 | 2000 | 275.4 | 0 | 0.71 |
| 99.2 | 0.067 | 3.607 | 26.8 | 7157.6 | 6500 | 6500 | 0 | Sintetska | 8 | 0 | 2500 | 2000 | 275.4 | 0 | 0.71 |
| 99.3 | 0.067 | 3.693 | 26.59 | 7161 | 6500 | 5250 | 0 | Sintetska | 7 | 0 | 10000 | 2000 | 275.4 | 0 | 0.709 |
| 99.2 | 0.067 | 3.607 | 26.79 | 7170.6 | 6500 | 6500 | 0 | Sintetska | 8 | 0 | 2500 | 2000 | 550.8 | 0 | 0.708 |
| 99.2 | 0.067 | 3.607 | 26.79 | 7170.6 | 6500 | 6500 | 0 | Sintetska | 8 | 0 | 2500 | 2000 | 550.8 | 0 | 0.708 |
| 99.3 | 0.067 | 3.692 | 26.59 | 7173 | 6500 | 5250 | 0 | Sintetska | 7 | 0 | 10000 | 2000 | 550.8 | 0 | 0.708 |
| 99.2 | 0.067 | 3.607 | 26.79 | 7203.6 | 6500 | 6500 | 0 | Sintetska | 8 | 0 | 10000 | 2000 | 275.4 | 0 | 0.704 |
| 99.2 | 0.067 | 3.607 | 26.79 | 7203.6 | 6500 | 6500 | 0 | Sintetska | 8 | 0 | 10000 | 2000 | 275.4 | 0 | 0.704 |
| 99.2 | 0.067 | 3.607 | 26.79 | 7215.6 | 6500 | 6500 | 0 | Sintetska | 8 | 0 | 10000 | 2000 | 550.8 | 0 | 0.703 |
| 99.2 | 0.067 | 3.607 | 26.79 | 7215.6 | 6500 | 6500 | 0 | Sintetska | 8 | 0 | 10000 | 2000 | 550.8 | 0 | 0.703 |
| 99.3 | 0.067 | 3.693 | 26.59 | 7221 | 6500 | 5250 | 0 | Sintetska | 7 | 0 | 20000 | 2000 | 275.4 | 0 | 0.702 |
| 99.3 | 0.067 | 3.692 | 26.59 | 7233 | 6500 | 5250 | 0 | Sintetska | 7 | 0 | 20000 | 2000 | 550.8 | 0 | 0.701 |
| 99.2 | 0.067 | 3.607 | 26.79 | 7263.6 | 6500 | 6500 | 0 | Sintetska | 8 | 0 | 20000 | 2000 | 275.4 | 0 | 0.697 |
| 99.2 | 0.067 | 3.607 | 26.79 | 7263.6 | 6500 | 6500 | 0 | Sintetska | 8 | 0 | 20000 | 2000 | 275.4 | 0 | 0.697 |
| 99.2 | 0.067 | 3.607 | 26.79 | 7275.6 | 6500 | 6500 | 0 | Sintetska | 8 | 0 | 20000 | 2000 | 550.8 | 0 | 0.695 |
| 99.2 | 0.067 | 3.607 | 26.79 | 7275.6 | 6500 | 6500 | 0 | Sintetska | 8 | 0 | 20000 | 2000 | 550.8 | 0 | 0.695 |
| 106.4 | -0.865 | 4.087 | 26.98 | 7317 | 8500 | 7750 | 0.25 | Sintetska | 7 | 0 | 20000 | 2000 | 550.8 | 5 | 0.693 |
| 106.4 | -0.865 | 4.115 | 26.98 | 7304 | 8500 | 7750 | 0.25 | Sintetska | 7 | 0 | 20000 | 2000 | 275.4 | 5 | 0.693 |
| 98.8 | 0.124 | 3.607 | 26.52 | 7139.6 | 6500 | 6500 | 0.25 | Sintetska | 8 | 0 | 2500 | 2000 | 275.4 | 0 | 0.684 |
| 98.8 | 0.125 | 3.606 | 26.52 | 7137.6 | 6500 | 6500 | 0.25 | Sintetska | 8 | 0 | 0 | 2000 | 550.8 | 0 | 0.684 |
| 98.8 | 0.124 | 3.607 | 26.51 | 7152.6 | 6500 | 6500 | 0.25 | Sintetska | 8 | 0 | 2500 | 2000 | 550.8 | 0 | 0.683 |
| 98.8 | 0.124 | 3.607 | 26.51 | 7185.6 | 6500 | 6500 | 0.25 | Sintetska | 8 | 0 | 10000 | 2000 | 275.4 | 0 | 0.678 |
| 98.8 | 0.124 | 3.607 | 26.51 | 7197.6 | 6500 | 6500 | 0.25 | Sintetska | 8 | 0 | 10000 | 2000 | 550.8 | 0 | 0.677 |
| 98.8 | 0.124 | 3.607 | 26.51 | 7245.6 | 6500 | 6500 | 0.25 | Sintetska | 8 | 0 | 20000 | 2000 | 275.4 | 0 | 0.671 |
| 98.8 | 0.124 | 3.607 | 26.51 | 7257.6 | 6500 | 6500 | 0.25 | Sintetska | 8 | 0 | 20000 | 2000 | 550.8 | 0 | 0.67 |
| 94.3 | 0.679 | 2.449 | 21.82 | 7280.6 | 6500 | 7750 | 0 | Sintetska | 8 | 0 | 20000 | 2000 | 275.4 | 0 | 0.524 |
| 94.3 | 0.679 | 2.449 | 21.82 | 7294.6 | 6500 | 7750 | 0 | Sintetska | 8 | 0 | 20000 | 2000 | 550.8 | 0 | 0.523 |
| 99.2 | 0.067 | 3.656 | 27.67 | 8743.3 | 8500 | 7750 | 0 | V2G | 8 | 0 | 20000 | 2000 | 550.8 | 0 | 0.491 |
| 99.2 | 0.067 | 3.656 | 27.67 | 8743.3 | 8500 | 7750 | 0 | V2G | 8 | 0 | 20000 | 2000 | 550.8 | 0 | 0.491 |
| 99.2 | 0.067 | 3.686 | 27.67 | 8731.3 | 8500 | 7750 | 0 | V2G | 8 | 0 | 20000 | 2000 | 275.4 | 0 | 0.49 |
| 99.2 | 0.067 | 3.686 | 27.67 | 8731.3 | 8500 | 7750 | 0 | V2G | 8 | 0 | 20000 | 2000 | 275.4 | 0 | 0.49 |
| 93.5 | 0.774 | 2.449 | 21.36 | 7263.6 | 6500 | 7750 | 0.25 | Sintetska | 8 | 0 | 20000 | 2000 | 275.4 | 0 | 0.476 |
| 93.5 | 0.774 | 2.449 | 21.36 | 7277.6 | 6500 | 7750 | 0.25 | Sintetska | 8 | 0 | 20000 | 2000 | 550.8 | 0 | 0.474 |
| 99.1 | 0.067 | 4.016 | 27.54 | 8616.7 | 7750 | 7750 | 0 | V2G | 7 | 0 | 10000 | 2000 | 275.4 | 0 | 0.474 |
| 99.1 | 0.067 | 4.015 | 27.54 | 8629.7 | 7750 | 7750 | 0 | V2G | 7 | 0 | 10000 | 2000 | 550.8 | 0 | 0.472 |
| 99.2 | 0.067 | 4.049 | 27.47 | 8689.7 | 8500 | 6500 | 0 | V2G | 7 | 0 | 20000 | 2000 | 275.4 | 0 | 0.467 |
| 99.1 | 0.067 | 4.016 | 27.54 | 8676.7 | 7750 | 7750 | 0 | V2G | 7 | 0 | 20000 | 2000 | 275.4 | 0 | 0.466 |
| 99.2 | 0.067 | 4.047 | 27.47 | 8702.7 | 8500 | 6500 | 0 | V2G | 7 | 0 | 20000 | 2000 | 550.8 | 0 | 0.465 |
| 99.1 | 0.067 | 4.015 | 27.54 | 8689.7 | 7750 | 7750 | 0 | V2G | 7 | 0 | 20000 | 2000 | 550.8 | 0 | 0.465 |
| 94.4 | 0.679 | 3.268 | 21.47 | 7314.6 | 7750 | 6500 | 0 | Sintetska | 8 | 0 | 20000 | 2000 | 275.4 | 0 | 0.458 |
| 94.4 | 0.679 | 3.267 | 21.47 | 7327.6 | 7750 | 6500 | 0 | Sintetska | 8 | 0 | 20000 | 2000 | 550.8 | 0 | 0.456 |
| 98.4 | 0.169 | 3.656 | 27.17 | 8726.3 | 8500 | 7750 | 0.25 | V2G | 8 | 0 | 20000 | 2000 | 550.8 | 0 | 0.44 |
| 98.4 | 0.169 | 3.686 | 27.17 | 8714.3 | 8500 | 7750 | 0.25 | V2G | 8 | 0 | 20000 | 2000 | 275.4 | 0 | 0.439 |

Luka Herc

Diplomski rad

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|--------|------|------|------|-----------|---|---|-------|------|-------|---|-------|
| 93.8 | 0.756 | 3.268 | 21.09 | 7297.6 | 7750 | 6500 | 0.25 | Sintetska | 8 | 0 | 20000 | 2000 | 275.4 | 0 | 0.42 |
| 93.8 | 0.756 | 3.267 | 21.09 | 7310.6 | 7750 | 6500 | 0.25 | Sintetska | 8 | 0 | 20000 | 2000 | 550.8 | 0 | 0.419 |