

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



*Istraživanje puteva energetske tranzicije -
međuovisnost "power-to-X" tehnologija,
tehnologija odgovora potrošnje i povezivanja tržišta
energijom – INTERENERGY*

*D3.2 – Scenarijska analiza integracije tehnologija
odgovora potrošnje i „power-to-X“ tehnologije
sukladno strateškom donošenju odluka*

Zagreb, 2023. godina

Projektni tim:

Prof. dr. sc. Neven Duić

Prof. dr. sc. Ingo Stadler

Prof. dr. sc. Henrik Lund

Izv. prof. dr. sc. Iva Ridjan Skov

Prof. dr. sc. Fei Wang

dr. sc. Felipe Feijoo

dr. sc. Hrvoje Dorotić

Antun Pfeifer, mag. ing. mech.

Luka Herc, mag. ing. mech.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. SEKTOR GRIJANJA	2
3. SEKTOR INDUSTRIJE	5
4. SEKTOR TRANSPORTA.....	7
5. TRANSFORMACIJE	9
6. MODUL ZA EKONOMSKU ANALIZU INTEGRACIJE PROCESA I ELEKTRIFIKACIJE PROIZVODNJE POLIMERA U POSTOJEĆIM POSTROJENJIMA.....	15
7. Primjeri rezultata	16
8. Zaključak	25
9. LITERATURA	28
10. DODATNI MATERIJAL.....	29

POPIS SLIKA

Slika 1. Toplinske potrebe u individualnim toplinskim sustavima	3
Slika 2. Toplinske potrebe u centraliziranom toplinskom sustavu.....	4
Slika 3. Struktura modula industrije.....	5
Slika 4. Satne distribucije potreba u industriji	6
Slika 5. Shematski opis modula transporta	8
Slika 6. Modeliranje varijabilnih obnovljivih izvora energije [5].....	10
Slika 7. Satna distribucija dostupnosti resursa	10
Slika 8. Definicija pritoka u akumulacije	11
Slika 9. Podaci o geografskim udaljenostima proizvodnje i potrošnje	12
Slika 10. Odnosi korištenih tokova energije ili materijala	13
Slika 11. Proizvodne jedinice za elektrogoriva	13
Slika 12. Sustavi pohrane goriva.....	14
Slika 13. Odziv potrošnje na dnevnoj i tjednoj razini	17
Slika 14. Rezultati za instalacije kapaciteta	17
Slika 15. Investicije u transmisijske kapacitete između država koje su modelirane te država izvan modeliranih regija	18
Slika 16. Investicije u nove proizvodne kapacitete	19
Slika 17. Investicije u nove kapacitete između država koje su modelirane	19
Slika 18. Rezultati za proizvodnju električne energije.....	20
Slika 19. Rezultati za tranziciju centraliziranog toplinskog sustava.....	20
Slika 20. Rezultati za usporedbu troškova BAU scenarija te scenarija tranzicije.....	21
Slika 21. Proširenje centraliziranih toplinskih sustava.....	21
Slika 22. Rezultati za slučaj širenja centraliziranih toplinskih sustava te opskrbu toplinskom energijom.....	22
Slika 23. Potrebe za vodikom.....	23
Slika 24. Infrastruktura za proizvodnju i dostavu vodika	23
Slika 25. Investicije u proizvodne kapacitete	24
Slika 26. Rezultati za proizvodnju električne energije i emisija CO ₂	24
Slika 27. Podaci o kogeneracijskim elektranama.....	29
Slika 28. Struktura ulaznih podataka za modul industrije – dio 1.....	30
Slika 29. Struktura ulaznih podataka za modul industrije – dio 2.....	31
Slika 30. Struktura ulaznih podataka za modul transporta – dio 1.....	32
Slika 31. Struktura ulaznih podataka za modul transporta – dio 2.....	33
Slika 32. Podaci o proizvodnim jedinicama električne energije – dio 1	34
Slika 33. Podaci o proizvodnim jedinicama električne energije – dio 2	35
Slika 34. Podaci o sustavima proizvodnje goriva te o infrastrukturi potrebnoj za prijenos.....	36
Slika 35. Podaci o sustavima proizvodnje goriva te o infrastrukturi potrebnoj za prijenos.....	37

SAŽETAK

U ovom se izvještaju daje pregled ulaznih podataka te strukture tablica u koje se unose navedeni podaci. To uključuje sve osnovne ulazne datoteke samog modela. To su datoteke koje sadržavaju popis postojećih i budućih generatora čiji se kapaciteti se mogu instalirati kao i njihove tehničke specifikacije. Također, vezano uz proizvodnju električne energije, daje se pregled dostupnih distribucijskih krivulja koje diktiraju rad varijabilnih obnovljivih izvora energije na satnoj razini. Osim varijabilnih obnovljivih izvora energije, daju se satne krivulje pritoka vode u akumulacije akumulacijskih hidroelektrana.

U sektoru grijanja se definiraju potrebe za toplinskom energijom na satnoj razini te se prikazuje unos podataka u tablice kao i definicija tehničkih parametara proizvodnih jedinica. Opisuje se razlika u pristupu modeliranju sektora grijanja kod individualnih sustava ili kod centraliziranih toplinskih sustava. Također, vezano uz modeliranje toplinskih sustava, daje se pregled unosa podataka za poveznicu sa sektorom proizvodnje električne energije putem kogeneracijskih elektrana.

Sličan set podataka te definicija parametara je prikazan za sektor industrije i transporta.

Nadalje, definira se postupak modeliranja transformacija nositelja energije kao i definicije potrebnih linijskih duljina izgradnje prateće infrastrukture. To uključuje izgradnju dalekovoda, raznih vrsta plinovoda ili pak terminala za pretovar goriva čime se omogućuje trgovina tim nositeljima energije. Kako bi se uopće mogli transportirati nositelji energije, potrebno ih je proizvesti u sustavu te se za te potrebe modelira postupak proizvodnje goriva korištenjem vodika i električne energije.

Također se modelira i osnovni dio proizvodnje goriva putem rafinerija kao i sustavi pohrane goriva ili produkata iz rafinerija u spremnicima.

Nastavno na modelirane tehnologije odgovora potrošnje i „power-to-X“ tehnologije, predstavljaju se primjeri scenarijske analize sukladno strateškom donošenju odluka o integraciji ovih tehnologija u energetske sustav, s ciljem postizanja energetske tranzicije prema sustavima temeljenim na varijabilnim obnovljivim izvorima energije.

SUMMARY

In this report, an overview of the input data and the structure of the tables into which the mentioned data are entered is provided. This includes all the basic input files of the model itself. These are files that contain a list of existing and future generators whose capacities can be installed, as well as their technical specifications. Also, related to the production of electricity, an overview of available distribution curves is given, which dictate the operation of variable renewable energy sources on an hourly basis. In addition to variable renewable energy sources, hourly inflow curves for water into reservoirs of hydroelectric plants are provided.

In the heating sector, the needs for thermal energy on an hourly basis are defined, and the input of data into tables as well as the definition of technical parameters of production units are shown. The report describes the difference in the approach to modeling the heating sector in individual systems or centralized heating systems. Also, related to the modeling of heating systems, an overview of data input for the connection with the electricity production sector through cogeneration plants is given.

A similar set of data and definition of parameters is shown for the industry and transport sectors. Furthermore, the process of modeling the transformation of energy carriers is defined, as well as definitions of necessary line lengths for the construction of accompanying infrastructure. This includes the construction of power lines, various types of pipelines, or fuel import/export terminals, thereby enabling the trade of these energy carriers. To be able to transport energy carriers, they must be produced in the system, and for these needs, the process of fuel production using hydrogen and electricity is modeled.

The basic part of fuel production through refineries as well as the systems for storing fuel or refinery products in tanks is also modeled.

Following on from the modeled demand response technologies and "power-to-X" technologies, examples of scenario analysis are presented in accordance with strategic decision-making on the integration of these technologies into the energy system, with the aim of achieving an energy transition towards systems based on variable renewable energy sources.

1. UVOD

Suočeni s izazovima klimatskih promjena i potrebom za održivim energetske rješenjima, svijet se nalazi na prekretnici. Energetska tranzicija, proces prelaska s fosilnih goriva na čistu, obnovljivu energiju, postaje sve važnija tema na globalnoj razini.

Velik dio rješenja ublažavanja klimatskih promjena te odmicanja prema održivom korištenju resursa se zasniva na energetske tranziciji. Uz puku instalaciju kapaciteta proizvodnje energije iz obnovljivih izvora energije, potrebno je osigurati i stabilnost energetske sustava u slučaju opskrbe električne energije iz varijabilnih obnovljivih izvora energije. Osiguranje stabilnosti sustava se zasniva na korištenju tehnologija odziva potrošnje te P2X tehnologija.

Sam model H2RES [1], razvijen u sklopu INTERENERGY projekta se zasniva na modeliranju te korištenju navedenih tehnologija. Kako bi se korisnicima olakšalo njegovo korištenje, izrađen je ovaj izvještaj koji dokumentira postupak ubacivanja podataka u ulazne datoteke.

S obzirom na to, ovaj izvještaj se usredotočuje na mogućnosti scenarijske analize, koja otvara prostor za razvoj i primjenu određenih kategorija tehnologija u energetske sektoru. Ovaj pristup daje mogućnost uzimanja u obzir kako strateških odluke donesene „odozgo prema dolje“, koje obično uključuju vladine politike i međunarodne sporazume kao primjerice ograničenja na nivo emisija, tako i odluke „odozdo prema gore“ uvjetovane tehničkim ograničenjima.

Poseban naglasak je stavljen na modeliranje tehnologija fleksibilnosti te odziva potrošnje, koji igraju ključnu ulogu u implementaciji visokog udjela obnovljivih izvora energije.

2. SEKTOR GRIJANJA

Model sadržava sektor grijanja. Uvedena je mogućnost opskrbe toplinskom energijom putem individualnih sustava grijanja ili putem centraliziranih toplinskih sustava. Također, postoji mogućnost modeliranja više geografski odvojenih zona potražnje za grijanjem koje mogu predstavljati različite potrebe i distribucije potreba za toplinskom energijom. Također, u različitim zonama model ima različita ograničenja primjene tehnologija uvjetovane geografskom dostupnosti.

2.1. Sektor grijanja individualnih kućanstva

Sektor grijanja kod individualnih kućanstva je modeliran putem ukupnih toplinskih potreba koje su iskazane za svaku od zona u satnoj distribuciji kao što prikazuje Slika 1. Izvor energije u individualnim sustavima grijanja mogu biti električni sustavi grijanja kao što su dizalice topline sa izvorom topline u zraku, vodi i tlu ili električni elektrootporni grijači. Također, različite vrste kotlova pogonjenih biomasom, plinom, loživim uljem ili pak ugljenom su razmatrane. Obnovljivi izvor toplinske energije u ovoj kategoriji su i solarni kolektori u kućanstvima. Zbog načina modeliranja kao jednog seta potreba koji predstavlja čitavi dio regije ili države, uvedena su ograničenja u odnosu omjera goriva u svakom satu. Na taj je način uvedeno da se u svakom satu unutar iste zone moraju održavati omjeri proizvodnje u skladu s omjerima instaliranih kapaciteta u odnosu na maksimalno opterećenje. Na taj se način sprečava prevladavanje neke od tehnologija putem kojih bi model mogao iskoristiti dostupnost električne energije što nije realistično sa strane modeliranja. Primjerice, nemaju sva kućanstva električne kotlove, a bez ovog uvjeta bi oni mogli prevladati u opskrbi toplinskom energijom. Distribucije

potražnje za toplinskom energijom se računaju iz poznatih godišnjih bilanca potrošnje [2],[3] te primjenom metode stupanj-sat.

year	period	Zagreb	HR_Ostatak	HR_Istok_Sjever	industry_cogen
2020	1	26	38	54	0
2020	2	18	26	37	0
2020	3	15	22	31	0
2020	4	11	15	22	0
2020	5	1187	1701	2431	0
2020	6	1176	1685	2407	0
2020	7	1229	1762	2517	0
2020	8	1295	1856	2652	0
2020	9	1218	1745	2494	0
2020	10	1120	1605	2294	0

Slika 1. Toplinske potrebe u individualnim toplinskim sustavima

Kapaciteti proizvodnih jedinica, kao i njihove tehničke specifikacije se unose u datoteku „flex_tech“ te se u listu „thermal_tech“ unose za kotlove koji koriste goriva ili geotermalnu energiju, dok se u listu „flex_tech_heat“ unose za sve jedinice koje koriste električnu energiju za pogon kao što su dizalice topline ili električni kotlovi. Također, podaci za kapacitete solarnih sustava grijanja se unose u listu „solar_indv“.

2.2. Sektor grijanja u centraliziranim toplinskim sustavima

Kod sektora proizvodnje toplinske energije u centraliziranim toplinskim sustavima, također se koriste električni sustavi proizvodnje toplinske energije kao što su dizalice topline sa toplinskim izvorom u zraku, vodi ili tlu te električni grijači. Model koristi i kotlove modelirane na isti način na biomasu, plin, loživo ulje te ugljen. Također, moguće je korištenje solarne energije putem solarnih kolektorskih polja u centraliziranim sustavima zajedno sa sezonskom pohranom energije. Geotermalna energija je također dostupna u centraliziranim toplinskim sustavima. Okosnica ovih sustava je i mogućnost iskorištavanja toplinske energije iz kogeneracijskih elektrana. Kod kogeneracijskih elektrana, uvedena je mogućnost opskrbe centraliziranog toplinskog sustava iz više izvora uključujući i više različitih kogeneracijskih elektrana. U tu svrhu je kod opisa podataka za svaki od generatora dodan pokazatelj koji modelar unosi kako bi prvo iskazao da se radi o kogeneracijskoj elektrani (stupac CHP_type). Zatim je dodan stupac u kojem se iskazuje u kojoj mreži sustava daljinskog grijanja elektrana isporučuje toplinsku energiju (stupac CHP_grid). Podatke o kogeneracijskim elektranama prikazuje Slika 28.

U solarnim toplinskim sustavima se modelira proizvodnja toplinske energije na satnoj distribuciji. Primjer distribucija te ulaznih podataka prikazuje Slika 2. Također, modelira se dinamika punjenja i pražnjenja solarnog toplinskog spremnika s obzirom na toplinske pritoke od osunčanosti te s obzirom na pražnjenje uslijed toplinskih gubitaka te isporuka toplinske energije u centralizirani toplinski sustav. Kako bi se omogućilo modeliranje solarnih toplinskih sustava, bilo je potrebno definirati distribucije solarnih pritoka na satnoj razini za regiju kontinentalne ili primorske hrvatske. Također, definiraju se kapaciteti postojećih solarnih kolektorskih sustava te sezonskih sustava pohrane kao i mogućnosti proširenja kapaciteta u budućnosti. Kod definiranja podataka za sezonske solarne toplinske sustave kao i kolektorska polja, potrebno je unijeti i podatke o lokacijama sustava kako bi se mogli povezati sa pripadajućim centraliziranim toplinskim sustavima.

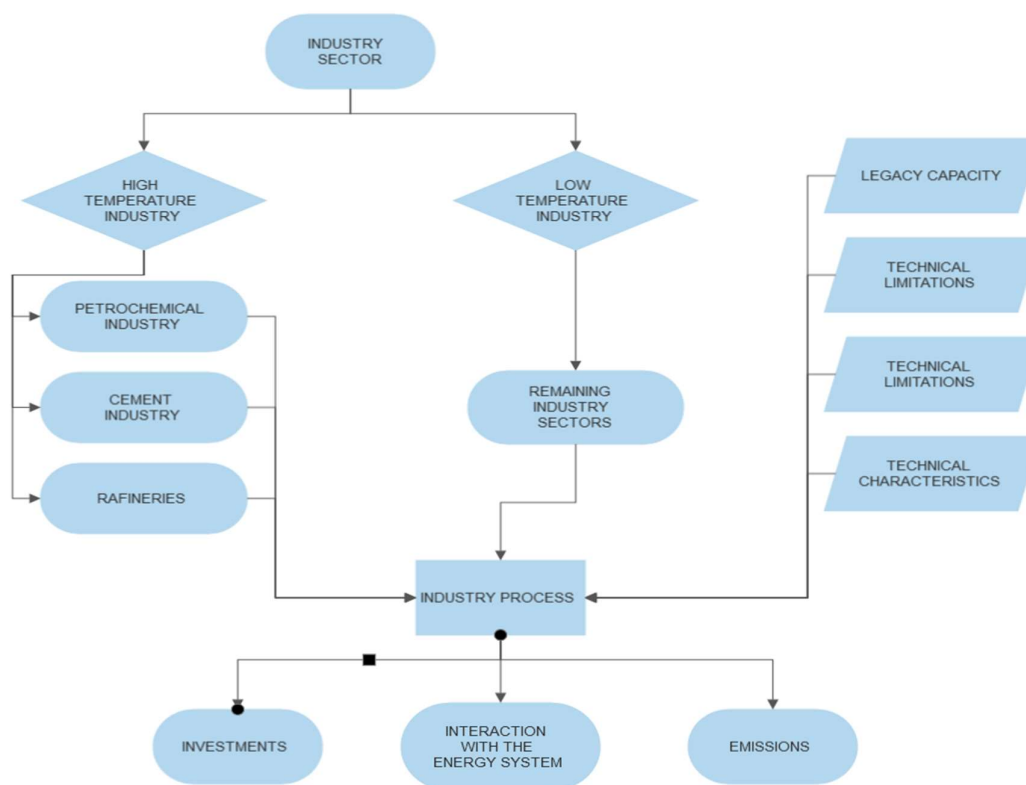
year	period	Zagreb	HR_Ostatak	HR_Istok_Sjever	industry_cogen
2020	1	7	1	4	79
2020	2	5	0	3	79
2020	3	4	0	2	79
2020	4	3	0	2	79
2020	5	316	19	175	79
2020	6	312	19	173	79
2020	7	327	20	181	79
2020	8	345	21	191	79
2020	9	323	20	179	79
2020	10	297	18	165	79

Slika 2. Toplinske potrebe u centraliziranom toplinskom sustavu

Unos podataka o proizvodnim jedinicama je sličan kao i u slučaju individualnih sustava grijanja te se ovdje koriste listovi „thermal_tech_DH“, „flex_tech_heat_DH“, „solar_DH“ te dodatni „solar_stor_DH“ kao razlika u odnosu na individualne sustave kod kojih se ne koristi sezonska pohrana toplinske energije u solarnim sustavima.

3. SEKTOR INDUSTRIJE

Sektor industrije je modeliran sličnim principom kao i sektor grijanja. Uvedena je podjela na nekoliko podsektora. Podsektor petrokemije, rafinerije, cementara te ostatka industrije se koriste. Svaki od podsektora industrije ima definirana goriva, udjele goriva, kapacitete kotlova te potencijale za proširenje novih kapaciteta. Također, definirane su CO₂ intenzivnosti pojedinih goriva koja se koriste. Strukturu samog podsektora prikazuje Slika 3. Na temelju uvedenih ograničenja te ciljeva optimizacije, model određuje rad sustava kao i investicije u nove kapacitete.



Slika 3. Struktura modula industrije

Slika 29. prikazuje prvi dio strukture ulaznih podataka korištenih za modeliranje sektora industrije. Prvi stupac definira podsektor industrije za koji se odnosi navedeni podatak. U drugom stupcu se definiraju imena jedinica. Ova imena se koriste u svrhu povezivanja iznosa investicija sa definicijom troškova investicija te operativnih troškova iz tablica koje sadržavaju navedene veličine. Stupac „fuel_type“ definira stvarno gorivo koje se koristi te sa na temelju te informacije definira cijeli dobavni lanac navedenog goriva. Više vrsta goriva je međusobno zamjenjivo jer mogu koristiti istu opremu te se stoga definira stupac „group“ u kojem se definira

kojoj skupini goriva pripada navedeno gorivo. Zatim se definiraju parametri toplinske učinkovitosti procesa te trenutno instalirani kapacitet u baznoj godini. Kako bi se ograničila primjena tehnologije, definiraju se maksimalne vrijednosti kapaciteta koji vrijede za svaku godinu. Također se definiraju maksimalne dopuštene investicije za svaku od godina. Dodatno, kako bi se ograničilo model u primjeni pojedinih vrsta tehnologija, ograničuje se maksimalni udio svake od tehnologija. Taj dio ulaznih podataka prikazuje Slika 30.

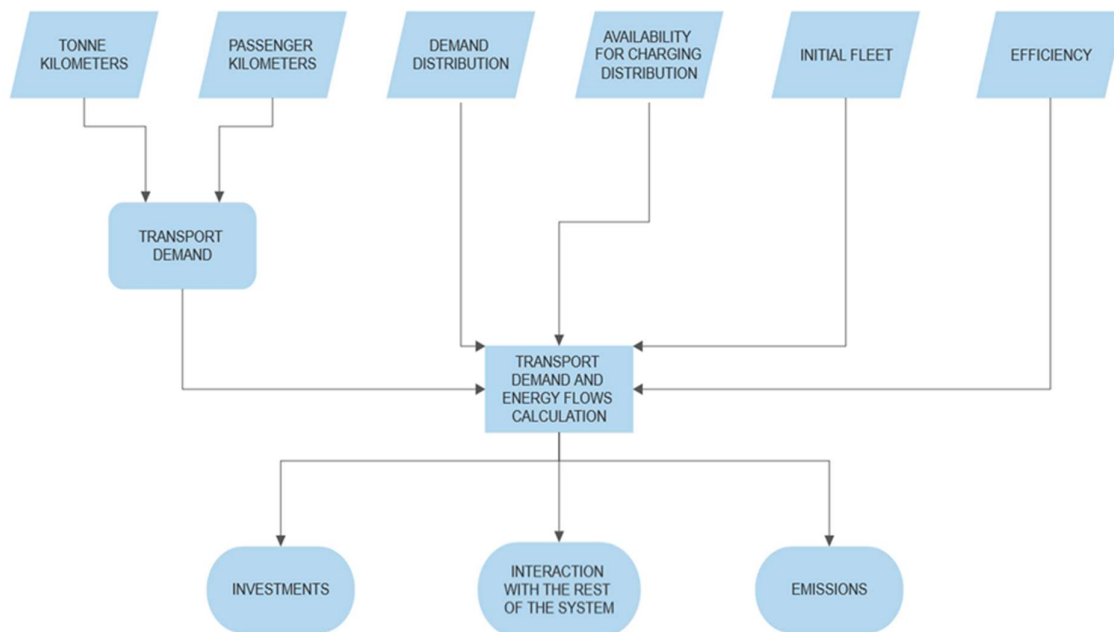
Kako bi se mogle zadovoljiti potrebe, bilo je također potrebno definirati i satne distribucije potražnje u svakom od podsektora što prikazuje Slika 4.

year	period	rest	cement	refinery	petrochemical
2020	1	818	498	622	726
2020	2	818	498	622	726
2020	3	818	498	622	726
2020	4	818	498	622	726
2020	5	818	498	622	726
2020	6	818	498	622	726
2020	7	818	498	622	726
2020	8	818	498	622	726
2020	9	818	498	622	726

Slika 4. Satne distribucije potreba u industriji

4. SEKTOR TRANSPORTA

U sektoru transporta modeliranje obuhvaća sve vidove prijevoza te vrste pogona. Kod cestovnog prometa se modelira promet osobnih vozila, teretni cestovni prijevoz te autobusni prijevoz. Kod željeznica se modelira putnički i teretni prijevoz. U sektoru zračnog prijevoza, implementirana je podjela na prijevoz na kratke i duge udaljenosti. Sličnim principom je kod pomorskog prijevoza uvedena podjela na kratke udaljenosti, udaljenosti srednje duljine te duge udaljenosti. Podjela na različite modove te kategorije udaljenosti je uvedena zbog potrebe za uvođenjem drugačijih ograničenja primjene pojedinih vrsta tehnologija. Primjerice, korištenje baterijskog pogona brodova nije razmatrano kao opcija u slučaju transporta na duge udaljenosti. Podaci koji definiraju potrošnju energije u pojedinim granama sektora transporta su godišnji putnik kilometri ili tonski kilometri. Također, unose se podaci o trenutnom broju vozila pojedine vrste te o ukupnom broju vozila u pojedinom podsektoru. Kod vozila koja koriste fosilna goriva, definira se omjer pojedinog goriva u potrošnji te mogućnost korištenja alternativnih goriva uz zadržavanje iste vrste pogona. Kako bi se modelirala tranzicija samog sektora, definiraju se investicijski troškovi kao i ograničenja modela u investicijama po pojedinim godinama te se time simuliraju krivulja primjene pojedinih tehnologija. Među ostalim, sektor transporta je putem potreba za energijom bilo u obliku električne energije ili u obliku nekog od goriva povezan sa ostatkom sustava pa se zbog toga kao ulazni parametar u model zadaju vrijednosti energetske učinkovitosti pojedinih tehnologija. Pristup modeliranju prikazuje Slika 5. ulazni podaci koji se koriste su dobiveni iz Državnog Zavoda za Statistiku [4], a korištene količine energije iz Eurostata [2] ili publikacije Energija u Hrvatskoj [3] kako bi se izračunali faktori konverzije.



Slika 5. Shematski opis modula transporta

Slika 31. prikazuje strukturu ulaznih podataka za modul transporta. Slično kao i u sektoru industrije, definira se sektor transporta unutar kojeg se definiraju različite vrste vozila u stupcu „unit_name“. Prvi stupac se koristi za povezivanje vrste vozila sa pripadajućom distribucijom potreba za energijom te distribucijom dostupnosti vozila na mreži za potrebe punjenja i pražnjenja baterija ili spremnika vodika. Neka od vozila imaju mogućnost korištenja 2 vrste pogona, a podjela se definira putem faktora „share_prim“ koji govori koliki udio prevaljenih putnik kilometra ili tonskih kilometra je zadovoljen primarnim pogonom. Zatim se definira učinkovitost pojedinog moda prijevoza u jedinicama km/kWh. Ukupne potrebe za prevaljenim tonskim ili putnik kilometrima su definirani putem veličine „total_load“. Tim parametrom se množi satna distribucija za navedeni mod prijevoza. Kako bi se korektno modelirala bazna godina, definiraju se početne brojke pojedine vrste vozila kao i ukupan broj vozila. Kao jedan od parametara se definira i maksimalni broj vozila pojedine vrste koji vrijedi za svaku godinu. Za svaku vrstu vozila se definiraju parametri dostupne pohrane u pojedinom vozilu iskazan u kWh te prosječan kapacitet kojim se puni vozilo iskazano u kW. Zatim je potrebno definirati odnos između broja vozila na električni pogon ili na vodik sa investicijama u punionice. Taj dio je definiran putem odnosa investicija u pojedinu vrstu punionica i broja vozila navedene vrste.

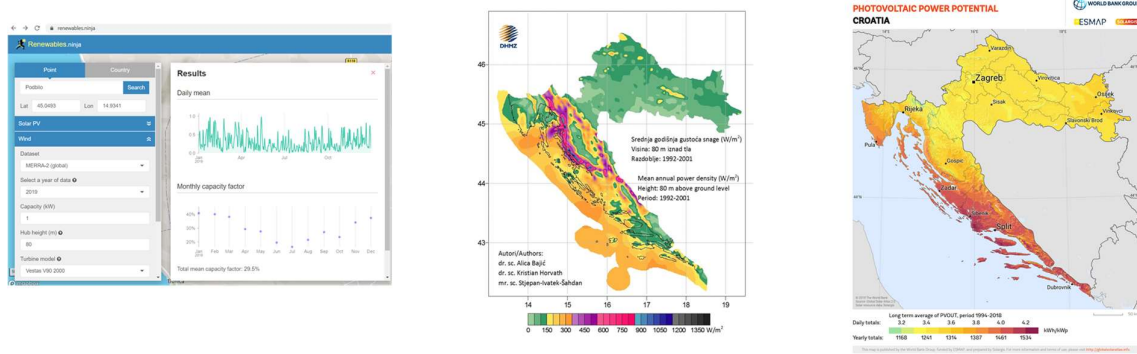
5. TRANSFORMACIJE

Dodana je mogućnost proizvodnje sintetskih goriva na bazi vodika. U tu svrhu je u skup jednadžba te povezanih dokumenata dodan opis karakteristika tehnologija. Dodani su podaci o korištenim ulaznim gorivima te energetske ili maseni odnosi sa proizvedenim gorivom.

5.1. Sektor proizvodnje električne energije

Model sadržava modul posvećen modeliranju proizvodnje električne energije. Proizvodne jedinice se modeliraju na temelju podataka iz pratećih tablica. U tablicama su elektrane unesene pod nazivima koji se definiraju u stupcu „unit_name“. Za svaku od elektrana se definira kapacitet raspoloživ u baznoj godini u stupcu „cap_mw“. Zatim, kako bi se mogla ispravno računati potrošnja goriva, potrebno je naziv elektrane te njen rad povezati sa vrstom goriva ili izvorom energije koji koriste. Također, za svaku od elektrana je definirani maksimalni ostvarivi kapacitet nadogradnjama kapaciteta koji vrijedi za sve godine u modelu te se dodatno definiraju ograničenja dodavanja novih kapaciteta za svaku od godina. Također, prvenstveno za termoelektrane, definira se prosječna učinkovitost elektrane kao omjer proizvedene električne energije te utrošenoga goriva. Dodatno, za svaku od jedinica se definiraju investicijski troškovi, troškovi promjene snage te emisijski faktori. Također, uz troškove promjene snage, definiraju se i ograničenja brzine promjene izlazne snage u odnosu na trenutnu radnu točku i instalirani kapacitet. Kako bi se definirala bazna godina te kalibrirao model, za svaku od elektrana se definira ostvarena proizvodnja u početnoj godini električne energije, dok se za kogeneracijske elektrane, uz proizvodnju električne energije definira i isporuka toplinske energije u centralizirani toplinski sustav. Kod hidroelektrana i kogeneracijskih elektrana, dodatni ulazni podatak je kapacitet zapremnine akumulacije ili toplinske pohrane energije. Za kogeneracijske elektrane je potrebno definirati i omjer proizvodnje topline i električne energije. Dodatno, potrebno je modelu naznačiti koje elektrane imaju mogućnost kogeneracije te kojem centraliziranom toplinskom sustavu pripadaju. Podatke o elektranama prikazuju Slika 33. i Slika 34.

Proizvodnja iz varijabilnih obnovljivih izvora energije se modelira definiranjem satnih distribucija dostupnosti resursa kao što prikazuje Slika 6. U modelu je moguće modelirati nekoliko različitih fotonaponskih elektrana ili vjetroelektrana.



Slika 6. Modeliranje varijabilnih obnovljivih izvora energije [5]

Navedene distribucije se ubacuju u model kao što prikazuje Slika 7. Za svaku od elektrana je za svaki sat definirana vrijednost između 0 i 1 koja označava dostupnu proizvodnju u tom satu. Modeliranje više zona omogućuje gradnju generatora sa bolje ili manje pogodnim karakteristikama u vidu krivulja dostupnosti resursa.

period	HR_SolarPP	HR_WindPP	HROR	HR_SolarHigh	HR_WindPP1	HR_WindPP2	HR_WindPP3
1	0	0.01	0.37	0	0.1	0.05	0.44
2	0	0.01	0.37	0	0.13	0.03	0.39
3	0	0.01	0.37	0	0.21	0.06	0.43
4	0	0.01	0.37	0	0.27	0.06	0.49
5	0	0.02	0.37	0	0.39	0.02	0.51
6	0	0.03	0.37	0.01	0.32	0.06	0.49
7	0	0.02	0.35	0.06	0.32	0.09	0.47
8	0.05	0.02	0.34	0.14	0.45	0.07	0.51
9	0.1	0.01	0.34	0.24	0.4	0.05	0.49
10	0.15	0	0.34	0.37	0.35	0.1	0.5
11	0.18	0.01	0.34	0.51	0.42	0.1	0.55
12	0.18	0.01	0.34	0.6	0.39	0.13	0.57
13	0.16	0.01	0.34	0.62	0.4	0.22	0.59
14	0.12	0.01	0.34	0.56	0.33	0.25	0.63
15	0.05	0.01	0.34	0.46	0.4	0.26	0.59
16	0	0	0.34	0.34	0.39	0.27	0.61
17	0	0	0.34	0.21	0.39	0.24	0.66
18	0	0	0.34	0.1	0.33	0.22	0.6

Slika 7. Satna distribucija dostupnosti resursa

Akumulacijske hidroelektrane su zasebno modelirane. Za potrebe modeliranja tih hidroelektrana je bilo potrebno definirati pritoke u akumulacije. Tablicu sa primjerom unosa podataka ove kategorije prikazuje Slika 8. Pritoci su definirani u omjeru sa nazivnim kapacitetom hidroelektrane [MW/MW], a izvor podataka je Dispa-SET baza podataka [6].

period	HEZakucac	HESenj	HEDubrovnik_HR	HEVinodol	HEPeruca	HESklope	RHEVelebit	RHEOrlovac	RHEVinodol
1	0.77	2.52	0.86	0.42	0.63	2.02	2.05	0.59	0.13
2	0.77	2.51	0.87	0.42	0.63	2.04	2.05	0.59	0.13
3	0.77	2.51	0.87	0.43	0.63	2.05	2.04	0.59	0.13
4	0.77	2.5	0.87	0.43	0.62	2.06	2.04	0.59	0.13
5	0.77	2.5	0.87	0.43	0.62	2.08	2.04	0.59	0.13
6	0.77	2.5	0.88	0.43	0.62	2.09	2.03	0.59	0.13
7	0.77	2.49	0.88	0.43	0.61	2.1	2.03	0.6	0.13
8	0.77	2.49	0.88	0.43	0.61	2.11	2.03	0.6	0.13
9	0.77	2.49	0.89	0.43	0.61	2.13	2.02	0.6	0.14
10	0.77	2.48	0.89	0.43	0.6	2.14	2.02	0.6	0.14
11	0.77	2.48	0.89	0.43	0.6	2.15	2.02	0.6	0.14
12	0.77	2.48	0.9	0.43	0.6	2.17	2.01	0.61	0.14
13	0.77	2.47	0.9	0.43	0.59	2.18	2.01	0.61	0.14
14	0.77	2.47	0.9	0.43	0.59	2.19	2.01	0.61	0.14
15	0.77	2.47	0.9	0.43	0.59	2.21	2	0.61	0.14
16	0.78	2.46	0.91	0.43	0.58	2.22	2	0.61	0.14
17	0.78	2.46	0.91	0.43	0.58	2.23	2	0.62	0.14
18	0.78	2.46	0.91	0.43	0.58	2.25	1.99	0.62	0.15
19	0.78	2.45	0.92	0.44	0.57	2.26	1.99	0.62	0.15
20	0.78	2.45	0.92	0.44	0.57	2.27	1.99	0.62	0.15
21	0.78	2.44	0.92	0.44	0.57	2.29	1.98	0.62	0.15
22	0.78	2.44	0.93	0.44	0.56	2.3	1.98	0.63	0.15

Slika 8. Definicija pritoka u akumulacije

U model je uvedena mogućnost odziva potrošnje. Odziv potrošnje se odnosi na osnovni dio električnog opterećenja. Taj dio opterećenja uključuje dio koji nije uključen putem električnih sustava grijanja, industrije te transporta. Uvodi se mogućnost postojanja neisporučenih potreba za energijom. Drugo ograničenje koje se uvodi je mogućnost odstupanja isporučene energije od tražene u predodređenom omjeru u odnosu na traženu vrijednost. Postavlja se mogućnost pomicanja zadovoljene energije u rasponu od 24 sata ili u rasponu od 168 sati.

5.2. Modeliranje dobavnih pravaca i energetske vektora

Uvedena je mogućnost proizvodnje električne energije na jednoj lokaciji unutar modeliranih zona te evakuacije energije u raznim oblicima do mjesta i sektora potrošnje. Kako bi se to modeliralo, potrebno je definirati geografske odrednice lokacija proizvodnje i potrošnje kako bi se izračunale udaljenosti.

U modelu se pretpostavlja proizvodnja električne energije korištenjem odobalnih vjetroelektrana te dostava proizvedene električne energije na energetski otok. Zatim, model ima mogućnost nekoliko načina za dostavom energije energetski zahtjevnim industrijama. Krajnja potrošnja u industriji se većinom svodi na potrošnju vodika, amonijaka ili električne energije.

Postoji mogućnost izgradnje HVDC vodova do samih lokacija industrije te proizvodnja navedenih goriva na lokaciji zajedno sa skladištenjem. Također, moguća je proizvodnja na energetsom otoku te dostava jednog ili nekoliko goriva u nekom omjeru do mjesta potrošnje putem plinovoda ili prijevoza u spremnicima. Podaci o udaljenostima iskazani u kilometrima se unose u ulazne tablice, a primjer podataka prikazuje Slika 9.

Svako povećanje vršnih potražnja za električnom energijom rezultira u potrebama za instalacijom novih kapaciteta transmisijskih vodova što pak vuče dodatno i instalaciju trafostanica.

destination	Zone	km_HVDC	km_pipe	ship_train_truck_km
refinery	HR	150	150	150
petrochemical	HR	400	400	400
cement	HR	400	400	400

Slika 9. Podaci o geografskim udaljenostima proizvodnje i potrošnje

Podatke o nazivima tehnologija koje sudjeluju u procesima proizvodnje goriva te u transferu prema lokacijama upotrebe prikazuje Slika 35. Prvi stupac sadržava imena tehnologija putem kojih se povezuju podaci o troškovima. Slično kao i u ostalim sektorima, definiraju se trenutni kapaciteti, maksimalni kapaciteti te maksimalne investicije u svakoj od godina.

Drugi dio podataka o tehnologijama prikazuje Slika 36. U ovom dijelu su najznačajnija posljednja 3 stupca koji definiraju lokaciju pojedine tehnologije, sektor u kojem se nalazi te zonu u kojoj se nalazi.

5.3. Modeliranje proizvodnje elektrogoriva te zamjena fosilnih goriva

Model posjeduje modul posvećen modeliranju proizvodnje elektrogoriva kao i procesima njihove dobave i skladištenja. Slika 10. prikazuje odnose tokova energije i materijala potrebnih za proizvodnju određenog goriva. U stupcima input1, input2 i input3 se definiraju ulazni tokovi energije ili sirovine, a u stupcima dem_input1,2,3 se definiraju količine u odnosu na jednu jedinicu proizvedenog goriva. Jedinični odnosi su dani u jedinicama MWh/MWh, ili t/MWh.

fuel	input1	input2	input3	dem_input1	dem_input2	dem_input3	process
e_kerosene	electricity	CO2	H2	0.1	0.25	1.1	Fischer-Tropsch
SAF	electricity	CO2	Biomass	0.1	0	1.1	hydrodeoxygenation
e_methane	electricity	CO2	H2	0.1	0.25	1.1	sabatier
bio_gas	electricity	CO2	Biomass	0.1	0.25	1.1	biogas_gen
methanol	electricity	CO2	H2	0.1	0.25	1.1	Fischer-Tropsch
ethanol	electricity	CO2	Biomass	0.1	0.25	1.1	ethanol_gen
e_diesel	electricity	CO2	H2	0.1	0.25	1.1	Fischer-Tropsch
bio_diesel	electricity	CO2	Biomass	0.1	0.25	1.1	biodiesel_gen
DME	electricity	methanol	H2	0.1	1.1	1	DME_generation
ammonia	electricity	N2	H2	0.1	18.74	1.1	haber-bosch
lignin	electricity	Biomass	H2	0.1	1.1	0	lignin_gen

Slika 10. Odnosi korištenih tokova energije ili materijala

Također, vezano uz proizvodnju elektrogoriva, definiraju se ulazni podaci za kapaciteti proizvodnih jedinica, kapaciteti sustava pohrane te njihove tehničke karakteristike. Primjer ulaznih podataka za definiranje proizvodnih kapaciteta za proizvodnju elektrogoriva prikazuje Slika 11. Osnovni podaci su trenutno instalirani kapacitet te maksimalni kapacitet koji se može dodati svake godine koja se modelira.

unit_name	unit_name_gen	year	cap_mw	max_cap	max_cap_period
e_kerosene	e_kerosene_gen	2020	0	1.00E+05	0.00E+00
e_kerosene	e_kerosene_gen	2025			1.00E+03
e_kerosene	e_kerosene_gen	2030			5.00E+03
e_kerosene	e_kerosene_gen	2035			2.00E+04
e_kerosene	e_kerosene_gen	2040			5.00E+04
e_kerosene	e_kerosene_gen	2045			5.00E+04
e_kerosene	e_kerosene_gen	2050			5.00E+04
SAF	SAF_gen	2020	0	1.00E+05	0.00E+00
SAF	SAF_gen	2025			1.00E+03
SAF	SAF_gen	2030			5.00E+03
SAF	SAF_gen	2035			2.00E+04
SAF	SAF_gen	2040			5.00E+04
SAF	SAF_gen	2045			5.00E+04
SAF	SAF_gen	2050			5.00E+04
e_methane	e_methane_gen	2020			0.00E+00

Slika 11. Proizvodne jedinice za elektrogoriva

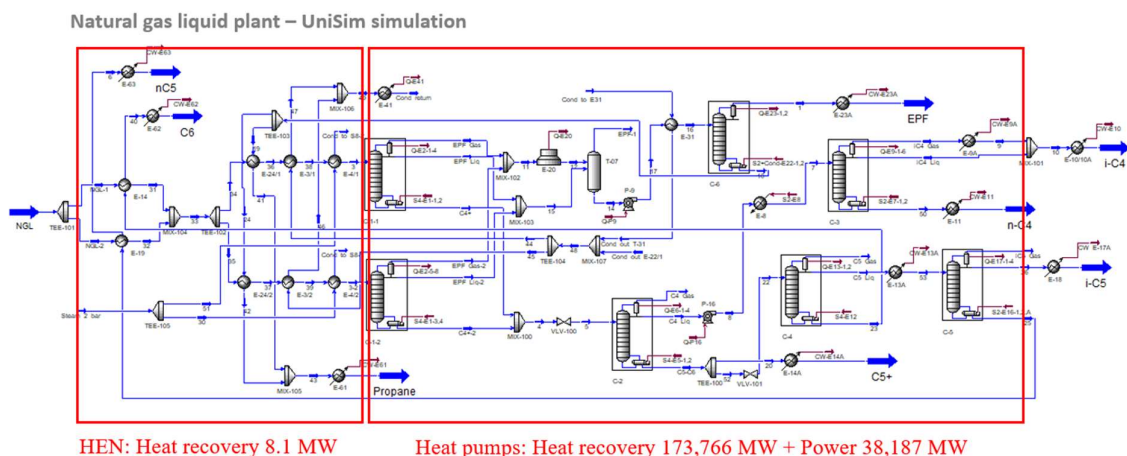
Podatke za pohranu energije u sustavima skladištenja goriva ili produkata prikazuje Slika 12

unit_name	unit_name_stor	year	stor_cap_TWh	max_cap	max_cap_period
Oil	Oil_stor	2020	22	500	0
Oil	Oil_stor	2025			50
Oil	Oil_stor	2030			100
Oil	Oil_stor	2035			100
Oil	Oil_stor	2040			100
Oil	Oil_stor	2045			100
Oil	Oil_stor	2050			100
kerosene	kerosene_stor	2020	2	500	0
kerosene	kerosene_stor	2025			50
kerosene	kerosene_stor	2030			100
kerosene	kerosene_stor	2035			100
kerosene	kerosene_stor	2040			100
kerosene	kerosene_stor	2045			100
kerosene	kerosene_stor	2050			100
e_kerosene	e_kerosene_stor	2020	2	500	0
e_kerosene	e_kerosene_stor	2025			50
e_kerosene	e_kerosene_stor	2030			100
e_kerosene	e_kerosene_stor	2035			100
e_kerosene	e_kerosene_stor	2040			100
e_kerosene	e_kerosene_stor	2045			100
e_kerosene	e_kerosene_stor	2050			100

Slika 12. Sustavi pohrane goriva

6. MODUL ZA EKONOMSKU ANALIZU INTEGRACIJE PROCESA I ELEKTRIFIKACIJE PROIZVODNJE POLIMERA U POSTOJEĆIM POSTROJENJIMA

Dodan je modul koji omogućuje detaljnu analizu opcije dogradnje postojećeg industrijskog postrojenja za proizvodnju i preradu polimera. Opcije nadogradnje razmatraju zamjenu izvora topline sa izvorom koji koristi električnu energiju putem dizalica topline. Također, provodi se optimizacija potrebnih izmjenjivačkih površina, a time i optimizacija kapaciteta dizalice topline koja se ugrađuje.



Slika 13. Shematski prikaz modela industrijskog procesa koji se modelira

Elektrifikacija industrijskih procesa postaje ključna obveza, a upotreba dizalica topline može značajno doprinijeti postizanju energetske ciljeva. Procesna integracija predstavlja važan alat za usmjeravanje i optimizaciju tih napora. Međutim, važno je uzeti u obzir da odluke donesene u fazi projektiranja opreme imaju značajan utjecaj na ekonomske parametre kada se dizalice topline integriraju u industrijske procese.

Provedeno istraživanje je pokazalo da postoji ravnoteža između energetske parametara te troškova kapitalnih investicija kod primjene dizalica topline u postrojenju proizvodnje polimera koje trenutno koristi plin za energetske potrebe. Optimizacijom kapaciteta te tehničkih specifikacija dizalice topline, može se značajno smanjiti ukupne godišnje troškove, čak do 34,482,128 EUR/g.

Rezultati ovog istraživanja pružaju važne smjernice za postizanje ekonomski održivih energetske ciljeva prilikom elektrifikacije industrijskih procesa pomoću dizalica topline.

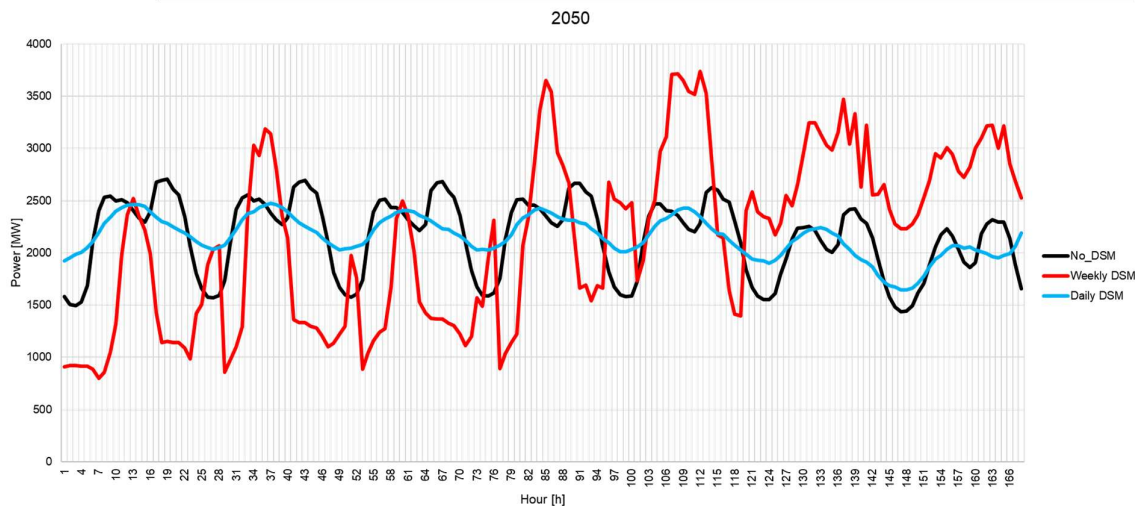
7. Primjeri rezultata

U ovom poglavlju su prikazani primjeri rezultata scenarijske analize kroz upotrebu različitih verzija modela H2RES. Model je korišten u raznolikim scenarijskim analizama koje istražuju razvoj energetske sektora, uključujući primjere kao što su implementacija odziva potrošnje, modeliranje međupovezanih sustava te zonalni pristup modeliranju nacionalnih energetske sustava. Što se tiče sektora grijanja, analize su se usredotočile na zamjenu plinskih sustava grijanja, modeliranje disagregiranih nezavisnih regija baziranih na klimatskoj ili geografskoj osnovi. Nadalje, scenarijske analize su obuhvatile razvoj centraliziranih toplinskih sustava, kao i endogenizaciju tranzicije sa individualnih na centralizirane toplinske sustave. U sektoru industrije, provedene su scenarijske analize koje razmatraju mogućnosti primjene različitih tehnologija s njihovim ograničenjima, kao i implementaciju elektrogoriva. Slične analize su provedene i u sektoru transporta, s podjelom sektora na više podsektora. U vezi s tranzicijom sektora transporta i industrije, analizirana je proizvodnja elektrogoriva, kao i analize koje razmatraju investicije u prateću transportnu infrastrukturu goriva i strateško pozicioniranje lokacija proizvodnje.

Implementacija odziva potrošnje

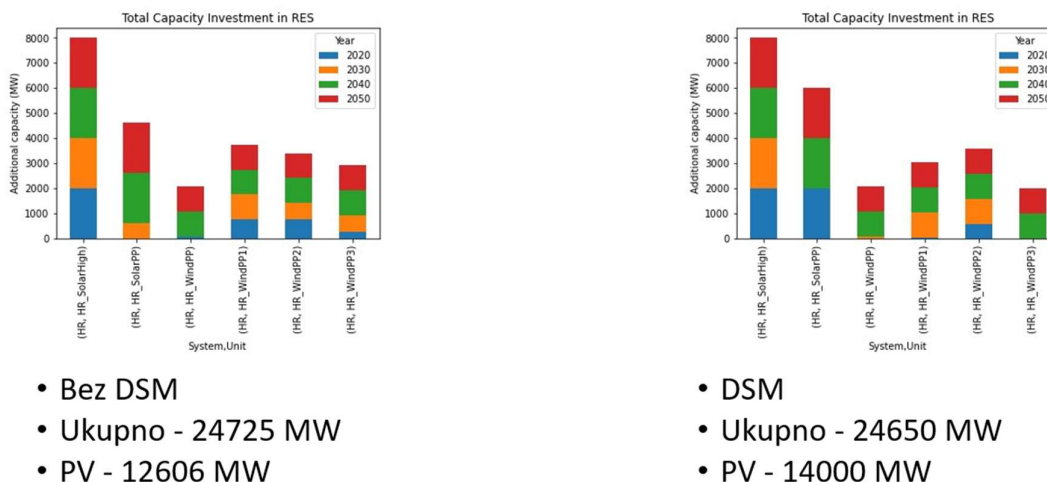
U model je implementiran modul koji omogućava preraspodijele potrošnje. Model može preraspodijeliti potrošnju unutar određenog razdoblja kao primjerice 24 ili 168 sati, ali ukupna suma mora odgovarati predodređenim vrijednostima. Također, omogućuje se postojanje neisporučenog dijela potreba za električnom energijom kako bi se omogućilo modelu održavanje stabilnosti sustava čak i uz nedostatnu proizvodnju energije.

Primjer rezultata prikazuje Slika 14. Prikazuje se usporedba električnog opterećenja bez korištenja odziva potrošnje, s korištenjem odziva na dnevnoj razini te sa korištenjem odziva na tjednoj razini. S obzirom na različite dostupnosti resursa na dnevnoj i tjednoj razini, model prilagođava distribuciju potrošnje.



Slika 14. Odziv potrošnje na dnevnoj i tjednoj razini

Primjena različitih odziva potrošnje također utječe i na potrebne proizvodne kapacitete kao što prikazuje Slika 15. Kod slučaja s korištenjem odgovora potrošnje, smanjuje se ukupan potreban kapacitet investicija. Također, više investicija je u smjeru fotonaponskih panela, a manje u smjeru vjetroelektrana zbog niže cijene te mogućnosti prilagodbe opterećenja distribuciji proizvodnje.



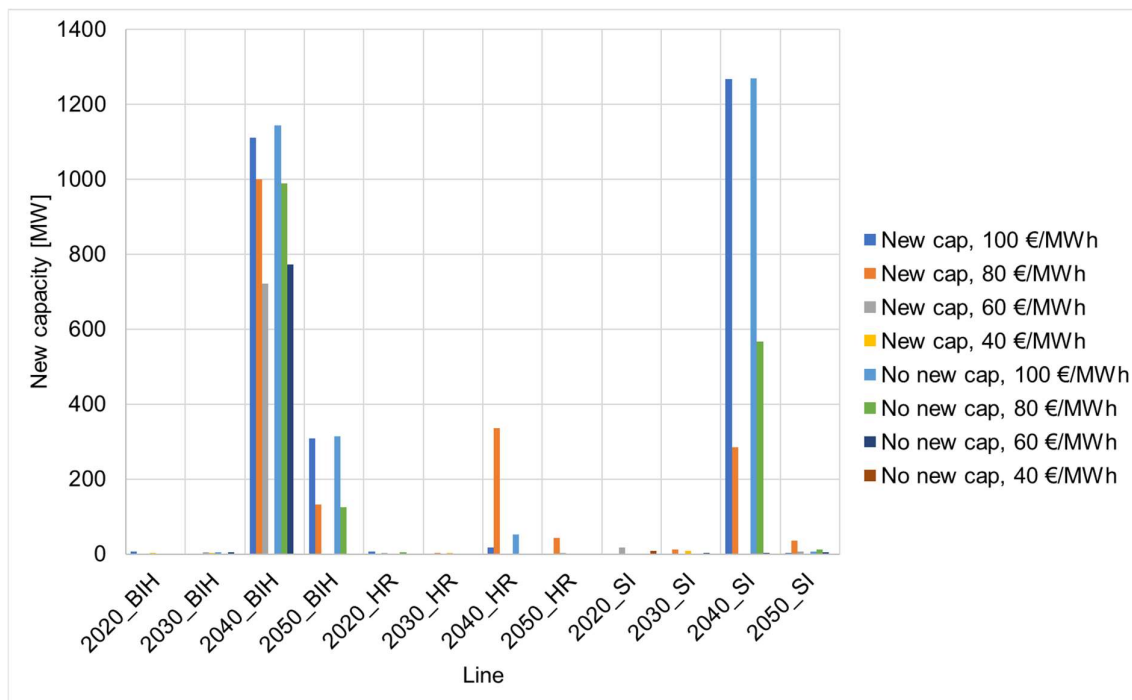
Slika 15. Rezultati za instalacije kapaciteta

Modeliranje međupovezanih sustava

Uvedena je mogućnost istovremenog modeliranja više regija kao zasebnih energetske sustava. Također, svaki od modeliranih sustava se dijeli na zone gdje svaka od zona posjeduje vlastite proizvodne kapacitete u svim sektorima kao i podatke o potrošnji energije. Omogućena je

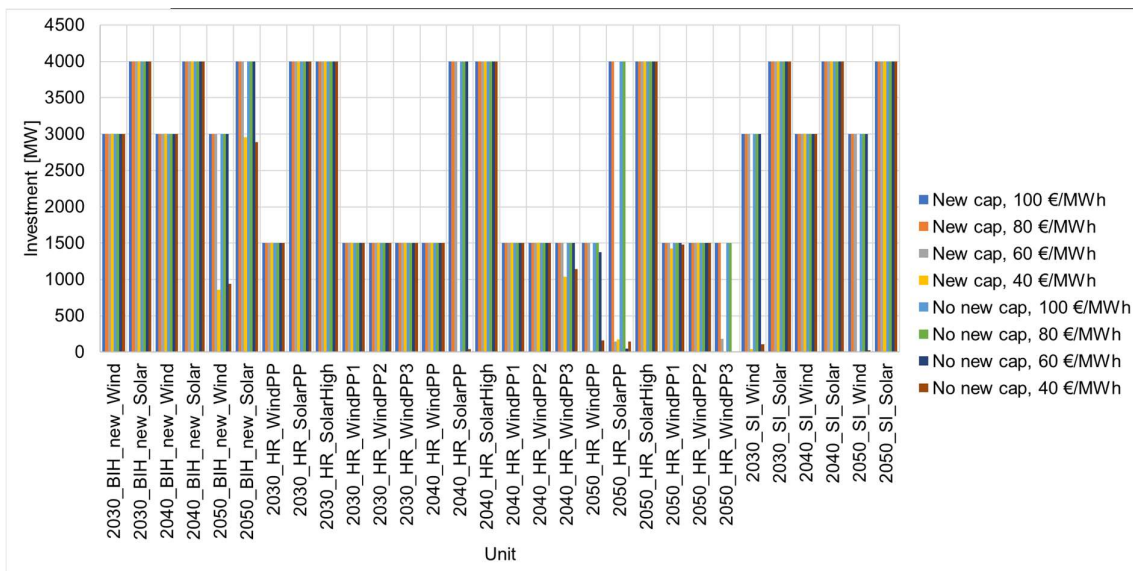
razmjena tokova energije između zona kao i između regija. Kako bi se optimirala izgradnja kapaciteta, uvedena je mogućnost gradnje transmisijskih kapaciteta između zona.

Primjer rezultata izgradnje transmisijskih kapaciteta između modeliranih zona i zona koje ih okružuju prikazuje Slika 16. Rezultati su prikazani s obzirom na različite cijene u sustavu izvan modeliranih zona.



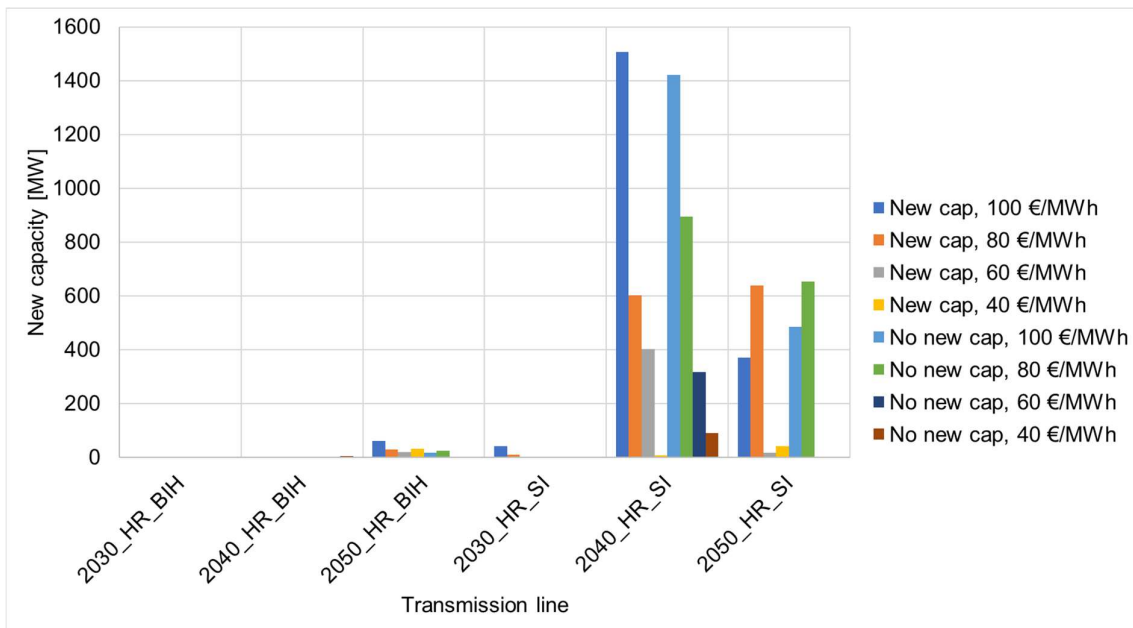
Slika 16. Investicije u transmisijske kapacitete između država koje su modelirane te država izvan modeliranih regija

Investicije u proizvodne kapacitete u modeliranim regijama prikazuje Slika 17. U ovom slučaju, korištene su relativno niske vrijednosti ograničenja investicija u kapacitete proizvodnih jedinica te stoga većim dijelom do efekta nije dolazilo uslijed drugačijih faktora dostupnosti resursa. Ipak, dolazi do drugačijih vrijednosti u investicije s obzirom na cijenu električne energije u okolnom tržištu. Bez ograničenja, ili uz korištenje viših granica ograničenja investicija, došlo bi do drugačije preraspodjele investicija unutar modeliranih regija na temelju dostupnosti proizvodnje.



Slika 17. Investicije u nove proizvodne kapacitete

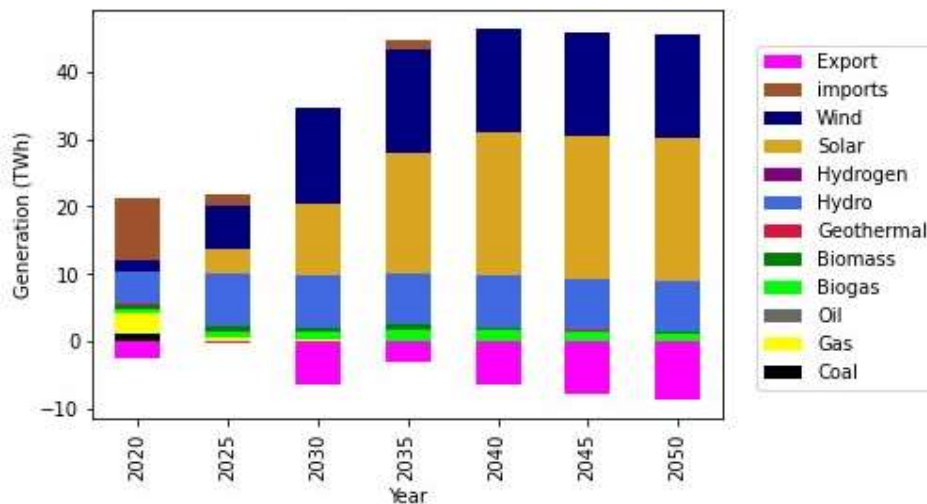
Investicije u kapacitete transmisije između modeliranih zona prikazuje Slika 18. U slučaju visokih cijena izvoza ili uvoza, model preferira izgradnju većih kapaciteta prijenosa kako bi se iskoristila visoka cijena električne energije na vanjskom tržištu.



Slika 18. Investicije u nove kapacitete između država koje su modelirane

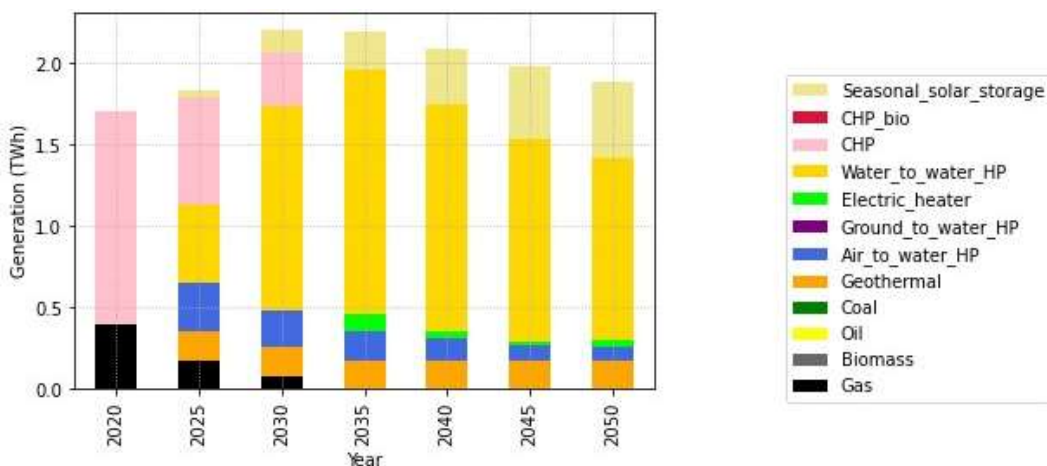
Modeliranje deplinifikacije

Izrađena je analiza uz primjenu načela deplinifikacije energetskog sustava. Fokus je bio na prestanku korištenja plina do 2035. godine primarno u sektorima proizvodnje energije, grijanja te industrije. Transformaciju sektora proizvodnje električne energije prikazuje Slika 19.



Slika 19. Rezultati za proizvodnju električne energije

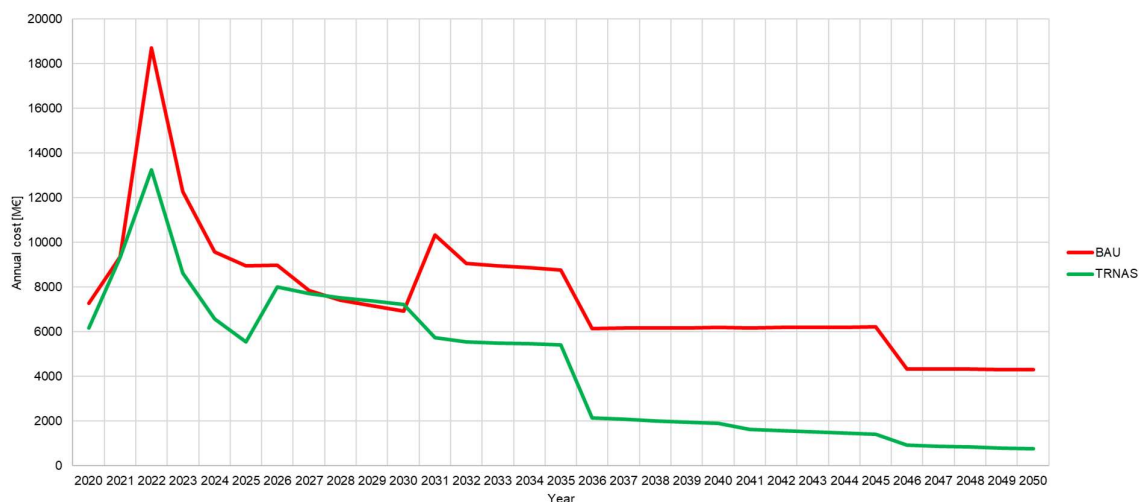
Primjer rezultata tranzicije centraliziranog toplinskog sustava prikazuje Slika 20. Vidljivo je da kogeneracijske elektrane pogonjene plinom postupno smanjuju isporuku toplinske energije te izlaze iz pogona do 2035 kao i plinski kotlovi. Zamjenjuju ih u najvećoj mjeri dizalice topline voda-voda, a u manjoj mjeri sezonski solarni sustavi.



Slika 20. Rezultati za tranziciju centraliziranog toplinskog sustava

Primjer rezultata je i usporedba scenarija tranzicije ili zadržavanja trenutnih trendova. Rezultate prikazuje Slika 21. Vidljiva je razlika u ukupnim godišnjim troškovima scenarija. Kod scenarija tranzicije ima više investicija potrebnih kako bi se osigurala proizvodnja korištenjem

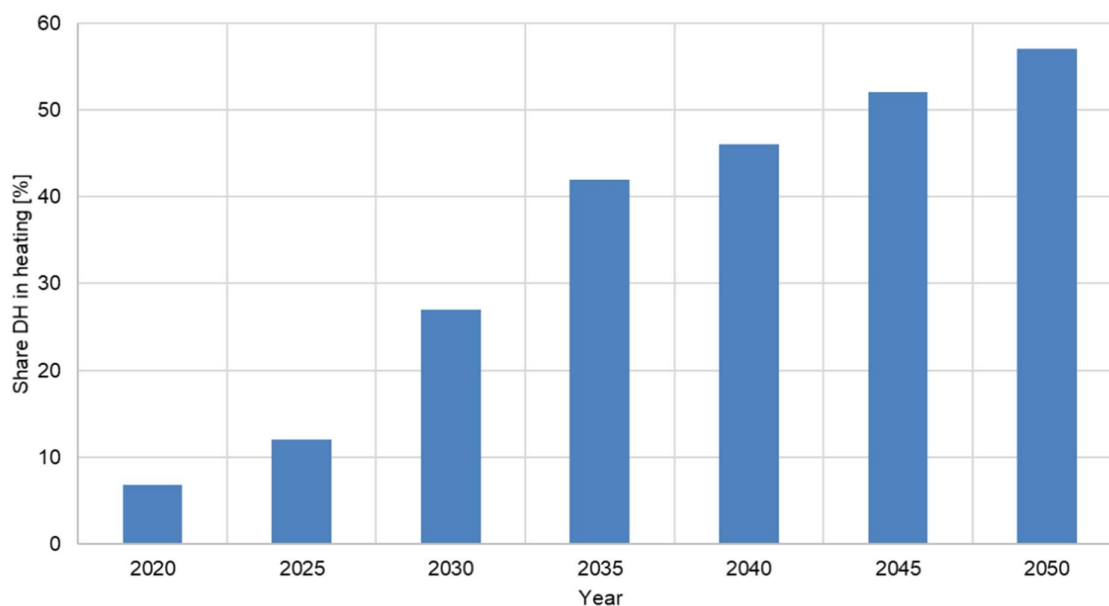
obnovljive energije te prateća oprema, dok u BAU scenariju prevladavaju operativni troškovi ponajviše vezani uz dobavu goriva.



Slika 21. Rezultati za usporedbu troškova BAU scenarija te scenarija tranzicije

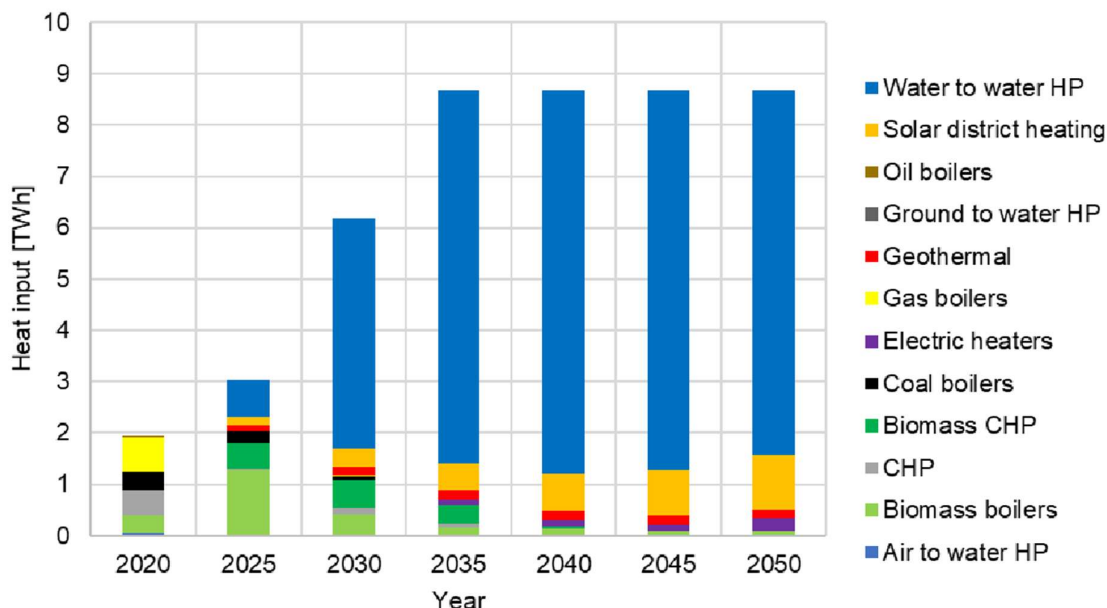
Modeliranje prelaska sustava grijanja s individualnih sustava na centralizirane toplinske sustave

U ovom se slučaju modificira model kako bi se omogućila ekspanzija centraliziranih toplinskih sustava endogeno u modelu. Definirani su troškovi gradnje novih dijelova mreže. Također je omogućeno prebacivanje dijela potreba sa individualnog grijanja na centralizirane toplinske sustave. Primjer rezultata prikazuje Slika 22.



Slika 22. Proširenje centraliziranih toplinskih sustava

Proširenje centraliziranih toplinskih sustava utječe i na potrebe za osiguravanjem dodatne proizvodnje. Slika 23. prikazuje proizvodnju toplinske energije u centraliziranim toplinskim sustavima. Vidljivo je da ugljen i plin izlaze iz pogona, a zamjenjuju ih prvenstveno dizalice topline voda-voda, a u manjoj mjeri solarni toplinski sustavi.

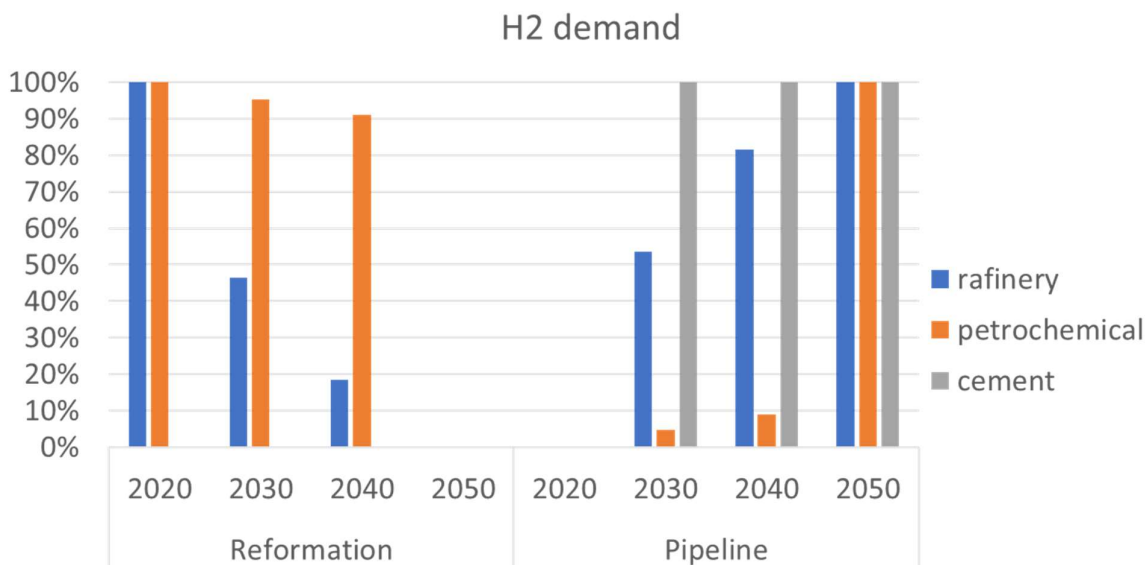


Slika 23. Rezultati za slučaj širenja centraliziranih toplinskih sustava te opskrbu toplinskom energijom

Proizvodnja i dostava vodika i amonijaka

Izrađena je analiza optimalnih mogućnosti transporta i iskorištavanja energije dobivene iz odobalnih vjetroelektrana. Razmatrane su opcije izgradnje HVDC vodova do lokacije potrošnje ili izgradnja plinovoda koji bi transportirali proizvedena goriva do lokacija potrošnje. U slučaju izgradnje plinovoda, proizvodnja goriva ili dijela goriva bi se odvijala blizu lokacije proizvodnje, dok bi se u slučaju izgradnje vodova, proizvodnja goriva odvijala na lokaciji potrošnje. Također, modeliraju se pohrane goriva na obje strane.

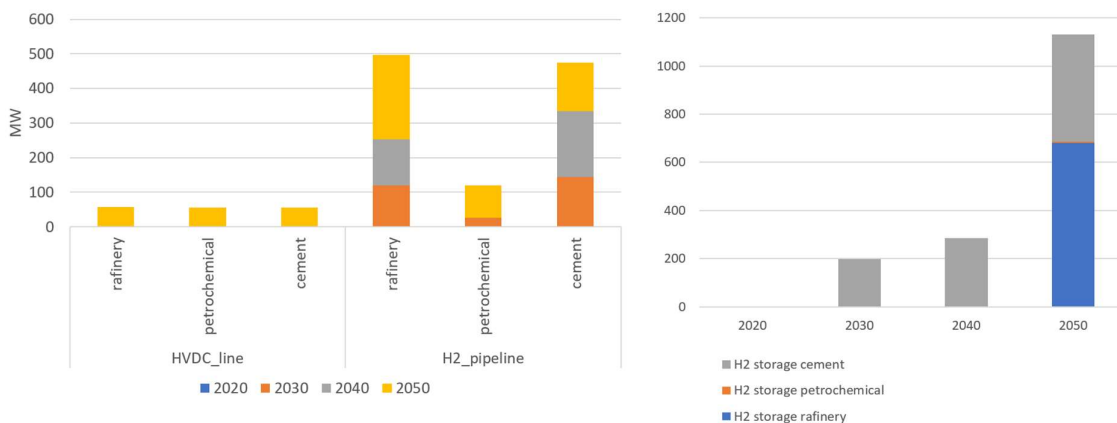
Primjeri rezultata su prikazani na sljedećim slikama. Slika 24. prikazuje potrebe za vodikom u sektorima industrije te prelazak s metode proizvodnje putem parne reformacije prirodnog plina na proizvodnju uz korištenje elektrolizatora i električne energije.



Slika 24. Potrebe za vodikom

Dostava vodika se vrši putem plinovoda, a proizvodnja je koncentrirana na lokaciji vjetroparka kao što prikazuje Slika 25.

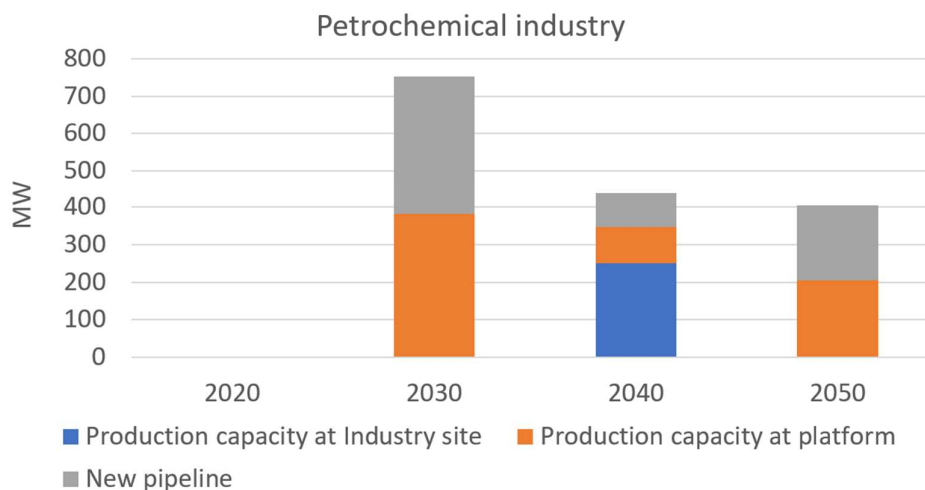
- New H₂ infrastructure – pipeline dominant, no shipping



Slika 25. Infrastruktura za proizvodnju i dostavu vodika

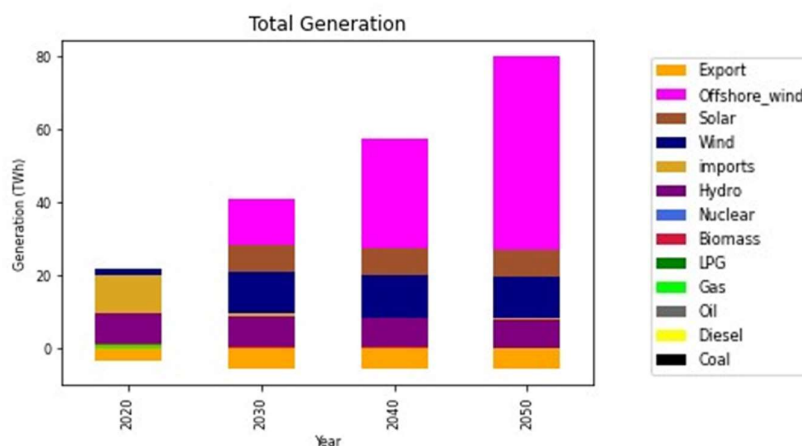
Što se tiče infrastrukture za amonijak, samo u sektoru petrokemije je došlo do ulaganja te samog korištenja ove vrste goriva. Rezultate prikazuje Slika 26.

- NH₃ infrastructure only in Petrochemical industry
- No shipping



Slika 26. Investicije u proizvodne kapacitete

Naposlijetku, korištenje odobalnih vjetroelektrana utječe na kompletnu bilancu proizvodnje električne energije te time preuzimaju većinu proizvodnje. Rezultate za proizvodnju električne energije prikazuje Slika 27.



Slika 27. Rezultati za proizvodnju električne energije i emisija CO₂

8. ZAKLJUČAK

Tijekom INTERENERGY projekta postignut je značajan napredak u području modeliranja energetske sustava, razvoja modela energetske planiranja te optimizacije H2RES, uz izradu scenarijskih analiza koje uzimaju u obzir korištene tehnologije.

Model je prošao kroz nekoliko promjena tijekom razvoja, uključujući dodatak modula posvećenih modeliranju pojedinih tehnologija i promjenu pristupa modeliranju. To uključuje mogućnost modeliranja višezonalnih energetske sustava, gdje se istovremeno modelira više država ili regija koje mogu razmjenjivati energiju preko granica. U vezi sa višezonalnim energetske sustavima, poboljšana je pristup modeliranju transmisijskih kapaciteta, a dodana je mogućnost dekomisije starih i ulaganja u nove kapacitete.

U sektoru grijanja, uvedene su promjene koje obuhvaćaju podjelu na individualne i centralizirane toplinske sustave s geografskom podjelom radi odvojenog modeliranja različitih regija. U sektoru industrije, dodana je mogućnost podjele na više podsektora s vlastitom distribucijom potražnje i kapacitetima tehnologija. U centraliziranim toplinskim sustavima dodana je mogućnost ekspanzije i postupne zamjene individualnih sustava grijanja.

Osim mogućnosti modeliranja višezonalnih sustava, implementirana je opcija proizvodnje različitih vrsta sintetskih goriva kao i druga strana koja uključuje dobavne pravce fosilnih goriva, vađenje iz zemlje i preradu sirove nafte. Također su modelirani sustavi pohrane, proizvodnje ulaznih energetske i materijalnih tokova te sustavi hvatanja CO₂ i dušika.

U sektoru transporta, uvedena je podjela na modalitete prijevoza s različitim načinima modeliranja energetske potreba i tehnologija dostupnih u svakom modalitetu transporta.

Za modeliranje dobavnih pravaca električne energije, vodika ili amonijaka u sektoru industrije, uvedena je mogućnost transporta nositelja energije od lokacije proizvodnje do lokacije potrošnje s korištenjem različitih tehnologija, uz potrebne investicije u infrastrukturu.

Model i pripadajuće datoteke dostupni su na internetskoj stranici H2RES [1], a podaci korišteni u modeliranju mogu se izvući iz statističkih izvještaja Eurostata [2], IEA [7], Državnog Zavoda za Statistiku [4] ili Energija u Hrvatskoj [3].

Zaključno, ovaj model omogućuje detaljno modeliranje energetske tranzicije, primjenjiv je na različite energetske sustave te pruža mogućnost modeliranja susjednih regija ili skupova sustava. Modularnost modela olakšava nadogradnju za modeliranje novih tehnologija ili uvođenje novih funkcionalnosti. Arhitektura otvorenog koda omogućuje besplatno korištenje i

visoku prilagodljivost potrebama krajnjih korisnika. Model pruža korisnicima mogućnost usporedbe trenutnog stanja sustava s optimalnom verzijom, te omogućuje usporedbu različitih ishoda uz variranje rubnih uvjeta.

Na temelju provedenih analiza sastavljen je pregled preporuka za razvoj pojedinih sektora. U sektoru proizvodnje električne energije zaključeno je da je nužno proširenje dostupnih lokacija za instalaciju novih kapaciteta.

- Na primjer, **razvoj pučinskih vjetroelektrana** često je ograničen pravnim i zakonodavnim aspektima, a ne tehnološkim. Potrebno je pristupiti strateškom promišljanju uloge Hrvatske u energetsom sustavu EU i šire, te iskoristiti vlastite resurse za promicanje energetske sigurnosti i samodostatnosti. Potrebno je potaknuti investicije u razvoj prijenosne mreže kao priključne točke za sve veće količine obnovljive energije. Fokus treba biti ne samo na **jačanju kapaciteta** unutar države, već i na **međunarodnim transmisijskim kapacitetima**. Svaka država ima različite razine dostupnosti proizvodnje i kapaciteta instalacije obnovljivih izvora energije, kao i različite razine primjene tehnologija odziva potrošnje ili pohrane energije, ovisno o specifičnostima države. Stoga je važno iskoristiti komplementarnosti različitih sustava i oblikovati zajedničku strategiju. Izgradnjom proizvodnih kapaciteta na većem geografskom području smanjit će se varijabilnost u proizvodnji i povećati mogućnost integracije u energetske sustav. **Povezivanje tržišta i primjena tehnologija odziva potrošnje** doprinose stabilnosti i učinkovitosti energetske sustava u skladu s ciljevima Europske unije.
- Za uspješnu integraciju tehnologija odziva potrošnje potrebno je nova tržišta električnom energijom i pomoćnim uslugama s ciljem iskorištavanja mogućnosti tih tehnologija. Potrebno je **omogućiti sudjelovanje potrošačima energije od kućanstava, poslovnih subjekata, industrije do sektora prometa putem agregatora** koji djeluju na temelju predodređenih kriterija.
- U sektoru grijanja potiče se **instalacija dizalica topline** i sustava proizvodnje toplinske energije koji koriste električnu energiju. Uz toplinsku pohranu, preduvjet za odziv potrošnje, omogućuje se fleksibilan rad sustava grijanja koji koriste električnu energiju.
- U sektoru transporta, posebice električnih vozila, postoji **velika prilika za uvođenjem odziva potrošnje i sustava pohrane energije**. Kreacijom tržišta koje omogućuje naplatu električne energije ovisno o vremenu korištenja, omogućuje se prisustvovanje

ovih vrsta potrošača na tržištu uravnoteženja. Određivanjem traženih vrijednosti stanja napunjenosti baterije u određenom vremenu ili ograničavanjem cijene električne energije tijekom punjenja ili pražnjenja, dodatno se povećava fleksibilnost sustava.

- U sektoru **transporta i industrije**, uz ciljeve dekarbonizacije, postavlja se pitanje zamjene procesa koji trenutno koriste fosilna goriva, a nije ih praktično elektrificirati. Tu se uvodi **primjena elektrogoriva**, što zahtijeva instalaciju proizvodnih kapaciteta za proizvodnju goriva, koji se mogu fleksibilizirati prema tržišnim uvjetima, posebice u kombinaciji s pohranom energije ili pohranom proizvedenih goriva, **temeljenih na zelenom vodik**u.

Primjenom navedenih načela i tehnologija stvara se sustav s izraženim mogućnostima integracije varijabilnih obnovljivih izvora energije, što omogućava ispunjenje ciljeva postavljenih od strane EU za povećanje proizvodnje energije iz obnovljivih izvora i povećanje energetske učinkovitosti.

9. LITERATURA

- [1] University of Zagreb, “H2RES,” <https://h2res.org/>.
- [2] Eurostat, “Energy balances,” https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy_balances/enbal.html.
- [3] Energy Institute Hrvoje Požar (EIHP), “Energy in Croatia,” https://eihp.hr/wp-content/uploads/2023/01/Energija%20u%20HR%202021_WEB_LR.pdf.
- [4] Republic of Croatia, “Croatian Bureau of Statistics,” <https://dzs.gov.hr/>.
- [5] “Renewables ninja,” <https://www.renewables.ninja/>.
- [6] U. of L. and the K. L. Joint Research Centre, “Dispa-SET model,” <http://www.dispaset.eu/en/latest/>.
- [7] “IEA,” <https://www.iea.org/>.

10. DODATNI MATERIJAL

CHPType	CHP_grid	STOCapacity	STOselfDischarge	STOMaxChargingPower	STOChargingEfficiency	CHPPowerToHeat	CHPPowerLossFactor	CHPMaxHeat	System
N		1059435							HR
N		828610	0.01793294	257.1	0.75				HR
N									HR
CHP	Zagreb	500	0.03			0.88	0.18	999999	HR
N									HR
CHP	HR_Istok_Sjever	100	0.03			1.55	0.18	999999	HR
CHP	HR_Istok_Sjever	100	0.03			0.25	0.18	999999	HR
Y		500	0.03			1	0	999999	HR
Y		20	0.03			1	0	999999	HR
Y		50	0.03			1	0	999999	HR
N									HR
N									HR
N									HR
N									HR
N									HR
N									HR
N									HR
N									HR
N									HR
CHP	Zagreb	500	0.03			0.88	0.18	999999	HR
CHP	HR_Istok_Sjever	100	0.03			1.55	0.18	999999	HR
Y		500	0.03			0.3	0.18	999999	HR
CHP	industry_cogen	500	0.03			0.3	0.18	999999	HR
CHP	industry_cogen	500	0.03			1	0.18	999999	HR

Slika 28. Podaci o kogeneracijskim elektranama

Industry	unit_name	fuel_type	group	non_energy_feedstock_demand	efficiency	cap_mw	max_cap	heat_storage_cap	CO2Intensity	decom_start_existing_cap	life_time	decom_start_new	final_life_cap	share_fuel_2020
petrochemical	Gas_industry	Gas	Gas	0	0.99	314	0	0	0.1	8	15	10	0.1	0.22
petrochemical	e_methane_industry	e_methane	Gas	0	0.99	314	0	0	0.1	8	15	10	0.1	0
petrochemical	Biomass_industry	Biomass	Biomass	0	0.83	0	5000	0	0	8	15	10	0.1	0
petrochemical	diesel_industry	diesel	diesel	0	0.99	5	0	0	0.12	8	15	10	0.1	0
petrochemical	e_diesel_industry	e_diesel	diesel	0	0.99	5	0	0	0.12	8	15	10	0.1	0
petrochemical	Fuel_oil_industry	fuel_oil	fuel_oil	0	0.99	0	0	0	0.12	8	15	10	0.1	0
petrochemical	DME_industry	DME	fuel_oil	0	0.99	0	0	0	0.12	8	15	10	0.1	0
petrochemical	LPG_industry	LPG	LPG	0	0.99	0	0	0	0.12	8	15	10	0.1	0
petrochemical	Coal_industry	Coal	Coal	0	0.99	0	0	0	0.22	8	15	10	0.1	0
petrochemical	Hydrogen_industry	H2	H2	0	0.99	0	10000	0	0	8	15	10	0.1	0
petrochemical	electricity_industry	electricity	electricity	0	0.99	75	10000	0	0	8	15	10	0.1	0.05
petrochemical	non_energy_gas_industry	non_energy_gas	non_energy_gas	H2	0.99	1026	10000	0	0	8	15	10	0.1	0.71
petrochemical	non_energy_oil_industry	non_energy_oil	non_energy_oil	bitumen	0.99	0	10000	0	0	8	15	10	0.1	0
petrochemical	waste_industry	waste	waste	0	0.9	0	1000	0	0	8	15	10	0.1	0
petrochemical	heat_industry	heat	heat	0	0.9	28	1000	0	0	8	15	10	0.1	0.02
petrochemical	petrol_industry	petrol	petrol	0	0.99	0	0	0	0.12	8	15	10	0.1	0
petrochemical	methanol_industry	methanol	petrol	0	0.99	0	0	0	0.12	8	15	10	0.1	0
petrochemical	ammonia_industry	ammonia	ammonia	0	0.99	0	0	0	0	8	15	10	0.1	0
petrochemical	bitumen_industry	bitumen	bitumen	0	0.99	0	0	0	0	8	15	10	0.1	0
petrochemical	lignin_industry	lignin	bitumen	0	0.99	0	0	0	0	8	15	10	0.1	0
petrochemical	kerosene_industry	kerosene	kerosene	0	0.99	0	0	0	0	8	15	10	0.1	0
petrochemical	e_kerosene_industry	e_kerosene	kerosene	0	0.99	0	0	0	0	8	15	10	0.1	0
cement	Gas_industry	Gas	Gas	0	0.99	214	0	0	0.1	8	15	10	0.1	0.22
cement	e_methane_industry	e_methane	Gas	0	0.99	214	0	0	0.1	8	15	10	0.1	0
cement	Biomass_industry	Biomass	Biomass	0	0.83	12	5000	0	0	8	15	10	0.1	0.01
cement	diesel_industry	diesel	diesel	0	0.99	22	0	0	0.12	8	15	10	0.1	0.02
cement	e_diesel_industry	e_diesel	diesel	0	0.99	22	0	0	0.12	8	15	10	0.1	0
cement	Fuel_oil_industry	fuel_oil	fuel_oil	0	0.99	198	0	0	0.12	8	15	10	0.1	0.21
cement	DME_industry	DME	fuel_oil	0	0.99	198	0	0	0.12	8	15	10	0.1	0
cement	LPG_industry	LPG	LPG	0	0.99	2	0	0	0.12	8	15	10	0.1	0
cement	Coal_industry	Coal	Coal	0	0.99	248	0	0	0.22	8	15	10	0.1	0.26
cement	Hydrogen_industry	H2	H2	0	0.99	0	10000	0	0	8	15	10	0.1	0
cement	electricity_industry	electricity	electricity	0	0.99	161	10000	0	0	8	15	10	0.1	0.17
cement	non_energy_gas_industry	non_energy_gas	non_energy_gas	H2	0.99	0	0	0	0	8	15	10	0.1	0

Slika 29. Struktura ulaznih podataka za modul industrije – dio 1

share_non_energy	max_share_fuel	max_inv_period_2020	max_inv_period_2025	max_inv_period_2030	max_inv_period_2035	max_inv_period_2040	max_inv_period_2045	max_inv_period_2050	chp_market	System
0.5	0.22	0	0	0	0	0	0	0	0	HR
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	HR
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	HR
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	HR
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	HR
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	HR
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	HR
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	HR
0	0.9	0	50	100	150	150	150	150	150	HR
0	0.2	0	10	100	100	100	100	100	100	HR
0	0.71	0	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	HR
0	0	0	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	HR
0	0	0	10	100	100	100	100	100	100	HR
0	0.02	0	10	100	100	100	100	100	100	HR
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	HR
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	HR
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	HR
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	HR
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	HR
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	HR
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	HR
0	0.22	0	0	0	0	0	0	0	0	HR
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	HR
0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	HR
0	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	HR
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	HR
0	0.21	0	0	0	0	0	0	0	0	HR
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	HR
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	HR
0	0.26	0	0	0	0	0	0	0	0	HR
0	0.9	0	50	100	150	150	150	150	150	HR
0	0.2	0	100	100	100	100	100	100	100	HR

Slika 30. Struktura ulaznih podataka za modul industrije – dio 2

sector	unit_name	typ	total_load	efficiency_primary	efficiency_sec	share_prim	number	tot_num	max_num	average_sto	average_ch_rate
road_personal	ICE_car	ICE	19527	1.08	0	1	1753598	1772566	2000000	0	999999999
road_personal	HYBRID_car	HYBRID	19527	1.62	0	1	14735	1772566	1000000	0	999999999
road_personal	PHEV_car	PHEV	19527	1.62	1.08	0.7	1179	1772566	1000000	10	7
road_personal	EV_car	BAT	19527	5.4	0	1	3054	1772566	2000000	50	7
road_personal	FCEV_car	FCEV	19527	3.24	0	1	0	1772566	500000	168	2000
road_cargo	ICE_truck	ICE	2911	0.5	0	1	188339	188505	500000	0	999999999
road_cargo	HYBRID_truck	HYBRID	2911	0.75	0	1	0	188505	500000	0	999999999
road_cargo	PHEV_truck	PHEV	2911	0.75	0.5	0.7	0	188505	500000	100	50
road_cargo	EV_truck	BAT	2911	2.5	0	1	166	188505	500000	850	100
road_cargo	FCEV_truck	FCEV	2911	1.5	0	1	0	188505	500000	3000	12000
rail_pass	ICE_RAIL	ICE	734	10.5	0	1	46	110	50	0	999999999
rail_pass	FCEV_RAIL	FCEV	734	31.5	0	1	0	110	10	5000	12000
rail_pass	EL_RAIL	EL	734	63	0	1	64	110	100	0	999999999
rail_pass	BAT_RAIL	BAT	734	52.5	0	1	0	110	50	5000	500
road_bus	ICE_BUS	ICE	4022	3.65	0	1	5094	5100	10000	0	999999999
road_bus	HYBRID_BUS	HYBRID	4022	5.475	0	1	0	5100	10000	0	999999999
road_bus	PHEV_BUS	PHEV	4022	5.475	3.65	0.7	0	5100	10000	50	100
road_bus	EV_BUS	BAT	4022	18.25	0	1	6	5100	10000	300	5000
road_bus	FCEV_BUS	FCEV	4022	10.95	0	1	0	5100	10000	1000	12000
rail_cargo	ICE_RAIL_CARGO	ICE	2911	17.1	0	1	20	120	1000	0	999999999
rail_cargo	FCEV_RAIL_CARGO	FCEV	2911	51.3	0	1	0	120	1000	50000	12000
rail_cargo	EL_RAIL_CARGO	EL	2911	102.6	0	1	100	120	1000	0	999999999
rail_cargo	BAT_RAIL_CARGO	BAT	2911	85.5	0	1	0	120	1000	20000	500
marine_long	ICE_MARINE_LONG	ICE	18299	63.3	0	1	152	152	1000	0	999999999
marine_long	FCEV_MARINE_LONG	FCEV	18299	189.9	0	1	0	152	1000	200	1000
marine_mid	ICE_MARINE_MID	ICE	251	1.44	0	1	1114	1114	5000	0	999999999
marine_mid	EV_MARINE_MID	BAT	251	7.2	0	1	0	1114	5000	1000	300
marine_mid	FCEV_MARINE_MID	FCEV	251	8	0	1	0	1114	5000	200	1000
marine_short	ICE_MARINE_SHORT	ICE	586	1.44	0	1	3195	3195	10000	0	999999999
marine_short	EV_MARINE_SHORT	BAT	586	7.2	0	1	0	3195	10000	300	7
marine_short	FCEV_MARINE_SHORT	FCEV	586	4.32	0	1	0	3195	10000	0	999999999
avio_long	ICE_AVIO_LONG	ICE	1699	0.73	0	1	25	25	100	0	999999999
avio_long	FCEV_AVIO_LONG	FCEV	1699	2.19	0	1	0	25	100	150000	12000
avio_short	ICE_AVIO_SHORT	ICE	89	0.717	0	1	329	329	1000	0	999999999
avio_short	EV_AVIO_SHORT	BAT	89	3.585	0	1	0	329	1000	20	50
avio_short	FCEV_AVIO_SHORT	FCEV	89	2.151	0	1	0	329	1000	200	2000

Slika 31. Struktura ulaznih podataka za modul transporta – dio 1

life_tin	decom_start_ne	final_life_ca	7kW_charger_rel_nu	50kW_charger_rel_num	200kW_charger_rel_nu	FCEV_infr_inv_num	System
10	5	0.1	0	0	0	0	HR
10	5	0.1	0	0	0	0	HR
10	5	0.1	0.5	0.05	0.01	0	HR
15	12	0.1	0.5	0.05	0.001	0	HR
15	12	0.1	0	0	0	0.05	HR
15	12	0.1	0	0	0	0	HR
15	12	0.1	0	0	0	0	HR
15	12	0.1	0.5	0.05	0.01	0	HR
15	12	0.1	0.5	0.05	0.001	0	HR
15	12	0.1	0	0	0	0.05	HR
10	5	0.1	0	0	0	0	HR
15	12	0.1	0	0	0	0.05	HR
15	12	0.1	0	0	0	0	HR
15	12	0.1	0.5	0.05	0.001	0	HR
10	5	0.1	0	0	0	0	HR
10	5	0.1	0	0	0	0	HR
10	5	0.1	0.5	0.05	0.01	0	HR
15	12	0.1	0.5	0.05	0.001	0	HR
15	12	0.1	0	0	0	0.05	HR
15	12	0.1	0	0	0	0	HR
15	12	0.1	0	0	0	0.05	HR
15	12	0.1	0	0	0	0	HR
15	12	0.1	0.5	0.05	0.001	0	HR
15	12	0.1	0	0	0	0	HR
15	12	0.1	0	0	0	0.05	HR
15	12	0.1	0	0	0	0	HR
15	12	0.1	0.5	0.5	0.001	0	HR
15	12	0.1	0	0	0	0.05	HR
15	12	0.1	0	0	0	0	HR
15	12	0.1	0	0	0	0.05	HR
10	5	0.1	0	0	0	0	HR
15	12	0.1	0.5	0.5	0.001	0	HR
15	12	0.1	0	0	0	0.05	HR
15	12	0.1	0	0	0	0.05	HR

Slika 32. Struktura ulaznih podataka za modul transporta – dio 2

unit_name	cap_mw	fuel_type	decom_start_existing_cap	life_time	decom_start_new	final_life_cap	max_inv_period	max_cap_gen	cap_factor	efficiency	cost_no_fuel	cap_inv_cost	RampingCost	CO2Intensity	technology
HR_HDAM	1043.5	Hydro	50	50	40	1	0	1043.5	1	0.890090455	0	1000000	0	0	HDAM
HR_HPHS	518.4	Hydro	50	50	40	1	0	518.4	1	0.907478472	0	1000000	0	0	HDAM
HROR	520	Hydro	15	25	20	1	0	520	1	0.84	0	1000000	0	0	HROR
TE-TO-Zagreb	440	Gas	10	20	15	0.2	0	440	1	0.31	0	1300000	0.5	0.398	COMC
EL-TO-Zagreb	90	Gas	10	20	15	0.2	0	90	1	0.15	0	1300000	0.5	0.398	STUR
KTEJertovec	78	Gas	15	25	20	0.1	0	78	1	0.36	0	1300000	0.5	0.398	COMC
TE-TO-Osijek	90	Gas	10	20	15	0.2	0	90	1	0.4	0	1300000	0.5	0.45	STUR
TE-TO-Sisak	396	Gas	10	20	15	0.2	0	396	1	0.57	0	1300000	1.8	0.517	COMC
BE-TO	6	Biomass	20	30	25	0.2	10	20	1	0.11	0	1300000	0.5	0	STUR
Geothermal	20	Geothermal	15	25	20	1	50	200	1	0.45	0	3400000	0.5	0	STUR
TEPlomin2	192	Coal	5	15	10	0.1	0	192	1	0.42	0	1000000	1.8	1.062	STUR
TERijeka	303	Oil	10	20	15	0.1	0	303	1	0.52	0	1300000	1.8	0.517	STUR
HR_SolarPP	108.5	Solar	15	25	20	1	4000	50000	1	1	0	560000	0	0	PHOT
HR_SolarHigh	0	Solar	15	25	20	1	4000	50000	1	1	0	560000	0	0	PHOT
HR_WindPP	0	Wind	15	25	20	1	2000	50000	1	1	0	1100000	0	0	WTON
HR_WindPP1	801.3	Wind	15	25	20	1	2000	50000	1	1	0	1100000	0	0	WTON
HR_WindPP2	0	Wind	15	25	20	1	2000	50000	1	1	0	1100000	0	0	WTON
HR_WindPP3	0	Wind	15	25	20	1	2000	50000	1	1	0	1100000	0	0	WTON
HR_Bio	74.2	Biomass	20	30	25	1	50	160	1	0.21	0	3530000	0.5	0	STUR
HR_Biogas	55.1	Biogas	20	30	25	1	50	200	1	0.5	0	1000000	0.5	0	STUR
CHP_Rijeka	1	Gas	10	20	15	0.2	5	10	1	0.3	0	13000000	1.8	0.45	GTUR
HR	0	Gas	50	50	40	1	0	0	1	1	0	1200000	0.5	0	STUR

Slika 33. Podaci o proizvodnim jedinicama električne energije – dio 1

RampUpRate	RampDownRate	gen2020	gen_heat_2020	PrimaryReserve	SecondaryReserve	Stab_factor	CHPType	CHP_grid	STOCapacity	STOSelfDischarge	STOMaxChargingPower	STOChargingEfficiency	CHPPowerToHeat	CHPPowerLossFactor	CHPMaxHeat	System
1	0.05	2.6116	0	N	N	1	N		1059435							HR
1	0.05	0.405	0	N	N	1	N		828610	0.01793294	257.1	0.75				HR
1	1	1.8068	0	N	N	1	N									HR
0.06	0.06	1.65	0.866	N	N	1	CHP	HR	500	0.03			0.52	0.18	999999	HR
0.06	0.06	0.179	0.45	N	N	1	CHP	HR	500	0.03			0.2	0.18	999999	HR
0.06	0.06	0.0176	0	N	N	1	N									HR
0.06	0.06	0.0345	0.12	N	N	1	CHP	HR	100	0.03			0.64	0.18	999999	HR
0.025	0.025	1.193	0.32	N	N	1	CHP	HR	100	0.03			1.55	0.18	999999	HR
0.06	0.06	0.04	0.105	N	N	1	CHP	HR	100	0.03			0.25	0.18	999999	HR
0.2	0.2	0.0937	0	N	N	1	N									HR
0.025	0.025	1.2141	0	N	N	1	N									HR
0.025	0.025	0	0	N	N	1	N									HR
1	1	0.0955	0	N	N	1	N									HR
1	1	0	0	N	N	1	N									HR
1	1	0	0	N	N	1	N									HR
1	1	1.7207	0	N	N	1	N									HR
1	1	0	0	N	N	1	N									HR
1	1	0	0	N	N	1	N									HR
0.2	0.2	0.56	0.53	N	N	1	CHP	HR	5000	0.03			0.3	0.18	999999	HR
0.2	0.2	0.42	0.15	N	N	1	CHP	HR	5000	0.03			1	0.18	999999	HR
0.06	0.06	0	0	N	N	1	CHP	HR	100	0.03			0.1	0.18	999999	HR
0.06	0.06	0	0	N	N	1	Y		1000	0.03			1	0	999999	HR

Slika 34. Podaci o proizvodnim jedinicama električne energije – dio 2

unit_name	cap_mv	max_cap	max_inv_2020	max_inv_2025	max_inv_2030	max_inv_2035	max_inv_2040	max_inv_2045	max_inv_2050	var_cost	efficiency	CO2intensit	max_ramp_up_h	max_ramp_down_h	life_time
H2_storage_tank	10	100000	0	5000	25000	125000	625000	3125000	15625000	1	0.95	0	0.1	0.1	15
H2_storage_tank_there	0	100000	0	5000	25000	125000	625000	3125000	15625000	1	0.95	0	0.1	0.1	15
H2_storage_tank_there	0	100000	0	5000	25000	125000	625000	3125000	15625000	1	0.95	0	0.1	0.1	15
H2_storage_tank_there	0	100000	0	5000	25000	125000	625000	3125000	15625000	1	0.95	0	0.1	0.1	15
Lithium_storage	5	100000	0	5000	25000	125000	625000	3125000	15625000	1	0.95	0	0.2	0.2	15
ATW_HP	95	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	3.282	0	0.5	0.5	25
geothermal_HP	5	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	4.621	0	0.5	0.5	23
PEMFC_CHP	0	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	0.5	0	0.5	0.5	10
SOFC_CHP	0	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	0.6	0	0.5	0.5	20
electric_boiler	826	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	1	0	0.5	0.5	20
PEM_elec	10	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	0.6	0	0.5	0.5	25
SOEC_elec	10	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	0.8	0	0.5	0.5	20
Alkaline_EC	10	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	0.72	0	0.5	0.5	40
NH3_gen	0	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	1.73	0	0.5	0.5	30
NH3_stor	0	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	0.95	0	0.1	0.1	15
H2_terminal	0	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	1	0	0.5	0.5	30
NH3_terminal	0	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	1	0	0.5	0.5	30
steam_gas_reform	0	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	0.7	0	0.5	0.5	30
HVDC_substation	0	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	0.95	0	0.5	0.5	40
PEM_elec_there	0	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	0.6	0	0.5	0.5	25
SOEC_elec_there	0	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	0.8	0	0.5	0.5	20
Alkaline_EC_there	0	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	0.72	0	0.5	0.5	30
NH3_gen_there	0	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	1.73	0	0.5	0.5	30
NH3_stor_there	0	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	0.95	0	0.1	0.1	15
HVDC_line	0	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	0.99	0	0.5	0.5	40
HVDC_substation	0	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	0.95	0	0.5	0.5	40
H2_pipeline	0	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	0.87	0	0.5	0.5	50
NH3_pipeline	0	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	0.93	0	0.5	0.5	50
H2_terminal_there	0	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	1	0	0.5	0.5	30
NH3_terminal_there	0	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	1	0	0.5	0.5	30
steam_gas_reform_there	10000	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	0.7	0	0.5	0.5	30
PEM_elec_there	0	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	0.6	0	0.5	0.5	25
SOEC_elec_there	0	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	0.8	0	0.5	0.5	20
Alkaline_EC_there	0	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	0.72	0	0.5	0.5	30
NH3_gen_there	10000	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	1.73	0	0.5	0.5	30
NH3_stor_there	0	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	0.95	0	0.1	0.1	15
HVDC_line	0	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	0.99	0	0.5	0.5	40
HVDC_substation	0	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	0.95	0	0.5	0.5	40
H2_pipeline	0	100000	0	500	1000	5000	10000	30000	50000	1	0.87	0	0.5	0.5	50

Slika 35. Podaci o sustavima proizvodnje goriva te o infrastrukturi potrebnoj za prijenos

decom_start_new	final_life_cap	PrimaryReserve	SecondaryReserve	input	output	heat_storage_cap	ship_num	ship_num_max	ch_cap	stor_cap	Tech_type	destination	Zone
10	0.1	N	N	h2	h2	0					H2 Storage		
10	0.1	N	N	h2	h2	0					H2 Storage_there	refinery	HR
10	0.1	N	N	h2	h2	0					H2 Storage_there	petrochemical	HR
10	0.1	N	N	h2	h2	0					H2 Storage_there	cement	HR
10	0.1	Y	Y	electricity	electricity	0					Stationary Elect Storage		
20	0.1	Y	Y	electricity	heat	0					Heat pumps		
18	0.1	Y	Y	electricity	heat	0					Heat pumps		
5	0.1	Y	Y	H2	electricity	0					Fuel cell		
15	0.1	Y	Y	H2	electricity	0					Fuel cell		
15	0.1	Y	Y	electricity	heat	0					Heat pumps		
20	0.1	Y	Y	electricity	H2	0					Electrolizer		
15	0.1	Y	Y	electricity	H2	0					Electrolizer		
35	0.1	Y	Y	electricity	H2	0					Electrolizer		
25	0.1	N	Y	electricity	H2	0					NH3_gen		
10	0.1	N	N			0					NH3_stor		
25	0.1	N	N			0					H2_terminal		
25	0.1	N	N			0					NH3_terminal		
25	0.1	N	N			0					H2_gen		
35	0.1	N	N			0					HVDC_substation_input		
20	0.1	Y	Y	electricity	H2	0					Electrolizer_there	refinery	HR
15	0.1	Y	Y	electricity	H2	0					Electrolizer_there	refinery	HR
25	0.1	Y	Y	electricity	H2	0					Electrolizer_there	refinery	HR
25	0.1	N	Y	electricity	H2	0					NH3_there	refinery	HR
10	0.1	N	N			0					NH3_there	refinery	HR
35	0.1	N	N			0					HVDC	refinery	HR
35	0.1	N	N			0					HVDC_substation	refinery	HR
45	0.1	N	N			0					H2_pipe	refinery	HR
45	0.1	N	N			0					NH3_pipe	refinery	HR
25	0.1	N	N			0					H2_terminal_there	refinery	HR
25	0.1	N	N			0					NH3_terminal_there	refinery	HR
25	0.1	N	N			0					H2_gen_there	refinery	HR
20	0.1	Y	Y	electricity	H2	0					Electrolizer_there	petrochemical	HR
15	0.1	Y	Y	electricity	H2	0					Electrolizer_there	petrochemical	HR
25	0.1	Y	Y	electricity	H2	0					Electrolizer_there	petrochemical	HR
25	0.1	N	Y	electricity	H2	0					NH3_there	petrochemical	HR
10	0.1	N	Y			0					NH3_there	petrochemical	HR
35	0.1	N	N			0					HVDC	petrochemical	HR
35	0.1	N	N			0					HVDC_substation	petrochemical	HR
45	0.1	N	N			0					H2_pipe	petrochemical	HR

Slika 36. Podaci o sustavima proizvodnje goriva te o infrastrukturi potrebnoj za prijenos