

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. Procesi 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 energetskeg 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 energetskeg 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 energetskeg 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 termoeenergetskih postrojenja te implementacije mjera fleksibilnosti i pohrane energije. Primjenom navedenih promjena u energetskeg 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 uvozno 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 termoelektrana 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 pouzdavanja u usluge balansiranja ili preuzimanja viška energije iz VOIE jer se može očekivati da će i sustavi okolnih država postići energetska tranziciju. 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. Provođi 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 aluminija	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. Procesi 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

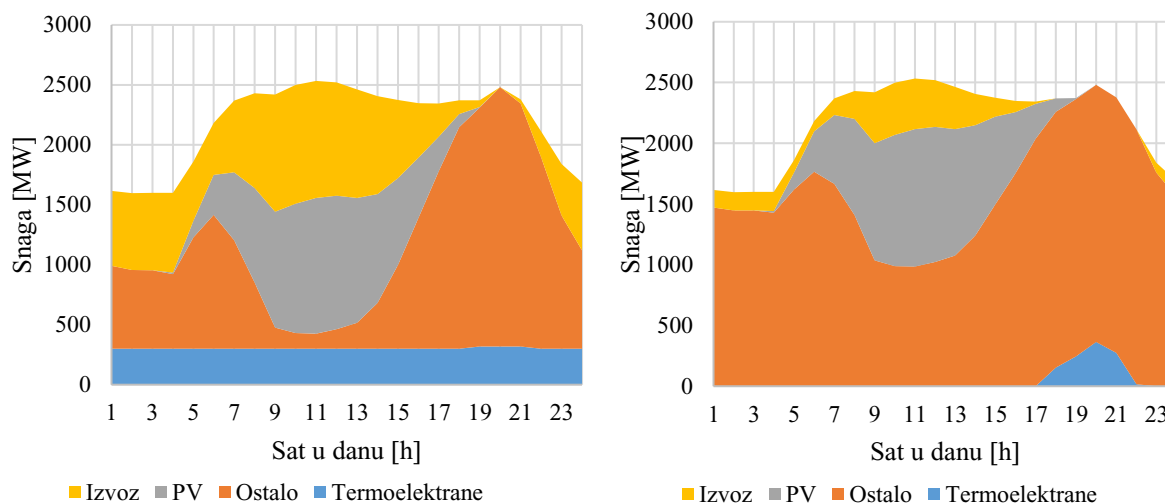
Drobljenje i separacija	1 h	4 h	1 do 2 puta dnevno uz obavijest 4 do 8 sati prije korištenja	Kapacitet i energija
Rezanje metala	1 h	4 h	1 do 2 puta dnevno uz obavijest 4 do 8 sati prije korištenja	Kapacitet i energija
Završno sklapanje	0.5 h	1 h	Manje od jednom dnevno	Rezerva i fleksibilnost
			Kontinuirano 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 termoelektrana 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

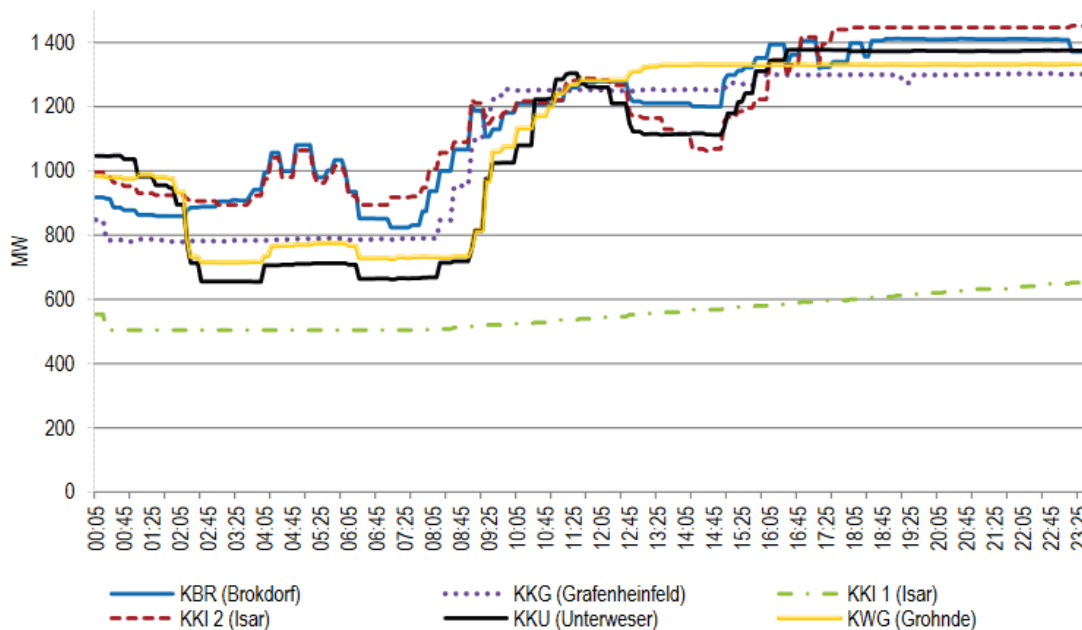
te time smanjiti izvoz ukoliko je ova mogućnost primjenjiva kao i smanjenje potrošnje goriva u termoelektranama.



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.



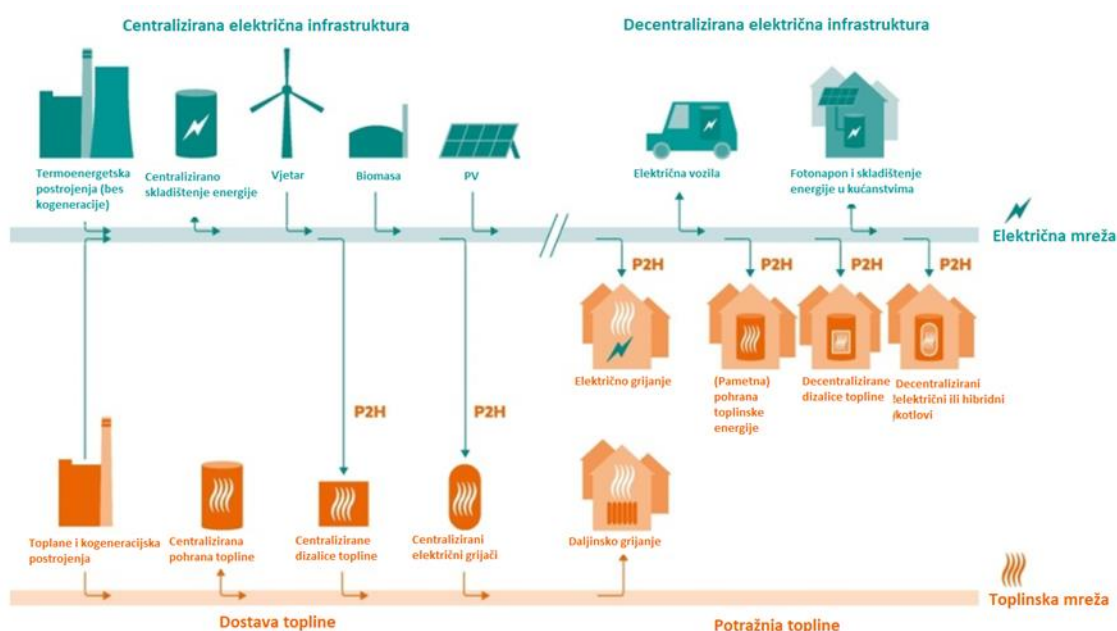
Slika 2. Pogon nuklearnih elektrana pri djelomičnom opterećenju [15]

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 eksergije 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.

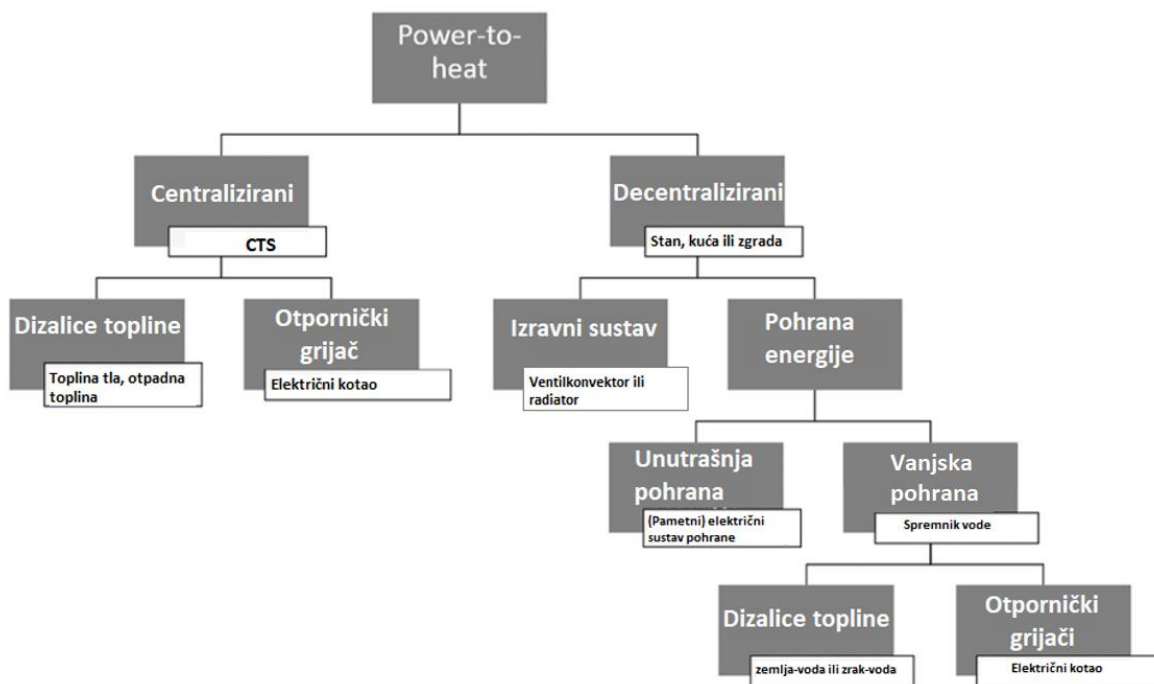


Slika 3. Mogućnosti povezivanja sektora zagrijavanja prostora i elektro-energetskog sustava [17]

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.

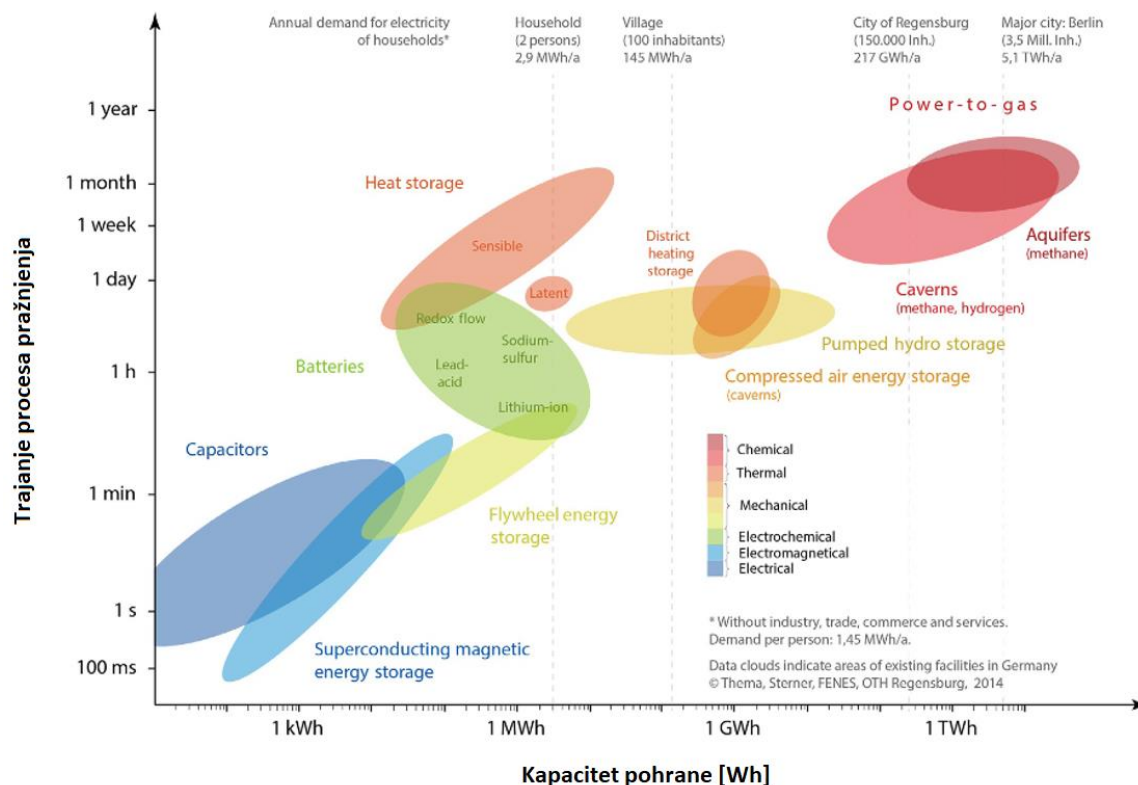
Drugi problem koji se može riješiti korištenjem električnih vozila dolazi do izražaja ako ih se ne promatra samo kao vozilo, nego i kao sustav pohrane energije, a time i svojevrzne elektrane. Uz primjenu tehnologije V2G omogućuje se povrat dijela električne energije pohranjene u bateriji samog vozila 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



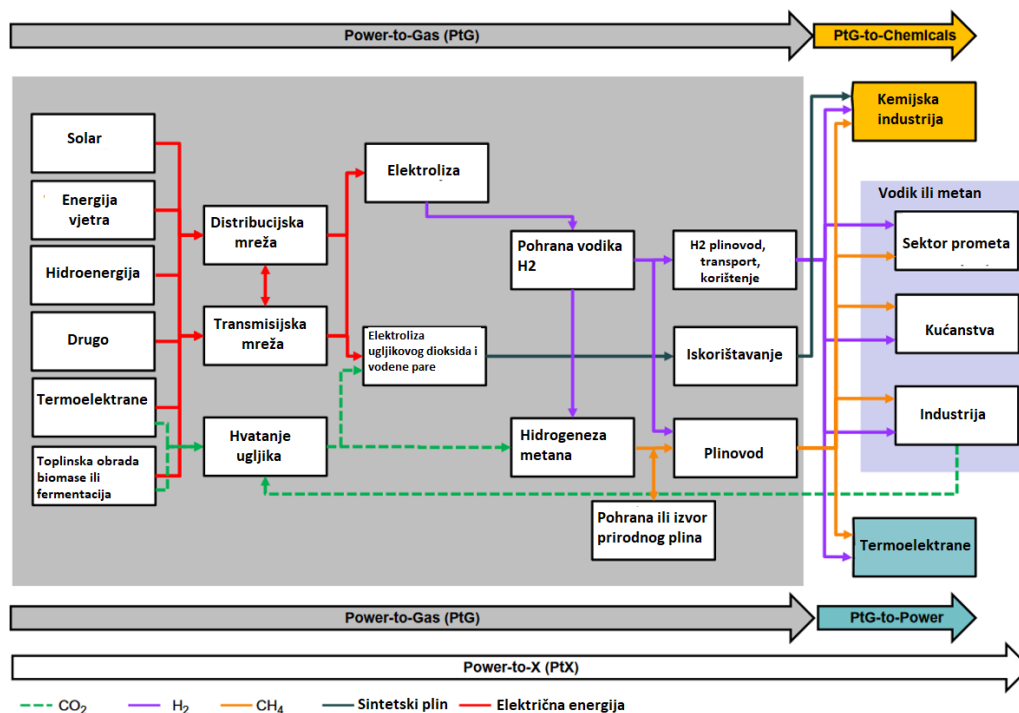
Slika 5. Tehnologije pohrane energije [20]

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

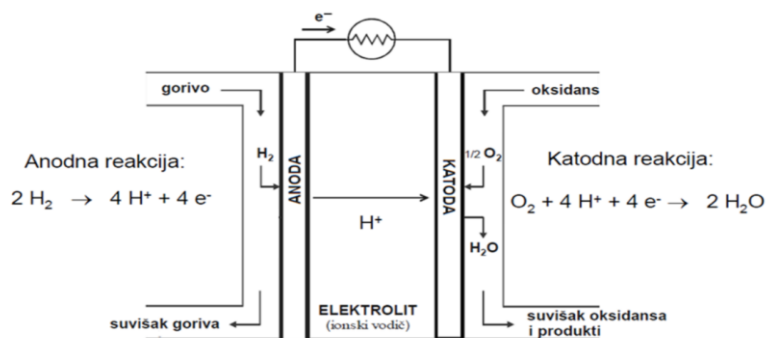
prirodni plin. Kod sinteze tekućih goriva, u svrhu pohrane se mogu koristiti postojeći kapaciteti pohrane tekućih naftnih derivata ili sirove nafte



Slika 6. Koncept P2G sustava

Alternativni način korištenja ove tehnologije od prikazanog je da se umjesto u svrhu proizvodnje sintetskih goriva, vodik H₂ 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.

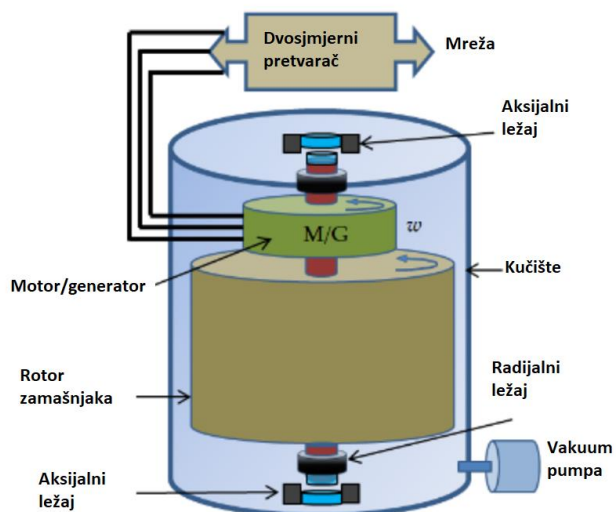
2.5.2.1. Zamašnjaci

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 %.

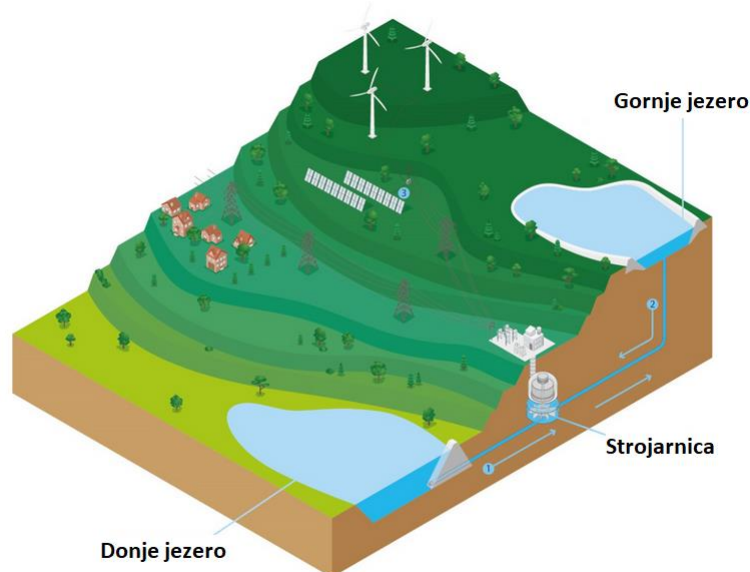
Trenutno se najčešće primjene ovakvog sustava nalaze u regulaciji mreže, posebice kod velikih potrošača kao sustava podzemne željeznice.



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.

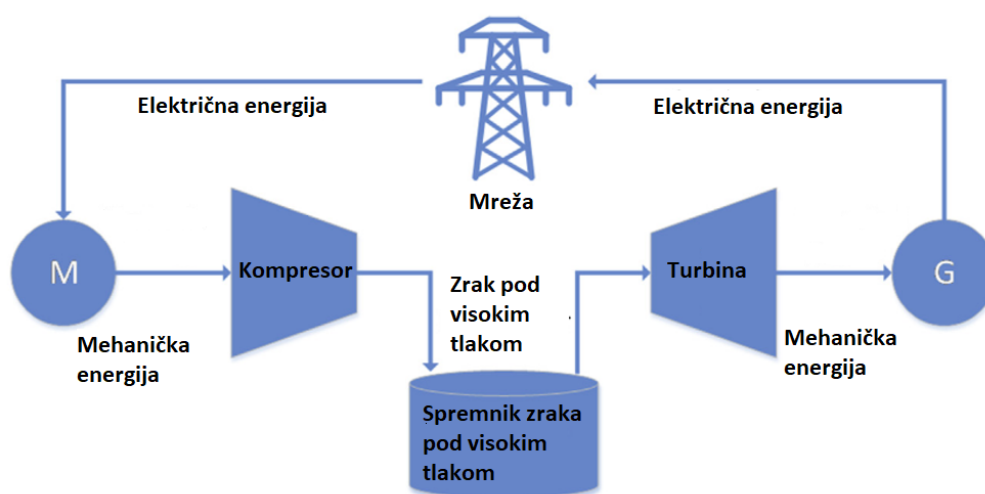


Slika 9. Shematski prikaz sustava reverzibilne hidroelektrane [24]

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].



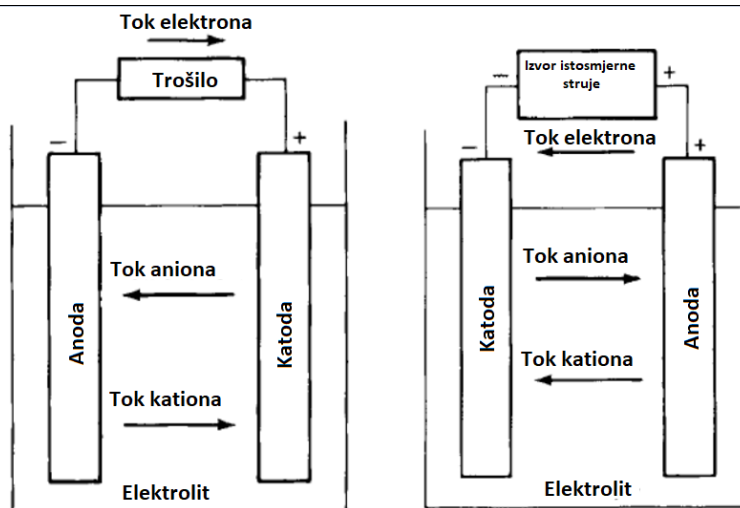
Slika 10. Shema CAES sustava [26]

2.5.3. Električne baterije

Električne baterije predstavljaju elektrokemijsku pohranu električne energije.

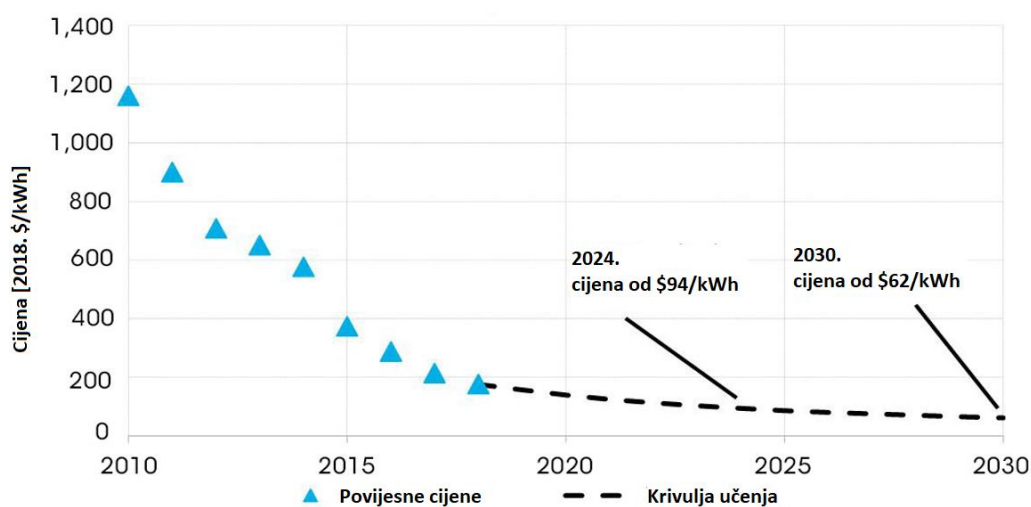
Sastoji se od dva različita metala od kojih jedan djeluje kao anoda, a drugi kao katoda koji su odvojeni elektrolitom. Elektrolit je najčešće u tekućem stanju, ali kod specijalnih primjena se mogu koristiti te se razvijaju sustavi sa krutim elektrolitom. Kruti elektrolit omogućuje postizanje veće trajnosti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



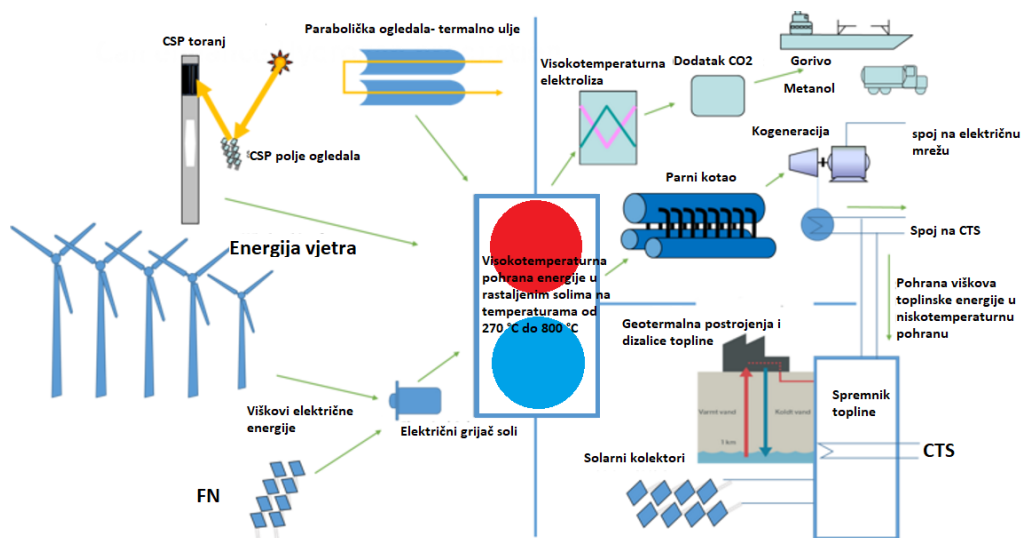
Slika 12. Specifična cijena li-ion baterija [30]

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]

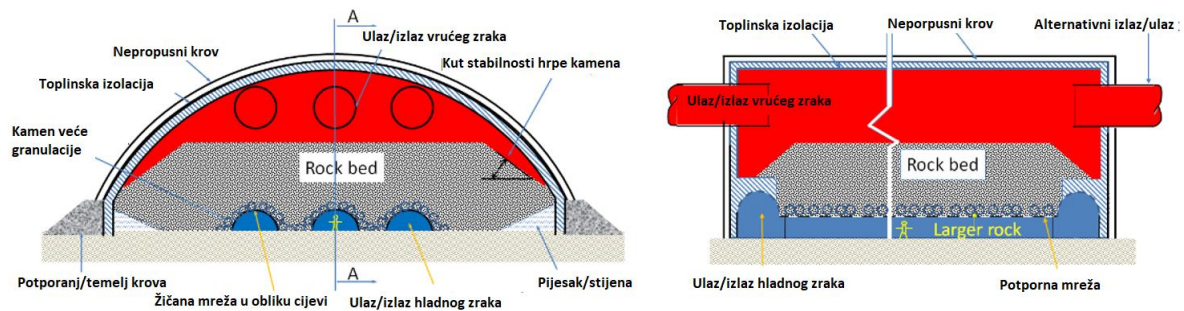
Princip pohrane energije u obliku zagrijanih stijena se zasniva na pohrani toplinske energije u stijenama. Sustav se sastoji od 4 glavna dijela:

- 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].

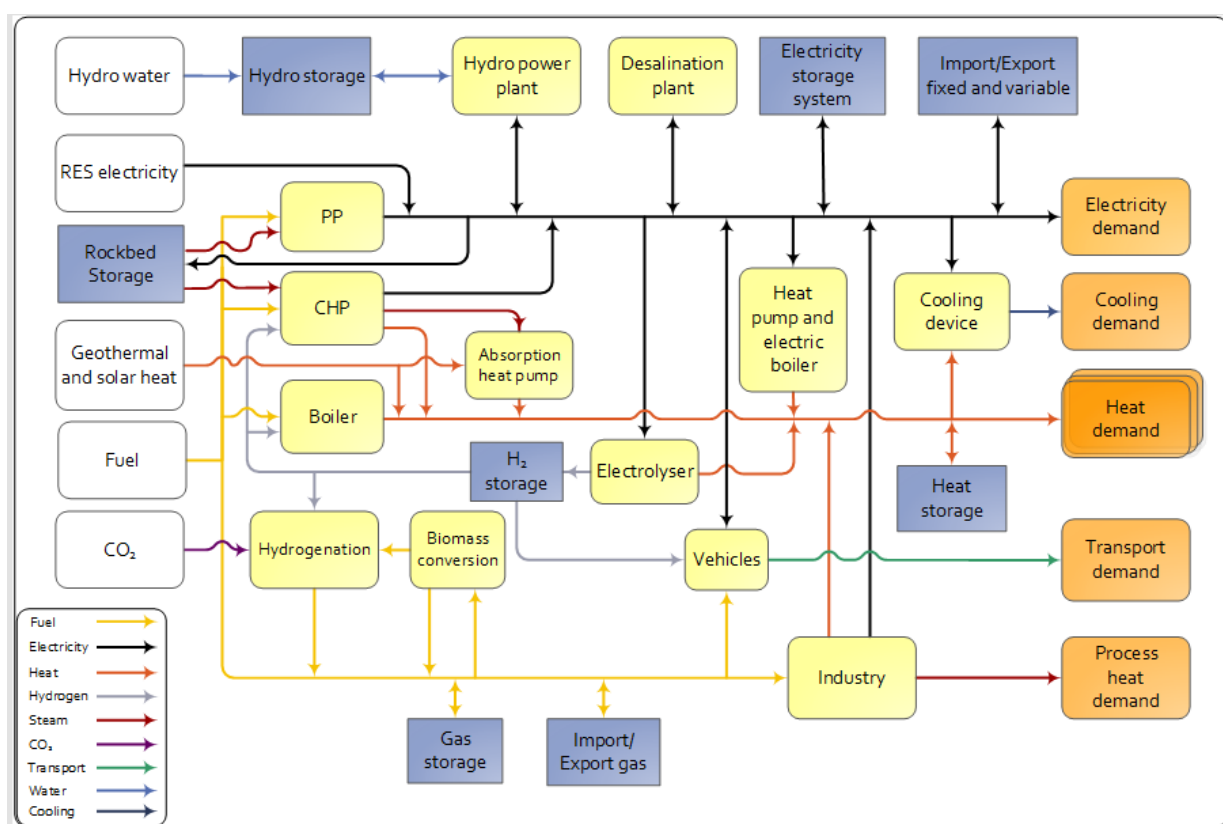
Investicijski trošak ovog sustava značajno ovisi o kapacitetu i kreće se između 5 i 10 \$ /kWh za sustave kapaciteta iznad 1 GWh [34].



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 energetskih 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.



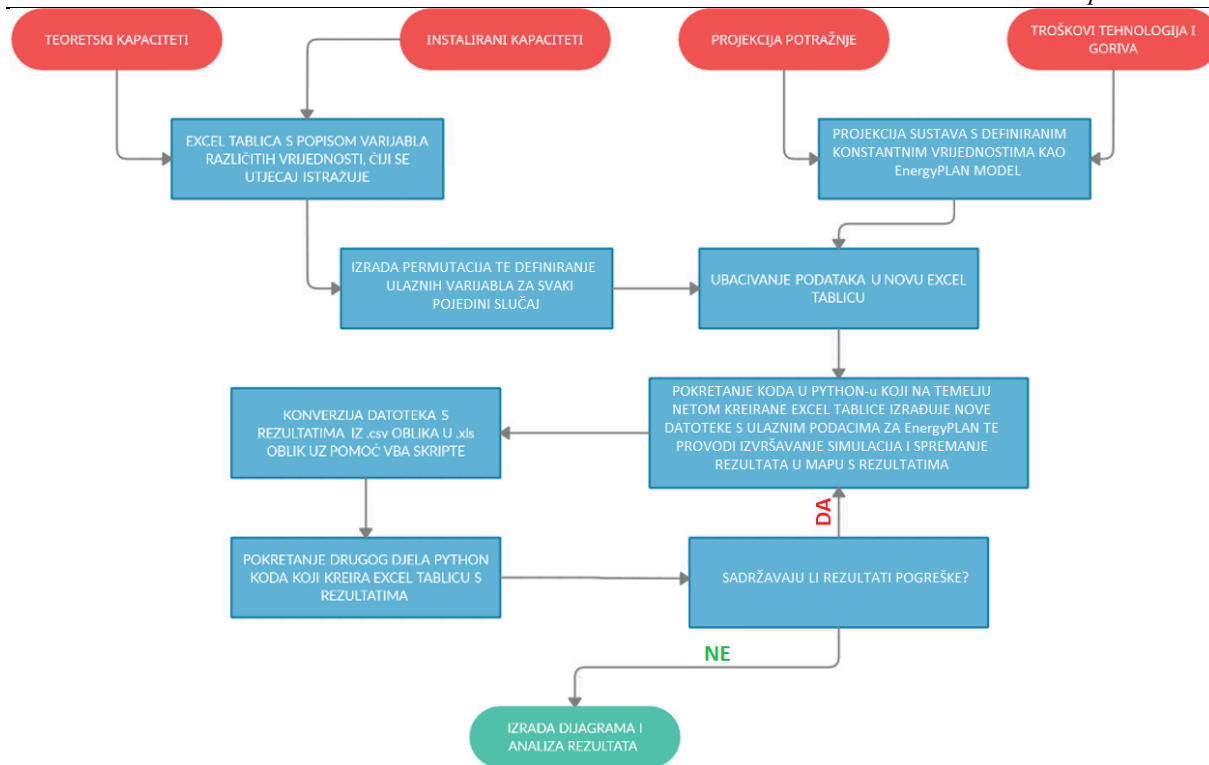
Slika 15. Shema alata EnergyPLAN [35]

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

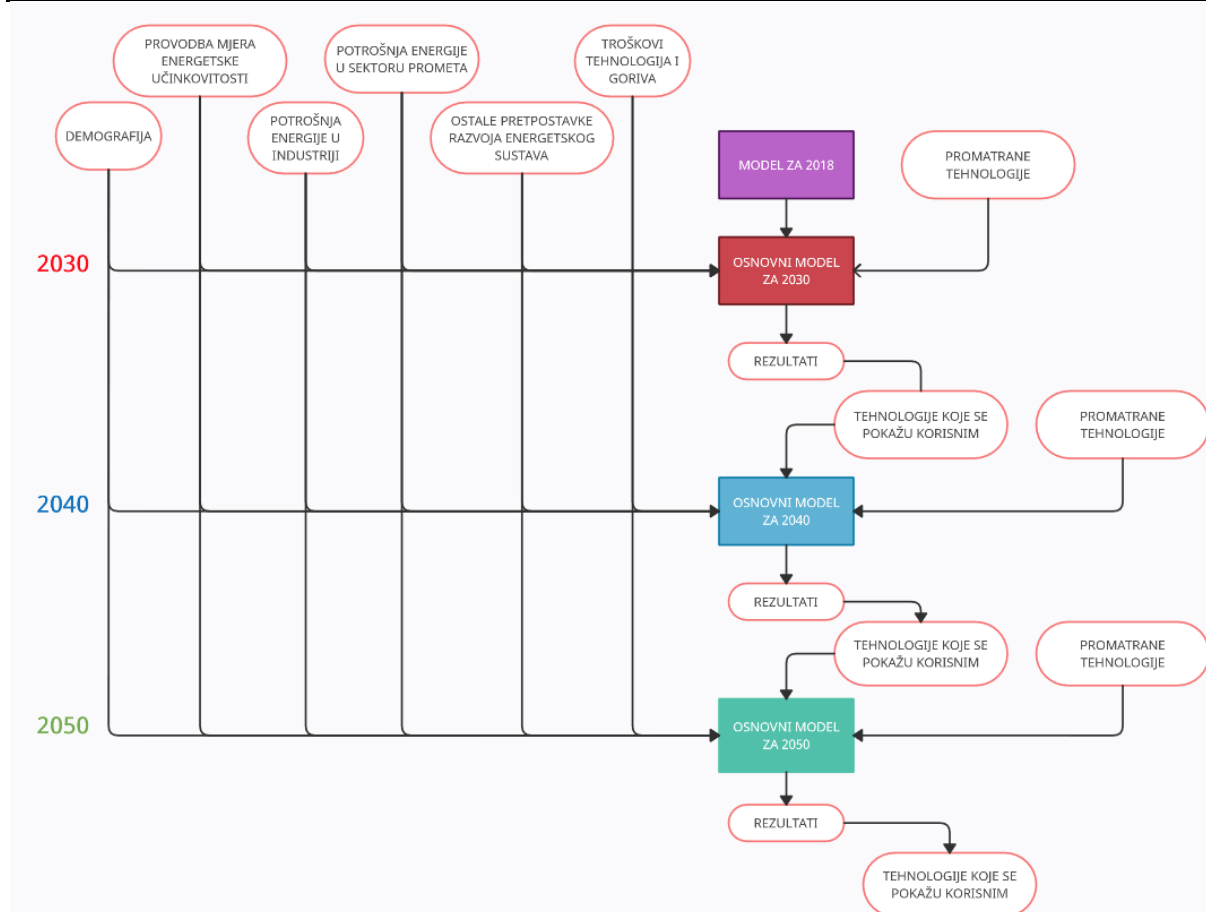
Dijagram toka provedbe simulacija prikazuje Slika 16. Prvi korak je u prikupljanju podataka o teoretskim kapacitetima, instaliranim kapacitetima, projekcijama potrošnje energije u svim sektorima te o troškovima tehnologija i goriva. Nakon prikupljanja podataka i izrade krivulja, za svaku od godina koje 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 računalu 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 računa 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 projektну 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:

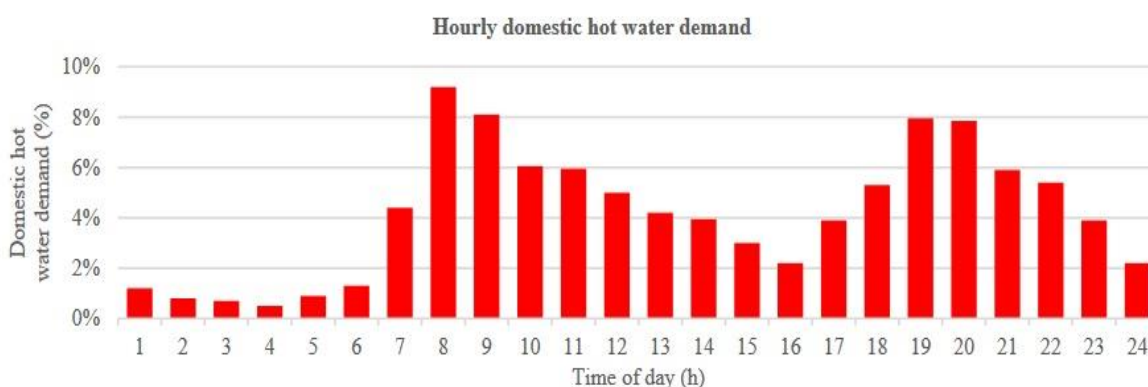
Q_{PTVsat} – satna toplinska potrošnja potrošne tople vode [MWh]

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 [°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 Renewablesninja [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 „Renewablesninja“ [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.

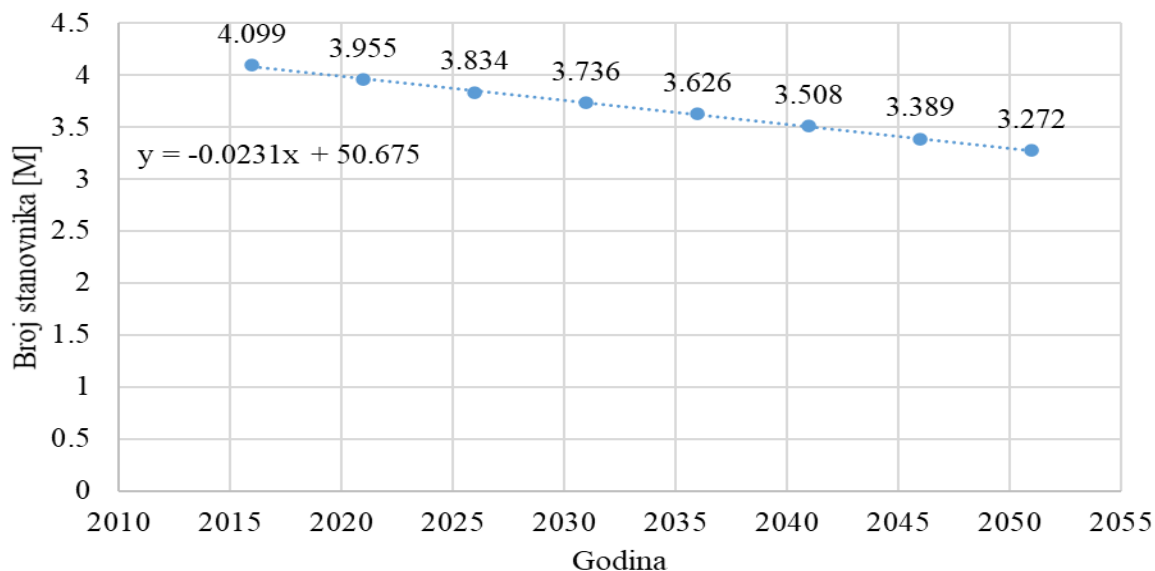
4. PRIMJENA NA SLUČAJU HRVATSKE

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

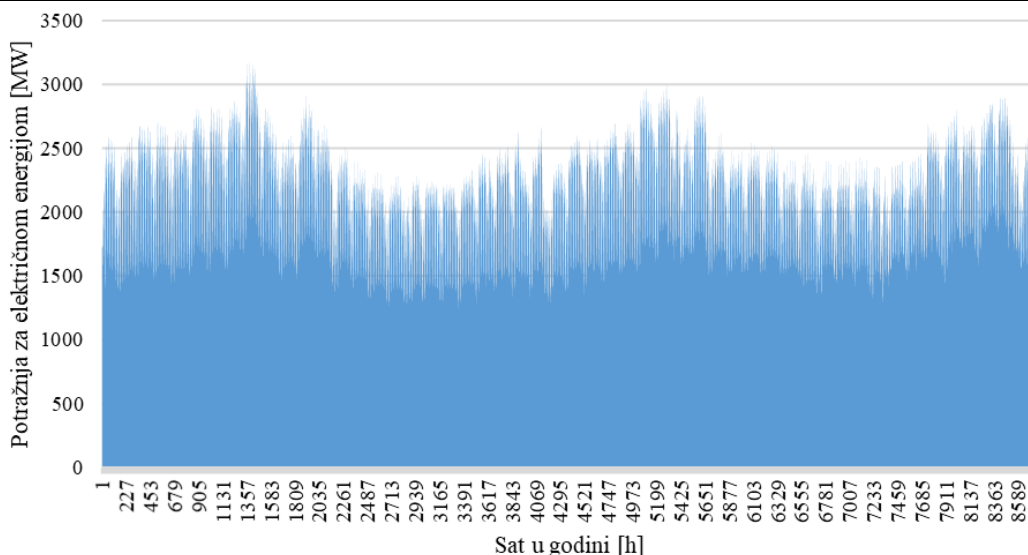
Projekciju demografskih kretanja unutar Republike Hrvatske prikazuje Slika 19. Predviđa se nastavak negativnog trenda te dostizanje populacije od 3,272 milijuna do sredine stoljeća.



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 energetski 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.

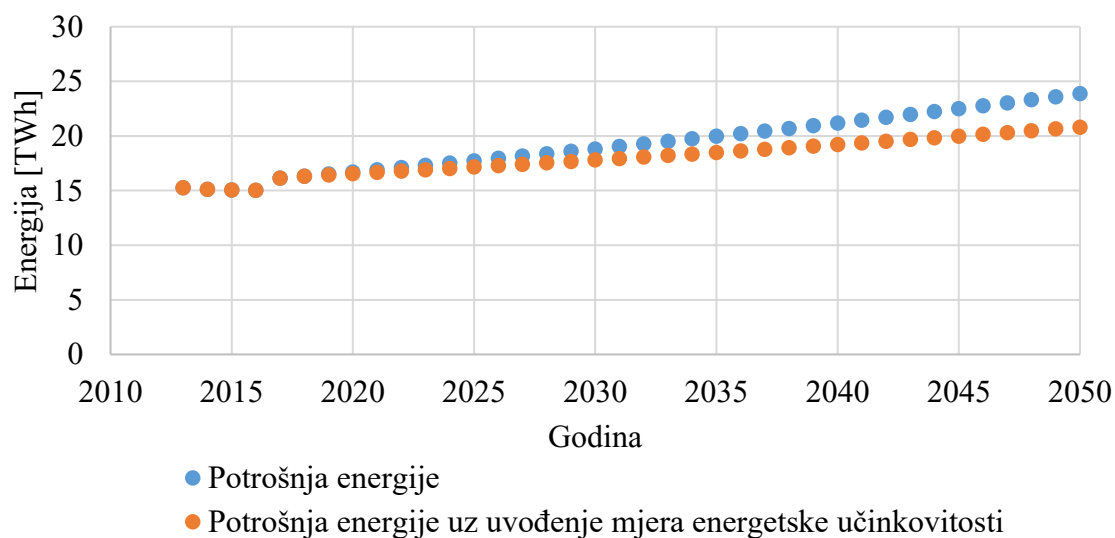
Tablica 8. Potrošnja primarne energije u industriji, poljoprivredi i građevinskom sektoru [5]

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 proputovane 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]

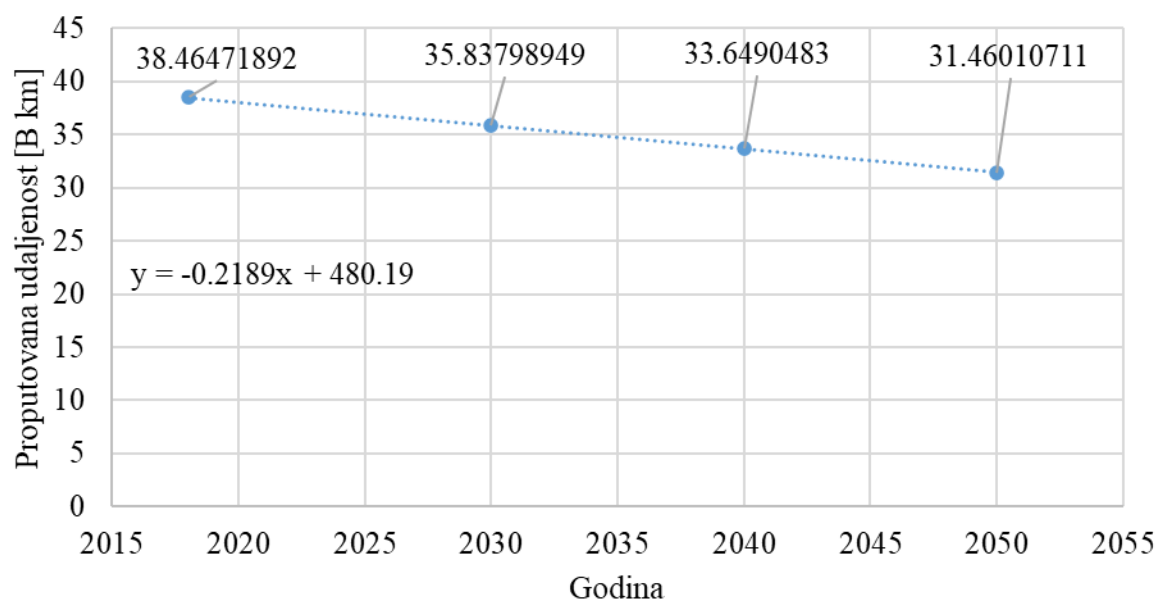
Gorivo	Iznos	Jedinica
Benzin	6,04	TWh
Dizel	17,16	TWh
Zrakoplovno gorivo	0,006	TWh
Mješavina benzinskog goriva i biogoriva	0,005	TWh
Mješavina dizelskog goriva i biodizela	0,305	TWh
Biodizel	0,005	TWh
Kerozin	0,118	TWh
LPG	0,92	TWh
Prirodni plin	0,049	TWh
Ukupno fosilna goriva	24,375	TWh
Ukupno biogoriva	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 vjetra i energije Sunca. Pretpostavlja se povećanje kapaciteta energije vjetra 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.

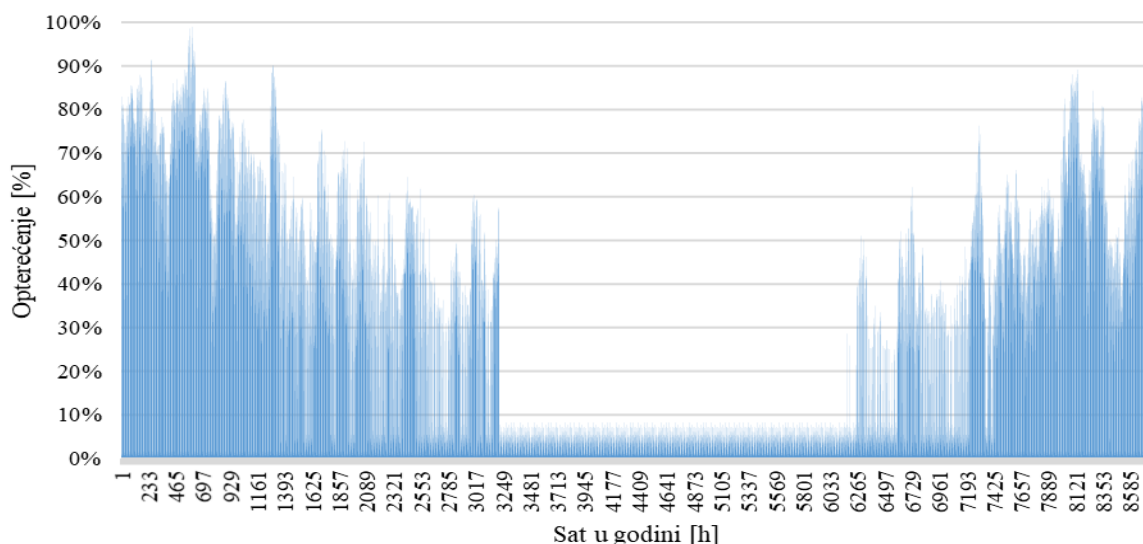
Tablica 21. Cijene emisijskih jedinica

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

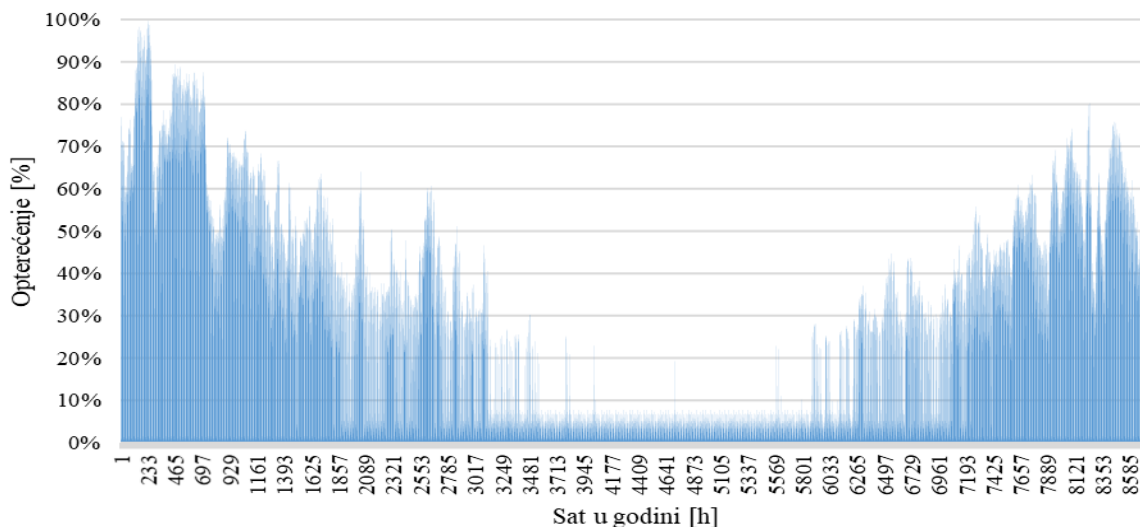
4.3. Krivulje

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.



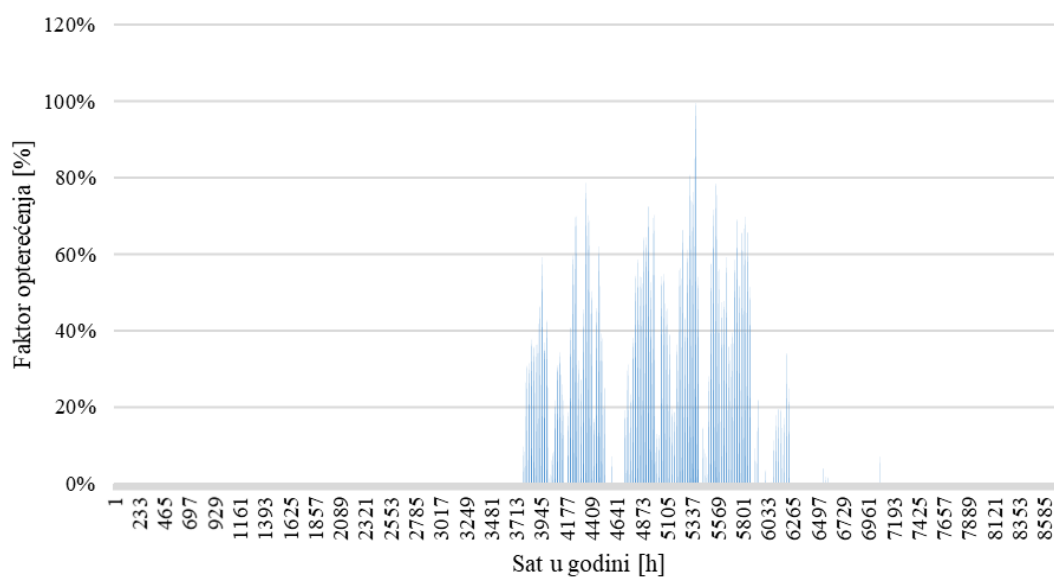
Slika 23. Toplinske potrebe u CTS-u



Slika 24. Toplinske potrebe kod individualnih sustava grijanja

4.3.2. Rashlađivanje prostora

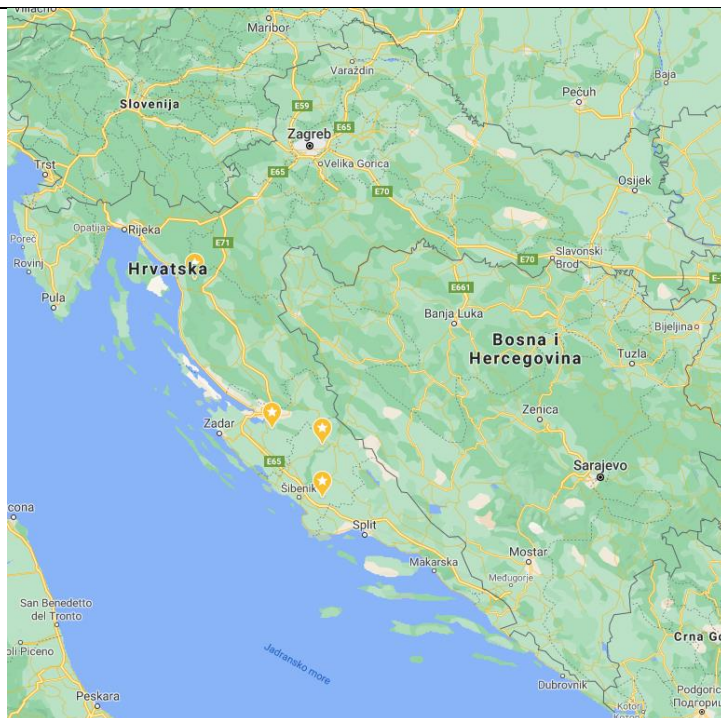
Potrošnja energije za hlađenje se također modelira stupanj-sat metodom. U ovom se slučaju na temelju razlike vanjske temperature [43] i željene temperature određuje potrošnja energije. Uvedene pretpostavke i detaljan postupak su prikazani u poglavlju 3.4.2. Raspodjelu potrošnje energije u svrhu hlađenja 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.



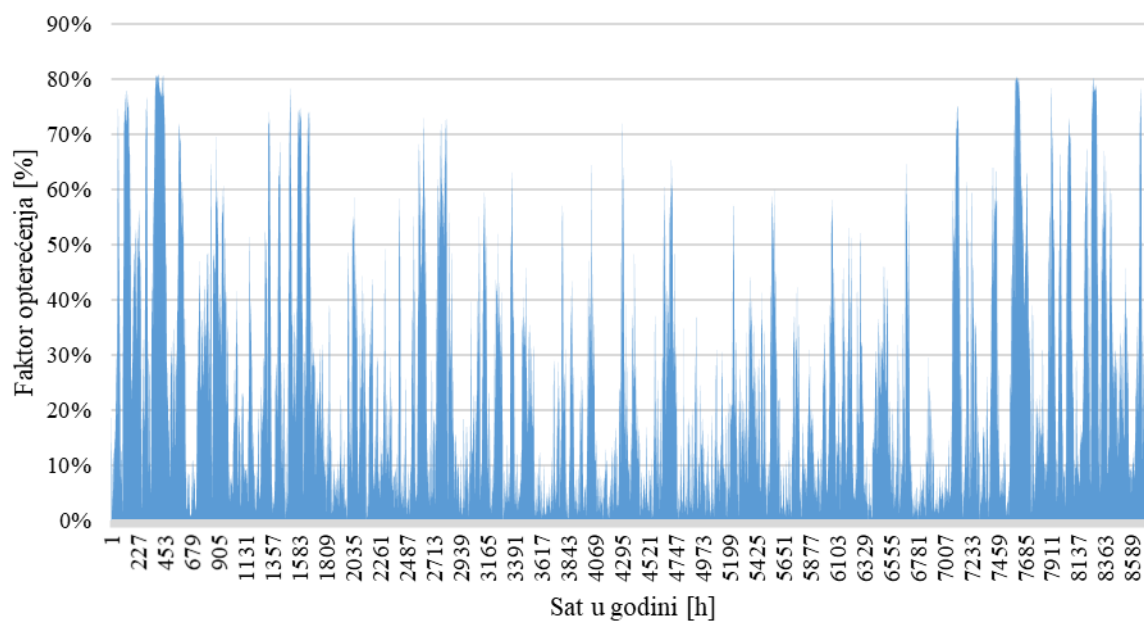
Slika 25. Rashladne potrebe

4.3.3. Produkcija 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.



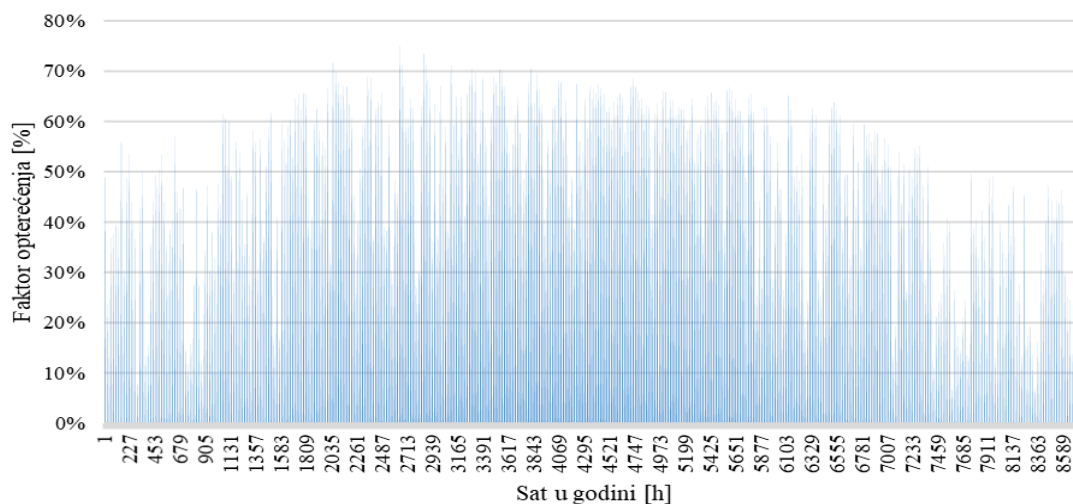
Slika 26. Lokacije za izradu krivulja energije vjetra [41], [67]



Slika 27. Proizvodnja iz vjetroelektrana

4.3.4. Proizvodnja iz energije sunca

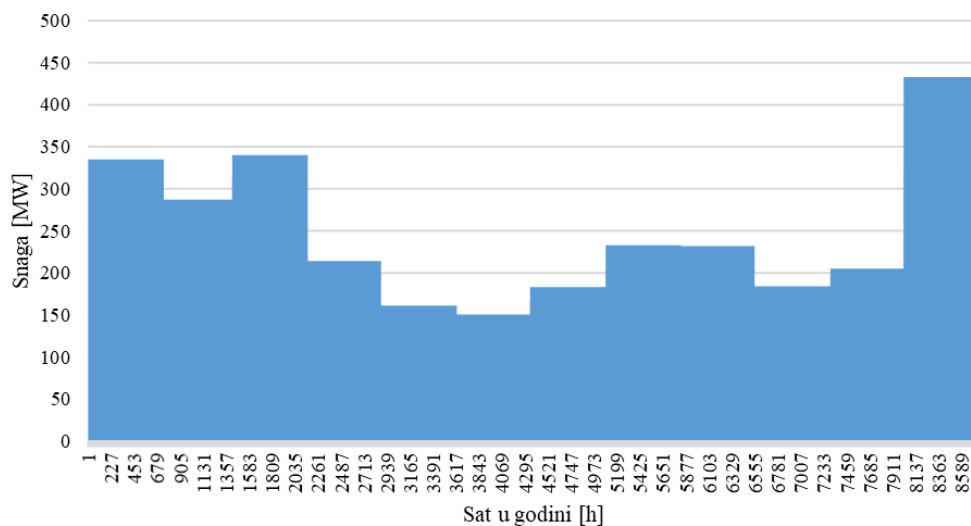
Distribuciju proizvodnje električne energije iz fotonaponskih sustava [43] prikazuje Slika 28 [44]. Metoda određivanja krivulje je prikazana u poglavlju: 3.4.4.



Slika 28. Proizvodnja iz FN elektrana

4.3.5. Proizvodnja iz akumulacijskih hidroelektrana

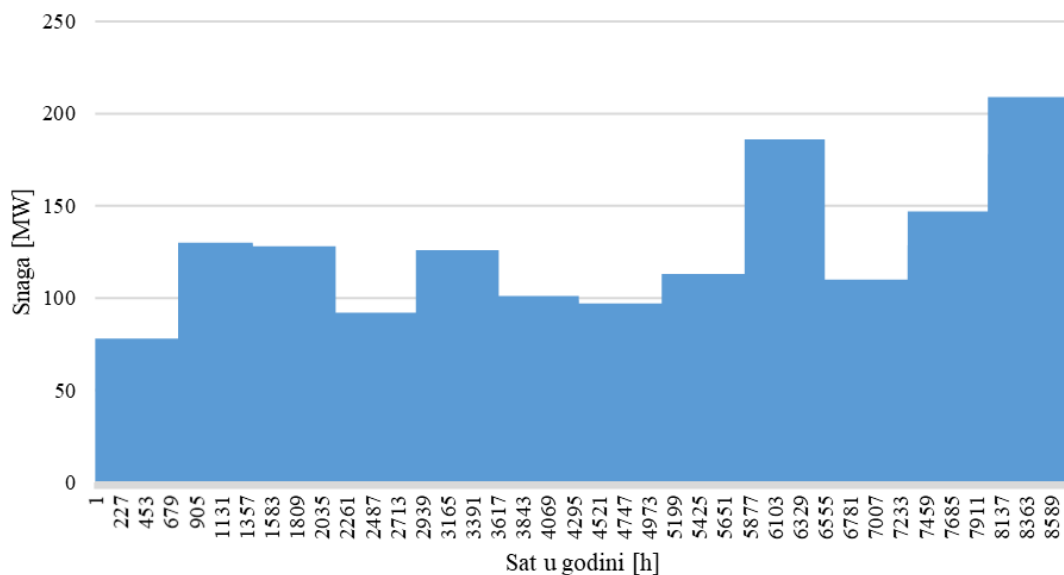
Distribuciju proizvodnje iz akumulacijskih hidroelektrana za 2017. godinu koja se koristi u slučajevima za 2030., 2040., i 2050. godinu prikazuje Slika 29. Najveća proizvodnja se odvija tokom zimskih i proljetnih mjeseca, dok je tokom ljetnih proizvodnja gotovo duplo manja.



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

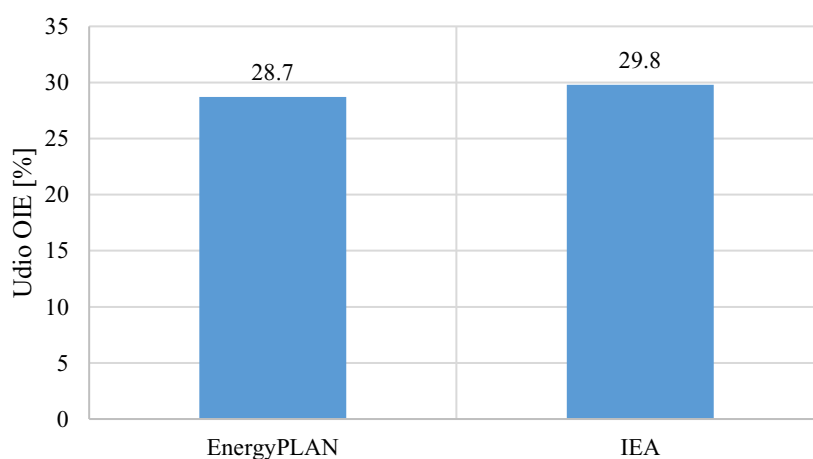
5. REZULTATI

5.1. Rezultati za Hrvatsku 2018

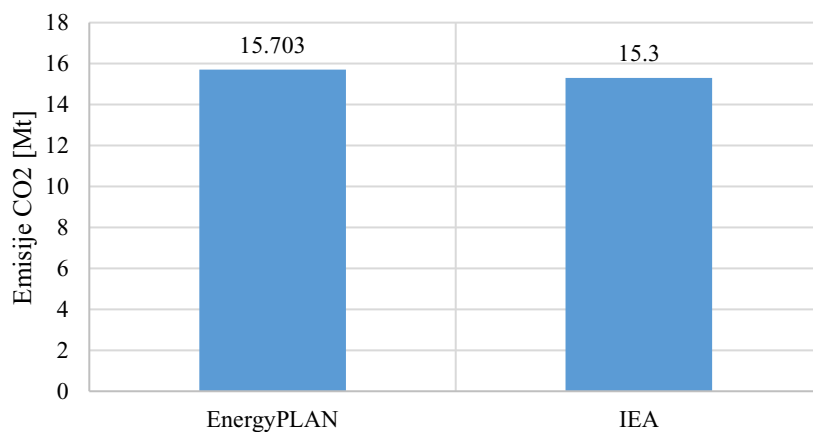
Rezultate za referentni model i stvarne podatke o sustavu u 2018. prikazuje Tablica 24. Rezultati iz simulacije unutar programa EnergyPLAN se uspoređuju s dostupnim podacima iz IEA te dolazi do podudaranja rezultata kao što prikazuje Tablica 24. Rezultate prikazuju također Slika 31. i Slika 32.

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

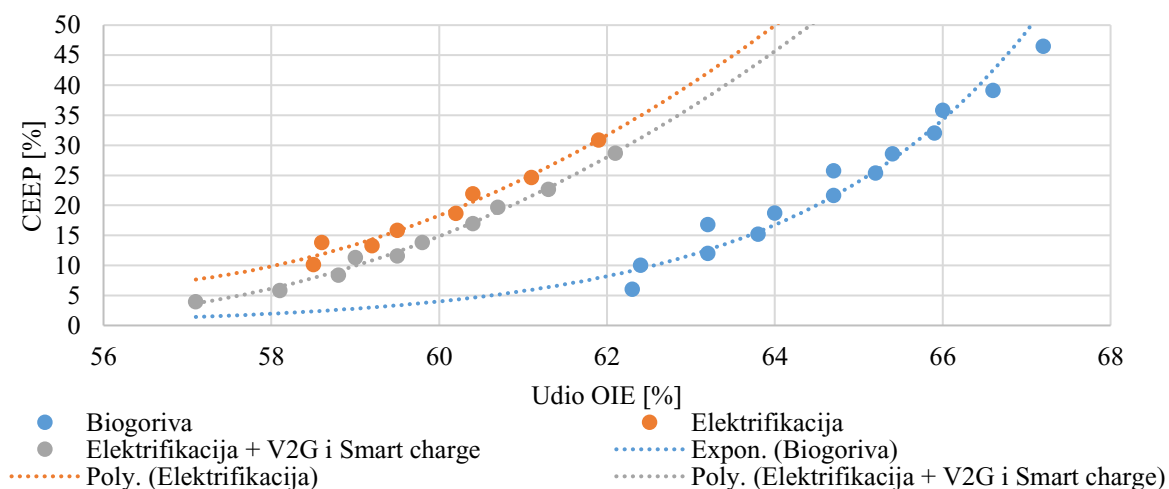


Slika 32. Usporedba rezultata za emisije CO₂ iz EnergyPLAN-a i iz IEA

5.2. Rezultati za 2030. godinu

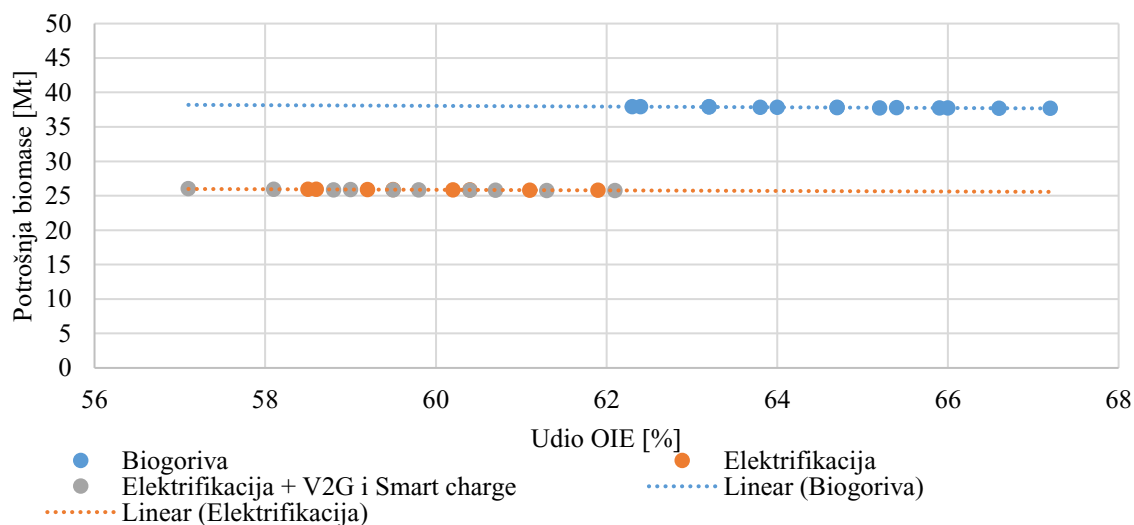
Sljedeće slike prikazuju rezultate utjecaja korištenih tehnologija na CEEP, potrošnju biomase, troškove, udio OIE i emisije CO₂.

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.



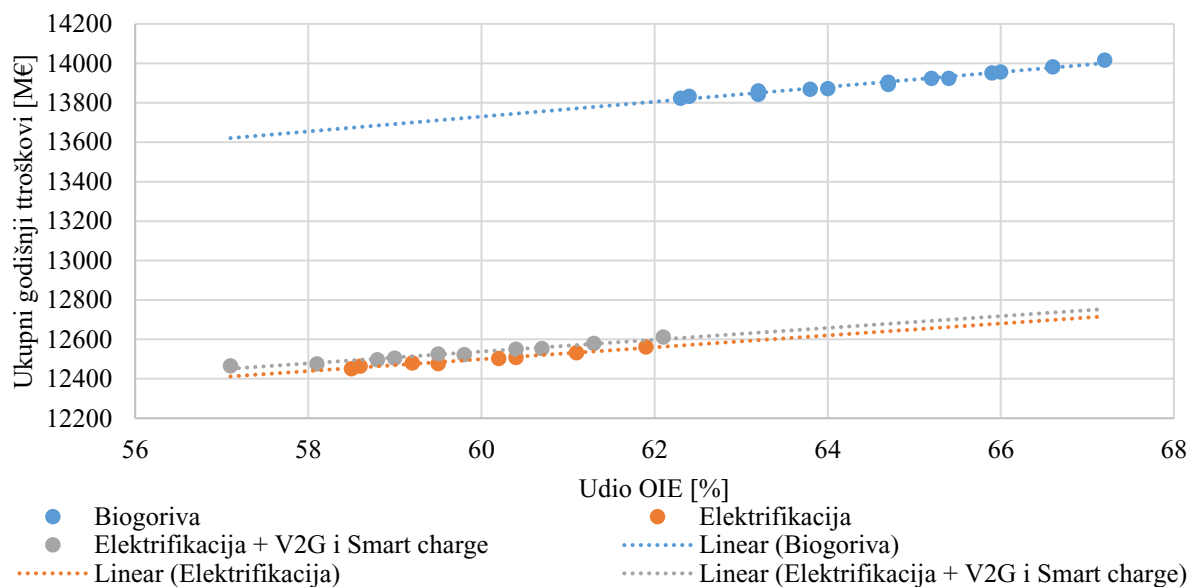
Slika 33. Utjecaj korištenja biogoriva, električnih vozila te električnih vozila s V2G i pametnim punjenjem na CEEP

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



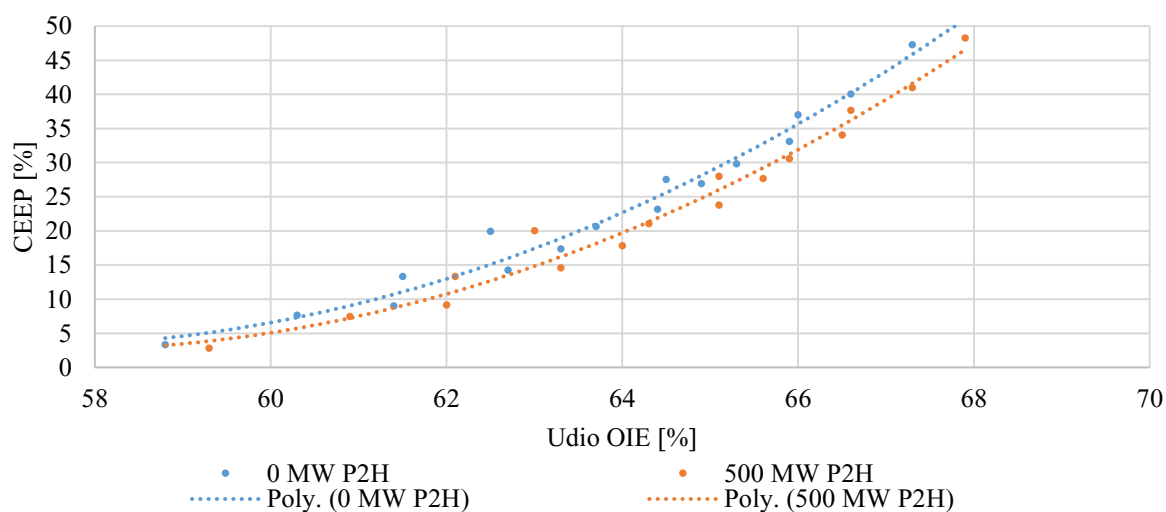
Slika 34. Utjecaj korištenja biogoriva, električnih vozila te električnih vozila s V2G i pametnim punjenjem na potrošnju biomase

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.



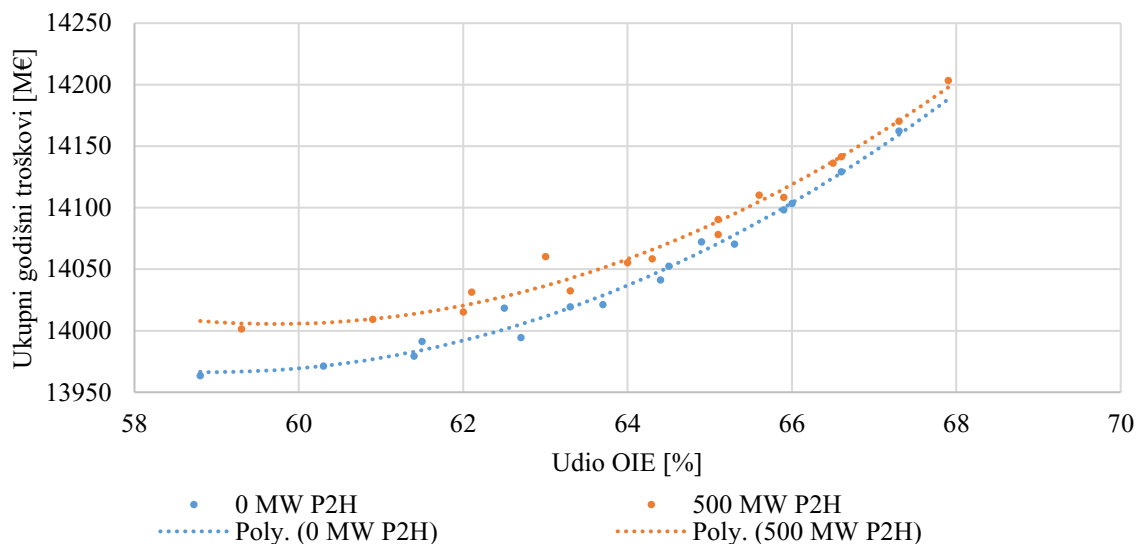
Slika 35. Utjecaj korištenja biogoriva, električnih vozila te električnih vozila s V2G i pametnim punjenjem na ukupne godišnje troškove

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.



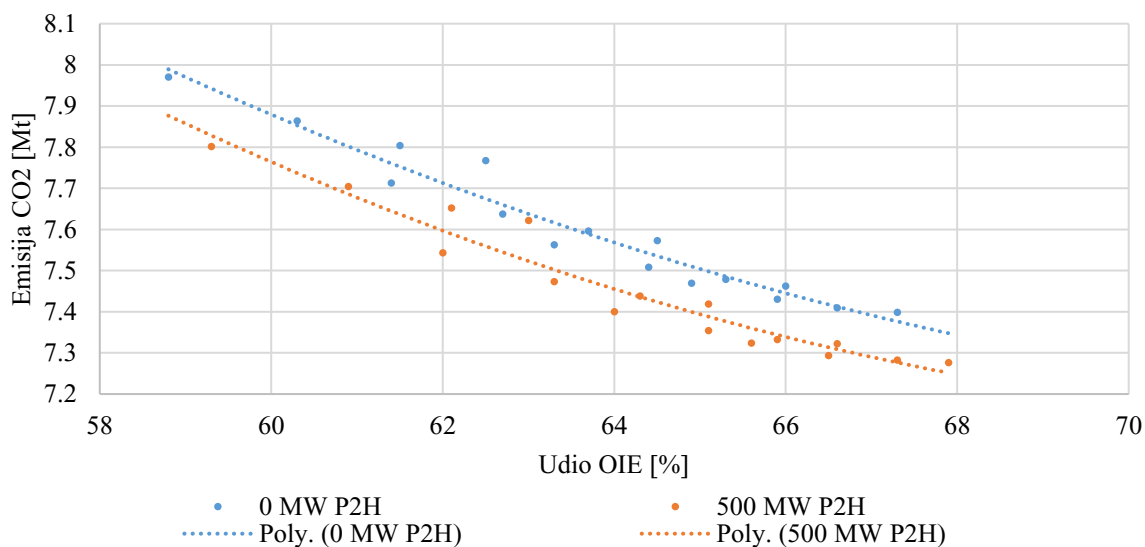
Slika 36. Utjecaj integracije P2H sustava na CEEP

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.



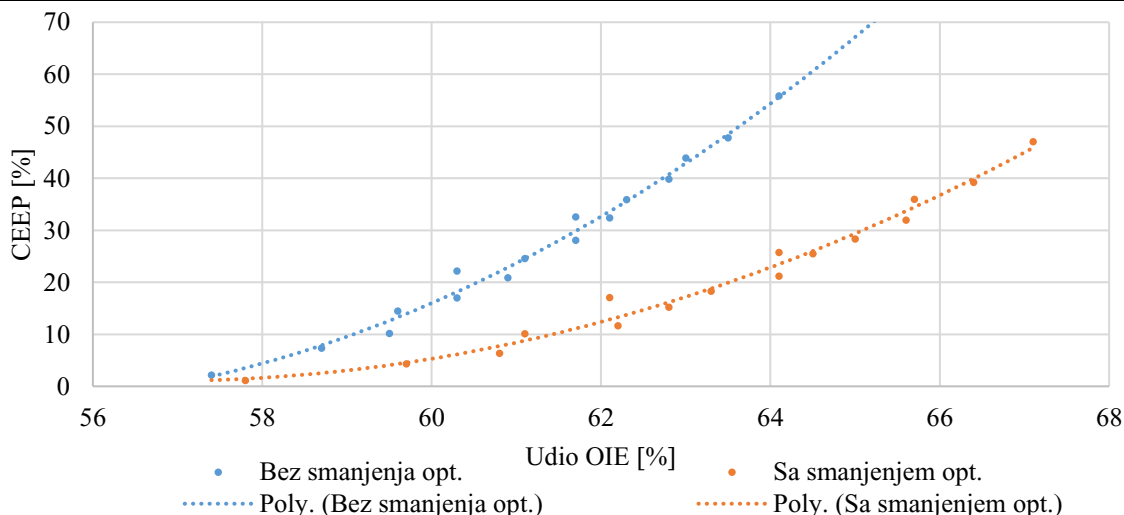
Slika 37. Utjecaj integracije P2H sustava na ukupne godišnje troškove

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.



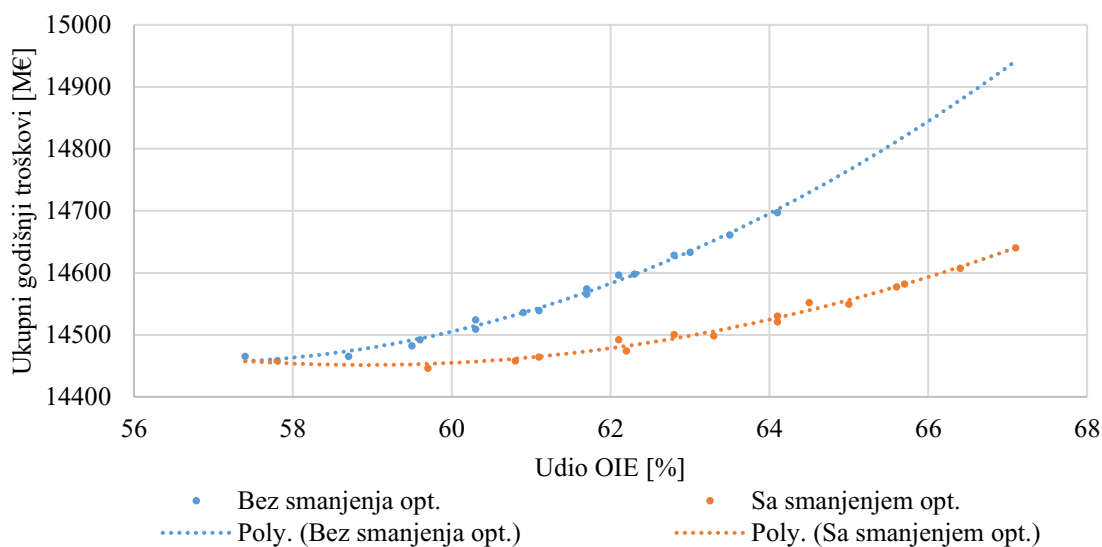
Slika 38. Utjecaj integracije P2H sustava na emisije CO₂

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.



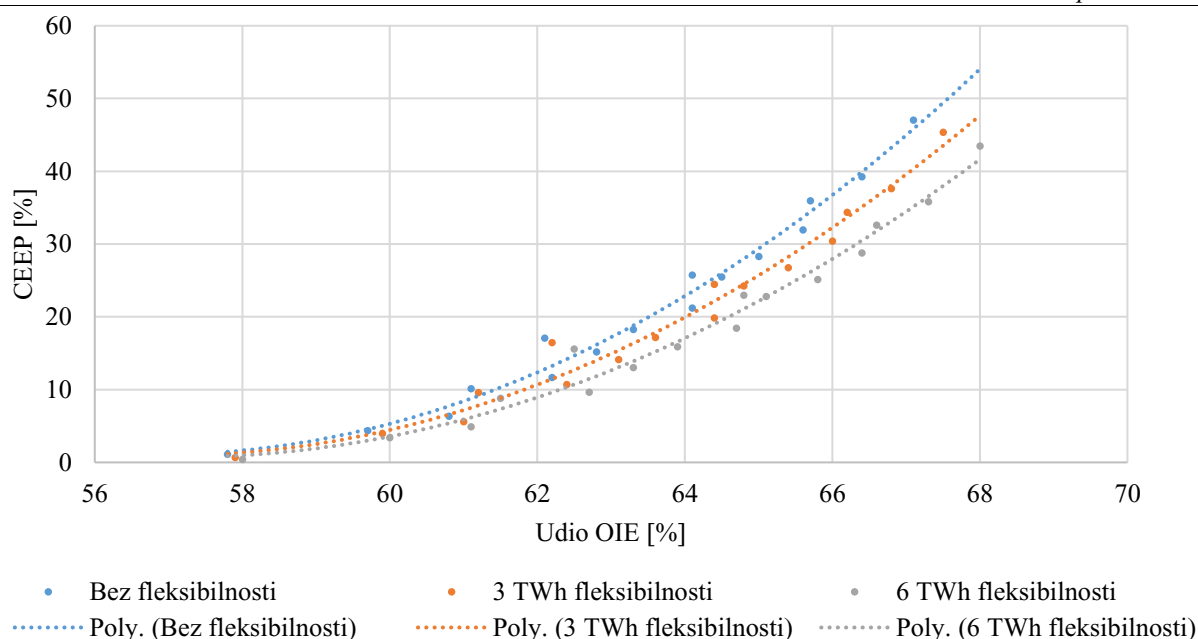
Slika 39. Utjecaj smanjenja opterećenja nuklearne elektrane CEEP

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.



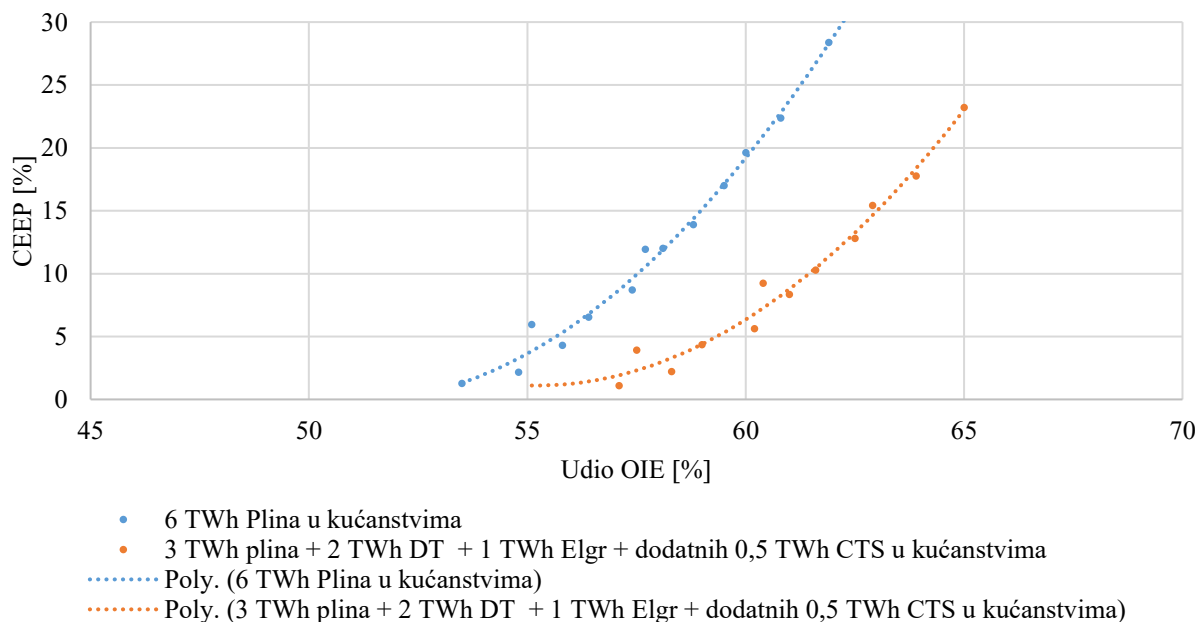
Slika 40. Utjecaj smanjenja opterećenja nuklearne elektrane na Ukupne godišnje troškove

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.



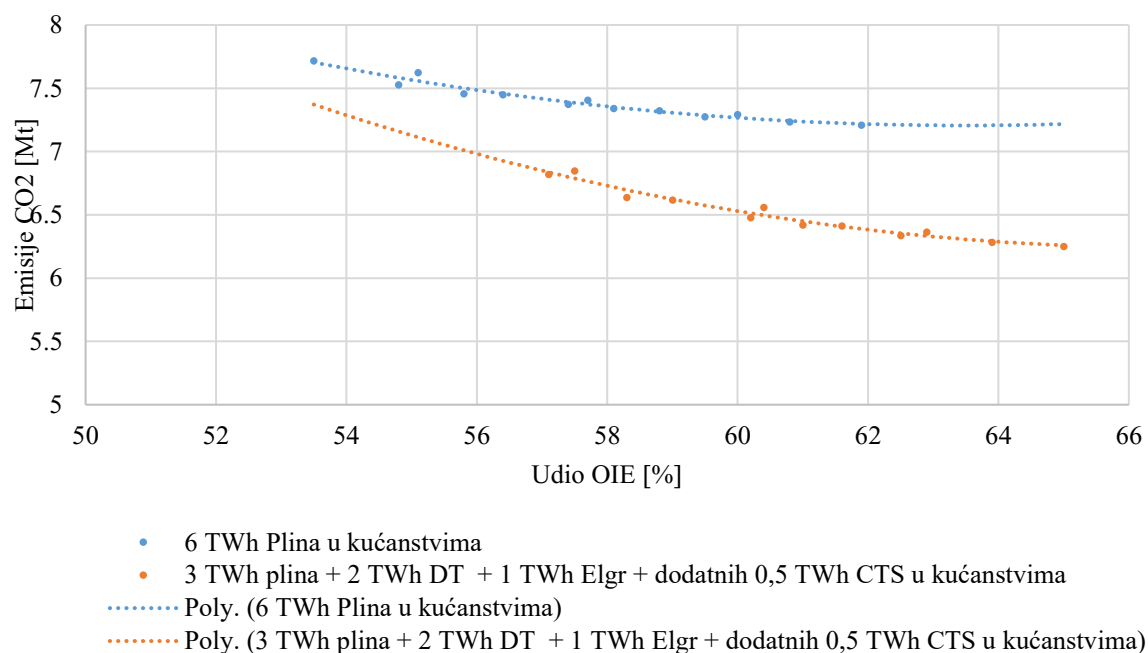
Slika 41. Utjecaj fleksibilnosti potrošnje na CEEP

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.



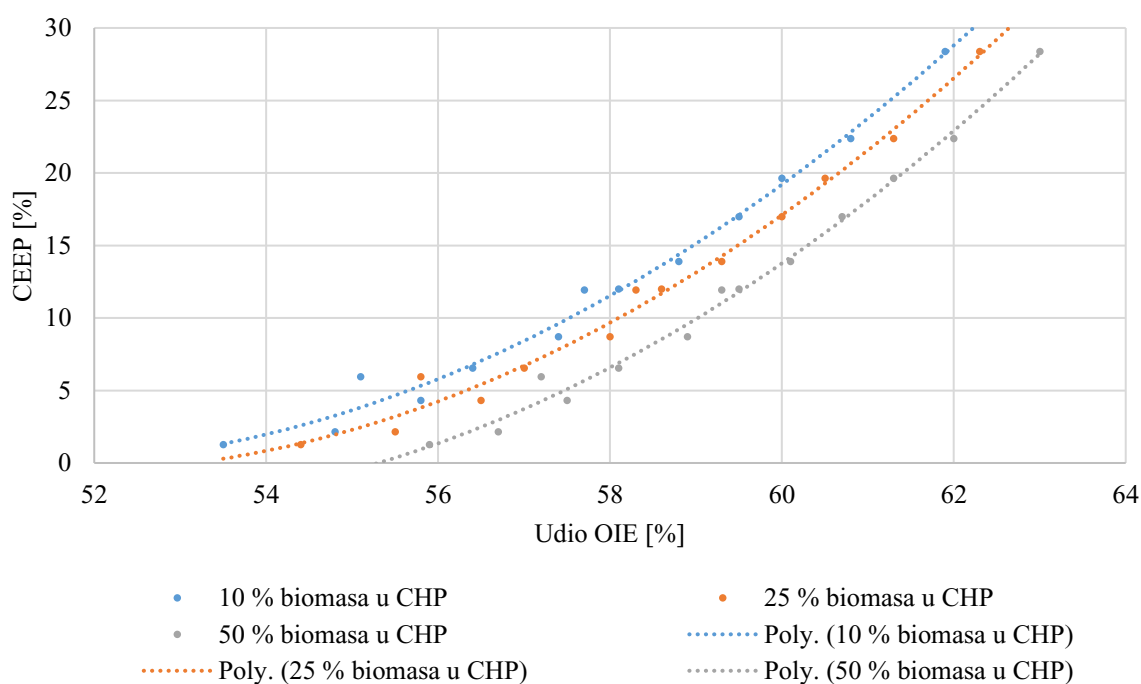
Slika 42. Utjecaj sustava generiranja topline na potrošnje na CEEP

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.



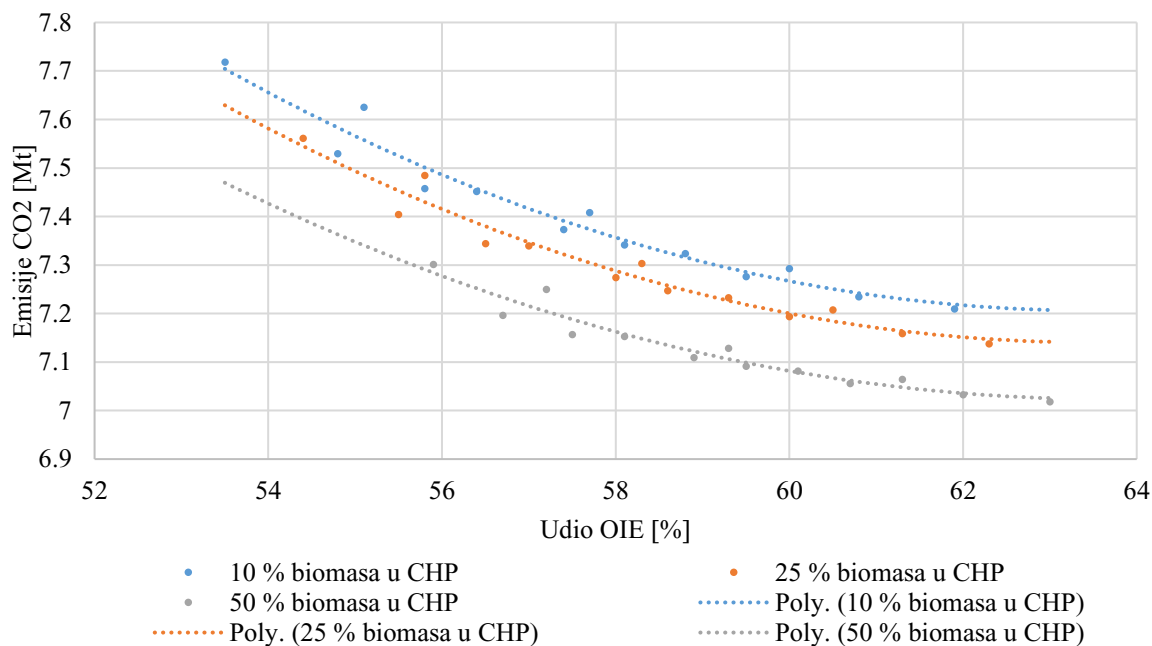
Slika 43. Utjecaj sustava generiranja topline na potrošnje na emisije CO₂

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



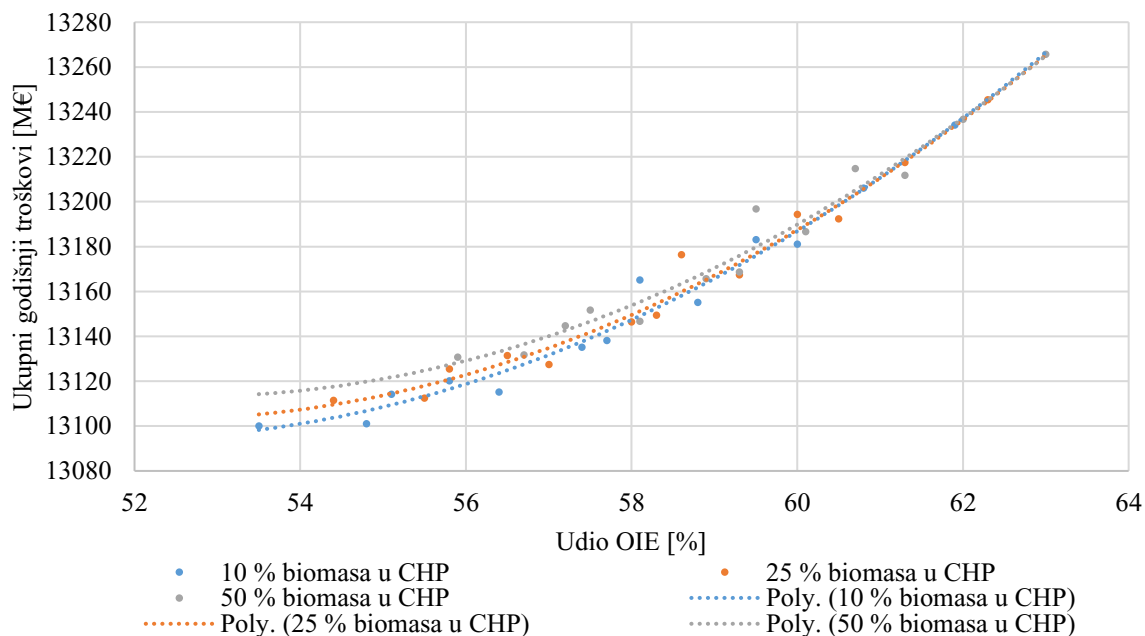
Slika 44. Utjecaj goriva u termoelektranama na potrošnje na CEEP

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€.

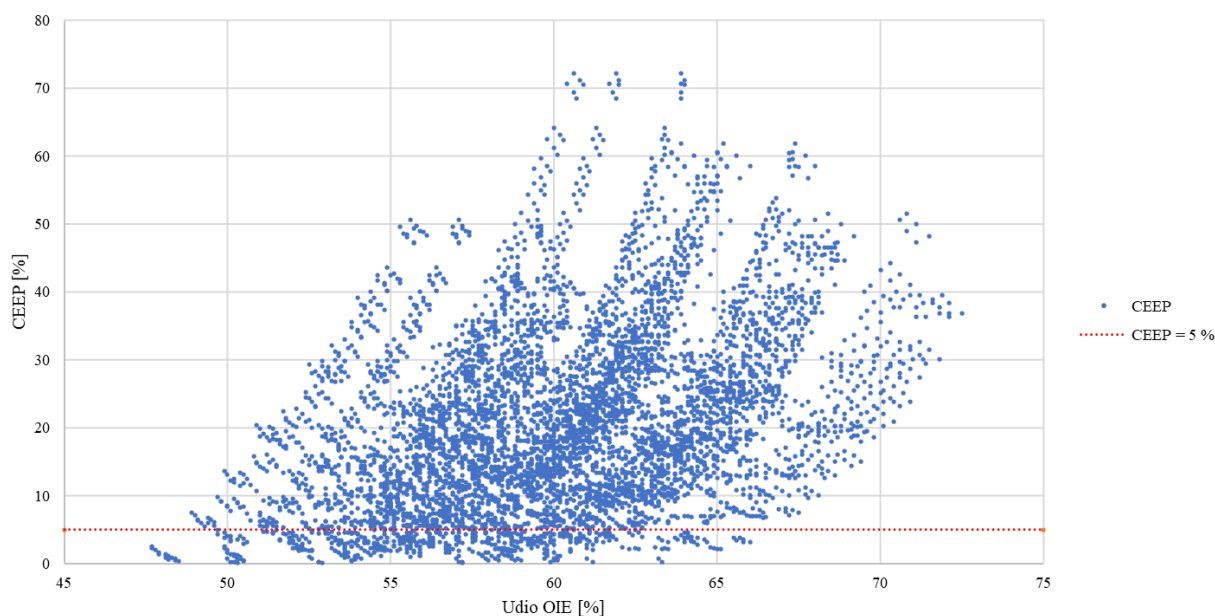


Slika 46. Utjecaj goriva u termoelektranama na potrošnje na ukupne godišnje troškove

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 %.

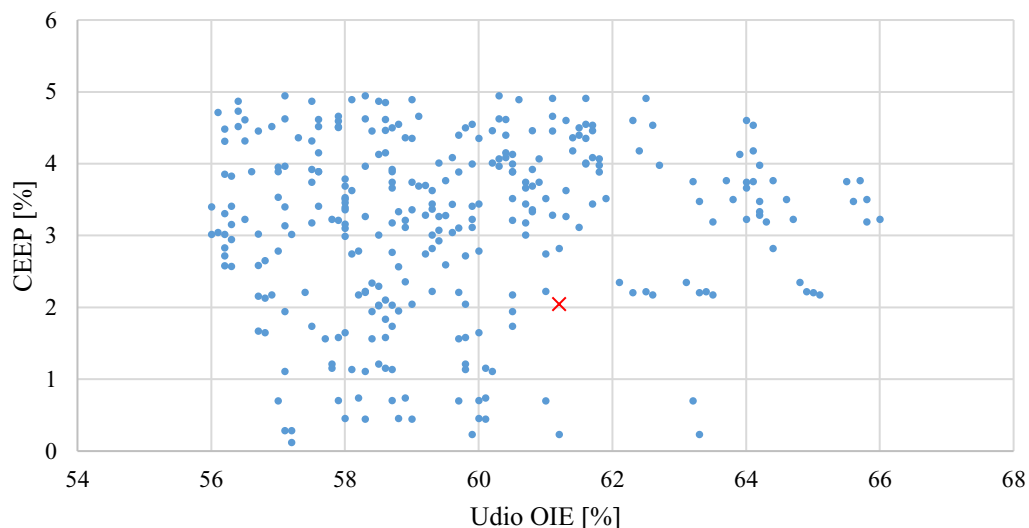
Rezultate multi-kriterijske analize za 2030. godinu prikazuje Tablica 28. Rezultati su poredani od sustava s najvećim do sustava s najmanjim rezultatom analize u rasponu 0 do 1. Spomenuta tablica također prikazuje korištenu konfiguraciju sustava, a detaljan opis sustava prikazuje Tablica 25.



Slika 47. Odnos udjela OIE i CEEP-a

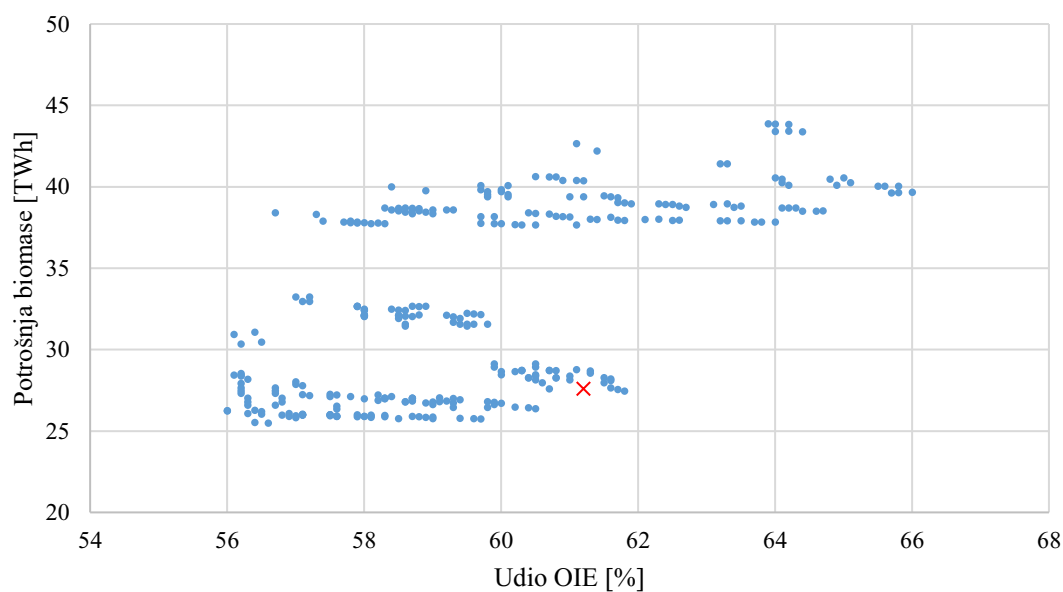
Nakon toga se provodi multi-kriterijska analiza čijom provedbom se dobiva rješenje naznačeno crvenim križićem na dijagramima.

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



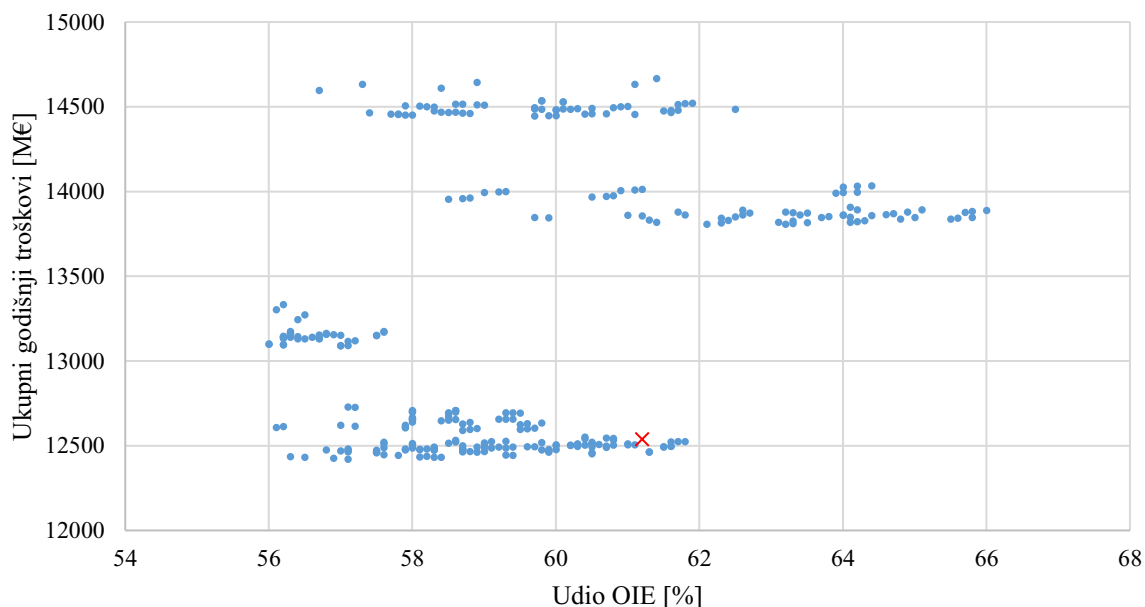
Slika 48. Odnos udjela OIE i CEEP-a uz $\text{CEEP} \leq 5 \%$

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.



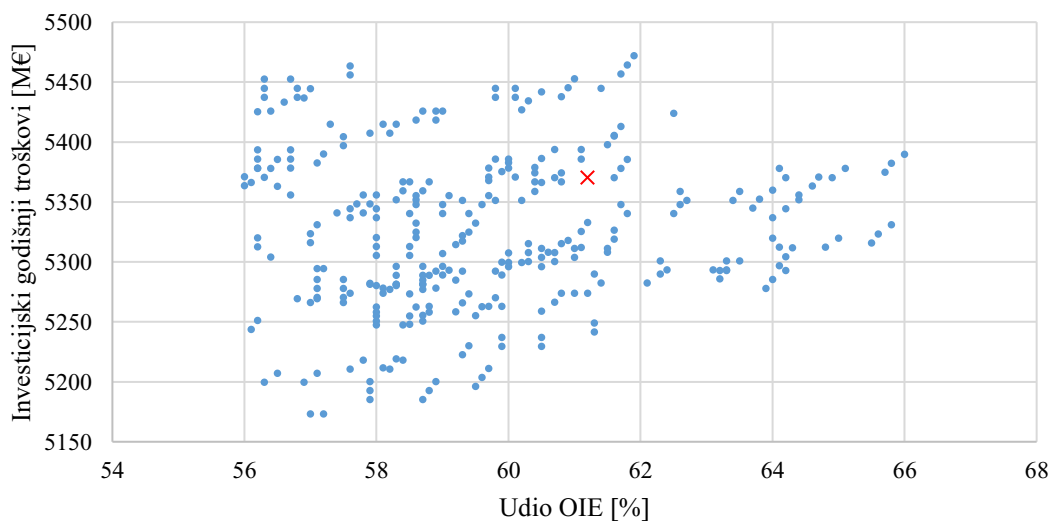
Slika 49. Potrošnja biomase

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



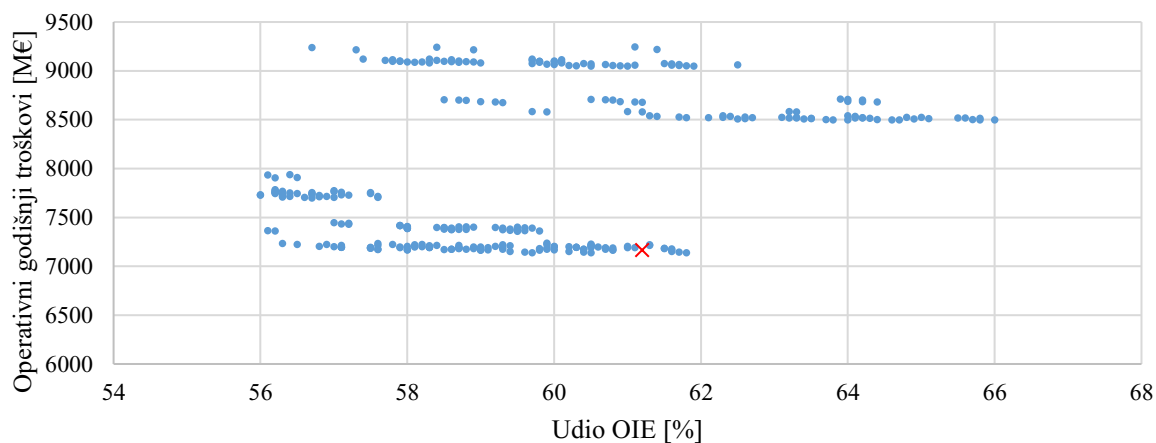
Slika 50. Ukupni godišnji troškovi

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

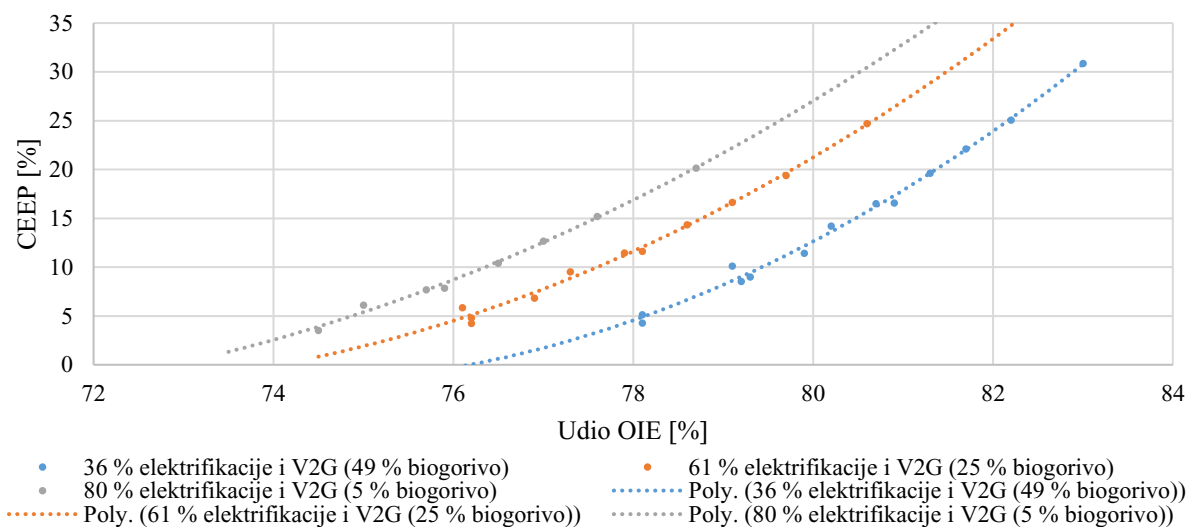
Podaci o odabranom sustavu su prikazani u Tablica 25.

Tablica 25. Podaci o odabranom sustavu

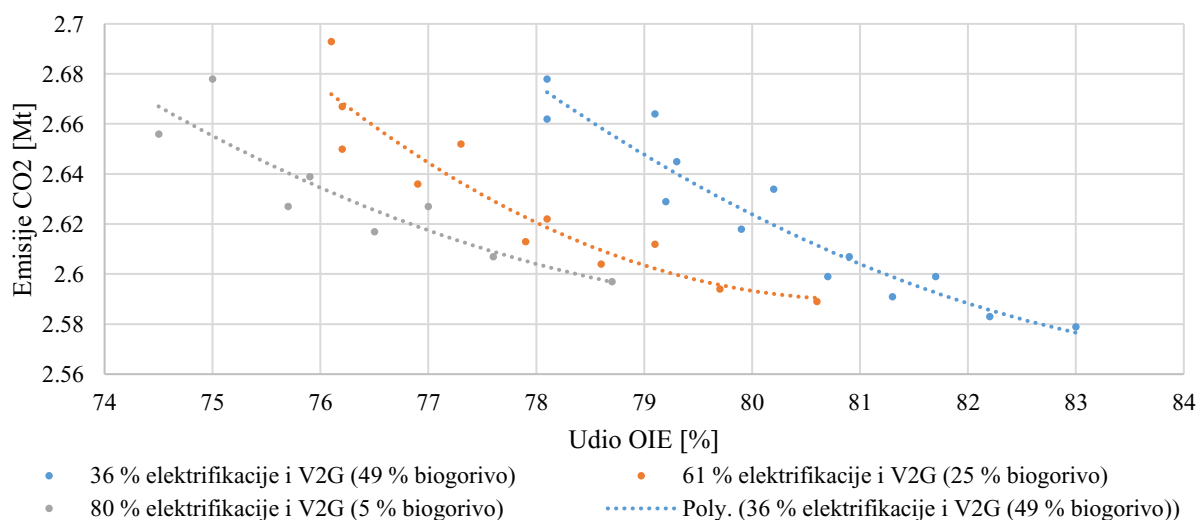
Veličina	Iznos	Jedinica
Udio OIE	61,2	%
Emisija CO ₂	6,062	Mt
CEEP	2,048	%
Potrošnja biomase	27,6	TWh
Ukupni godišnji troškovi	12538,7	M€
Godišnji investicijski troškovi	5370,4	M€
Godišnji operativni troškovi	7168,3	M€
Kapacitet vjetroelektrana	5000	MW
Kapacitet fotonaponskih elektrana	2500	MW
Udio biomase 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.

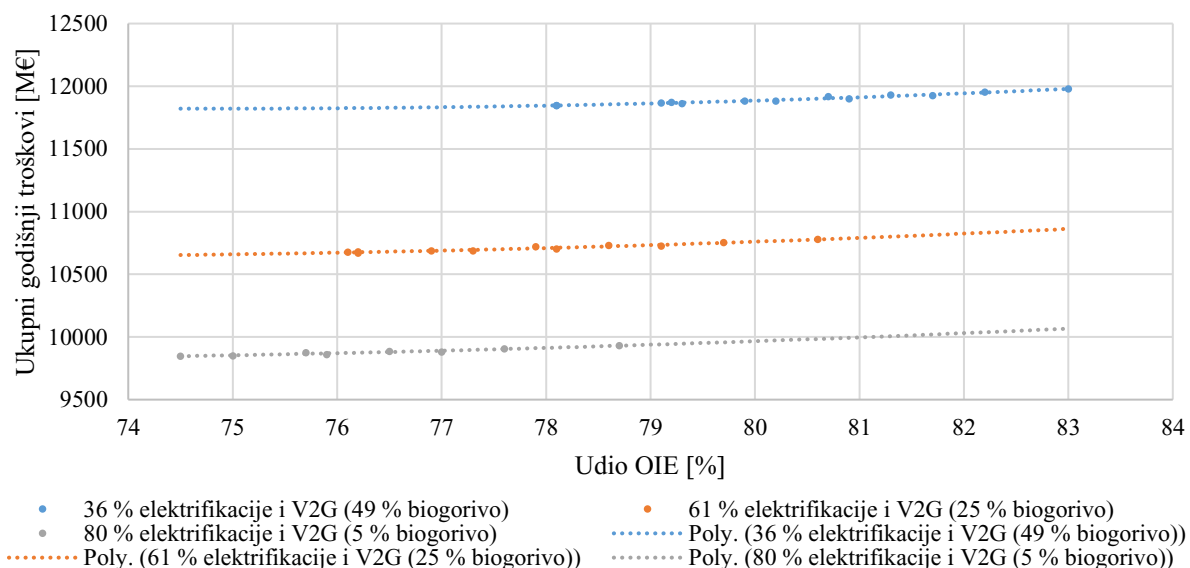


Slika 53. Utjecaj korištenja biogoriva, električnih vozila te električnih vozila s V2G i pametnim punjenjem na CEEP



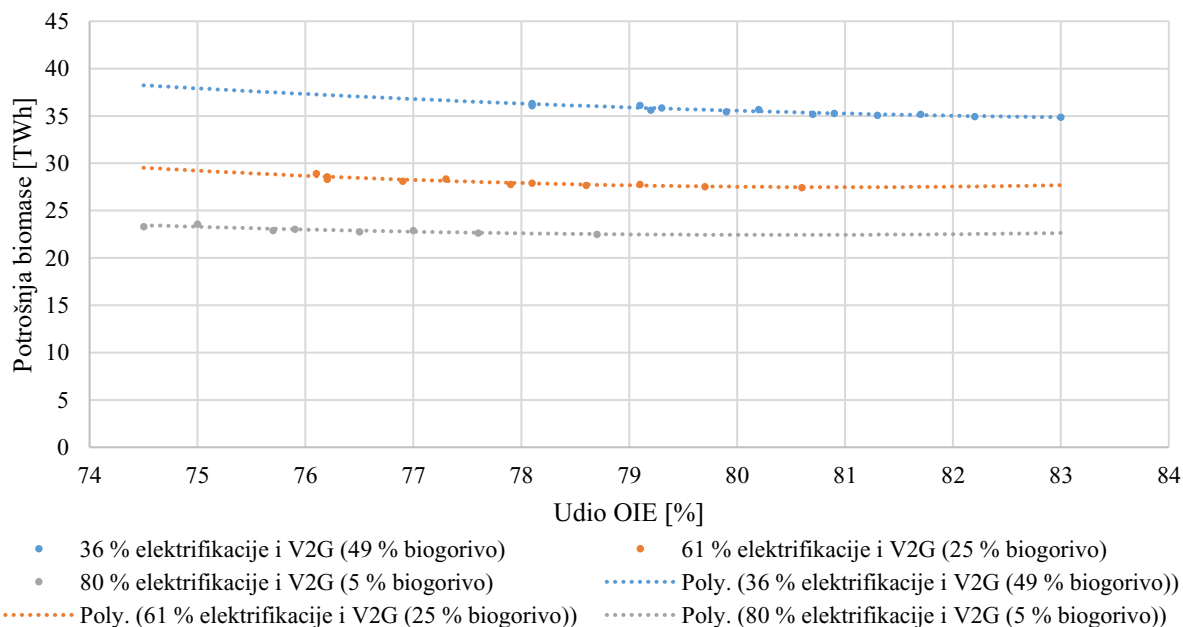
Slika 54. Utjecaj korištenja biogoriva, električnih vozila te električnih vozila s V2G i pametnim punjenjem na emisije CO₂

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.



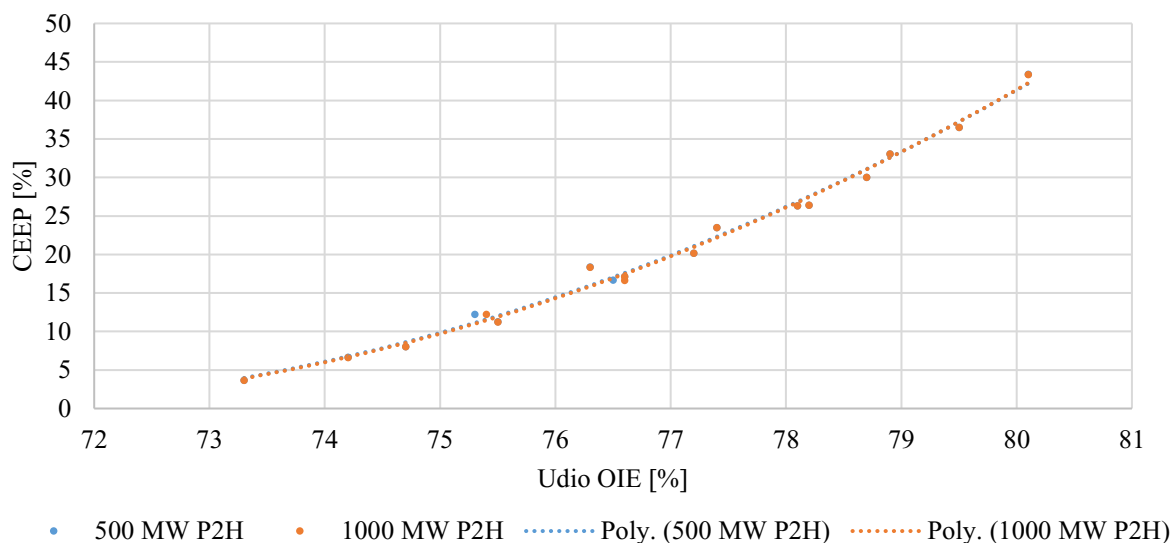
Slika 55. Utjecaj korištenja biogoriva, električnih vozila te električnih vozila s V2G i pametnim punjenjem na ukupne godišnje troškove

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.



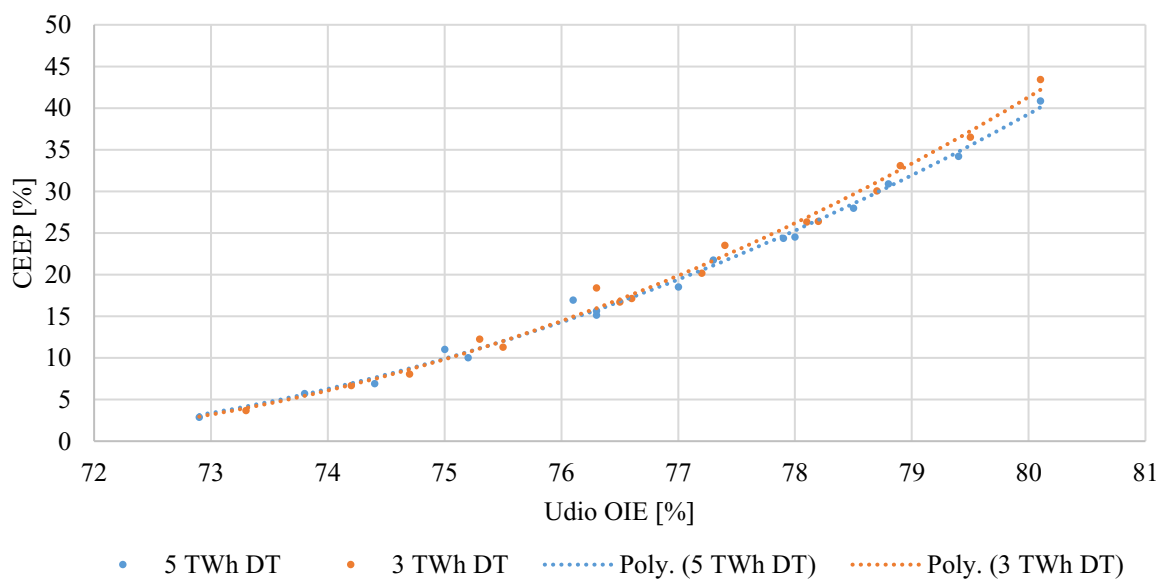
Slika 56. Utjecaj korištenja biogoriva, električnih vozila te električnih vozila s V2G i pametnim punjenjem na potrošnju biomase

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.



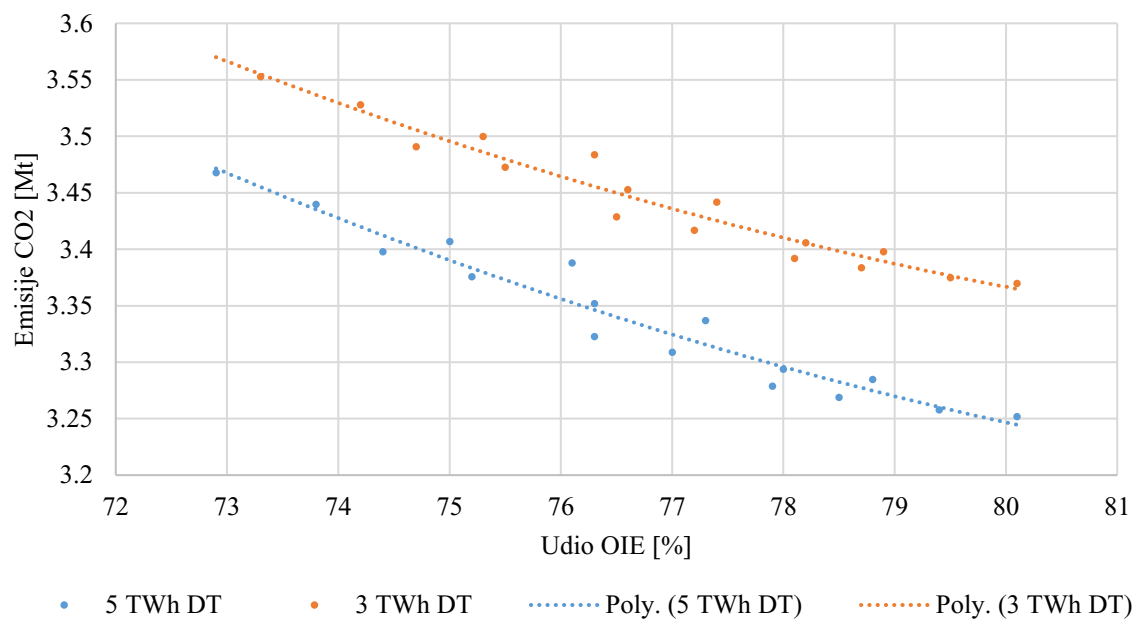
Slika 57. Utjecaj povećanja kapaciteta P2H na CEEP

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.



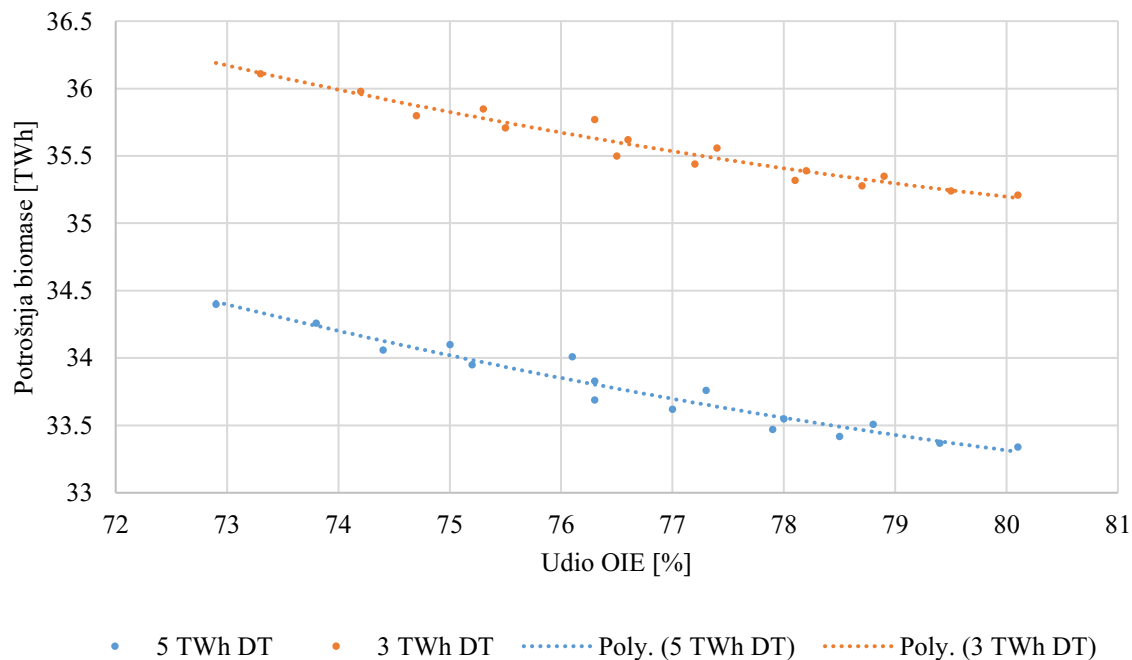
Slika 58. Utjecaj korištenja dizalica topline na CEEP

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.

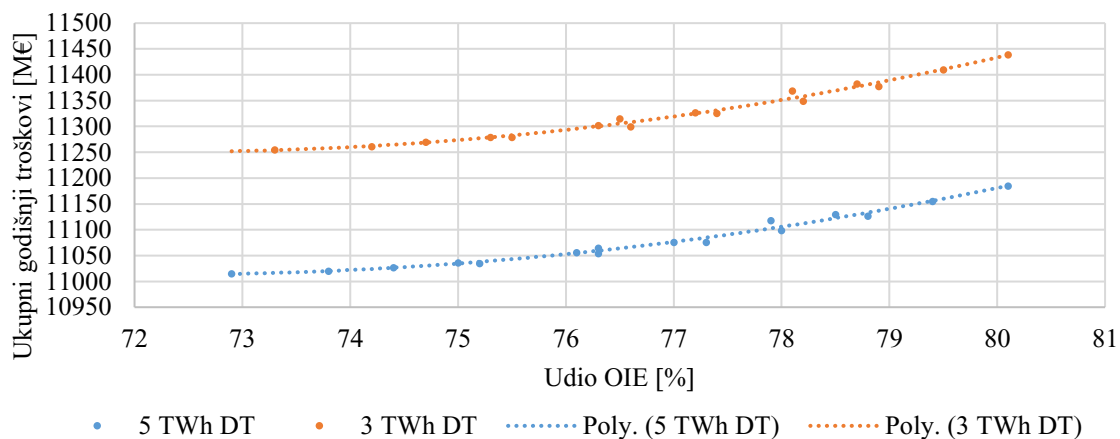


Slika 59. Utjecaj korištenja dizalica topline na emisije CO₂

Uslijed 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.

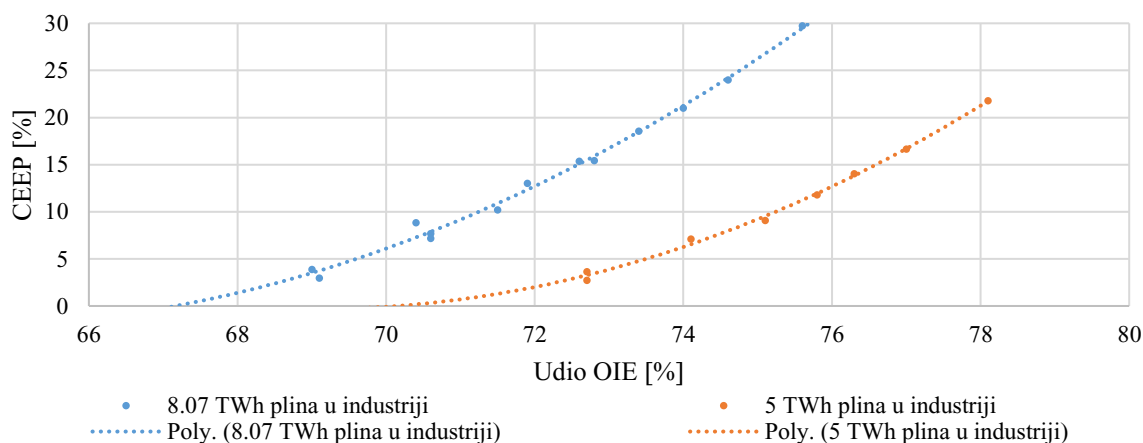


Slika 60. Utjecaj korištenja dizalica topline na potrošnju biomase

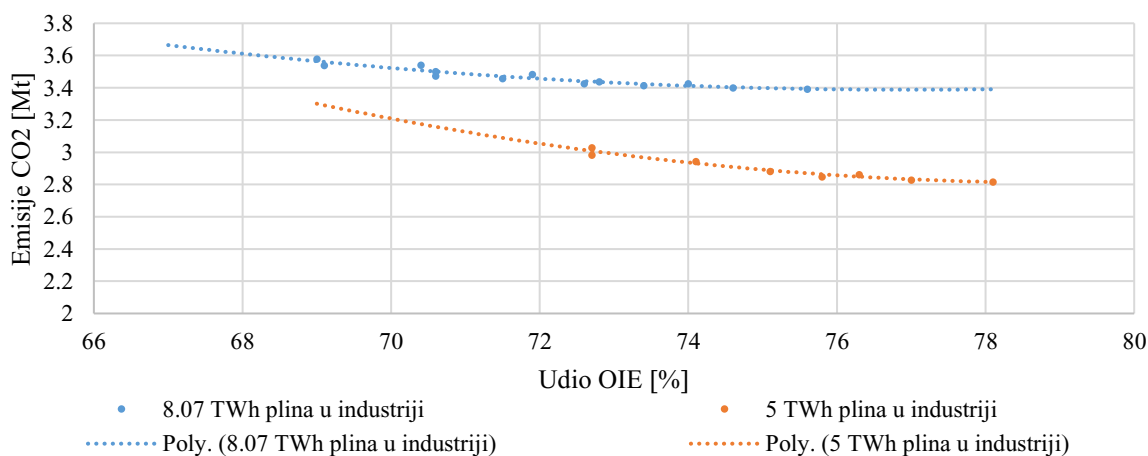


Slika 61. Utjecaj korištenja dizalica topline na ukupne godišnje troškove

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.

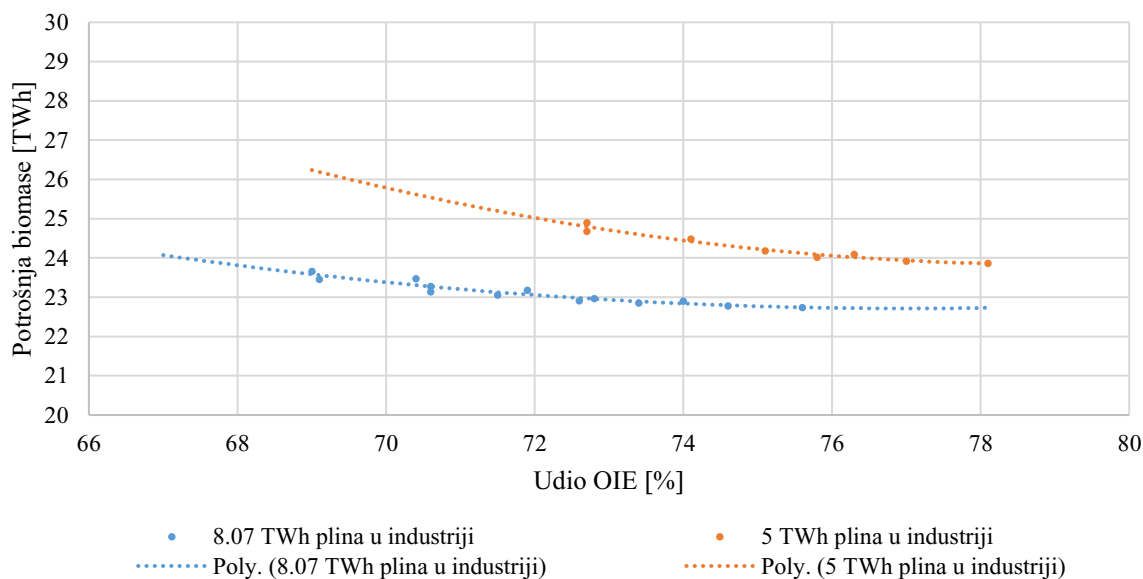


Slika 62. Utjecaj goriva u industriji na CEEP i udio OIE

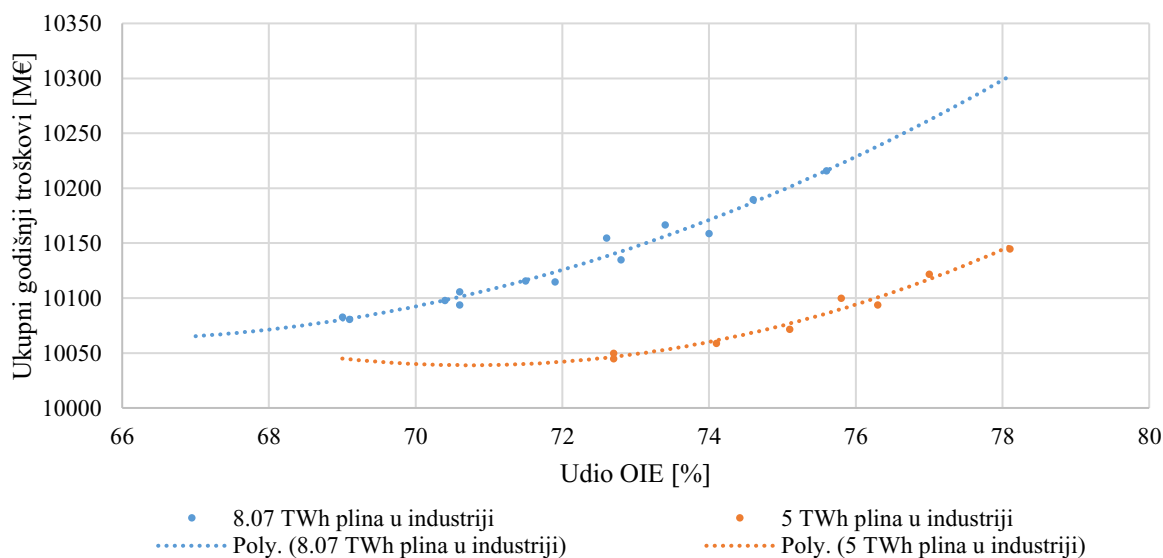


Slika 63. Utjecaj goriva u industriji na emisije CO₂

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.

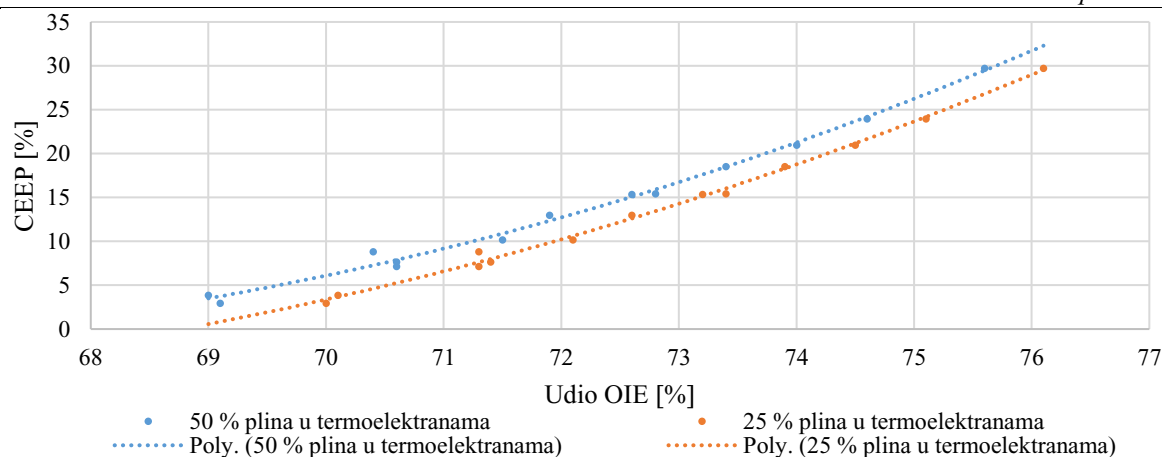


Slika 64. Utjecaj goriva u industriji na potrošnju biomase



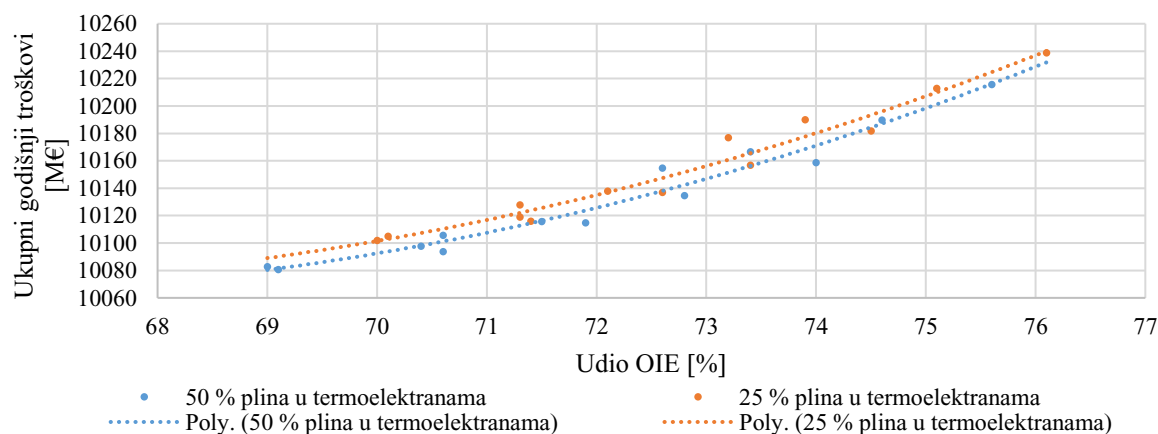
Slika 65. Utjecaj goriva u industriji na ukupne godišnje troškove

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.



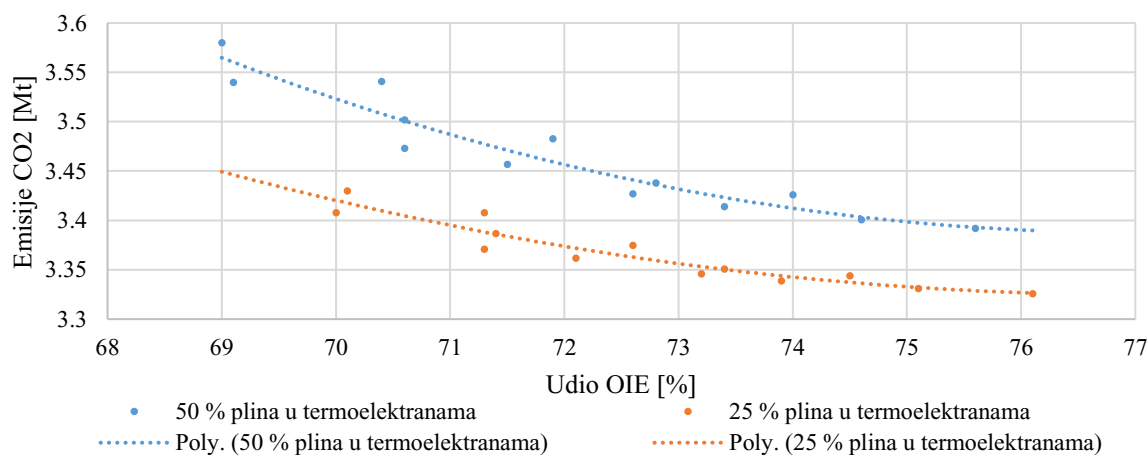
Slika 66. Utjecaj promjene goriva u termoelektranama na CEEP i udio OIE

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.

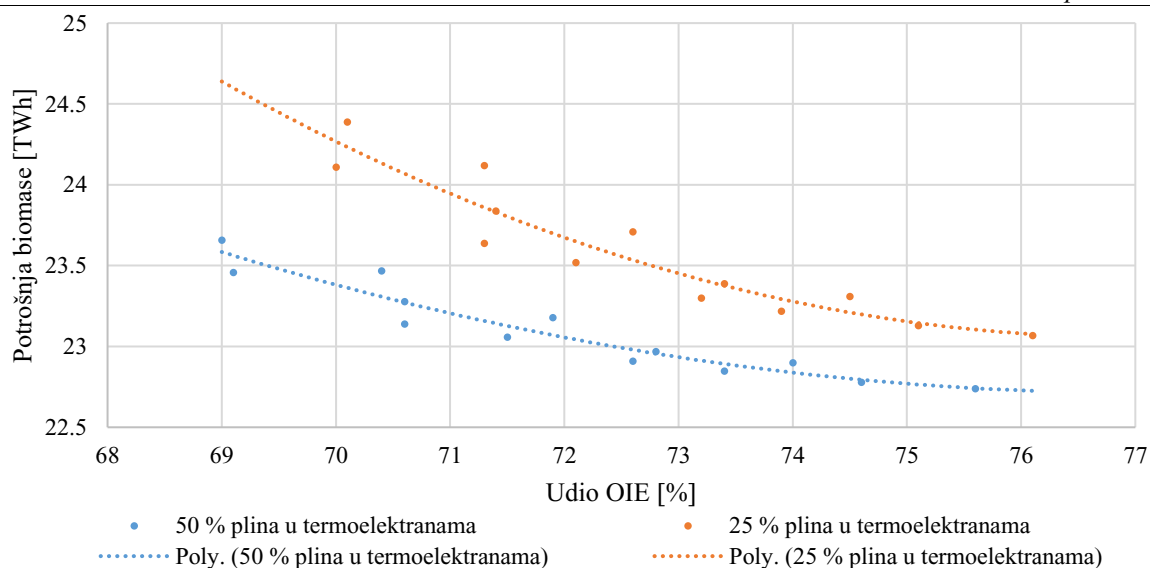


Slika 67. Utjecaj promjene goriva u termoelektranama na ukupne godišnje troškove

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.

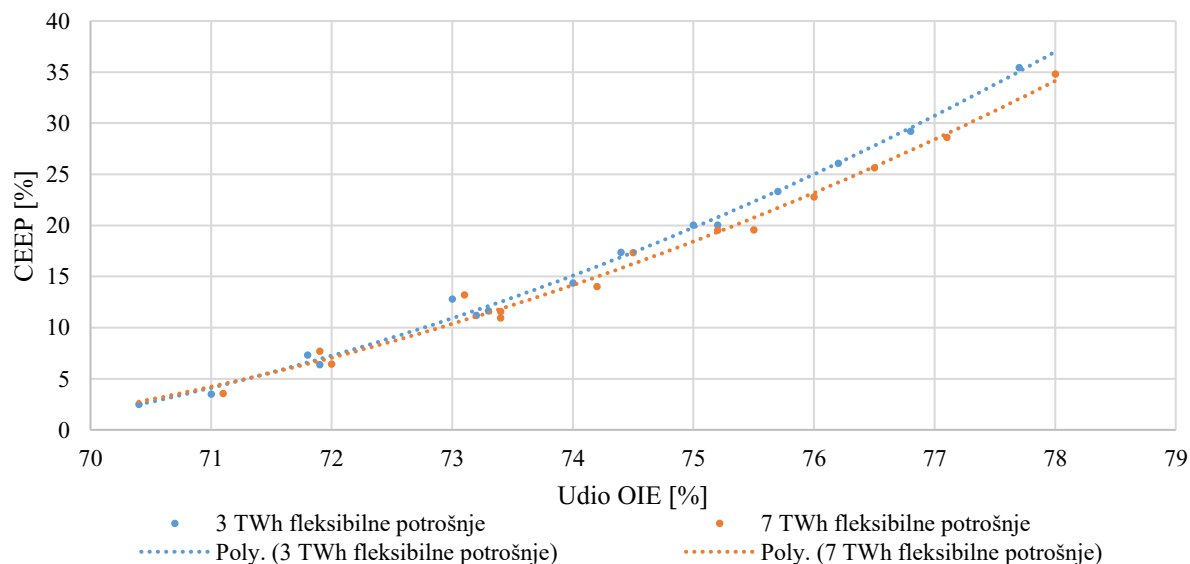


Slika 68. Utjecaj promjene goriva u termoelektranama na emisije CO₂

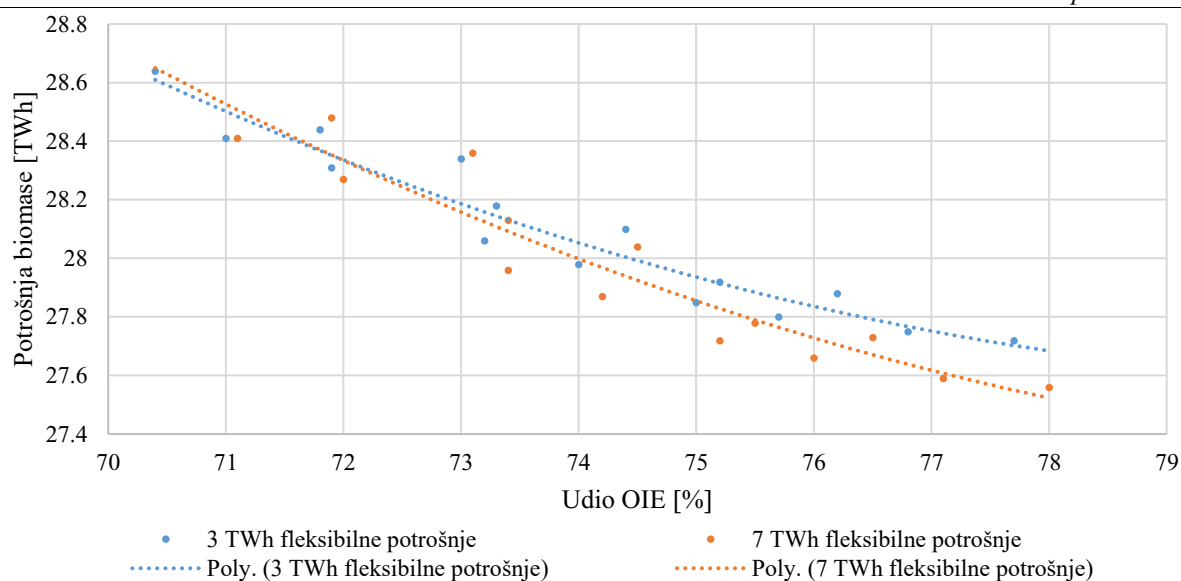


Slika 69. Utjecaj promjene goriva u termoelektranama na potrošnju biomase

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.



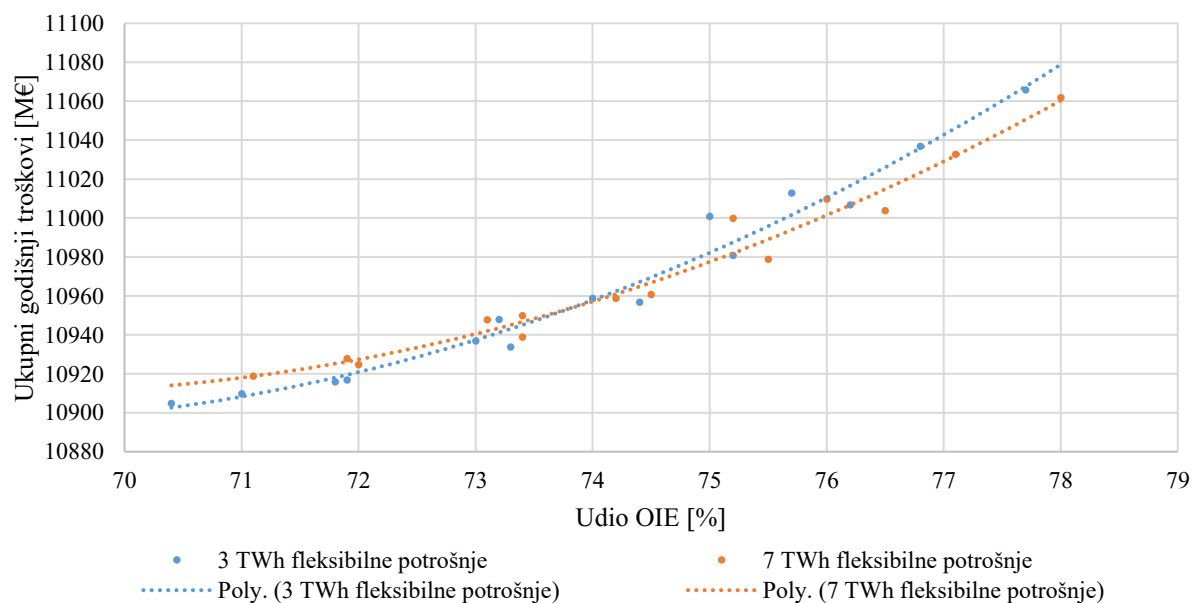
Slika 70. Utjecaj fleksibilne potrošnje na CEEP i udio OIE



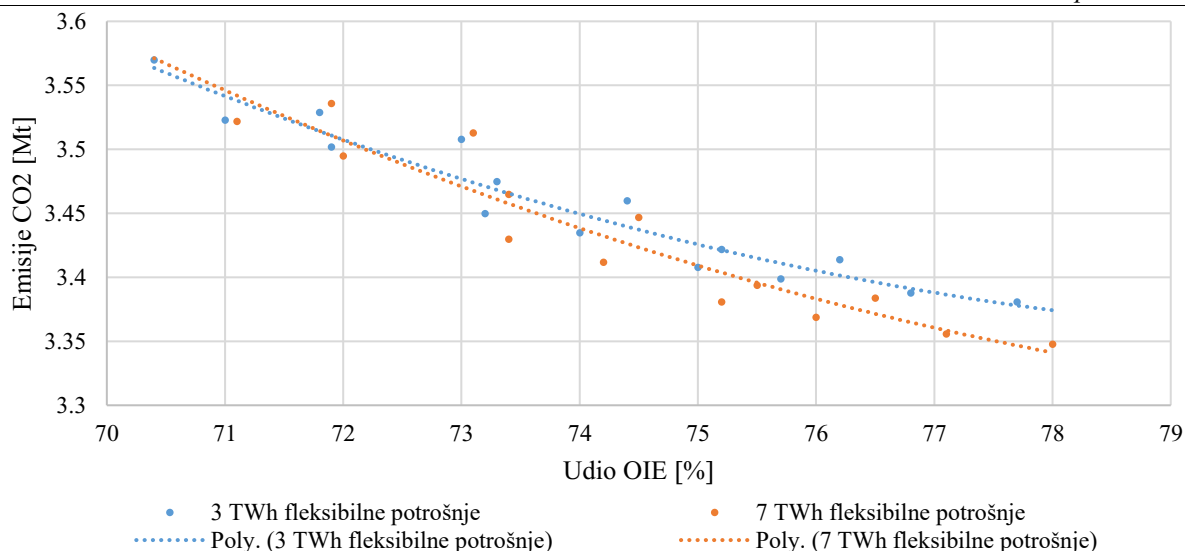
Slika 71. Utjecaj fleksibilne potrošnje na potrošnju biomase

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 brojala 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.

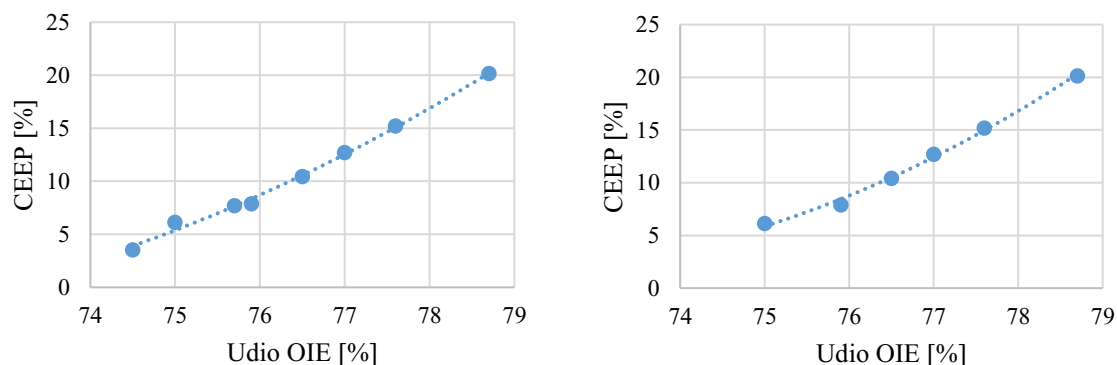


Slika 72. Utjecaj fleksibilne potrošnje na ukupne godišnje troškove



Slika 73. Utjecaj fleksibilne potrošnje na emisije CO₂

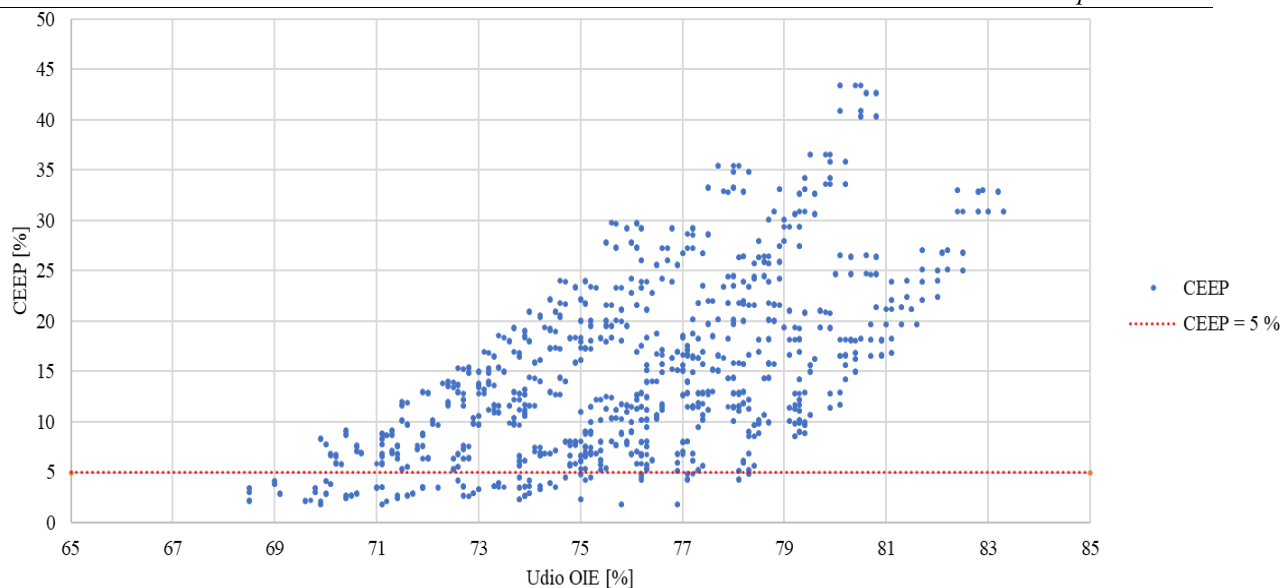
Uvođenje baterijske pohrane energije gotovo da nema utjecaj na smanjenje kritičnih viškova proizvodnje, ali dolazi do izražaja kod slučaja potrebe osiguranja stabilnosti sustava uslijed nedostatka proizvodnje iz VOIE (Slika 74.).



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

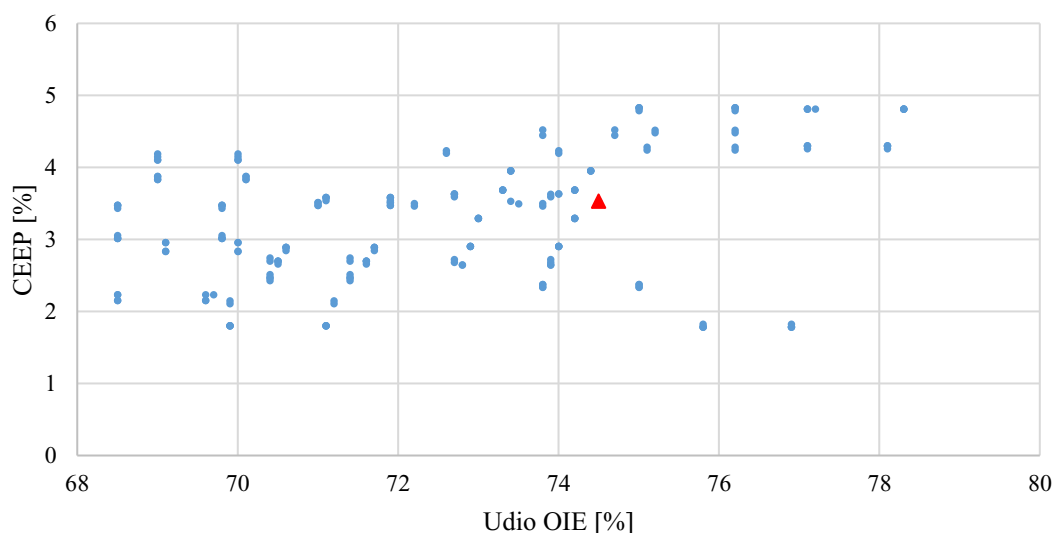
5.3.1. Odabir najpovoljnijeg sustava 2040. godinu

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

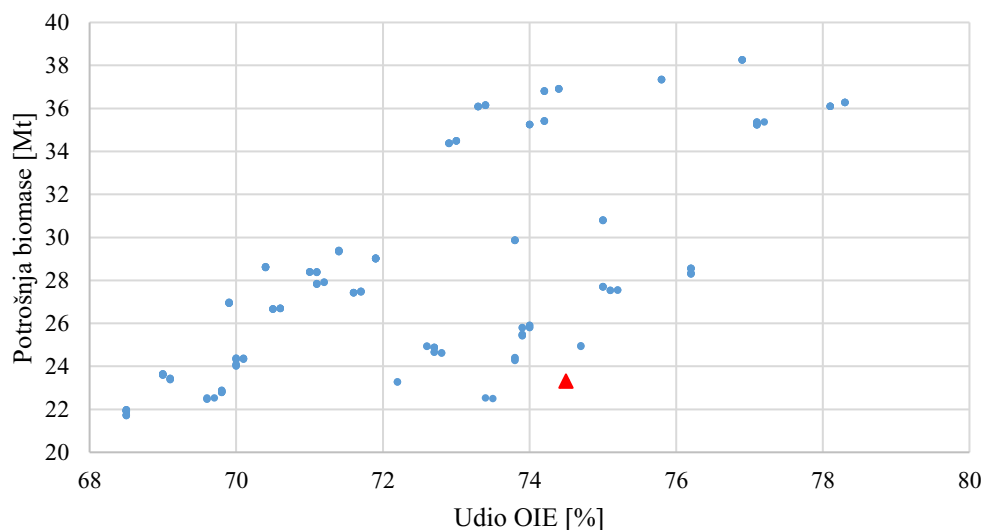
Postupak se nastavlja provođenjem multi-kriterijske analize. Slika 76. daje prikaz odnosa CEEP-a i udjela OIE. Odabrani sustav daje CEEP u iznosu od 3,5 %, dok je udio OIE 74,5 %. Rezultati multi-kriterijske analize i o razmatranim sustavima su prikazani u Tablica 29., dok Tablica 26. prikazuje podatke 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%

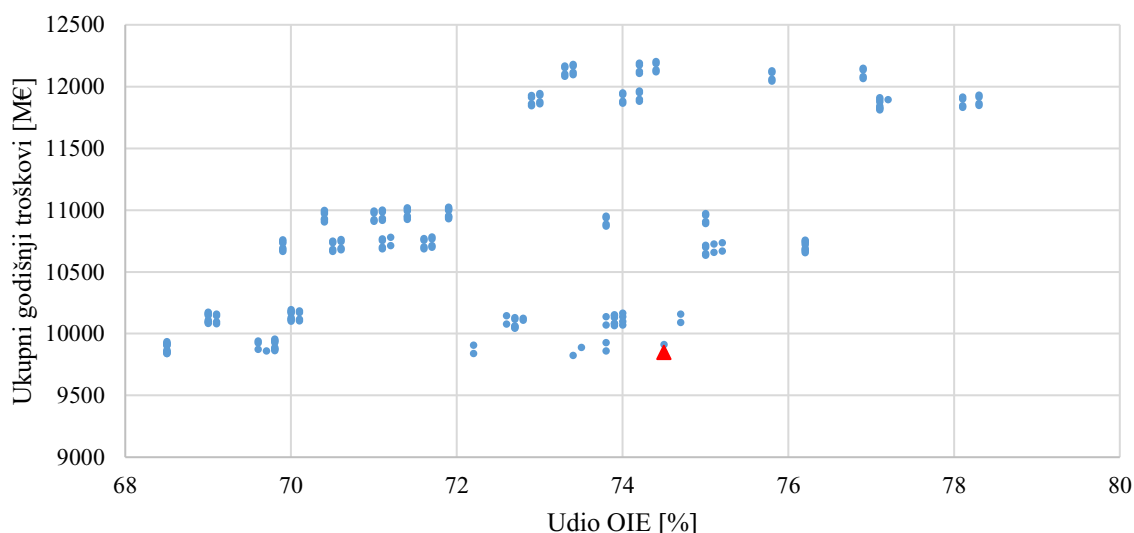
Usporedbu potrošnje biomase razmatranih sustava prikazuje Slika 77. Rješenja su podijeljena u dva dijela od kojih ona sa višim iznosom predstavljaju sustave s korištenjem veće količine biomase u sektoru prometa za proizvodnju biogoriva. Odabrani sustav u većoj mjeri koristi

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



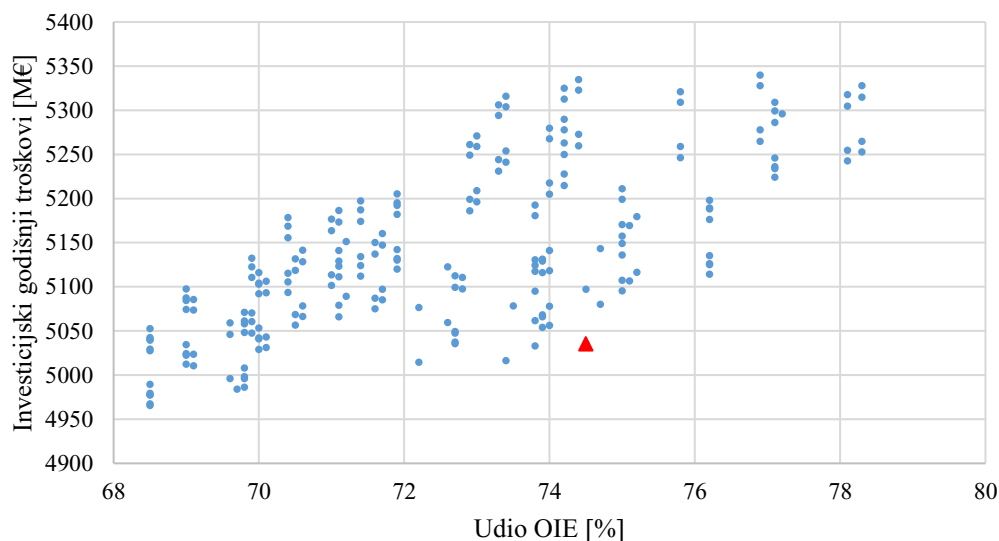
Slika 77. Potrošnja biomase

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€.



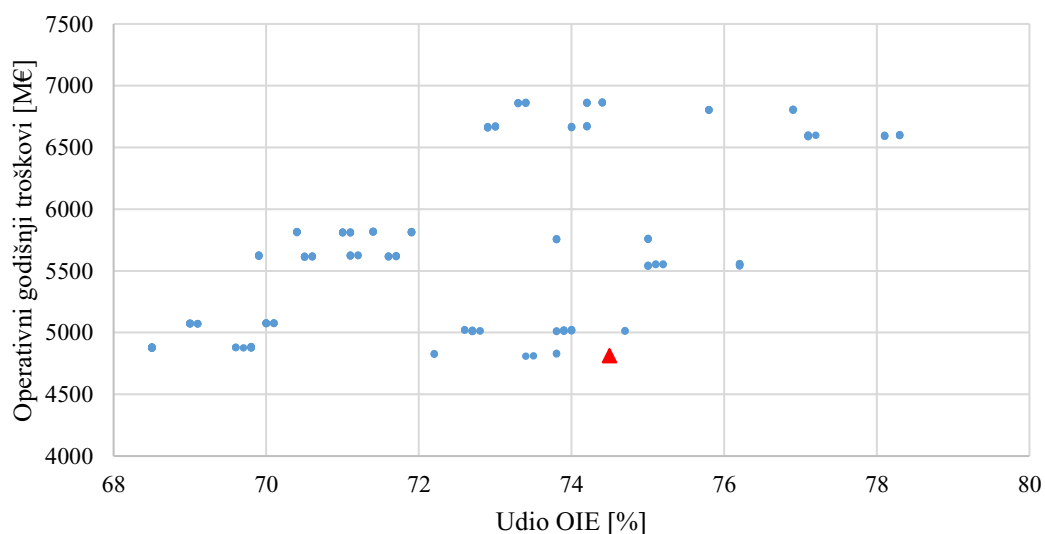
Slika 78. Ukupni godišnji troškovi

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

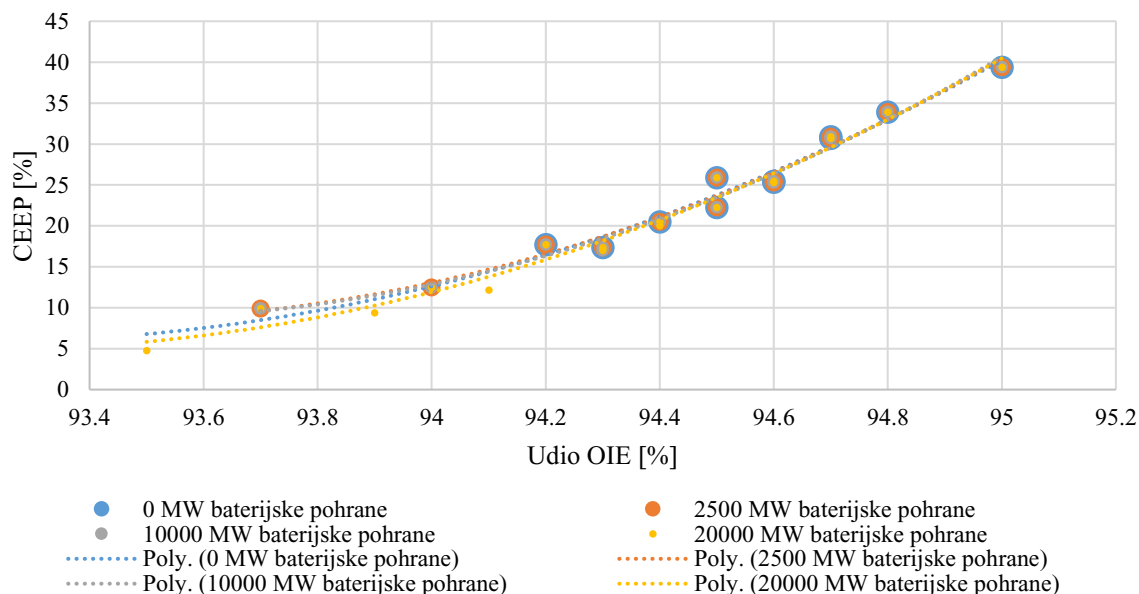
Veličina	Iznos	Jedinica
Udio OIE	74,5	%
Emisija CO ₂	2,656	Mt

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

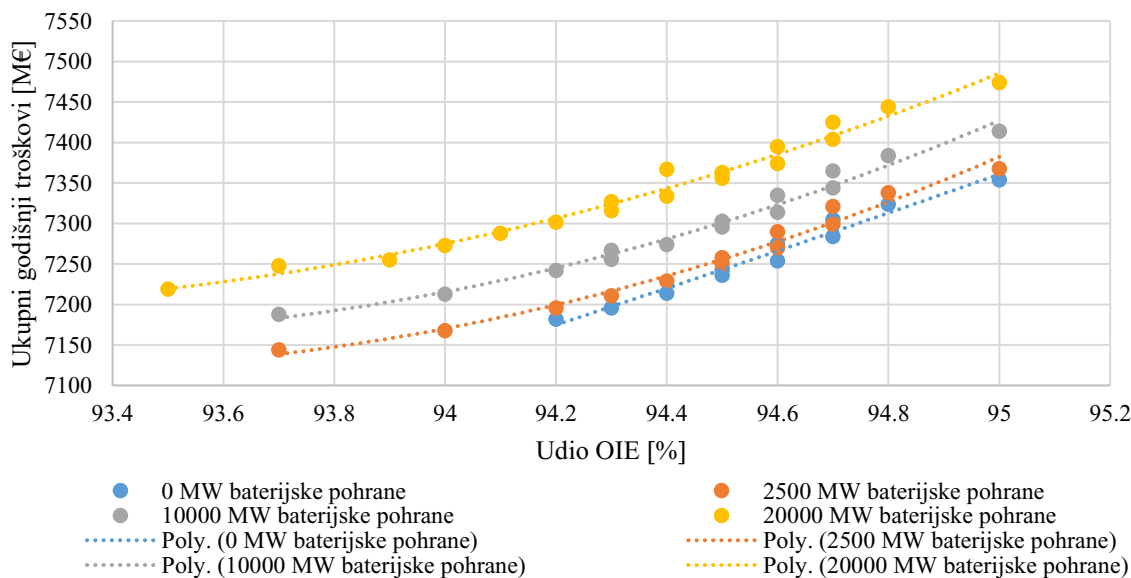
Sljedeće slike prikazuju rezultate za sustav 2050. godine.

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 %.



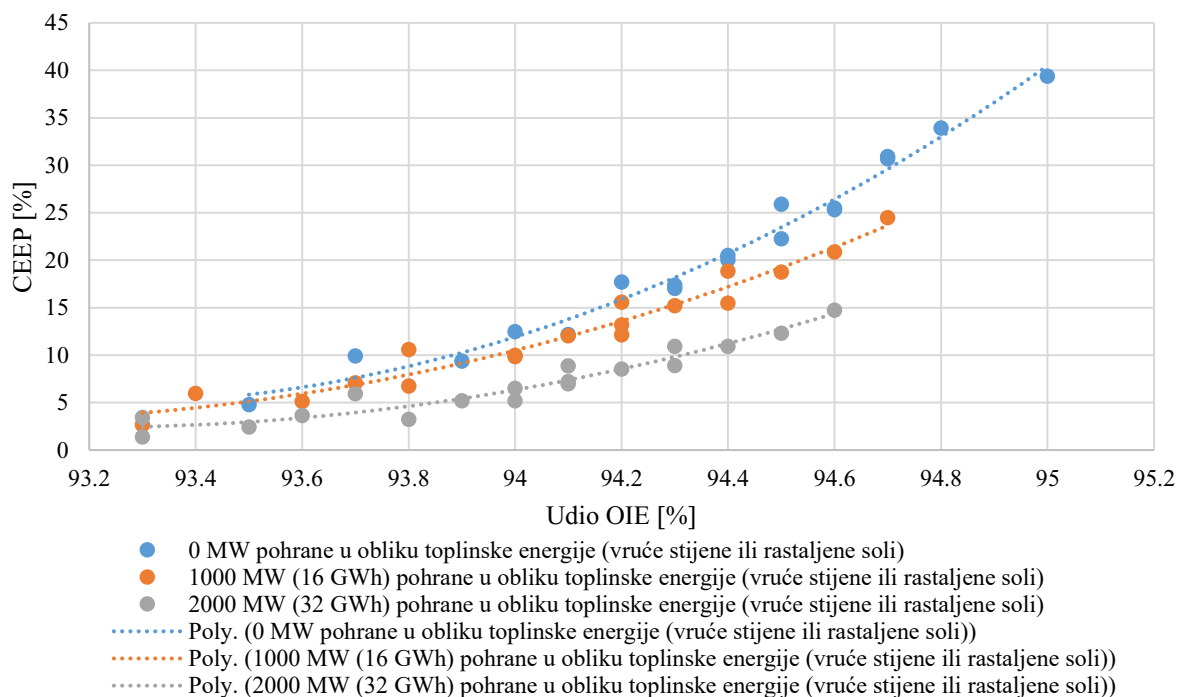
Slika 81. Utjecaj baterijske pohrane na CEEP

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



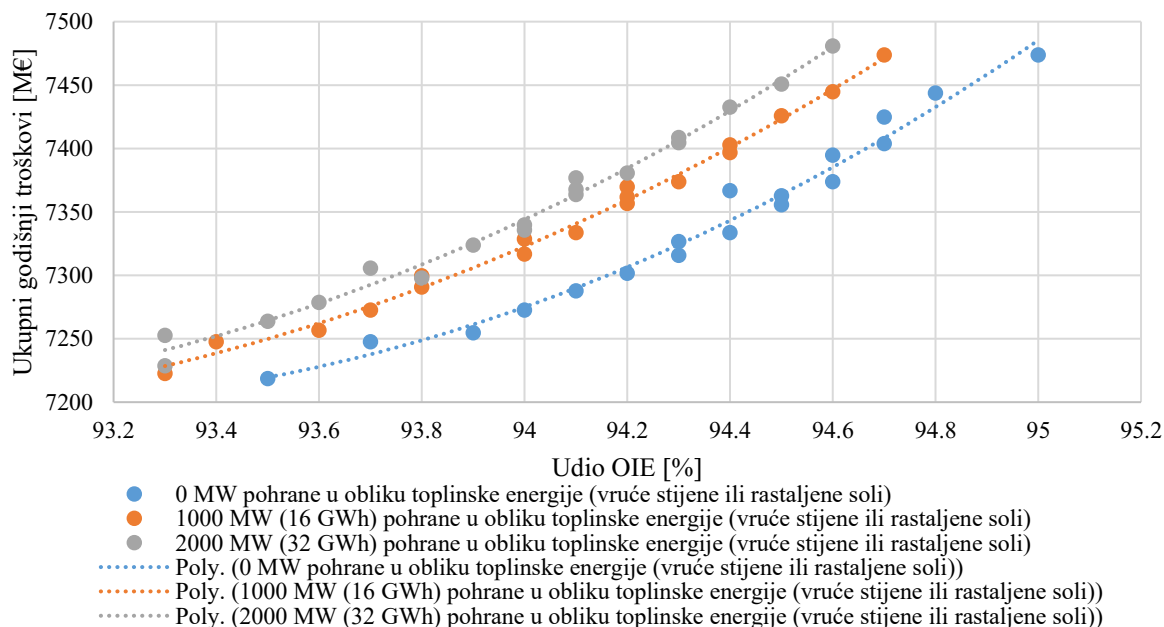
Slika 82. Utjecaj baterijske pohrane na ukupne godišnje troškove

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 %.



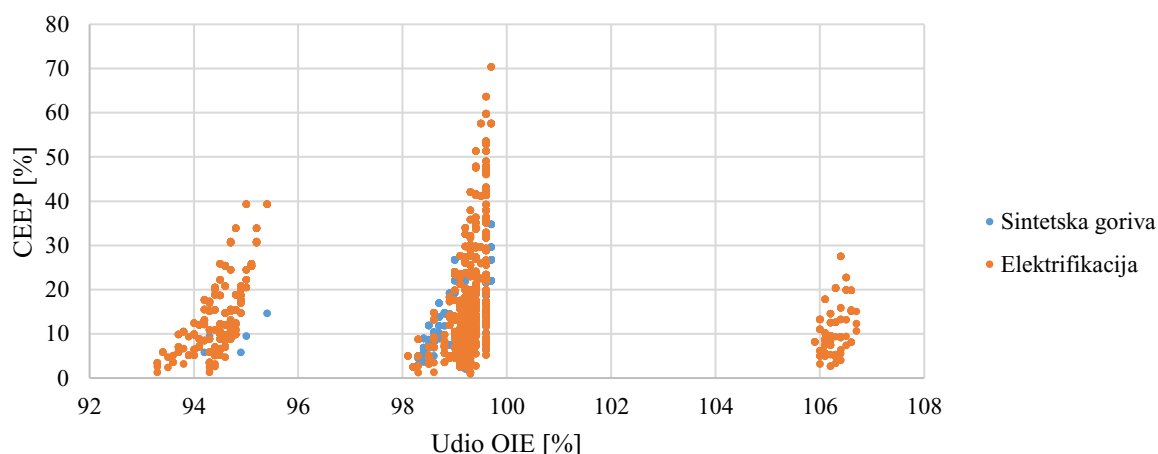
Slika 83. Utjecaj pohrane električne energije u obliku toplinske energije na CEEP

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.

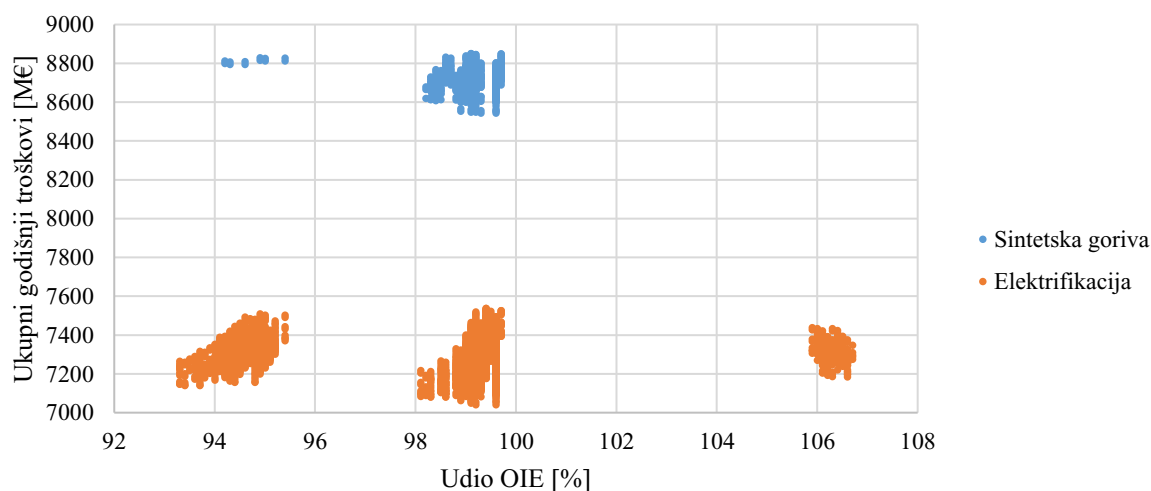


Slika 84. Utjecaj pohrane električne energije u obliku toplinske energije na ukupne godišnje troškove

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.

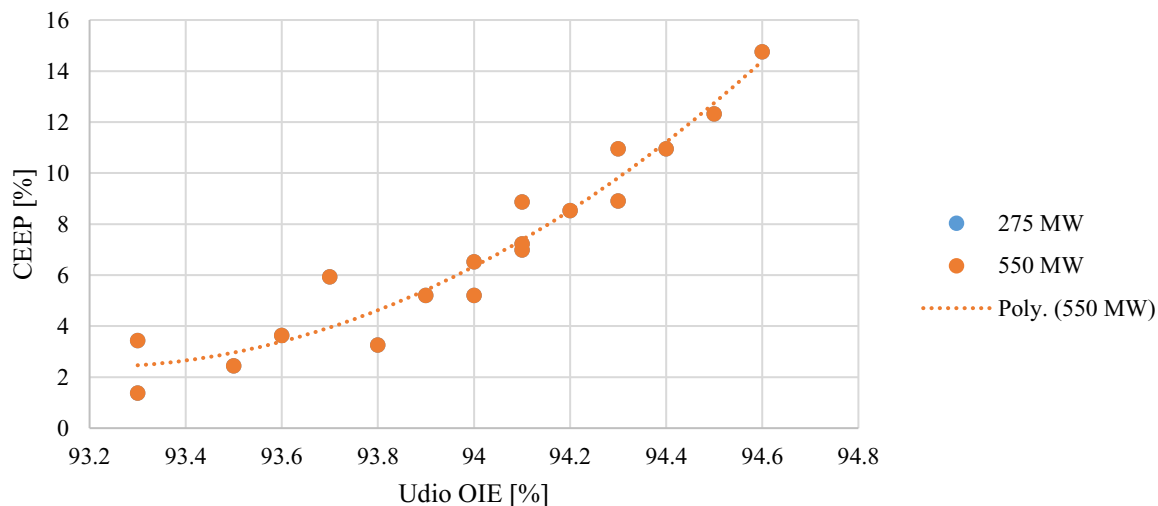


Slika 85. CEEP za slučaj korištenja sintetskih goriva u sektoru prometa



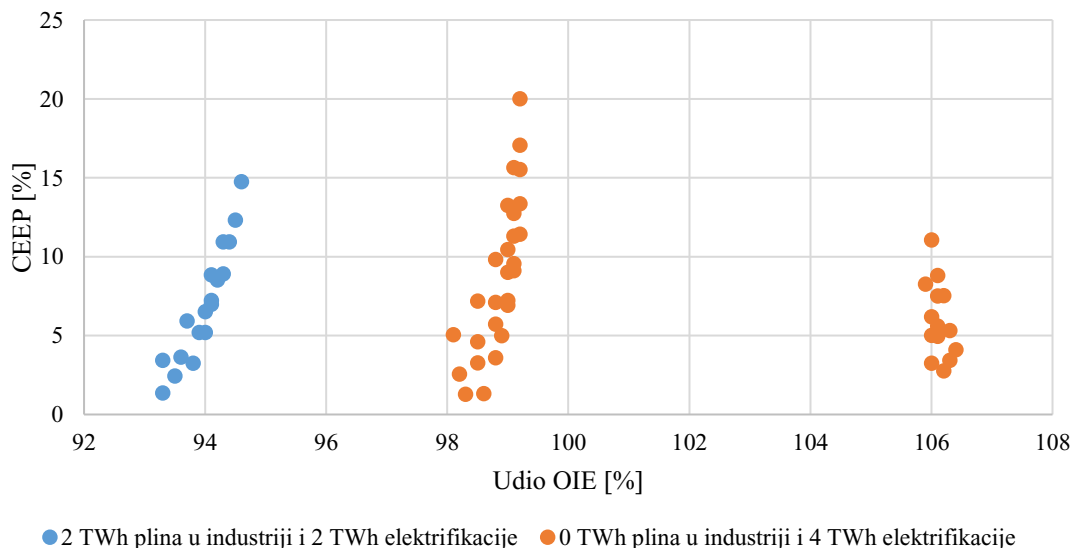
Slika 86. Ukupni godišnji troškovi za slučaj korištenja sintetskih goriva u sektoru prometa

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.



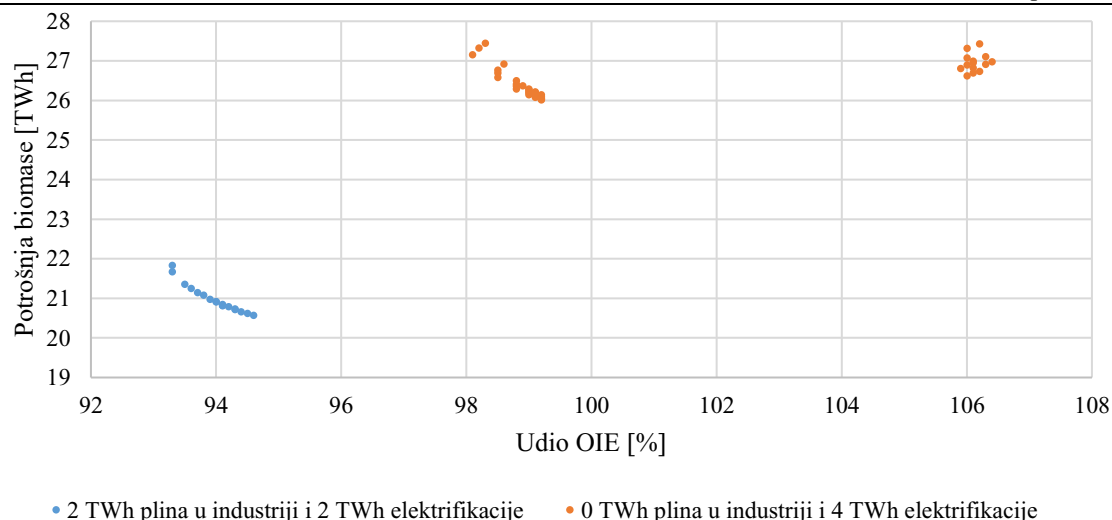
Slika 87. Utjecaj povećanja kapaciteta reverzibilnih hidroelektrana na CEEP

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

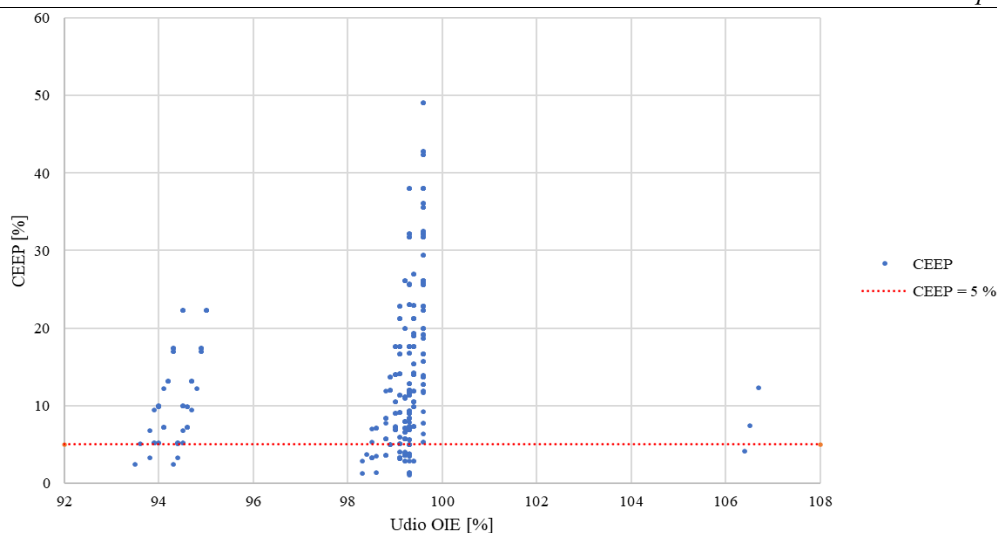
Utjecaj promjene goriva u industriji na potrošnju biomase prikazuje Slika 89. Povećanjem izravnog korištenja biomase u industriji se povećava potrošnja, te se uslijed povećanog korištenja električne energije povećava potrošnja biomase u termoenergetskim postrojenjima.



Slika 89. Utjecaj promjene goriva u industriji na potrošnju biomase

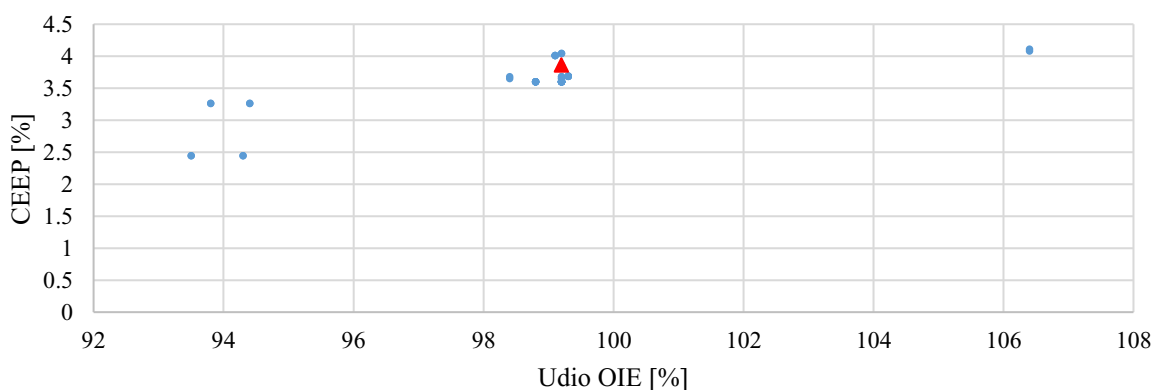
5.4.1. Odabir najpovoljnijeg sustava za 2050. godinu

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

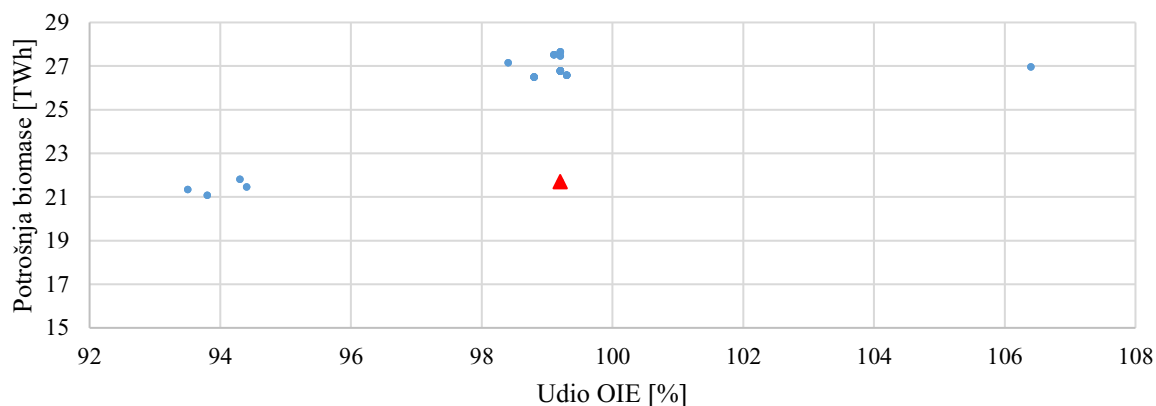
Potrebno je profilirati sustave koji se oslanjaju na proizvodnju iz većih kapaciteta VOIE nego što su dostupni kapaciteti te zadržati postojeće kapacitete iz VOIE. Preostale sustave nakon uvođenja napomenutih ograničenja prikazuje Slika 91. Sljedeći korak je provođenje multi-kriterijske analize. Rezultate 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 %

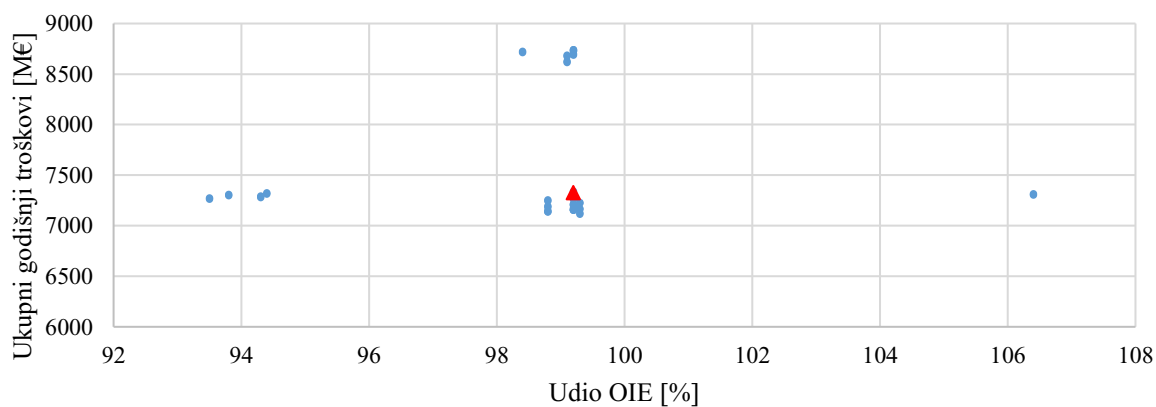
Ovaj sustav iskorištava viškove proizvodnje električne energije iz VOIE kako bi se putem tehnologije P2G generirao sintetski plin. Sintetski plin istiskuje preostalu potrošnju prirodnog plina u industrijskom sektoru. Uz korištenje sintetskog plina se ograničava potrošnja biomase

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



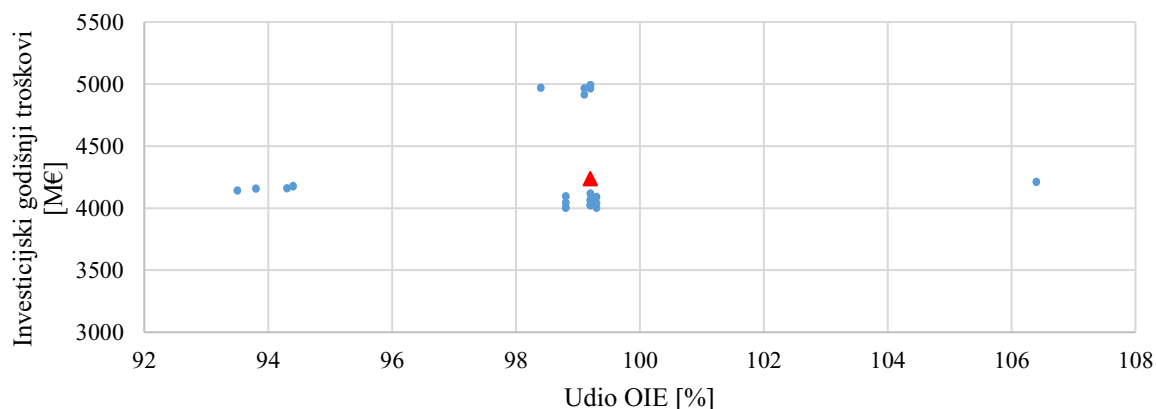
Slika 92. Potrošnja biomase

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.



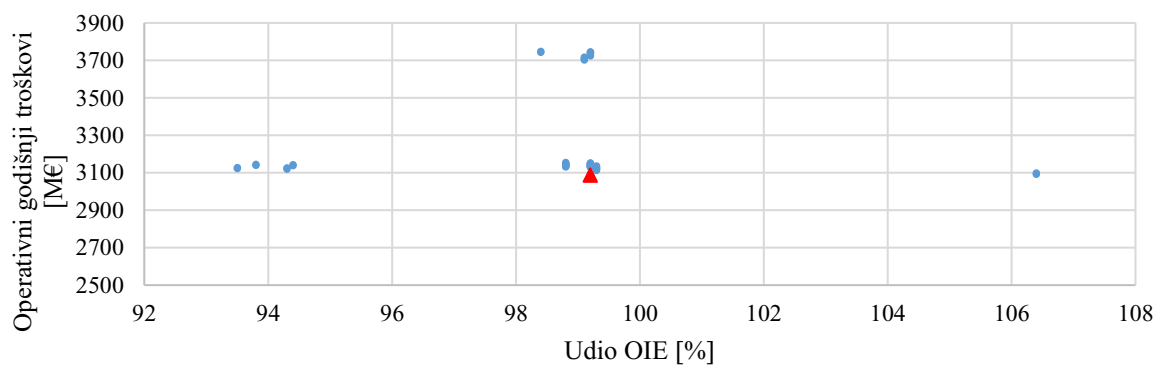
Slika 93. Ukupni godišnji troškovi

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



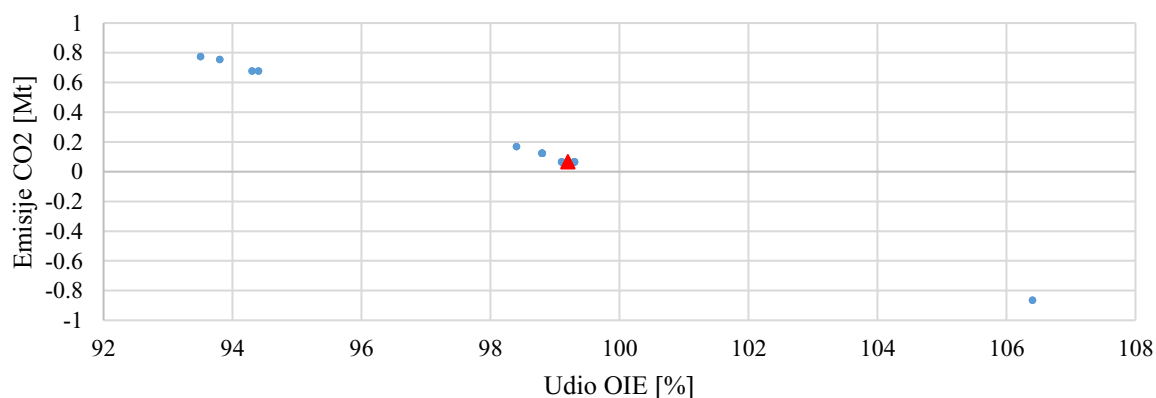
Slika 94. Investicijski godišnji troškovi

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

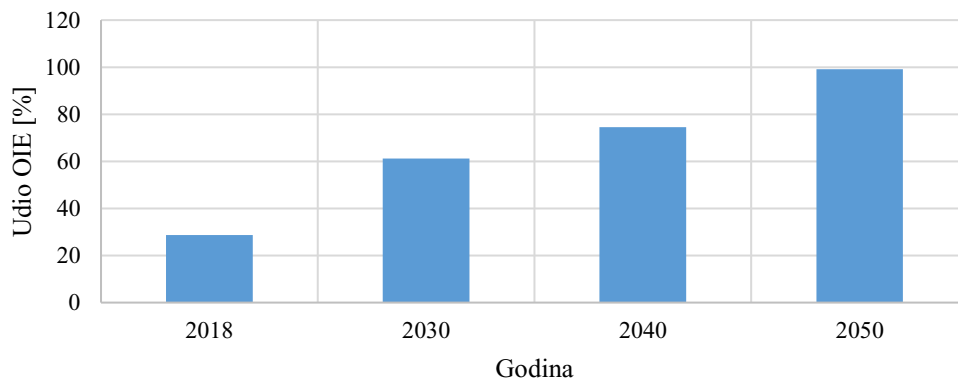
S obzirom na projicirane potencijale za proizvodnju iz vjetra od 9000 MW i iz FN od 8000 MW, optimalan je scenarij s instaliranim kapacitetima od 8500 MW vjetroelektrana i 7750 MW FN elektrana čije podatke prikazuje Tablica 27.

Tablica 27. Podaci o odabranom sustavu

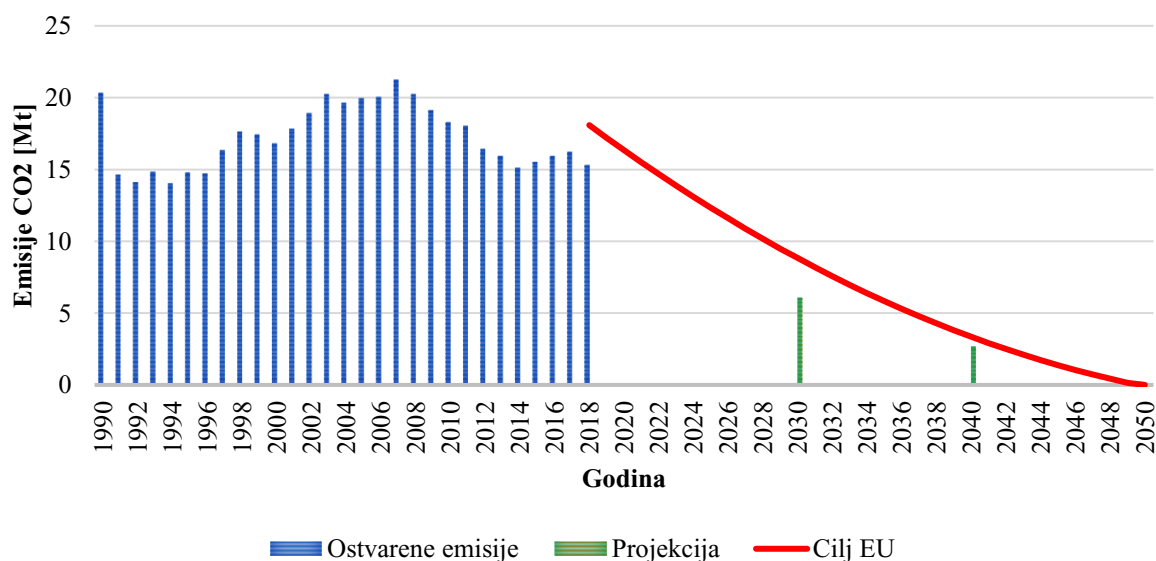
Veličina	Iznos	Jedinica
Udio OIE	99,2	%
Emisija CO ₂	0,067	Mt
CEEP	3,86	%
Potrošnja biomase	21,71	TWh
Ukupni godišnji troškovi	7328	M€
Godišnji investicijski troškovi	4239	M€
Godišnji operativni troškovi	3089	M€
Kapacitet vjetroelektrana	8500	MW
Kapacitet fotonaponskih elektrana	7750	MW
Udio biomase 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.

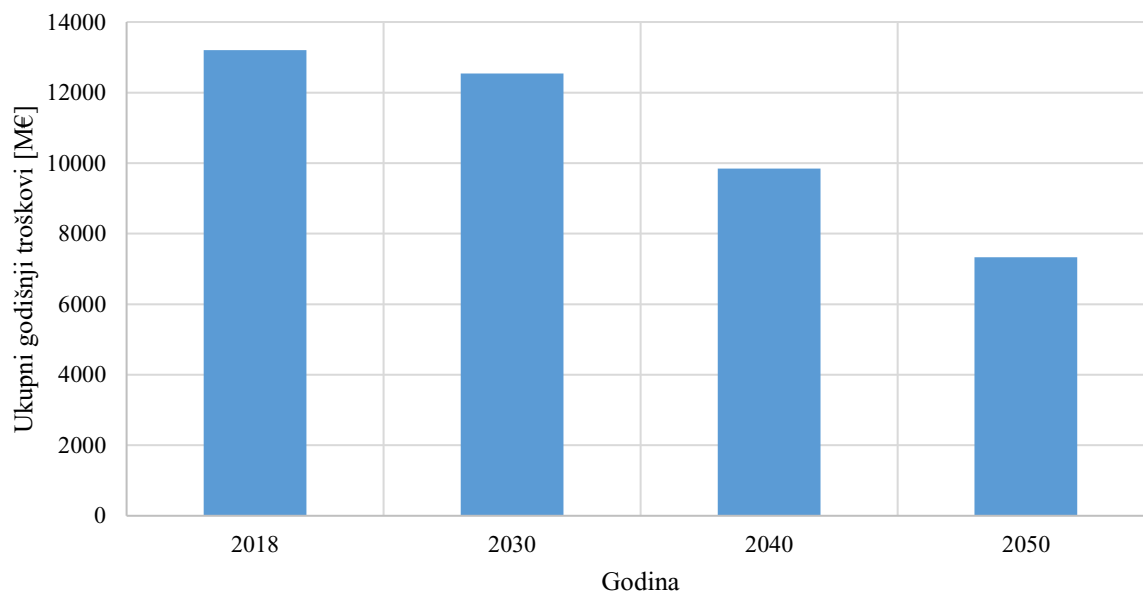
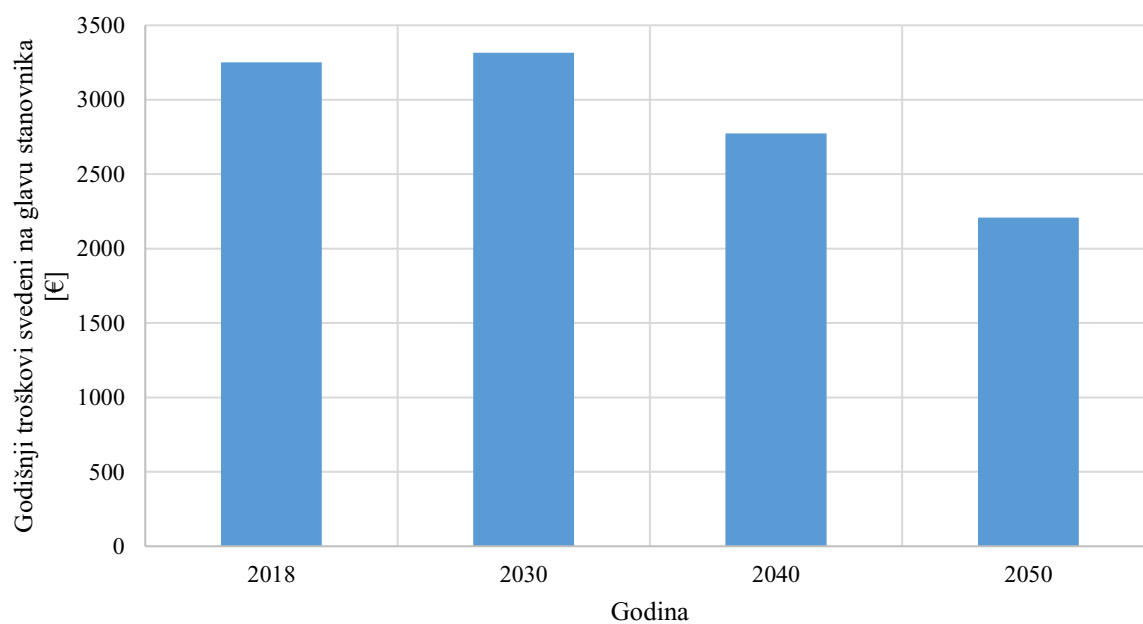


Slika 97. Usporedba udjela OIE

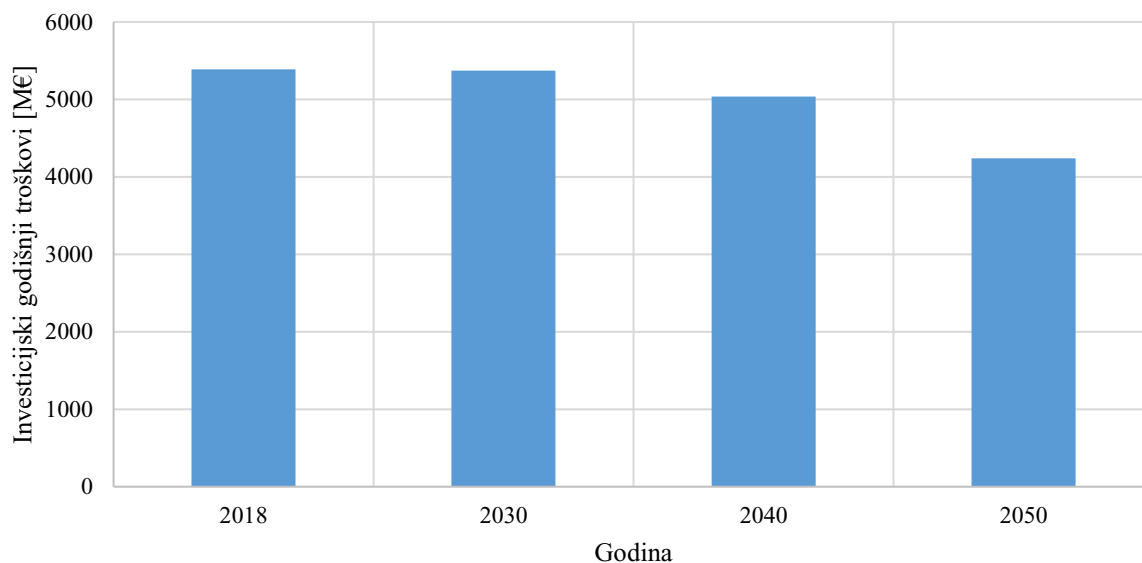


Slika 98. Usporedba emisija CO₂

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.)

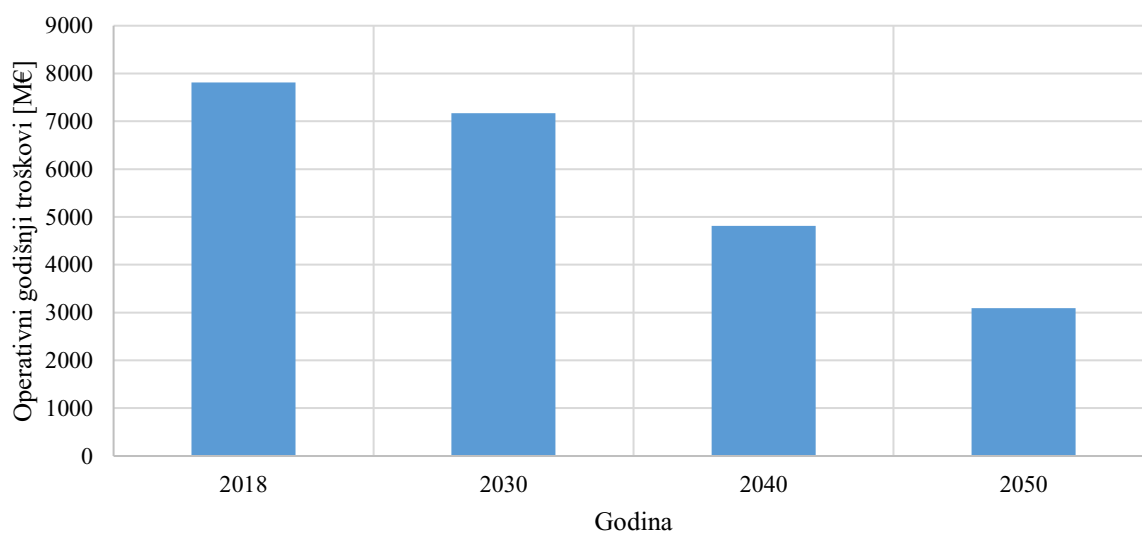
**Slika 99. Usporedba ukupnih troškova sustava****Slika 100. Usporedba specifičnih troškova sustava**

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.



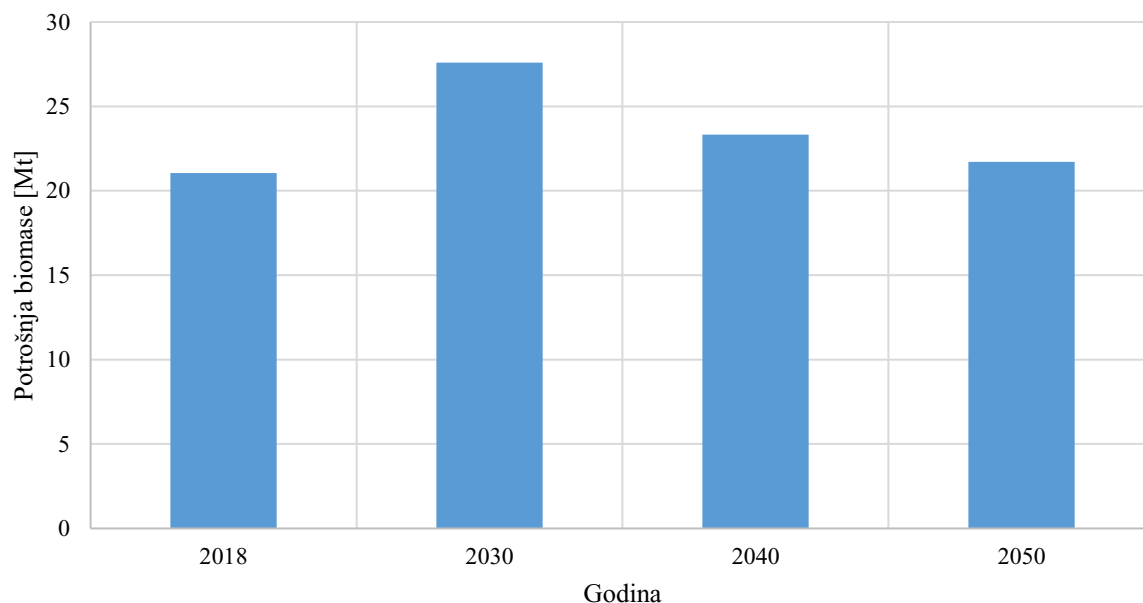
Slika 101. Usporedba investicijskih troškova sustava

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



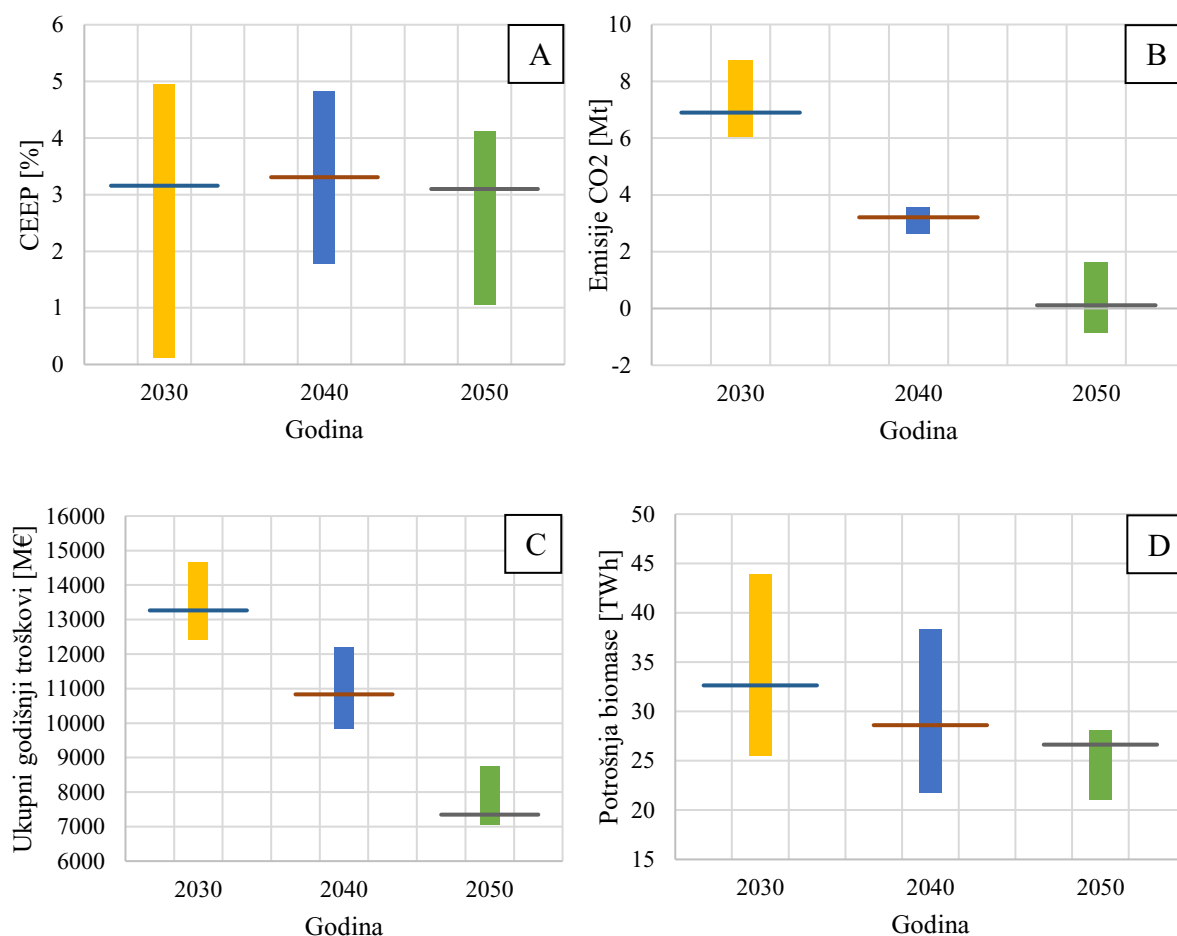
Slika 102. Usporedba operativnih troškova sustava

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.



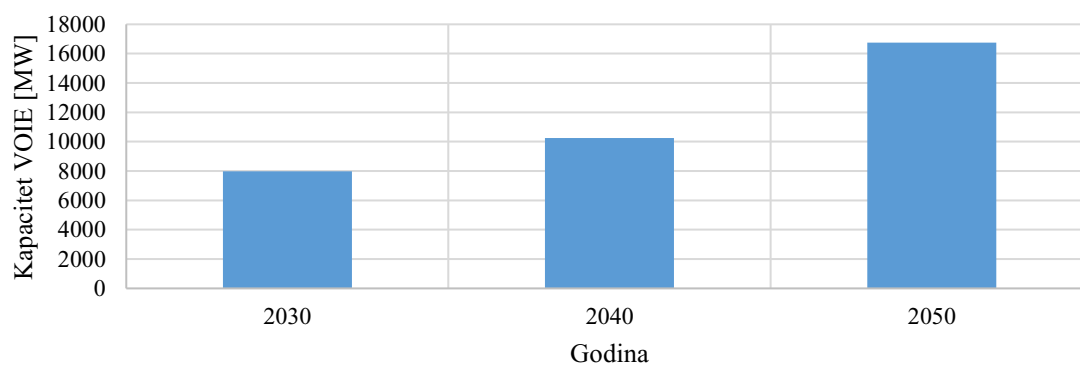
Slika 103. Usporedba potrošnje biomase

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).

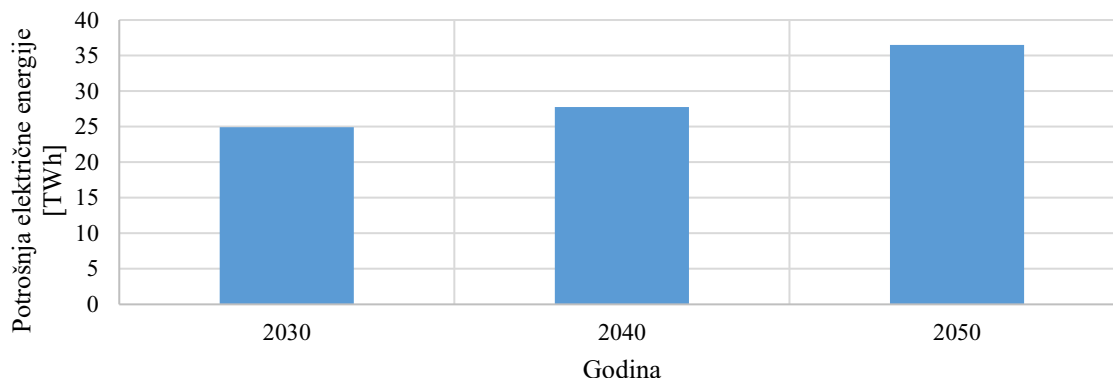


Slika 104. Raspon i srednje vrijednosti CEEP-a (A), emisija CO₂ (B) ukupnih godišnjih troškova (C) i potrošnje biomase (D)

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

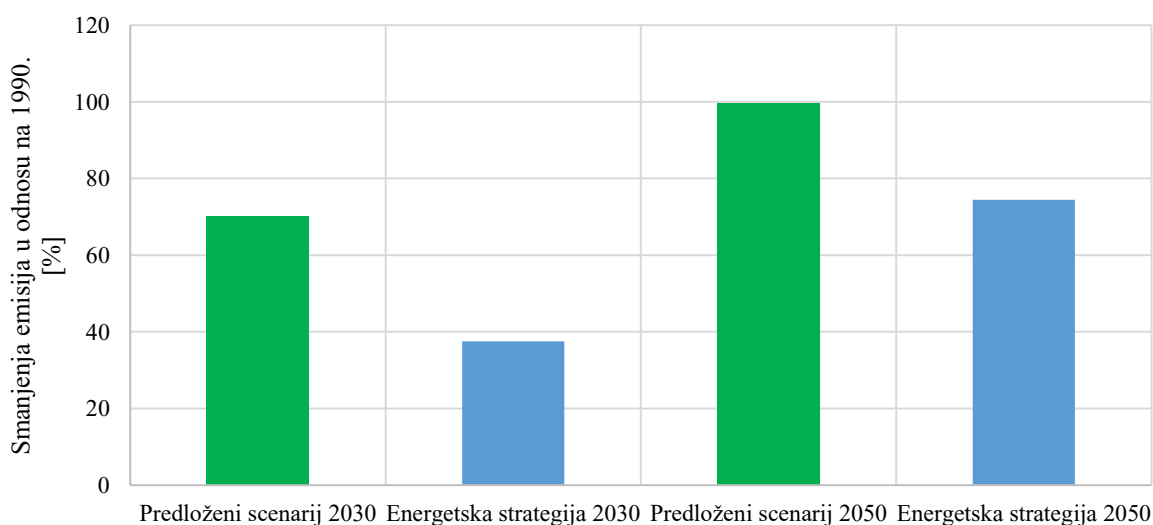


Slika 106. Potrošnja električne energije

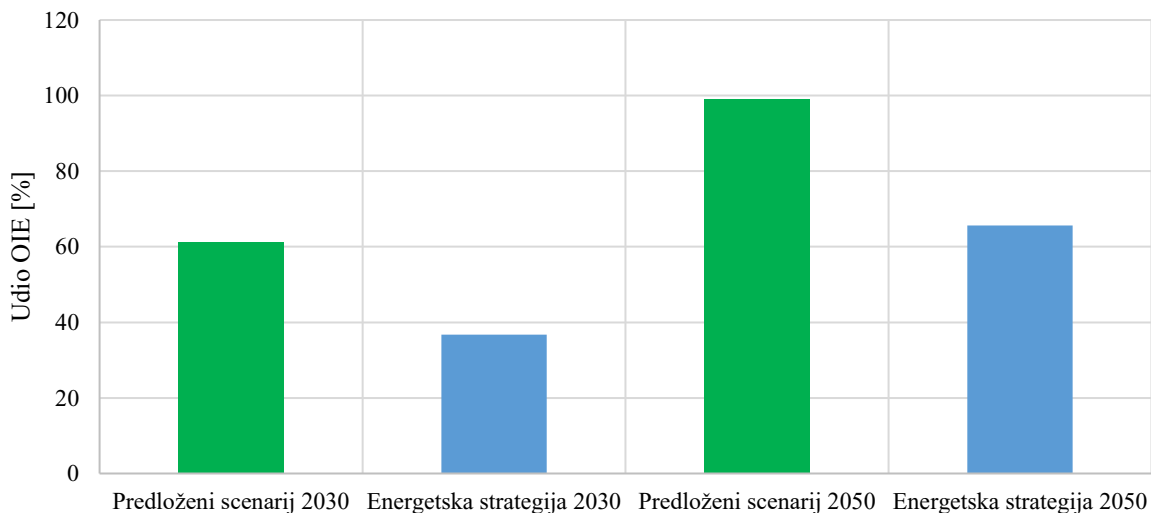
5.6. Usporedba predloženog scenarija sa S1 scenarijem Energetske strategije Republike Hrvatske

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 %.

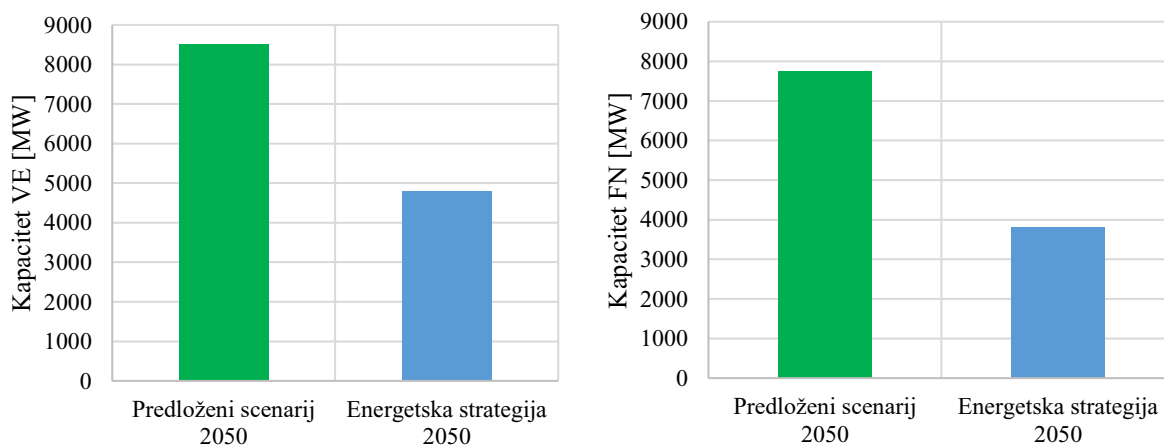


Slika 107. Usporedba smanjenja emisija predloženog scenarija i Energetske strategije



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 energetskeg 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-neo.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%2F7%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-ogrjevn-sezone-2018-2019-i-najava-radova-na-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-leto-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 > {}{}\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('{} .txt'.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 CO ₂	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	El	500	6	DA	DA	0.786
61.5	6.139	3.12	27.97	12494.4	5000	2500	0.5	3	El	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	El	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	El	0	3	DA	DA	0.756
61.3	6.258	3.27	28.56	12464.4	5000	2500	0.5	3	El	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	El	500	6	DA	NE	0.743
61.3	6.287	3.63	28.7	12465.9	5000	2500	0.5	3	El	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	El	500	6	DA	DA	0.729
58.7	6.561	1.74	26.9	12474.1	3750	3750	0.75	3	El	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	El	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	El	0	3	DA	NE	0.704
60.6	6.139	4.9	27.97	12508.4	5000	2500	0.5	3	El	500	6	DA	NE	0.704
58.4	6.703	1.95	27.13	12434.1	3750	3750	0.75	3	El	0	6	DA	DA	0.703
58.9	6.571	3.12	25.86	12463.8	5000	2500	0.9	3	El	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	El	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	0.67
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

75	2.84	4.83	27.71	10700.87	4250	5500	0.5	6	61	1000	3	5	0	0.593
73.8	3.02	2.34	29.87	10952.87	3500	5500	0.5	4	61	1000	3	5	2500	0.593
72.6	3.04	4.23	24.96	10078.84	3500	6750	0.5	4	80	500	7	5	2500	0.585
72.6	3.04	4.19	24.94	10146.84	3500	6750	0.5	4	80	1000	7	5	2500	0.583
69.7	3.3	2.23	22.55	9862.07	4250	4250	0.25	6	80	500	3	8	0	0.583
69.6	3.29	2.15	22.5	9927.07	4250	4250	0.25	6	80	1000	3	8	0	0.582
69.6	3.29	2.15	22.49	9942.07	4250	4250	0.25	6	80	1000	3	8	2500	0.581
69.6	3.3	2.23	22.54	9875.07	4250	4250	0.25	6	80	500	3	8	2500	0.58
76.9	2.82	1.78	38.27	12082.67	3500	4250	0.25	4	36	500	3	5	2500	0.578
76.9	2.82	1.82	38.28	12066.67	3500	4250	0.25	4	36	500	3	5	0	0.576
76.9	2.82	1.78	38.28	12135.67	3500	4250	0.25	4	36	1000	3	5	0	0.573
76.9	2.82	1.78	38.27	12149.67	3500	4250	0.25	4	36	1000	3	5	2500	0.572
78.1	2.66	4.3	36.12	11832.67	4250	4250	0.25	6	36	500	3	5	0	0.568
78.1	2.66	4.3	36.11	11846.67	4250	4250	0.25	6	36	500	3	5	2500	0.567
78.1	2.66	4.26	36.11	11915.67	4250	4250	0.25	6	36	1000	3	5	2500	0.563
78.1	2.66	4.3	36.12	11899.67	4250	4250	0.25	6	36	1000	3	5	0	0.562
78.3	2.68	4.81	36.3	11849.64	4250	4250	0.25	6	36	500	7	5	0	0.54
78.3	2.67	4.81	36.29	11863.64	4250	4250	0.25	6	36	500	7	5	2500	0.539
69.8	3.31	3.01	22.81	9876.07	3500	5500	0.25	6	80	500	3	8	2500	0.537
69.8	3.32	3.05	22.82	9863.07	3500	5500	0.25	6	80	500	3	8	0	0.536
78.3	2.68	4.81	36.3	11916.64	4250	4250	0.25	6	36	1000	7	5	0	0.534
78.3	2.67	4.81	36.29	11932.64	4250	4250	0.25	6	36	1000	7	5	2500	0.533
69.8	3.31	3.01	22.81	9929.07	3500	5500	0.25	6	80	1000	3	8	0	0.533
69.8	3.31	3.01	22.8	9945.07	3500	5500	0.25	6	80	1000	3	8	2500	0.532
68.5	3.45	2.15	21.72	9920.87	4250	4250	0.5	6	80	1000	3	8	2500	0.517
68.5	3.45	2.15	21.73	9905.87	4250	4250	0.5	6	80	1000	3	8	0	0.517
68.5	3.46	2.23	21.76	9839.87	4250	4250	0.5	6	80	500	3	8	0	0.516
68.5	3.46	2.23	21.76	9853.87	4250	4250	0.5	6	80	500	3	8	2500	0.515
69.8	3.32	3.47	22.9	9876.04	3500	5500	0.25	6	80	500	7	8	0	0.513
69.8	3.32	3.47	22.89	9890.04	3500	5500	0.25	6	80	500	7	8	2500	0.512
71.1	3.31	1.8	27.86	10701.07	3500	4250	0.25	6	61	500	3	8	2500	0.511
71.1	3.31	1.8	27.87	10687.07	3500	4250	0.25	6	61	500	3	8	0	0.511
69.8	3.31	3.43	22.88	9958.04	3500	5500	0.25	6	80	1000	7	8	2500	0.509
69.8	3.32	3.47	22.88	9942.04	3500	5500	0.25	6	80	1000	7	8	0	0.508
71.1	3.31	1.8	27.85	10755.07	3500	4250	0.25	6	61	1000	3	8	0	0.507
71.1	3.31	1.8	27.84	10769.07	3500	4250	0.25	6	61	1000	3	8	2500	0.506
75.8	3	1.78	37.35	12061.47	3500	4250	0.5	4	36	500	3	5	2500	0.505
75.8	3.01	1.82	37.36	12046.47	3500	4250	0.5	4	36	500	3	5	0	0.504
77.1	2.84	4.3	35.26	11811.47	4250	4250	0.5	6	36	500	3	5	0	0.501
77.1	2.84	4.3	35.25	11825.47	4250	4250	0.5	6	36	500	3	5	2500	0.5
75.8	3.01	1.78	37.36	12115.47	3500	4250	0.5	4	36	1000	3	5	0	0.5
75.8	3	1.78	37.35	12128.47	3500	4250	0.5	4	36	1000	3	5	2500	0.499
77.1	2.84	4.26	35.25	11894.47	4250	4250	0.5	6	36	1000	3	5	2500	0.496
77.1	2.84	4.3	35.26	11878.47	4250	4250	0.5	6	36	1000	3	5	0	0.495
71.2	3.31	2.15	27.94	10714.04	3500	4250	0.25	6	61	500	7	8	2500	0.493
71.6	3.28	2.7	27.45	10689.07	4250	3500	0.25	6	61	500	3	8	0	0.491
71.6	3.28	2.7	27.45	10703.07	4250	3500	0.25	6	61	500	3	8	2500	0.49
71.2	3.31	2.11	27.92	10781.04	3500	4250	0.25	6	61	1000	7	8	2500	0.49
71.6	3.28	2.66	27.43	10771.07	4250	3500	0.25	6	61	1000	3	8	2500	0.487
70	3.4	2.83	24.03	10181.07	4250	4250	0.25	4	80	1000	3	8	2500	0.487
70	3.4	2.83	24.04	10167.07	4250	4250	0.25	4	80	1000	3	8	0	0.487
71.6	3.28	2.7	27.44	10757.07	4250	3500	0.25	6	61	1000	3	8	0	0.486
70	3.41	2.96	24.11	10102.07	4250	4250	0.25	4	80	500	3	8	0	0.483
71.7	3.28	2.89	27.51	10701.04	4250	3500	0.25	6	61	500	7	8	0	0.482
70	3.41	2.96	24.1	10118.07	4250	4250	0.25	4	80	500	3	8	2500	0.482
71.7	3.28	2.89	27.5	10715.04	4250	3500	0.25	6	61	500	7	8	2500	0.481
71.7	3.28	2.85	27.48	10783.04	4250	3500	0.25	6	61	1000	7	8	2500	0.478
71.7	3.28	2.89	27.49	10768.04	4250	3500	0.25	6	61	1000	7	8	0	0.476
77.1	2.86	4.81	35.38	11828.44	4250	4250	0.5	6	36	500	7	5	0	0.465
77.1	2.86	4.81	35.37	11842.44	4250	4250	0.5	6	36	500	7	5	2500	0.464
68.5	3.49	3.01	21.94	9854.87	3500	5500	0.5	6	80	500	3	8	2500	0.463
68.5	3.49	3.05	21.94	9841.87	3500	5500	0.5	6	80	500	3	8	0	0.462
77.2	2.86	4.81	35.38	11895.44	4250	4250	0.5	6	36	1000	7	5	0	0.461
68.5	3.49	3.01	21.94	9907.87	3500	5500	0.5	6	80	1000	3	8	0	0.459
77.1	2.86	4.81	35.37	11911.44	4250	4250	0.5	6	36	1000	7	5	2500	0.458
68.5	3.49	3.01	21.93	9923.87	3500	5500	0.5	6	80	1000	3	8	2500	0.458
69.9	3.49	1.8	26.97	10665.87	3500	4250	0.5	6	61	500	3	8	0	0.438
69.9	3.49	1.8	26.96	10680.87	3500	4250	0.5	6	61	500	3	8	2500	0.437
68.5	3.5	3.47	21.99	9868.84	3500	5500	0.5	6	80	500	7	8	2500	0.436
68.5	3.5	3.47	21.99	9855.84	3500	5500	0.5	6	80	500	7	8	0	0.436
69.1	3.53	2.83	23.41	10145.87	4250	4250	0.5	4	80	1000	3	8	0	0.435

69.1	3.53	2.83	23.4	10158.87	4250	4250	0.5	4	80	1000	3	8	2500	0.434
69.9	3.49	1.8	26.96	10733.87	3500	4250	0.5	6	61	1000	3	8	0	0.433
68.5	3.5	3.43	21.97	9936.84	3500	5500	0.5	6	80	1000	7	8	2500	0.433
69.9	3.49	1.8	26.95	10747.87	3500	4250	0.5	6	61	1000	3	8	2500	0.432
68.5	3.5	3.47	21.98	9921.84	3500	5500	0.5	6	80	1000	7	8	0	0.432
70.1	3.43	3.88	24.39	10105.07	3500	5500	0.25	4	80	500	3	8	0	0.43
69.1	3.54	2.96	23.46	10080.87	4250	4250	0.5	4	80	500	3	8	0	0.43
70.1	3.43	3.83	24.36	10171.07	3500	5500	0.25	4	80	1000	3	8	0	0.429
70.1	3.43	3.87	24.38	10119.07	3500	5500	0.25	4	80	500	3	8	2500	0.429
69.1	3.54	2.96	23.46	10095.87	4250	4250	0.5	4	80	500	3	8	2500	0.429
70.1	3.43	3.83	24.35	10185.07	3500	5500	0.25	4	80	1000	3	8	2500	0.428
70.5	3.43	2.7	26.69	10667.87	4250	3500	0.5	6	61	500	3	8	0	0.427
70.5	3.43	2.7	26.68	10681.87	4250	3500	0.5	6	61	500	3	8	2500	0.426
70.5	3.43	2.66	26.67	10749.87	4250	3500	0.5	6	61	1000	3	8	2500	0.423
70.5	3.43	2.7	26.68	10735.87	4250	3500	0.5	6	61	1000	3	8	0	0.422
70.6	3.44	2.89	26.71	10693.84	4250	3500	0.5	6	61	500	7	8	2500	0.416
70.6	3.44	2.89	26.72	10679.84	4250	3500	0.5	6	61	500	7	8	0	0.416
69.9	3.5	2.15	27	10693.84	3500	4250	0.5	6	61	500	7	8	2500	0.416
71.4	3.42	2.47	29.38	10941.07	3500	4250	0.25	4	61	500	3	8	2500	0.415
71.4	3.41	2.43	29.35	11008.07	3500	4250	0.25	4	61	1000	3	8	2500	0.413
71.4	3.42	2.51	29.39	10927.07	3500	4250	0.25	4	61	500	3	8	0	0.413
70.6	3.44	2.85	26.7	10761.84	4250	3500	0.5	6	61	1000	7	8	2500	0.413
70	3.42	4.1	24.34	10195.04	3500	5500	0.25	4	80	1000	7	8	2500	0.413
70	3.42	4.1	24.35	10181.04	3500	5500	0.25	4	80	1000	7	8	0	0.413
70	3.43	4.15	24.39	10130.04	3500	5500	0.25	4	80	500	7	8	2500	0.413
69.9	3.5	2.11	26.99	10760.84	3500	4250	0.5	6	61	1000	7	8	2500	0.413
70	3.43	4.19	24.4	10115.04	3500	5500	0.25	4	80	500	7	8	0	0.412
71.4	3.41	2.47	29.36	10993.07	3500	4250	0.25	4	61	1000	3	8	0	0.411
70.6	3.44	2.89	26.71	10746.84	4250	3500	0.5	6	61	1000	7	8	0	0.411
71.4	3.42	2.74	29.41	10952.04	3500	4250	0.25	4	61	500	7	8	2500	0.4
71.4	3.41	2.7	29.39	11019.04	3500	4250	0.25	4	61	1000	7	8	2500	0.397
71.9	3.39	3.51	29.05	10931.07	4250	3500	0.25	4	61	500	3	8	0	0.385
71.9	3.39	3.51	29.04	10946.07	4250	3500	0.25	4	61	500	3	8	2500	0.384
71.9	3.39	3.47	29.04	10999.07	4250	3500	0.25	4	61	1000	3	8	0	0.382
71.9	3.39	3.47	29.03	11014.07	4250	3500	0.25	4	61	1000	3	8	2500	0.381
71.9	3.39	3.58	29.04	10941.04	4250	3500	0.25	4	61	500	7	8	0	0.381
71.9	3.39	3.58	29.03	10955.04	4250	3500	0.25	4	61	500	7	8	2500	0.38
71.9	3.39	3.54	29.02	11024.04	4250	3500	0.25	4	61	1000	7	8	2500	0.377
71.9	3.39	3.58	29.03	11008.04	4250	3500	0.25	4	61	1000	7	8	0	0.376
69	3.58	3.88	23.66	10082.87	3500	5500	0.5	4	80	500	3	8	0	0.368
69	3.57	3.83	23.63	10148.87	3500	5500	0.5	4	80	1000	3	8	0	0.367
69	3.58	3.87	23.65	10097.87	3500	5500	0.5	4	80	500	3	8	2500	0.367
69	3.57	3.83	23.63	10163.87	3500	5500	0.5	4	80	1000	3	8	2500	0.366
74	3.29	2.9	35.27	11866.67	3500	3500	0.25	6	36	500	3	8	0	0.356
74	3.29	2.9	35.26	11881.67	3500	3500	0.25	6	36	500	3	8	2500	0.355
70.4	3.57	2.47	28.64	10919.87	3500	4250	0.5	4	61	500	3	8	2500	0.354
70.4	3.57	2.51	28.64	10904.87	3500	4250	0.5	4	61	500	3	8	0	0.353
69	3.57	4.1	23.61	10173.84	3500	5500	0.5	4	80	1000	7	8	2500	0.353
69	3.57	4.1	23.62	10158.84	3500	5500	0.5	4	80	1000	7	8	0	0.353
69	3.58	4.15	23.65	10108.84	3500	5500	0.5	4	80	500	7	8	2500	0.353
70.4	3.56	2.43	28.61	10985.87	3500	4250	0.5	4	61	1000	3	8	2500	0.352
69	3.58	4.19	23.66	10093.84	3500	5500	0.5	4	80	500	7	8	0	0.352
70.4	3.57	2.47	28.62	10971.87	3500	4250	0.5	4	61	1000	3	8	0	0.351
74	3.29	2.9	35.27	11935.67	3500	3500	0.25	6	36	1000	3	8	0	0.35
74	3.29	2.9	35.26	11949.67	3500	3500	0.25	6	36	1000	3	8	2500	0.349
70.4	3.57	2.74	28.65	10930.84	3500	4250	0.5	4	61	500	7	8	2500	0.339
70.4	3.57	2.7	28.64	10997.84	3500	4250	0.5	4	61	1000	7	8	2500	0.336
74.2	3.3	3.29	35.43	11882.64	3500	3500	0.25	6	36	500	7	8	0	0.334
74.2	3.3	3.29	35.43	11897.64	3500	3500	0.25	6	36	500	7	8	2500	0.333
71	3.52	3.51	28.41	10909.87	4250	3500	0.5	4	61	500	3	8	0	0.332
71	3.52	3.51	28.41	10924.87	4250	3500	0.5	4	61	500	3	8	2500	0.331
71.1	3.52	3.58	28.4	10933.84	4250	3500	0.5	4	61	500	7	8	2500	0.33
71.1	3.52	3.58	28.41	10918.84	4250	3500	0.5	4	61	500	7	8	0	0.33
71	3.52	3.47	28.4	10976.87	4250	3500	0.5	4	61	1000	3	8	0	0.329
74.2	3.3	3.29	35.43	11965.64	3500	3500	0.25	6	36	1000	7	8	2500	0.328
74.2	3.3	3.29	35.43	11951.64	3500	3500	0.25	6	36	1000	7	8	0	0.328
71	3.52	3.47	28.4	10992.87	4250	3500	0.5	4	61	1000	3	8	2500	0.328
71.1	3.52	3.54	28.39	11001.84	4250	3500	0.5	4	61	1000	7	8	2500	0.327
71.1	3.52	3.58	28.4	10986.84	4250	3500	0.5	4	61	1000	7	8	0	0.326
72.9	3.47	2.9	34.4	11845.47	3500	3500	0.5	6	36	500	3	8	0	0.286
72.9	3.47	2.9	34.39	11860.47	3500	3500	0.5	6	36	500	3	8	2500	0.285

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

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