

MODEL ENERGETSKE SKUPNOSTI ZA
TRAJNOSTNO NAČRTOVANJE LOKALNE
INFRASTRUKTURE IN POVEZOVANJE
SEKTORJEV

Edvard Košnjek

Doktorska disertacija
Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
Ljubljana, Slovenija

Mentor: dr. Boris Sučić, Institut »Jožef Stefan«, Ljubljana, Slovenija

Komisija za oceno doktorske disertacije:

prof. dr. Gregor Papa, predsednik, MPŠ in Institut »Jožef Stefan«, Ljubljana, Slovenija

prof. dr. Andrej Gubina, član, Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, Slovenija

prof. dr. Željko Tomšić, član, Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo, Univerza v Zagrebu,
Hrvaška

MEDNARODNA PODIPLOMSKA ŠOLA JOŽEFA STEFANA
JOŽEF STEFAN INTERNATIONAL POSTGRADUATE SCHOOL



Edvard Košnjek

MODEL ENERGETSKE SKUPNOSTI ZA TRAJNOSTNO
NAČRTOVANJE LOKALNE INFRASTRUKTURE IN
POVEZOVANJE SEKTORJEV

Doktorska disertacija

MODEL OF ENERGY COMMUNITY FOR SUSTAINABLE
LOCAL INFRASTRUCTURE PLANNING AND SECTOR
COUPLING

Doctoral Dissertation

Mentor: dr. Boris Sučić

Ljubljana, Slovenija, julij 2025

Mojim staršem in moji družini

Zahvala

Iskreno se zahvaljujem svojemu mentorju dr. Borisu Sučiću, ki me je spodbujal in z nasveti vodil in usmerjal v času študija in pri izdelavi doktorske disertacije.

Zahvaljujem se mag. Stanetu Meršetu, vodji Centra za energetska učinkovitost na Institutu »Jožef Stefan«, za vso podporo in razumevanje pri usklajevanju mojih delovnih in študijskih obveznosti.

Hvala vsem sodelavcem Centra za energetska učinkovitost za pomoč in vedno odprta vrata do novih spoznanj.

Za podporo se zahvaljujem tudi Evropski komisiji in partnerjem projekta Evropske unije za raziskave in inovacije Obzorje 2020 »CREATORS – CREATing Community eNeRgy Systems« (<https://cordis.europa.eu/project/id/957815>).

Povzetek

Doseganje ambicioznih ciljev na področju učinkovite rabe energije, povečanja deleža obnovljivih virov energije in pospešenega prehoda v podnebno nevtravno družbo se sooča s številnimi tehničnimi, okoljevarstvenimi in družbenimi ovirami. Izzivi vključujejo težavno umeščanje energetskih objektov v prostor, uravnoteženje javne koristi, ozka grla v energetski infrastrukturi, nihanja na energetskem trgu in pogostnost izrednih dogodkov na energetski infrastrukturi. Ti izzivi poudarjajo potrebo po sistematičnem in celovitem pristopu k načrtovanju energetskih sistemov.

V tem okviru postajajo lokalne energetske skupnosti pomemben instrument za doseg ciljev pravičnega prehoda v podnebno nevtravno družbo. Kljub temu ostaja sodelovanje energetske intenzivnih podjetij v skupnih projektih z lokalnimi skupnostmi razmeroma omejeno. Še več, trajnostni energetski projekti, izvedeni znotraj teh skupnosti, pogosto ne prinašajo optimalnih rešitev za celotno skupnost.

Disertacija se osredinja na razvoj znanstvenih podlag za napredne analize in orodja, ki vključujejo izboljšanje sistematičnosti načrtovanja lokalne energetske infrastrukture in trajnostnih energetskih projektov in optimalno povezovanje energetskih sektorjev. Poseben poudarek je na celovitem modeliranju komplementarnih energetskih sistemov pri iskanju trajnostnih, okoljskih in energetskih rešitev.

Za sistematično modeliranje obravnavanih energetskih sistemov in vključitev vseh relevantnih udeležencev v proces trajnostnega načrtovanja lokalnega energetskega sistema je bila razvita referenčna arhitektura modela energetske skupnosti. Predlagana metodologija je bila preizkušena na praktičnem primeru izkoriščanja odvečne toplote iz proizvodnega procesa energetske intenzivnega podjetja za izboljšanje energetske učinkovitosti lastnih procesov in zagotavljanje toplote lokalni skupnosti.

Cilji lokalne (energetske) skupnosti morajo zajemati okoljske, energetske, družbene, gospodarske in druge vidike. Lokalne skupnosti morajo oblikovati izvedbene strategije in meriti uspešnost njihovega izvajanja. Zato je ključnega pomena jasna opredelitev okvira nacionalnega konteksta trajnostnega razvoja in spremljanje izvajanja izbranih strategij v povezavi s cilji trajnostnega razvoja. V disertaciji je predlagan postopek oblikovanja strategij za trajnostno lokalno načrtovanje in povezovanje energetskih sektorjev, ki je bil preizkušen z analizo lokalnega okolja in pripravo alternativnih vsebin Lokalnega energetskega koncepta lokalne skupnosti v Sloveniji.

Usklajeno načrtovanje in delovanje energetskega sistema kot celote sta ključnega pomena za učinkovito, cenovno dostopno in temeljito razogljičenje družbe. Le tako bo mogoče zmanjšati stroške prehoda v podnebno nevtravno družbo in pravično vključiti dolgoročne interese vseh relevantnih udeležencev.

Abstract

Achieving ambitious targets for energy efficiency, increasing the share of renewable energy and accelerating the transition to a climate-neutral society faces a number of technical, environmental and social barriers. Challenges include the difficulty of siting energy facilities, balancing public benefits, bottlenecks in energy infrastructure, fluctuations in the energy market and the frequency of energy infrastructure incidents. These challenges underline the need for a systematic and integrated approach to energy systems planning.

In this context, local energy communities are becoming an important instrument for achieving the goals of a just transition towards a climate-neutral society. Nevertheless, the participation of energy-intensive companies in joint projects with local communities remains relatively limited. Moreover, sustainable energy projects implemented within these communities often do not provide optimal solutions for the whole community.

This dissertation focuses on the development of a scientific basis for advanced analyses and tools, including the improvement of the systematic planning of local energy infrastructure and sustainable energy projects and the optimal integration of energy sectors.

In order to systematically model the energy systems under consideration and to involve all relevant actors in the process of sustainable local energy system planning, a reference architecture of the Energy Community Model has been developed. The proposed methodology has been tested on a practical example of the use of excess heat from the production process of an energy intensive company to improve the energy efficiency of its own processes and to provide heat to the local community.

The objectives of the local (energy) community should cover environmental, energy, social, economic and other aspects. Local communities should develop implementation strategies and measure the success of their implementation. It is therefore crucial to clearly define the national context of sustainable development and to monitor the implementation of the selected strategies in relation to the Sustainable Development Goals. The thesis proposes a process for developing strategies for sustainable local planning and integration of energy sectors, which has been tested by analysing the local environment and developing alternative contents for a Local Energy Concept for a local community in Slovenia.

Coherent planning and operation of the energy system as a whole is key to an efficient, affordable and thoroughly decarbonised society. This is the only way to reduce the costs of the transition to a climate-neutral society and to fairly integrate the long-term interests of all relevant stakeholders.

Kazalo

Zahvala	vii
Povzetek	ix
Abstract	xi
Kazalo	xiii
Slike	xvii
Preglednice	xix
Kratice	xxi
1 Uvod	1
1.1 Pregled predhodnih raziskav in predstavitev ugotovljenih raziskovalnih izzivov	1
1.2 Motivacija	4
1.3 Hipoteza in namen dela	5
1.4 Ključna raziskovalna vprašanja	5
1.5 Struktura doktorske disertacije	6
2 Energetsko okoljski vidiki trajnostnega razvoja družbe	7
2.1 Evropske okoljsko energetske politike in cilji – energetska unija	7
2.2 Cilji evropske energetske politike	8
2.3 Okoljsko energetska zakonodaja in aktualne politike Evropske unije	9
2.3.1 Dokončanje notranjega energetskega trga	9
2.3.2 Energetska učinkovitost	9
2.3.3 Energija iz obnovljivih virov	10
2.3.4 Krepitev zunanjih odnosov na področju energetike	10
2.3.5 Zanesljivejša oskrba z energijo	10
2.3.6 Raziskave, razvoj in predstavitveni projekti	10
2.4 Nacionalni cilji in prenos zakonodaje na nacionalno raven	11
2.4.1 Slovenska energetska zakonodaja	11
2.4.2 Nacionalni energetski in podnebni načrt (NEPN) 2020	12
2.4.3 Dolgoročna podnebna strategija Slovenije do leta 2050	13
2.4.4 Glavne usmeritve pri posodobitvi NEPN 2024	14
2.4.5 Ključni izzivi Slovenije na področju energetske in podnebne politike	15
2.5 Spodbujanje trajnostnega razvoja družbe	16
2.5.1 Trajnostna energetska infrastruktura	16
2.5.1.1 Pomen in obseg trajnostne energetske infrastrukture	16
2.5.1.2 Razvoj in gradnja trajnostne energetske infrastrukture	17
2.5.2 Lokalne energetske skupnosti	18
2.5.2.1 Vrste lokalnih energetskih skupnosti	18
2.5.2.2 Vloga energetskih skupnosti pri spodbujanju trajnostnega razvoja	19
2.5.2.3 Ukrepi NEPN na področju lokalnih energetskih skupnosti	20
2.6 Povezovanje energetskih sektorjev	20
2.6.1 Pomen povezovanja sektorjev za trajnostni razvoj	21
2.6.2 Izzivi povezovanja energetskih sektorjev	22
3 Referenčna arhitektura modela energetske skupnosti	23
3.1 Metodologija	23

3.1.1	Arhitektura modela	23
3.1.2	Načrtovanje trajnostnih energetskega projekta in energetske infrastrukture ...	24
3.1.3	Načrtovanje trajnostnega energetskega projekta in preizkušanje izvedljivosti	26
4	Postopek oblikovanja strategij za trajnostno lokalno načrtovanje	29
4.1	Metodologija	29
4.1.1	Okvir nacionalnega konteksta ciljev trajnostnega razvoja.....	29
4.1.2	Nacionalne strateške usmeritve na področju energetike	31
4.1.3	SWOT analiza lokalnega okolja	31
4.1.4	AHP analiza strateških usmeritev in SWOT dejavnikov	31
4.1.5	Oblikovanje izvedbenih strategij z matriko TOWS	32
4.1.6	Cilji izvedbenih strategij in merila za merjenje uspešnosti teh.....	32
4.1.7	Ocena skladnosti in vpliva strategij	33
4.2	Študija primera: Oblikovanje alternativnih vsebin LEK lokalne skupnosti v Sloveniji	33
4.2.1	Slovenski nacionalni kontekst ciljev trajnostnega razvoja in nacionalne strateške usmeritve na področju energetike	33
4.2.2	SWOT analiza lokalne skupnosti.....	34
4.2.3	Izvedba analize AHP.....	35
4.2.4	Oblikovanje strategij z matriko TOWS ter postavljanje ciljev in meril za merjenje uspešnosti.....	37
4.3	Razprava: Postopek oblikovanja strategij za trajnostno lokalno načrtovanje in povezovanje energetskega sektorja	40
5	Razvoj modela za analizo rabe energije	41
5.1	Predstavitev sistemov s strukturo energetskega stroškovnega centra	41
5.2	Model za analizo rabe energije na osnovi energetskega stroškovnega centra	42
5.3	Prvi del študije primera: Izboljšanje energetske učinkovitosti in zmanjšanje emisij TGP.....	42
5.3.1	Opredeležitev energetskega in snovnega toka in prikaz s strukturo ESC	43
5.3.2	Proizvodnja električne energije iz obnovljivih virov in uravnavanje odjema..	47
5.3.2.1	Uravnavanje odjema z baterijskim hranilnikom električne energije – ESC 1 in ESC 2.....	47
5.3.2.2	Fotonapetostna elektrarna – ESC 3.....	48
5.3.2.3	Mala hidroelektrarna – ESC 4	51
5.3.3	Proizvodnja zelenega vodika – ESC 5	51
5.3.4	Ponovna uporaba odvečne toplote v energijsko intenzivni proizvodnji in uporaba v sistemu daljinskega ogrevanja – od ESC 6 do ESC 17	52
5.3.4.1	Obseg in struktura modela prihodnjega sistema za uporabo odvečne toplote.....	52
6	Razvoj modela za analizo potenciala odvečne toplote iz industrijskih procesov	55
6.1	Modularnost modela.....	55
6.1.1	Določitev ciljev modela.....	55
6.2	Modeliranje sestavnih delov modela	56
6.2.1	Modeliranje pretvornikov in sistemov za prenos in shranjevanje toplote.....	56
6.2.2	Modeliranje shranjevalnikov toplote in preproste regulacije sistema.....	58
6.3	Drugi del študije primera: Izboljšanje energetske učinkovitosti in zmanjšanje emisij TGP.....	59
6.3.1	Razvoj modela sistema	59
6.3.2	Prenos modela na simulacijsko platformo	61
6.3.3	Izvajanje simulacij in analiz scenarijev	61
6.3.4	Podpora odločanju – analiza rezultatov simulacij.....	64
6.4	Razprava: Energetska skupnost kot platforma za lokalno povezovanje energetskega sektorja	65
7	Zaključki	67
7.1	Potrditev hipoteze in odgovori na ključna raziskovalna vprašanja	67
7.2	Zaključki študij primera	69
7.2.1	Izboljšanje energetske učinkovitosti in zmanjšanje emisij TGP.....	69
7.2.2	Oblikovanje alternativnih vsebin LEK lokalne skupnosti v Sloveniji.....	69
7.3	Utemeljitev znanstvene relevantnosti.....	69
7.4	Predlogi za nadaljnje raziskave	70

7.4.1	Posplošitev uporabe modela energetske skupnosti.....	70
7.4.2	Razširitev modela energetske skupnosti.....	70
7.4.3	Nadgradnja modela za uporabo odvečne toplote.....	70
7.4.4	Razvoj metodologij za izboljšanje sodelovanja ključnih udeležencev in metod za lokalno načrtovanje	71
Dodatek A: Blokovni diagram modela za uporabo odvečne toplote		73
Dodatek B: Izpis modela MATLAB/Simulink za uporabo odvečne toplote		79
Literatura		109
Bibliografija		117
Biografija		123

Slike

Slika 2.1: Tristebrna zasnova trajnostnega razvoja [48].	7
Slika 2.2: Spodbujanje trajnostnega razvoja [98].	16
Slika 2.3: Obseg trajnostne energetske infrastrukture [98].	17
Slika 2.5: Udeležanje energetskih dejavnosti na lokalni ravni [101].	18
Slika 2.6: Izpolnjevanje nacionalnih ciljev in vloga lokalnih energetskih skupnosti [98].	19
Slika 2.7: Povezovanje energetskih sektorjev [108].	21
Slika 2.8: Energijske pretvorbe in izmenjava energije med sektorji [108].	22
Slika 3.1: Referenčna arhitektura modela energetske skupnosti [15].	24
Slika 3.2: Koncept skupnega načrtovanja trajnostnih energetskih projektov in energetske infrastrukture [15].	25
Slika 3.3: Načrtovanje trajnostnega energetskega projekta in preizkušanje izvedljivosti [15].	27
Slika 4.1: Napreden postopek oblikovanja strategij [44].	30
Slika 4.2: Hierarhično odločitveno drevo [44].	32
Slika 4.3: Povezava CTR s slovenskimi strateškimi usmeritvami in nacionalnimi cilji [120].	34
Slika 5.1: Shematski prikaz trajnostnega energetskega projekta [15].	44
Slika 5.2: Materialni in energetski tokovi, predstavljeni s strukturo ESC [15].	45
Slika 5.3: Raba električne energije v bilančni skupini slovenskih jeklarn v letu 2020.	48
Slika 5.4: Tipični urni diagram rabe električne energije jeklarne.	49
Slika 5.5: Vpliv prašnih delcev na proizvodnjo električne energije testne FNE.	50
Slika 5.6: Blokovni diagram obravnavanega sistema za uporabo odvečne toplote [15].	53
Slika 6.1: Pretvornik energije in njegov prikaz s prenosno funkcijo.	57
Slika 6.2: Predstavitev toplovoda s prenosno funkcijo.	57
Slika 6.3: Shema dvopoložajnega krmilnika.	58
Slika 6.4: Shema hranilnika z dvema dvopoložajnima krmilnikoma.	58
Slika 6.5: Uporaba odvečne toplote iz požigalnika CRNO.	59
Slika 6.6: Blokovni diagram modela za uporabo odvečne toplote iz požigalnika CRNO.	60
Slika 6.7: Uporaba odvečne toplote v sistemu daljinskega ogrevanja Vas 1 in Vas 2 [15].	63
Slika 6.8: Urejen urni diagram uporabe odvečne toplote v sistemu daljinskega ogrevanja Vas 1 in Vas 2 [15].	63
Slika 6.9: Uporaba odvečne toplote v sistemu daljinskega ogrevanja Mesto [15].	64
Slika 6.10: Urejen urni diagram uporabe odvečne toplote v sistemu daljinskega ogrevanja Mesto [15].	64

Preglednice

Preglednica 2.1: Vrste energetske skupnosti [98].....	19
Preglednica 4.1: Izbrani SWOT-dejavniki lokalne skupnosti [44].	35
Preglednica 4.2: Rezultati AHP ocene strateških usmeritev [44].	36
Preglednica 4.3: Rezultati AHP ocene relevantnosti SWOT-dejavnikov [44].....	36
Preglednica 4.4: Največji produkti uteži SWOT-dejavnikov za posamezno strateško usmeritev.	37
Preglednica 4.5: Izvedbene strategije SU1 s kazalniki uspešnosti in ciljnim vrednostmi.	37
Preglednica 4.6: Izvedbene strategije SU2 s kazalniki uspešnosti in ciljnim vrednostmi.	38
Preglednica 4.7: Izvedbene strategije SU3 s kazalniki uspešnosti in ciljnim vrednostmi.	38
Preglednica 4.8: Izvedbene strategije SU4 s kazalniki uspešnosti in ciljnim vrednostmi.	39
Preglednica 4.9: Izvedbene strategije SU5 s kazalniki uspešnosti in ciljnim vrednostmi.	39
Preglednica 5.1: Merilne točke modela za analizo rabe energije, ki temelji na ESC.....	46
Preglednica 6.1: Rezultati simulacij uporabe odvečne toplote – analiza scenarijev [15].	62

Kratice

5GDHC	... sistem daljinskega ogrevanja in hlajenja pete generacije
AHP	... analitični hierarhični postopek (angl. <i>Analytic Hierarchy Process</i>)
BDP	... bruto družbeni proizvod
BREEAM	... znanstveno podprt sistem za ocenjevanje vplivov zgradb na okolje (angl. <i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>)
CAMSUD	... celovita metoda ocenjevanja trajnostnega urbanega razvoja (angl. <i>Comprehensive Assessment Method for Sustainable Urban Development</i>)
CASBEE	... celovit sistem ocenjevanja učinkovitosti grajenega okolja (angl. <i>Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency</i>)
CASBEE-UD	... CASBEE za urbani razvoj (angl. <i>CASBEE for Urban Development</i>)
CBA	... analiza stroškov in koristi (angl. <i>Cost Benefit Analysis</i>)
CEC	... energetska skupnost državljanov (angl. <i>Citizen Energy Community</i>)
CO ₂	... ogljikov dioksid
CRNO	... linija hladne valjarne (angl. <i>Cold Rolled Non-Oriented Steel line</i>)
CTR	... cilji trajnostnega razvoja
DGNB-NSQ	... Nemško društvo za trajnostno gradnjo – Nove urbane četrti (nem. <i>Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – Neubau Stadtquartiere</i>)
EC	... Evropska komisija (angl. <i>European Commission</i>)
EK	... Evropska komisija
ESC	... energetska stroškovni center
ESE	... energetska stroškovna enota (del energetskega stroškovnega centra)
EU	... Evropska unija
EZ-1	... Energetski zakon
FAHP	... »mehki« AHP (angl. <i>Fuzzy AHP</i>)
FNE	... fotonapetostna elektrarna
FO	... prenosna funkcija proporcionalnega sistema z zakasnitvijo prvega reda (angl. <i>First Order delay</i>)
FODT	... prenosna funkcija proporcionalnega sistema z zakasnitvijo prvega reda in mrtvim časom (angl. <i>First Order delay with Dead Time</i>).
H ₂	... vodik
IJS	... Institut Jožef Stefan
IJS CEU	... Institut Jožef Stefan, Center za energetska učinkovitost
LEED-ND	... voditeljstvo na področju energetske in okoljske zasnove razvoja sosesk (angl. <i>Leadership in Energy and Environmental Design for Neighborhood Development</i>)
LEK	... lokalni energetska koncept
LNG	... utekočinjen zemeljski plin (angl. <i>Liquid Natural Gas</i>)
LULUCF	... raba zemljišč, sprememba rabe zemljišč in gozdarstvo (angl. <i>Land Use Land Use Change and Forestry</i>)
MCDM	... metoda odločanja z več merili (angl. <i>Multiple-Criteria Decision-Making</i>)
mHE	... mala hidroelektrarna
MPŠ	... Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
MSP	... mala in srednje velika podjetja
MT	... merilna točka
NEPN	... Celoviti nacionalni energetska in podnebni načrt Republike Slovenije
NEPN 2024	... Posodobljeni celoviti nacionalni energetska in podnebni načrt Republike Slovenije, december 2024
NG	... zemeljski plin (angl. <i>Natural Gas</i>)
NIDS	... sistem za zaznavanje vdorov v omrežje

	(angl. <i>Network Intrusion Detection Systems</i>)
Nm ³	... normalni kubični meter - količina suhega plina, ki zavzame prostornino enega kubičnega metra pri temperaturi 273,15 K (0 °C)
NN	... nizka napetost (do 1 kV)
NNO	... nizkonapetostno omrežje
NSA	... ocenjevanje trajnosti sosesk (angl. <i>Neighbourhood Sustainability Assessment</i>)
NSTR	... nacionalna strategija trajnostnega razvoja
OT	... odvečna toplota
OVE	... obnovljivi viri energije
PESTLE	... analiza ključnih zunanjih dejavnikov: političnih, gospodarskih, socioloških, tehnoloških, pravnih in okoljskih (angl. <i>Political, Economic, Sociological, Technological, Legal and Environmental key factors</i>)
P2G	... pretvorba električne energije v plin (angl. <i>Power to Gas</i>)
P2x	... pretvorba električne energije v druge nosilce energije (angl. <i>Power to X</i>)
PDCA	... Demingov krog stalnih izboljšav: načrtuj – izvajaj – preverjaj – ukrepaj (angl. <i>Plan-Do-Check-Act</i>)
PDEU	... Pogodba o delovanju Evropske unije
REC	... skupnost OVE (angl. <i>Renewable Energy Community</i>)
ReDPS50	... Resolucija o Dolgoročni podnebni strategiji Slovenije do leta 2050
RePowerEU	... načrt za zmanjšanje odvisnosti od ruskih fosilnih goriv in pospešitev zelenega prehoda
SMART cilji	... specifični, merljivi, dosegljivi, ustrezni, časovno omejeni cilji (angl. <i>Specific, Measurable, Attainable, Realistic and Time-bound</i>)
SN	... srednja napetost (od 1 kV do 35 kV)
SNO	... sredjenapetostno omrežje
SRS	... Strategija razvoja Slovenije 2030
SU _x	... strateška usmeritev X
SWOT	... analiza prednosti, slabosti, izzivov in nevarnosti (angl. <i>Strengths-Weaknesses-Opportunities-Threats analysis</i>)
TAPE	... mesečno odstopanje napovedi in odjema električne energije, izračunano kot razlika med 15-minutno rabo in napovedanimi vrednostmi v enournem intervalu. TAPE je dobil ime po mehanskih trakovih, ki so se uporabljali na borzah konec 18. in v začetku 19. stoletja.
TEN-E	... Vseevropska energetska omrežja (angl. <i>Trans-European Networks for Energy</i>)
TGP	... toplogredni plini
TOWS	... matrika za oblikovanje strategij na podlagi dejavnikov SWOT
URE	... učinkovita raba energije
VN	... visoka napetost (od 110 kV do 400 kV)
ZIAG	... Zakon o infrastrukturi za alternativna goriva in spodbujanju prehoda na alternativna goriva v prometu
ZOEE	... Zakon o oskrbi z električno energijo
ZOP	... Zakon o oskrbi s plini
ZOTDS	... Zakon o oskrbi s toploto iz distribucijskih sistemov
ZP	... zemeljski plin
ZRISS 2030	... Znanstvenoraziskovalna in inovacijska strategija Slovenije do leta 2030
ZSROVE	... Zakon o spodbujanju rabe obnovljivih virov energije
ZUNPEOVE	... Zakon o uvajanju naprav za proizvodnjo električne energije iz obnovljivih virov energije
ZUOKPOE	... Zakon o ukrepih za obvladovanje kriznih razmer na področju oskrbe z energijo

Poglavje 1

Uvod

V tem poglavju so predstavljeni predhodne raziskave z ugotovljenimi raziskovalnimi izzivi, motivacija za to delo, hipoteza, namen dela in ključna raziskovalna vprašanja. Uvodno poglavje končuje opis strukture doktorske disertacije.

1.1 Pregled predhodnih raziskav in predstavitev ugotovljenih raziskovalnih izzivov

Zadnja energetska kriza je ponovno pokazala, da morata energetska in snovna učinkovitost v povezavi z obnovljivimi viri energije biti hrbenica prihodnjega trajnostnega razvoja družbe. Za doseg podnebne nevtralnosti do leta 2050 ali celo prej bodo gotovo potrebni novi pristopi. Danes so energetske sistemi bolj zapleteni, zato je nujna uporaba novih statističnih in informacijskih tehnologij. Prehod s tradicionalnih metod energetskega načrtovanja ter uporaba novih metod za integrirano načrtovanje virov in rabe energije sta omogočila razvoj orodij za raziskovanje in povezovanje široke palete pogosto nasprotujočih si sektorskih ciljev v celovit energetske sistem na nacionalni, regionalni, mestni ali celo lokalni ravni. V zadnjem desetletju se je pojavilo več novih konceptov napovedovanja rabe energije in načrtovanja energetskega sistema, kot so decentralizirano načrtovanje, varčevanje z energijo z izboljšanjem tehnologij, modeli krožnega gospodarstva ali modeli napovedovanja, ki temeljijo na integriranem načrtovanju virov in rabe energije. Najpomembnejši je tako imenovani koncept pametnega energetskega sistema, ki pomeni znanstveni premik v paradigmah od enosektorskega razmišljanja do celovitega razumevanja energetskega sistema, ki lahko izkoristi vključevanje vseh sektorjev in infrastruktur [1].

Na ravni izvajanja lokalnih energetskih projektov zahteva družbena, tehnična in gospodarska resničnost nov pristop, ki bo lokalne projekte približal različnim udeležencem, od javnih podjetij in energetskih družb do bank in končnih uporabnikov. V tem kontekstu so Barone in drugi [2] predstavili nov dinamični simulacijski model, s katerim je mogoče analizirati različne tipologije sistemov, kot so sistem daljinskega ogrevanja, sistem kombiniranega daljinskega ogrevanja in hlajenja in enosmerna/dvosmerna omrežja. Novorazvito orodje omogoča izvedbo popolne tehnične in ekonomske analize izvedljivosti sistemov tretje, četrte in pete generacije. Lumberras in drugi [3] so predstavili razmeroma preprost, na podatkih temelječ model za določanje posebnosti in napovedovanje ogrevalnih obremenitev v stavbah, priključenih na omrežje daljinskega ogrevanja. Model omogoča optimizacijo virov toplote primarno glede na energijske in tudi ekonomske prihranke. Po mnenju Billerbecka in drugih [4] sta najpomembnejša dejavnika za uspeh pri zahtevnem načrtovanju ogrevanja in hlajenja dobra komunikacija in dostopnost podatkov. V okviru prehoda v podnebno nevtralno družbo je prehod na nizkotemperaturna omrežja daljinskega ogrevanja bistvenega pomena za prihodnjo uporabo industrijske odvečne toplote in sončne energije v sistemih daljinskega ogrevanja [5].

Kishimoto in drugi [6] so predlagali inovativno zasnovo za jeklarsko industrijo, ki temelji na sodelovanju z lokalnimi skupnostmi, in potrdili, da se lahko vsa lokalno proizvedena energija iz obnovljivih virov porabi znotraj lokalnega območja, saj jeklarne zagotavljajo stabilen vir odvečne toplote kot alternativo za energijo fosilnih goriv.

Na splošno velja, da imajo skupnostni energetski projekti pozitiven lokalni vpliv, vendar je raziskava, ki sta jo predstavila Berka in Creamer [7], razkrila, da v Združenem kraljestvu raznolikost projektov obnovljivih virov energije v lasti skupnosti neizogibno vodi do znatnih razlik v zagotavljanju družbenih, okoljskih in gospodarskih vplivov teh projektov. Razvoj trajnostne energetske infrastrukture mora biti dolgoročno in usklajeno načrtovan, predvsem pa premišljeno zgrajen v okviru skupnega sodelovanja vseh udeležencev. Potrebna je večja

previdnost pri obravnavanju skupnosti obnovljivih virov energije kot akterjev pravičnega prehoda, ki naj bi krepili lastniški kapital in prispevali k energetske pravičnosti [8]. Raziskovalno delo, ki so ga predstavili Ceglia in drugi [9], je potrdilo, da je za uspešen razvoj pametne energetske skupnosti ključnega pomena jasen zakonodajni okvir. Ta bi moral olajšati učinkovito upravljanje in multidisciplinarni pristop, ki povezuje tehnične pogoje z družbeno-gospodarskimi sistemi prostorskega načrtovanja, hkrati pa zagotoviti, da se tveganja za energetske sistem ne povečajo [9].

Razmajoo in drugi [10] so ugotovili, da je prehod k pametnim energetskim skupnostim bolj kompleksen in zahteva oblikovanje integriranega sistema, ki povezuje električne, toplotne in transportne sisteme. V tem kontekstu bi morali oblikovalci politik in energetske strokovnjaki zagotoviti, da sta sistem načrtovanja energetskega sistema in industrija usklajena ter medsebojno obveščena o omejitvah, ključnih dejavnikih in priložnostih [10]. Po Gouldenu [11] morajo celo načrtovalci pametnih omrežij pogledati dlje od tehnologije in priznati, da bo najučinkovitejše pametno omrežje tisto, inteligenca katerega bo izhajala iz uporabnikov in tudi iz naprav. Lokalne oblasti morajo omogočiti in podpirati boljše prostorsko načrtovanje in dolgoročne naložbene politike za trajnostne projekte. Vsi udeleženci morajo sodelovati pri pripravi nabora izvedljivih trajnostnih projektov ter s svojimi praktičnimi izkušnjami predlagati spremembe regulativnih pravil za učinkovitejše doseganje okoljskih in energetske ciljev. Ob upoštevanju velikih naložb in političnih odločitev, ki bodo sprejete v naslednjih desetletjih, je raziskovalno delo, ki so ga predstavili Adshead in drugi [12], postavilo dosleden in sistematičen okvir, ki priznava nacionalni kontekst določanja prednostnih nalog v okviru Agende za trajnostni razvoj do leta 2030 ter uporabo kazalnikov za zagotavljanje podlage za odločno in učinkovito ukrepanje.

Države Evropske unije so si v procesu prehoda v podnebno nevtralno družbo zadale zavezujoče cilje, ki določajo smer zelenih sprememb, toda le na nacionalni ravni. Na izvedbeni ravni je nujno, da lokalne skupnosti preoblikujejo nacionalne cilje v realne izvedbene projekte. Sharifi in drugi [13] so v pregledu literature poudarili, da so bila v zadnjem desetletju poleg naraščajočega priznavanja pomena soresk pri doseganju trajnosti urbanega okolja razvita številna orodja za oceno trajnosti soresk (angl. *Neighbourhood Sustainability Assessment – NSA*). Širši cilj teh orodij je usmerjanje in spodbujanje trajnostnega načrtovanja ter prepoznavanje najboljših praks. Tudi Ali-Toudert in drugi [14] so analizirali pet znanih sistemov za ocenjevanje trajnosti urbanega okolja (CASBEE-UD, LEED-ND, BREEAM Communities, DGNB-NSQ in Green Star Communities) in predstavili razloge za razvoj večriterijskega sistema za ocenjevanje trajnosti urbanega okolja CAMSUD (angl. *Comprehensive Assessment Method for Sustainable Urban Development*). Obravnavani sistemi kazalnikov trajnostnega razvoja so primerni za ugotavljanje stanja v določenem okolju in/ali vpliva trajnostnega projekta na izboljšanje posameznih trajnostnih meril. Ti sistemi zagotavljajo koristne informacije o prednostnih nalogah prihodnjega razvoja, niso pa zagotovilo za izvajanje stalnih izboljšav niti ne določajo alternativnih poti lokalnega razvoja. V [15] predlagani model energetske skupnosti za trajnostno lokalno načrtovanje in povezovanje energetske sektorjev predstavlja organizacijsko strukturo in način delovanja trajnostne lokalne energetske skupnosti v upravljaljskem smislu. Vizija, strategija in cilji lokalne energetske skupnosti izhajajo iz ciljev trajnostnega razvoja [16] ter ciljev, opredeljenih v Nacionalnem energetskem in podnebnem načrtu (NEPN) Slovenije [17]. Posebej velika izziva sta učinkovito sledenje ciljem trajnostnega razvoja in vzpostavitev mehanizma nenehnih izboljšav celotnega življenjskega cikla trajnostnih energetske rešitev. Demingov krog PDCA (angl. *Plan-Do-Check-Act*) v fazi načrtovanja (angl. *Plan*) določa cilje in strategije izvajanja, na podlagi izbranih strategij pa se v fazi izvajanja (angl. *Do*) izvajajo dejavnosti za doseg ciljev. Sledi faza preverjanja (angl. *Check*) doseganja ciljev in ugotavljanja pomanjkljivosti, na podlagi katerih se dopolni načrt (angl. *Act*), ki se bo izvajal v naslednjem ciklu. S ponavljanjem tega procesa zagotavljamo nenehno izboljševanje in s tem doseganje načrtovanih ciljev [18]. Candiello in Cortesi [19] sta predlagala model, ki temelji na klasičnem, h kakovosti usmerjenemu procesu Demingovega kroga PDCA za upravljanje, spremljanje in ocenjevanje inovativnih projektov, ki jih izvajajo lokalne oblasti. Benyoh in drugi so v svojem delu [20] uporabili Demingov krog PDCA za krepitev skladnosti med načrtovanjem in dejanskim projektom in za nenehno izboljševanje procesa načrtovanja. Kljub svoji častitljivi starosti je filozofija nenehnih izboljšav, ki temelji na PDCA, našla svoje mesto tudi na področju sodobnega trajnostnega razvoja. Za uspešno uresničevanje energetske in okoljske cilje lokalne skupnosti pa je treba oblikovati strategije za njihovo doseganje.

Snovanje strategij, ki se pogosto imenuje strateško načrtovanje ali dolgoročno načrtovanje, se ukvarja z razvojem poslanstva, ciljev, strategij in politik. Z leti se je analiza SWOT (angl. *Strengths-Weaknesses-Opportunities-Threats*) izkazala za najbolj dolgoživo analitično tehniko, ki se uporablja v strateškem menedžmentu [21]. Ta preizkušena metoda se skupaj z matriko TOWS (TOWS je le drugačna oznaka za SWOT) še vedno uspešno uporablja za pripravo

alternativnih strategij za doseganje zastavljenih ciljev podjetij, organizacij ali posameznih projektov [22]. V raziskovalnem delu, ki so ga predstavili Verma in drugi [23], sta izvedena strateško načrtovanje in ocena stanja v obliki SWOT-večdimenzionalne analize obstoječih sistemov za zaznavanje vdorov v informacijsko-komunikacijsko omrežje (angl. *Network Intrusion Detection Systems* – NIDS). Na temelju analize SWOT je uporabljena matrika TOWS za oblikovanje strategije in opredelitev lastnosti prihodnje rešitve NIDS. Kaoma in drugi [24] so izvedli študijo, v kateri je bila analiza TOWS uporabljena za razvoj alternativnih strategij, ki so služile kot politični premislek za institucionalno izboljšanje pogojev za trajnostno uporabo bioenergije na podeželju. Haque in drugi [25] so v raziskovalnem delu uporabili analizo SWOT v kombinaciji s postopkom analitične hierarhije (angl. *Analytic Hierarchy Process* – AHP) in kombinirano matriko SWOT-AHP-TOWS, da bi ocenili izzive in priložnosti za trgovanje z močjo na podlagi dojetja udeležencev in zagotovili ideje za nadaljnji razvoj politik. Das in drugi [26] so uporabili integrirane metodologije odločanja (SWOT in TOWS) za ovrednotenje in razvoj učinkovitih in prilagodljivih strategij za izboljšanje proizvodne verige in spodbujanje okoljske trajnosti. V raziskovalnem delu Hosseinzadeh-Bandbafha in drugih [27] je bila potencialna primernost proizvodnje in uporabe biodizelskega goriva na osnovi odpadnega jedilnega olja analizirana z analizami SWOT-AHP, TOWS in PESTLE (politični, gospodarski, družbeni, tehnološki, pravni in okoljski vidiki). Znanstveni članki [24], [25], [26] in [27] nazorno prikazujejo uporabnost analize SWOT, določanje prioritet dejavnikov ali strategij z večkriterijskimi AHP-analizami in uporabnost matrike TOWS za oblikovanje strategij. Vendar pa v omenjenih primerih ni jasno opredeljenega okvira nacionalnega konteksta trajnostnega razvoja niti ni naravnosti k spremljanju uresničevanja izbranih strategij v povezavi s cilji trajnostnega razvoja.

Lokalni trajnostni energetske projekti so čedalje bolj uveljavljen instrument za doseganje ciljev pravičnega prehoda v podnebno nevtralno družbo. Glede na [28] je izziv celovito povezovanje sektorjev elektroenergetike, industrije, zgradb, ogrevanja, hlajenja, transporta, oskrbe z vodo, odpadnih voda, ravnanja z odpadki, gozdarstva in kmetijstva, tako da s povezovanjem postanejo bolj trajnostni. Zelo obetaven je nadaljnji razvoj daljinskih energetskih sistemov v smeri pametnih omrežij za daljinsko ogrevanje, ki zagotavljajo velike možnosti za trajnostno in prilagodljivo oskrbo s toploto [29]. Raziskovalno delo, ki so ga predstavili Edtmayer in drugi [30] je potrdilo, da ima omrežje pete generacije daljinskega ogrevanja (5GDHC) precejšen potencial za povezovanje sektorja električne energije in ogrevanja, trg izravnalne energije ali nakup potrebne električne energije na promptnem trgu po najugodnejših pogojih. Sistem daljinskega ogrevanja lahko prilagaja rabo virov energije z upoštevanjem mejnih vrednosti emisij onesnaževal in nadzoruje onesnaževanje z upravljanjem sistema daljinskega ogrevanja [31]. Keplinger in drugi [32] so predstavili dinamični model novega koncepta rekuperacije in uporabe odvečne toplote elektroobločne peči, v katerem so rezultati simulacije jasno potrdili potencial za uporabo običajno izgubljene toplote elektroobločne peči in zmanjšanje emisij CO₂, povezanih z industrijo. Žal je sodelovanje energetske intenzivnih podjetij v skupnih projektih z lokalnimi skupnostmi še vedno razmeroma šibko, čeprav bi uporaba industrijske odvečne toplote lahko privedla tudi do znatnega zmanjšanja emisij toplogrednih plinov v sistemih daljinskega ogrevanja, ki temeljijo na sproizvodnji toplote in električne energije [33]. Guo in drugi [34] so predlagali in modelirali zanimiv obsežen sistem ogrevanja z odvečno toploto iz industrije, ki je integriran s sezonskim shranjevanjem toplote v vrtinah in je pokazal dober potencial za uporabo v mestnih omrežjih daljinskega ogrevanja. Uporaba nizkotemperaturnih virov toplote v sistemih daljinskega ogrevanja, kot je odvečna toplota iz podatkovnih centrov, podzemnih postaj, kanalizacijskih sistemov in hladilnih sistemov stavb storitvenega sektorja, pridobiva pozornost kot ukrep za blažitev podnebnih sprememb [35]. V okviru uporabe odvečne toplote je zelo pomembno uskladiti tehnologije rekuperacije odvečne toplote z različnimi toplotnimi viri različnih temperatur glede na kakovost energije, kar lahko izboljša učinkovitost celotnega sistema [36]. Raziskovalno delo, ki so ga predstavili Li in drugi [37], je potrdilo možnost uporabe oddaljene industrijske odvečne toplote v sodobnih sistemih daljinskega ogrevanja tudi pri temperaturah, nižjih od 50 °C.

Abdalla in drugi [38] so modelirali delitev toplotne energije v integriranih energetskih skupnostih z mikrotoplotnimi omrežji in ugotovili, da je mogoče velik del potreb po ogrevanju pokriti s takojšnjo delitvijo energije med stavbami, povezanimi v energetsko skupnost. Poleg tega so Li in drugi v je raziskovalnem delu [39] potrdili, da so najbolj energetske učinkovite več-energetske skupnosti in da so skupnosti v okviru sheme odgovorne rabe dosegle odlične okoljske koristi. Coignard in drugi [40] so poudarili pomen kontekstualizacije metod napovedovanja. S tem so omogočili pravilno ovrednotenje dodane vrednosti, namesto da bi metodo napovedovanja izbrali preprosto na podlagi njene splošne natančnosti. V raziskovalnem delu, ki so ga predstavili Minuto in drugi [41], so bili simulirani scenariji oskrbe z električno energijo in toploto za različne

tehnološke sestave 87 enot (vključno s strešno fotonapetostno elektrarno, toplotno črpalko zrak/voda, baterijskim shranjevalnikom energije in polnilniki za električna vozila) in z naknadnim prilagajanjem na podlagi podatkov. Vendar pa je glede na [42] realno oceno dobičkonosnosti energetske skupnosti mogoče zagotoviti z dobro razvitim ocenjevalnim modelom z ustreznimi predpostavkami in tudi s podrobno simulacijo. Popovski in drugi [43] so razkrili potrebo po dodatnih politikah, da bodo na OVE temelječi sistemi konkurenčni z vidika zasebnega gospodarstva. Prav tako so ugotovili, da vse razvojne dejavnosti zahtevajo dejavno sodelovanje mestnih oblasti in strateški pristop k energetskega načrtovanju.

Lokalni trajnostni energetske projekti in še posebej lokalne energetske skupnosti so v središču Nacionalnega energetskega in podnebne načrta (NEPN) Slovenije. Prepoznani so kot ključni dejavniki za doseganje zastavljenih ciljev [17]. Prav tako slovenski NEPN ugotavlja, da imajo lokalni trajnostni energetske projekti na izvedbeni ravni ogromen potencial za povezovanje lokalnih prebivalcev (občin), operaterjev omrežij (električna energija, zemeljski plin, daljinsko ogrevanje itd.), energetske intenzivne industrije in ponudnikov energetske storitev [17].

Obsežen pregled literature je razkril pomanjkanje jasno določenih postopkov za oblikovanje strategij in izvajanje nenehnih izboljšav trajnostnega lokalnega načrtovanja in povezovanja energetske sektorjev. V pregledani literaturi ni mogoče zaslediti opisa procesa oblikovanja strategij trajnostnega razvoja, ki bi temeljil na že dolgo uveljavljenih in preizkušanih načelih strateškega menedžmenta [44]. Prav tako je pregled literature pokazal, da obstaja potreba po ustreznem modeliranju in simulaciji lokalnih trajnostnih energetske projektov s poudarkom na integraciji odvečne toplote iz energetske intenzivnih industrij v lokalne sisteme daljinskega ogrevanja. V tem kontekstu pomeni razvoj digitalnega dvojčka korak naprej. Z njim lahko na virtualen način preizkusimo dejanski scenarij izvajanja, kar zagotavlja pomembne povratne informacije nosilcem odločanja [45]. Prav tako je ključno prepoznati in ustrezno oceniti notranje in zunanje udeležence, ki lahko vplivajo na energetske in okoljske učinkovitost predvidenih prihodnjih projektov.

1.2 Motivacija

Trajnostni razvoj naj bi bil edina globalna strategija preživetja. Ideje energetske skupnosti in povezovanja energetske sektorjev sledijo ciljem trajnostnega razvoja. Energetske skupnosti so vse bolj uveljavljen instrument za doseganje ciljev pravičnega prehoda v podnebno nevtralno družbo. Toda sodelovanje energetske intenzivnih podjetij v skupnih projektih z lokalnimi skupnostmi je še razmeroma šibko. V okviru energetske skupnosti izvedeni trajnostni energetske projekti prepogosto niso optimalne rešitve za celotno skupnost. Z bolj sistematičnim pristopom bi bilo mogoče poiskati celovitejše in s tem resnično trajnostne rešitve.

Ambiciozni cilji na področju učinkovite rabe energije, deleža obnovljivih virov energije in hitrejšega prehoda v podnebno nevtralno družbo vse pogosteje naletijo na tehnične, okoljevarstvene ali družbene ovire. Težavno umeščanje energetske objektov v prostor, tehtanje prevlade javne koristi, ozka grla na energetske infrastrukturi, velika cenovna nihanja na energetske trgu in vse pogostejši izredni dogodki na energetske infrastrukturi nas opozarjajo na pomanjkanje sistematičnega in celovitega pristopa pri načrtovanju energetske sistemov. Za udeležanje ciljev trajnostnega razvoja družbe so potrebne korenite spremembe procesov razvoja in načrtovanja lokalne energetske infrastrukture.

Pregled strokovne literature in praktične izkušnje s področja načrtovanja lokalne energetske infrastrukture razkriva vrzeli v konceptih razvoja, ki ne vključujejo sistematično vseh relevantnih udeležencev ne pri oblikovanju strategij trajnostnega razvoja ne pri načrtovanju trajnostnih projektov. Pilotnih projektov je čedalje več, preizkušajo se posamezne tehnološke rešitve, v projekte se aktivno vključuje tudi lokalne skupnosti in občane, vendar pa izjemna dinamika sprememb regulatornega okolja omejuje ponovljivost izvedenih (pilotnih) projektov, ne toliko v tičnem smislu kot z vidika optimalnih rešitev za dosegajo trajnostnih ciljev.

Navdih za raziskovalno delo so bila tudi priporočila Calise in drugih [46], da bi se prihodnje raziskave zaradi notranje kompleksnosti sodobnih energetske sistemov in velikega števila različnih mogočih konfiguracij morale osrediniti na večgeneracijske sisteme, ki omogočajo hkratno proizvodnjo več oblik energije (npr. električno energijo, toploto) iz enega samega vira ali procesa. Z raziskavami bi pravilno obravnavali načrtovanje, optimizacijo in nadzor teh sistemov ter razvili učinkovita orodja za podporo inženirjem, zakonodajalcem in končnim uporabnikom pri odločanju.

1.3 Hipoteza in namen dela

Hipoteza disertacije je, da lahko le sistematični razvojni pristop (z modelom energetske skupnosti) zagotovi lokalnim energetskim projektom izpolnjevanje meril trajnostnega razvoja.

Namen disertacije je izboljšanje sistematike načrtovanja lokalne infrastrukture in lokalnih trajnostnih energetskih projektov in podpora optimalnemu povezovanju energetskih sektorjev.

Cilj disertacije je priprava znanstvenih podlag za napredne analize, ki vključujejo razvoj in preizkus orodij za izboljšanje sistematike načrtovanja lokalne infrastrukture, lokalnih trajnostnih energetskih projektov in optimalno povezovanje energetskih sektorjev. Glavni cilji disertacije so:

- razvoj referenčne arhitekture modela energetske skupnosti za trajnostno povezovanje industrije, operaterjev lokalnih sistemov za distribucijo energije (električna energija, daljinska toplota, zemeljski plin) in lokalnih skupnosti;
- razvoj postopka oblikovanja strategij za trajnostno lokalno načrtovanje in povezovanje energetskih sektorjev s kazalniki in ciljnimi vrednostmi za merjenje njihovega izvajanja;
- razvoj in praktičen preizkus modela za analizo trenutne in simulacije prihodnje rabe energije, ki temelji na strukturi energetskih stroškovnih centrov;
- razvoj in praktičen preizkus modela za analizo potenciala uporabe odvečne toplote iz industrijskih procesov, boljšo integracijo obnovljivih virov energije in povezovanje z lokalnimi sistemi za daljinsko ogrevanje;
- prikaz delovanja in uporabe hibridnega modela za simulacijo/emulacijo delovanja na podlagi kombinacije zgodovinskih podatkov in trenutnih meritev iz realnih procesov ter uporaba modela kot digitalnega dvojčka prihodnjega realnega sistema za uporabo odvečne toplote iz proizvodnih procesov.

1.4 Ključna raziskovalna vprašanja

Povezovanje za usklajeno načrtovanje in delovanje energetskega sistema kot celote, ki bo zajemal več nosilcev energije, infrastruktur in sektorjev, je edina pot do učinkovitega, cenovno dostopnega in temeljitega razogljichenja evropskega gospodarstva. Stroški prehoda v podnebno nevtralno družbo bodo manjši, če bo energetski sistem povezan. Raziskovalno vprašanje, ki se ob tem postavlja, je:

»Kako v proces trajnostnega načrtovanja lokalnega energetskega sistema kot celote sistematično vključiti vse relevantne udeležence in kako vzpostaviti sistem stalnih izboljšav načrtovalskega procesa?«

Potrebna je jasna opredelitev okvira nacionalnega konteksta trajnostnega razvoja in naravnost k spremljanju uresničevanja izbranih strategij v povezavi s cilji trajnostnega razvoja. Zato se moramo vprašati:

»Kako sistematično pristopiti k oblikovanju strategij trajnostnega lokalnega načrtovanja in povezovanja energetskih sektorjev, ki bodo temeljile na nacionalnem kontekstu globalnih ciljev trajnostnega razvoja, ter kako z njihovim načrtovanjem, izvajanjem, spremljanjem in nadgrajevanjem vzpostaviti sistem nenehnih izboljšav trajnostnih (lokalnih) energetskih rešitev?«

Tretje pomembno raziskovalno vprašanje je:

»Kako učinkovito modelirati in simulirati kompleksno trajnostno projektno rešitev, ki vključuje različne energetske vektorje za preizkušanje izvedljivosti?«

Zanima nas torej, zakaj in kako bi ob podpori države in EU lahko sodelovali občani, lokalne skupnosti, energetska intenzivna podjetja ter upravljalci omrežij pri reševanju okoljskih, energetskih, prometnih, demografskih in migracijskih bremen, ki jih pestijo, in kako sistematično pristopiti k oblikovanju optimalnega in trajnostno naravnega energetskega projekta.

1.5 Struktura doktorske disertacije

V uvodnem poglavju so predstavljeni pregled predhodnih raziskav z ugotovljenimi raziskovalnimi izzivi, hipoteza in namen dela ter ključna raziskovalna vprašanja in cilji doktorske disertacije.

Za lažje razumevanje kompleksnosti obravnavane teme so v drugem poglavju predstavljeni energetske okoljski vidiki trajnostnega razvoja družbe, navedeni pa so tudi evropske okoljske energetske politike in cilji, njihovo prilaganje aktualnim geopolitičnim razmeram in prenos na nacionalno raven. Podani so ključni izzivi Slovenije na področju energetske in okoljske politike. Pojasnjena je vloga trajnostne energetske infrastrukture in energetskih skupnosti pri spodbujanju trajnostnega razvoja družbe in zakaj je nujno povezovanje energetskih sektorjev.

Tretje poglavje razkriva problematiko parcialnega razvoja posameznih energetskih podsistemov v lokalnem okolju. Razložen je pomen celovitega okoljskega, prostorskega in energetskega načrtovanja. Kot alternativa sedanjemu stanju sta predstavljeni referenčna arhitektura modela energetske skupnosti in njena uporabna vrednost.

Četrto poglavje predstavi potrebo po vzpostavitvi mehanizma stalnih izboljšav celotnega življenjskega cikla trajnostnih rešitev. Opisan je postopek oblikovanja strategij za trajnostno lokalno načrtovanje in povezovanje energetskih sektorjev. Za učinkovito sledenje ciljem trajnostnega razvoja so predlagani kazalniki izvajanja strategij s ciljnim vrednostmi.

Peto in šesto poglavje sta namenjena prikazu razvoja modela za analizo rabe energije, ki temelji na strukturi energetskih stroškovnih centrov in modela za analizo potenciala za uporabo odvečne toplote iz industrijskih procesov. Oba modela sta nujna v fazi načrtovanja trajnostne rešitve in za preizkus njegove izvedljivosti.

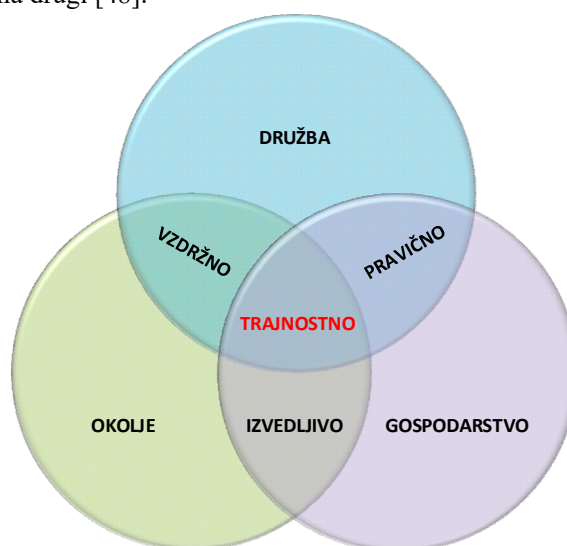
Zadnje, sedmo poglavje povzema rezultate disertacije, navaja zaključke in podaja predloge nadaljnjih raziskav.

V Dodatku A je Blokovni diagram modela za uporabo odvečne toplote, v Dodatku B pa Izpis MATLAB/Simulink modela za uporabo odvečne toplote.

Poglavje 2

Energetsko okoljski vidiki trajnostnega razvoja družbe

Trajnostni razvoj lahko opredelimo na različne načine. Najpogosteje je uporabljena definicija iz poročila Naša skupna prihodnost svetovne komisije za okolje in razvoj (Brundtlandska komisija), po kateri naj bi bil trajnostni razvoj »razvojna usmeritev, ki omogoča zadovoljevanje potreb sedanjih generacij tako, da ne ogroža možnosti zadovoljevanja potreb prihodnjih generacij [47]«. Cilja trajnostnega razvoja sta dolgoročno ohranjanje ter čim manjše obremenjevanje okolja in razpoložljivih naravnih virov. Trajnostni razvoj zahteva učinkovito gospodarjenje z energijo in stalno skrb za okolje, zato je spodbujevalec pozitivnih družbenih, gospodarskih in okoljskih sprememb. Pri trajnostnem razvoju ne gre le za varstvo okolja, ampak tudi za zagotavljanje družbene in gospodarske trajnosti. Zahteva ravnotežje med gospodarsko rastjo, družbenim napredkom in varovanjem okolja. Tristebrna zasnova (družbene, gospodarske in okoljske) trajnosti (slika 2.1), ki jo običajno predstavljajo trije sekajoči se krogi s trajnostnim razvojem v sredini, je rezultat postopnega iskanja ekonomskega statusa quo z družbenega in okoljskega vidika na eni strani ter prizadevanja za uskladitev gospodarske rasti kot rešitve socialnih in okoljskih problemov na drugi [48].



Slika 2.1: Tristebrna zasnova trajnostnega razvoja [48].

Trajnostni razvoj je danes temelj globalnega okvira za mednarodno sodelovanje – Agende trajnostnega razvoja Združenih narodov do leta 2030 in njenih ciljev trajnostnega razvoja [49].

2.1 Evropske okoljsko energetske politike in cilji – energetska unija

Evropske okoljske in energetske politike so predmet stalnih in hitrih sprememb, ki so posledica dinamičnih geopolitičnih dogajanj in odzivanja EU na energetske in okoljske izzive. Posledično se hitro spreminjajo tudi nacionalne zakonodaje držav članic. Pregled aktualnega evropskega

pravnega in političnega okvira je pomemben za razumevanje časovne aktualnosti teme doktorske disertacije, izvedenih raziskav in razvoja v času njene priprave.

Evropska unija (EU) se je leta 2024 na področju energije soočala z izzivi, kot so odvisnost od uvoza, omejena diverzifikacija, visoke in nestabilne cene energije, naraščajoče povpraševanje po energiji, varnostna tveganja v državah proizvajalkah in tranzitnih državah, vse večja grožnja podnebnih sprememb, razogljičenje, počasen napredek pri energetski učinkovitosti, izzivi, povezani z vse večjim deležem obnovljivih virov energije ter potreba po bolj preglednih, integriranih in medsebojno povezanih energetskih trgih. V središču energetske politike EU so bili različni ukrepi, namenjeni vzpostavitvi popolne energetske unije [50].

Energetska unija naj bi EU pomagala pri zmanjševanju njene odvisnosti od uvoza energije. Zagotavljala naj bi večjo izbiro in nižje cene energije gospodarstvu in prebivalcem EU in dejavno prispevala v boju proti podnebnim spremembam. Države članice EU so se v okviru strategije za energetsko unijo dogovorile o skupnih pravilih in ciljih za zagotovitev oskrbe s čisto energijo. Evropska komisija je leta 2015 predstavila strategijo [51], ki temelji na petih stebrih:

- energetska varnost,
- povezan notranji energetski trg,
- energetska učinkovitost,
- razogljičenje gospodarstva,
- raziskave in inovacije.

Leta 2016 je Evropska komisija predstavila sveženj zakonodajnih predlogov z naslovom Čista energija za vse Evropejce [52], namenjen uresničitvi strategije. Njeni predlogi so bili obravnavani v Svetu in Evropskem parlamentu, pogajanja so se začela leta 2017. Vsi zakonodajni akti iz omenjenega svežnja so bili sprejeti do maja 2019, s čimer je bila dokončana energetska unija. EU je v okviru svežnja predlagala tudi cilje EU na področju energije za leto 2030, in sicer:

- povečanje energetske učinkovitosti za vsaj 32,5 % z zmanjšanjem rabe energije,
- povečanje deleža obnovljivih virov energije na vsaj 32 %.

Ti cilji so bili pozneje revidirani v okviru svežnja Pripravljeni na 55 [53]. V nadaljevanju so povzeti cilji EU in zakonodaja iz prve polovice leta 2024.

2.2 Cilji evropske energetske politike

Pravna podlaga v letu 2024 aktualnih skupnih ciljev evropske energetske politike je bil 194. člen Pogodbe o delovanju Evropske unije (PDEU) [54]. Evropska energetska politika je temeljila na strategiji za energetsko unijo [55], ki je bila objavljena februarja 2015 in cilj katere je, da se gospodinjstvom in podjetjem v EU zagotovi zanesljiva, trajnostna, konkurenčna in cenovno dostopna oskrba z energijo. V letu 2024 so bili cilji EU na področju energije do leta 2030:

- povečati delež energije iz obnovljivih virov v končni porabi energije na vsaj 42,5 %, pri čemer si je treba prizadevati doseči 45 %;
- zmanjšati rabo primarne in končne energije za 11,7 % v primerjavi s projekcijami iz leta 2020;
- doseči vsaj 15-odstotno povezanost elektroenergetskih sistemov EU [50].

Energetska politika EU je imela v skladu s strategijo za energetsko unijo [55] pet glavnih ciljev:

- diverzifikacija evropskih virov energije, zagotavljanje energetske varnosti s solidarnostjo in sodelovanjem med državami EU;
- zagotavljanje delovanja popolnoma povezanega notranjega energetskega trga, ki z ustrezno infrastrukturo in brez tehničnih ali regulativnih ovir omogoča prosti pretok energije v EU;
- povečanje energetske učinkovitosti in zmanjšanje odvisnosti od uvoza energije, zmanjšanje emisij, nastanek novih delovnih mest in spodbujanje rasti;
- razogljičenje gospodarstva in prehod na nizkoogljično gospodarstvo v skladu s Pariškim sporazumom;

- spodbujanje raziskav na področju nizkoogljičnih tehnologij in tehnologij za čisto energijo ter osredinjane na raziskave in inovacije za spodbujanje energetskega prehoda in povečanje konkurenčnosti.

S 194. členom PDEU so nekatera od področij energetske politike prešla v deljeno pristojnost, kar je bil prvi korak za skupno energetska politiko. To pa ni vplivalo na pravico držav članic, da določijo pogoje za izkoriščanje svojih energetskih virov, izbirajo med njimi in oblikujejo svojo oskrbo z energijo [50].

2.3 Okoljsko energetska zakonodaja in aktualne politike Evropske unije

Leta 2024 je evropski energetska regulativni okvir temeljil na obsežnem svežnju EU Pripravljeni na 55 [53], ki je bil prvotno namenjen uskladitvi vseh podnebnih in energetskih ciljev. Pozneje je bil spremenjen z načrtom REPowerEU [56], cilj katerega je bila hitra in popolna odprava odvisnosti od ruskih fosilnih goriv.

Regulativni okvir je bil sestavljen iz več določb, ki so vključevale: spodbujanje rabe energije iz obnovljivih virov (Direktiva EU 2018/2001) [57], energetska učinkovitost (Direktiva EU 2018/2002) [58], upravljanje in elektroenergetska medsebojno povezanost (Uredba EU 2018/1999) [59], zasnovo trga električne energije (Direktiva EU 2019/944 in Uredba EU 2019/943) [60] in [61], pripravljenost na tveganja (Uredba EU 2019/941) [62], energetska učinkovitost stavb (Direktiva EU 2018/844) [63], trg razogljičenega plina in vodika (Direktiva 2009/73/EC in Uredba ES št. 715/2009) [64] in [65], obdavčitev energije (Direktiva 2003/96/ES) [66], vseevropsko energetska infrastrukturo (Uredba EU 2022/869) [67], sodelovanje energetskih regulatorjev (Uredba EU 2019/942) [68], baterije (Uredba EU 2023/1542) [69], spremembe po izstopu Združenega kraljestva iz EU (Sklep EU 2019/504) [70] ter pobude za zračni in pomorski promet (Uredba EU 2023/2405 in Uredba EU 2023/1805) [71] in [72]. Države članice so morale v skladu z aktualnim regulativnim okvirom vzpostaviti Celovite nacionalne energetske in podnebne načrte (NEPN) za deset let (2021–2030), vsaki dve leti predložiti poročilo o napredku ter pripraviti dosledne nacionalne dolgoročne strategije za uresničevanje energetskih ciljev in ciljev Pariškega sporazuma.

Z načrtom REPowerEU je bil okvir energetske politike razširjen tako, da je vključeval pravila o minimalni 90-odstotni napolnjenosti skladišč plina pred zimo (Uredba EU 2022/1032) [73], prostovoljne cilje glede 15-odstotnega zmanjšanja povpraševanja po plinu za države članice (Uredba EU 2022/1369; podaljšana do marca 2024) [74], prostovoljno združevanje povpraševanja po plinu (Uredba EU 2022/2576: energetska platforma EU) [75], 10-odstotno oziroma v času konic 5-odstotno zmanjšanje povpraševanja po električni energiji in časovno omejene nujne ukrepe za obravnavo visokih cen energije (Uredba EU 2022/1854) [76]. Leta 2024 so politično agendo še vedno določala vprašanja glede energetske varnosti in cenovne dostopnosti energije [50].

2.3.1 Dokončanje notranjega energetskega trga

Popolnoma povezan in dobro delujoč notranji energetska trg naj bi zagotavljal cenovno dostopno energijo, potrebne cenovne signale za naložbe v zeleno energijo, oskrbo z energijo in najcenejšo pot do podnebne nevtralnosti.

Zakonodaja o notranjem energetskem trgu, ki je bila prvič uvedena s tretjim energetskim svežnjem (2009–2014), je temeljila na načelih čezmejnega sodelovanja in pravičnih maloprodajnih trgov. Svežnji, ki so sledili, so bili osredinjeni na pripravljenost na tveganja, usklajevanje, spodbude za potrošnike, razogljičenje in zanesljivost oskrbe z energijo. V letu 2024 so potekala pogajanja o reformi zasnove trga z električno energijo [50].

2.3.2 Energetska učinkovitost

V letu 2024 je bila temelj politike EU na področju energetske učinkovitosti nova direktiva o energetski učinkovitosti (Direktiva EU 2023/1791) [77]. Ta temelji na načelu »energetska učinkovitost na prvem mestu« in kot cilj EU na področju energetske učinkovitosti do leta 2030 določa 11,7-odstotno zmanjšanje rabe primarne in končne energije v EU v primerjavi s projekcijami iz leta 2020. To ustreza 11.542,8 TWh rabe primarne energije oziroma 8873,7 TWh končne energije. V skladu z načelom »energetska učinkovitost na prvem mestu« so morale države

EU zagotoviti, da se rešitve za energetsko učinkovitost upoštevajo pri odločitvah o načrtovanju, politiki in naložbah v energetskem in neenergetskem sektorju [50].

2.3.3 Energija iz obnovljivih virov

Obnovljivi viri energije so: sončna energija, vetrna energija, energija plimovanja oceanov in vodna energija, biomasa in biogoriva. Energetski trgi niso mogli sami zagotoviti želene ravni obnovljivih virov energije v EU. Potrebni so bili nacionalni programi podpore in programi financiranja EU. Politika EU na področju energije iz obnovljivih virov je vključevala načela, kot so diverzifikacija oskrbe z energijo, razvoj lokalnih virov energije za zanesljivo oskrbo z energijo in zmanjšanje odvisnosti od zunanjih virov energije. Politika EU na področju energije iz obnovljivih virov je v letu 2024 temeljila na novi direktivi o energiji iz obnovljivih virov (Direktiva EU 2023/2413) [78]. Ta določa, da mora delež energije iz obnovljivih virov v končni rabi energije leta 2030 znašati najmanj 42,5 %, države članice pa bi si morale prizadevati za 45-odstotni delež. V tej direktivi ima posebno vlogo vodik kot razogljičen nosilec energije [50].

2.3.4 Krepitev zunanjih odnosov na področju energetike

Po odločitvi o postopni odpravi uvoza energije iz Rusije je zunanja energetska politika EU v letu 2024 temeljila na diverzifikaciji oskrbe z energijo. Komisija je marca 2022 v sporočilu o načrtu REPowerEU predlagala obsežno in hitro zmanjšanje rabe fosilnega plina, in sicer za vsaj 155 milijard kubičnih metrov, kar je ustrezalo uvozu iz Rusije leta 2021, pri čimer naj bi se ta količina v letu dni zmanjšala za dve tretjini. Maja 2022 je EU v skladu z načrtom REPowerEU sodelovala z mednarodnimi partnerji, da bi razpršila oskrbo, zagotovila uvoz utekočinjenega zemeljskega plina in večjo dobavo plina prek plinovodov. Vzpostavila je energetsko platformo EU, prostovoljni usklajevalni mehanizem za skupne nakupe plina in vodika v EU ter objavila evropsko strategijo za zunanje sodelovanje na področju energije v podporo Ukrajini, Moldaviji, Zahodnemu Balkanu in državam vzhodnega partnerstva [50].

2.3.5 Zanesljivejša oskrba z energijo

Leta 2024 je politika EU za energetsko varnost vključevala usklajevalne ukrepe, s katerimi se zagotavlja oskrba z energijo, ter sprejemala pravila za preprečevanje nesreč na morju, na primer na naftnih ploščadih, poljih vetrnih elektrarn, podvodnih kablovodih in cevovodih. Ukrepi so bili usmerjeni v preprečevanje morebitnih motenj oskrbe z energijo in učinkovito odzivanje nanje. Poleg tega so vplivali na upravljanje nujnih zalog nafte in plina ter urejanje dovoljenj za raziskovanje in izkoriščanje. Po ruski invaziji na Ukrajino februarja 2022 je zanesljivost oskrbe z energijo postala glavna prednostna naloga na področju energetike.

Politika EU na področju vseevropske energetske infrastrukture je bila zajeta v uredbah TEN-E. Uredba EU 2022/869 o TEN-E iz junija 2022 [79] je določila 11 prednostnih koridorjev za električno energijo, priobalno omrežje in infrastrukturo za vodik v različnih geografskih regijah. Z uredbo so bili opredeljeni projekti EU v skupnem interesu držav članic ter projekti v vzajemnem interesu držav EU in tretjih držav. Odpravljena je bila podpora za nove projekte na področju zemeljskega plina in nafte, uvedena pa so bila obvezna trajnostna merila za vse projekte. Uredba EU 2022/869 o TEN-E je bila finančno podprta z Instrumentom za povezovanje Evrope za obdobje 2021–2027, vzpostavljenim z Uredbo EU 2021/1153 [80].

Sklad za pravični prehod je bil v letu 2024 kot del Evropskega zelenega dogovora [81] glavni kohezijski instrument za podporo premogovno in ogljično intenzivnim regijam pri njihovem prehodu na nizkoogljične vire energije [50].

2.3.6 Raziskave, razvoj in predstavitveni projekti

Program Obzorje Evropa je bil v letu 2024 okvirni program in glavno orodje EU za spodbujanje raziskav na področju energije. Njegov proračun je znašal 95,5 milijarde EUR (v cenah iz leta 2018), vključno s 5,4 milijarde EUR iz programa Next Generation EU [82], njegovo trajanje pa je omejeno na obdobje 2021–2027.

Evropski strateški načrt za energetsko tehnologijo (SET) [83] je pospešil tržno uvajanje podnebno nevtrálnih energetskih sistemov in njihovo uveljavljanje z uvedbo nizkoogljičnih tehnologij. V načrtu je opredeljenih 10 tehnologij in ukrepov za raziskave in inovacije, ki zajemajo celotno inovacijsko verigo, vključno s financiranjem in regulativnim okvirom.

Zaradi pomembne vloge električne energije pri razogljičenju so bile baterije kot naprave za shranjevanje električne energije opredeljene kot ključna tehnologija, ki omogoča nizkoogljično

gospodarstvo. Cilj strateškega akcijskega načrta za baterije je bil vzpostaviti globalno povezano, trajnostno in konkurenčno industrijsko bazo za baterije v EU [50].

2.4 Nacionalni cilji in prenos zakonodaje na nacionalno raven

Ključni nacionalni energetske in podnebni cilji in politike so opredeljeni v strateških dokumentih države, in sicer v Celovitem nacionalnem energetske in podnebnem načrtu (NEPN) [17] in Resoluciji o Dolgoročni podnebni strategiji Slovenije do leta 2050 (ReDPS50) [84].

2.4.1 Slovenska energetska zakonodaja

Energetski zakon (EZ-1) [85] je bil sprejet leta 2019. Določil je načela energetske politike, pravila delovanja trga z energijo, načine in oblike izvajanja gospodarskih javnih služb na področju energetike, načela in ukrepe za doseganje zanesljive oskrbe z energijo, povečanje energetske učinkovitosti in varčevanja z energijo in večjo rabo energije iz obnovljivih virov. Določil je pogoje za obratovanje energetskih naprav, uredil pristojnosti, organizacijo in delovanje Agencije za energijo ter pristojnosti drugih organov, ki opravljajo naloge po EZ-1. Namen zakona je bil zagotoviti konkurenčno, varno, zanesljivo in dostopno oskrbo z energijo in energetskimi storitvami ob upoštevanju načel trajnostnega razvoja.

Od zadnje posodobitve v letu 2020 je bilo sprejetih več področnih zakonov, v katere je Republika Slovenija prenesla evropske direktive iz svežnja Čista energija za Evropejce in s katerimi se je EZ-1 razdelil na več zakonov. Tako je bil leta 2020 sprejet nov Zakon o učinkoviti rabi energije (ZURE) [86], ki določa ukrepe za spodbujanje energetske učinkovitosti, povečanje učinkovite rabe energije in izboljšanje energetske učinkovitosti stavb in pristojnosti organov, ki opravljajo naloge po tem zakonu, ter izvajanje politike države na področju energetske učinkovitosti. Leta 2021 je bil sprejet Zakon o spodbujanju rabe obnovljivih virov energije (ZSROVE) [87], ki med drugim ureja izvajanje politike države in občin na področju rabe obnovljivih virov energije, določa zavezujoči cilj za delež energije iz obnovljivih virov v bruto končni rabi energije v Republiki Sloveniji ter ukrepe za doseganje tega cilja in načine njihovega financiranja. Konec leta 2021 je bil sprejet Zakon o oskrbi z električno energijo (ZOEE) [88], ki določa pravila delovanja trga z električno energijo, proizvodnje, prenosa, distribucije, shranjevanja in dobave električne energije, pravice in varstvo končnih odjemalcev, načine in oblike izvajanja gospodarskih javnih služb na področju prenosa in distribucije električne energije in trga z električno energijo. Leta 2021 je bil sprejet še Zakon o oskrbi s plini (ZOP) [89], ki določa pravila delovanja trga s plinom, proizvodnje, prenosa, distribucije, shranjevanja in dobave plina, pravila varstva odjemalcev, načine in oblike izvajanja gospodarskih javnih služb pri prenosu in distribuciji plina ter načela in ukrepe za doseganje zanesljive oskrbe z njim. Zakon o oskrbi s toploto iz distribucijskih sistemov (ZOTDS) [90], ki ureja pogoje za zagotavljanje oskrbe s toploto iz distribucijskih sistemov in oskrbo s plini iz distribucijskih sistemov, ki niso neposredno ali posredno povezani s prenosnim sistemom plina, je bil sprejet leta 2022.

V letu 2024 je bil v pripravi in sprejemanju Zakon o energetske politiki, ki ureja načela energetske politike, ukrepe upravljanja energetske politike, opredeljuje energetske in infrastrukturne in nekatera skupna vprašanja na področju energetike. Ta zakon je bil tudi zadnji področni zakon, ki se je izločil iz obstoječega energetskega zakona, ki je prenehal veljati z dnem uveljavitve novega zakona.

Povezovanje energetskih sektorjev zahteva prilagajanje zakonodaje tudi na področju prometa. Tako Zakon o infrastrukturi za alternativna goriva in spodbujanju prehoda na alternativna goriva v prometu (ZIAG) [91] določa pravila za načrtovanje nacionalnega okvira politike za razvoj infrastrukture za alternativna goriva v prometu, cilje za vzpostavitev zadostne infrastrukture za alternativna goriva v prometu za cestna vozila, mirujoče zrakoplove in plovila, ureja vzpostavitev in delovanje gospodarske javne službe zagotavljanja in upravljanja podporne infrastrukture in priključnih zmogljivosti na polnilnih parkih visokih moči za hitro polnjenje vozil. Določa tudi obveznosti upravljavcev polnilnih in oskrbovalnih mest, tehnične zahteve v zvezi z vzpostavljanjem, delovanjem in vzdrževanjem infrastrukture za alternativna goriva v prometu in zahteve v zvezi z informacijami za uporabnike, način in postopke za registracijo infrastrukture za alternativna goriva v prometu in vodenje evidenc, vire in načine financiranja ukrepov za spodbujanje prehoda na alternativna goriva ter vzpostavitev in delovanje centra za spodbujanje prehoda na alternativna goriva v prometu.

Slovenija se zaradi obsežnih zaščitnih območij Nature 2000, redkih območij s potencialom za izkoriščanje vetrne energije in težav z umeščanjem velikih hidroelektrarn v prostor sooča s precejšnjimi težavami pri doseganju ciljnih deležev obnovljivih virov energije. V želji po podnebni nevtralnosti in doseganju ciljnega deleža energije iz obnovljivih virov v bruto končni

rabi v Republiki Sloveniji je bil leta 2023 sprejet Zakon o uvajanju naprav za proizvodnjo električne energije iz obnovljivih virov energije (ZUNPEOVE) [92]. Ta ureja vzpostavitev prednostnih območij umeščanja naprav, ki proizvajajo električno energijo iz obnovljivih virov energije, posebnosti prostorskega načrtovanja in dovoljevanja naprav in objektov, ki proizvajajo električno energijo z uporabo sončne in vetrne energije, regulativne peskovnike, raziskovalno geotermalno koncesijo, spremljajočo energetsko dejavnost, nepotrebnost pridobivanja kulturnovarstvenega soglasja v določenih primerih, enkratno nadomestilo za občino za spodbujanje uvajanja vetrnih proizvodnih naprav, pravna razmerja v zvezi s postavitvijo fotonapetostnih naprav na nepremičnine v solastnini in etažni lastnini in ustanovitev brezplačne služnosti ali stavbne pravice na objektih v javni lasti.

2.4.2 Nacionalni energetski in podnebni načrt (NEPN) 2020

Celovit nacionalni energetski in podnebni načrt (NEPN) je strateški dokument, ki mora za obdobje do leta 2030 (s pogledom do leta 2040) določiti cilje, politike in ukrepe za pet razsežnosti energetske unije:

1. razogljičenje (emisije toplogrednih plinov in obnovljivi viri energije),
2. energetsko učinkovitost,
3. energetsko varnost,
4. notranji trg energije,
5. raziskave, inovacije in konkurenčnost.

Vlada Republike Slovenije je prvi NEPN sprejela 27. februarja 2020. Ključni cilji in prispevki Slovenije do leta 2030, ki jih predvideva NEPN 2020, so navedeni v nadaljevanju [17].

Razogljičenje: blaženje podnebnih sprememb in prilagajanje nanje

Do leta 2030 je treba zmanjšati emisije TGP v sektorjih, ki niso vključeni v shemo trgovanja, vsaj za 20 % glede na leto 2005 z doseganjem sektorskih ciljev: promet največ +12 %, široka raba –76 %, kmetijstvo –1 %, ravnanje z odpadki –65 %, industrija –43 %, energetika –34 %. Zagotoviti, da sektorji spremembe rabe zemljišč in gozdarstvo (angl. *Land Use Land Use Change and Forestry* – LULUCF) do leta 2030 ne bodo proizvedli neto emisij, tj. emisije v sektorju LULUCF ne bodo presegle ponorov. Na področju prilagajanja je treba zmanjšati izpostavljenost vplivom podnebnih sprememb, ranljivost in občutljivost Slovenije nanje ter povečati odpornost in prilagoditvene sposobnosti družbe. Zmanjšati je treba rabo fosilnih virov energije in odvisnost od njihovega uvoza s postopnim opuščanjem rabe premoga: vsaj za 30 % do leta 2030 in odločitev o opustitvi rabe premoga v Sloveniji po načelih pravičnega prehoda do leta 2021, prepoved prodaje in vgradnje novih kotlov na kurilno olje do leta 2023, podpora izvedbi pilotnih projektov za proizvodnjo sintetičnega metana in vodika (indikativni cilj je 10-odstotni delež metana ali vodika obnovljivega izvora v prenosnem in distribucijskem omrežju do leta 2030).

Razogljičenje: obnovljivi viri energije

Doseči je treba vsaj 27-odstotni delež obnovljivih virov v končni rabi energije do leta 2030. Pri tem je treba uresničiti vsaj 2/3 rabe energije v stavbah iz OVE do leta 2030, vsaj 30-odstotni delež OVE v industriji, 43-odstotni delež v sektorju električna energija, 41-odstotni delež v sektorju toplota in hlajenje in 21-odstotni delež v prometu (delež biogoriv vsaj 11 %).

Učinkovita raba energije

Izboljšanje energetske in snovne učinkovitosti v vseh sektorjih je prvi in ključni ukrep za prehod v podnebno nevtrarno družbo. Do leta 2030 je treba izboljšati energetsko učinkovitost za vsaj 35 % glede na osnovni scenarij iz leta 2007. Zagotoviti je treba sistematično izvajanje sprejetih politik in ukrepov, da končna raba energije ne bo preseгла 54,9 TWh in da raba leta 2030, preračunano na raven primarne energije, ne bo preseгла 73,9 TWh. Rabo končne energije v stavbah je treba zmanjšati za 20 % do leta 2030 glede na leto 2005 in zagotoviti zmanjšanje emisij TGP v stavbah za vsaj 70 % do leta 2030 glede na leto 2005.

Energetska varnost in notranji trg energije

Zagotoviti je treba dodatne finančne, človeške in tehnične vire za pospešitev celovitega razvoja in vodenja omrežja za distribucijo električne energije za večjo zmogljivost, odpornost proti motnjam, za naprednost, povezljivost in prilagodljivost. Poleg tega je treba zagotavljati zanesljivo in konkurenčno oskrbo z energijo in ohranjati visoko raven elektroenergetske povezanosti s sosednjimi državami. Cilja do leta 2030 sta, da se vsaj 75 % električne energije

zagotovi iz virov v Sloveniji in da se zagotavlja ustrežna raven zanesljivosti oskrbe z električno energijo. Oba cilja morata biti izpolnjena tudi v letu 2040. Nadaljevanje izkoriščanja jedrske energije in ohranjanje odličnosti v obratovanju jedrskih objektov v Sloveniji, zmanjševanje uvozne odvisnosti na področju fosilnih goriv, povečanje odpornosti elektrodistribucijskega omrežja proti motnjam s povečanjem deleža podzemnega srednjenapetostnega omrežja na vsaj 50 %, nadaljnji razvoj sistemskih storitev in aktivna vloga odjemalcev ter razvoj tehnologij, infrastrukture in storitev za shranjevanje energije. Vzpostaviti je treba razvojno naravnani regulatorni okvir za določanje višine omrežnine za prehod v podnebno nevtralno družbo ter podpreti razvoj učinkovitega in konkurenčnega trga za popolno koriščenje prožnosti elektroenergetskega sistema in novih tehnologij. Podporo je treba nuditi medsektorskemu povezovanju in izvajanju novih medsektorskih sistemskih storitev, spodbujati razvojno in raziskovalno sodelovanje med podjetji v sektorju in zunaj njega, zagotoviti nadaljnji razvoj plinovodnega sistema v skladu s plinskimi tokovi in zmogljivostmi sistema, vključno z novimi viri plinov iz OVE in odpadkov. Pripraviti je treba regulatorno in podporno okolje za nadomestne pline obnovljivega izvora v omrežju zemeljskega plina ter ob tem analizirati in določiti kar največji delež vodika v omrežju zemeljskega plina. Podpreti je treba izvedbo pilotnih projektov za proizvodnjo sintetičnega metana in vodika z indikativnim ciljem 10-odstotnega deleža metana ali vodika obnovljivega izvora v prenosnem in distribucijskem omrežju do leta 2030 ter zagotoviti ustrezne pogoje za sprotno rabo in shranjevanje čim večjega deleža proizvedene energije iz OVE ter da se kar najbolj izkoristijo zmogljivosti proizvodnih naprav na OVE. Omogočiti je treba blaženje in zmanjševanje energetske revščine s pospešenim izvajanjem ukrepov socialne politike, splošnih ukrepov stanovanjske politike in obstoječih ciljnih ukrepov.

Raziskave, inovacije in konkurenčnost

Povečati je treba vlaganja v raziskave in razvoj – najmanj 3 % BDP do leta 2030 (od tega 1 % BDP javnih sredstev) – ter vlaganja v človeške vire in nova znanja, potrebna za prehod v podnebno nevtralno družbo. Podpirati je treba podjetja za učinkovit in konkurenčen prehod v podnebno nevtralno in krožno gospodarstvo ter spodbujati ciljne raziskovalne projekte in multidisciplinarne razvojno-raziskovalne programe ter demonstracijske projekte za doseganje podnebno nevtralne družbe, za katere obstaja neposreden interes gospodarstva ali javnega sektorja in ki izpolnjujejo cilje glede razvoja države, zlasti na področjih energetske učinkovitosti, krožnega gospodarstva in zelenih energetske tehnologij. Podjetja je treba usmerjati k financiranju in vključevanju v razvojno-raziskovalne programe in demonstracijske projekte z aktivno davčno politiko. Spodbujati je treba nove in okrepiti obstoječe razvojno-raziskovalne programe v skladu s cilji NEPN in Dolgoročne podnebne strategije ter uporabo digitalizacije pri podnebnih ukrepih. Povečati je treba kibernetiko varnost v vseh strateških sistemih, spodbujati razvojno-raziskovalno sodelovanje javnega in zasebnega sektorja in vzpostaviti konkurenčne pogoje za raziskovalno inovativno delo v javnih podjetjih.

2.4.3 Dolgoročna podnebna strategija Slovenije do leta 2050

Slovenija si je z Resolucijo o Dolgoročni podnebni strategiji Slovenije 2050 [84] zastavila jasen cilj, da bo do leta 2050 dosegla neto ničelne emisije oziroma podnebno nevtralnost. Postavila je tudi strateške sektorske cilje za leti 2040 in 2050, ki jih morajo dosledno upoštevati posamezni sektorji ter jih vgraditi v svoje sektorske dokumente in načrte.

Podnebna strategija temelji na načelih zmanjševanja emisij TGP, učinkovite rabe energije in zmanjševanja rabe energije, podnebne pravičnosti, pravičnega prehoda in znanstvenih dognanj. Cilji in ukrepi so utemeljeni z najnovejšimi in mednarodno priznanimi znanstvenimi dognanji in temeljijo na načelih zakona, ki ureja varstvo okolja, med katerimi so glavna načela trajnostnega razvoja, celovitosti, sodelovanja, načelo odgovornosti povzročitelja, preventive in previdnosti. Mednje spadajo tudi načelo konkurenčnosti, načelo spoštovanja sektorskih ciljev za lažjo integracijo sektorske politike, načelo stroškovne učinkovitosti, načelo zagotovitve aktivne vloge Slovenije v mednarodni skupnosti, načelo ohranjanja habitatov, ki so pomembni za ohranjanja biotske raznovrstnosti in stanje katerih se tudi zaradi podnebnih sprememb slabša, in načelo ohranjanja kulturne dediščine. Uresničevanje podnebne strategije spodbuja ukrepe in razvoj tehnologij, ki pozitivno vplivajo na biotsko raznovrstnost oziroma tiste, ki bodo nanjo vplivali najmanj.

Vizija dolgoročne podnebne strategije predvideva, da bo Slovenija do leta 2050 podnebno nevtralna in na podnebne spremembe odporna družba na temeljih trajnostnega razvoja, da bo učinkovito ravnala z energijo in naravnimi viri, hkrati pa ohranjala visoko stopnjo konkurenčnosti nizkoogljičnega krožnega gospodarstva. Slovenska družba bo temeljila na ohranjeni naravi, krožnem gospodarstvu, obnovljivih in nizkoogljičnih virih energije, trajnostni mobilnosti in

lokalno pridelani zdravi hrani. Prilagojena in odporna bo na vplive podnebnih sprememb. Slovenija bo družba, v kateri bosta kakovost in varnost življenja visoki, izkoriščala pa bo tudi priložnosti v razmerah spremenjenega podnebja. Prehod v podnebno nevtralno družbo bo vključujoč, upoštevala se bodo načela podnebne pravičnosti. Stroški in koristi prehoda bodo porazdeljeni pravično, saj bo izvajanje ukrepov blaženja podnebnih sprememb in prilagajanja nanje omogočeno tudi najranljivejšim skupinam prebivalstva.

Zmanjšanje emisij TGP je glavna usmeritev, ki jo želi uresničiti podnebna strategija. Med horizontalnimi usmeritvami, ki veljajo za vse sektorje, so povečanje snovne učinkovitosti, spodbujanje nizkoogljičnih virov, energetska učinkovitost, trajnostni prostorski razvoj, trajnostna gradnja in spodbujanje digitalizacije in javna uprava kot vzor. Slovenija ne bo sprejemala politik ne ukrepov niti ne bo investirala sredstev na način, ki bi škodoval zavezam Pariškega sporazuma. Na horizontalne usmeritve vpliva tudi dejstvo, da smo ob podnebni krizi priča tudi krizi biotske raznovrstnosti, zato je pri iskanju rešitev treba iskati sinergije med obema. Morebitni posegi v okolje morajo biti izvedeni s čim manj vplivi na okolje.

2.4.4 Glavne usmeritve pri posodobitvi NEPN 2024

Upoštevajoč obveznosti, ki izhajajo iz Uredbe (EU) 2018/1999, je ministrstvo, pristojno za področje energije, že spomladi 2022 začelo postopek posodobitve NEPN, ki je potekal v letih 2022–2024 in je obsegal:

- poročanje o izvajanju sprejetega NEPN,
- posodobitev strokovnih podlag za pripravo posodobitve NEPN,
- posodobitev NEPN,
- oblikovanje in vodenje podnebnega in energetskega dialoga na več ravneh.

Glavna naloga prihodnjega razvoja energetike v Sloveniji je zagotavljanje ravnotežja med tremi temeljnimi stebri energetske politike, ki se neločljivo prepletajo: podnebna trajnost, zanesljivost in konkurenčnost oskrbe z energijo. Dolgoročno se je Slovenija zavezala, da bo upoštevala zaveze iz Pariškega sporazuma in z zmanjševanjem emisij TGP zadržala rast svetovne temperature pod 2 °C ter si prizadevala, da se naraščanje temperature omeji na 1,5 °C v primerjavi s predindustrijsko dobo. Pariški sporazum je ratificirala leta 2016 [93].

Vlada RS je maja 2019 podprla cilj, da se na ravni EU do leta 2050 dosežejo neto ničelne emisije TGP. Julija 2021 je bila sprejeta Resolucija o Dolgoročni podnebni strategiji Slovenije do leta 2050 (ReDPS50) [84], s katero si je Slovenija postavila jasen cilj, da do leta 2050 doseže neto ničelne emisije oz. podnebno nevtralnost.

Na področju prilagajanja podnebnim spremembam je Slovenija decembra 2016 sprejela strateški okvir prilagajanja podnebnim spremembam. Z njim je določila vizijo, da »bo družba v Sloveniji do leta 2050 postala prilagojena in odporna na vplive podnebnih sprememb z visoko kakovostjo in varnostjo življenja, ki celovito izkorišča priložnosti v razmerah spremenjenega podnebja na temeljih trajnostnega razvoja«. Namen vizije so krepitev zmogljivosti za prilagajanje podnebnim spremembam, obvladovanje tveganj in izkoriščanje priložnosti, ki jih prinašajo podnebne spremembe, njena splošna cilja pa sta zmanjšanje izpostavljenosti vplivom podnebnih sprememb, občutljivosti in ranljivosti Slovenije zanje ter povečanje odpornosti in prilagoditvene sposobnosti družbe.

Cilj zmanjševanja emisij TGP se izraža tudi v določitvi čim bolj ambicioznega in razvojno naravnane deleža OVE v končni rabi, ki ustrezno upošteva relevantne nacionalne okoliščine. S posodobljenim NEPN si bo Slovenija aktivno prizadevala oblikovati ustrezno strukturno okolje in spodbuditi potrebne spremembe, ki bodo omogočili, upoštevajoč zakonodajna paketa Pripravljeni na 55 in REPowerEU, doseganje višjega in ambicioznejšega cilja vsaj 33-odstotnega deleža OVE v končni rabi energije do leta 2030 za nadaljnje povečevanje deleža OVE do leta 2040 (in 2050). Promet ima velik vpliv na emisije TGP. V Sloveniji je na področju prometa in prometne infrastrukture do leta 2030 temeljni dokument Strategija razvoja prometa v Republiki Sloveniji do leta 2030.

Ukrepi učinkovite rabe energije pozitivno učinkujejo tako na končne odjemalce in gospodarstvo kot tudi na okolje, hkrati pa imajo tudi izrazito ugodne makroekonomske učinke, kot so spodbujanje gospodarske rasti, ustvarjanje delovnih mest in zmanjšanje uvozne odvisnosti od fosilnih goriv. Spodbujanje učinkovite rabe energije pri odjemalcih zmanjšuje porabo in s tem stroške za energijo, pozitivno vpliva na zdravje ljudi, gospodarstvu pa učinkovitejša raba energije povečuje konkurenčnost. Povečanje učinkovite rabe energije je prvi in ključni ukrep Slovenije za prehod v podnebno nevtralno družbo.

Zanesljivost oskrbe je eden od treh temeljnih stebrov energetske politike ter je neločljivo povezana s podnebno trajnostjo in konkurenčnostjo oskrbe z energijo. Za zanesljivo oskrbo z energijo bo Slovenija trajnostno in ekonomsko upravičeno zagotovila zadostno oskrbo z energetskimi viri, zadostno zmogljivost in razpršenost dobavnih poti, dovolj zmogljiva in redno vzdrževana omrežja, ustrezne čezmejne povezave ter obratovalno zanesljivo in učinkovito sodelovanje energetskih sistemov, razpršenih virov električne energije in hranilnikov energije. Glede na velikost države in energetske politiko EU je za Slovenijo zelo pomembna prepletenost dobavnih poti in virov v regiji. Ob upoštevanju podnebnih sprememb bo ohranjanje zanesljivosti oskrbe še posebej poudarjeno v elektroenergetskem sistemu. Za doseganje ambicioznih ciljev energetske in podnebne politike bo Slovenija zagotovila boljše pogoje za pospešen razvoj omrežja za distribucijo električne energije za njegovo večjo jakost, odpornost proti motnjam, izkoriščanje prožnosti virov in bremen, saj je to omrežje temelj prihodnjega prehoda v podnebno nevtralno družbo ter bo le kot tako omogočilo pospešeno priključevanje toplotnih črpalk in izpolnjevanje zahtev, povezanih s pospešenim uvajanjem e-mobilnosti, ter pospešeno integracijo naprav za proizvodnjo energije iz obnovljivih virov.

Slovenija si bo kar najbolj prizadevala zmanjšati rabo in uvoz fosilnih virov energije s postopnim opuščanjem rabe fosilnih virov energije, pri čimer bo poudarek na povečanju učinkovite rabe energije ter večji rabi obnovljivih in nizkoogljičnih virov. Glede na projekcije razogljičenja se bo delež OVE v energetskih bilancah večal.

Elektroenergetska medsebojna povezanost Slovenije se je v letih 2020 in 2021 gibala okoli 80 %, s čimer je krepko presegala cilj 15 % za leto 2030. Ima več projektov skupnega interesa na področju prenosa zemeljskega plina. Eden od teh je projekt prenosne povezave med Slovenijo in Madžarsko, s katerim se bo vzpostavila manjkajoča plinovodna povezava med obema sistemoma in omogočil prenos plina iz Madžarske prek Slovenije v Italijo in obratno, s tem pa dostop do terminalov utekočinjenega plina in podzemnih skladišč. Drugi projekt se nanaša na povečanje dvostranskih zmogljivosti prenosne povezave med slovensko-hrvaško in slovensko-avstrijsko interkonekcijo za dostop do terminalov utekočinjenega plina. Poleg tega Slovenija načrtuje dvosmerna vodikova koridorja Madžarska–Slovenija–Italija in Hrvaška–Slovenija–Avstrija, ki bosta sestavljena deloma iz obstoječe plinske in deloma iz nove vodikove infrastrukture. Za vzpostavitev koridorjev bodo uporabljeni plinovodi podvojene plinske hrbtnice, kar bo omogočalo vzpostavitev in sočasno ločeno obratovanje dveh vzporednih prenosnih sistemov, enega za plin in enega za vodik.

Na področju raziskav, razvoja, inovacij in konkurenčnosti (vključno s cilji energetske unije), je bila marca 2022 sprejeta Znanstvenoraziskovalna in inovacijska strategija Slovenije 2030 (ZRISS 2030), ki ob upoštevanju doseganja ciljev podnebno nevtralne družbe vključuje tudi raziskave in razvoj za doseganje teh ciljev. Za doseganje zastavljenih ciljev posodobljeni NEPN kot cilj potrjuje povečanje vlaganj v raziskave in razvoj v višini najmanj 3,5 % BDP do leta 2030 (od tega 1,25 % BDP javnih sredstev). Sredstva, namenjena ciljem podnebno nevtralne družbe, se bodo povečevala in predvidoma usmerjala v ciljne raziskovalne projekte, multidisciplinarne raziskovalno-razvojne programe in demonstracijske projekte ter raziskovalno-razvojne programe sodelovanja med znanostjo in gospodarstvom [94].

Vlada Republike Slovenije je 18. decembra 2024 potrdila vsebino posodobljenega NEPN 2024 [95] in ga predložila Evropski komisiji.

2.4.5 Ključni izzivi Slovenije na področju energetske in podnebne politike

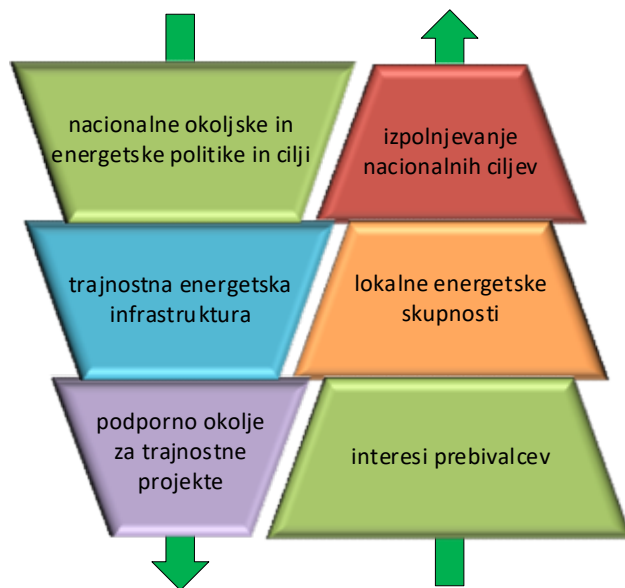
Za doseg ciljev energetske in podnebne politike mora Slovenija postopno zmanjševati rabo energije ter povečevati energetske in snovno učinkovitost v vseh sektorjih. Opuščati mora fosilne vire energije v vseh sektorjih, še posebej je nuno trajnostno upravljanje prometa. Pospešiti mora razvoj sistemov daljinskega ogrevanja in hlajenja. Ključno je razogljičenje oskrbe s plinom z uvajanjem plinov obnovljivega izvora in vodikom kot medijem za prenos energije. Potreben je tehnološki razvoj in komercialni preboj obnovljivih virov energije. Slovenija mora pospešiti razvoj omrežja za distribucijo električne energije in povezovanje sektorjev, kar bo olajšalo priključevanje večjih bremen, npr. toplotnih črpalk in olajšalo integracijo naprav za proizvodnjo električne energije iz obnovljivih virov energije. Potrebuje tudi hitrejšo uvajanje modernih konceptov (elektro) mobilnosti. Z nadgradnjo tarifnih sistemov mora povečati privlačnost in uporabnost prilaganja odjema in proizvodnje – prožnost, predvsem pa mora povečati obseg uporabe odvečne toplote in hladu iz proizvodnih procesov.

Najšibkejši člen pri množičnem priključevanju nestalnih virov ter večjih in dolgotrajnih obremenitev omrežja (polnjenje e-vozil, toplotne črpalke) je prešibko distribucijsko omrežje, ki ni bilo projektirano in grajeno v ta namen. Zato je posebno pozornost treba nameniti pospešenemu razvoju omrežja za distribucijo električne energije, predvsem njegovi bistveni okrepitvi. Pri tem

je nujno treba upoštevati merila za načrtovanje srednjenapetostnega (SN) in nizkonapetostnega (NN) omrežja, ki upoštevajo spremenjene obratovalne okoliščine in vpliv množične elektrifikacije osebnega prometa in ogrevanja na razvoj distribucijskega omrežja, kar je bilo ustrezno obdelano v študijah [96] in [97]. Čeprav teorija pogosto navaja tako imenovane splošno uporabne rešitve (npr. prožnost), praktične izkušnje potrjujejo, da brez ustreznega razumevanja izvedbenega okolja, ki vključuje poznavanje konteksta dolgoročnega načrtovanja distribucijskega omrežja, realno stanje omrežja in objektivno oceno posledic popolnoma spremenjenih obratovalnih okoliščin, ni mogoče pričakovati uresničitve ambicioznih načrtov na področju energetske in podnebne politike.

2.5 Spodbujanje trajnostnega razvoja družbe

Trajnostni razvoj ne ovira razvoja energetike, temveč je zahteven inženirski izziv prav zaradi vseh tehnoloških vidikov in vidikov učinkovitosti. Nujno je sistematično načrtovanje trajnostne energetske infrastrukture za izgradnjo učinkovitega podpornega okolja trajnostnemu razvoju od zgoraj navzdol (angl. *Top-Down*). Poleg tega lahko lokalne (energetske) skupnosti pomagajo uresničevati interese svojih članov ter prispevajo k izpolnjevanju nacionalnih okoljskih in energetskih ciljev kot motor trajnostnega razvoja od spodaj navzgor (angl. *Bottom-Up*).



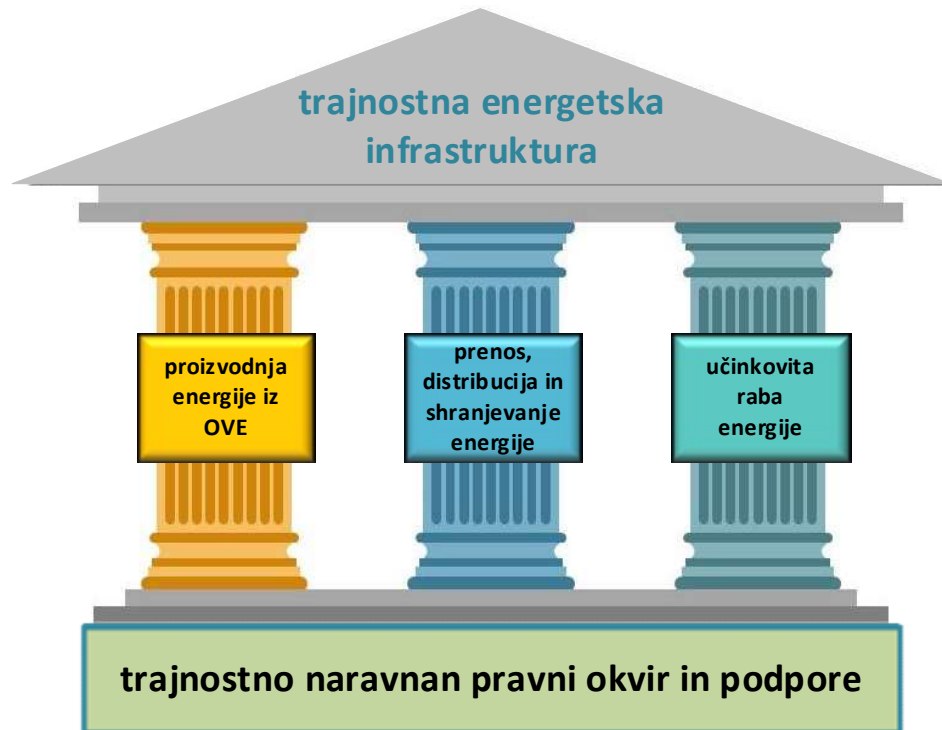
Slika 2.2: Spodbujanje trajnostnega razvoja [98].

2.5.1 Trajnostna energetska infrastruktura

Infrastruktura je celota materialnih in nematerialnih naprav, objektov in ustanov, ki omogočajo normalno gospodarsko dejavnost določene skupnosti, izboljšujejo kakovost bivalnega okolja in prebivalstvu zagotavljajo vsakdanje življenje. V širšem pomenu je infrastruktura tudi organizacija te dejavnosti, vključno z osebjem in zadevno zakonodajo.

2.5.1.1 Pomen in obseg trajnostne energetske infrastrukture

V tehničnem smislu trajnostno energetska infrastrukturo sestavljajo prenosna in distribucijska infrastruktura za vse energijske nosilce (električna energija, plin, toplota), hranilniki energije, proizvodnja energije iz OVE v vseh pojavnih oblikah, dobava energentov obnovljivega izvora in vsi ukrepi za učinkovito rabo energije (toplotna izolacija, zmanjšanje izgub v sistemih, prehod na učinkovitejše energente ipd.). Poleg tehničnih sistemov so nujni tudi dovršen in domišljen pravni okvir (zakoni in podzakonski akti), optimalne finančne podporne sheme, organizirana pomoč za ustanavljanje lokalnih energetskih skupnosti ter ustrezno informiranje in usposabljanje odločevalcev, strokovnjakov in tudi občanov za aktivno sodelovanje v projektih za trajnostni razvoj.



Slika 2.3: Obseg trajnostne energetske infrastrukture [98].

2.5.1.2 Razvoj in gradnja trajnostne energetske infrastrukture

Razvoj trajnostne energetske infrastrukture mora izhajati iz nacionalnih okoljskih in energetskih politik in ciljev. Načrtovanje in gradnja trajnostne energetske infrastrukture vključuje izgradnjo učinkovitega podpornega okolja za trajnostni razvoj od zgoraj navzdol. Gradnja trajnostne energetske infrastrukture mora biti dolgoročno in skladno načrtovana, predvsem pa grajena s premišljenimi in skupnimi posegi v prostor. Gradnjo je treba uskladiti tudi z razvojem in vzdrževanjem cestne, vodovodne, kanalizacijske in telekomunikacijske infrastrukture.



Slika 2.4: Načrtovanje podpornega okolja za trajnostne projekte [98].

2.5.2 Lokalne energetske skupnosti

Lokalne energetske skupnosti kot neformalne oblike združevanja na lokalni ravni za skupno uresničevanje ciljev na področju energetike poznamo že dalj časa, njihov pravni status pa dolgo ni bil urejen. Evropska unija je z zakonodajnim svežnjem Čista energija za vse Evropejce [52] v svojo zakonodajo uvedla koncept energetskih skupnosti, zlasti Energetske skupnosti državljanov in Skupnosti obnovljivih virov energije. Natančneje, Direktiva o skupnih pravilih za notranji trg z električno energijo [99] vključuje nova pravila, ki omogočajo aktivno udeležbo potrošnikov na vseh tržih, individualno ali prek energetskih skupnosti, ali s proizvodnjo, porabo, souporabo oziroma prodajo električne energije ali z zagotavljanjem storitev prožnosti z odzivom na povpraševanje in shranjevanjem. Cilj direktive je izboljšati razširjenost energetskih skupnosti in državljanom kot aktivnim udeležencem olajšati učinkovito vključevanje v elektroenergetski sistem. Poleg tega je cilj revidirane Direktive o obnovljivih virih energije [57] okrepiti vlogo samooskrbe in skupnosti obnovljivih virov energije. Države EU bi zato morale državljanom zagotoviti, da lahko sodelujejo v razpoložljivih podpornih shemah enako kot veliki udeleženci.

2.5.2.1 Vrste lokalnih energetskih skupnosti

Osnovna, najpreprostejša in v letu 2024 najpogostejša oblika udejanjanja okoljsko-energetske politike na lokalni ravni je individualna samooskrba z električno energijo. V večini primerov gre za zasebne investicije v male fotonapetostne elektrarne (FNE). Na množičnost teh sistemov v Sloveniji je močno vplivalo načelo »neto meritev« na letni ravni, ki pa temelji na načelu individualiziranja koristi ter zaradi neplačevanja omrežnine za prevzeto in oddano energijo na prelaganju stroškov omrežja na druge uporabnike. Načelo »neto meritev« uporablja distribucijsko omrežje kot »brezplačen« hranilnik energije. Ta način samooskrbe se je iztekel konec leta 2024. V prihodnje bo samooskrba še vedno mogoča, vendar bo za prevzeto energijo treba plačati omrežnino, viške energije pa bo dopustno prodajati na trgu ali prenašati med merilnimi mesti. Skupnostna samooskrba v večstanovanjskih zgradbah je bila leta 2024 v Sloveniji še vedno redka. Glavna ovira za množičnost je dogovor med sostanovalci o skupni investiciji [100]. Končni odjemalci se lahko v skupnostno samooskrbo povežejo na podlagi pogodbe po pravilih obligacijskega prava ali tako, da ustanovijo skupnost, ki je pravna oseba.



Slika 2.5: Udejanjanje energetskih dejavnosti na lokalni ravni [101].

Vrste in značilnosti formalnih lokalnih energetskih skupnosti so navedene v tabeli 2.1. Energetska skupnost državljanov (angl. *Citizen Energy Community* – CEC) je utemeljil Zakon o oskrbi z električno energijo (ZOEE) [88], skupnost OVE (*Renewable Energy Community* – REC) pa Zakon o spodbujanju rabe OVE (ZSROVE) [87]. Oba zakona sta bila sprejeta leta 2021, marca 2022 pa je bila izdana tudi Uredba o samooskrbi z električno energijo iz OVE [102]. Ta je v povezavi z energetskimi skupnostmi opredelila podrobnejše pogoje za dodelitev naložbene pomoči in z odpravo omejitve skupnosti OVE na področje ene transformatorske postaje razširila možnosti oblikovanja samooskrbne skupnosti na celotno območje Slovenije. Septembra 2022 je bil sprejet še interventni Zakon o ukrepih za obvladovanje kriznih razmer na področju oskrbe z energijo (ZUOKPOE) [103], ki je podaljšal možnost registracije samooskrbe po 315.a členu EZ1 (letno netiranje) za odjemalce, ki distribucijskemu operaterju predajo vlogo za soglasje za priključitev do vključno 31. decembra 2023 in jih ta do vključno 31. decembra 2024 priključi na omrežje.

Preglednica 2.1: Vrste energetske skupnosti [98].

	Energetska skupnost državljanov (angl. Citizen Energy Community – CEC)	Skupnost OVE, ki je pravna oseba (angl. Renewable Energy Community – REC)
Članstvo	družbeniki so fizične osebe, lokalni organi, vključno z občinami, ali mala podjetja	družbeniki ali člani so fizične osebe, MSP ali lokalni organi, vključno z občinami
Geografske omejitve	ni geografskih omejitev za člane, ki so priključeni na distribucijski sistem v RS; državljanstvo RS ni pogoj za članstvo	pravni subjekt, ki temelji na odprti in prostovoljni udeležbi, je samostojen in ga nadzorujejo družbeniki ali člani, ki so priključeni na distribucijsko omrežje v RS
Dovoljene dejavnosti	omejena na področje elektroenergetskega sektorja , sodeluje pri proizvodnji EE iz OVE, dobavi EE, agregiranju, shranjevanju energije, storitvah energetske učinkovitosti ali zagotavljanju storitev polnjenja e-vozil in drugih energetskih storitev za člane	lahko deluje v vseh energetskih sektorjih , glavni cilj je zagotoviti okoljske, gospodarske in družbene skupnostne koristi za družbenike ali člane ali lokalna območja, na katerih deluje
Tehnologije	tehnološko nevtralna	omejena na tehnologije za izkoriščanje OVE
Zakonska podlaga	Zakon o oskrbi z električno energijo (ZOEE), Uradni list RS, št. 172/21	Zakon o spodbujanju rabe obnovljivih virov energije (ZSROVE), Uradni list RS, št. 121/21

Poleg teh so mogoče tudi neformalne oblike združevanja, ki so že obstajale pred zakonsko ureditvijo tega področja. Tako združevanje interesov ima še manj omejitev (lahko so udeležena tudi večja podjetja, interes je lahko komercialne narave itn.), vendar so udeleženci omejeni pri nekaterih ugodnostih, ki jih prinašajo zakonsko urejene oblike lokalnih skupnosti.

2.5.2.2 Vloga energetskih skupnosti pri spodbujanju trajnostnega razvoja

Lokalne in regionalne oblasti imajo ključno vlogo pri uresničevanju evropskih energetskih in podnebnih ciljev. Proizvodnja energije na lokalni ravni je bistvenega pomena za spodbujanje proizvodnje energije iz OVE, širjenje demokracije na področju energije in zmanjšanje energetske revščine. Lokalne energetske skupnosti lahko pomagajo uresničevati interese svojih članov in spodbujajo trajnostni razvoj družbe od spodaj navzgor, kot je prikazano na sliki 2.6.



Slika 2.6: Izpolnjevanje nacionalnih ciljev in vloga lokalnih energetskih skupnosti [98].

Treba je spodbuditi nastajanje in razcvet lokalnih energetskih skupnosti in odstraniti ali vsaj omiliti številne ovire na tej poti. Uspešne lokalne energetske skupnosti bodo imele pomembno povezovalno in izobraževalno vlogo, hkrati pa so priložnost za prenos inovacij v prakso ter poslovna priložnost za mala in srednje velika podjetja. Lokalnim energetskim skupnostim je treba omogočiti, da lahko prispevajo k decentralizaciji in demokratizaciji energetskih sistemov ter spodbujajo trajnostni gospodarski in družbeni razvoj na lokalni ravni. Mesta in regije potrebujejo poenostavljena pravila in upravne postopke za lokalne energetske skupnosti, da ne bodo soočene s prevelikimi upravnimi bremenami in stroški v primerjavi z uveljavljenimi energetskimi podjetji. Lokalne oblasti morajo zagotoviti boljše načrtovanje in dolgoročne naložbene politike za projekte OVE, da se omogoči trdnejša podlaga za proizvodnjo energije na lokalni ravni. Potrebni so ciljni mehanizmi finančne podpore za lokalne energetske skupnosti, zlasti v fazi njihovega načrtovanja in vzpostavljanja. Nujna je racionalizacija podpornih shem. Izboljšati je treba obveščanje državljanov o potencialu lokalnih energetskih skupnosti in možnosti sodelovanja v njih; vzpostaviti svetovalno mrežo ter v spodbujanje vključiti lokalne energetske in razvojne agencije. Slovenija mora bolj izkoristiti vsa upravičena sredstva EU, ki so namenjena pravičnemu prehodu v podnebno nevtralno družbo. Z aktivno podporo države bi lokalne skupnosti z izvedbo številnih konkretnih dejavnosti lahko zagotovile nova »zelenaa« delovna mesta v malih in srednje velikih podjetjih, povečale učinkovito rabo energije in delež OVE, opolnomočile državljane za sodelovanje v lokalnih energetskih skupnostih, omogočile vzdržen prehod energetsko intenzivnih podjetij ipd.

Za uspešnejše izpolnjevanje zavez glede deleža OVE mora Slovenija močno podpreti lokalne energetske skupnosti pri postavljanju velikih proizvodnih virov, ki bodo priključeni v stabilne točke distribucijskega omrežja, in dati absolutno prednost uporabi odvečne toplote, kjerkoli jo je mogoče izkoristiti. Pri razvoju lokalnih energetskih skupnosti povezovanje sektorjev nima druge možnosti [98].

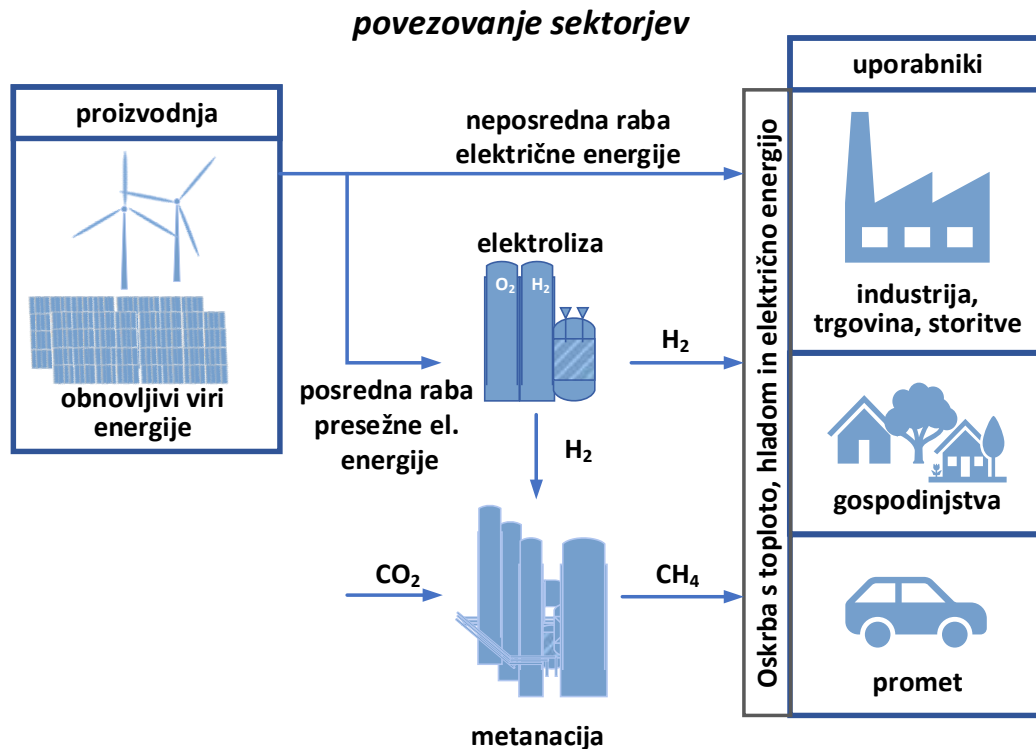
2.5.2.3 Ukrepi NEPN na področju lokalnih energetskih skupnosti

Celoviti nacionalni energetski in podnebni načrt (NEPN 2020) [17] in tudi njegova posodobitev (NEPN 2024) [95] lokalnim energetskim skupnostim posvečata veliko pozornosti in ustrezno opredelita pogoje za nastanek in razcvet energetskih skupnosti. Mednje spadajo primeren pravni okvir, podporne sheme za razvoj skupnosti in podpora projektom na lokalni ravni. V NEPN je prepoznan pomen lokalnih energetskih skupnosti na področju povezovanja sektorjev, energetskih trgov, shranjevanja energije, izgradnje potrebne infrastrukture, uporabe odvečne toplote iz proizvodnih procesov, povezovanja s sistemi daljinskega ogrevanja ter tudi na področju spodbujanja boljše omrežne integracije obnovljivih virov energije, proizvodnje zelenega vodika in sintetičnega metana.

NEPN je torej postavil dobro izhodišče za reševanje skupnih izzivov družbe, kot so trajnostni razvoj, kakovost bivanja, energetska in snovna učinkovitost, sprejemljivost industrije v lokalnem okolju, skladno prostorsko načrtovanje, podnebni, okoljski in družbeni cilji [104]. Učinkovito ravnanje z energijo in nenehna skrb za okolje sta obvezna pogoja za trajnostni razvoj vsake države in vsakega poslovnega subjekta. Prehod v podnebno nevtralno družbo zahteva nove in inovativne pristope z visoko dodano vrednostjo, njihov cilj pa je povečati tehnološko in gospodarsko konkurenčnost. Karami in Madlener [105] sta predstavila nabor poslovnih modelov za prihodnje ponudnike energetskih storitev. V študiji ugotavljata, da morajo oblikovalci okoljske in energetske politike utreti pot z odpravo obstoječih pravnih ovir in povečati privlačnost področja za povečanje števila podjetij, ki bodo razvijala ali upravljala energetske skupnosti. Poleg tega so mehki ukrepi pomemben del splošne zgodbe o uspehu poslovnega subjekta. Su in drugi [106] so razvili model sistemske dinamike za oceno kulture varčevanja z energijo v podjetju. Kot v članku ugotavljajo Sučić in drugi [107], lahko podjetja s pravilno zastavljenimi cilji, razvitimi mehanizmi izvajanja in skrbno usmerjeno podporo državnih ministrstev prevzamejo vodilno vlogo pri zmanjševanju učinkov podnebnih sprememb z izvajanjem naprednih trajnostnih energetskih in okoljskih politik. Take politike pomembno vplivajo na prihodnji razvoj trajnostne infrastrukture, ustvarjanje novih in zelenih delovnih mest, kakovost bivanja v lokalnem okolju, imajo pa tudi pomembne pozitivne družbene učinke. Za doseg trajnostnega in pravičnega prehoda v podnebno nevtralno družbo se bodo morali posamezniki in podjetja soočiti s številnimi razvojnimi izzivi.

2.6 Povezovanje energetskih sektorjev

Tradicionalno so se energetski sektorji razvijali bolj ali manj ločeno. Oskrbe s tekočimi gorivi, trdimi gorivi, plinom in električno energijo se niso razvijale kot enoten energetski sistem. Učinkovitost takega parcialnega razvoja je vsekakor vprašljiva.



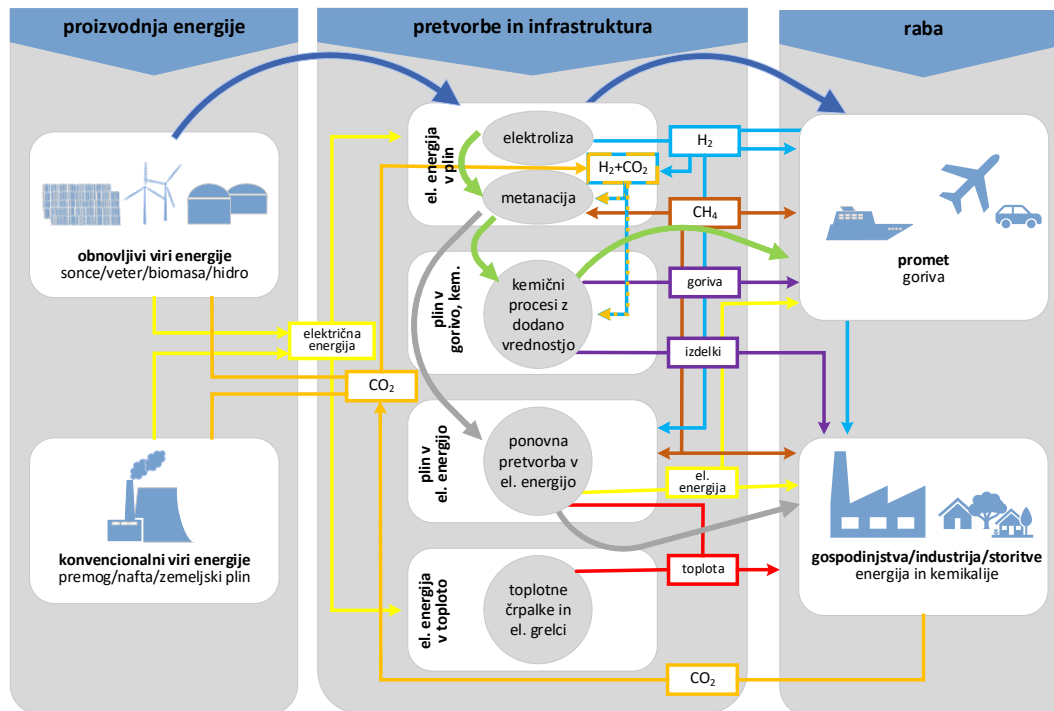
Slika 2.7: Povezovanje energetskih sektorjev [108].

S povečevanjem rabe različnih virov energije v posameznem sektorju, na primer električne energije, sintetičnega plina ali vodika v prometu ali uporabe električnih toplotnih črpalk pri ogrevanju, postaja oskrba z energijo čedalje bolj soodvisna. Vse večji delež obnovljivih virov energije, ki pa so vremensko, in kar je še posebej pereče, tudi sezonsko pogojeni, je velik izziv. Potrebne so energijske pretvorbe, saj električne energije ni mogoče hraniti v velikih količinah in v daljšem obdobju, kot velja za tekoče ali plinaste energente. Zato je nujno povezovanje za usklajeno načrtovanje in delovanje energetskega sistema kot celote, ki zajema več nosilcev energije, infrastrukturo in sektorjev, saj je to edina pot do učinkovitega, cenovno dostopnega in temeljitega razogljičenja evropskega gospodarstva. Stroški prehoda v podnebno nevtralno družbo bodo manjši, če bo energetski sistem povezan.

2.6.1 Pomen povezovanja sektorjev za trajnostni razvoj

Čeprav v kontekstu razogljičenja običajno najprej pomislimo na proizvodnjo električne energije v termoelektrarnah, struktura bruto končne rabe energije zahteva nujne spremembe predvsem v prometu in sektorju proizvodnje toplote. Velika vlaganja v razpršeno proizvodnjo električne energije iz OVE povečujejo problem nestalnosti proizvodnje električne energije in OVE (dnevno/sezonsko). Velik izziv je učinkovito shranjevanje velikih količin električne energije v daljšem časovnem obdobju (sezonsko). Tekoča in plinasta goriva je lažje shranjevati kot električno energijo, zato je smiselno razmišljati o pretvorbah električne energije v sintetične pline (pretvorbe P2x), čeprav so izgube sedanjih pretvorb še vedno (pre)velike in je gospodarno obratovanje pretvornikov omejeno z majhnim številom obratovalnih ur (le v času presežkov električne energije v omrežju).

V sektorsko povezanem energetskem sistemu koristi naložbe v en sistem vplivajo tudi na druge povezane sektorje, kar med drugim vpliva na izračun stroškov in koristi (angl. *Cost-Benefit Analysis* – CBA). Naložbene odločitve so kompleksnejše, vendar praviloma dajejo celovitejše in boljše rezultate, npr. shranjevanje energije v elektroenergetskem sistemu (črpalne elektrarne, baterije) lahko nadomestimo s shranjevanjem energije v drugih oblikah (toplota, sintetični plin, vodik itd.). Elektroenergetski sektor ima ključno vlogo pri razogljičenju tudi drugih sektorjev, ti pa zagotavljajo dodatne možnosti prilagodljivosti za varno obratovanje elektroenergetskega omrežja (pretvorba presežkov v plin ter poznejša uporaba plina za proizvodnjo električne energije, toplote in pogon vozil).



Slika 2.8: Energijske pretvorbe in izmenjava energije med sektorji [108].

2.6.2 Izzivi povezovanja energetskih sektorjev

Sektorska povezanost na drugi strani prinaša nove izzive. Napovedovanje rasti povpraševanja je čedalje zahtevnejše, spreminjajo se oblike diagrama odjema električne energije, predvsem zaradi množične elektrifikacije ogrevanja in prometa. Ključno je vprašanje zadostne okrepitev električnega distribucijskega omrežja za polnjenje električnih vozil, napajanje toplotnih črpalk in priključevanje razpršenih virov. Po ugotovitvah Elektroinštituta Milan Vidmar [97] je približno 75 % nizko napetostnega omrežja (NNO) s pripadajočimi transformatorskimi postajami treba ojačiti. V Sloveniji je dolžina nizkonapetostnega omrežja približno 45.000 km, tu so še sredjenapetostno omrežje in pripadajoče razdelilne transformatorske postaje, kar je finančno in izvedbeno izjemno velik zalogaj.

Za povezovanje energetskih sektorjev so pomembne energetske pretvorbe, ki so vezni člen med energetskimi sektorji. Se bodo stroški elektrolize in proizvodnje sintetičnih plinov iz električne energije (angl. *Power to Gas* – P2G) znatno zmanjšali in kako bo to vplivalo na ekonomiko električne energije v primerjavi s prenosom in distribucijo plina? Obstaja veliko pričakovanj glede vloge povezovanja sektorjev pri doseganju hitrega, ekonomsko učinkovitega zelenega prehoda z visoko zanesljivostjo oskrbe, vendar ni jasno, koliko lahko sedanje tehnologije uresničijo ta pričakovanja.

Povezovanje in sodelovanje na nacionalni regionalni, občinski, medpodjetniški in osebni ravni je in bo ključno za trajnostni razvoj družbe. Občine bi v posamezni regiji morale ustanoviti regionalne in občinske koordinacijske organe za:

- pripravo regionalnih trajnostnih energetsko-podnebnih načrtov;
- izdelavo usklajenih lokalnih energetskih konceptov (LEK) v skladu s prenovljeno metodologijo (poudarek na okoljski problematiki in prostorskem načrtovanju, skupnih posegih v prostor);
- optimizacijo stroškov s skupnim načrtovanjem, projektiranjem in gradnjo vse javne infrastrukture;
- pripravo nabora projektnih idej in demonstracijskih projektov;
- pripravo čim širšega nabora konkretnih projektov, ki bodo upravičeni do sredstev EU;
- pripravo podrobnih regionalnih načrtov za spodbujanje in pripravo izbranih projektov za financiranje iz skladov EU.

Poglavje 3

Referenčna arhitektura modela energetske skupnosti

Trajnostni razvoj zahteva učinkovito ravnanje z energijo in nenehno skrb za okolje. Ambiciozno zastavljenih okoljskih in energetskih ciljev ni mogoče doseči brez sistematičnega načrtovanja trajnostne energetske infrastrukture, povezovanja energetskih sektorjev in aktivne vloge lokalnih (energetskih) skupnosti. Sodelovanje na državni, regionalni, občinski, medpodjetniški in osebni ravni je in bo vedno ključno za trajnostni razvoj družbe. Gradnja trajnostne energetske infrastrukture mora biti dolgoročno in skladno načrtovana, predvsem pa mora biti zgrajena premišljeno v okviru skupne gradnje. Lokalne oblasti morajo podpreti boljše prostorsko načrtovanje in dolgoročne naložbene politike za trajnostne projekte. Vsi akterji v prostoru morajo sodelovati pri pripravi nabora izvedljivih trajnostnih projektov ter s svojimi praktičnimi izkušnjami predlagati spremembe regulativnih pravil za učinkovitejše doseganje okoljskih in energetskih ciljev.

Za trajnostno lokalno načrtovanje in povezovanje sektorjev je potreben sistematičen pristop. Uresničevanje energetskih in okoljskih ciljev posameznih udeležencev mora temeljiti na sistematični analizi poslovnega okolja, vseh relevantnih razvojnih načrtih udeležencev, kompleksnem modeliranju in simulacijah izbrane rešitve za določitev optimalnega sistema in parametrov projektne rešitve.

V tem poglavju je predstavljena referenčna arhitektura modela za trajnostno lokalno načrtovanje in povezovanje sektorjev, ki temelji na energetske skupnosti. Predlagani pristop je opisan v poglavjih 5 in 6 ter je bil preizkušen v realnem industrijskem okolju in lokalni skupnosti.

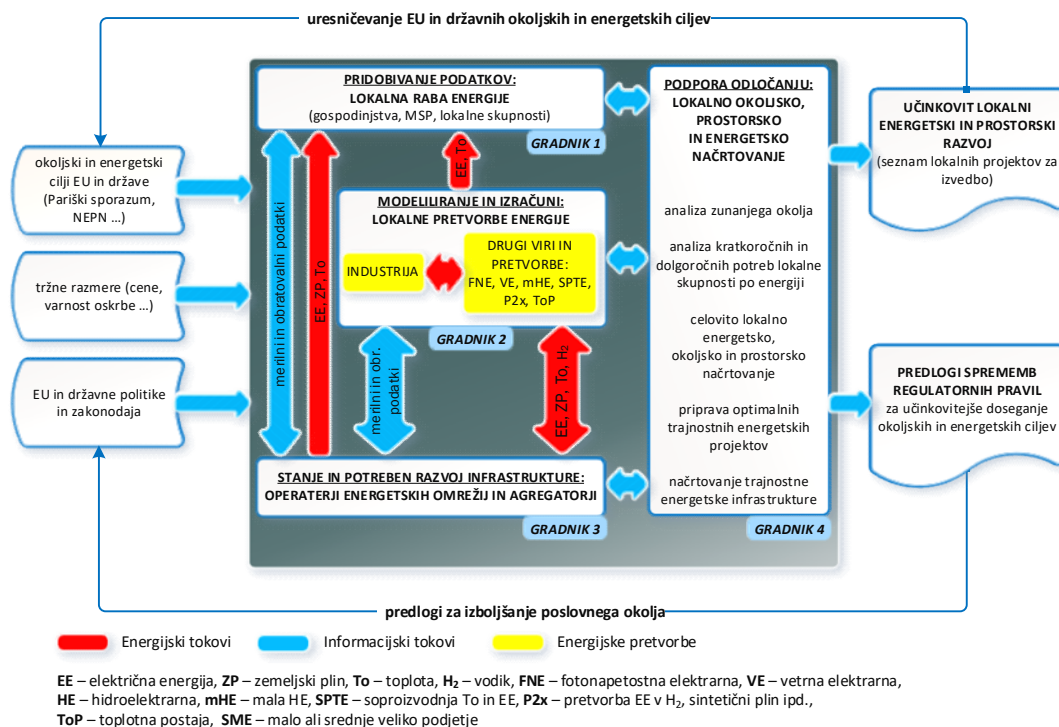
3.1 Metodologija

3.1.1 Arhitektura modela

Predlagana referenčna arhitektura modela energetske skupnosti za trajnostno lokalno načrtovanje in povezovanje sektorjev je predstavljena na sliki 3.1. Predlagani pristop vključuje štiri gradnike: 1. gradnik za pridobivanje podatkov – lokalna poraba energije; 2. gradnik za modeliranje in izračune – lokalne pretvorbe energije; 3. gradnik za povezovanje stanja in potreb infrastrukture z razvojnimi načrti operaterjev in agregatorjev energetskih omrežij ter 4. gradnik za podporo odločanju pri lokalnem okoljskem, prostorskem in energetske načrtovanju. Puščice med komponentami označujejo pretok informacij ter energijske tokove med elementi in gradniki. Predlagani koncept je v skladu z glavnimi ugotovitvami in priporočili [109], v katerih je navedeno, da je treba vlogo glavnih udeležencev ustrezno obravnavati in poslovni primer vizualizirati že v začetni fazi načrtovanja.

Ti štirje gradniki skupaj s svojimi notranjimi povezavami tvorijo jedro modela energetske skupnosti. Zunanji dejavniki, kot so okoljski in energetske cilji EU in nacionalni cilji, razmere na energetske trgu, politike in zakonodaja EU in nacionalne politike, pomembno vplivajo na splošni uspeh trajnostnih projektov. Zainteresirane strani, vključene v gradnike 1, 2 in 3, morajo biti pripravljene deliti svoje podatke, kot so dolgoročni in kratkoročni razvojni načrti, tržne pogodbe, proizvodnja in naložbeni načrti. Mogoče so individualne rešitve, lahko pa vsi udeleženci iščejo skupne trajnostne rešitve, ki so zato optimalne. Centralizirano lokalno energetske, okoljske in prostorske načrtovanje je potrebno za zagotavljanje trajnostnega razvoja skupnosti (gradnik 4). Med njegovimi nalogami so analiza zunanjega okolja, lokalnih kratkoročnih in dolgoročnih energetskih potreb, celovito lokalno energetske, okoljske in prostorske načrtovanje, priprava

optimalnih trajnostnih energetskih projektov in načrtovanje trajnostne energetske infrastrukture. Glavni rezultat dobro delujočega gradnika 4 naj bi bila seznam dobro pripravljenih lokalnih energetskih projektov in seznam neustreznih rešitev oziroma projektov, ki ne dosegajo zastavljenih ciljev. Namen teh projektov ni le uresničevanje ciljev lokalne skupnosti, ampak tudi prispevanje k nacionalnim, vseevropskim in globalnim okoljskim in podnebnim prizadevanjem. Stranski produkt procesa načrtovanja je seznam idej o potrebnih spremembah nacionalnega in mednarodnega poslovnega okolja z regulativnimi pravili, da bi izboljšali doseganje okoljskih in energetskih ciljev. Glavni izziv pri načrtovanju trajnostnih rešitev je ustrezna vključenost vseh relevantnih udeležencev v proces načrtovanja.

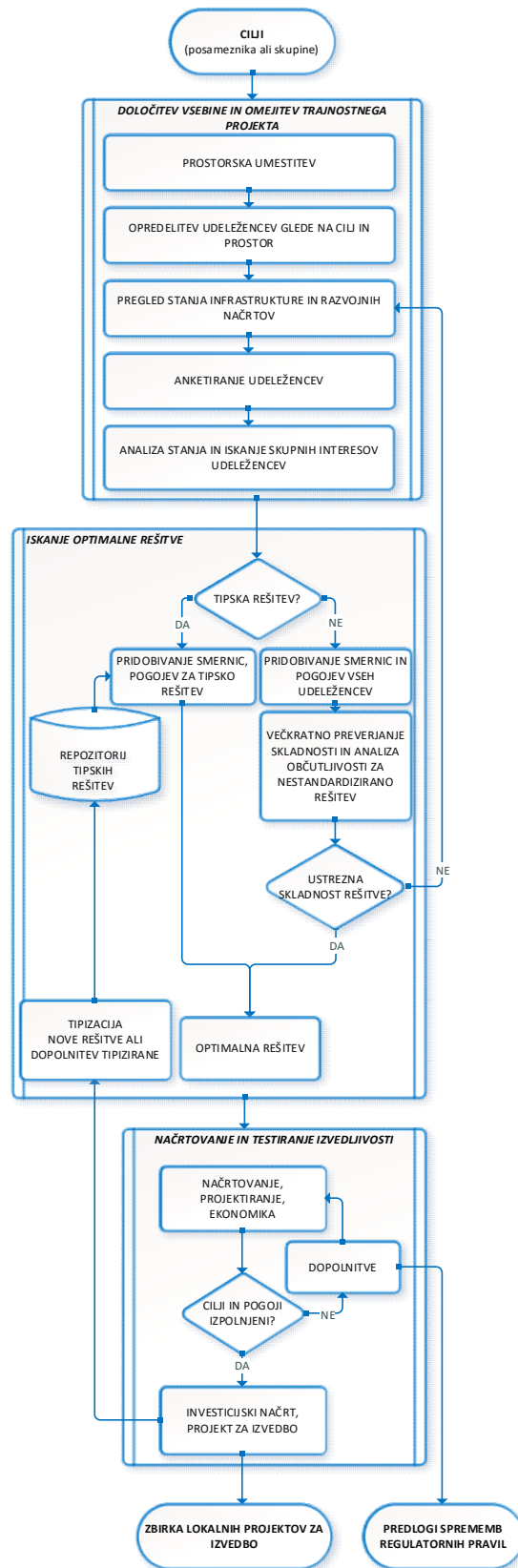


Slika 3.1: Referenčna arhitektura modela energetske skupnosti [15].

3.1.2 Načrtovanje trajnostnih energetskih projektov in energetske infrastrukture

Diagram poteka praktične uporabe koncepta skupnega načrtovanja je na sliki 3.2. Cilji, za katere se iščejo rešitve, so lahko gospodarski, energetski, družbeni, okoljski ali katera koli njihova kombinacija. V začetku procesa načrtovanja je treba določiti vsebino in omejitve lokalnega trajnostnega projekta in določiti geografske meje projekta. Znotraj teh meja je treba opredeliti vse relevantne udeležence, nato pa slediti pregledu razpoložljivih podatkov in razvojnih načrtov na izbranem območju. Sledi pregled fizičnega stanja infrastrukture na izbranem območju, pregled vseh načrtov razvoja infrastrukture in prostorskih načrtov. Postopek pridobivanja podatkov se začne z izčrpnimi intervjuji opredeljenih udeležencev glede na njihov pomen za uresničitev ciljev.

Rezultat takih poizvedb je zapleten nabor vhodnih podatkov, ki jih uporabljajo predstavniki industrije, lokalne skupnosti in državljani za opis svojih tipičnih potreb in pripravo osnutka načrta za izvedbo projektov, povezanih z rabo energije, pretvorbo energije in vplivi na okolje. Treba je izvesti tudi analizo občutljivosti, ki pomaga prepoznati kritične dejavnike, ki lahko vplivajo na splošno izvedljivost trajnostnega energetskega projekta. Analiza občutljivosti v kontekstu energetskih skupnosti pomaga prepoznati ključna področja tveganj ter prispeva k zagotavljanju dolgoročne vzdržnosti in uspehu projekta. V procesu načrtovanja je treba analizirati rabo vseh energentov. Tem tradicionalno ločenim energetskim vektorjem se vedno bolj pridružuje/-jo vodik ali sintetični plini. Trajnostna projektna rešitev lahko predvideva uporabo različnih tehnoloških sistemov.



Slika 3.2: Koncept skupnega načrtovanja trajnostnih energetskega projektov in energetske infrastrukture [15].

Zaključni del prve faze načrtovanja je iskanje skupnih interesov vseh opredeljenih udeležencev za uresničitev prvotno zastavljenih ciljev. To je v skladu s procesom integriranega načrtovanja, ki so ga predstavili Ikudayisi in drugi [110]. Gre za skladen in sodelovalen proces, ki se osredinja na doseganje trajnostnih ciljev z ustrezno opredelitvijo projekta, oceno načrta, podrobnim oblikovanjem in dokumentacijo.

Naslednji segment skupnega načrtovanja projekta je iskanje optimalne rešitve. Če obstaja ustreza tipska rešitev, je nabor potrebnih soglasij in pogojev znan in je njihovo pridobivanje lažje. Netipska rešitev zahteva več koordinacije med vsemi udeleženci. Običajno pomeni pripravo variantnih rešitev, izboljšave rešitev, preverjanje skladnosti z opredeljenimi udeleženci in večkratno usklajevanje. Na podlagi izvedbene dokumentacije se predhodna tipska rešitev po potrebi izboljša ali se izdelava nov tip. Repozitorij standardnih rešitev se nato dopolni za učinkovito pripravo novih rešitev. Nato je treba rešitev tehnično in ekonomsko preizkusiti. Razvoj modela prihodnjega sistema je nujen za testiranje njegove izvedljivosti. Za manj zapletene projekte, kot je samooskrbna FNE, zadostujejo preprosti modeli, za kompleksne sisteme, ki vključujejo več energetskih vektorjev, pa so skoraj nujni kompleksni modeli, vključno z digitalnimi dvojčki. Začetek razvoja trajnostnega projekta je postopno napredujoč proces, ki se prepleta z več področji, kot so tehnologija, finance, družbena dinamika in regulacija. Med usklajevanjem projektne rešitve se oblikujejo tudi praktične ideje za izboljšanje zakonodaje, podpornih shem in tehničnih predpisov, ki so lahko osnova za izboljšave poslovnega okolja. Rezultat takega skupnega načrtovanja trajnostnih projektov je zbirka lokalnih trajnostnih projektov za izvedbo in nabor predlogov za izboljšanje poslovnega okolja.

3.1.3 Načrtovanje trajnostnega energetskega projekta in preizkušanje izvedljivosti

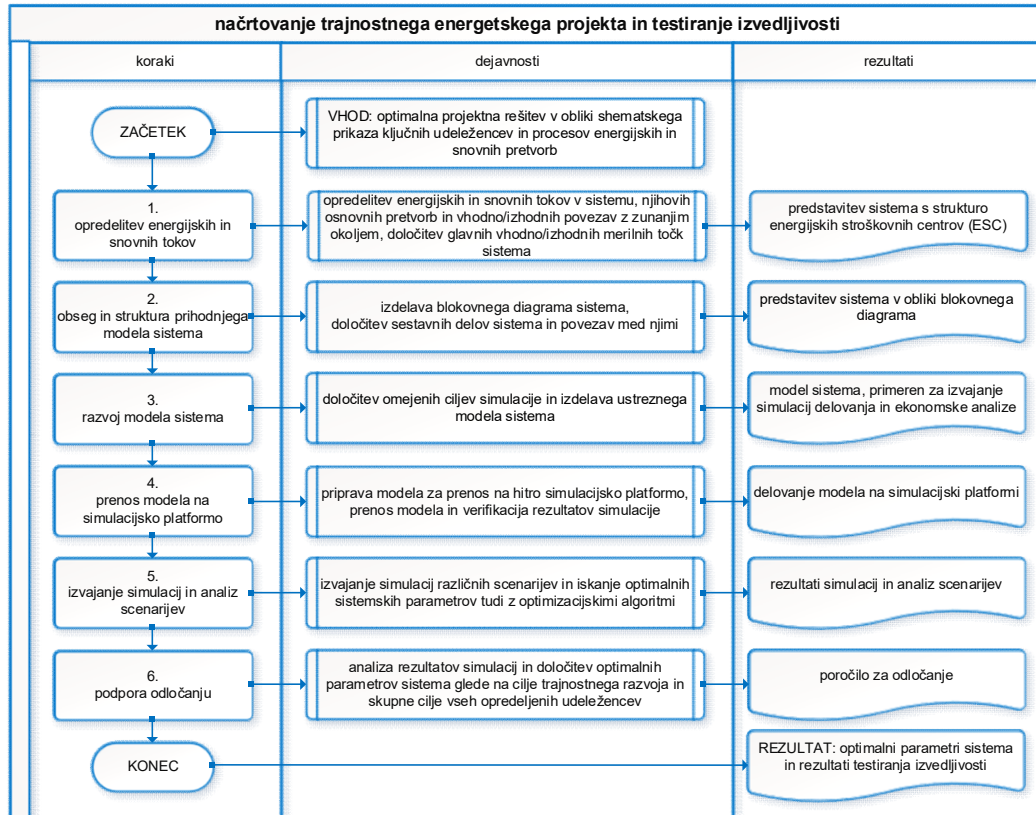
Preizkušanje izvedljivosti je eden najzahtevnejših in najzanimivejših korakov v procesu skupnega načrtovanja trajnostnega energetskega projekta. Postopek je prikazan na sliki 3.3 in je sestavljen iz šestih zaporednih korakov.

V primeru kompleksnejšega projekta, kot je uporaba odvečne toplote, je treba v začetku načrtovanja trajnostnega energetskega projekta in preizkušanja izvedljivosti prepoznati in poudariti pomembne procese in energetske pretvorbe, ki se bodo obravnavali v projektu. Prav tako je treba prepoznati vse relevantne procese, ki delujejo kot vir ali ponor energetskih ali materialnih tokov, in tudi udeležence, ki so lastniki teh procesov.

Prvi korak pri načrtovanju projekta in preizkušanja izvedljivosti je integracija energetskih in materialnih tokov v diagrame poteka procesov, ki so podlaga za odločitve o vzpostavitvi energetskih stroškovnih centrov (ESC), temeljnih elementov celotnega energetskega modela prihodnje energetske skupnosti. Drugi korak je pretvorba dela modela, ki temelji na strukturi ESC, v blokovni diagram prihodnjega sistema. Blokovni diagram shematsko prikazuje evidentirane vire in ponore energije, vse relevantne pretvorbe energije in fizične povezave med njimi. Ta shema že nakazuje obseg in strukturo prihodnjega sistema. Prvi in drugi korak postopka za preizkušanje izvedljivosti ter praktičen primer uporabe so predstavljeni v poglavju 5.

Tretji korak je izdelava modela sistema, ki ga je treba zgraditi v obliki blokovnega diagrama prenosnih funkcij. Četrti korak je nujen v primeru kompleksnega modela sistema. Za izvajanje emulacije v realnem času se model, razvit v razvojnem okolju na osebem računalniku, prenese na namensko računalniško platformo. Vhodne (zgodovinske) podatke lahko delno ali v celoti nadomestimo z razpoložljivimi meritvami iz procesa. Uporaba namenskih računalniških platform omogoča hitrejšo izvedbo simulacij, primerna pa je tudi za implementacijo avtomatiziranih optimizacijskih algoritmov. Peti korak je izvajanje emulacij in simulacij na osebem računalniku ali na namenski računalniški platformi. Uporabiti je treba celoletni profil preteklih podatkov, ker so tako zajeti in ustrezno obravnavani vsi značilni pogoji delovanja v proizvodnji v letu dni in sezonski načini delovanja. Pred začetkom simulacije izberemo konfiguracijo virov, ponorov in podsistemov za pretvorbo energije, nato določimo parametre sistema in izvedemo simulacijo. S primerjavo rezultatov simulacije poiščemo optimalno konfiguracijo sistema in določimo najobetavnejše investicijske prioritete. Šesti in zadnji korak vključuje uporabo rezultatov simulacije iz različnih konfiguracij sistema za določitev optimalnih sistemskih parametrov, ki so v skladu s cilji trajnostnega razvoja in skupnimi cilji udeležencev. Vključuje tudi analizo občutljivosti uporabnih rešitev. Na podlagi teh ugotovitev je pripravljeno poročilo za odločanje, ki opisuje predlagani obseg in prednostne naloge potrebnih naložb za trajnostni energetski projekt.

Tretji, četrti, peti in šesti korak postopka za preizkušanje izvedljivosti so podrobneje predstavljeni in podkrepjeni s praktičnim primerom v poglavju 6.



Slika 3.3: Načrtovanje trajnostnega energetskega projekta in preizkušanje izvedljivosti [15].

Poglavje 4

Postopek oblikovanja strategij za trajnostno lokalno načrtovanje

V tretjem poglavju je predstavljena referenčna arhitektura modela energetske skupnosti in postopek za načrtovanje in preizkus izvedljivosti trajnostnega energetskega projekta. Za lažjo in pogostejšo izvedbo takih projektov, še posebej kompleksnejših, je potrebno sistematično načrtovanje trajnostne energetske infrastrukture. Ta omogoča izgradnjo učinkovitega podpornega okolja za trajnostni razvoj in v tem kontekstu spodbuja izvedbo trajnostnih projektov. Referenčno arhitekturo modela energetske skupnosti lahko uporabimo tudi kot okvir za sistematičen trajnostni razvoj lokalnega okolja. Za dolgoročno uspešno doseganje ciljev trajnostnega razvoja je potreben strateški pristop, ki zahteva oblikovanje izvedbenih strategij s strani lokalnih skupnosti. Za vzpostavitev sistema nenehnih izboljšav trajnostnih energetskih rešitev je treba meriti uspešnost izvajanja strategij. Za to je treba določiti kazalnike uspešnosti in ciljne vrednosti. Nujna je nedvoumna opredelitev okvira nacionalnega konteksta trajnostnega razvoja in osredinjanje na spremljanje uresničevanja izbranih strategij v povezavi s cilji trajnostnega razvoja. Zato je bil razvit postopek oblikovanja strategij za trajnostno lokalno načrtovanje in povezovanje energetskih sektorjev s kazalniki in ciljnimi vrednostmi za merjenje njihovega izvajanja [44].

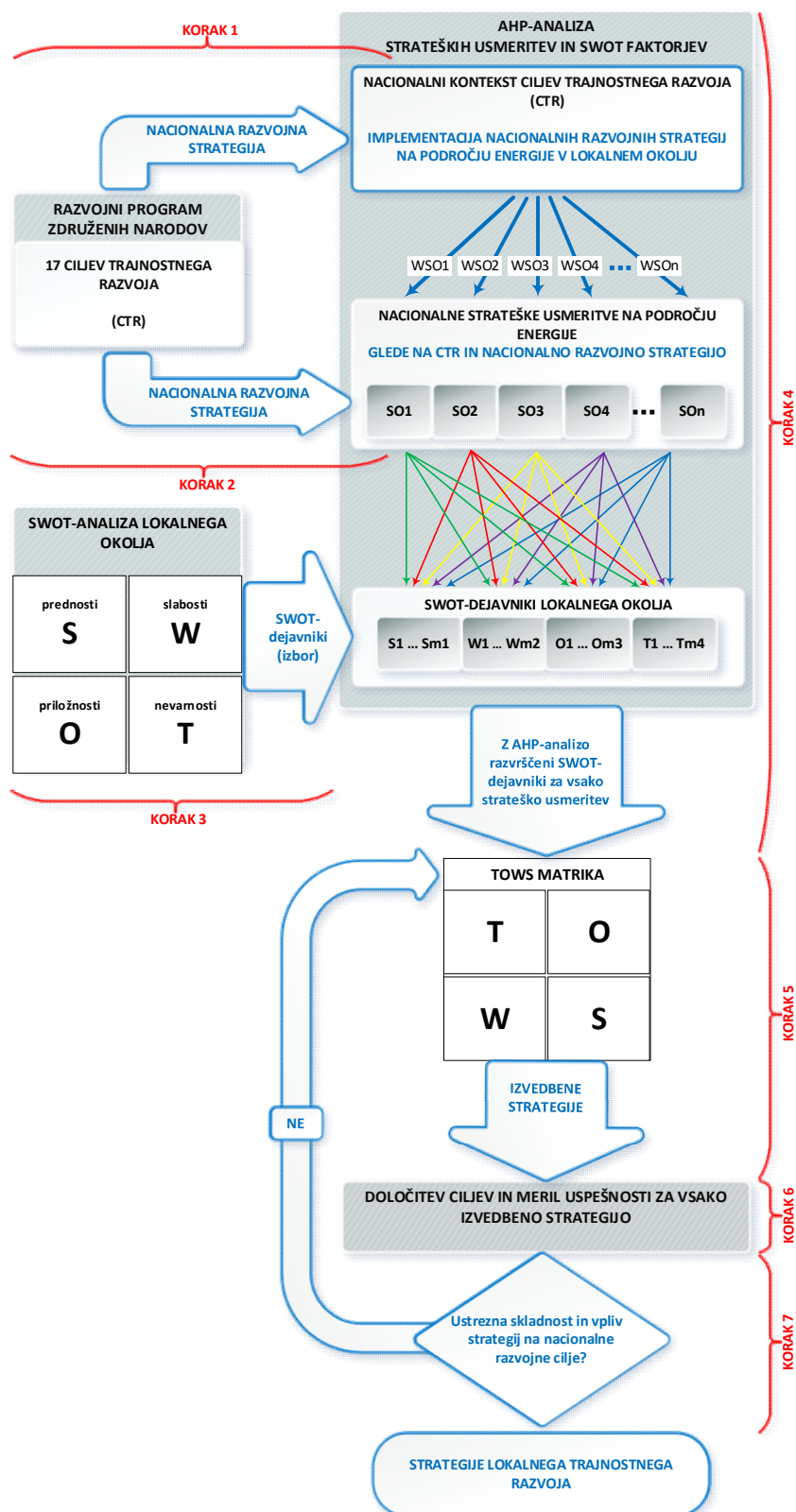
4.1 Metodologija

Postopek oblikovanja strategij za trajnostno lokalno načrtovanje in povezovanje energetskih sektorjev je predstavljen na sliki 4.1. Temelji na sedmih korakih:

- 1. korak: določitev okvira nacionalnega konteksta ciljev trajnostnega razvoja,
- 2. korak: opredelitev nacionalnih strateških usmeritev na področju energetike,
- 3. korak: izvedba SWOT-analize lokalnega okolja,
- 4. korak: izvedba analitičnega hierarhičnega procesa (angl. *Analytic Hierarchy Process* – AHP) za oceno strateških usmeritev in ustreznosti dejavnikov SWOT za oblikovanje strategij,
- 5. korak: oblikovanje izvedbenih strategij z matriko TOWS,
- 6. korak: določitev ciljev vsake izvedbene strategije in meril za merjenje njene uspešnosti,
- 7. korak: ocena skladnosti in vpliva strategij.

4.1.1 Okvir nacionalnega konteksta ciljev trajnostnega razvoja

Združeni narodi so leta 2015 sprejeli cilje trajnostnega razvoja (CTR) kot univerzalni poziv k ukrepanju za odpravo revščine, zaščito planeta ter zagotovitev miru in blaginje za vse do leta 2030. 17 ciljev trajnostnega razvoja je med seboj povezanih, ukrepanje na posameznem področju vpliva tudi na druga področja, zato mora trajnostni razvoj delovati uravnoteženo na družbenem, gospodarskem in okoljskem področju [16]. Posamezne države so danes na različnih stopnjah razvoja. Tudi zaradi svoje lege, podnebnih razmer ipd. se soočajo z različnimi razvojnimi izzivi. Vsaka država zato potrebuje nacionalno strategijo trajnostnega razvoja (NSTR), ki jo je mogoče opredeliti kot »usklajen, participativen in ponavljajoč se proces razmišljanj in dejanj za doseganje gospodarskih, okoljskih in družbenih ciljev na uravnotežen in povezovalen način« [111]. V skladu z Navodili za pripravo NSTR [111] so številne države oblikovale nacionalne razvojne strategije, ki izhajajo iz ciljev trajnostnega razvoja, vendar poudarjajo prizadevanja za napredek na področjih, ki so za državo ključna. Zato je treba v procesu oblikovanja strategij za trajnostno lokalno načrtovanje in povezovanje energetskih sektorjev izhajati iz nacionalnega konteksta ciljev trajnostnega razvoja, ki je opredeljen v nacionalni strategiji trajnostnega razvoja.



Slika 4.1: Napreden postopek oblikovanja strategij [44].

4.1.2 Nacionalne strateške usmeritve na področju energetike

Uspeh vsakega sistema je odvisen od uspešnosti njegovih sestavnih delov (podsistemov) in njihovih medsebojnih povezav. Uspešni podsistemi zagotavljajo uspešno delovanje celote. Spreminjanje kompleksnih sistemov je zahtevna naloga. To je mogoče olajšati z opredelitvijo podsistemov in osredinjanjem na iskanje načinov za izboljšanje njihove učinkovitosti. Pri tem je treba paziti, da so spremembe usklajene s cilji in namenom celotnega sistema. Prav tako je za lažje reševanje kompleksnega problema lokalnega načrtovanja smiselno poiskati nekaj ključnih strateških področij, tj. strateških usmeritev. Njihova opredelitev mora temeljiti tudi na nacionalnem kontekstu, saj je razvoj najbolj potreben na področjih, ki so ključna na državni ravni. Zato morajo strateške razvojne usmeritve izhajati tudi iz nacionalne strategije trajnostnega razvoja.

Število strateških usmeritev mora biti primerno. Preveč strateških usmeritev pomeni preveliko razpršenost zmožnosti skupnosti za doseganje potrebnega razvojnega napredka, premalo pa preozko obravnavo kompleksnih razvojnih izzivov.

4.1.3 SWOT analiza lokalnega okolja

Analiza poslovnega oziroma lokalnega okolja je nujna za uspešno oblikovanje izvedbenih razvojnih strategij. SWOT-analiza je učinkovita tehnika za prepoznavanje notranjih prednosti (angl. *Strengths*) in slabosti (angl. *Weaknesses*) ter zunanjih priložnosti (angl. *Opportunities*) in nevarnosti (angl. *Threats*) analiziranega okolja. Pomembno je, da jo izvajajo strokovnjaki s področja lokalnega trajnostnega razvoja, ki temeljito raziščejo posebnosti lokalnega okolja, za katero želimo oblikovati lokalne strategije trajnostnega razvoja.

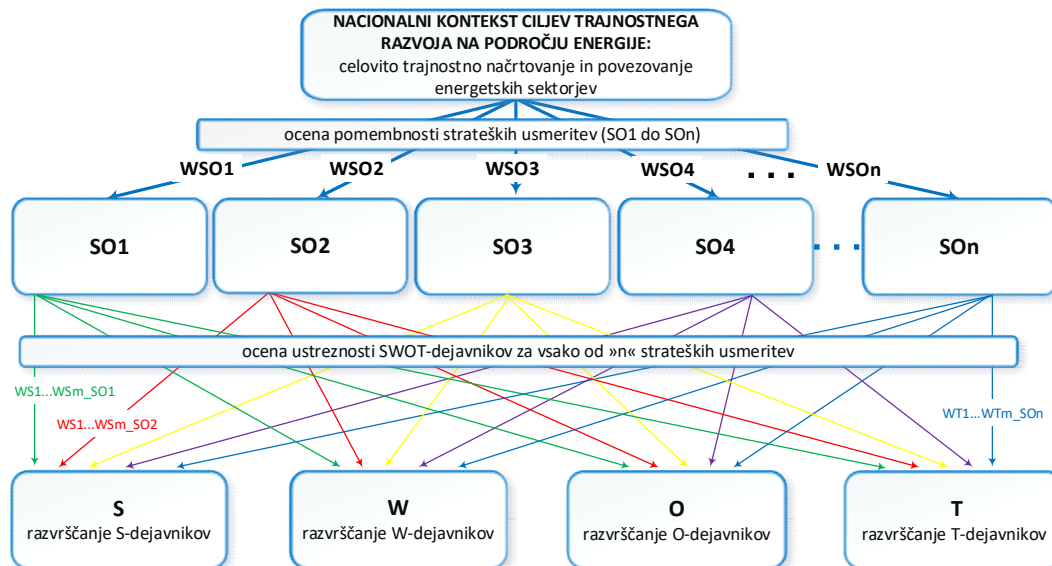
V naslednjem koraku je treba oceniti ustreznost dejavnikov SWOT za oblikovanje izvedbenih razvojnih strategij. Da se izognemo preobsežnim in nepreglednim analizam, je treba omejiti število prednosti, slabosti, priložnosti in nevarnosti. Ena od možnosti je izvedba celovitejše analize, ki ji sledi predhodno razvrščanje dejavnikov glede na namen (trajnostni lokalni razvoj na področju energetike), ki ga izvede skupina strokovnjakov za trajnostni razvoj. Za nadaljnjo analizo izberemo od štiri do šest dejavnikov S, W, O in T.

4.1.4 AHP analiza strateških usmeritev in SWOT dejavnikov

SWOT-analiza ne vsebuje orodij za vrednotenje pomembnosti dejavnikov na podlagi meril. Cilj je najti najpomembnejše SWOT-dejavnike in jih v drugi fazi uporabiti za oblikovanje razvojnih strategij. Za ovrednotenje pomembnosti dejavnikov SWOT se lahko uporabi ena od metod odločanja z več merili (angl. *Multiple-Criteria Decision-Making* – MCDM), na primer analitični hierarhični proces (AHP), ki ga je v poznih 70. in 80. letih prejšnjega stoletja razvil Saaty [112], [113]. Tudi v zadnjem času se koristno uporablja na področju trajnostnega razvoja, na primer v [114], [115], [116]. AHP omogoča strukturiranje odločitvenega problema in kvantifikacijo njegovih elementov, za povezovanje teh s splošnimi cilji in ovrednotenje alternativnih rešitev. AHP je torej mogoče uporabiti za oceno relativne pomembnosti dejavnikov SWOT na podlagi specifične hierarhije meril.

Problem odločanja se najprej razdeli na lažje razumljive podprobleme, ki jih je mogoče samostojno analizirati. Odločevalci nato sistematično ovrednotijo posamezne elemente tako, da jih v parih primerjajo po vplivu na nadrejen element v hierarhiji. Pri primerjavah lahko uporabijo konkretne podatke o elementih ali pa se zanesejo na svoje presoje o relativni pomembnosti elementov. Pri ocenjevanju se lahko uporabljajo kvalitativne presoje in ne samo kvantitativni podatki. Z AHP se ocene pretvorijo v numerične vrednosti (uteži). Za vsak element hierarhije se izračuna utež oziroma prioriteta, ki omogoča racionalno primerjavo sicer težko primerljivih elementov med seboj (ključna lastnost AHP kot tehnike odločanja). V zadnjem koraku postopka se izračunajo prioritete posameznih elementov oziroma njihova pomembnost glede na cilj.

V obravnavanem primeru je najvišja raven nacionalni kontekst CTR na področju energetike, s katerimi se ocenjuje pomembnost vsake od strateških usmeritev (od SU1 do SU_n). Druga hierarhična raven predstavlja ugotavljanje relevantnosti dejavnikov SWOT za vsako SU. Tako nastane hierarhično odločitveno drevo, kot je prikazano na sliki 4.2.



Slika 4.2: Hierarhično odločitveno drevo [44].

SWOT-dejavniki so razvrščeni glede na oceno (S_i), izračunano z enačbo (1), pri čemer W_{ij} predstavlja utež SWOT-dejavnika »i« glede na strateško usmeritev »j«, »n« je število strateških usmeritev in WSU_j je utež strateške usmeritve »j« glede na nacionalne cilje trajnostnega razvoja (CTG).

$$S_i = \sum_{j=1}^n W_{ij} WSU_j \quad (1)$$

4.1.5 Oblikovanje izvedbenih strategij z matriko TOWS

Matriko TOWS je mogoče uporabiti za oblikovanje strategij. Da bi dosegli ta cilj, je treba notranje prednosti in slabosti, s katerimi se sooča lokalna skupnost, uskladiti z zunanjimi priložnostmi in nevarnostmi, kar ima za posledico štiri sklope strategij. Za vsako kombinacijo notranjih in zunanjih dejavnikov SWOT je treba razmisliti, kako jih uporabiti za ustvarjanje dobrih izvedbenih strategij [21]:

- 1) **Strategije SO** nastanejo z razmišljanjem o načinih, na katere lahko v našem primeru skupnost uporabi svoje prednosti, da izkoristi priložnosti (maksi-maksi strategije).
- 2) **Strategije ST** upoštevajo prednosti skupnosti kot način za izogibanje nevarnostim (maksi-mini strategije).
- 3) **Strategije WO** poskušajo izkoristiti priložnosti za premagovanje slabosti (mini-maksi strategije).
- 4) **Strategije WT** primarno delujejo tako, da zmanjšajo slabosti in se izognejo nevarnostim (obrambne mini-mini strategije).

Tako se oblikujejo izvedbene strategije za vse izbrane strateške usmeritve.

4.1.6 Cilji izvedbenih strategij in merila za merjenje uspešnosti teh

Lokalna energetska skupnost je instrument za doseganje trajnostnih ciljev in interesnih ciljev njenih članov (prebivalcev, ustanov, podjetij). Za doseganje teh ciljev je treba oblikovati izvedbene strategije (poglavje od 4.1.1 do 4.1.5) in za vsako strategijo določiti kazalnike in merila za merjenje njene uspešnosti (ciljne vrednosti). Taki cilji, merila uspešnosti in cilji uspešnosti morajo slediti načelom SMART (akronim za specifični, merljivi, dosegljivi, ustrezni, časovno omejeni – angl. *Specific, Measurable, Attainable, Realistic and Time-bound*). Koncept SMART-ciljev je postal priljubljen v 80. letih prejšnjega stoletja kot koncept učinkovitega upravljanja [117]. Evropska komisija v [118] predlaga nabor metodoloških načel, postopkov in najboljših praks za razvoj trajnostnih energetskega in podnebnih akcijskih načrtov. Med drugim naj bi cilji sledili načelom SMART. Zato je treba upoštevati ta splošna priporočila:

- cilji morajo biti merljivi, dosegljivi, toda hkrati dovolj ambiciozni, spodbujevalni in med seboj skladni;
- ciljne vrednosti se sčasoma povečujejo: načelo majhnih, toda hitrih korakov (kaizen);
- merila za merjenje uspešnosti (kazalniki) morajo biti razumljiva, zagotovljena mora biti dostopnost podatkov za njihov izračun – merljivost;
- jasno morajo biti opredeljene naloge, nosilci nalog, roki in potrebna sredstva za izvedbo.

4.1.7 Ocena skladnosti in vpliva strategij

Strategije lokalnega trajnostnega razvoja morajo biti skladne z nacionalnimi razvojnimi cilji. Skladnost vsake strategije z nacionalnimi razvojnimi cilji se ocenjuje z ocenami od 0 (brez vpliva) do 5 (pomemben, neposredno merljiv vpliv). Izračunati oziroma oceniti je treba tudi vpliv posamezne strategije na kazalnike lokalnega razvoja. Ocenjevanje skladnosti razkrije morebitne slabosti načrtovanih strategij, kar omogoča njihovo izboljšanje do stopnje ustrezne skladnosti z nacionalnimi cilji in zadovoljivega učinka na razvoj skupnosti.

4.2 Študija primera: Oblikovanje alternativnih vsebin LEK lokalne skupnosti v Sloveniji

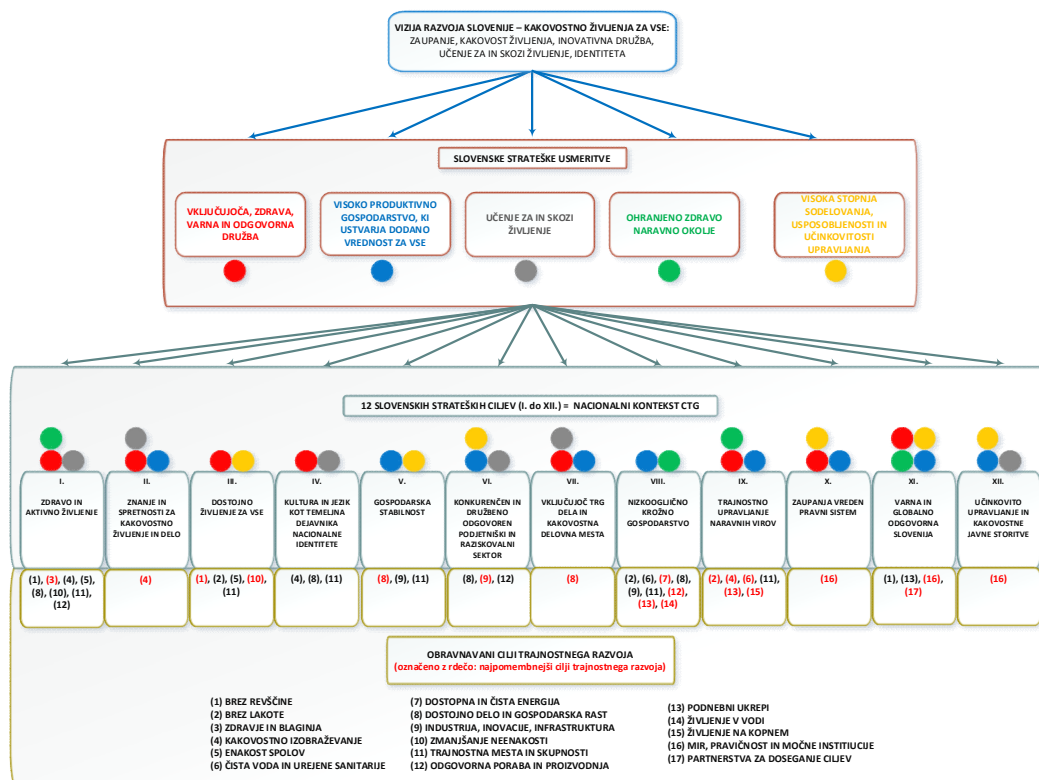
Energetski zakon Republike Slovenije [85] v 29. členu opisuje lokalni energetski koncept (LEK) kot »program upravljanja z energijo v lokalni skupnosti«, na podlagi katerega se urejajo »prostorski in gospodarski razvoj lokalne skupnosti, razvoj lokalnih energetsko gospodarskih javnih služb, učinkovita raba energije in njeno varčevanje, raba obnovljivih virov energije in izboljšanje kakovosti zraka na območju lokalne skupnosti«. LEK določa cilje in z njimi povezane ukrepe, ki morajo biti usklajeni z nacionalnimi akcijskimi načrti za energetsko učinkovitost, OVE in drugimi akcijskimi načrti oziroma operativnimi programi za oskrbo z energijo ali rabo energije ter cilji za izboljšanje kakovosti zraka. LEK je temelj strateškega energetskega načrtovanja lokalne skupnosti, ki mora dati jasne usmeritve in cilje ter načrt energetskega razvoja in upravljanja lokalne skupnosti (občine) za desetletno obdobje, ki bo v skladu z državnim delovanjem. Podati mora načrte, cilje in ukrepe ter podlage za urejanje prostora in razvoj lokalne skupnosti.

Pregled slovenskih LEK [119] je pokazal pomanjkljivosti v smislu celovitega pristopa in strateške usmerjenosti predvidenih ukrepov. Koncept sistematičnega spremljanja ukrepov je v njih običajno le začrtan, praviloma pa poteka prek spremljanja kazalnikov. Ukrepanje v primeru zaostajanja za načrtovanimi cilji ni ne definirano ne vzpostavljeno, torej ni »povratne zanke«.

Za več LEK se zdi spremljanje izvajanja ukrepov v praksi velik izziv, predvsem zato, ker so kazalniki ali cilji opredeljeni tako, da jih ni mogoče učinkovito izmeriti ali oceniti. Zato smo napredni postopek oblikovanja strategij za trajnostno lokalno načrtovanje in povezovanje energetskih sektorjev preizkusili s pripravo alternativnih vsebin LEK ene od lokalnih skupnosti v Sloveniji. Gre za lokalno skupnost s 21.944 prebivalci (po podatkih iz leta 2024), ki se razprostira na 75,8 km² površine v severozahodni Sloveniji. Lokalna skupnost s tisočletno železarsko in jeklarsko tradicijo je še danes središče energetsko intenzivne industrije, hkrati pa se kot obmejna občina z dobro ohranjenim naravnim okoljem, športno tradicijo in dobro prometno lego želi razvijati tudi na področju trajnostnega turizma in svojim prebivalcem zagotoviti še boljše bivalne pogoje.

4.2.1 Slovenski nacionalni kontekst ciljev trajnostnega razvoja in nacionalne strateške usmeritve na področju energetike

Za razumevanje nacionalnega konteksta ciljev trajnostnega razvoja in strateških usmeritev na področju energetike se je nujno treba poglobiti v Strategijo razvoja Slovenije 2030 [120], ki je temeljni razvojni okvir države. Slovenija se je pri oblikovanju razvojnih poti do »visoke kakovosti življenja za vse prebivalce Slovenije« zavedala svoje odgovornosti v globalnem kontekstu. Strategija razvoja Slovenije 2030 (SRS) torej vključuje tudi cilje trajnostnega razvoja za uresničevanje globalnega načrta razvoja, zapisanega v Agendi trajnostnega razvoja Združenih narodov do leta 2030 [49]. Povezava ciljev trajnostnega razvoja s slovenskimi strateškimi usmeritvami je prikazana na sliki 4.3.



Slika 4.3: Povezava CTR s slovenskimi strateškimi usmeritvami in nacionalnimi cilji [120].

4.2.2 SWOT analiza lokalne skupnosti

Najprej smo izvedli celovito analizo SWOT lokalne skupnosti. Analiza je upoštevala širši kontekst in ne samo energetskega področja. Zato je bilo ob upoštevanju omejitve števila SWOT-dejavnikov, ki jih priporoča metodologija, v vsaki skupini izbranih pet relevantnih SWOT-dejavnikov. Izbrani dejavniki so prikazani v preglednici 4.1.

Preglednica 4.1: Izbrani SWOT-dejavniki lokalne skupnosti [44].

	Oznaka	SWOT faktor
S (prednosti)	S1 S2 S3 S4 S5	uravnoteženost strukture virov energije, možnost nadaljnje diverzifikacije razvita tehnična kultura, odprtost za nove tehnologije, sposobnost inoviranja učinkovita raba prostora na obstoječih industrijskih lokacijah in v poslovnih conah dobre izkušnje s projekti energetskega pogodbenišva, tudi v javnem sektorju koncentracija poselitve, možnost za nadaljnjo racionalno gradnjo infrastrukture
W (slabosti)	W1 W2 W3 W4 W5	posamezne trajnostne rešitve so še vedno v zgodnji razvojni fazi premalo dejavnosti URE in OVE glede na potencialne koristi na lokalni ravni visoka energetska intenzivnost nekaterih industrijskih panog odsotnost proaktivne vloge države in usmerjanja investitorjev v zeleni prehod premalo tehničnih kadrov v podjetjih, ozko grlo pri uvajanju novih tehnologij
O (priložnosti)	O1 O2 O3 O4 O5	okoljski izzivi in zanesljivost oskrbe kot spodbuda za izboljšanje lokalne kakovosti življenja in razvoj URE, OVE in trajnostne infrastrukture razvoj in razogljičenje z zagonom tradicionalnih dejavnosti (les, trajnostna gradnja) nove tehnologije v prometu: e-vozni parki javnih ustanov, vodik v JPP, javne e- polnilnice testno uvajanje modelov mehke mobilnosti za potrebe turizma in dnevnih migracij krepitev raziskovalnega potenciala in sposobnosti za uvajanje novih tehnologij
T (nevarnosti)	T1 T2 T3 T4 T5	negotov prihodnji razvoj industrijskih dejavnosti znotraj EU prisotnost energetske revščine (premalo lastnih sredstev za URE, OVE) šibko vključevanje v zelene projekte EU in počasna uporaba namenskih sredstev pomanjkanje kadrov (z multidisciplinarnim znanjem) za izvedbo projektov počasnost prilagajanja izobraževalnih in raziskovalnih dejavnosti novim izzivom

4.2.3 Izvedba analize AHP

Glede na [121] obstaja velika raznolikost zahtev glede oskrbe z energijo in energetskih storitev za zadovoljevanje potreb različnih skupnosti in družbenih asociacij. Vključevanje udeležencev je priznано kot sredstvo za opredelitev bolj skladnih politik trajnostnega razvoja [122]. Uspešno sodelovanje udeležencev pri odločanju o razvojnih politikah zahteva prepoznavanje izzivov podnebnih sprememb, opredelitev prednostnih posegov, prepoznavanje pričakovanih koristi, ki jih je mogoče ustvariti. Kot ugotavlja A. Lengyel v [123], lahko pri oblikovanju politik poznavanje prednostnih nalog različnih interesnih skupin pomaga obravnavati njihova osebna prepričanja in skrbi. Zato je bila za izvedbo analize izbrana skupina strokovnjakov s strokovnih in interesnih področij, ki so ključna za celovit pogled na problematiko lokalnega trajnostnega razvoja na področju energetike. Sodelovala je skupina desetih strokovnjakov, med katerimi so bili predstavniki:

- 1) ministrstva, pristojnega za energijo;
- 2) velikega energetske intenzivnega podjetja;
- 3) velikega energetske neintenzivnega podjetja;
- 4) srednje velikega storitvenega podjetja s področja energetike;
- 5) nevladne organizacije;
- 6) strokovne organizacije s področja varstva in ohranjanja okolja;
- 7) lokalne energetske razvojne agencije, ki deluje na področju analizirane lokalne skupnosti;
- 8) lokalne energetske razvojne agencije, ki deluje na področju sosednje regije;
- 9) svetovalnega podjetja s področja varstva okolja;
- 10) občan, aktiven na področju učinkovite rabe energije in obnovljivih virov energije.

Strokovnjaki so individualno ovrednotili pet strateških usmeritev (od SU1 do SU5) glede na nacionalni kontekst CTR in ocenili ustreznost dvajsetih SWOT dejavnikov (S1, S2, ..., T5) za vsako od petih strateških usmeritev. Za individualen vnos podatkov smo izdelali posebno

Excelovo vnosno tabelo in uporabniška navodila. Nato smo za vsak dejavnik izračunali relativne uteži. Obstajajo različne dobro znane in dokumentirane metode izračuna AHP, kot sta metoda lastnih vektorjev ali metoda geometrične sredine. Na spletu je na voljo veliko aplikacij, razvoj in uporabo ene izmed njih je opisal Goepel v svojem članku [124]¹. Rezultati analiz AHP so predstavljeni v preglednicah 4.2 in 4.3.

Preglednica 4.2: Rezultati AHP ocene strateških usmeritev [44].

Oznaka	Strateške usmeritve (SU)	Pomembnost SU
		utež
SU1	izvajanje nacionalnih energetskih in okoljskih politik na lokalni ravni	0,154
SU2	izboljšanje načrtovanja lokalnih energetskih projektov	0,179
SU3	digitalizacija lokalnih energetskih podsistemov	0,127
SU4	izboljšanje energetske učinkovitosti in oskrbe z energijo	0,291
SU5	razvoj podpornega okolja za izvajanje lokalnih energetskih projektov	0,248

Preglednica 4.3: Rezultati AHP ocene relevantnosti SWOT-dejavnikov [44].

Dejavnik SWOT	Strateška usmeritev					Rezultati		
	SU1	SU2	SU3	SU4	SU5	utežena vsota	razvrstitev	
	utež	utež	utež	utež	utež		po skupinah	skupno
S1	0,148	0,142	0,158	0,152	0,125	0,144	4	16
S2	0,283	0,311	0,433	0,280	0,352	0,323	1	1
S3	0,258	0,252	0,151	0,199	0,202	0,212	2	10
S4	0,158	0,161	0,136	0,212	0,192	0,180	3	12
S5	0,154	0,134	0,122	0,157	0,130	0,141	5	17
W1	0,126	0,128	0,144	0,101	0,125	0,121	4	18
W2	0,209	0,203	0,181	0,250	0,212	0,217	3	8
W3	0,100	0,085	0,109	0,108	0,105	0,102	5	20
W4	0,332	0,272	0,241	0,273	0,300	0,285	1	2
W5	0,233	0,310	0,325	0,268	0,258	0,275	2	3
O1	0,339	0,259	0,203	0,278	0,269	0,272	1	4
O2	0,169	0,152	0,109	0,169	0,175	0,160	4	14
O3	0,154	0,176	0,207	0,152	0,176	0,169	3	13
O4	0,120	0,166	0,178	0,141	0,149	0,149	5	15
O5	0,219	0,246	0,303	0,261	0,231	0,250	2	5
T1	0,133	0,115	0,118	0,113	0,119	0,119	5	19
T2	0,188	0,218	0,173	0,265	0,182	0,213	3	9
T3	0,222	0,230	0,195	0,191	0,250	0,218	2	7
T4	0,261	0,257	0,279	0,214	0,247	0,245	1	6
T5	0,196	0,179	0,234	0,217	0,201	0,205	4	11

¹ Ta Excelova aplikacija je bila uporabljena za izračun uteži in ovrednotenje nekonsistentnosti ocen v realnem času. Aplikacija je bila v času izvedbe analize na voljo na spletni strani: <https://bpmg.com/wordpress/wp-content/uploads/2022/07/AHPcalc-2022-07-08.zip> (različica z 8. 7. 2022).

4.2.4 Oblikovanje strategij z matriko TOWS ter postavljanje ciljev in meril za merjenje uspešnosti

Na podlagi rezultatov AHP so bili za oblikovanje izvedbenih strategij z matriko TOWS izbrani dejavniki SWOT, ki so bili v posamezni skupini razvrščeni na prva tri mesta: S2, S3, S4; W2, W4, W5; O1, O3, O5; T2, T3, T4. Matrika TOWS ima dimenzije 6×6 , tako da je mogoče oblikovati 36 strategij. Pri določanju strategij je treba upoštevati strateške usmeritve od SU1 do SU5. Kateri SU bo sledila posamezna strategija, se določi z izračunom relevantnosti parov S-T, S-O, W-T, W-O za posamezno SU. Kot je razvidno iz preglednice 3, je bila za določitev pomembnosti vsakega dejavnika SWOT za vsak SU posebej uporabljena metoda AHP. Izbran je SU, kjer je zmnožek uteži para dejavnikov SWOT največji. Preglednica 4 prikazuje največje zmnožke uteži dejavnikov SWOT (rezultat v oklepaju) za vsako strateško usmeritev, ki podaja ključne usmeritve za oblikovanje posamezne strategije [44].

Preglednica 4.4: Največji produkti uteži SWOT-dejavnikov za posamezno strateško usmeritev.

Dejavnik	T2	T3	T4	O1	O3	O5
S2	SU3 (0,07501)	SU5 (0,08804)	SU3 (0,12079)	SU1 (0,09600)	SU3 (0,08959)	SU3 (0,13125)
S3	SU2 (0,05483)	SU2 (0,05787)	SU1 (0,07391)	SU1 (0,08743)	SU2 (0,04430)	SU2 (0,06193)
S4	SU4 (0,05612)	SU5 (0,04797)	SU5 (0,04731)	SU4 (0,05876)	SU5 (0,03373)	SU4 (0,05522)
W2	SU4 (0,06643)	SU5 (0,05305)	SU1 (0,05456)	SU1 (0,07086)	SU4 (0,03797)	SU4 (0,06535)
W4	SU4 (0,07236)	SU5 (0,07515)	SU1 (0,08665)	SU1 (0,11254)	SU5 (0,05284)	SU3 (0,07323)
W5	SU4 (0,07096)	SU2 (0,07138)	SU3 (0,09074)	SU2 (0,08047)	SU3 (0,06730)	SU3 (0,09860)

Preglednice 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 in 4.9 prikazujejo nabor 36 izvedbenih strategij, razvrščenih po posameznih strateških usmeritvah. Dodan je predlog kazalnikov uspešnosti in ciljnih vrednosti, s katerimi lahko spremljamo uspešnost izvajanja strategij.

Preglednica 4.5: Izvedbene strategije SU1 s kazalniki uspešnosti in ciljnimi vrednostmi.

SU1: Izvajanje nacionalnih energetske in okoljske politik na lokalni ravni				
Par dejavnikov	Strategija	Odgovornost za izvedbo	Kazalnik uspešnosti	Ciljne vrednosti
W2-T4	usmerjeni programi izobraževanja s področja energetike in okolja ter področja URE/OVE	regionalna razvojna agencija	delež delavno aktivnega prebivalstva, vključenega v izobraževanje	2024: 5 %, 2027: 10 %, 2030: 15 %
W4-T4	usmerjeni programi izobraževanja potencialnih investitorjev na področjih energetike, okolja in URE/OVE	regionalna razvojna agencija	število predstavnikov podjetij in institucij, vključenih v izobraževanje	2024: 10 %, 2027: 15 %, 2030: 18 %
S3-T4	multiplikacija pilotnih projektov E-skupnosti (OVE) na degradiranih območjih	javni in zasebni investitorji	število uspešno izvedenih projektov E-skupnosti na degradiranih območjih	do 2025: 4, do 2027: 10, do 2030: 12
W2-O1	odpravljanje ovir pri umeščanju večjih OVE in energetske infrastrukture v prostor.	ministrstvo, odgovorno za energetiko in okolje	povprečno trajanje umeščanja večjih OVE in nezahtevnih, manj zahtevnih in zahtevnih en. infrastrukturnih objektov v prostor	2024–2030: letno skrajšanje postopkov za 10 %
W4-O1	spodbude za URE/OVE projekte in za vključevanje podjetij ter občanov v OVE skupnosti	ministrstvo, odgovorno za energetiko in okolje	število podjetij, vključenih v e-skupnosti, število občanov, vključenih v e-skupnosti	2024: 4 podjetja in 50 občanov; 2025–2030: letno povečanje za 5 %
S2-O1	izvajanje inovativnih projektov nacionalnega pomena: proizvodnja H2 in/ali sintetičnih goriv iz presežkov OVE, hranjenje presežkov OVE, vtiskanje H2 v plinovodno omrežje ipd.	javni in zasebni investitorji	število uspešno izvedenih inovativnih projektov nacionalnega pomena s področja H2, hranjenja presežkov OVE energije ...	do 2025: 1, do 2027: 4, do 2030: 10
S3-O1	izvedba pilotnih projektov E-skupnosti (OVE) na degradiranih območjih	regionalna razvojna agencija, javni in zasebni investitorji	uspešna izvedba pilotnih projektov, medijska odmevnost / prepoznavnost izvedenih pilotnih projektov (število omemb v medijih)	do 2025: 10 projektov do 2030: 30 projektov; vsaj 10 omemb v medijih na projekt

Preglednica 4.6: Izvedbene strategije SU2 s kazalniki uspešnosti in ciljnimi vrednostmi.

SU2: Izboljšanje načrtovanja lokalnih energetskih projektov				
Par dejavnikov	Strategija	Odgovornost za izvedbo	Kazalnik uspešnosti	Ciljne vrednosti
S3-T2	ustanovitev podjetniškega inkubatorja za MSP s področja energetskih projektov	občina	ustanovitev do predvidenega roka	rok: leto 2025
W5-T3	ohranjanje in priseljevanje tehničnega kadra z izkušnjami projektov EU v lokalnem okolju s spodbudami in ugodno stanovanjsko politiko za perspektivne kadre	občina	delež delavno aktivnega prebivalstva z vsaj visoko izobrazbo s področja elektrotehnike, strojništva in informatike	2024: 5 %, 2027: 7 %, 2030: 10 %
S3-T3	podpora pilotnim projektom za uporabo OVE in OT v industriji	regionalna razvojna agencija	število uspešno izvedenih projektov za uporabo OVE in odvečne toplote v industriji	do 2025: 5, do 2027: 10, do 2030: 15
W5-O1	prenos dobrih praks pri izvajanju projektov URE, OVE - informiranje lokalnega okolja	regionalna razvojna agencija	delovanje informacijske platforme za izmenjavo dobrih praks število uporabnikov, ocenjevanje zadovoljstva	2024: vzpostavitev, 2025–2030: nadgradnja; 2024–2030: letno povečanje št. za 10 % in ocene za 2 %
S3-O3	mreža javne in interne (podjetniške) polnilne infrastrukture, tipske rešitve, enotni standardi	občina, regionalna razvojna agencija	določitev tipskih rešitev in enotnih standardov; število aktivnih (javnih in internih) polnilnic, vključenih v enotno mrežo	2025: tipizacija, standardizacija rešitev, 2026: 20, 2028: 50, 2030: 200
S3-O5	v sodelovanje pri prostorskem razvoju in pripravo energetskih projektov na zalogo vključiti raziskovalne institucije	regionalna razvojna agencija, občina	število pripravljenih energetskih projektov za izvedbo skupna vrednost pripravljenih projektov	2024: 5 projektov; skupna vrednost 500.000 EUR; 2025–2030: letno povečanje za 10 %

Preglednica 4.7: Izvedbene strategije SU3 s kazalniki uspešnosti in ciljnimi vrednostmi.

SU3: Digitalizacija lokalnih energetskih podsistemov				
Par dejavnikov	Strategija	Odgovornost za izvedbo	Kazalnik uspešnosti	Ciljne vrednosti
S2-T2	zagnoska sredstva za inovativna MSP na področju digitalizacije v energetiki	občina, raziskovalne ustanove	vrednost angažiranih sredstev na leto	EUR/prebivalca: 2024: 10 EUR, 2026: 20 EUR, 2028: 50 EUR
W5-T4	usmerjeni programi izobraževanja za digitalizacijo energetike, štipendije za študijske programe informatike	občina, raziskovalne ustanove, podjetja	delež delavno aktivnega prebivalstva, vključenega v izobraževanje s področja digitalizacije in informatike	2024: 7 %; 2027: 10 %; 2030: 15 %
S2-T4	platforma za prenos znanja med podjetji in tečaji digitalnega opismenjevanja za občane	občina, regionalna razvojna agencija	anketno ocenjevanje stopnje sodelovanja podjetij pri prenosu znanja in digitalne pismenosti občanov	2024: prvo anketiranje 2025–2030: letno izboljšanje: 10 %
W5-O3	pomoč energetskih in regionalnih razvojnih agencij (BSC, Leag) podjetjem pri digitalizaciji novih prometnih tehnologij	regionalna razvojna agencija, podjetja	delež pravnih oseb, ki uporabljajo digitalne tehnologije za upravljanje svojih potreb po mobilnosti	2024: 5; 2025–2030: letno povečanje za 5 %
S2-O3	spodbude lokalnim MSP za digitalizacijo elektro in H ₂ polnilne, prometne in transportne infrastrukture	občina, min. odgovorno za energetiko in okolje	vrednost naložb v digitalizacijo polnilne infrastrukture (vodenje in nadzor, interoperabilnost)	2024: 100.000 EUR, 2027: 300.000 EUR, 2030: 500.000 EUR
W4-O5	spodbude za aktivno vključevanje raziskovalnih institucij v digitalizacijo in zeleno digitalno preobrazbo podjetij	občina, Raziskovalne ustanove, podjetja	rast števila raziskovalnih institucij, vključenih v projekte digitalizacije in zeleno digitalno preobrazbo	2024 – 2; 2025-2030: letno povečanje za 15 %
W5-O5	skupna digitalna EGIS platforma v sodelovanju z raziskovalnimi institucijami	regionalna razvojna agencija, raziskovalne ustanove, podjetja	izvedba projekta v skladu s terminskim načrtom	2024: priprava projekta 2025: preizkus in pilotno uvajanje 2026–2030: nadgradnja in popularizacija uporabe
S2-O5	razvoj izobraževalnega programa s področja energetike in informatike – vodenje energetskih sistemov	regionalna razvojna agencija, občina	razvoj in nadgrajevanje programa; rast števila slušateljev	2025: razvoj programa, 2026–2030: nadgradnja; 2025: 20, 2026–2030 letno povečanje za 10 %

Preglednica 4.8: Izvedbene strategije SU4 s kazalniki uspešnosti in ciljnim vrednostmi.

SU4: Izboljšanje energetske učinkovitosti in oskrbe z energijo				
Par dejavnikov	Strategija	Odgornost za izvedbo	Kazalniki uspešnosti	Ciljne vrednosti
W2-T2	več URE/OVE spodbud za socialno šibke in dejavnosti energetskega opismenjevanja	občina, ministrstvo, odgovorno za energetiko in okolje	število in vrednost izvedenih naložb za zmanjševanje energetske revščine na št. prebivalcev	EUR/prebivalca: 2024: 20 EUR 2027: 40 EUR 2030 60 EUR; štev. naložb: 2024: 25 2027: 50 2030: 75
W4-T2	krepiiti energetske opismenjevanje med socialno šibkimi	občina, regionalna razvojna agencija	anketa o zadovoljstvu uporabnikov	2024: prvo anketiranje 2025–2030: letno izboljšanje zadovoljstva: 5 %
W5-T2	štipendije za izobraževalne programe s področja URE in energetike	občina, podjetja	število študentov na št. prebivalcev	2024: 10; 2025–2030: letno izboljšanje: 5 %
S4-T2	občinski sklad za URE projekte en. pogodbeništa v javnih socialnih ustanovah in stanovanjih	občina	vrednost angažiranih sredstev na leto	EUR/prebivalca: 2024: 15 EUR, 2027: 30 EUR, 2030: 50 EUR
S4-O1	skupno in regionalno usklajeno načrtovanje ter izgradnja vse javne in energetske infrastrukture za boljšo oskrbo z energijo	regionalna razvojna agencija, občina, infrastr. podjetja	število in investicijska vrednost skupnih projektov	2025–300.000 EUR; 2026–2030: letno povečanje za 10 %
W2-O5	vključevanje v EU-projekte RR s področja URE/OVE, izvedba demonstracijskih projektov, deseminacija v lokalnem okolju	regionalna razvojna agencija, raziskovalne institucije, podjetja	rast števila podjetij in institucij, vključenih v EU-projekte RR	2024: 500.000 EUR 2025–2030: letno povečanje za 15 %
S4-O5	podpora raziskovanju URE tehnologij in novih poslovnih modelov energetskega pogodbeništa	regionalna razvojna agencija, raziskovalne institucije, podjetja	rast števila raziskovalnih inst., vključenih v raziskave s področja URE in novih poslovnih modelov en. pogodbeništa	2024: 10 2025–2030: letno povečanje za 15 %

Preglednica 4.9: Izvedbene strategije SU5 s kazalniki uspešnosti in ciljnim vrednostmi.

SU5: Razvoj podpornega okolja za izvajanje lokalnih energetskih projektov				
Par dejavnikov	Strategija	Odgornost za izvedbo	Kazalniki uspešnosti	Ciljne vrednosti
W2-T3	ustanovitev projektne pisarne URE/OVE za operativno podporo vključevanju v EU projekte	regionalna razvojna agencija, občina	rast števila podjetij in institucij, vključenih v projekte EU	2024: 5 2025–2030: letno povečanje za 15 %
W4-T3	okrepitev sodelovanja z državnimi institucijami in regionalno s skupnimi projekti	občina, regionalna razvojna agencija	anketno ocenjevanje uspešnosti sodelovanja podjetij, ustanov in lokalnih oblasti z državnimi institucijami in z regionalnim projektim sodelovanjem	2024: prvo anketiranje 2025–2030: letno izboljšanje 10 %
S2-T3	regionalno čezmejno sodelovanje, projekti Inovacijskega sklada	regionalna razvojna agencija, raziskovalne institucije, podjetja	število uspešno izvedenih projektov s področja čezmejnega sodelovanja oziroma inovacijskega sklada	do 2025: 1 do 2027: 3 do 2030: 5
S4-T3	ustanovitev občinske projektne pisarne za podporo ECSO projektom v javnem sektorju	občina, regionalna razvojna agencija	rast števila uspešno izvedenih projektov s podporo projektne pisarne	2024: 10 2025–2030: letno povečanje za 10 %
S4-T4	uporaba in nadgradnja izvajanja energetskih sanacij javnih stavb, prenos dobrih praks med ustanovami (koordinacijska pisarna)	regionalna razvojna agencija, raziskovalne institucije, podjetja	delež površine energetske saniranih javnih stavb (energetsko sanirana oz. en. ustrežna površina/vsa površina)	2024: 15% 2025–2030: letno povečanje za 2 %
W4-O3	dejavnosti LEAG/BSC, priprava projektov E-vozil, izboljšanja JPP in alternativnih goriv v prometu	regionalna razvojna agencija, raziskovalne institucije, podjetja	število pripravljenih projektov za izvedbo; skupna vrednost pripravljenih projektov	2024: 2 projekta, skupna vrednost 100.000 EUR 2025–2030: letno povečanje za 15 %
S4-O3	podpora javno-zasebnim partnerstvom na področju tehnologij v prometu, načrt mreže javnih polnilnic	občina, regionalna razvojna agencija	število javnih polnilnic iz projektov javno zasebnega partnerstva	do 2025: 10 do 2027: 30 do 2030: 100

Ocenjena je bila skladnost vseh 36 strategij z nacionalnimi razvojnimi cilji. SRS-2030 opredeljuje 12 nacionalnih razvojnih ciljev s skupno 29 kazalniki uspešnosti. Predlaganih 36 strategij korelira s 16 izmed njih, seštevek točk se giblje od 81 do 6. Med najvišje uvrščenimi so: delež OVE v končni rabi energije (81 točk), emisijska produktivnost (62), evropski indeks inovativnosti (53) in delež aktivnega prebivalstva s terciarno izobrazbo (36). Ob drugih pozitivnih vplivih na razvoj skupnosti je bilo ocenjeno, da bi se do leta 2030 z uresničevanjem oblikovanih strategij delež OVE v skupnosti povečal za 9,5 %, delež delovno aktivnega prebivalstva s terciarno izobrazbo za 6 %, emisijska produktivnost pa za 7 % [44].

4.3 Razprava: Postopek oblikovanja strategij za trajnostno lokalno načrtovanje in povezovanje energetskega sektorja

Pregled uveljavljenih postopkov načrtovanja lokalne energetske infrastrukture in energetskega sektorja je razkril vrzeli v konceptih lokalnega razvoja. Zato se je raziskovalno delo osredinilo na sistemski pristop k oblikovanju izvajalskih strategij, ki temelji na nacionalnem kontekstu ciljev trajnostnega razvoja in vzpostavlja sistem stalnih izboljšav za trajnostne (lokalne) energetske rešitve. Praktični preizkus predlaganega pristopa je potrdil, da napreden proces oblikovanja strategij za trajnostno lokalno načrtovanje in povezovanje energetskega sektorja sovпада s priporočili Adsheada in drugih [12]. Prav tako upošteva pomen nacionalnega konteksta energetskega in podnebne načrtovanja, zaradi česar je primerna rešitev za izboljšanje lokalnega trajnostnega razvoja.

Pregled slovenskih lokalnih energetskega konceptov (LEK) [119] prav tako kaže potrebo po celovitejšem pristopu v dolgoročnem načrtovanju energetske infrastrukture in optimalnem načrtovanju energetskega sektorja. Ta ugotovitev se ujema z opažanji Ceglie in drugih [9]. Raziskava je tudi potrdila, da bi moral postopek priprave LEK kar najbolj upoštevati predlagani napredni postopek oblikovanja strategij. To bi bil ključen korak k celovitemu trajnostnemu razvoju na lokalni ravni.

Poseben izziv je bilo vključevanje skupine predstavnikov vseh ključnih udeležencev v proces določanja lokalnih razvojnih prioritet. Ker ni mogoče pričakovati univerzalnega poznavanja orodij za analizo odločanja z več merili, je še posebej priporočljivo uporabljati orodja, ki so čim bolj preprosta in lahko razumljiva. Zato je bil kljub opozorilu, da analitični hierarhični postopek (AHP) ne more ustrezno rešiti inherentne negotovosti in nenatančnosti, ki je povezana s preslikavo zaznav odločevalcev v numerične vrednosti [125], [126], ter da je mehki (Fuzzy) AHP (FAHP) primernejši, AHP izbran kot bolj preprosta in razumljiva metoda. Pušnik in drugi [127] prav tako opažajo, da je AHP zaradi svoje preglednosti in preprostosti v primerjavi z metodo preference rangiranja organizacije za vrednotenje obogatitve (PROMETHEE) in teorijo večatributne koristnosti (MAUT) najprimernejša metoda za analizo alternativ odločanja o proizvodnji električne energije v majhnem energetskega sistemu. Goepel [124] je prišel do podobnega zaključka.

Zaradi raziskovalne narave projekta je bila izvedba analize AHP omejena le na enega predstavnika ključnih udeležencev. Rezultati so pokazali zanimive in tudi pričakovane razlike v prioritetah trajnostnega razvoja med ključnimi udeleženci. Izkazalo se je, da je anketo treba izvajati individualno, saj bi čezmerna interpretacija in skupinsko delo lahko vodila v predlaganje subjektivnih in najbolj dominantnih pogledov na prednostne naloge razvoja, s tem pa bi izgubili pomembne podatke. Za operativno oblikovanje razvojnih strategij bi bilo treba vključiti več predstavnikov vsakega ključnega udeleženca, da bi zmanjšali vpliv osebnih preferenc. Predstavniki istih posameznih udeležencev bi lahko pristopili k analizi kot skupina.

Poglavje 5

Razvoj modela za analizo rabe energije

V začetku načrtovanja trajnostnega energetskega projekta in preizkusa njegove izvedljivosti je treba prepoznati ter poudariti pomembne procese in energetske pretvorbe, ki bodo obravnavani v njem. Prav tako je treba opredeliti vse relevantne procese, ki delujejo kot vir ali kot ponor energetskih ali materialnih tokov, in udeležence, ki so lastniki oziroma upravljalci teh procesov. S tem se določijo meje poslovnega ali družbenega okolja, ki ga zajema načrtovani trajnostni energetski projekt. Mogočih načinov za predstavitev procesov, njihovih povezav ter energijskih in materialnih tokov je več: eden od njih je predstavitev s strukturo energetskih stroškovnih centrov.

5.1 Predstavitev sistemov s strukturo energetskih stroškovnih centrov

Pri proučevanju proizvodnih procesov lahko ugotovimo, da so vplivi na okolje in onesnaževanje posledica rabe energije in obdelave materialov. Kadar se energija ali material ne uporabljata, ni vplivov na okolje. Če se raba energije in materiala optimizira, so vplivi na okolje najmanjši. Proizvodni proces je kombinacija ljudi, opreme, surovin, postopkov obdelave in omejitev, ki jih postavlja okolje. Proces je načrtovano zaporedje dejavnosti, ki potrebujejo prostor, čas, znanje, vhodne vire, ki se pretvarjajo v izhodno vrednost z dodano vrednostjo glede na vhodne vire. Dinamika vplivov med vsemi naštetimi dejavniki določa energetske učinkovitost in vplive obravnavanega procesa na okolje. Obseg izhodnih proizvodov določa vrsto in količino vplivov na okolje. Proces je tudi izvor podatkov, s katerimi lahko ovrednotimo rezultate proizvodnje, rabo virov, energetske učinkovitost in vplive na okolje [128].

Osnova gospodarjenja z energijo in vplivi na okolje je redno merjenje rabe energije in drugih virov, njihovo povezovanje s proizvodnjo in dejavnostmi v njej, izračun dejavnikov učinkovitosti in njihova primerjava z nekim standardom ali ciljno vrednostjo. Naslednji korak je decentralizacija odgovornosti za energetske učinek in skrb za okolje v proizvodni verigi ter določanje centrov odgovornosti za stroške, energetski učinek in vplive na okolje. Ker se v kontekstu gospodarjenja z energijo in okoljem stroški za energijo lahko nedvoumno določijo z merjenjem količine vsake vrste energije, ki se rabi v procesu, se ti centri odgovornosti imenujejo energetski stroškovni centri (ESC). Ta pristop omogoča tudi dodelitev odgovornosti za učinkovitost posameznega ESC izbrani osebi ali skupini ljudi [128].

Pri proučevanju procesov moramo prepoznati fizične procese ali sestavne dele energetskih in proizvodnih sklopov z vidika ponudbe in povpraševanja v proizvodnji. Za to se običajno uporabljajo procesni diagrami poteka in enopolni diagrami. Zadnji dajo sliko celotnega energetskega sistema in prikazujejo nazivne zmogljivosti, proizvodnjo, distribucijo in rabo energije v oblikah, značilnih za trenutno stanje sistema. Poenostavljeni enopolni diagram lahko imenujemo tudi diagram energijskih tokov. Procesni diagrami poteka združujejo podatke iz delovnih procesov za upravljanje proizvodnje, beležijo trenutne delovne pogoje in usmerjajo analizo v logični smeri od surovin pri vhodu, prek različnih faz proizvodnje do končnega izdelka. Prikazujejo tudi zaporedje nalog s povezanimi vhodnimi in izhodnimi vrednostmi, dejavnostmi in možnostmi za dodelitev odgovornosti. Taki diagrami ponazarjajo poenostavljeno strukturirano sliko procesov ter sestavljajo proizvodno verigo in delovni proces v podjetju. Če združimo diagram energijskih tokov in procesni diagram poteka, dobimo pomembne informacije o tem, kje, zakaj in katera vrsta energije se uporablja. Taka shema je lahko osnova za odločitev posameznih ESC. Vodilno načelo pri tem je sledenje korakom proizvodnega procesa, kot jih opredeljuje procesni diagram poteka. ESC se poskuša vzpostaviti tako, da so v skladu z mejami nadzora proizvodnje (npr. oddelki). Z vidika energetike je določitev ESC lahka, saj lahko vsak energetski

sklop obravnavamo kot svoj ESC (npr. kotlovnica, kompresorska postaja, sistem za klimatizacijo ipd.). Za določanje ESC ni postavljenih strogih pravil, treba pa je upoštevati nekaj meril, in sicer:

- proces ali dejavnost, ki potrebuje energijo, mora imeti merljivo izhodno vrednost;
- raba energije in/ali vpliv na okolje se lahko meri neposredno;
- strošek merjenja naj ne bi znašal več kot od 10 do 20 % letnih stroškov za usklajevanje ESC z zahtevami okoljske zakonodaje;
- odgovornosti za energetske učinek in vplive na okolje na posameznem področju se lahko dodelijo osebi, ki dela na tem področju ali je zanje odgovorna;
- lahko se določi standardizirano merilo uspešnosti;
- lahko se ugotovljajo realni cilji in spremlja izboljšanje učinkovitosti [128].

5.2 Model za analizo rabe energije na osnovi energetskih stroškovnih centrov

V začrtanih mejah projekta integriramo področje energetike v diagrame poteka procesov, ki so osnova za odločitve o vzpostavitvi energetskih stroškovnih centrov (ESC), temeljnih elementov celotnega modela trajnostnega energetskega projekta. Na konceptualni ravni spada pristop, ki temelji na ESC, v družino postopkov integriranega načrtovanja (angl. *process integration*) [129]. Zaradi svoje preprostosti in uspešne uporabe v številnih industrijskih aplikacijah po vsem svetu, je analiza uščipa najpogosteje uporabljena metodologija integriranega načrtovanja procesov [28], [130]. V skladu s [129] je lahko ESC kateri koli oddelek, del oddelka ali stroj, ki pretvarja veliko energije ali ustvarja pomembne vplive na okolje. S strukturo ESC lahko shematsko predstavimo materialne in energetske tokove v obravnavanem proizvodnem procesu, njihove osnovne pretvorbe in vhodno/izhodne povezave z okoljem. Struktura modela ESC je določena z zbirko signalov za vsak segment sistema. Modeliranje in integracija procesov, ki temelji na ESC, se pogosto uporabljata za izboljšanje nadzora proizvodnje, raziskave fleksibilnosti in beleženje trenutnih obratovalnih pogojev [129]. Strukturo ESC lahko uporabimo tudi za prepoznavanje vplivov posameznih delov proizvodnega procesa na okolje. Cilj načrtovanja trajnostnih energetskih projektov je tudi pozitiven vpliv na ekonomski in socialni položaj ljudi v lokalni skupnosti ob hkratnem zmanjšanju negativnih vplivov na okolje. Zato lahko struktura ESC vključuje tudi socialne in sociološke vplive trajnostnega energetskega projekta.

Shema sistema v obliki ESC je primerno izhodišče za izdelavo blokovnega diagrama prihodnjega sistema. Blokovni diagram je shematski prikaz ugotovljenih virov in ponorov energije, vseh pomembnih pretvorb energije in fizičnih povezav med njimi. Blokovni diagram pa že nakazuje obseg in strukturo prihodnjega sistema, ki ga želimo zgraditi v okviru trajnostnega energetskega projekta.

V zadnjem času se vse bolj uveljavlja pomen uporabe naprednih simulacijskih metod, ki temeljijo na integraciji ESC kot ključnih elementov za izboljšanje nadzora in optimizacijo rabe energije. Kot navajajo Sučić in drugi [131], omogoča uporaba takih simulacij natančno opredelitev energijskih tokov ter realno oceno potencialov za izboljšave v obstoječih in načrtovanih energetskih sistemih. Avtorji poudarjajo, da struktura ESC, ki vključuje razčlenitev porabe in proizvodnje energije ter njeno povezovanje z nadzornimi in analitičnimi orodji, bistveno pripomore k prepoznavanju in odpravljanju neučinkovitosti v kompleksnih urbanih energetskih omrežjih. Poleg tega je v njihovem pristopu izjemno pomembno tudi vključevanje različnih udeležencev – od upravljavcev stavb in energetskih strokovnjakov do predstavnikov lokalnih skupnosti in investitorjev. Tako sodelovanje ne povečuje le transparentnosti celotnega procesa, temveč tudi omogoča prilagoditve sistemskih rešitev glede na specifične potrebe in spremembe v okolju. Rezultati njihove raziskave jasno kažejo, da je lahko multidisciplinarni pristop, ki združuje napredne simulacije z integracijo ESC, trdna podlaga za razvoj trajnostnih in prilagodljivih energetskih sistemov, kar je ključno za uspešno implementacijo projektov naprednih energetskih skupnosti.

5.3 Prvi del študije primera: Izboljšanje energetske učinkovitosti in zmanjšanje emisij TGP

Raziskava je bila usmerjena v izboljšanje energetske učinkovitosti in zmanjšanje emisij v energetske intenzivni panogi v povezavi z lokalno skupnostjo. Proizvodnja jekla je eden od

energetsko najintenzivnejših procesov v industriji [132]. Pri določanju zunanega konteksta in prihodnjih razvojnih izzivov jeklarske industrije imajo pomembno vlogo tudi javne institucije, tako pri nadzoru razvoja novih standardov kot pri spodbujanju povpraševanja z naložbami v javno infrastrukturo in gradnjo [133].

V tretjem poglavju opisani koncept skupnega načrtovanja trajnostnih energetskih projektov in energetske infrastrukture je bil preizkušen na primeru večjega proizvajalca jekla v Sloveniji. Jeklarna in lokalni operater daljinskega ogrevanja sta zagotovila realno testno okolje in vse potrebne podatke za validacijo predlaganega koncepta. Obravnavana jeklarna je po rabi energije in vplivih na okolje med najnaprednejšimi v Evropi. Kljub temu so v velikem sistemu vedno možnosti za izboljšanje učinkovitosti. Zaradi potrebe po tržni konkurenčnosti morajo vse jeklarne sistematično in kontinuirano analizirati vse možnosti za optimizacijo proizvodnih dejavnosti in s tem povezano znižanje stroškov. Po [134] je obravnavana jeklarna na področju zmanjševanja emisij CO₂ uspešna s samo 373 kg CO₂ na tona jeklenih izdelkov v letu 2021. Ta uspeh je bil dosežen z ukrepi za izboljšanje energetske učinkovitosti delovanja in z uporabo najboljše razpoložljive tehnologije. Se vedno pa so možnosti za zmanjšanje emisij TGP z lastno proizvodnjo električne energije iz obnovljivih virov, lastno proizvodnjo zelenega vodika, za znižanje stroškov za električno energijo z uravnavanjem odjema in boljšim napovedovanjem odjema električne energije ter še posebej za zmanjšanje rabe zemeljskega plina in električne energije z uporabo odvečne toplote iz proizvodnega procesa. Del odvečne toplote bi lahko uporabili v sistemu daljinskega ogrevanja bližnje lokalne skupnosti. Obravnavana lokalna skupnost je v neposredni bližini jeklarne in šteje 21.735 prebivalcev (podatki za leto 2022). Večina stanovanjskih in poslovnih objektov uporablja za ogrevanje in pripravo sanitarne vode sistem daljinskega ogrevanja na zemeljski plin.

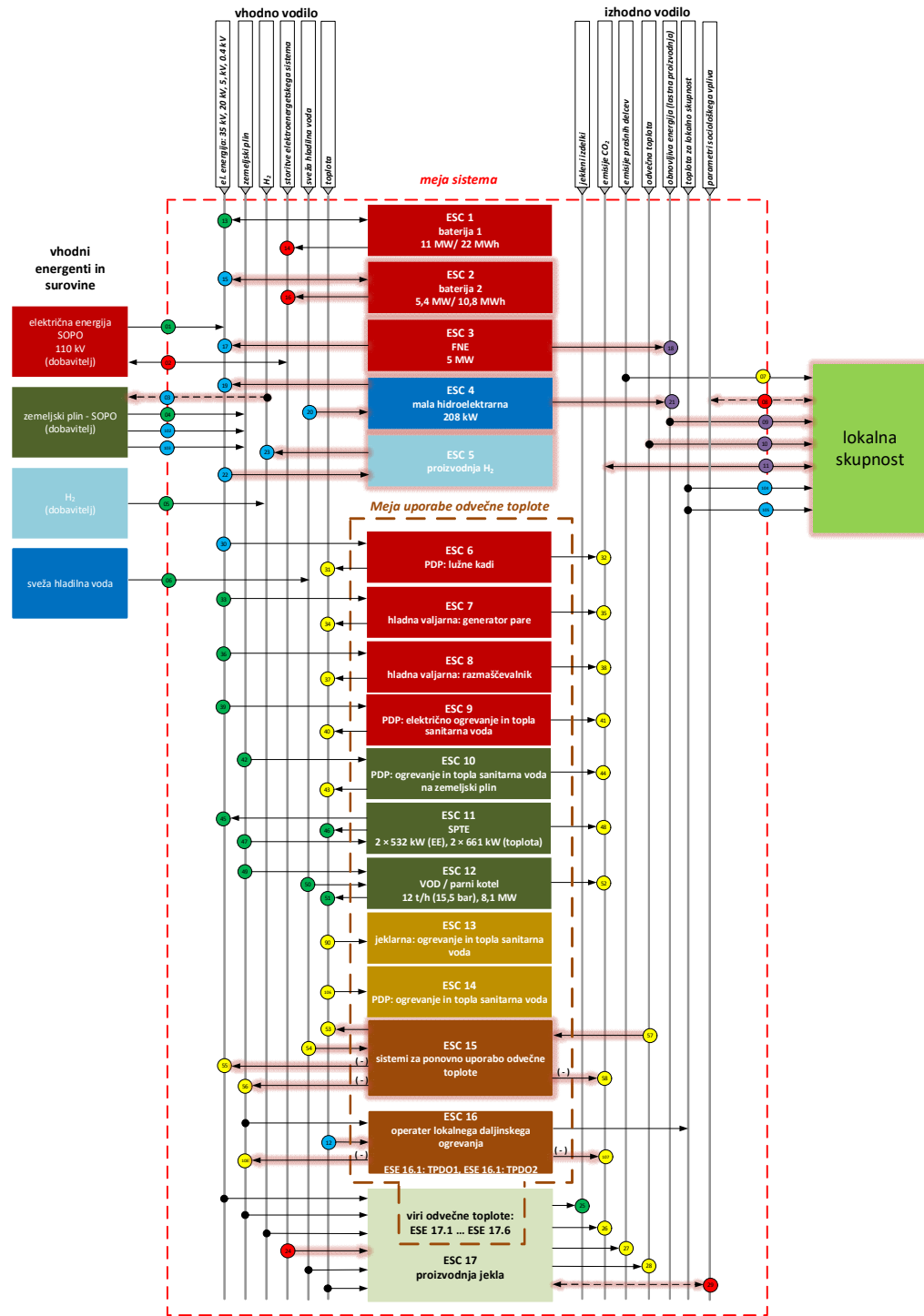
5.3.1 Opredelitev energetskih in snovnih tokov in prikaz s strukturo ESC

V začetku raziskave so bili opravljeni številni intervjuji z izbranimi predstavniki jeklarne, lokalnimi oblastmi, omrežnimi operaterji in predstavniki lokalnega prebivalstva. V procesu načrtovanja trajnostnega projekta je bila analizirana raba vseh energetskih virov, vključno z električno energijo, zemeljskim plinom, toploto in vodikom. Optimizacija proizvodnih dejavnosti je lahko še posebej uspešna, če se pri analizi stanja in iskanju mogočih izboljšav opremo na nove metodologije in drugačen, morda širši kontekst od do zdaj uporabljenih. Cilji raziskave so bili zato ti:

- preveriti možnost za lastno proizvodnjo električne energije iz obnovljivih virov (sonce, hidropotencial);
- preveriti možnost za lastno proizvodnjo zelenega vodika;
- preveriti možnost za uravnavanje odjema električne energije;
- preveriti, ali je predlagani koncept, podprt s podatki operaterja daljinskega ogrevanja, mogoče uporabiti pri nadgradnji obstoječega sistema daljinskega ogrevanja in kot orodje za podporo odločanju jeklarne o nadgradnjah proizvodnega procesa.

Na podlagi zbranih informacij je bil izdelan shematski prikaz predvidenega trajnostnega energetskega projekta, vključno s ključnimi udeleženci ter procesi energetskih in materialnih transformacij, ki so najpomembnejši za načrtovanje projekta. Izdelana shema predstavlja zeleno končno stanje in je prikazana na sliki 5.1. Tehnološki sklopi in povezave med njimi, ki jih še ni na lokaciji, so prikazani ožarjeno. Ker nastanek odvečne toplote ni vedno usklajen s potrebo po odjemu v proizvodnji in sistemu daljinskega ogrevanja, je treba v sistem dodati hranilnike toplote.

Shematski prikaz trajnostnega energetskega projekta poenostavlja sicer zelo kompleksne tehnološke sklope, kot je proizvodnja jekla, saj predmet projekta ni spreminjanje tehnološkega procesa proizvodnje. Poudarjene so ključne energijske pretvorbe, ki jih nameravamo v projektu podrobneje raziskati. Oblikovane so v elemente sheme z vhodnimi energijskimi viri (zemeljski plin in električna energija), izhodnimi energijskimi tokovi, ki so potrebni za proizvodni proces (para, vroča voda), in emisijami (CO₂, odvečna toplota, odpadne snovi, ki nastajajo v proizvodnji). Dodani so shematski elementi, ki so potrebni za delno samooskrbo z obnovljivimi viri energije (fotonapetostna elektrarna, mala hidroelektrarna, vključena v sistem oskrbe s hladilno vodo) in lastna proizvodnja zelenega vodika (deloma za lastno rabo v proizvodnji, deloma za vtiskanje v plinovodno omrežje). Uravnavanje odjema električne energije je deloma mogoče zagotoviti z usklajenim delovanjem enote za proizvodnjo vodika, deloma pa z dodanim baterijskim hranilnikom električne energije. Na shemi je prikazan tudi obstoječi baterijski hranilnik, ki sicer ni v lasti jeklarne, vendar je priključen na notranje omrežje, zato lahko pomembno vpliva na diagram odjema, hkrati pa lahko zagotavlja sistemske storitve jeklarni



LEGENDA

<p>Povezave:</p> <ul style="list-style-type: none"> → obstoječe povezave → nujne povezave za delovanje sistema za izrabo odvečne toplote → nenujne dodatne povezave <p>Okrajšave:</p> <p>SOPO – operater prenosnega omrežja, FNE – fotonapetostna elektrarna, PDP – proizvodnja debeloslojne pločevine, ESC – energetski stroškovni center, SPTE – sproizvodnja toplote in EE, VOD - Vacuum Oxygen Decarburization, ESE – energetska stroškovna enota (del ESC), TPDOx – toplotna postaja daljinskega ogrevanja x</p>	<p>Merilne točke:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● obstoječe neposredne meritve ● posredni izračun vrednosti ● prihodnje neposredne meritve ● posredni izračun prihodnjih vrednosti ● nefizikalne vrednosti (storitve, parametri sociološkega vpliva ipd.)
--	--

Slika 5.2: Materialni in energetski tokovi, predstavljeni s strukturo ESC [15].

Preglednica 5.1: Merilne točke modela za analizo rabe energije, ki temelji na ESC.

Številka MT	Opis parametra merilne točke (MT)	Enota
1	odjem električne energije iz prenosnega omrežja električne energije	MWh
2	zagotavljanje/uporaba sistemskih storitev električne energije s strani TSO	
3	lokalno proizvedeni vodik, oddan v plinsko prenosno omrežje	Nm ³
4	odjem zemeljskega plina iz prenosnega omrežja plina	Nm ³
5	dobava »sivega« vodika	Nm ³
6	pretok hladilne vode	m ³ /s
7	emisije prahu v lokalno skupnost: skupne emisije (27), zmanjšane za del, ki ostane znotraj jeklarne	kg/s
8	izboljšanje socialnega položaja v lokalni skupnosti in izboljšanje sprejemljivosti industrijske dejavnosti	
9	skupni prispevek projekta doseganju nacionalnega cilja OVE	MWh
10	neizkoriščen izpust odvečne toplote: razlika med ustvarjeno (28) in izkoriščeno (57) odvečno toploto	MWh
11	zmanjšanje emisij CO ₂ zaradi rabe odvečne toplote	t
12	toplota oddana v sistem daljinskega ogrevanja	MWh
13	odjem in oddaja električne energije baterijskega hranilnika 1 (zunanji partner)	MWh
14	zagotavljanje sistemskih storitev z baterijskim hranilnikom 1	
15	odjem in oddaja električne energije baterijskega hranilnika 2	MWh
16	zagotavljanje sistemskih storitev z baterijskim hranilnikom 2	
17	proizvodnja električne energije v fotonapetostni elektrarni	MWh
18	prispevek fotonapetostne elektrarne doseganju nacionalnega cilja OVE (= 17)	MWh
19	proizvodnja električne energije v mali hidroelektrarni	MWh
20	uporabljen pretok hladilne vode za pogon male hidroelektrarne	MWh
22	prispevek male hidroelektrarne k doseganju nacionalnega cilja OVE (= 19)	MWh
23	odjem električne energije za proizvodnjo vodika	MWh
24	proizvodnja vodika	Nm ³
25	količina proizvedenih jeklenih izdelkov	t
26	emisije CO ₂ iz proizvodnega procesa	t
27	količina prahu iz proizvodnje na podlagi obsega proizvodnje, ki povzroča emisije prahu	kg/s
28	ustvarjena odvečna toplota v proizvodnem procesu	MWh
29	izvajanje dejavnosti za izboljšanje socialnega položaja in sprejemljivosti industrije v lok. skupnosti	
30	raba električne energije za ogrevanje lužnih kadi v obratu za proizvodnjo debele pločevine	MWh
31	raba toplote v lužnih kadeh v obratu za proizvodnjo debele pločevine (= 30)	MWh
32	emisije CO ₂ zaradi rabe energije za ogrevanje lužnih kadi v obratu za proizvodnjo debele pločevine	t
33	raba električne energije za generator pare v hladni valjarni	MWh
34	toplota v obliki pare - izhod iz generatorja pare v hladni valjarni	MWh
35	emisije CO ₂ zaradi rabe energije za generator pare v hladni valjarni	t
36	raba električne energije za ogrevanje razmaščevalnika v hladni valjarni	MWh
37	toplota za ogrevanje razmaščevalnika v hladni valjarni	MWh
38	emisije CO ₂ zaradi rabe energije za ogrevanje razmaščevalnika v hladni valjarni	t
39	raba električne energije za ogrevanje prostorov in sanitarne vode v proizvodnji debele pločevine	MWh
40	toplota za ogrevanje prostorov in sanitarne vode v proizvodnji debele pločevine	MWh
41	emisije CO ₂ zaradi rabe energije za ogrevanje prostorov in san. vode v proizvodnji debele pločevine	t
42	raba zemeljskega plina za ogrevanje prostorov in sanitarne vode v proizvodnji debele pločevine	Nm ³
43	toplota za ogrevanje prostorov in sanitarne vode v proizvodnji debele pločevine	MWh
44	emisije CO ₂ zaradi rabe plina za ogrevanje prostorov in san. vode v proizvodnji debele pločevine	t

45	proizvodnja električne energije v enoti za sproizvodnjo toplotne in električne energije	MWh
46	proizvodnja toplote v enoti za sproizvodnjo toplotne in električne energije	MWh
47	raba zemeljskega plina v enoti za sproizvodnjo toplotne in električne energije	Nm ³
48	emisije CO ₂ zaradi rabe zemeljskega plina v enoti za sproizvodnjo toplotne in električne energije	t
49	raba zemeljskega plina v parnem kotlu naprave VOD	Nm ³
50	odjem vode za pripravo pare v parnem kotlu naprave VOD	kg/s
51	toplota v obliki pare iz parnega kotla naprave VOD	MWh
52	emisije CO ₂ zaradi rabe zemeljskega plina v parnem kotlu naprave VOD	t
53	skupna količina koristno uporabljene odvečne toplote	MWh
54	odjem vode za delovanje sistema za uporabo odvečne toplote (priprava pare itd.)	t
55	zmanjšanje rabe električne energije zaradi uporabe odvečne toplote	MWh
56	zmanjšanje rabe zemeljskega plina zaradi uporabe odvečne toplote	Nm ³
57	koristno uporabljena odvečna toplota	MWh
58	zmanjšanje emisij CO ₂ zaradi uporabe odvečne toplote	t
90	raba toplote za ogrevanje in sanitarno toplo vodo v jeklarni	MWh
102	raba zemeljskega plina v toplotni postaji sistema daljinskega ogrevanja Vas 1 in Vas 2	Nm ³
103	raba zemeljskega plina v toplotni postaji sistema daljinskega ogrevanja Mesto	Nm ³
104	raba toplote za ogrevanje in sanitarno toplo vodo v sistemu daljinskega ogrevanja Vas 1 in Vas 2	MWh
105	raba toplote za ogrevanje in sanitarno toplo vodo v sistemu daljinskega ogrevanja Mesto	MWh
106	raba toplote za ogrevanje in sanitarno toplo vodo v proizvodnji debele pločevine	MWh
107	zmanjšanje emisij CO ₂ zaradi uporabe odvečne toplote v sistemu daljinskega ogrevanja	t
108	zmanjšanje rabe zemeljskega plina v sistemu daljinskega ogrevanja zaradi rabe odvečne toplote	Nm ³

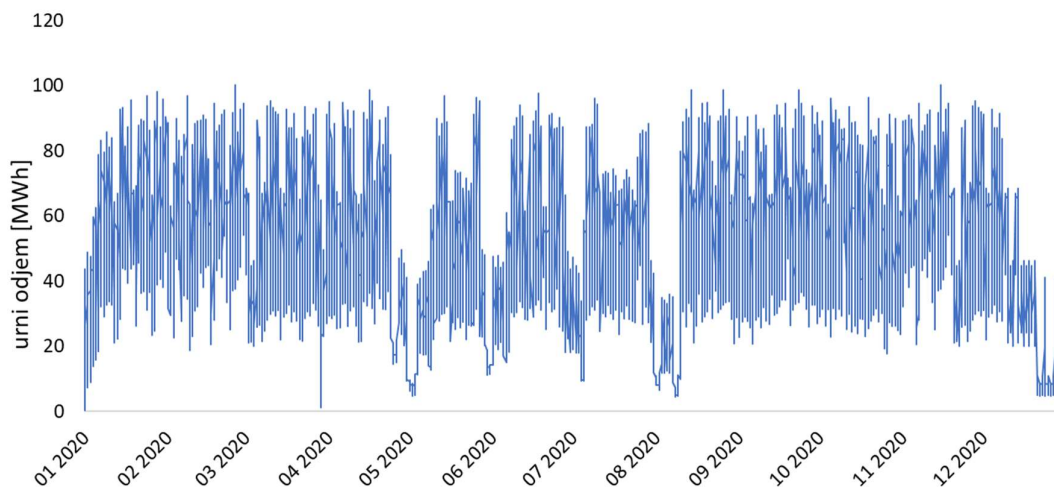
5.3.2 Proizvodnja električne energije iz obnovljivih virov in uravnavanje odjema

Raziskava je bila usmerjena v objektivno oceno potencialov OVE in oceno možnosti za neposredno rabo vse proizvedene energije na lokaciji energetske intenzivnega industrijskega objekta, kot je obravnavana jeklarna. Predlagani pristop se je razvil iz zamisli, da bi proizvodnjo električne energije iz obnovljivih virov povezali z dejansko porabo in omogočili namestitve fotonapetostnih ali malih hidroelektrarn brez povzročanja nepotrebnih stroškov za omrežje. Izvedba zahteva analizo številnih podatkov, izvedbo malih fotonapetostnih testnih objektov na izbranih strehah za objektivno oceno vpliva prahu iz proizvodnega procesa na prihodnjo proizvodnjo električne energije, oceno razpoložljivih strešnih površin v bližini obstoječih transformatorskih postaj, dejanske podatke o razpoložljivi zmogljivosti obstoječih transformatorskih postaj ter stanje omrežja z oceno potencialov za proizvodnjo in odjem proizvedene električne energije na lokaciji. Predlagani pristop podpira optimizacijo energetske učinkovitosti na podlagi tehnologij pametnega merjenja za inovativno obdelavo podatkov in uporabo znanja. Pomaga lahko tudi pri oblikovanju ustreznih poslovnih modelov z zagotavljanjem naprednih energetske storitev in pri upravljanju energije.

V raziskavi je bil ugotovljen skupni potencial za proizvodnjo električne energije iz OVE v višini 7.257,4 MWh, od tega 6.460 MWh v fotonapetostnih elektrarnah in 797,4 MWh v mali hidroelektrarni. Potencial zaradi velike rabe električne energije v proizvodnji jekla sicer predstavlja le 2,24 %, kljub temu pa ga je gospodarno in vredno izkoristiti. Podrobnosti o potencialih OVE na lokaciji jeklarne so predstavljene v poglavjih 5.3.2.2 in 5.3.2.3.

5.3.2.1 Uravnavanje odjema z baterijskim hranilnikom električne energije – ESC 1 in ESC 2

Obravnavana jeklarna je eden največjih odjemalcev energije v Sloveniji. V letu 2020 je porabila 323.442 MWh električne energije. Skupaj s preostalo jeklarsko industrijo sestavlja enotno bilančno skupino. Letni profil električne energije te bilančne skupine je prikazan na sliki 5.3. Letna raba električne energije bilančne skupine je bila leta 2020 478.617 MWh z izmerjeno konično močjo 120,4 MW.



Slika 5.3: Raba električne energije v bilančni skupini slovenskih jeklarn v letu 2020.

Ena izmed pomembnejših nalog energetskih menedžerjev jeklarne je minimiziranje stroškov odstopanj bilančne skupine od napovedi odjema. Poleg natančnejšega načrtovanja odjema, ki pa je zaradi posebnosti in kompleksnosti tehnološkega procesa velik izziv, je ena od rešitev za zmanjšanje odstopanj tudi namestitev velikega baterijskega hranilnika električne energije. Na notranje omrežje jeklarne je že priključen baterijski hranilnik zunanjega partnerja. Na sliki 5.2 je predstavljen z ESC 1. Merjenje izmenjave električne energije z omrežjem je označeno z MT 13, evidenca sistemskih storitev, ki jih lastnik prodaja na trgu, pa z MT 14. Lastnik bi lahko storitve izravnave ponudil tudi jeklarni.

V raziskavi je bila izvedena simulacija zmanjšanja stroškov izravnave z vgradnjo baterije v lasti jeklarne, ki je na sliki 5.2 predstavljena z ESC 2. Merjenje izmenjave električne energije z omrežjem je označeno z MT 15, evidenca sistemskih storitev, ki jih jeklarna lahko prodaja na trgu ali uporabi za lastno izravnavo odstopanj, pa z MT 16. Uporaba storitev izravnave (lastnih ali pridobljenih na trgu storitev) je evidentirana z MT 24. Skupna električna bilanca, izračunana pri 15-minutnem intervalu, je 116.733,6 MWh. Količina se izračuna kot razlika med 15-minutno rabo električne energije in napovedanimi vrednostmi v enournem intervalu. Simulirane mesečne razlike TAPE so bile v razponu od 22,9 do 27,0 % (TAPE je ime dobil po mehanskih trakovih s podatki o trenutnih cenah in borznem prometu, ki so se uporabljali na borzah konec 18. stoletja in v začetku 19.). V simulaciji so bili upoštevani ti parametri baterijskega hranilnika:

- razmerje C (C-rate): 0,5,
- učinkovitost polnjenja/praznjenja: 85 %,
- globina praznjenja: 0,60 (od 0,20 do 0,80),
- izračuni za dve zmogljivosti hranilnika: 10,8 MWh in 22,0 MWh.

Naloga baterijskega hranilnika je minimiziranje razlike med napovedano in dejansko rabo električne energije. V prvem primeru je bil uporabljen hranilnik z zmogljivostjo 10,8 MWh. Simulacija je pokazala zmanjšanje odstopanj na 89.421,4 MWh ali 23,4 % v primerjavi s primerom brez hranilnika. Mesečni TAPE se je gibal med 17,2 in 21,3 %. V primeru uporabe večjega hranilnika (22,0 MWh) se odstopanja zmanjšajo na 68.280,4 MWh, kar pomeni relativno zmanjšanje za 41,5 % glede na stanje brez hranilnika. Realizirani mesečni TAPE bi bil v primeru večjega hranilnika med 12,8 in 17,1 %.

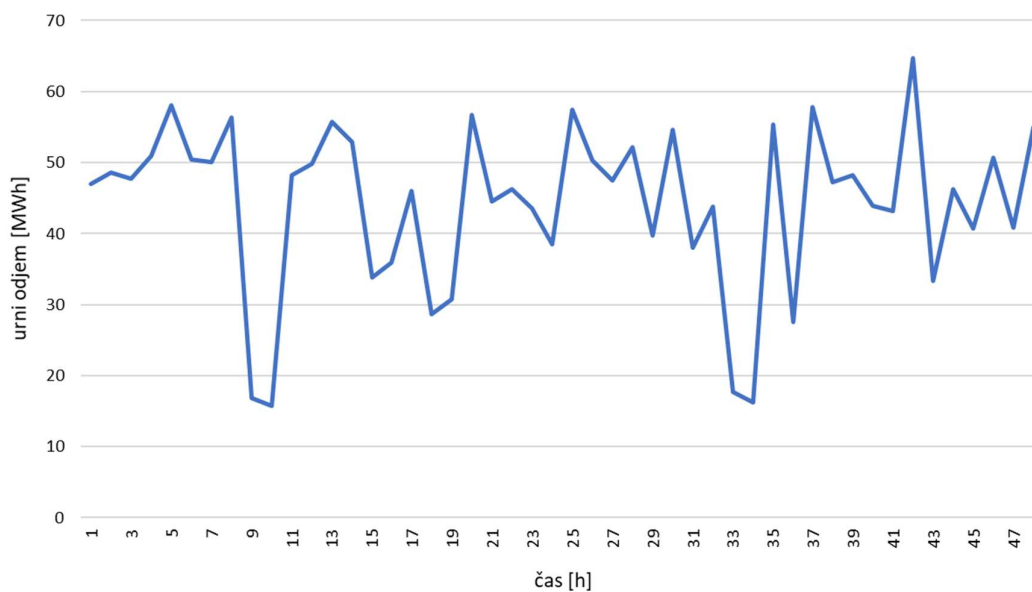
Simulacija vgradnje baterijskega hranilnika je pokazala njegovo uporabno vrednost, ekonomičnost postavitve pa je odvisna od gibanja cen električne energije na dnevnem trgu in investicijskih in od vzdrževalnih stroškov.

5.3.2.2 Fotonapetostna elektrarna – ESC 3

Geografski položaj jeklarne je najprimernejša lokacija za postavitve velikih strešnih fotonapetostnih elektrarn (FNE) na področju predmetne lokalne skupnosti. Jeklarna je neposredno priključena na prenosno elektroenergetsko omrežje na napetostni ravni 110 kV. Električna

energija se na območju jeklarne distribuira prek 27 transformatorskih postaj, v uporabi so ravni 35 kV, 20 kV, 5 kV in 0,4 kV. Tipičen dnevni obremenilni diagram jeklarne (slika 5.4) kaže, da bi lahko v vsakem trenutku lokalno porabili vso električno energijo, ki bi bila proizvedena v FNE z močjo do 18 MW. Glede na razpoložljive strešne površine je realna postavitev FNE z močjo do 5 MW. To pomeni, da ne bi bila potrebna dodatna ojačitev prenosnega omrežja niti s tem povezani stroški za operaterja prenosnega omrežja (TSO) in distribucijski sistem, saj je jeklarne priključena na prenosno omrežje. Na sliki 5.2 je FNE z močjo 5 MW predstavljena z ESC 3. Predvideno je merjenje proizvedene električne energije (MT 17), celotna proizvodnja pa se evidentira tudi kot lastna proizvodnja energije iz obnovljivih virov (MT 18).

Jeklarne bi s postavitvijo FNE dodatno izboljšala svojo podobo v lokalni skupnosti in bi lokalnim udeležencem lahko ponudila zanimive naložbene priložnosti, če bi vsaj del zmogljivosti FNE namenila za ustanovitev »skupnosti OVE« in članstvo ponudila lokalnim prebivalcem, zaposlenim ter lokalnim malim in srednje velikim podjetjem. Čeprav bi FNE lahko pokrila le del lastnih potreb, bi vključitev lokalnih deležnikov prispevala k boljši družbeni sprejemljivosti jeklarne, blažitvi okoljskih vplivov ter pravičnejši razdelitvi koristi iz obnovljivih virov. Ta pristop je tudi popolnoma v skladu z NEPN, v katerem so energetske skupnosti prepoznane kot instrument za omogočanje trajnostnega urbanega energetskega prehoda in boljšega povezovanja energetske intenzivne industrije z lokalnimi energetske sistemi.



Slika 5.4: Tipični urni diagram rabe električne energije jeklarne.

Industrijska okolja imajo svoje posebnosti, ki jih moramo upoštevati pri načrtovanju gradnje velikih FNE. Velike naložbe zahtevajo obvladovanje poslovnih tveganj in morajo biti v skladu z naložbeno politiko družbe. V velikih industrijskih območjih obstaja veliko možnosti za namestitev FNE, zato je treba najti najboljše lokacije. Upoštevati je treba vidik stroškov investicije, primernost lokacije z vidika sončnega obsevanja in vpliva emisij prašnih delcev na proizvodnjo električne energije, potrebo po vzdrževanju, zlasti čiščenju, in možnosti za zmanjšanje pogostosti čiščenja.

Raziskave vpliva prahu na proizvodnjo električne energije

Eden od ciljev raziskave je bil proučitev vpliva industrijskega okolja na proizvodnjo FNE. Tri majhne testne FNE so bile postavljene na različnih lokacijah (na strehah dveh proizvodnih hal in ene upravne stavbe). Vsaka testna FNE je bila sestavljena iz:

- dveh enakih PV-modulov (Canadian Solar CS6K-280P 280 Wp),
- dveh enakih mikroinverterjev (ENPHASE IQ 7 + (290 W),
- dveh naprednih merilnikov električne energije (Landis + MC Iskra),
- nosilne konstrukcije za dva modula (nagib 21°, smer jug) in
- elektro omarice z vsemi potrebnimi elementi.

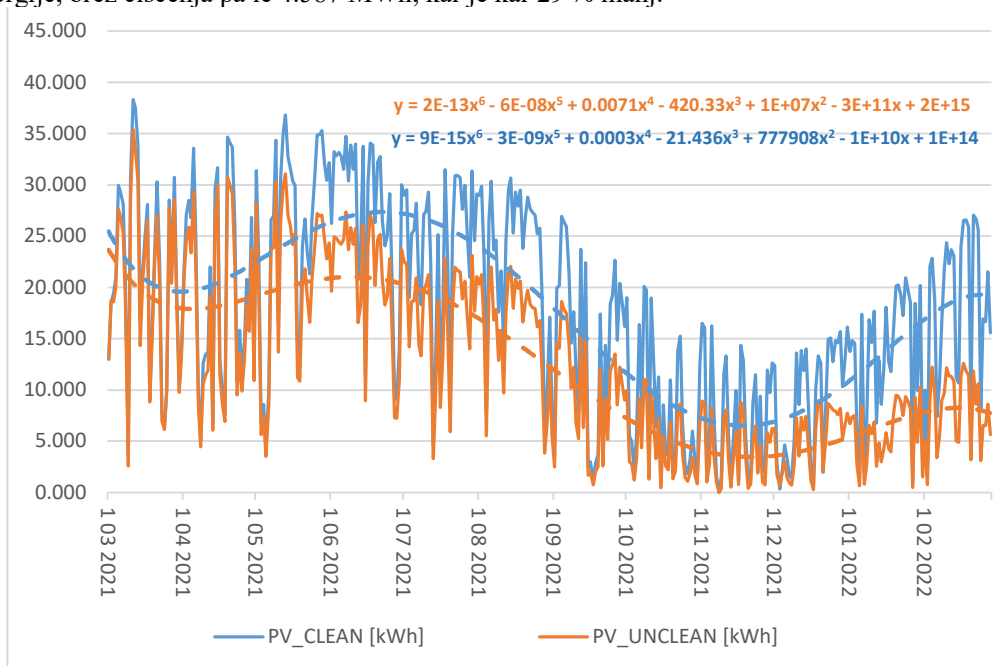
Ena od lokacij je bila opremljena tudi z meteorološko postajo s senzorji temperature, tlaka in sončnega sevanja. Raziskan je bil vpliv industrijskega okolja na mikrolokacijah in izvedena primerjava ustreznosti lokacij za postavitev velikih FNE. Raziskava je bila izvedena v treh korakih:

1. referenčno obdobje: oba testna fotonapetostna panela sta bila čiščena trikrat tedensko; v tem času ni bilo zaznanih odstopanj v proizvodnji električne energije, kar je potrdilo primernost testnega okolja;
2. testno obdobje: izvedeno je bilo stalno čiščenje le enega panela; čiščenje je potekalo trikrat tedensko in je trajalo leto in pol; v testnem obdobju so bili zbrani vzorci prahu in opravljene kemične analize in analize z elektronsko mikroskopijo;
3. obdobje čiščenja po testnem obdobju: najprej sta bila očiščena oba testna panela; v mesecu dni sta bila oba panela očiščena trikrat na teden; protokol čiščenja je bil izveden za potrditev možnosti čiščenja neočiščenega fotonapetostnega panela in preverjanje morebitne degradacije panela zaradi nabiranja prahu (v letu in pol).

Med raziskavo so se vsi podatki in opažanja zbirali v sistemu upravljanja energije. Pridobljeni so bili pomembni podatki za izvedbo različnih analiz, ki so dale te odgovore:

- kakšen je vpliv okolja na mikrolokacijo in kakšna zahtevana obdobja čiščenja za vzdrževanje zelene učinkovitosti FNE;
- kje je glavni vir prašnih delcev na širšem območju jeklarne;
- kakšna je sončna obsevanost posameznih lokacij in pričakovani donos FNE;
- kakšen je vpliv prašnih delcev na proizvodnjo električne energije v bližini glavnega vira prašnih delcev (podrobnosti v nadaljevanju);
- po letu in pol ni bilo mogoče zaznati degradacije panela zaradi nabiranja prahu, saj po obdobju enakega čiščenja obeh testnih panelov ni bilo več mogoče zaznati odstopanj v proizvodnji električne energije.

Na podlagi meritev testne FNE s čiščenim in nečiščenim modulom je bila narejena simulacija proizvodnje FNE z močjo 5 MW. Rezultati enoletnih meritev so prikazani na sliki 5.5. Vidijo se razlike v proizvodnji med moduloma, ki so po vsakem močnejšem deževju nekoliko manjše, vendar se dolgoročno postopno večajo. Če bi module redno čistili, bi elektrarna z močjo 5 MW na izbrani lokaciji od 1. marca 2021 do 28. februarja 2022 proizvedla 6.460 MWh električne energije, brez čiščenja pa le 4.587 MWh, kar je kar 29 % manj.



Slika 5.5: Vpliv prašnih delcev na proizvodnjo električne energije testne FNE.

Ker so rezultati raziskave pokazali, da nabiranje prahu na fotonapetostnih panelih na testni lokaciji blizu glavnega vira prašnih delcev pomembno vpliva na proizvodnjo električne energije, so bile izvedene dodatne raziskave vpliva nanopremaza fotonapetostnega panela, s katerim naj bi se preprečilo oziroma zmanjšalo nabiranje prahu na panelu. Preizkus je potekal v teh korakih:

1. oba testna panela sta bila čiščena, potrjena je bila enaka učinkovitost obeh panelov;
2. na en testni panel je bil nanesen nanopremaz,
3. spremljanje proizvodnje električne energije obeh sistemov brez čiščenja v letu dni.

V enoletnem testiranju ni bilo mogoče zaznati pomembnih razlik v proizvodnji električne energije med panelom, zaščitenim z nanopremazom, in nezaščitenim panelom. Za prašne delce na lokaciji preizkusa izbrani nanopremaz ne omogoča zaščite pred nabiranjem prahu oziroma ne povečuje zmožnosti samočiščenja z dežjem.

Omenjeni rezultati in druge tehnične študije so pomagali pri izbiri prednostnih lokacij za investicije v FNE. Prva FNE z močjo 166 kW je bila priključena leta 2023.

5.3.2.3 Mala hidroelektrarna – ESC 4

Obravnavana jeklarna potrebuje za svoje delovanje velike količine hladilnega medija – vode. Leži ob vznožju gorske verige, ki je bogata z vodnimi viri. Na enem od potokov je zgrajen akumulacijski bazen, ki skupaj s tlačnim cevovodom in potrebnimi napravami zagotavlja stabilen in stalen vir hladilne vode. Pri gradnji malih hidroelektrarn sta umestitev v prostor in izgradnja infrastrukture največja izziva, zato je bila v raziskavo vključena proučitev možnosti za postavitev male hidroelektrarne (mHE) na sistemu za zagotavljanje hladilne vode. Na sliki 5.2 je mHE predstavljena z ESC 4. Predvideno je merjenje proizvedene električne energije (MT 19) in pretoka hladilne vode (MT 20), celotna proizvodnja pa se evidentira tudi kot lastna proizvodnja energije iz obnovljivih virov (MT 21).

Med akumulacijskim bazenom z zmogljivostjo 12.000 m³ in jeklarno je 50 m višinske razlike, kar zadošča za postavitev mHE. Del vode se trenutno uporablja v tehnološke namene, preostala voda se preliva v strugo bližnje reke. Strojnica mHE bi bila umeščena nad prvi bazen hladilne vode, s čimer bi se popolnoma izkoristil razpoložljiv hidropotencial. Maksimalni pretok vode je 550 l/s. Z upoštevanjem izkoristka sistema 0,77 je teoretični potencial 208 kW. Glede na hidrologijo bi mHE lahko obratovala 7.000 ur letno, kar pomeni proizvodnjo 1.454 MWh električne energije.

5.3.3 Proizvodnja zelenega vodika – ESC 5

Primarni cilj načrtovane proizvodnje zelenega vodika je pokrivanje lastnih potreb v proizvodnem procesu jeklarne, sekundarni pa vtiskanje določene količine zelenega vodika v plinovodno omrežje. Na sliki 5.2 je proizvodnja vodika predstavljena z ESC 5. Predvidene so meritve rabe električne energije (MT 22) in proizvedene količine vodika (MT 23). Z merjenjem oddaje vodika v plinovodno omrežje (MT 03) bi zagotovili tudi podatek o trenutni rabi vodika v proizvodnem procesu.

Zeleni vodik je prepoznan kot pomemben element prihodnjega razogljčenja sistema zemeljskega plina. Prav tako ima lahko pozitivno vlogo pri razogljčenju lokalnega javnega prevoza. Slovenija v skladu z NEPN do leta 2030 načrtuje do 10-odstotno povečanje deleža obnovljivih plinov v svojem sistemu zemeljskega plina. V tem kontekstu je lokalna proizvodnja zelenega vodika ključnega pomena, zlasti na vozliščih elektroenergetskega in plinovodnega omrežja, kamor spada tudi obravnavana jeklarna. Slovenija načrtuje oblikovanje močne podporne sheme za proizvodnjo zelenega vodika in sintetičnega metana. Prva ocena potencialov za lokalno proizvodnjo zelenega vodika je pokazala, da je projekt zanimiv za največjega slovenskega trgovca z zemeljskim plinom. Jeklarna trenutno kot tehnični plin v proizvodnem procesu uporablja tako imenovani »sivi²« vodik. Njegova letna poraba je okoli 30 ton. Proizvodnjo vodika bi bilo mogoče uporabiti tudi kot aktivno breme za izravnavo rabe električne energije (za lastno bilančno skupino) ali izvajanje sistemskih storitev za operaterja prenosnega omrežja oziroma njihovo prodajo na trgu s požnostjo.

Za optimalno delovanje proizvodne enote bi bilo treba oceniti proizvodni potencial zelenega vodika na podlagi dejanske potrebe po vodiku v proizvodnji in razpoložljive absorpcijske zmogljivosti nacionalnega prenosnega omrežja zemeljskega plina na lokaciji. Na odločitev o investiciji v lastno proizvodnjo vodika bodo med drugim vplivale tudi te pomembne okoliščine in izzivi, ki so bili prepoznani v fazi načrtovanja trajnostnega energetskega projekta:

² Sivi vodik je vodik, pridobljen iz fosilnih goriv (najpogosteje zemeljskega plina) s postopkom parne reformacije, pri čemer se kot stranski produkt sprošča ogljikov dioksid, ki ni zajet ali uporabljen.

- Kakšno bo prihodnje gibanje cen tehnološke opreme za proizvodnjo vodika?
- Kakšna je največja urna količina vodika, ki se lahko na lokaciji jeklarne vtisne v nacionalno omrežje zemeljskega plina?
- Kakšne so državne podpore za tovrstne projekte?
- Kateri je najprimernejši poslovni model za izgradnjo demonstracijskega objekta?
- Katere okoljske in varnostne zahteve morajo biti izpolnjene pri postavitvi enote za proizvodnjo vodika?
- Kakšne so možnosti za razvoj (lokalnega) trga z vodikom, tudi v zvezi z uporabo vodika v prometu?

5.3.4 Ponovna uporaba odvečne toplote v energijsko intenzivni proizvodnji in uporaba v sistemu daljinskega ogrevanja – od ESC 6 do ESC 17

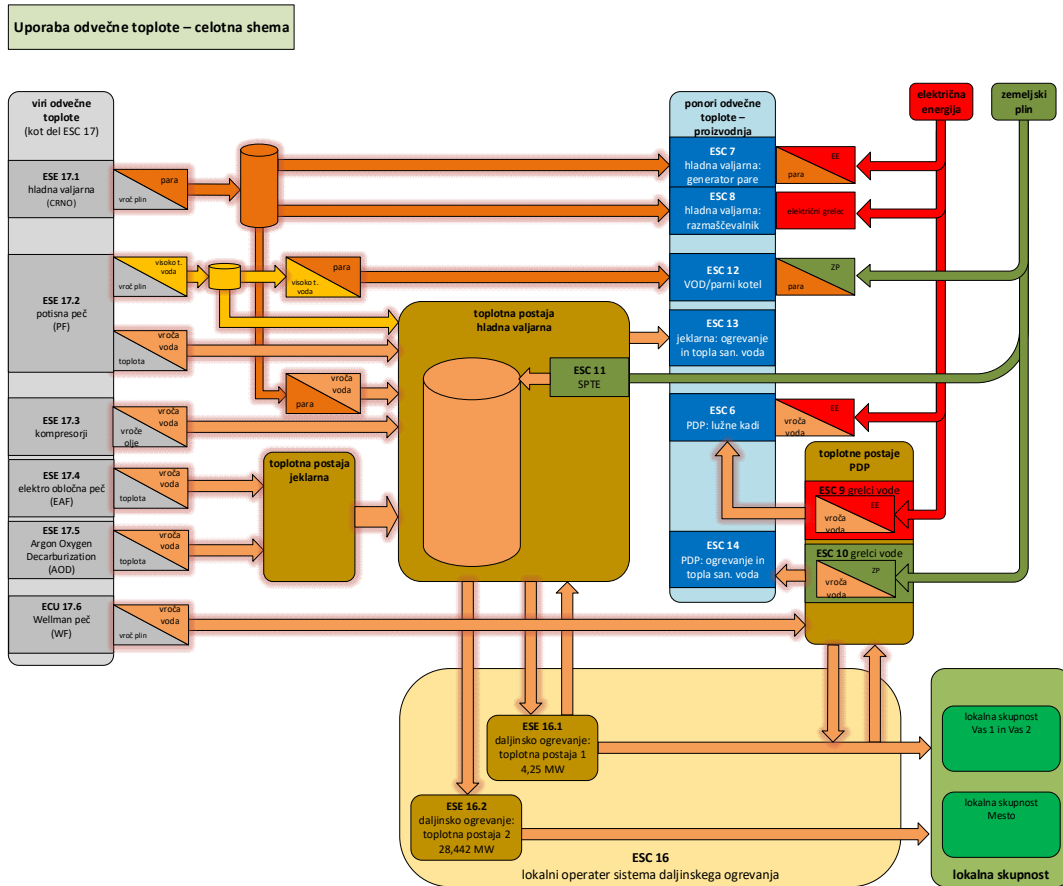
Glavni cilj raziskave je bil analizirati možnost uporabe odvečne toplote iz energetske intenzivne proizvodnje v sistemu daljinskega ogrevanja in ponovne uporabe odvečne toplote v proizvodnji. Z vidika operaterja sistema daljinskega ogrevanja so tudi druge možnosti za nadgradnjo obstoječega sistema daljinskega ogrevanja. Sedanji sistem temelji predvsem na soproizvodnih enotah na zemeljski plin, ki bi jih lahko nadomestili s soproizvodnimi enotami na biomaso ali toplotnimi črpalkami. Z vidika energetske učinkovitosti, ki je prvo načelo slovenskega NEPN, je uporaba industrijske odvečne toplote najvišja prioriteta in jo je treba upoštevati, kadar koli je to ekonomsko upravičeno. Da bi podprl tovrstno povezovanje sektorjev, slovenski NEPN [17] zagotavlja obsežen sklop političnih instrumentov in pobud, ki podpirajo sodelovanje med energetske intenzivnimi podjetji in ponudniki daljinskega ogrevanja. V tem okviru bodo naložbe v omrežje daljinskega ogrevanja podprte z državnimi spodbudami. Žal bodo morale energetske intenzivne panoge v sedanjem okviru energetske politike naložbe upravičiti z dodatnimi prihodki od prodaje odvečne toplote, kar je lahko velika ovira za obsežnejšo uvedbo. Obetavno pa je dejstvo, da v Sloveniji že obstaja projekt uporabe odvečne toplote, ki je rezultat neposrednega sodelovanja operaterja sistema daljinskega ogrevanja in energetske intenzivne industrije brez dodatne podpore ali subvencije države ali lokalne skupnosti [135].

Za uporabo odvečne toplote so zanimivi ESC, ki so potencialni kandidati za delno ali popolno zamenjavo vhodnega energenta z odvečno toploto. Na sliki 5.2 so označeni z rjavo črtkano črto. Sistemi od ESC 6 do ESC 14 zagotavljajo toploto v različnih oblikah (vroča voda, para) za proizvodni proces (ESC 17). To toploto lahko delno ali v celoti nadomestimo z odvečno toploto, pridobljeno v dodanem ESC 15, ki je sklop naprav in sistemov za zajem odvečne toplote. Viri odvečne toplote, ki so bili zajeti v raziskavo, lahko zagotovijo visokotemperaturno toploto v obliki vroče vode ali pare. To odvečno toploto je mogoče vrniti v proizvodni proces in/ali oddati v sistem daljinskega ogrevanja (ESC 16). Visokotemperaturna odvečna toplota, oddana v lokalni sistem daljinskega ogrevanja, lahko delno nadomesti zemeljski plin, ki se trenutno uporablja za proizvodnjo toplote, s čimer operaterju in vsem potrošnikom zagotovi energetske, okoljske in stroškovne koristi. Delež nizkotemperaturne odvečne toplote v skupni bilanci uporabne odvečne toplote je približno 6 %. Predvideno je, da bo izkoriščena v okviru proizvodnega procesa. Nova shema vključuje tudi vire odvečne toplote kot del proizvodnega procesa (ESC 17), ki so na sliki 5.2 predstavljeni kot energetske stroškovne enote (od ESE 17.1 do ESE 17.6).

5.3.4.1 Obseg in struktura modela prihodnjega sistema za uporabo odvečne toplote

Na podlagi strukture ESC (meja uporabe odvečne toplote na sliki 5.2) je bila oblikovana shema povezav med viri in ponori odvečne toplote v obliki blokovnega diagrama, ki je prikazan na sliki 5.6.

V predstavljenem primeru je bilo ključno raziskati časovno usklajenost posameznih potencialnih virov in ponorov odvečne toplote glede na razpoložljivo moč, prostorsko razporeditev virov in ponorov in razpoložljivost že zgrajene infrastrukture. Zato je bil na podlagi predstavljenega blokovnega diagrama razvit model za analizo potenciala za uporabo odvečne toplote iz industrijskih procesov, ki je predstavljen v poglavju 6.



Slika 5.6: Blokveni diagram obravnavanega sistema za uporabo odvečne toplote [15].

Poglavje 6

Razvoj modela za analizo potenciala odvečne toplote iz industrijskih procesov

Pri modeliranju sistemov, ki povezujejo več energetskega sektorjev, se soočamo z zelo kompleksnimi, multivariabilnimi sistemi. Vsak najmanjši del tako kompleksnega sistema je nelinearen in časovno spremenljiv podsistem, zaradi česar uporaba matematičnoanalitičnih postopkov praktično ni mogoča. Kompleksen realni sistem je torej treba predstaviti v obliki modela, ki ga je mogoče uporabiti za izvajanje simulacij na podlagi preteklih merilnih podatkov. Modeliranje mora temeljiti na načelu modularnosti. Pri zelo kompleksnih realnih sistemih je še posebej pomembno določiti dovolj ozek namen modela, ki bo omogočal izpolnitev osnovnih pričakovanj in bo hkrati dovolj preprost za izvedbo.

6.1 Modularnost modela

Modeliranje po načelu modularnosti pomeni predstavitev kompleksnejših delov sistema v obliki podsestavov, ki se razvijajo in proučujejo ločeno, nato pa združujejo v kompleksnejše strukture. Taka modularna struktura nam omogoča proučevanje procesnih spremenljivk na vhodih/izhodih posameznih modulov in povečuje preglednost celotne strukture. Vsakršno modeliranje realnih sistemov temelji na številnih predpostavkah in poenostavitvah, ki pa morajo kljub temu čim bolj verodostojno predstavljati tiste lastnosti realnega sistema, ki so ključne za uporabo modela. Zato je v začetku treba opredeliti vprašanja, na katera želimo odgovoriti z rezultati simulacij. Kompleksnost modela je večinoma odvisna od zahtevnosti in obsega problematike. S takim modelom najdemo odgovore na omejen nabor vprašanj. Za iskanje odgovorov na podrejena vprašanja model po potrebi nadgradimo, pri čimer nam je v pomoč modularna zgradba modela.

6.1.1 Določitev ciljev modela

Določitev ciljev modela je iterativni proces, ki temelji na načelu od zgoraj navzdol. Izvedba modela običajno zahteva precejšnje poenostavitve osnovnih gradnikov modela. Ta mora izpolnjevati osnovne zahteve, pri tem pa zanemariti vse druge podrobnosti, ki bi otežile ali celo onemogočile preglednost celotne strukture. Celoten model sistema je treba zgraditi v obliki blokovnega diagrama prenosnih funkcij.

V primeru, predstavljenem v poglavju 5.3, smo na primer potrebovali odgovore na vprašanja v zvezi s časovnimi diagrami posameznih potencialnih virov in ponorov glede na razpoložljivo moč, prostorsko razporeditev virov in ponorov in razpoložljivost že zgrajene infrastrukture:

- Kateri ponori odvečne toplote so na voljo oziroma kje bi lahko rabo električne energije ali zemeljskega plina nadomestili z rabo odvečne toplote?
- Kateri viri odvečne toplote so na voljo (smiselno je razmisliti o večjih virih, ki imajo dolgoročno razpoložljivost)?
- Kakšna je časovna usklajenost posameznih virov in ponorov, predvsem tistih, ki so fizično blizu in pri katerih že obstaja vsaj del infrastrukture za njihovo uporabo?
- Kakšna mora biti prioriteta posameznih ponorov glede na razpoložljivost toplote na posameznih točkah sistema?
- Kakšna naj bo optimalna razporeditev sistemskih vozlišč s hranilniki toplote, pri katerih virih se toplota dodaja in iz katerih se oskrbujejo posamezni ponori?
- Kakšna je občutljivost pokrivanja potreb po toploti glede na predvidljiva nihanja v proizvodnji in s tem občutljivost na razpoložljivost odvečne toplote?

- Za katere ponore je treba ohraniti obstoječe vire toplote ali zaradi občutljivosti posameznega ponora z vidika proizvodnega procesa ali zaradi nezadostne razpoložljivosti ustreznih virov odvečne toplote?
- Katere parametre proizvodnega procesa, ki so ključni za simulacijo uporabe odvečne toplote, je mogoče meriti v realnem času (on-line merjenje 15-minutnih povprečij temperature, pretoka, rabe primarne energije ...) in za katere je treba uporabiti zgodovinske vrednosti meritev?
- Kakšni so parametri prenosnih funkcij posameznih gradnikov modela, ki opisujejo razmere v ustaljenem stanju, in kakšne so ključne časovne zakasnitve, prisotne v realnem sistemu?
- Kakšne so približne zmogljivosti hranilnikov, ki jih je treba namestiti v vozlišča sistema?
- Kakšne prihranke emisij CO₂ in primarne energije lahko dosežemo s posameznim virom odvečne toplote?

Osnovna struktura modela mora torej omogočati analizo potenciala pokrivanja potreb po toploti glede na razpoložljive vire odvečne toplote.

6.2 Modeliranje sestavnih delov modela

Poenostavljeni modeli osnovnih gradnikov morajo ustrezati ciljem modela, zanemarjajo pa vse druge podrobnosti. Model mora biti kar najbolj preprost, hkrati pa omogočati iskanje odgovorov na ključna vprašanja, ki so izhodišče za načrtovanje modela.

6.2.1 Modeliranje pretvornikov in sistemov za prenos in shranjevanje toplote

V tej fazi odločanja nas zanima predvsem časovna dinamika sistema, zato moramo poznati časovno dinamiko osnovnih gradnikov modela. Analitični pristop, ki upošteva vse fizikalne lastnosti sistema, notranja stanja in povezave med njimi, ki pogosto niso popolnoma znane, običajno odpove že pri precej preprostih elementih sistema. Zato je primernejša eksperimentalna analitična pot. Z analitično primerjavo vhodnega in izhodnega signala in prehoda iz časovnega prostora v prostor kompleksne frekvence določimo Laplaceovo prenosno funkcijo (2) sistema, pri čemer je s kompleksna frekvenca ($s = \alpha + j\omega$):

$$G(s) = \frac{X_{out}(s)}{X_{in}(s)} \quad (2)$$

Vsako modeliranje temelji na določenih predpostavkah in poenostavitvah realnih sistemov. Glede na zahteve modela za uporabo odvečne toplote predvidevamo, da lahko dinamiko vseh elementov modela zadovoljivo opišemo s prenosnima funkcijama proporcionalnega sistema z zakasnitvijo prvega reda (3) (angl. *First Order delay* – FO) in proporcionalnega sistema z zakasnitvijo prvega reda in mrtvim časom (4) (angl. *First Order delay with Dead Time* – FODT).

$$G_{FO}(s) = \frac{Kp}{Ts + 1} \quad (3)$$

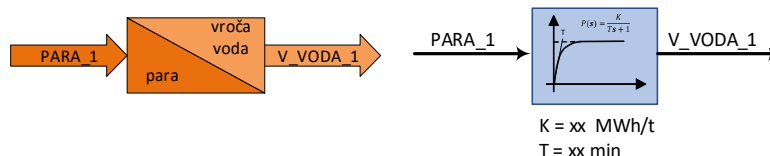
$$G_{FODT}(s) = \frac{Kp}{Ts + 1} e^{-T_d s} \quad (4)$$

Definicije parametrov prenosnih funkcij so navedene spodaj (5).

$$Kp = \frac{X_{out}(\text{ustaljeno st.})}{X_{in}(\text{stopnica})}; \quad t = T \rightarrow X_{out} = 63,2 \% X_{out}(\text{ustaljeno stanje}); \quad T_d = \text{mrtvi čas} \quad (5)$$

Delovanje sistema FO določata parametra Kp in T . Kp ponazarja ojačenje sistema v ustaljenem stanju, T pa časovno konstanto sistema. V času T od začetka stopenjske spremembe na vходу vrednost izhodnega signala doseže 63,2 % končne vrednosti. Parameter Kp se določi na podlagi znanih pretvorbenih faktorjev med posameznimi vrstami energentov in ob upoštevanju pričakovanih izkoristkov oziroma izgub pri pretvorbi oziroma prenosu toplotne energije. Časovno konstanto T določimo z merjenjem časovnega odziva sistema na stopnico, sicer pa na podlagi

preteklih merilnih podatkov ali izkustveno z opazovanjem realnega sistema. Za ponazoritev pristopa lahko uporabimo primer pretvornika pare v vročo vodo (slika 6.1).



Slika 6.1: Pretvornik energije in njegov prikaz s prenosno funkcijo.

Če sistema še ni v realnem procesu, moramo njegove značilnosti prevzeti na podlagi podobnih, znanih sistemov. Vemo, da je latentna toplota vode pri 100 °C za uparjanje približno 2260 MJ/t, torej lahko iz tone vodne pare pri 100 °C dobimo $(2,26 \text{ GJ/t}) / (3,6 \text{ G J/MWh}) = 0,628 \text{ MWh}$ energije. V primeru 90-odstotne učinkovitosti pretvorbe dobimo:

$$Kp = 0,628 \text{ MWh} * 90 \% = 0,565 \left[\frac{\text{MWh}}{t} \right] \quad (6)$$

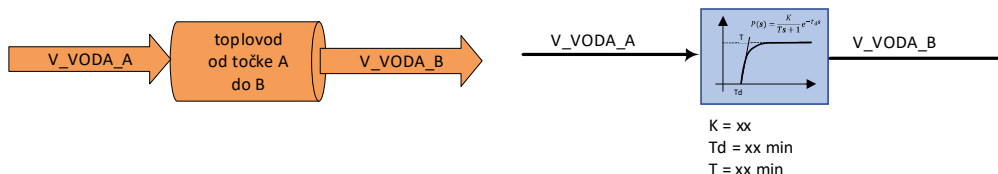
Toliko pare lahko v stacionarnem stanju pričakujemo pri izhodu. Predvidevamo, da pretvornik po treh minutah delovanja doseže 63,2 % pričakovanega izhoda. Če je čas vzorčenja vseh vhodnih spremenljivk npr. 15 min, v modelu kot časovno enoto (T_s) uporabljamo 15 min. Zato moramo vrednosti časovnih konstant deliti s T_s :

$$T_s = 15 \text{ min}; \quad T = \frac{3 \text{ min}}{T_s} = 0,2 \quad (7)$$

V modelu zapišemo parametre K_p brez enot, vendar moramo vedeti, kaj fizikalno predstavljata vhod v sistem (para) in izhod iz njega (energija vroče vode). Prenosna funkcija pretvornika je:

$$G(s) = \frac{0,565}{0,2s + 1} \quad (8)$$

Uporabo prenosne funkcije FODT lahko ponazorimo s poenostavljenim modelom toplovoda. Pri modeliranju prenosa toplote na večje razdalje lahko pričakujemo, da bo ob nenadnem povečanju temperature (in s tem pretoka energije) trajalo nekaj časa, da bo sprememba zaznana na drugem koncu cevovoda. Kdaj se bo to zgodilo, je odvisno od dolžine cevovoda in hitrosti tekočine v njem, torej od transportnega časa. Ta čas se imenuje mrtvi čas T_d . Poleg tega lahko pričakujemo, da bo temperatura medija na izhodu po določenem času dosegla stacionarno vrednost. Ker prihaja do toplotnih izgub na cevovodu, bo pretok energije v stacionarnem stanju pri izstopu manjši kot pri vstopu. Izgube v cevovodu se izračunajo kot količnik $K = Q_{out}/Q_{in}$.



Slika 6.2: Predstavitev toplovoda s prenosno funkcijo.

Prenosna funkcija toplovoda je:

$$P(s) = \frac{K}{Ts + 1} e^{-T_d s} \quad (9)$$

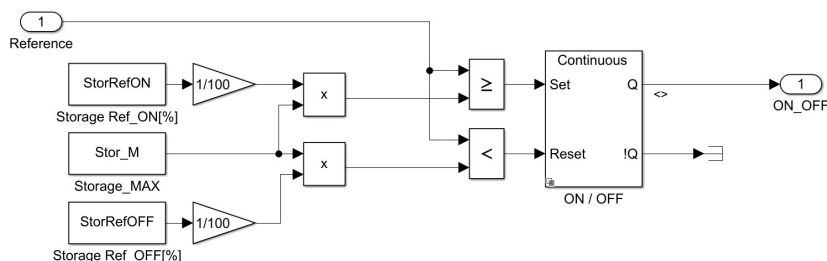
Če v našem primeru (slika 6.2) pride do prve spremembe pri izhodu iz cevovoda npr. po 12 minutah, po 15 minutah pa do 63,2-odstotne vrednosti ustaljenega stanja in doseže izhodni toplotni tok v ustaljenem stanju 75 % vhodne vrednosti, so parametri prenosne funkcije taki:

$$K = 0,75 \quad T_d = \frac{12min}{T_s} = 0,8 \quad T = \frac{15min - 12min}{T_s} = 0,2 \quad (10)$$

$$P(s) = \frac{0,75}{0,2s + 1} e^{-0,8s}$$

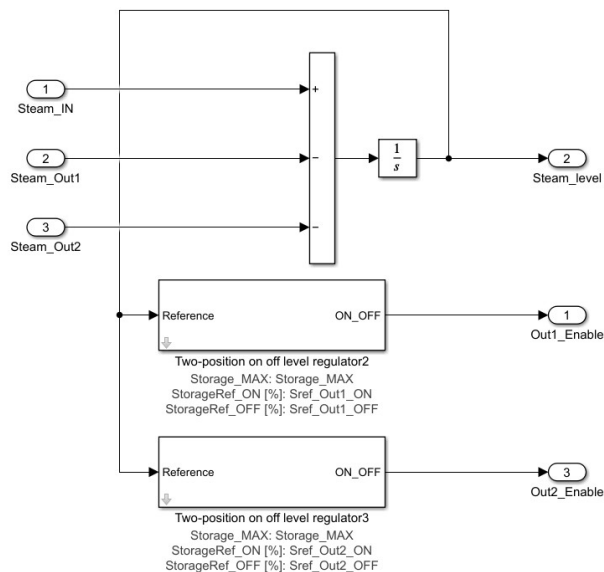
6.2.2 Modeliranje shranjevalnikov toplote in preproste regulacije sistema

Posamezne vire in ponore odvečne toplote povezujejo vozlišča. V fizični obliki so to toplotni hranilniki in toplotni izmenjevalci. Zajeta odvečna toplota je ponorom na voljo, le če sta zajem in raba popolnoma časovno usklajena ali če je količina shranjevanja zadostna. Za opazovani model sistema zadošča uporaba dvopoložajnih regulatorjev za vklop/izklop rabe, glede na raven toplote v hranilniku. Shema dvopoložajnega krmilnika je prikazana na sliki 6.3.



Slika 6.3: Shema dvopoložajnega krmilnika³.

V simulacijski shemi je hranilnik integratorski blok, pri vohdu katerega v vsaki iteraciji prištejemo prispevek posameznih virov in odštejemo porabo. Kot primer je na sliki 6.4 prikazano vozlišče – hranilnik pare (Steam storage), ki ima priključen en izvor (Steam_IN) in dva ponora (Steam_Out1, Steam_Out2). Prioriteto aktiviranja posameznega izhoda hranilnika določimo z izbiro parametrov dvopoložajnega regulatorja (Storage_ref_ON, Storage_ref_OFF). Z njima določimo raven pare v hranilniku, pri katerem se izhod odpre ali zapre.



Slika 6.4: Shema hranilnika z dvema dvopoložajnima krmilnikoma⁴.

³ Povzeto po modelu MATLAB/Simulink za uporabo odvečne toplote iz dodatka B, ki je v angleškem jeziku.

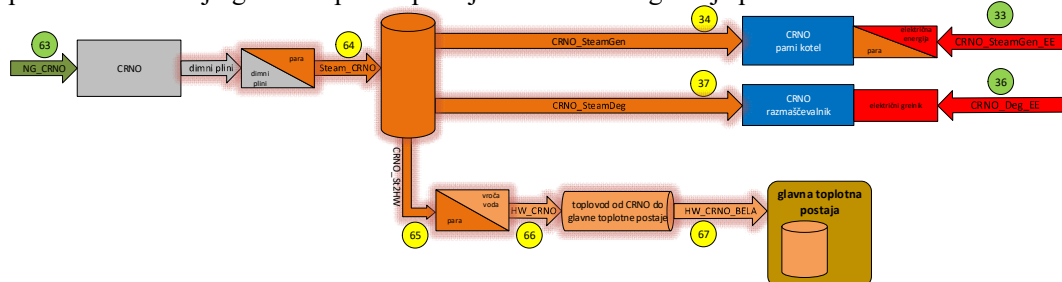
⁴ Povzeto po modelu MATLAB/Simulink za uporabo odvečne toplote iz dodatka B, ki je v angleškem jeziku.

6.3 Drugi del študije primera: Izboljšanje energetske učinkovitosti in zmanjšanje emisij TGP

V drugem delu študije primera so bili izvedeni ti koraki postopka za preizkus izvedljivosti trajnostnega energetskega projekta: 3. razvoj modela sistema, 4. prenos modela na simulacijsko platformo, 5. izvajanje simulacij in analiz scenarijev in 6. podpora odločanju – analiza rezultatov simulacij. Celoten model sistema za uporabo odvečne toplote je bil razvit v okolju MATLAB – Simulink. To orodje smo izbrali, ker je dokaj preprosto za uporabo zaradi odličnega grafičnega vmesnika, ima veliko vnaprej določenih funkcij, je široko uporabno, deluje na osebnih računalnikih (ni potrebna draga infrastruktura) in omogoča izvoz modela v namensko računalniško platformo za izvajanje emulacij v realnem času. Model je sestavljen iz 31 prenosnih funkcij prvega reda z mrtvim časom (FODT), dveh prenosnih funkcij prvega reda (FO), 8 hranilnikov, 33 dvopoložajnih krmilnikov, 22 merilnih vhodov (15-minutni podatki) in 236 nastavljivih parametrov.

6.3.1 Razvoj modela sistema

Postopek modeliranja lahko ponazorimo s primerom modeliranja dela sistema. Zaradi visoke temperature dimnih plinov požigalnika CRNO (angl. *Cold Rolled Non-Oriented Steel line*) je vir primeren za pridobivanje vodne pare, ki je potrebna tudi za delovanje linije CRNO. Parno trenutno zagotavlja električni parni kotel, z njo pa bi lahko segrevali tudi razmaščevalnik CRNO, ki je trenutno ogrevan z električno energijo. Presežek odvečne toplote bi lahko prek vročevoda prenašali na bližnjo glavno toplotno postajo. Blokovni diagram je prikazan na sliki 6.5.



Slika 6.5: Uporaba odvečne toplote iz požigalnika CRNO⁵.

Blokovni diagram modela za uporabo odvečne toplote iz požigalnika CRNO je prikazan na sliki 6.6. Požigalnik uporablja za delovanje zemeljski plin, merilni sistem zajema 15-minutne kumulativne vrednosti porabe (63). Zaradi velikih dimenzij gorilnika, dolžine dimnih cevi itd. je mogoče pričakovati časovni zamik, nato pa postopno segrevanje celotnega sistema v procesu pretvorbe zemeljskega plina v toploto dimnih plinov in naprej v paro. Proizvodnjo pare (64) zato modeliramo s FODT (I).

Ocenili smo, da požigalnik CRNO zapusti v obliki dimnih plinov 90 % vhodne energije zemeljskega plina. Ena MWh toplotne energije zadostuje za proizvodnjo 1.592 t pare. Srednja kurilna vrednost zemeljskega plina je 0,010008 MWh/Nm³. Iz teh predpostavk in podatkov izračunamo ojačenje sistema v stacionarnem stanju (K_1). Z opazovanjem delovanja požigalnika CRNO (odziv po zagonu gorilnika – odziv na stopnico) smo ocenili tudi mrtvi čas (7,5 min) in časovno konstanto sistema (7,5 min). Ob upoštevanju časa vzorčenja $T_s = 15$ minut dobimo:

$$K_1 = 0,010008 \frac{MWh}{Nm^3} * \frac{1,592t}{MWh} * 90 \% = 0,014 \left[\frac{t}{Nm^3} \right] \quad (11)$$

$$T_{d1} = \frac{7,5min}{T_s} = 0,5 \quad T_1 = \frac{7,5min}{T_s} = 0,5$$

Za simulacijo porabniške strani moramo poznati diagram rabe pare na liniji CRNO in diagram rabe pare, ki bi bila potrebna za zamenjavo električnega ogrevanja razmaščevalnika CRNO.

⁵ Povzeto po blokovnem diagramu modela za uporabo odvečne toplote iz dodatka A, ki je v angleškem jeziku. Spremenljivke modela, kot je CRNO_StamGen_EE, izhajajo iz modela MATLAB/Simulink za uporabo odvečne toplote, zato niso prevedene.

Merilni sistem zajema 15-minutne povprečne vrednosti rabe električne energije uparjalnika (33) in električnih grelnikov razmaščevalnika (36). Pri uparjalniku upoštevamo, da z eno MWh električne energije proizvedemo 1.592 t vodne pare ustrezne temperature. Z meritvami po vklopu generatorja (odziv na stopnico) smo ocenili mrtvi čas (3 min) in časovno konstanto sistema (1,5 min).

Iz teh podatkov izračunamo parametre prenosne funkcije FODT uparjalnika (J). Podobno določimo parametre prenosne funkcije električnega ogrevanja razmaščevalnika CRNO (K):

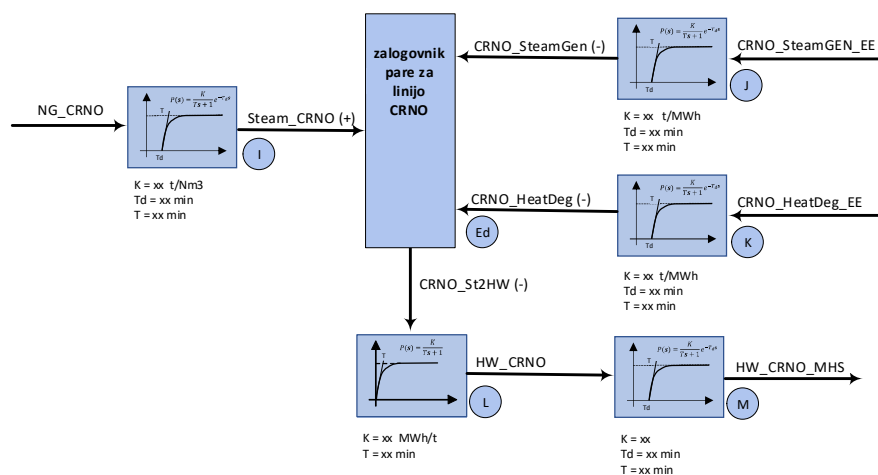
$$\begin{aligned} K_J &= 1,592 \left[\frac{t}{MWh} \right] & T_{dJ} &= \frac{3min}{T_S} = 0,2 & T_J &= \frac{1,5min}{T_S} = 0,1 \\ K_K &= 1,592 \left[\frac{t}{MWh} \right] & T_{dK} &= \frac{1,5min}{T_S} = 0,1 & T_K &= \frac{1,5min}{T_S} = 0,1 \end{aligned} \quad (12)$$

Vir odvečne toplote (para) in odvodi pare so povezani z vozliščem (Ed), ki predstavlja hranilnik pare. Prioriteta rabe so ponori za linijo CRNO. Morebitna odvečna para se pretvori v vročo vodo (L) in po toplovodu (M) prenese v glavno toplotno postajo. V primeru pretvornika (L) se uporablja profil prenosne funkcije FO. Za tono vodne pare potrebujemo 0,628 MWh, pri pretvorbi pa pričakujemo 10 % izgub. Za modeliranje toplovoda (M) uporabimo prenosno funkcijo FODT. Predvidevamo 20 % izgub v cevi, mrtvi čas 3 minute in časovno konstanto sistema 12 minut:

$$\begin{aligned} K_L &= 0,628 \left[\frac{MWh}{t} \right] * 0,90 = 0,565 \left[\frac{MWh}{t} \right] & T_{dL} &= \frac{3min}{T_S} = 0,2 \\ K_M &= 0,8 \text{ (20 \% izgub)} & T_{dM} &= \frac{3min}{T_S} = 0,2 & T_M &= \frac{12min}{T_S} = 0,8 \end{aligned} \quad (13)$$

Prenosne funkcije (I), (J), (K), (L), (M) linije CRNO so torej:

$$\begin{aligned} G_I(s) &= \frac{0,014}{0,5s + 1} e^{-0,5s} & G_J(s) &= \frac{1,592}{0,2s + 1} e^{-0,1s} & G_K(s) &= \frac{1,592}{0,1s + 1} e^{-0,1s} \\ G_L(s) &= \frac{0,565}{0,2s + 1} & G_M(s) &= \frac{0,8}{0,2s + 1} e^{-0,8s} \end{aligned} \quad (14)$$



Slika 6.6: Blokveni diagram modela za uporabo odvečne toplote iz požigalnika CRNO⁶.

Prioritetna je raba obeh odjemalcev pare na liniji CRNO, pogoj za učinkovito rabo je zadostna količina pare v zalogovniku (Ed). Odvod odvečne pare (CRNO_St2HW) se vključi le v primeru

⁶ Povzeto po blokvenem diagramu modela za uporabo odvečne toplote iz dodatka A, ki je v angleškem jeziku. Spremenljivke modela, kot je CRNO_StamGen_EE, izhajajo iz modela MATLAB/Simulink za uporabo odvečne toplote, zato niso prevedene.

zadostne zaloge pare v zalogovniku, tako da ni ogrožena oskrba prednostnih ponorov. Določiti je treba tudi moč odvoda pare, ki je odvisna od velikosti izmenjevalnika in cevovoda. Zalogovnik mora imeti tudi varnostni ventil (prav tako v obliki dvopoložajnega regulatorja in zadostne moči izpusta), ki preprečuje prekoračitev največje dovoljene količine pare v njem. Izbrana moč pretvornika pare v toplo vodo je 2 MW, zmogljivost varnostnega ventila pa 2 MW. Začetna toplotna zmogljivost uparjalnika je bila nastavljena na 3 MWh. Parametri zalogovnika in dvopoložajnih regulatorjev so:

- razmaščevalnik in generator pare:
 - pogoj za vklop: 25 % zmogljivosti zalogovnika,
 - pogoj za izklop: 15 % zmogljivosti zalogovnika;
- pretvorba odvečne pare v vročo vodo (CRNO_St2HW):
 - vklop: 90 % zmogljivosti zalogovnika,
 - izklop: 50 % zmogljivosti zalogovnika;
- vklop varnostnega ventila: 95 % zmogljivosti zalogovnika.

Vsi drugi podsistemi so modelirani enako in združeni v samo en model. Blokovni diagram celotnega modela za uporabo odvečne toplote je v prilogi A, v prilogi B pa je izpis modela za uporabo odvečne toplote, vključno z vrednostmi vseh parametrov tega, ki je bil razvit v programskem paketu MATLAB/Simulink.

6.3.2 Prenos modela na simulacijsko platformo

Za povečanje hitrosti simulacije je bil model, razvit v programskem paketu MATLAB/Simulink, prenesen na posebno računalniško platformo, sestavljeno iz posebej zasnovanih naprav HIL (angl. *hardware-in-the-loop* – HIL), ki so sposobne posnemati modele visoke ločljivosti, uporabljene za načrtovanje, preizkušanje in validacijo močnostne elektronike, mikromrež, e-mobilnosti, preizkušanje programske opreme za pogon električnih vozil ter elektro-distribucijskih nadzornih in zaščitnih sistemov. Jedro te tehnologije so procesorji, specifični za aplikacije z izjemno nizko zakasnitvijo, skupaj z optimizirano arhitekturo programske opreme, ki temelji na posebej naprednih numeričnih algoritmihi. Zaradi svoje edinstvene arhitekture strojne opreme lahko naprave te platforme izvajajo simulacije z visoko zanesljivostjo in nizko zakasnitvijo s simulacijskim korakom do 200 ns. Mogoče jih je povezati z drugimi napravami z uporabo hitrega vzorčenja vhodov in izhodov ali z uporabo širokega nabora različnih komunikacijskih protokolov, kot so Modbus, IEC 61850, CAN, UART in številni drugi.

Model je bil za izvoz iz platforme MATLAB/Simulink preoblikovan v ločen podsistem s številnimi vhodi, izhodi in parametri. Za skladnost z računalniško platformo je bil izbran reševalnik enačb (solver) modela s stalnim korakom integracije. Model je bil izvožen z uporabo vgrajene funkcionalnosti Simulink. Izvoz je potekal z vmesnikom Functional Mock-up (FMI) in v skladu z brezplačnim standardom, ki definira vmesnik za izmenjavo dinamičnih modelov z uporabo kombinacije datotek XML, binarnih datotek in kode C, stisnjene v eno datoteko, imenovano FMU (angl. *Functional Mock-up unit*). Uvoz modela v platformo je bil izveden s pomočjo komponente FMU Import. Parametri modela so bili prevzeti iz modela Simulink. Ker je bilo nekatere od njih treba spremeniti zaradi simulacije, so bili opredeljeni kot nastavljivi, kar je omogočilo sprotno spreminjanje brez ponovnega prevajanja modela ali ponovnega zagona simulacije. Rezultati simulacije prenesenega modela so bili primerjani z rezultati simulacij v modelu Simulink, pri čimer je bila ugotovljena razlika manjša od 0,5 %. Za izvajanje emulacije v realnem času smo vhodne (zgodovinske) podatke v obliki tabel delno ali v celoti nadomestili z razpoložljivimi sprotnimi meritvami iz procesa.

6.3.3 Izvajanje simulacij in analiz scenarijev

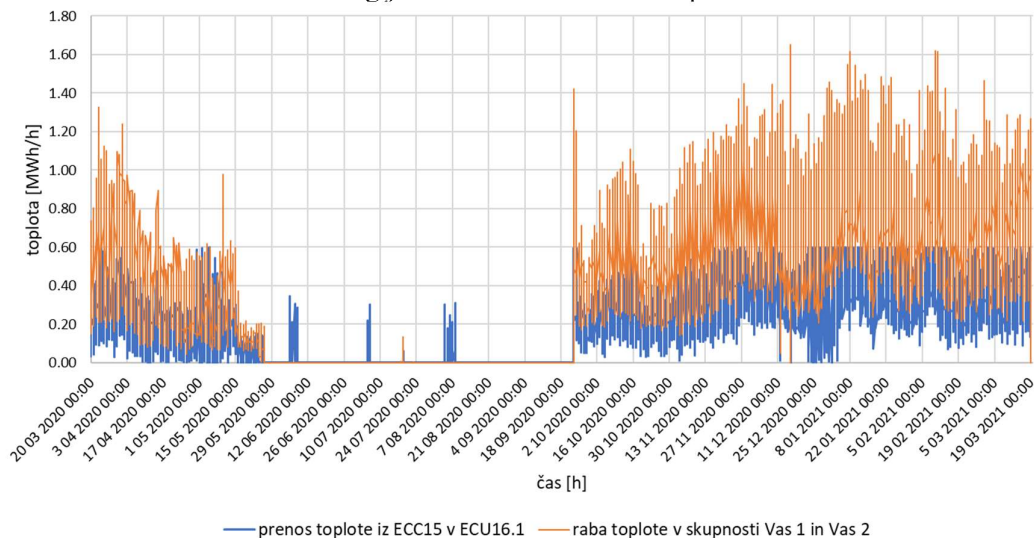
Rezultati simulacij izbranih kombinacij virov in ponorov odvečne toplote (t. i. scenariji rabe odvečne toplote) so navedeni v preglednici 6.1. Razvit simulacijski model omogoča projektantu oziroma odločevalcu, da izbere, kateri viri in ponori bodo vključeni v simulacijo. Izbira poteka prek stikal na nadzorni plošči simulacijskega modela. V preglednici 6.1 so prikazani rezultati za vsako izbrano kombinacijo virov in ponorov (stolpca 2 in 3), kjer so izločeni elementi prečrtani. Model omogoča tudi spreminjanje zmogljivosti hranilnikov toplote, ki so v vozliščih sistema. Zaradi zelo spremenljive razpoložljivosti virov in dinamike ponorov je mogoče s povečanjem hranilnika izkoristiti več odvečne toplote, vendar se je treba zavedati, da se s tem povečajo tudi skupni stroški sistema za uporabo odvečne toplote. Na uporabo odvečne toplote poleg zmogljivosti hranilnikov pomembno vplivajo tudi moč toplotnih izmenjevalcev, dimenzije in lastnosti povezovalnih cevovodov ipd., kar vse preprosto spreminjamo s parametri modela.

Preglednica 6.1: Rezultati simulacij uporabe odvečne toplote – analiza scenarijev [15].

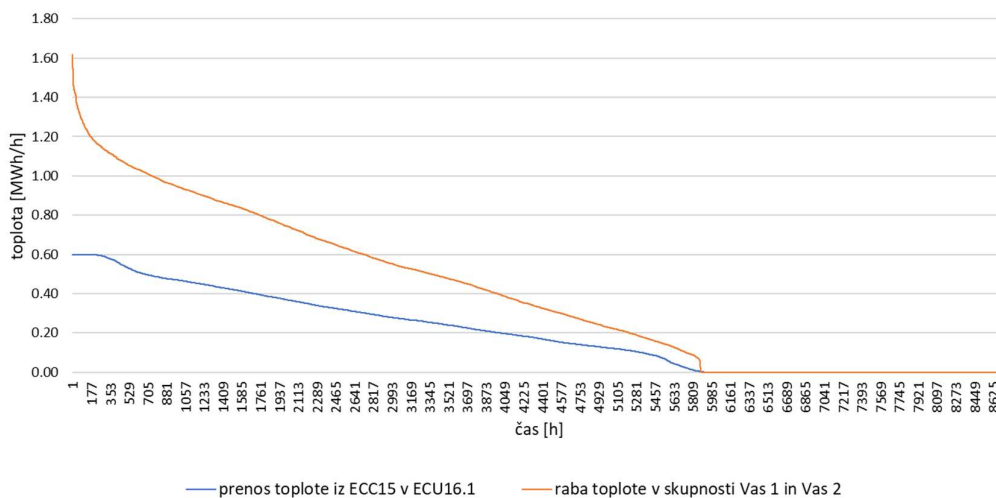
Št.	Viri odvečne toplote	Ponori odvečne toplote	Raba odvečne toplote v:		Prihranki v proizvodnji jekla			Prihranki v sistemu daljinskega ogrevanja		Prihranki skupaj		
			proizvodnji [MWh]	sistemu daljinskega ogrevanja [MWh]	EE [MWh]	ZP [Nm ³]	CO ₂ [t]	ZP [Nm ³]	CO ₂ [t]	EE [MWh]	ZP [Nm ³]	CO ₂ [t]
1	ESE 17.1 ESE 17.2 ESE 17.3 ESE 17.4 ESE 17.5 ESE 17.6 ESE 11	ESC 6 ESC 7 ESC 8 ESC 9 ESC 10 ESC 12 ESC 13 ESE 16.1 ESE 16.2	11,440	31,372	1,684	817,174	2,103	3,299,676	6,111	1,684	4,116,850	8,214
2	ESE 17.1 ESE 17.2 ESE 17.3 ESE 17.4 ESE 17.5 ESE 17.6 ESE 11	ESC 6 ESC 7 ESC 8 ESC 9 ESC 10 ESC 12 ESC 13 ESE 16.1 ESE 16.2	11,486	30,621	1,684	817,174	2,103	3,220,687	5,965	1,684	4,037,861	8,068
3	ESE 17.1 ESE 17.2 ESE 17.3 ESE 17.4 ESE 17.5 ESE 17.6 ESE 11	ESC 6 ESC 7 ESC 8 ESC 9 ESC 10 ESC 12 ESC 13 ESE 16.1 ESE 16.2	10,198	30,527	833	769,258	1,716	3,210,800	5,947	833	3,980,058	7,663
4	ESE 17.1 ESE 17.2 ESE 17.3 ESE 17.4 ESE 17.5 ESE 17.6 ESE 11	ESC 6 ESC 7 ESC 8 ESC 9 ESC 10 ESC 12 ESC 13 ESE 16.1 ESE 16.2	11,486	-67	1,684	817,174	2,103	-7,047	-13	1,684	810,127	2,090
5	ESE 17.1 ESE 17.2 ESE 17.3 ESE 17.4 ESE 17.5 ESE 17.6 ESE 11	ESC 6 ESC 7 ESC 8 ESC 9 ESC 10 ESC 12 ESC 13 ESE 16.1 ESE 16.2	11,486	3,249	1,684	817,174	2,103	341,727	633	1,684	1,158,901	2,736
6	ESE 17.1 ESE 17.2 ESE 17.3 ESE 17.4 ESE 17.5 ESE 17.6 ESE 11	ESC 6 ESC 7 ESC 8 ESC 9 ESC 10 ESC 12 ESC 13 ESE 16.1 ESE 16.2	11,486	21,316	1,684	817,174	2,103	2,241,996	4,153	1,684	3,059,170	6,256

Časovna usklajenost rabe toplote v sistemu daljinskega ogrevanja lokalne skupnosti Vas 1 in Vas 2 ter prenos razpoložljive odvečne toplote med virom (ESC 15) in ponorom, ki ga predstavlja sistem daljinskega ogrevanja, je prikazana na sliki 6.7. Časovna usklajenost rabe toplote in vira odvečne toplote je prikazana tudi v obliki urejenega urnega diagrama na sliki 6.8, iz katerega je razvidno, da lahko odvečna toplota pokrije 92,4 % ogrevalnih potreb lokalne skupnosti skozi vse leto. Trenutni sistem daljinskega ogrevanja za Vas 1 in Vas 2 ne zagotavlja sanitarne tople vode, zato ima letno okoli 5.900 obratovnih ur. Podobno sliki 6.9 in 6.10 prikazujeta pogoje za

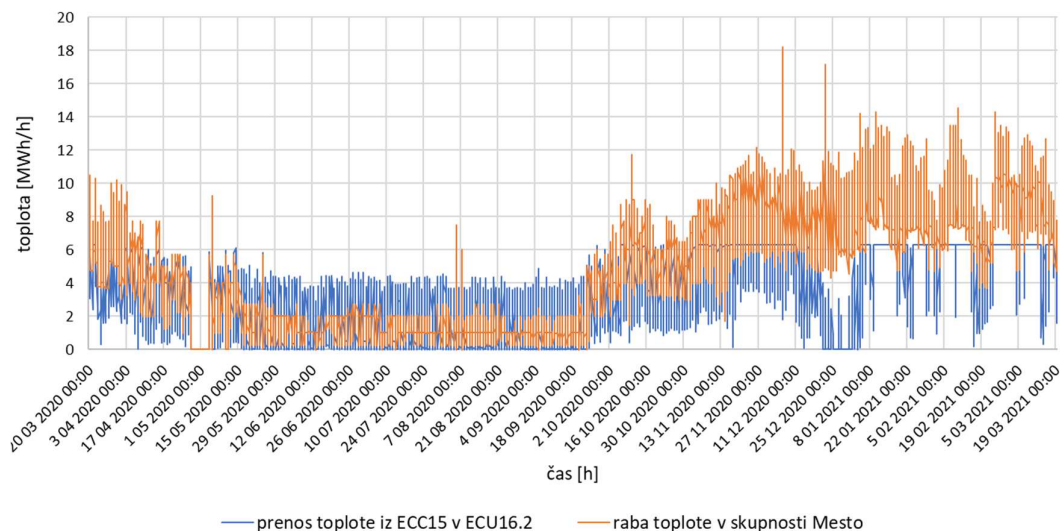
uporabo odvečne toplote v sistemu daljinskega ogrevanja Mesto, pri katerem lahko odvečna toplota pokrije 65,6 % letnih potreb po ogrevanju in sanitarni topli vodi. Da bi povečali delež odvečne toplote v tem sistemu, je treba uporabiti tudi nizkotemperaturne vire odvečne toplote. Uporaba teh bi omogočila skoraj 100-odstotno pokritje potreb po ogrevanju od 3300. ure naprej. Vendar pa bi to zahtevalo vgradnjo dodatnih toplotnih črpalk, kar pa zaradi visokih in nestanovitnih cen električne energije trenutno ni ekonomsko upravičeno.



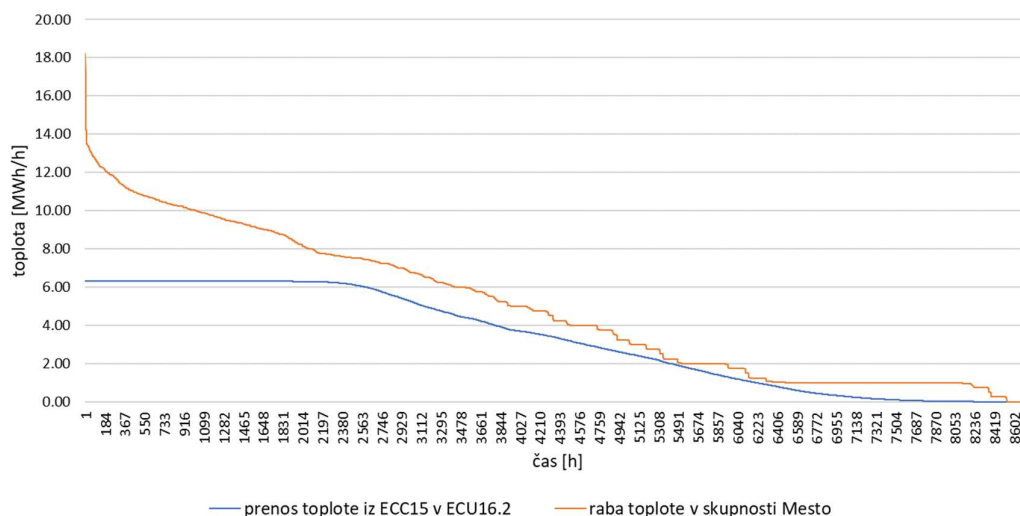
Slika 6.7: Uporaba odvečne toplote v sistemu daljinskega ogrevanja Vas 1 in Vas 2 [15].



Slika 6.8: Urejen urni diagram uporabe odvečne toplote v sistemu daljinskega ogrevanja Vas 1 in Vas 2 [15].



Slika 6.9: Uporaba odvečne toplote v sistemu daljinskega ogrevanja Mesto [15].



Slika 6.10: Urejen urni diagram uporabe odvečne toplote v sistemu daljinskega ogrevanja Mesto [15].

6.3.4 Podpora odločanju – analiza rezultatov simulacij

Rezultati simulacij jasno kažejo vpliv posameznega vira ali ponora ali njune kombinacije na končni rezultat. Tako projektant ali odločevalec pridobi pomembne informacije za odločanje o prioritetah investicije v sistem uporabe odvečne toplote. Razviti model omogoča tudi ovrednotenje ciljev trajnostnega razvoja (energetska učinkovitost, zmanjšanje emisij CO₂), ovrednotenje prihrankov energije in tokov prihodkov od prodane toplote. V tem primeru mora projektant oziroma odločevalec le vpisati cene izbranih energentov, ki so potrebne za analizo ekonomske upravičenosti posameznega scenarija uporabe odvečne toplote.

Rezultati simulacij različnih scenarijev nedvoumno razkrivajo, kako je trenutno neizkoriščeno odvečno toploto mogoče uporabiti za oblikovanje kompleksne energetske skupnosti, ki bo s povezovanjem sektorjev omogočila zeleni prehod energetske intenzivnega industrijskega podjetja in podjetja za daljinsko ogrevanje. V tem kontekstu je bil ugotovljen mogoč prihranek 3.299.676 Nm³ zemeljskega plina v sistemu daljinskega ogrevanja, saj bi z odvečno toploto lahko pokrili kar 68,4 % potreb lokalne skupnosti po toploti. Poleg tega predlagani koncept

odločevalcem omogoča ovrednotenje doseganja posameznih razvojnih ciljev za določitev optimalnega obsega naložb za uporabo posameznih virov odvečne toplote in prednostno razvrščanje teh naložb. Vse vire in ponore, ki ne ustrezajo zastavljenim razvojnim ciljem in ekonomskim merilom, je mogoče preprosto izločiti iz nadaljnje obravnave.

Rezultati preizkušanja so potrdili uporabnost razvitega modela energetske skupnosti, modela za analizo rabe energije na osnovi energijskih stroškovnih centrov in modeliranja kompleksnih industrijskih sistemov, kot je prikazano v tem poglavju. Dokazali smo, da lahko kompleksno modeliranje in simulacija prihodnje trajnostne projektne rešitve prispevata k njeni optimizaciji, razumevanju in sprejemljivosti za vse udeležence, s čimer se poveča potencial izvedbe projekta.

6.4 Razprava: Energetska skupnost kot platforma za lokalno povezovanje energetskih sektorjev

Ambicija raziskave energetske skupnosti kot platforme za lokalno povezovanje energetskih sektorjev je bila teoretično in na praktičnem primeru pokazati, kako je mogoče načrtno spodbujati sodelovanje relevantnih udeležencev v lokalnem okolju in izboljšati procese priprave izvedljivih energetskih projektov za optimalno doseganje ciljev trajnostnega razvoja. Pridobljene so bile dragocene izkušnje v zvezi z učinkovitim modeliranjem, simulacijo in testiranjem izvedljivosti kompleksnih lokalnih trajnostnih energetskih projektov, ki vključujejo različne energijske vektorje. Na ravni posameznega projekta je bilo potrjeno, da sta učinkovito modeliranje kompleksnih sistemov in razvoj digitalnega dvojčka za izvedbo simulacij zelo pomembna koraka v procesu preizkušanja izvedljivosti.

Praktična uporaba razvitega modela je potrdila, da sta dobra komunikacija in dostopnost podatkov najpomembnejša izziva in dejavnika uspeha pri načrtovanju ogrevanja in hlajenja, kar je v skladu z ugotovitvami Billerbecka in drugih [4]. V obravnavani študiji primera so ključni udeleženci potrdili, da se zavedajo potrebe po usklajenem delovanju ter da bi bilo smiselno skupne nacionalne energetske in podnebne izzive reševati skupaj. Pregled slovenskega NEPN je prav tako pokazal potrebo po celostnem pristopu pri dolgoročnem načrtovanju energetske infrastrukture in optimalnem načrtovanju energetskih projektov, kar je tudi v skladu z ugotovitvami Ceglia in drugih [9].

Poseben izziv je bilo modeliranje neobstojećih sistemov za uporabo odvečne toplote. Parametrov modela ni mogoče določiti brez tesnega sodelovanja strokovnjakov, ki delajo v proizvodnem procesu. Ker pa je njihovo razumevanje systemske teorije pogosto omejeno, se je kot odločilna prednost izkazala predlagana uporaba preprostih prenosnih funkcij, parametre katerih je mogoče preprosto razložiti (čas, potreben za ogrevanje sistema po vklopu, pričakovane izgube, faktorji pretvorbe in mrtvi čas). Pri tem so bile zelo koristne ugotovitve Gouldena in drugih [11], da morajo pobudniki in razvijalci inovativnih projektov v začetku načrtovanja upoštevati širši kontekst, ne le posameznih tehnologij. V fazi testiranja je bilo ugotovljeno, da imata predlagana metodologija in izdelani model ključno vlogo pri boljšem razumevanju delovanja celotnega sistema. Rezultati predlaganega pristopa so prispevali k želji po uporabi odvečne toplote iz proizvodnega procesa v industrijskem obratu in lokalni skupnosti. Prav tako so rezultati potrdili potencial za uporabo odvečne toplote v sodobnih sistemih daljinskega ogrevanja, kar so ugotovili tudi Li in drugi [37].

Kar zadeva ponovljivost, je treba priznati, da predlagani pristop zahteva zelo veliko zanesljivih podatkov iz različnih virov in udeležencev. To je lahko velika ovira pri uporabi pristopa v državah s pomanjkanjem razpoložljivih podatkov. Poleg tega so številna industrijska podjetja še vedno zadržana pri delitvi svojih podatkov, kar pomni, da je treba na lokalni ravni predlagati ustrezne spodbude za podjetja, ki podpirajo trajnostne prakse, na primer davčne olajšave ali subvencije. Hkrati lahko izmenjava podatkov in podpiranje zelenih pobud povečata zaupanje delničarjev in morda tudi vrednost delnic energetske intenzivnega industrijskega podjetja.

Izvedeno raziskovalno delo je razkrilo tudi dodatne izzive, ki jih je treba obravnavati v okviru prihodnje uporabe industrijske odvečne toplote v lokalnih sistemih daljinskega ogrevanja. Med zbiranjem podatkov je bilo ugotovljeno, da so dogovori med predstavniki energetske intenzivne industrije in ponudniki daljinskega ogrevanja lahko zapleteni. Pri tem so pomembne cena toplote, zanesljivost oskrbe in obveznosti posameznih partnerjev. Prav tako je celovito modeliranje obravnavanih sistemov, industrijskega okolja in daljinskega ogrevanja potrdilo, da integracija industrijskih procesov s sistemi daljinskega ogrevanja zahteva spremembe obeh sistemov, kar je lahko tehnično zahtevno in lahko poveča stroške predlagane rešitve ter podaljša obdobje vračila investicije. Povečana kompleksnost integracije dveh sistemov lahko prav tako vodi v povečane potrebe po vzdrževanju. Analiza razpoložljivih zgodovinskih podatkov je potrdila, da je

usklajevanje delovanja industrije in sistema daljinskega ogrevanja za zagotavljanje neprekinjene oskrbe lahko zahtevno, še posebej ko pride do nepredvidenih zaustavitev ali zmanjšanja industrijske dejavnosti. Kljub tem izzivom je predstavljena raziskava jasno potrdila, da so koristi uporabe industrijske odvečne toplote v sistemih daljinskega ogrevanja precejšnje, kar opravičuje raziskovanje. To je tudi v skladu z ugotovitvami Popovskega in drugih [43]. Da bi bilo daljinsko ogrevanje z odvečno toploto zanimivo za investitorje, so potrebne boljše integracijske tehnologije, podporna zakonodaja in kampanje ozaveščanja javnosti, ki bodo jasno pojasnile vse njegove prednosti [43].

Z vidika podjetja za daljinsko ogrevanje je jasno, da obstaja potreba po rezervnih virih toplote če iz različnih razlogov ni na voljo odvečna toplota. Raziskava je tudi pokazala, da v določenih okoliščinah proizvodnja odvečne toplote ni usklajena s potrebo v sistemu daljinskega ogrevanja. To vodi v višje stroške zaradi potrebe po dodatnih zmogljivostih shranjevanja toplote in pomožnih sistemih, hkrati pa zaradi nizkih obratovalnih stroškov uporabe odvečne toplote v sistemu daljinskega ogrevanja zmanjšuje vpliv nestanovitnih cen energentov na končno ceno dobavljene toplote odjemalcem.

V raziskavi tega zelo kompleksnega realnega sistema je bil še posebej pomemben postopen razvoj modela. V okviru prihodnjih nadgradenj bo struktura obravnavanega modela enaka, prihodnje raziskave pa bodo usmerjene v podrobnejše modeliranje podsklopov modela. Z nadgrajenim modelom bo mogoče poiskati odgovore na podrejena oziroma podrobnejša vprašanja, hkrati pa bo kompleksnost modela ohranjena na razumni ravni.

Zaradi modularnosti predlagane referenčne arhitekture je mogoče model uporabe odvečne toplote povezati s prihodnjim simulacijskim modelom rabe električne energije, ki bo uporabljen za simulacijo delovanja sistemov shranjevanja energije v baterijah, sončnih elektrarn ter kombiniranega proizvodnje toplote in električne energije. To bo omogočilo ustvarjanje popolnega modela trajnostne energetske skupnosti s spletnimi podatki iz proizvodnega obrata in sistema daljinskega ogrevanja.

Poglavje 7

Zaključki

7.1 Potrditev hipoteze in odgovori na ključna raziskovalna vprašanja

V disertaciji je predlagana referenčna arhitektura modela energetske skupnosti (3. poglavje), s katero se lahko nadgradijo sedanji bolj ali manj parcialni razvojni pristopi posameznih udeležencev z bolj trajnostnimi. Še posebej velik izziv je slediti ciljem trajnostnega razvoja na učinkovit način in vzpostaviti mehanizem stalnih izboljšav celotnega življenjskega cikla trajnostnih energetske rešitev. Hipoteza disertacije je, da lahko le sistematični razvojni pristop (z modelom energetske skupnosti) lokalnim energetskim projektom zagotovi izpolnjevanje meril trajnostnega razvoja. Zato je bilo treba razviti postopek oblikovanja strategij za trajnostno lokalno načrtovanje in povezovanje energetskih sektorjev s kazalniki in ciljnim vrednostmi za merjenje njihovega izvajanja (4. poglavje). Predlagano načrtovanje trajnostnih energetske projektov vključuje tudi napredno analizo rabe energije celotne skupnosti (viri in ponori energije) z naprednimi modeli, ki temeljijo na strukturi energetskih stroškovnih centrov (5. poglavje). Povezovanje energetskih sektorjev, kot sta oskrba z električno energijo in toploto, zahteva razvoj kompleksnih modelov za analizo potenciala za uporabo odvečne toplote iz proizvodnih procesov, s katerimi je mogoče izvajati simulacije in optimizacijske analize načrtovanih sistemov (6. poglavje).

Disertacija se posebej osredinja na vidik stalnega in urejenega sodelovanja ključnih akterjev pri iskanju trajnostnih rešitev okoljskih in energetskih izzivov, razvoj in preizkus orodij za izboljšanje sistematike načrtovanja lokalne infrastrukture, lokalnih trajnostnih energetske projektov in optimalno povezovanje energetskih sektorjev. Na raziskovalno vprašanje

»Kako v proces trajnostnega načrtovanja lokalnega energetskega sistema kot celote sistematično vključiti vse relevantne udeležence in kako vzpostaviti sistem stalnih izboljšav načrtovalskega procesa?«

smo odgovorili z referenčno arhitekturo modela energetske skupnosti za trajnostno lokalno načrtovanje in povezovanje sektorjev. Model je sestavljen iz štirih gradnikov:

- 1. gradnik za pridobivanje podatkov – lokalna poraba energije,
- 2. gradnik za modeliranje in izračune – lokalne pretvorbe energije,
- 3. gradnik za povezovanje stanja in potreb infrastrukture z razvojnimi načrti operaterjev in agregatorjev energetskih omrežij,
- 4. gradnik za podporo odločanju pri lokalnem okoljskem, prostorskem in energetskem načrtovanju.

Ti štirje gradniki skupaj s svojimi notranjimi energetskimi in podatkovnimi povezavami tvorijo jedro predlaganega modela energetske skupnosti. EU- in nacionalni okoljski in energetski cilji, politike in zakonodaja ter stanje na energetskem trgu so dejavniki zunanjega vpliva. Sčasoma se spreminjajo, zato morajo biti vsi udeleženci energetske skupnosti (gradniki 1, 2 in 3) nenehno pripravljene prilagajati svoje energetske sisteme, dolgoročne in kratkoročne razvojne načrte, tržna razmerja ter proizvodne in investicijske načrte. Namesto običajnih parcialnih rešitev predlagani pristop zagotavlja iskanje skupnih rešitev, ki so prav zato optimalne in trajnostne (gradnik 4). Usklajevanje delovanja vseh udeležencev energetske skupnosti je zahteven multidisciplinaren proces, ki mora biti deležen stalnih izboljšav, za kar je treba razviti učinkovit sistem za merjenje celovitosti načrtovanja trajnostne energetske infrastrukture. Glavni rezultat trajnostnega načrtovalskega procesa bi moral biti seznam dobro pripravljenih lokalnih energetskih projektov,

ki prispevajo tudi k izpolnjevanju nacionalnih in evropskih okoljskih in podnebnih ciljev. Stranski rezultat procesa načrtovanja bi moral biti seznam predlogov za izboljšanje nacionalnega in mednarodnega poslovnega okolja z regulativnimi pravili za lažje doseganje okoljskih in energetskih ciljev.

Izvedba trajnostnih energetskih projektov, ki vključuje več energijskih vektorjev, zahteva sistematičen pristop in nova orodja za preizkušanje njihove izvedljivosti. Zato smo se vprašali:

»Kako učinkovito modelirati in simulirati kompleksno trajnostno projektno rešitev, ki vključuje različne energetske vektorje s ciljem preizkušanja izvedljivosti?«

Modeliranje in preizkus izvedljivosti rešitve, ki so jo zasnovali ključni udeleženci, je med bolj zahtevnimi in zanimivimi koraki procesa načrtovanja trajnostnega projekta. Na raziskovalni izziv smo odgovorili s predlogom procesa načrtovanja trajnostnih energetskih projektov in preizkusom izvedljivosti v šestih korakih:

- 1. korak: predstavitev ključnih energetskih in materialnih tokov s prilagojenim modelom ESC,
- 2. korak: pretvorba iz modela ESC v blokovni diagram načrtovanega sistema,
- 3. korak: razvoj modela načrtovanega sistema za analizo njegovega delovanja,
- 4. korak: prenos modela na namensko simulacijsko platformo,
- 5. korak: izvedba simulacijskih/emulacijskih preizkusov in optimizacija sistema,
- 6. korak: analiza rezultatov preizkusov in priprava končnega poročila o izvedljivosti projekta.

Predlagana metodologija je bila preizkušena na praktičnem primeru uporabe odvečne toplote iz proizvodnega procesa velikega energetskega intenzivnega podjetja, ki lahko del te energije porabi za izboljšanje energetske učinkovitosti lastnih procesov, del pa lahko v povezavi s sistemom daljinskega ogrevanja izkoristi za bolj trajnostno zagotavljanje toplote lokalni skupnosti. Zaključki te študije primera so predstavljeni v poglavju 7.2.1.

Ker je potrebna jasna opredelitev okvira nacionalnega konteksta trajnostnega razvoja in naravnosti k spremljanju uresničevanja izbranih strategij v zvezi s cilji trajnostnega razvoja, smo se še vprašali:

»Kako sistematično pristopiti k oblikovanju strategij trajnostnega lokalnega načrtovanja in povezovanja energetskih sektorjev, ki bodo temeljile na nacionalnem kontekstu globalnih ciljev trajnostnega razvoja, ter kako z njihovim načrtovanjem, izvajanjem, spremljanjem in nadgrajevanjem vzpostaviti sistem nenehnih izboljšav trajnostnih (lokalnih) energetskih rešitev?«

Cilji, za katere išče rešitve energetska skupnost, so lahko gospodarski, energetski, družbeni, okoljski ali katera koli kombinacija teh. Za doseg te morajo lokalne skupnosti oblikovati izvedbene strategije in meriti uspešnost svojega izvajanja. Zato smo v odgovor na raziskovalno vprašanje predlagali postopek oblikovanja strategij za trajnostno lokalno načrtovanje in povezovanje energetskih sektorjev, ki temelji na teh sedmih korakih:

- 1. korak: določitev okvira nacionalnega konteksta ciljev trajnostnega razvoja,
- 2. korak: opredelitev nacionalnih strateških usmeritev na področju energetike,
- 3. korak: izvedba SWOT-analize lokalnega okolja,
- 4. korak: izvedba analize AHP za oceno strateških usmeritev in ustreznosti dejavnikov SWOT za oblikovanje strategije,
- 5. korak: oblikovanje strategij izvajanja z matriko TOWS,
- 6. korak: določitev ciljev in meril uspešnosti za vsako strategijo izvajanja,
- 7. korak: ocena skladnosti in vpliva strategij.

Postopek oblikovanja strategij je bil preizkušen z analizo stanja lokalnega okolja in pripravo alternativnih vsebin lokalnega energetskega koncepta izbrane lokalne skupnosti v Sloveniji. Zaključki te študije primera so predstavljeni v poglavju 7.2.2.

7.2 Zaključki študij primera

Koncept skupnega načrtovanja trajnostnih energetskega projektov in energetske infrastrukture je bil preizkušen na praktičnem primeru povezovanja energetske intenzivne industrije in lokalne skupnosti. Napreden postopek oblikovanja strategij za trajnostno načrtovanje in povezovanje energetskega sektorjev je bil praktično preizkušen s pripravo alternativnih vsebin lokalnega energetskega koncepta ene od slovenskih lokalnih skupnosti. Zaključki obeh študij primera so predstavljeni v nadaljevanju.

7.2.1 Izboljšanje energetske učinkovitosti in zmanjšanje emisij TGP

Rezultati študije primera nedvoumno kažejo, da je mogoče z uporabo vseh analiziranih virov odvečne toplote iz proizvodnega procesa doseči pomembne prihranke energije in zmanjšanje emisij CO₂. Poleg tega je raziskava ponovno pokazala, da je glavni izziv pri načrtovanju trajnostnega energetskega projekta ustrežna vključenost vseh relevantnih udeležencev v proces načrtovanja. V tem kontekstu je lahko predlagana referenčna arhitektura modela energetske skupnosti za trajnostno lokalno načrtovanje in povezovanje sektorjev obetaven pristop za premostitev obstoječih vrzeli v komunikaciji med udeleženci in pri izvajanju trajnostnih projektov. Namesto obravnavanja razogljčenja vsakega sektorja posebej ponuja predlagana referenčna arhitektura celovit in sistemski pristop, ki zagotavlja, da lahko napredek v enem sektorju (energetsko intenzivna industrija) podpre in okrepi napredek v drugem (daljinsko ogrevanje).

Predlagani koncept modeliranja omogoča podrobno oceno razpoložljivih virov toplote v vsakem energetskega stroškovnem centru posebej. Na izvedbeni ravni modeliranje na osnovi ESC, podprto s podrobnim pretokom podatkov, opolnomoči načrtovalce energetskega sistema, da predlagajo nove rešitve, če menijo, da lahko prispevajo k boljši rabi virov in energije na ravni energetske skupnosti. Vendar je posebej velik izziv, kako učinkovito slediti ciljem trajnostnega razvoja in vzpostaviti mehanizem stalnih izboljšav v celotnem življenjskem ciklu trajnostnih energetskega rešitev.

7.2.2 Oblikovanje alternativnih vsebin LEK lokalne skupnosti v Sloveniji

Študija primera naprednega postopka oblikovanja strategij za trajnostno načrtovanje in povezovanje energetskega sektorjev poudarja potencial uporabe in povezovanja različnih uveljavljenih metod strateškega menedžmenta za oblikovanje učinkovitih strategij trajnostnega razvoja v lokalnih skupnostih. Študija poudarja primarni izziv celovite obravnave dolgoročnega trajnostnega razvoja, ki zahteva upoštevanje nacionalnega konteksta trajnostnega razvoja in hkrati temelji na podrobni analizi lokalnega okolja. Sistematična, pregledna in razmeroma preprosta narava predlaganega procesa lahko bistveno pripomore pri mobilizaciji strokovnjakov z različnih področij, da aktivno sodelujejo pri oblikovanju strategij za trajnostno lokalno načrtovanje in povezovanje energetskega sektorjev. Koncept predlaganega postopka razvoja strategij vključuje učinkovito sledenje ciljem trajnostnega razvoja in mehanizem za nenehne izboljšave skozi celoten življenjski cikel trajnostnih energetskega rešitev. Vključitev vnaprej določenih ciljev in meril za merjenje uspešnosti zagotavlja sistematično spremljanje in izboljšave izvajanja strategij.

Čeprav se predlagani proces osredinja na trajnostni razvoj z energetskega vidika, bi lahko enak metodološki postopek uporabili tudi na drugih področjih, kot so kakovost zraka, upravljanje voda in ravnanje z gozdovi. Poleg tega postopek ni omejen na lokalno okolje, koristno bi ga lahko uporabili na nacionalni ravni, na primer pri pripravi politik in ukrepov nacionalnih energetskega in podnebnega načrtov. Poleg tega predlagani postopek oblikovanja strategij ne rešuje le izzivov trajnostnega razvoja na področju energije, temveč postavlja tudi temelje za njegovo uporabo na različnih področjih in različnih ravneh, od lokalnih do nacionalnih.

7.3 Utemeljitev znanstvene relevantnosti

Disertacija prinaša izvirne prispevke znanosti na področju trajnostnega načrtovanja lokalne energetske infrastrukture in lokalnega povezovanja energetskega sektorjev. Zapolnjuje v znanstveni literaturi in tudi v praksi nepoznane vrzeli, predvsem v kontekstu sistematičnega in celovitega pristopa k trajnostnemu razvoju lokalnih skupnosti in sistematičnega oblikovanja izvedbenih strategij za doseg nacionalnih ciljev trajnostnega razvoja in nenehnih izboljšav trajnostnih (lokalnih) energetskega rešitev. Predlagana je nova arhitektura modela lokalne energetske skupnosti za trajnostno načrtovanje, razvit je bil napreden postopek oblikovanja strategij za trajnostno lokalno načrtovanje in povezovanje energetskega sektorjev, ki je bil

praktično preizkušen s pripravo alternativnih vsebin lokalnega energetskega koncepta izbrane lokalne skupnosti v Sloveniji. Pripravljen je bil nabor izvedbenih strategij trajnostnega lokalnega razvoja, vključno s kazalniki in ciljnim vrednostmi za merjenje njihovega izvajanja. Razvita sta bila model za analizo trenutne in simulacije prihodnje rabe energije, ki temelji na nadgrajeni strukturi energetskih stroškovnih centrov, ter model za analizo potenciala uporabe odvečne toplote iz industrijskih procesov, boljšo integracijo obnovljivih virov energije in povezovanje z lokalnimi sistemi za daljinsko ogrevanje. Modela sta bila tudi praktično preizkušena in ovrednotena s hibridnim simulacijsko/emulacijskim modelom v povezavi z realnim industrijskim in lokalnim okoljem. Zato so glavni prispevki te disertacije k znanosti:

1. razvoj referenčne arhitekture modela energetske skupnosti za trajnostno povezovanje industrije, operaterjev lokalnih sistemov za distribucijo energije (električna energija, daljinska toplote, zemeljski plin) in lokalnih skupnosti (poglavje 3);
2. razvoj postopka oblikovanja strategij za trajnostno lokalno načrtovanje in povezovanje energetskih sektorjev s kazalniki njihovega izvajanja in ciljnim vrednostmi za učinkovito sledenje ciljem trajnostnega razvoja in vzpostavitev mehanizma stalnih izboljšav celotnega življenjskega cikla trajnostnih rešitev (poglavje 4);
3. razvoj modela za analizo trenutne rabe energije in simulacije prihodnje, ki temelji na strukturi energetskih stroškovnih centrov (poglavje 5);
4. razvoj modela za analizo potenciala za uporabo odvečne toplote iz industrijskih procesov, boljšo integracijo obnovljivih virov energije in povezovanje z lokalnimi sistemi za daljinsko ogrevanje (poglavje 6).

7.4 Predlogi za nadaljnje raziskave

Disertacija je postavila temelje za nadaljevanje raziskav na številnih novih področjih, ki so v okviru doseganja podnebne nevtralnosti zelo aktualna. Raziskave bi bilo smiselno usmeriti v:

- posplošitev uporabe modela energetske skupnosti na model pametnega mesta, regije ali celo države;
- razširitev modela energetske skupnosti z gradniki za obravnavo okoljskih in socioloških vidikov;
- nadgradnjo modela za uporabo odvečne toplote;
- razvoj metodologij za izboljšanje sodelovanja ključnih akterjev pri izvajanju skupnih trajnostnih projektov, vključno z izboljšanjem metod lokalnega načrtovanja.

7.4.1 Posplošitev uporabe modela energetske skupnosti

Predlagani model energetske skupnosti je sicer mogoče brez večjih težav uporabiti tudi na ravni večjega mesta, regije ali države, kljub temu bi bilo treba raziskati posebnosti načrtovanja in izvajanja trajnostnih energetskih projektov mestnega, regionalnega ali celo državnega pomena. Nabor in posebnosti ključnih udeležencev trajnostnih energetskih projektov se spreminjajo z obsegom in kompleksnostjo področja, za katero se načrtujejo ali izvajajo. Poseben poudarek bi bilo treba posvetiti uporabi različnih naprednih informacijskih in komunikacijskih tehnologij, povezanosti različnih sistemov in podatkov, učinkoviti rabi virov, trajnosti, vključenosti prebivalcev in inovativnosti.

7.4.2 Razširitev modela energetske skupnosti

V disertaciji predlagani model energetske skupnosti se osredinja na energetske vidike trajnostnega razvoja. Z razširitvijo modela z dodatnimi gradniki bi lahko v sistematično obravnavo zajeli tudi okoljske in sociološke vidike. Vključili bi lahko gradnike, kot so emisije TGP, promet, narava ipd.

7.4.3 Nadgradnja modela za uporabo odvečne toplote

Razvoj modela za uporabo odvečne toplote, ki je predstavljen v poglavju 6, temelji na številnih predpostavkah in poenostavitvah. Zaradi modularne zgradbe je mogoče posamezne dele sistema modelirati podrobneje in tako poiskati odgovore tudi na vprašanja, ki niso bila ključna v prvi fazi analize potencialov rabe odvečne toplote. V okviru prihodnjih nadgradenj lahko struktura obravnavanega modela ostane enaka, vendar je treba prihodnje raziskave usmeriti v podrobnejše modeliranje podsklopov modela. Z nadgrajenim modelom bo mogoče poiskati odgovore na

podrejena oziroma podrobnejša vprašanja, hkrati pa bo kompleksnost modela ohranjena na razumni ravni. Če bi na primer za posamezen sklop želeli proučiti tudi temperaturne in tlačne razmere v sistemu, bi posamezne preproste prenosne funkcije lahko nadomestili z novimi gradniki (npr. dvopoložajne regulatorje bi lahko nadomestili s PID-regulatorji).

Zaradi modularnosti predlagane referenčne arhitekture bo mogoče model uporabe odvečne toplote povezati s prihodnjim simulacijskim modelom rabe električne energije, ki bo uporabljen za simulacijo delovanja sistemov shranjevanja energije v baterijah, sončnih elektrarn ter sistemov kombiniranega proizvodnje toplote in električne energije. To bi omogočilo ustvarjanje popolnega modela trajnostne energetske skupnosti.

Eden od ciljev modela je iskanje optimalne sestave virov, ponorov, prednostne rabe, velikosti zalogovnikov ipd. Model bi bilo mogoče razširiti za iskanje optimalnih vrednosti posameznih sestavnih delov s kriterijsko funkcijo, na primer za določanje optimalne velikosti posameznih termičnih zalogovnikov glede na investicijsko vrednost zalogovnika in prihrank zaradi uporabe dodatnih količin odvečne toplote.

7.4.4 Razvoj metodologij za izboljšanje sodelovanja ključnih udeležencev in metod za lokalno načrtovanje

V disertaciji so prepoznani številni izzivi vključevanja ključnih udeležencev v skupnih projektih. Skupne koristi sodelovanja so več kot očitne, vendar so merila, po katerih posameznik presoja lastne koristi, koristi okolja, v katerem živi, in koristi drugih udeležencev, zelo različni. Zanimivo bi bilo raziskati, kakšni so sociološki dejavniki vpliva na povezovanje sektorjev in sodelovanje v energetskih skupnostih. Kako vplivati na večje zaupanje, sodelovanje, kako ga učinkovito spodbujati, meriti napredek.

Stroški in koristi sodelovanja v skupnih projektih morajo biti za posameznega ključnega udeleženca uravnoreženi. Treba bi bilo poiskati odgovor na to raziskovalno vprašanje: »Kako zagotoviti, da bodo (energetsko intenzivna) podjetja v povezovanju in sodelovanju z lokalno skupnostjo pri izvajanju trajnostnih projektov videla tudi priložnost za svoj dolgoročni razvoj?«

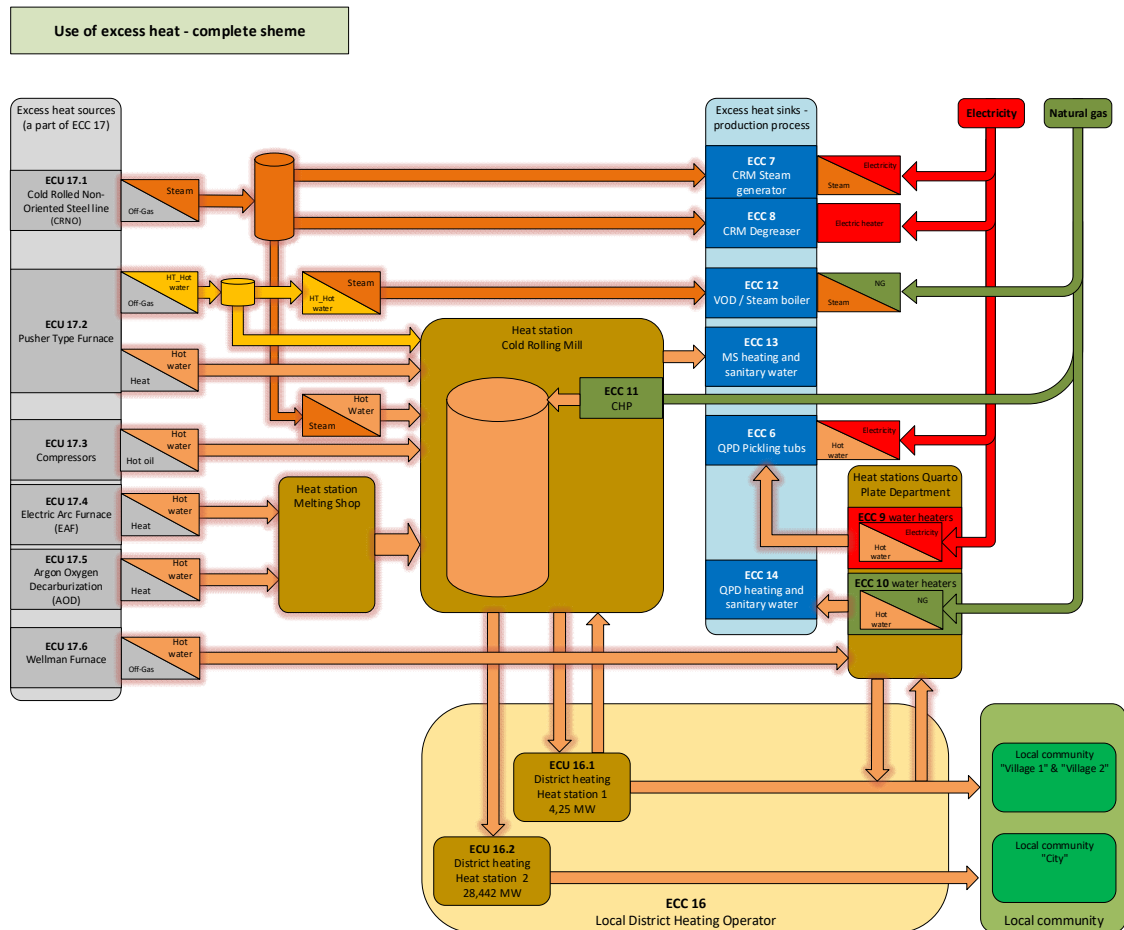
Povezovanje sektorjev potrebuje nove razvojne pristope, saj razvoj povezanega energetskega sistema prinaša nova tveganja. Tveganja za energetski sistem, na katerem temelji delovanje moderne družbe, se pri tem ne smejo povečevati. Multidisciplinarni pristop načrtovanja zahteva sodelovanje številnih strok in hkratno iskanje odgovorov na kompleksna vprašanja. Ta lahko poiščemo le z odprtim dialogom in sodelovanjem ter z novimi, še nerazvitimi metodološkimi pristopi k skupnemu razvoju različnih infrastruktur.

Disertacija prepoznava in opozarja tudi na potrebo po izboljšanju metod za lokalno načrtovanje. Poleg izboljšav sodelovanja med ključnimi udeleženci (glej podpoglavje 7.4.1) so mogoče raziskave na področju sistematičnega zbiranja, obdelave in predstavitev podatkov, ki so pomembni pri načrtovanju posegov v prostor, uporabi infrastrukture, energentov ipd.

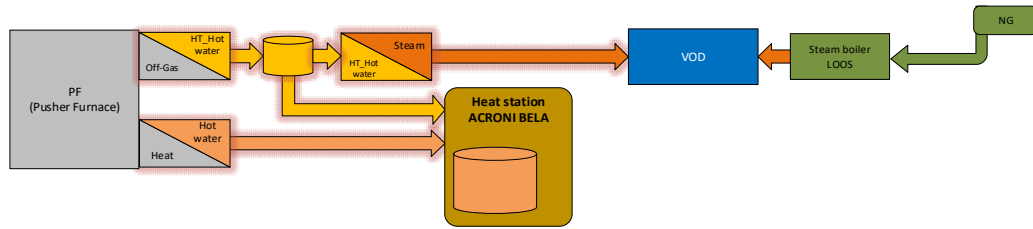
V disertaciji predlagani postopek oblikovanja strategij za trajnostno lokalno načrtovanje in povezovanje sektorjev bi bilo mogoče metodološko vključiti v lokalno in/ali državno strateško načrtovanje. Raziskave bi se lahko usmerile v poglobitev praktične uporabnosti, sledenje ciljem izvedbenih strategij na regionalni in državni ravni in merjenje celovitosti načrtovanja trajnostne energetske infrastrukture.

Prenos dobrih praks na lokalni, regionalni ali državni ravni in vzpostavitev odprte baze znanja sta le dve od številnih možnosti za nadaljevanje raziskovalnega dela na tem zanimivem in dinamičnem področju znanosti.

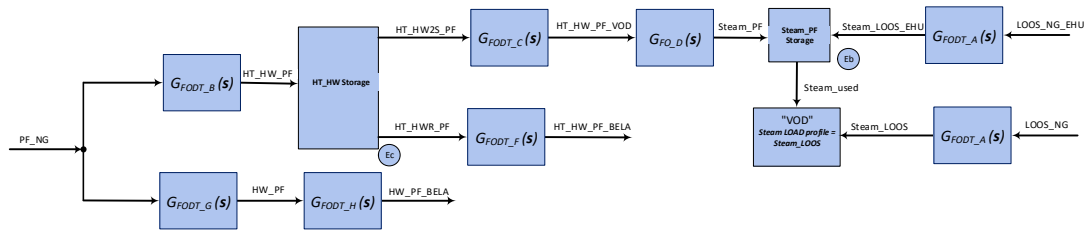
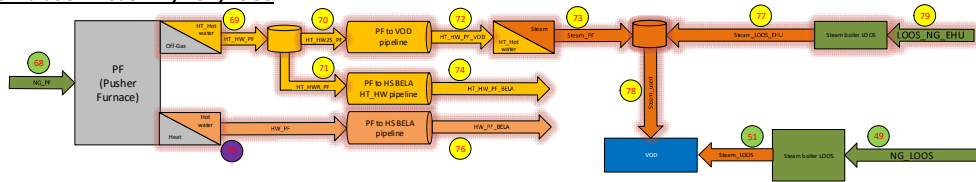
Dodatek A: Blokovni diagram modela za uporabo odvečne toplote



Use of excess heat - DETAIL: PF / VOD / LOOS



Simulation model: PF/VOD/LOOS

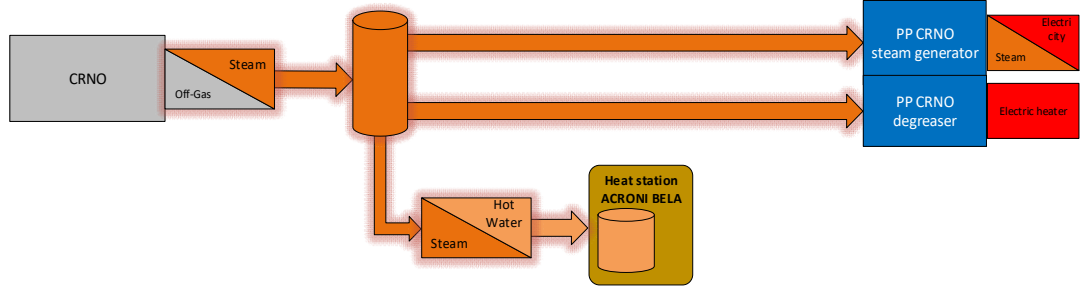


- 50 NG consumption of LOOS steam boiler.
- 51 Amount of steam produced in the LOOS steam boiler.
- 52 PF NG consumption
- 53 High temperature Hot water from PF Off-Gas cooling system
- 54 High temperature Hot water used for steam production
- 55 Remaining high temperature hot water

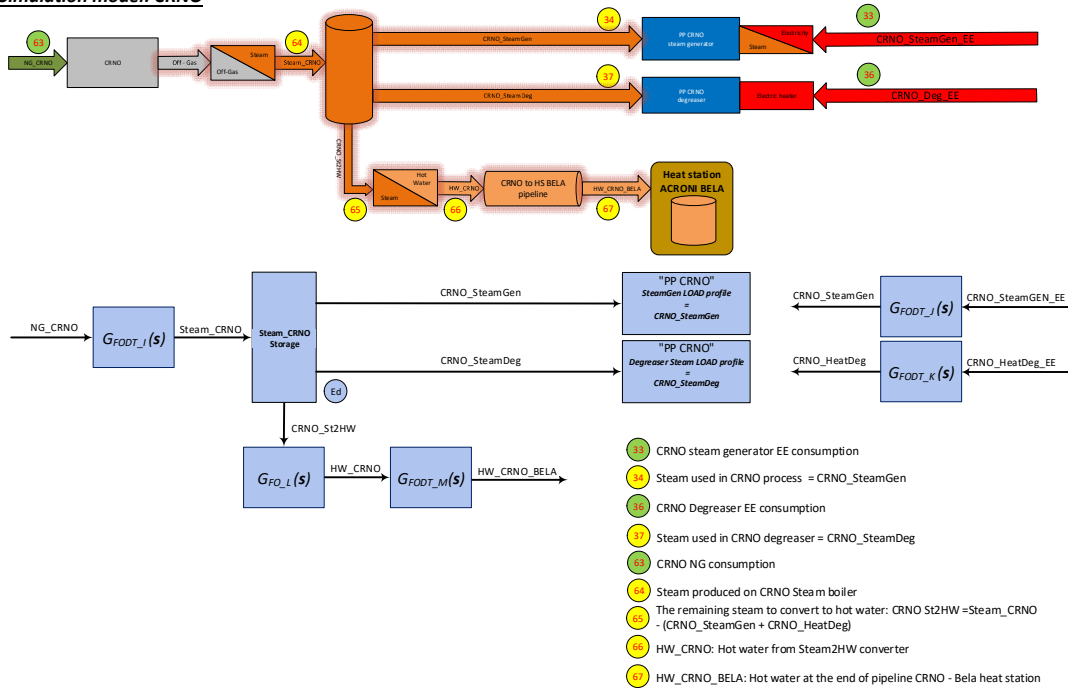
- 72 High temperature Hot water at the end of pipeline PF - VOD
- 73 Steam produced for VOD
- 74 High temperature Hot water at the end of pipeline PF-HS Bela
- 75 Hot water at the end of pipeline PF - Bela heat station

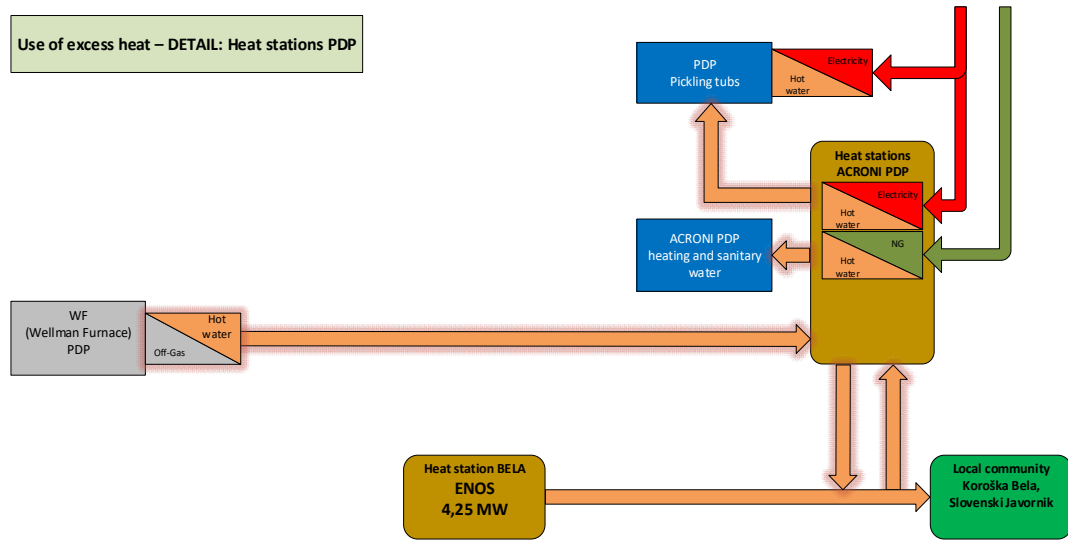
- 76 Steam_used = Steam_LOOS
- if Steam_PF < Steam_used:
- 77 Steam_LOOS_EHU = Steam_LOOS - Steam_PF
- 78 LOOS_NG_EHU(s) = Steam_LOOS_EHU(s)/Ploos(s)
- else:
- 79 Steam_LOOS_EHU = 0
- 80 LOOS_NG_EHU = 0

Use of excess heat – DETAIL: CRNO

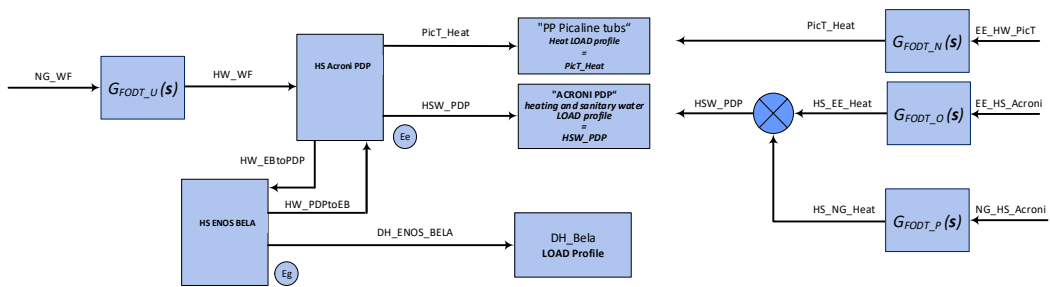
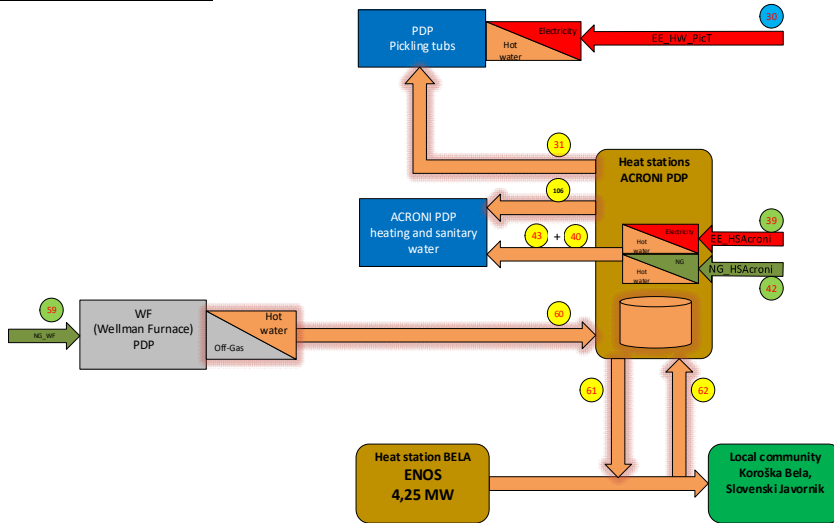


Simulation model: CRNO



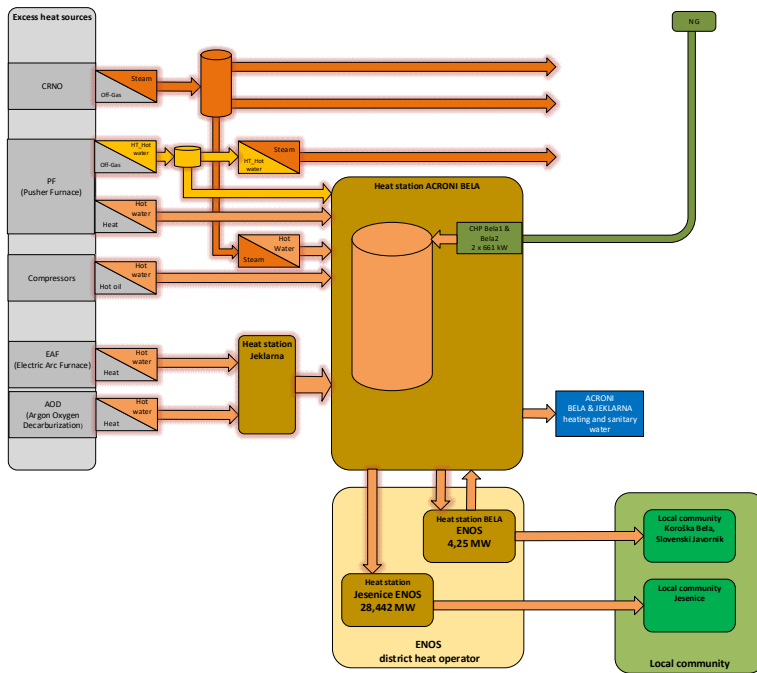


Simulation model: HS PDP

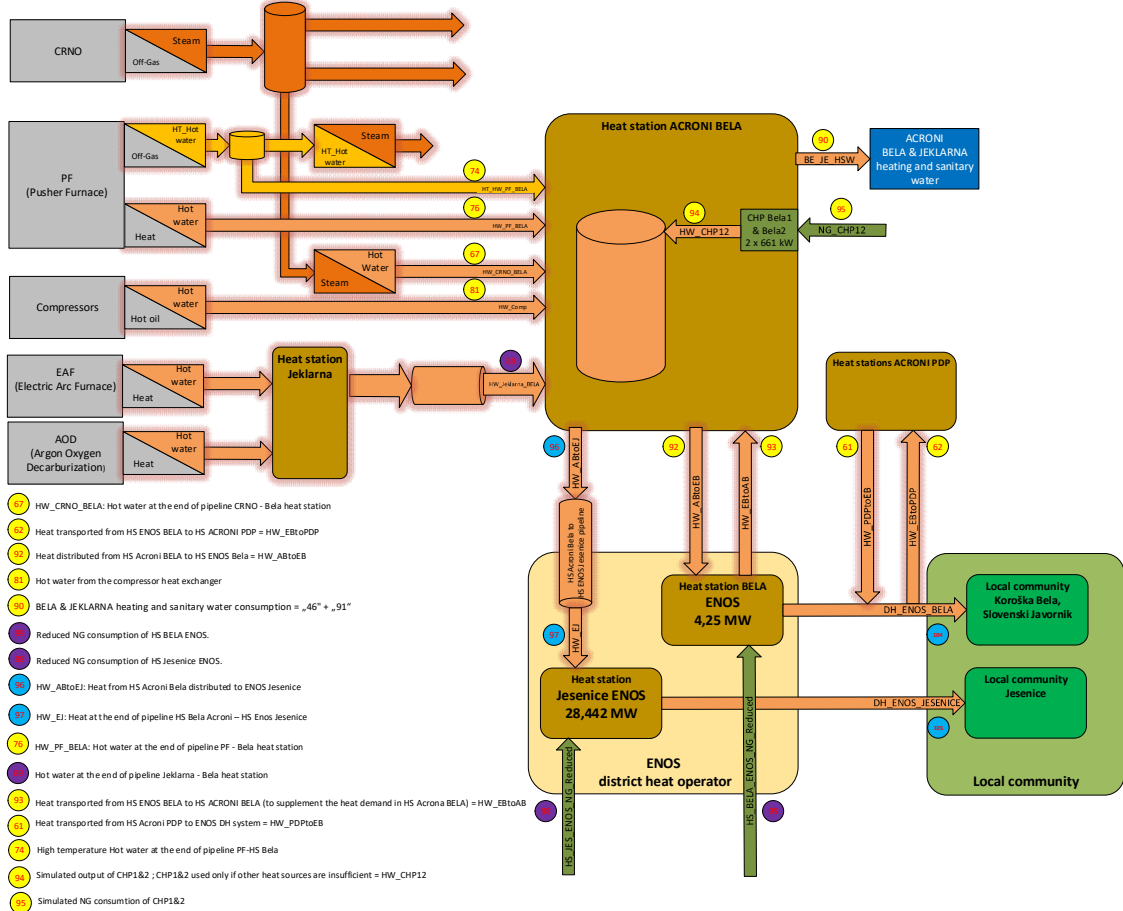


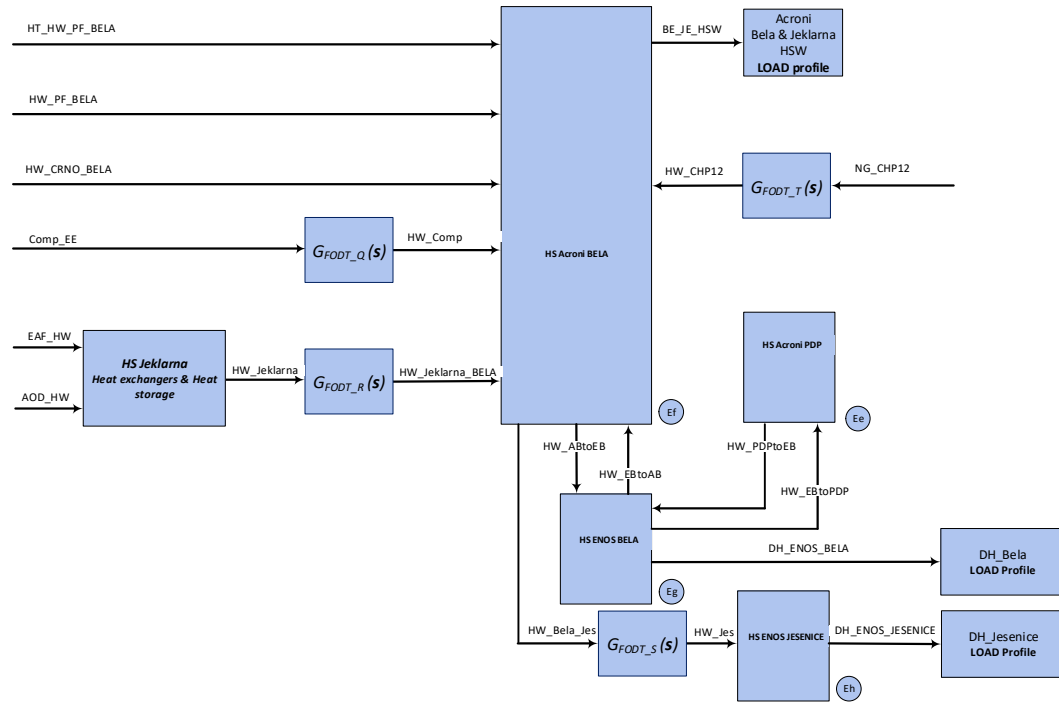
- 30 Electricity consumption of Pickling tubs heating (EE_HW_PicT)
- 31 Heat used for PDP Pickling tubs = PicT_Heat
- 32 The sum of all EE used for heat conversion in HS Acroni PDP = EE_HS_Acroni
- 33 Total amount of heat from EE to heat converters (HS Acroni PDP) = HS_EE_Heat
- 34 The sum of all NG used for heat conversion in HS Acroni PDP = NG_HS_Acroni
- 35 Total amount of heat from NG to heat converters (HS Acroni PDP) = HS_NG_Heat
- 36 Wellman Furnace NG consumption
- 37 Hot water from Wellman furnace Off-gas cooling system
- 38 Heat transported from HS Acroni PDP to ENOS DH system = HW_PDPtoEB
- 39 Heat transported from HS ENOS BELA to HS ACRONI PDP = HW_EBtoPDP
- 40 Heat used for PDP heating and sanitary water = HSW_PDP = „40“ + „43“

Use of excess heat – DETAIL: HS ACRONI Bela and HS Jeklarna



Simulation model: HS Acr. BELA, HS Jeklarna






```

%===== RES ON/OFF =====
PV_SELECT = 0; % PV select: "0"... Clean,"1"... UNclean
PV_ON = 1; % PV ON / OFF
SHPP_ON = 1; % Small HP ON / OFF
%=====

%===== SHEE_parameters =====
Hn = 47; % net water drop [m]
ga = 9.81; % "g" [m/s2]
ro_H2O = 998; % water density [kg/m3]
e_shpp = 0.7; % system efficiency (70%)
%=====

% ===== PF_VOD_parameters =====

% ----- Transfer function "A" -----
% P_loos(s) ... steam boiler
% input: NG_LOOS_R;"Reserve": NG used for reserve steam production
% output: Steam_LOOS_R
Ka = 0.01;
% the ratio between the output steam and used NG in the steady state [t/Nm3].
Ta = 0.2; % delay of the 1st order proportional system (FO) (x * 15 min, according
to historical data analysis).
TDa = 0.1; % boiler dead time [x * 15 min].
LOOS_NG_con = 175; % LOOS max NG consumption in 15 min: 175 Nm3 according to
historical data analysis

% ----- Transfer function "B" -----
% System for converting the flue gases heat of the pusher furnace (PF) %
into high temperature hot water
% input: NG_PF; PF NG consumption
% output: HT_HW_PF;High temp. Hot water from PF Off-Gas cooling system
Kb = 0.010008* 0.15*0.70; % the ratio between the output heat of HT water and
the NG consumption in the steady state [MWh/Nm3]; 1 Nm3 => 0,010008 MWh, OffGas
= 15% NG, HW = 70% OffGas;
Tb = 0.2; % delay of the FO [x * 15 min].
TDb = 0.1; % system "Off-Gas/Steam" dead time [x * 15 min]

% ----- Transfer function "C" -----
% PF to VOD PIPELINE
% input: HT_HW2S_PF; High temp. Hot water used for steam production
% output:HT_HW_PF_VOD; High temp. Hot water at the end of pipeline PF - VOD
Kc = 0.75; % Steady-state pipeline losses 25% [/]
Tc = 1; % delay of the FO [x * 15 min]
TDc = 1.33;% pipeline transport time?? - dead time [x * 15 min]
Pmax_c = 4;% pipeline transfer power MW.
Qmax_c = Pmax_c*TS; % pipeline heat transfer capacity [ MWh / 15 min ]

% ----- Transfer function "D" -----
% Conversion of high temperature (HT) water into steam
% input:HT_HW_PF_VOD; High temp. Hot water at the end of pipeline PF - VOD
% output: HT_HW_PF_VOD ; Steam produced for VOD
Kd = 1.3; % the ratio between the output steam and HT hot water in the steady
state 1,44 t/MWh * 0,90 = 1,3 [t/MWh]
Td = 1; % delay of the FO [x * 15 min].
% ----- Transfer function "E" -----
% regulators parameters -> VOD Storage;

% ----- Transfer function "F" -----
% PF to HS BELA HT_HW PIPELINE
% input: HT_HW_PF*(1-f(y)); Remaining high temperature hot water
% output: HT_HW_PF_BELA ;High temp.Hot water at the end of pipeline PF-HS Bela
Kf = 0.80; % Steady-state pipeline losses [/]
Tf = 0.1; % delay of the FO [x * 15 min]
TDf = 0.33; % pipeline transport time - dead time [x * 15 min]
Pmax_f = 4; % pipeline transfer power MW.
Qmax_f = Pmax_f*TS; % pipeline heat transfer capacity [ MWh / 15 min ]

```

```

% ----- Transfer function "G" -----
% PF water cooling system
% input: NG_PF; PF NG consumption
% output: HT_HW_PF; Hot water from PF water cooling system
Kg = 0.010008* 0.12; % 1Nm3 => 0,010008 MWh, According to SCADA, 12% of the NG
energy is taken away by the cooling water
Tg = 1; % delay of the FO [x * 15 min]
TDg = 2; % system "Off-Gas/Hot water" dead time [x * 15 min]

% ----- Transfer function "H" -----
% PF to HS BELA PIPELINE
% input: HW_PF; Hot water from PF water cooling system
% output: HW_PF_BELA; Hot water at the end of pipeline PF - HS Acr.Bela
Kh = 0.90; % Steady-state pipeline losses [/]
Th = 0.1; % delay of the FO [x * 15 min]
TDh = 0.33; % pipeline transport time - dead time [x * 15 min]

% COOLING TOWER "PF"
PCTmax_PF = 12; % cooling power MW
QCTmax_PF = PCTmax_PF*TS; % cooling capacity [ MWh / 15 min ]

% ===== CRNO =====

% ----- Transfer function "I" -----
% "Off-Gas to Steam" system, line CRNO
% input: NG_CRNO
% output: Steam_CRNO - Steam produced on CRNO Steam boiler
Ki = 0.013; % 0.010008 MWh/Nm3*1.44t/MWh*90% = 0.013 [t/Nm3]
%(special construction of the incinerator)
Ti = 0.5; % delay of the FO[x * 15 min] When transitioning from idle to active
TDi = 0.5;% boiler dead time [x * 15 min]

% ----- Transfer function "J" -----
% "CRNO electric steam generator" - transfer function used to simulate the
% steam used in CRNO process
% input: EE_CRNO_SteamGEN; CRNO steam generator EE consumption
% output: CRNO_SteamGen = Steam_CRNO: Steam used in CRNO process
Kj = 1.3; % the ratio between the output steam and the consumption of EE in
% the steady state 1,44 t/MWh *90% [t / MWh]
Tj = 0.2; % delay of the FO [x * 15 min]
TDj = 0.1; % boiler dead time [x * 15 min]

% ----- Transfer function "K" -----
% "CRNO electric steam generator - DEGREASER" - transfer function used to
% simulate the heat used in CRNO degreaser. Electric heating is currently
% used, which will be replaced by steam heating. Presumably, the same heating %
power will be required.
% input: EE_CRNO_Deg: EE used for CRNO degreaser heating
% output: CRNO_SteamDeg = Heat (steam) that will be used in CRNO degreaser
Kk = 1.565; % the ratio between the output steam and the consumption of EE in %
the steady state [t / MWh] (3.6GJ/MWh / 2.3GJ/t = 1.565t/MWh)
Tk = 0.1; % delay of the FO [x * 15 min]
TDk = 0.1; % degreaser heating dead time [x * 15 min]

% ----- Transfer function "L" -----
% Conversion of steam into hot water
% input:CRNO_St2HW; The remaining steam to convert into hot water:
% CRNO St2HW = Steam_CRNO - (CRNO_SteamGen + CRNO_HeatDeg)
% output: HW_CRNO; Hot water from Steam2HW converter
Kl = 0.575; % the ratio between the output hot water and input steam in the
% steady state 0.639MWh/t *90% = 0.575 [MWh/t]
Tl = 0.2; % delay of the 1st order proportional system [x * 15 min]

```

```

% ----- Transfer function "M" -----
% CRNO to HS BELA HW PIPELINE
% input: HW_CRNO; Hot water from Steam2HW converter
% output: HW_CRNO_BELA; Hot water at the end of pipeline CRNO - HS Bela
Km = 0.80;          % Steady-state pipeline losses 20% [/]
Tm = 0.2;          % delay of the 1st order proportional system [x * 15 min]
Tdm = 0.8;         % pipeline transport time - dead time [x * 15 min]
Pmax_m = 2;        % pipeline transfer power MW
Qmax_m = Pmax_m*TS; % pipeline heat transfer capacity [ MWh / 15 min ]

% COOLING TOWER "CRNO" - safety valve
PCTmax_CRNO = 2; % cooling power MW
QCTmax_CRNO = PCTmax_PF*TS; % cooling capacity [ MWh / 15 min ]

% ===== PDP =====
% ----- Transfer function "N" -----
% "EE / Heat" - Pickling tubes electric heaters
% input: HW_PicT_EE (52): Electricity consumption of Pickling tubs heating
% output: PicT_Heat: Pickling tubes heat load profile
Kn = 0.95;         % the ratio between the output heat and the consumption of EE in
                  % the steady state (energy efficiency) [ / ]
Tn = 0.3;          % delay of the 1st order proportional system [x * 15 min]
TDn = 0.3;         % heater dead time [x * 15 min].
                  % The heater and the boiler are far from the pickling tubs

% ----- Transfer function "O" -----
% "EE / Heat" - Heating and sanitary water electric heaters
% input: HS_Acroni_EE: Consumption of Heating and sanitary water el. heaters
% output: HS_EE_Heat: Total amount of heat from EE to heat conv.(HS Acr. PDP)
Ko = 0.95;         % the ratio between the output heat and the consumption of EE in
                  % the steady state (energy efficiency) [ / ]
To = 1;           % delay of the 1st order proportional system [x * 15 min]
TDo = 0.1;        % heater dead time [x * 15 min]

% ----- Transfer function "P" -----
% "NG / Heat" - Heating and sanitary water NG heaters
% input: HS_Acroni_NG: NG consumption of Heating and sanitary water el.heaters
% output:HS_NG_Heat: Total amount of heat from NG to heat conv.(HS Acr. PDP)
Kp = 0.010008* 1; % the ratio between the output heat and the consumption
of
% NG in the steady state [MWh / Nm3]; 1 Nm3 =>0.010008 MWh.
% Efficiency is cca 100% due to condensing furnaces.
Tp = 1; % delay of the 1st order proportional system [x * 15 min]
TDp = 0.15; % heater dead time [x * 15 min]

% ----- Transfer function "U" -----
% Welman Off-gas water cooling system
% input: NG_Wel; Welman NG consumption
% output: HW_Wel; Hot water from Welman furnace Off-gas cooling system (PDP)
Ku = 0.010008* 0.2; % the ratio between the heat of hot water from Welman Off-%
gas water cooling system and the consumption of NG in the steady state
% 1 Nm3 => 0.010008 MWh, 20 %
Tu = 1; % delay of the 1st order proportional system [x * 15 min]
TDu = 0.33; % system "Off-Gas/Hot water" dead time [x * 15 min]
Pmax_PDptoEB = 0.6; % heat exchanger power MW (all four furnaces considered)
Qmax_PDptoEB = Pmax_PDptoEB*TS; % HS PDP to HS ENOS Bela return pipeline heat %
exchanger heat transfer capacity [ MWh / 15 min ]

```

```

% ===== HS Acroni Bela & HS Jeklarna =====

% ----- Transfer function "Q" -----
% Compressors EE consumption to hot water (cooling system)
% input: EE_Comp: Compressors electricity consumption
% output: HW_Comp: Hot water from the compressor heat exchanger
Kq = 0.75;
% the ratio between the output heat and the EE consum.in the steady state [/]
Tq = 0.75; % delay of the 1st order proportional system [x * 15 min]
TDq = 0.2; % heater dead time [x * 15 min]

% ----- Transfer function "R" -----
% Jeklarna to HS Bela PIPELINE
% input:HW_Jeklarna; Hot water from HS Jeklarna
% output: HW_Jeklarna_Bela; Hot water at the end of pipeline Jeklarna- HS Bela
Kr = 0.70; % Steady-state pipeline losses [/] 30% izgube
Tr = 0.5; % delay of the 1st order proportional system [x * 15 min]
TDr = 2; % pipeline transport time - dead time [x * 15 min]
Pmax_r = 16;% pipeline transfer power MW
Qmax_r = Pmax_r*TS; % pipeline heat transfer capacity [ MWh / 15 min ]

% ----- Transfer function "S" -----
% HC Acroni BELA to HS ENOS Jesenice PIPELINE
% input:HW_BELA_Jes; Heat from HS Acroni Bela distributed to ENOS
% output: HW_Jes; Heat at the end of pipeline HS Bela Acr.- HS Enos Jesenice
Ks = 0.90; % Steady-state pipeline losses [/]
Ts = 4; % delay of the 1st order proportional system [x * 15 min]
TDS = 2; % pipeline transport time - dead time EK [x * 15 min]
Pmax_s = 7; % pipeline transfer power MW
Qmax_s = Pmax_s*TS; % pipeline heat transfer capacity [ MWh / 15 min ]

%max heat transfered from HS Acr Bela to HS ENOS BELA
Pmax_ABtoEB = 0.6; % heat exchanger power MW
Qmax_ABtoEB = Pmax_ABtoEB*TS; % heat transfer capacity [ MWh / 15 min ]

% COOLING TOWER "JEKLARNA"
PCTmax_JEK = 12; % cooling power MW
QCTmax_JEK = PCTmax_JEK*TS; % cooling capacity [ MWh / 15 min ]

% COOLING TOWER "HC ACR BELA"
PCTmax_HSAB = 20; % cooling power MW
QCTmax_HSAB = PCTmax_HSAB*TS; % cooling capacity [ MWh / 15 min ]

% ----- Transfer function "T" -----
% CHP12(s) ... CHP 1 & 2 heat TF
% input: NG_CHP12 NG used for "backup" heat production
% output: Q_CHP12
Kt = 0.010008*0.50; % the ratio between the output heat and the consumption
% of NG in the steady state [MWh / Nm3]; 1 Nm3 => 0.010008 MWh,
% 50% -> according to historical data analysis
Tt = 1; % delay of the 1st order proportional system [x * 15 min]
TDt = 0.5; % boiler dead time [x * 15 min]
CHP12_NG_con = 46; % According to historical data analysis, NG consumption of
one CHP is 23 Nm3 in 15 min. There are 2 units.

```

```

% ===== HS ENOS Bela & HS ENOS Jesenice =====

% There are currently no production facilities at other locations of the
% district heating system. All existing devices in both boiler rooms can
% operate independently. For the time being, there is no thermal energy storage
% in the Jesenice boiler house. The Bela has a built-in storage tank.

% ***** JESENICE *****
% - Hot water boiler 10 MW,
% - Hot water boiler 10 MW,
% - 7 CHP units, total power 8.442 MW -> 7 x 1.206 MW.
% - Operating mode: All year round (sanitary hot water). First, the CHP
%   devices are switched on, the peak loads are covered by the boilers.

% ----- Transfer function "CJ1" -----
% CHP_J1 ... HS ENOS Jesenice district heating CHP unit 1, 1.206 MW
% input: NG_CHPJ1 NG used for CHP unit 1 heat production in HS ENOS Jesenice
% output: Q_CHPJ1
Kcjl = 0.010008*0.60; % the ratio between the output heat and the consumption
of NG in the steady state [MWh / Nm3]; 1 Nm3 => 0.010008 MWh, 60%
Tcjl = 1; % delay of the 1st order proportional system [x * 15
min]
TDcjl = 0.2; % CHP dead time [x * 15 min]
CHPJ1_NG_con = 50;
% CHP_J1 max NG consumption NG: Heat 1.206 MW, cca 100 Nm3/MWh, 60% -> Q,
% 1.206MW/60% = 2,01 MWh/h, = cca 200 Nm3/h; 200/4 = 50 Nm3/15min

% ----- Transfer function "CJ2" -----
% CHP_J2 ... HS ENOS Jesenice district heating CHP unit 2, 1.206 MW
% input: NG_CHPJ2 NG used for CHP unit 2 heat production in HS ENOS Jesenice
% output: Q_CHPJ2
Kcj2 = 0.010008*0.60; % the ratio between the output heat and the consumption
of NG in the steady state [MWh / Nm3]; 1 Nm3 => 0.010008 MWh, 60%
Tcj2 = 1; % delay of the 1st order proportional system [x * 15
min]
TDcj2 = 0.2; % CHP dead time [x * 15 min]
CHPJ2_NG_con = 50;
% CHP_J2 max NG consumption NG: Heat 1.206 MW, cca 100 Nm3/MWh, 60% -> Q,
% 1.206MW/60% = 2,01 MWh/h, = cca 200 Nm3/h; 200/4 = 50 Nm3/15min

% ----- Transfer function "CJ3" -----
% CHP_J3 ... HS ENOS Jesenice district heating CHP unit 3, 1.206 MW
% input: NG_CHPJ3 NG used for CHP unit 3 heat production in HS ENOS Jesenice
% output: Q_CHPJ3
Kcj3 = 0.010008*0.60; % the ratio between the output heat and the consumption
of NG in the steady state [MWh / Nm3]; 1 Nm3 => 0.010008 MWh, 60%
Tcj3 = 1; % delay of the 1st order proportional system [x * 15
min]
TDcj3 = 0.2; % CHP dead time [x * 15 min]
CHPJ3_NG_con = 50;
% CHP_J3 max NG consumption NG: Heat 1.206 MW, cca 100 Nm3/MWh, 60% -> Q,
% 1.206MW/60% = 2,01 MWh/h, = cca 200 Nm3/h; 200/4 = 50 Nm3/15min
Nm3/15min

% ----- Transfer function "CJ4" -----
% CHP_J4 ... HS ENOS Jesenice district heating CHP unit 4, 1.206 MW
% input: NG_CHPJ4 NG used for CHP unit 4 heat production in HS ENOS Jesenice
% output: Q_CHPJ4
Kcj4 = 0.010008*0.60; % the ratio between the output heat and the consumption
of NG in the steady state [MWh / Nm3]; 1 Nm3 => 0.010008 MWh, 60%
Tcj4 = 1; % delay of the 1st order proportional system [x * 15
min]
TDcj4 = 0.2; % CHP dead time [x * 15 min]
CHPJ4_NG_con = 50;
% CHP_J4 max NG consumption NG: Heat 1.206 MW, cca 100 Nm3/MWh, 60% -> Q,
% 1.206MW/60% = 2,01 MWh/h, = cca 200 Nm3/h; 200/4 = 50 Nm3/15min

```

```

% ----- Transfer function "CJ5" -----
% CHP_J5 ... HS ENOS Jesenice district heating CHP unit 5, 1.206 MW
% input: NG_CHPJ5 NG used for CHP unit 5 heat production in HS ENOS Jesenice
% output: Q_CHPJ5
Kcj5 = 0.010008*0.60; % the ratio between the output heat and the consumption
of NG in the steady state [MWh / Nm3]; 1 Nm3 => 0.010008 MWh, 60%
Tcj5 = 1; % delay of the 1st order proportional system [x * 15
min]
TDcj5 = 0.2; % CHP dead time [x * 15 min]
CHPJ5_NG_con = 50;
% CHP J5 max NG consumption NG: Heat 1.206 MW, cca 100 Nm3/MWh, 60% -> Q,
% 1.206MW/60% = 2,01 MWh/h, = cca 200 Nm3/h; 200/4 = 50 Nm3/15min

% ----- Transfer function "CJ6" -----
% CHP_J6 ... HS ENOS Jesenice district heating CHP unit 6, 1.206 MW
% input: NG_CHPJ6 NG used for CHP unit 6 heat production in HS ENOS Jesenice
% output: Q_CHPJ6
Kcj6 = 0.010008*0.60; % the ratio between the output heat and the consumption
of NG in the steady state [MWh / Nm3]; 1 Nm3 => 0.010008 MWh, 60%
Tcj6 = 1; % delay of the 1st order proportional system [x * 15
min]
TDcj6 = 0.2; % CHP dead time [x * 15 min]
CHPJ6_NG_con = 50;
% CHP J6 max NG consumption NG: Heat 1.206 MW, cca 100 Nm3/MWh, 60% -> Q,
% 1.206MW/60% = 2,01 MWh/h, = cca 200 Nm3/h; 200/4 = 50 Nm3/15min

% ----- Transfer function "CJ7" -----
% CHP_J7 ... HS ENOS Jesenice district heating CHP unit 7, 1.206 MW
% input: NG_CHPJ7 NG used for CHP unit 7 heat production in HS ENOS Jesenice
% output: Q_CHPJ7
Kcj7 = 0.010008*0.60; % the ratio between the output heat and the consumption
of NG in the steady state [MWh / Nm3]; 1 Nm3 => 0.010008 MWh, 60%
Tcj7 = 1; % delay of the 1st order proportional system [x * 15
min]
TDcj7 = 0.2; % CHP dead time [x * 15 min]
CHPJ7_NG_con = 50;
% CHP J7 max NG consumption NG: Heat 1.206 MW, cca 100 Nm3/MWh, 60% -> Q,
% 1.206MW/60% = 2,01 MWh/h, = cca 200 Nm3/h; 200/4 = 50 Nm3/15min

% ----- Transfer function "V" -----
% BoilerJ1 ... HS ENOS Jesenice district heating NG boiler 1
% input: NG_BoilerJ1 NG used for heat production in HS ENOS Jesenice
% output: Q_BoilerJ1
Kv = 0.010008* 0.90; % the ratio between the output heat and the consumption
of NG in the steady state [MWh / Nm3]; 1 Nm3 => 0.010008 MWh, 90%
Tv = 2; % delay of the 1st order proportional system [x * 15 min]
TDv = 0.5; % boiler dead time [x * 15 min]
BoilerJ1_NG_con = 277; % BoilerJ1 max NG consumption NG: Heat 10 MW, cca 100
Nm3/MWh,90%->Q,10MW/90% = 11.11 MWh/h; => cca 1111 Nm3/h; 1111/4= 277Nm3/15min

% ----- Transfer function "W" -----
% BoilerJ2 ... HS ENOS Jesenice district heating NG boiler 2
% input: NG_BoilerJ2 NG used for heat production in HS ENOS Jesenice
% output: Q_BoilerJ2
Kw = 0.010008* 0.90; % the ratio between the output heat and the consumption
of NG in the steady state [MWh / Nm3]; 1 Nm3 => 0.010008 MWh, 90%
Tw = 2; % delay of the 1st order proportional system [x * 15 min]
TDw = 0.5; % boiler dead time [x * 15 min]
BoilerJ2_NG_con = 277; % BoilerJ2 max NG consumption NG: Heat 10 MW, cca 100
Nm3/MWh,90%->Q,10MW/90% = 11.11 MWh/h; => cca 1111 Nm3/h; 1111/4= 277Nm3/15min

% ***** BELA *****
% - Hot water boiler 3 MW, Hot water boiler 0,7 MW,
% - 1 CHP unit 0,552 MW.
% - Operating mode: winter time. First, the CHP device is switched on, the
% peak loads are covered by the boilers. Built-in 23m3 storage tank.

```

```

% ----- Transfer function "X" -----
% BoilerJ1 ... HS ENOS BELA district heating NG boiler 1, 700 kW
% input:      NG_BoilerB1 NG used for heat production in HS ENOS BELA
% output:     Q_BoilerB1
Kx = 0.010008* 0.90; % the ratio between the output heat and the consumption
% of NG in the steady state [MWh / Nm3]; 1 Nm3 => 0.010008 MWh, 90%
Tx = 1.5;        % delay of the 1st order proportional system [x * 15 min]
TDx = 0.3;       % boiler dead time [x * 15 min]
BoilerB1_NG_con = 20; % BoilerB1 max NG consumption NG: Heat 700 kW, cca 100
% Nm3/MWh, 90% -> Q, 0.7MW/90% = 0.778 MWh/h, = cca 78Nm3/h; 78/4= 20Nm3/15min

% ----- Transfer function "Y" -----
% BoilerJ2 ... HS ENOS BELA district heating NG boiler 2, 3000 kW
% input:      NG_BoilerB2 NG used for heat production in HS ENOS BELA
% output:     Q_BoilerB2
Ky = 0.010008* 0.90; % the ratio between the output heat and the consumption
% of NG in the steady state [MWh / Nm3]; 1 Nm3 => 0.010008 MWh, 90%
Ty = 2.1;        % delay of the 1st order proportional system [x * 15 min]
TDy = 0.5;       % boiler dead time [x * 15 min]
BoilerB2_NG_con = 83; % BoilerB2 max NG consumption NG: Heat 3 MW, cca 100
% Nm3/MWh, 90%-> Q,3MW/90% = 3.33 MWh/h, = cca 333 Nm3/h; 333/4 = 83 Nm3/15min

% ----- Transfer function "Z" -----
% CHP_B1 ... HS ENOS BELA district heating CHP unit 1, 552 kW
% input:      NG_CHPB1 NG used for heat production in HS ENOS BELA
% output:     Q_CHPB1
Kz = 0.010008* 0.60; % the ratio between the output heat and the consumption
% of NG in the steady state [MWh / Nm3]; 1 Nm3 => 0.010008 MWh, 60%
Tz = 1;         % delay of the 1st order proportional system [x * 15 min]
TDz = 0.2;      % boiler dead time [x * 15 min]
CHPB1_NG_con = 23; % CHP B1 max NG consumption NG: Heat 552kW,cca 100 Nm3/MWh,
% 60%-> Q, 0.552MW/60% = 0.92 MWh/h, = cca 92 Nm3/h; 92/4 = 23 Nm3/15min

%max heat transfered from HS ENOS Bela to HS PDP
Pmax_EBtoPDP = 1.0; % heat exchanger power MW
Qmax_EBtoPDP = Pmax_EBtoPDP*TS; % heat transfer capacity [ MWh / 15 min
]
%max heat transfered from HS ENOS Bela to HS Acroni BELA
Pmax_EBtoAB = 3.2; % heat exchanger power MW
Qmax_EBtoAB = Pmax_EBtoAB*TS; % heat transfer capacity [ MWh / 15 min ]

% =====
% ***** Storage HS Jeklarna (HW) *****
Storage_Jek_MAX = 20; % max. storage capacity of HS Jeklarna Heat Storage[MWh]
Sref_HWtoHSB_ON = 40; % HW to HS Bela "ON" Storage referenece [%]
Sref_HWtoHSB_OFF = 5; % HW to HS Bela "OFF" Storage referenece [%]
S_ref_Cooling = 95; % Cooling tower Storage reference [%]
delta_y = 10; % hysteresis [%]

% ***** Storage CRNO (steam) *****
Storage_CRNO_MAX = 3; % maximal storage capacity of CRNO steam Storage [t]
Sref_St2HW_ON = 95; % Steam to HW "ON" Storage referenece [%]
Sref_St2HW_OFF = 50; % Steam to HW "OFF" Storage referenece [%]
Sref_DegGen_Enable = 20; % Deg & Gen Enable reference [%]

% ***** Storage PF (HT Hot Water) *****
Storage_PF_MAX = 10; % maximal storage capacity of PF HTHW Storage [MWh]
Sref_PF2VOD_ON = 50; % PF HTHW to VOD "ON" Storage referenece [%]
Sref_PF2VOD_OFF = 10; % PF HTHW to VOD "OFF" Storage referenece [%]
Sref_PF2HSB_ON = 70; % PF HTHW to HS AcrBela "ON" Storage referenece [%]
Sref_PF2HSB_OFF = 50; % PF HTHW to HS AcrBela "OFF" Storage referenece [%]

%***** Storage VOD (Steam) *****
Storage_VOD_MAX = 5; % maximal storage capacity of VOD Steam Storage [t]
Sref_PF_ON = 90; % PF_HTHW to VOD "ON" Storage referenece [%]
Sref_PF_OFF = 95; % PF_HTHW to VOD "OFF" Storage referenece [%]

```

```

Sref_LOOS_ON = 20; % Backup LOOS boiler "ON" Storage referenece [%]
Sref_LOOS_OFF = 80; % Backup LOOS boiler "OFF" Storage referenece [%]

% ***** Storage HS PDP (HW) *****
Storage_PDP_MAX = 2; % maximal storage capacity of PDP HW Storage [MWh]
Sref_EBtoPDP_ON = 20; % Enos Bela to PDP "ON" Storage referenece [%]
Sref_EBtoPDP_OFF = 40; % Enos Bela to PDP "OFF" Storage referenece [%]
Sref_PDptoEB_ON = 80; % PDP to Enos Bela "ON" Storage referenece [%]
Sref_PDptoEB_OFF = 30; % PDP to Enos Bela "OFF" Storage referenece [%]
S_ref_Wel_OFF = 90; % Welman OFF Storage referenece [%]

% ***** Storage HS Acroni BELA (HW) *****
Storage_AB_MAX = 30; % maximal storage capacity of Acr.Bela HW Storage [MWh]
Sref_AB2EB_ON = 30; % Acroni Bela to Enos Bela "ON" Storage ref. [%]
Sref_AB2EB_OFF = 10; % Acroni Bela to Enos Bela "OFF" Storage ref. [%]
Sref_AB2EJ_ON = 40; % Acroni Bela to Enos Jesenice "ON" Storage ref. [%]
Sref_AB2EJ_OFF = 20; % Acroni Bela to Enos Jesenice "OFF" Storage ref. [%]

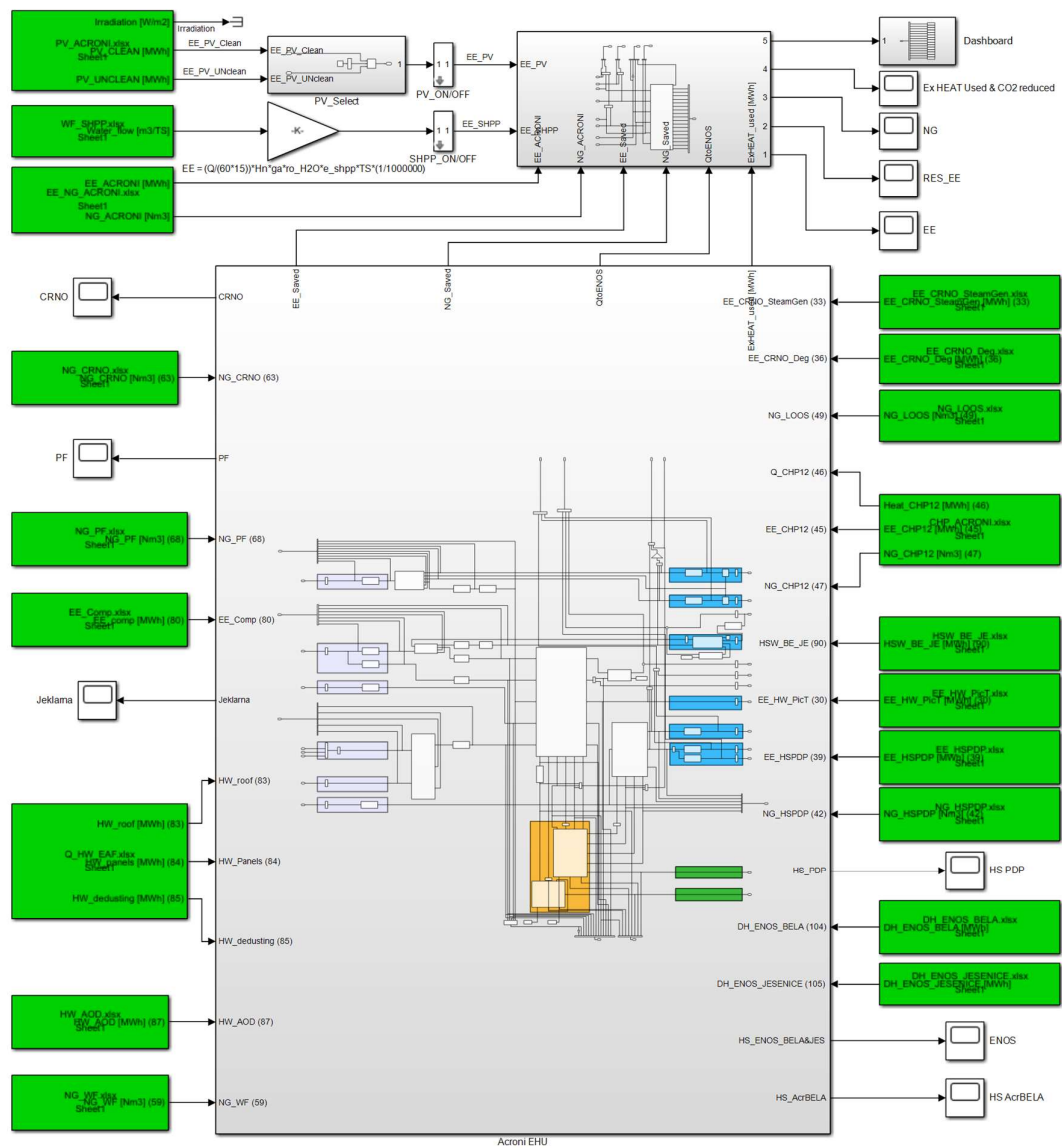
Sref_EBtoAB_ON = 15; % Enos Bela to Acr.Bela request enable "ON" Stor. ref. [%]
Sref_EBtoAB_OFF = 25; % Enos Bela to Acr.Bela request enable "OFF" Stor. ref. [%]

Sref_ABCHP_ON = 10; % Acroni Bela CHP "ON" Storage ref. [%]
Sref_ABCHP_OFF = 20; % Acroni Bela CHP "OFF" Storage ref. [%]

% ***** Storage HS ENOS BELA (HW) *****
Storage_EB_MAX = 0.446; % maximal storage capacity of ENOS Bela HW Storage
% Built-in 23m3 storage tank:
%  $C[kWh] = 0,97 * \Delta T * V[m^3]$  and  $\Delta T = 20^\circ C \Rightarrow C = 0,97 * 20 * 23 = 0.446$  MWh
Sref_ExHW2EB_ON = 60; % Enos Bela Excess Heat RQ "ON" Storage ref. [%]
Sref_ExHW2EB_OFF = 100; % Enos Bela Excess Heat RQ "OFF" Storage ref. [%]
Sref_EBCHP_ON = 50; % Enos Bela CHP "ON" Storage referenece [%] Sref_EBCHP_OFF
= 60; % Enos Bela CHP "OFF" Storage referenece [%]
Sref_EBBo1_ON = 40; % Enos Bela Boiler 1 "ON" Storage referenece [%]
Sref_EBBo1_OFF = 50; % Enos Bela Boiler 1 "OFF" Storage referenece [%]
Sref_EBBo2_ON = 30; % Enos Bela Boiler 2 "ON" Storage referenece [%]
Sref_EBBo2_OFF = 40; % Enos Bela Boiler 2 "OFF" Storage referenece [%]
Sref_EB2PDP_ON = 30; % Enos Bela to PDP request enable "ON" Storage ref. [%]
Sref_EB2PDP_OFF = 10; % Enos Bela to PDP request enable "OFF" Storage ref. [%]
Sref_EB2AB_ON = 30; % Enos Bela to Acr.Bela request enable "ON" Storage ref. [%]
Sref_EB2AB_OFF = 10; % Enos Bela to Acr.Bela request enable "OFF" Stor.ref. [%]

% ***** Storage HS ENOS Jesenice (HW) *****
Storage_EJ_MAX = 5; %max. storage capacity of ENOS Jesenice HW Storage [MWh]
Sref_ExHW2EJ_ON = 93; % Enos Jesenice Excess Heat RQ "ON" Storage ref. [%]
Sref_ExHW2EJ_OFF = 95; % Enos Jesenice Excess Heat RQ "OFF" Storage ref. [%]
Sref_EJCHP1_ON = 50; % Enos Jesenice CHP1 "ON" Storage referenece [%]
Sref_EJCHP1_OFF = 65; % Enos Jesenice CHP1 "OFF" Storage referenece [%]
Sref_EJCHP2_ON = 55; % Enos Jesenice CHP2 "ON" Storage referenece [%]
Sref_EJCHP2_OFF = 60; % Enos Jesenice CHP2 "OFF" Storage referenece [%]
Sref_EJCHP3_ON = 55; % Enos Jesenice CHP3 "ON" Storage referenece [%]
Sref_EJCHP3_OFF = 60; % Enos Jesenice CHP3 "OFF" Storage referenece [%]
Sref_EJCHP4_ON = 60; % Enos Jesenice CHP4 "ON" Storage referenece [%]
Sref_EJCHP4_OFF = 70; % Enos Jesenice CHP4 "OFF" Storage referenece [%]
Sref_EJCHP5_ON = 65; % Enos Jesenice CHP5 "ON" Storage referenece [%]
Sref_EJCHP5_OFF = 70; % Enos Jesenice CHP5 "OFF" Storage referenece [%]
Sref_EJCHP6_ON = 65; % Enos Jesenice CHP6 "ON" Storage referenece [%]
Sref_EJCHP6_OFF = 75; % Enos Jesenice CHP6 "OFF" Storage referenece [%]
Sref_EJCHP7_ON = 70; % Enos Jesenice CHP7 "ON" Storage referenece [%]
Sref_EJCHP7_OFF = 75; % Enos Jesenice CHP7 "OFF" Storage referenece [%]
Sref_EJBo1_ON = 30; % Enos Jesenice Boiler 1 "ON" Storage referenece [%]
Sref_EJBo1_OFF = 40; % Enos Jesenice Boiler 1 "OFF" Storage referenece [%]
Sref_EJBo2_ON = 20; % Enos Jesenice Boiler 2 "ON" Storage referenece [%]
Sref_EJBo2_OFF = 40; % Enos Jesenice Boiler 2 "OFF" Storage referenece [%]

```



ExHeat Sources ON/OFF

CRNO_ON
Off On

PF_ON
Off On

COMP_ON
Off On

EAJ_ON
Off On

ADD_ON
Off On

WEL_ON
Off On

CHP_ON
Off On

ExHeat Sinks ON/OFF

CRNOSteam_ON
Off On

CRNOdeg_ON
Off On

VOD_ON
Off On

HSWPBJE_ON
Off On

PicT_ON
Off On

HSWPDPe_ON
Off On

HSWPDhg_ON
Off On

DHEB_ON
Off On

DHEJ_ON
Off On

EHU Storage capacity [MWh]

Storage_CRNO_MAX

Storage_PF_MAX

Storage_VOD_MAX

Storage_hh_MAX

Storage_AJ_MAX

Storage_PDP_MAX

Storage_EB_MAX

Storage_EJ_MAX

Excess Heat Utilisation results

EE_Saved_SUM [MWh]	NG_Saved_SUM [Nm3]	CO2_Saved_SUM [t]	QtoENOS_SUM [MWh]
--	--	--	--
EE_Saved_y [MWh/year]	NG_Saved_y [Nm3/year]	CO2_Saved_y [t/year]	QtoENOS_y [MWh/year]
--	--	--	--
EE [EUR/year]	NG [EUR/year]	CO2 [EUR/year]	QtoENOS [EUR/year]
--	--	--	--
Acronl [EUR/year]			
--			
ExHeat_Used_SUM [MWh]		ExHeat_Used_y [MWh/year]	
--		--	

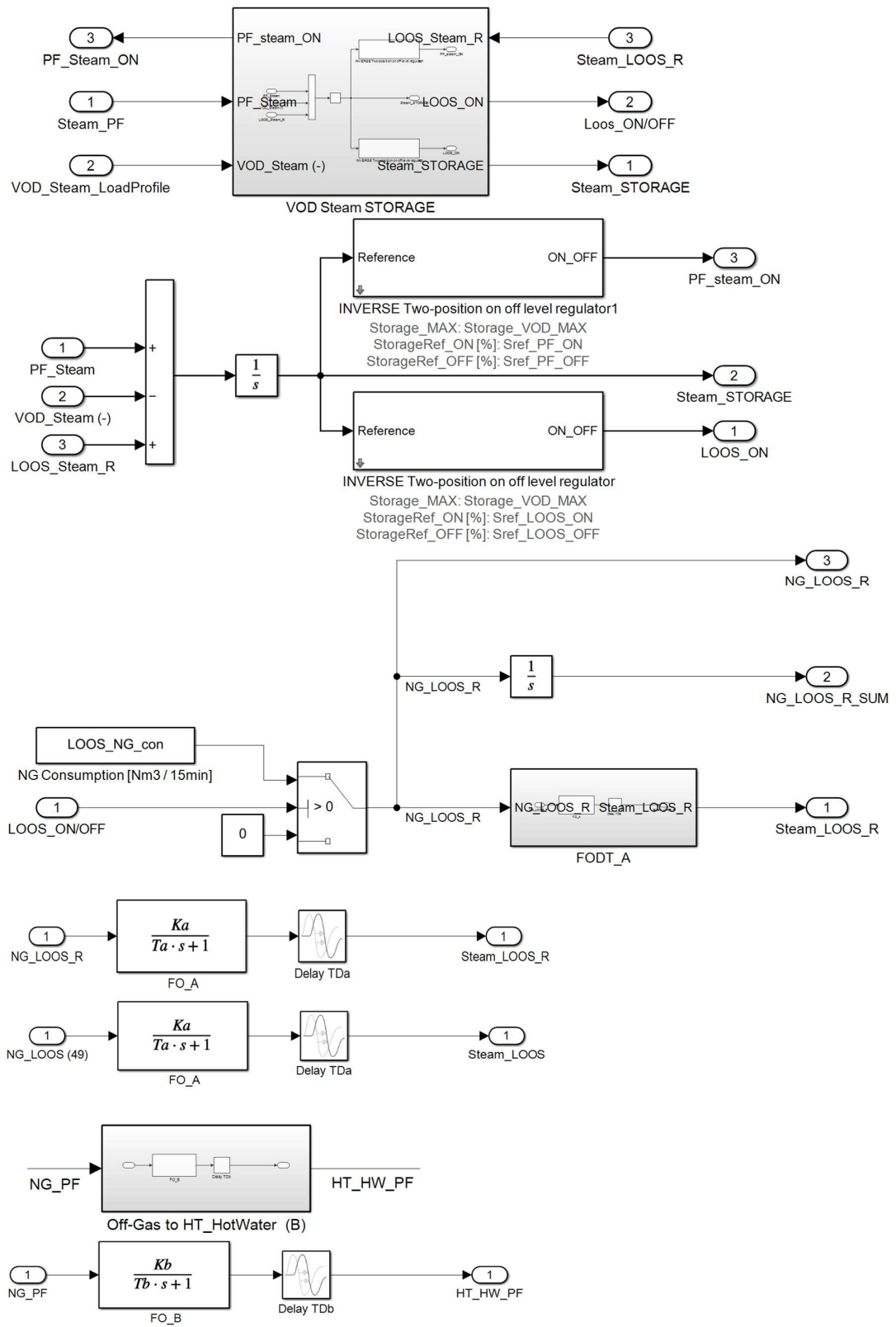
Renewable Energy Sources

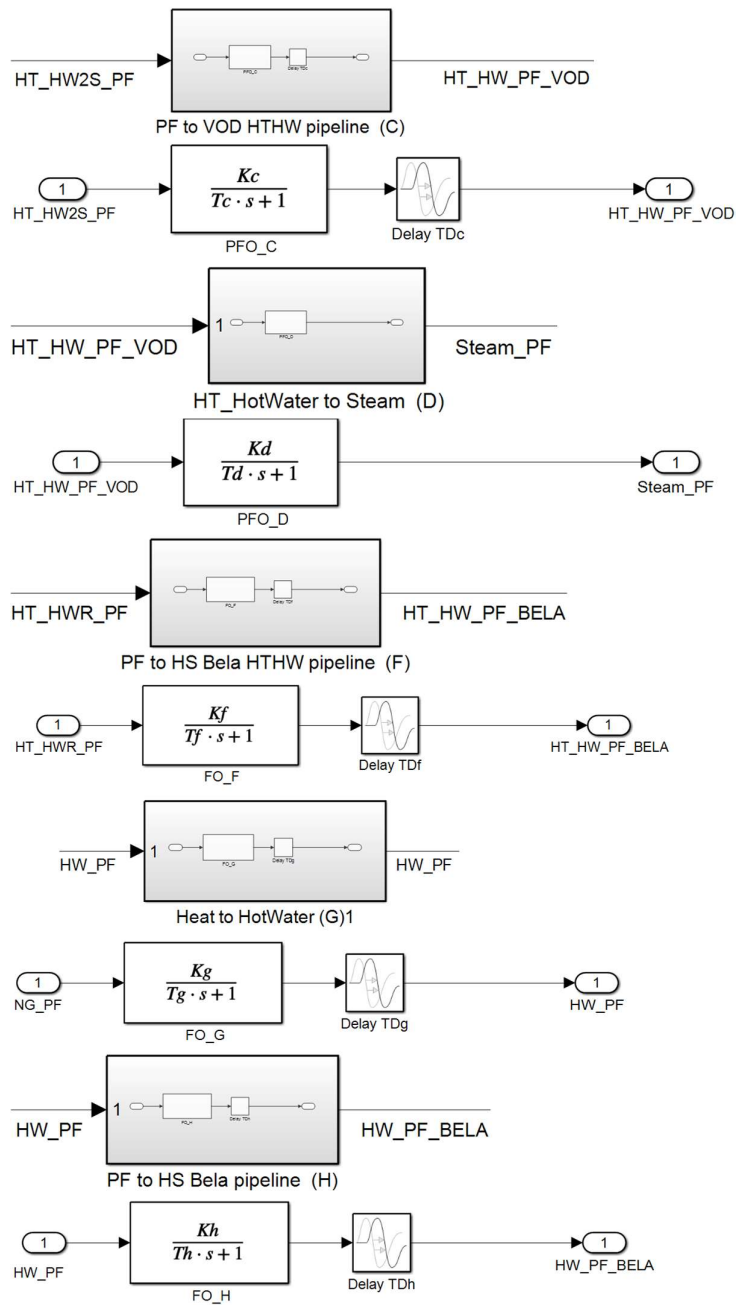
PV_ON On

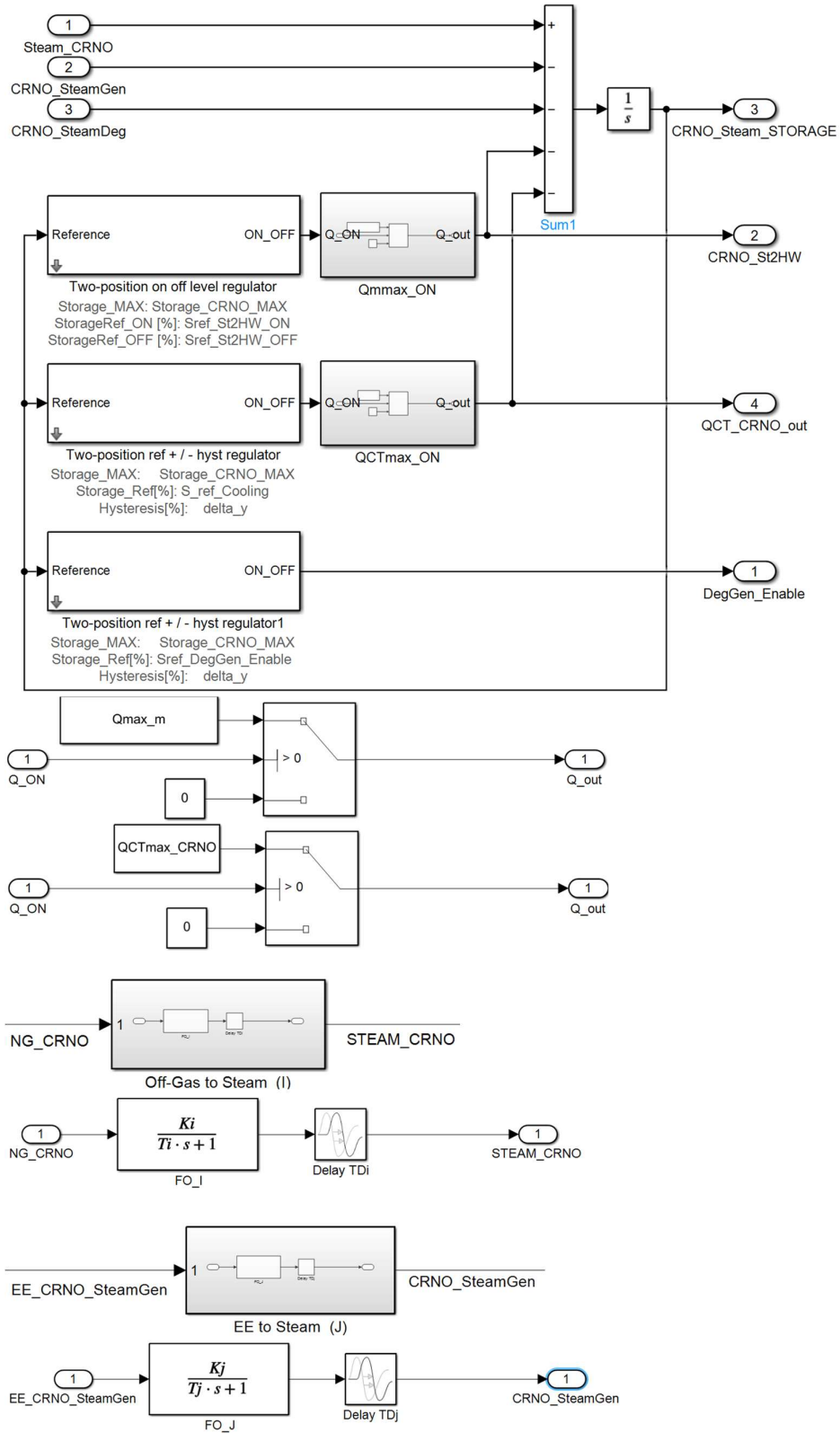
PV_SELECT
Off Unclean Clean

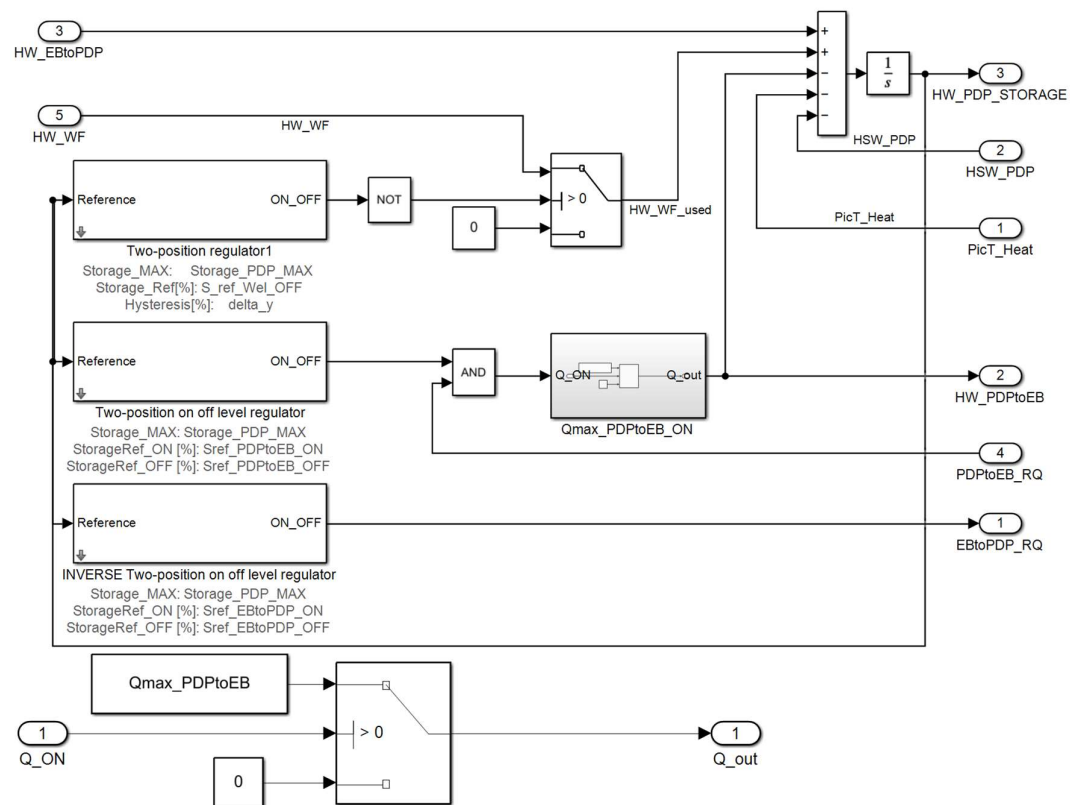
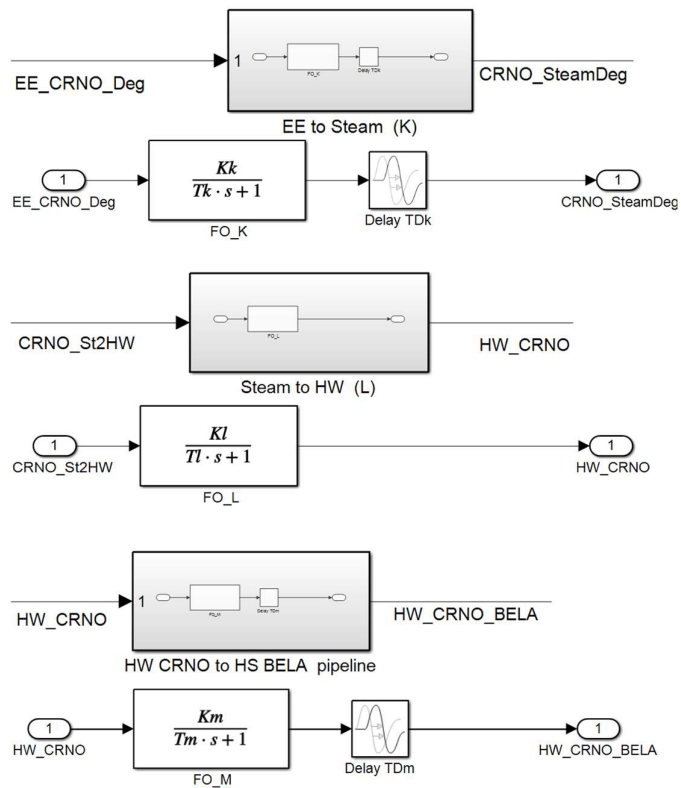
SHPP_ON
Off On

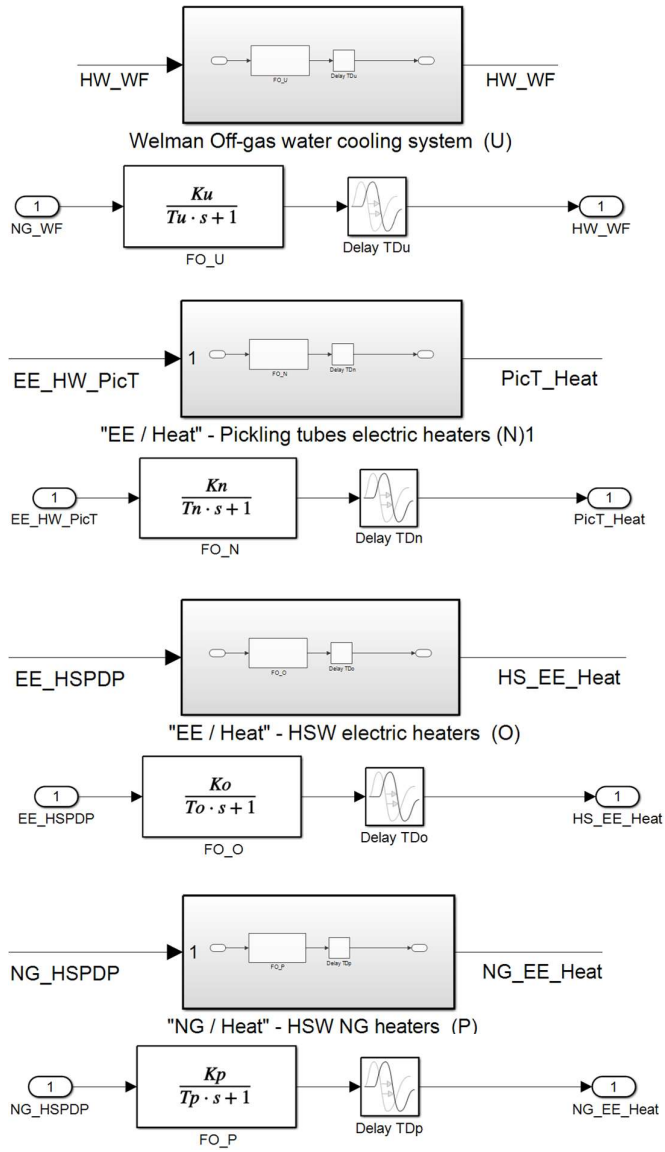
EE_PV_SUM [MWh]	EE_RES_SUM [MWh]	EE_SHPP_SUM [MWh]
--	--	--

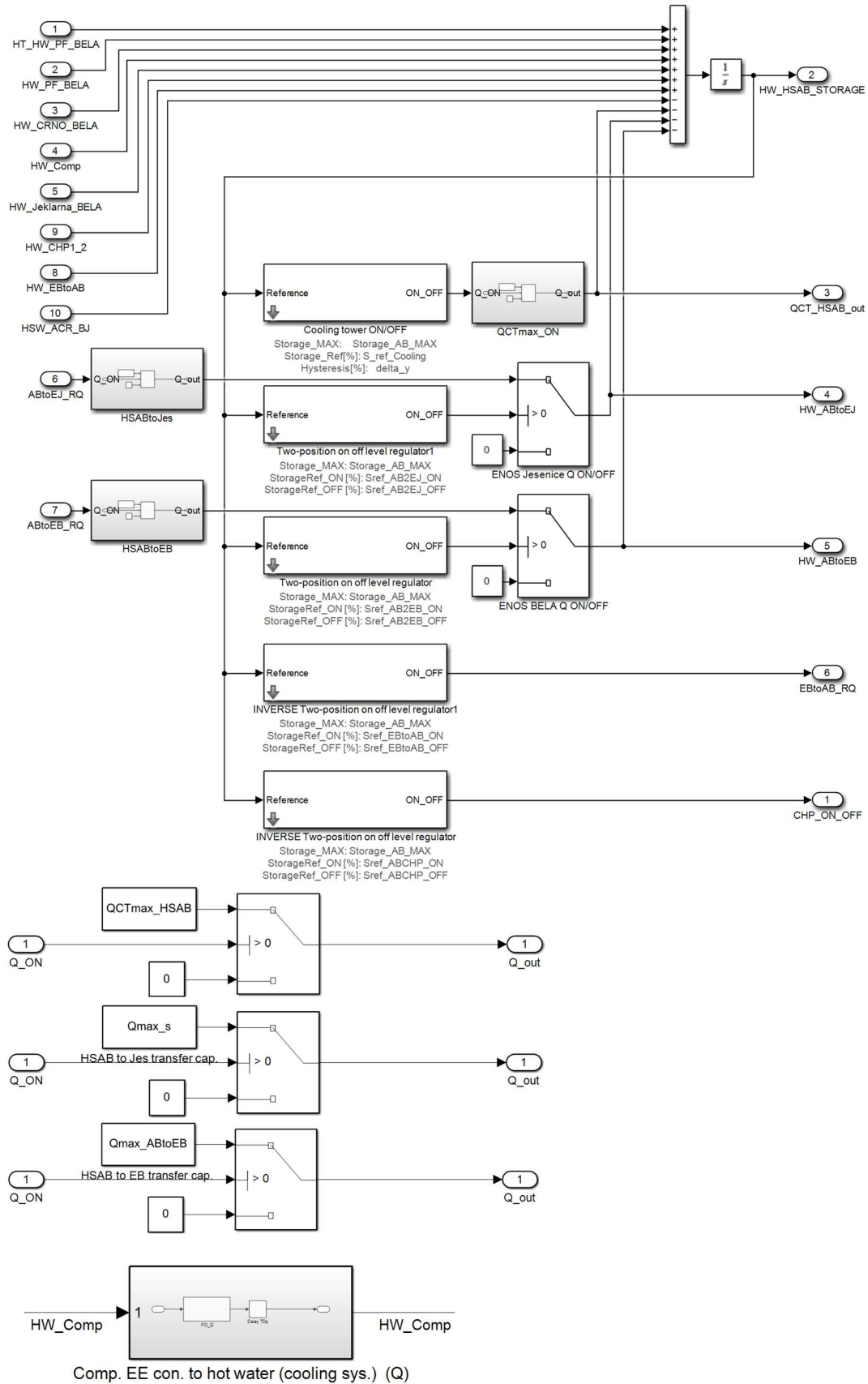


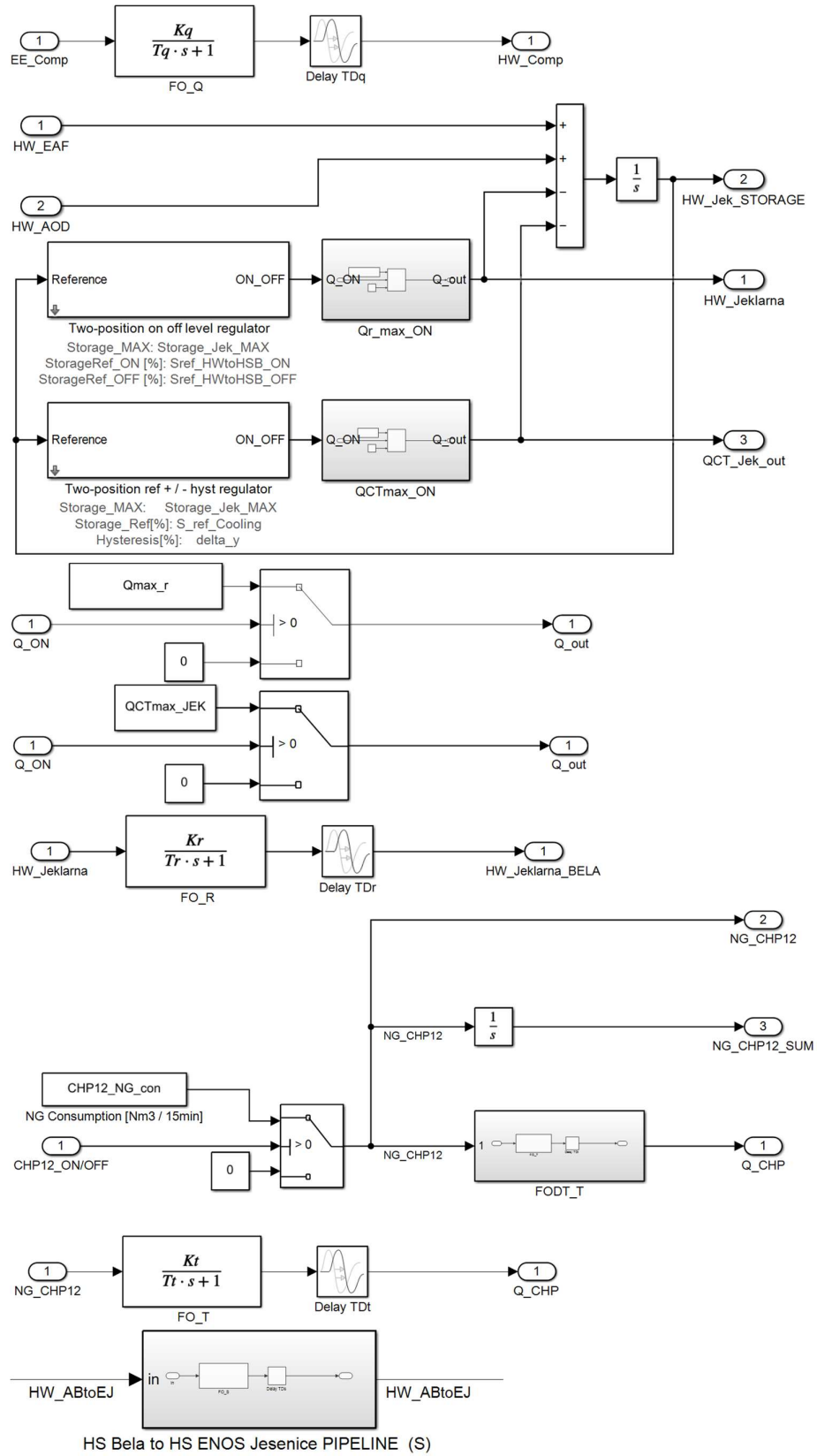


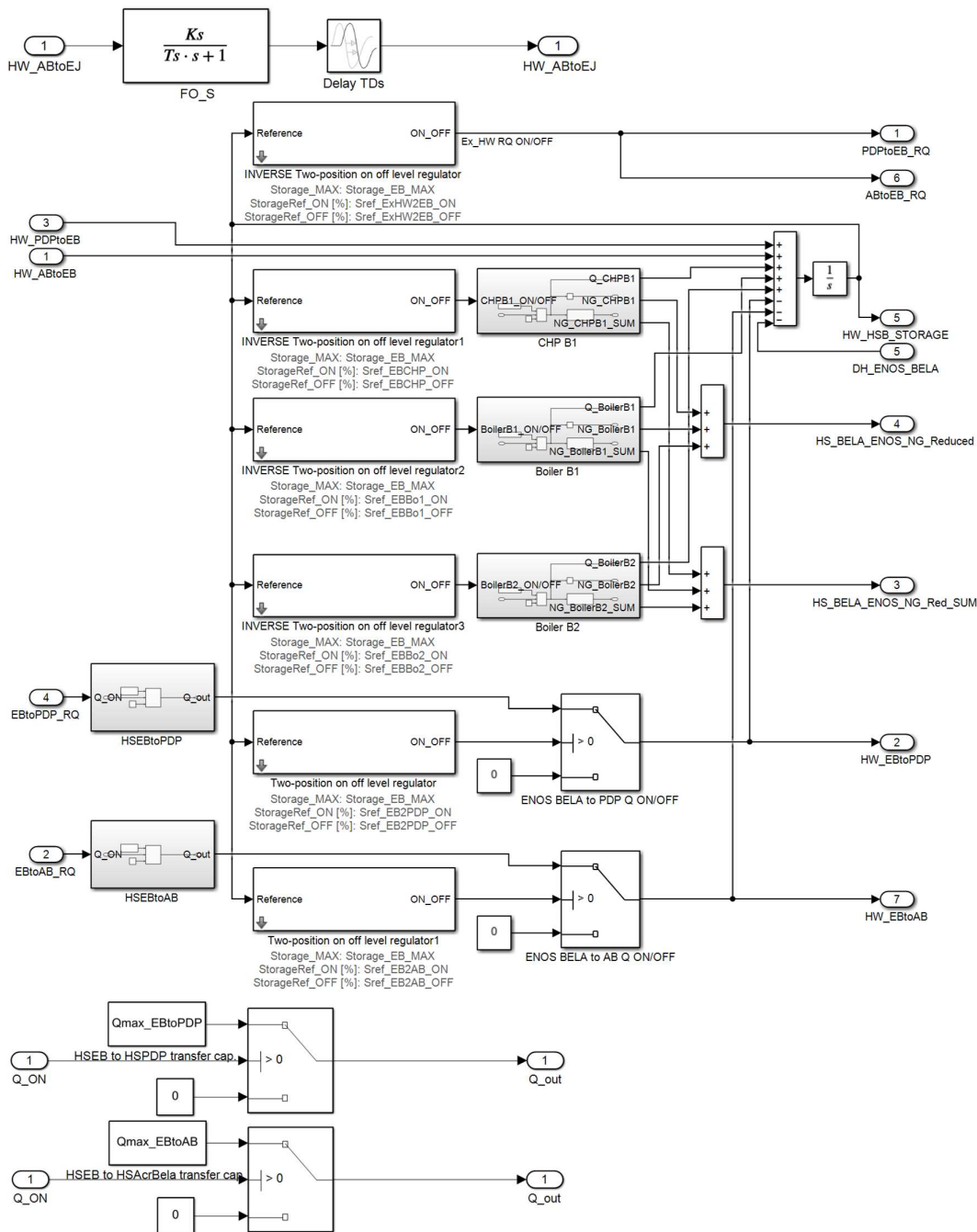


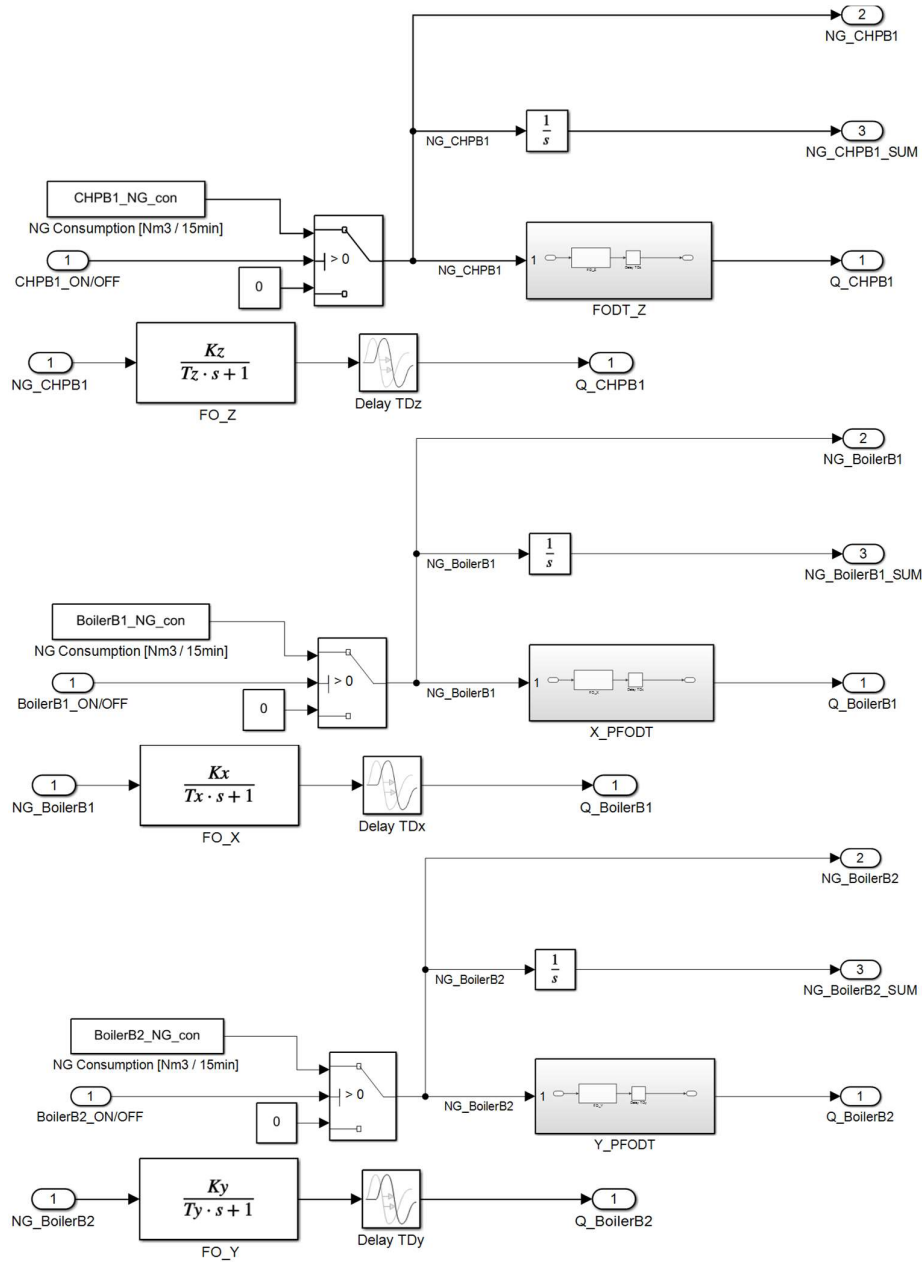


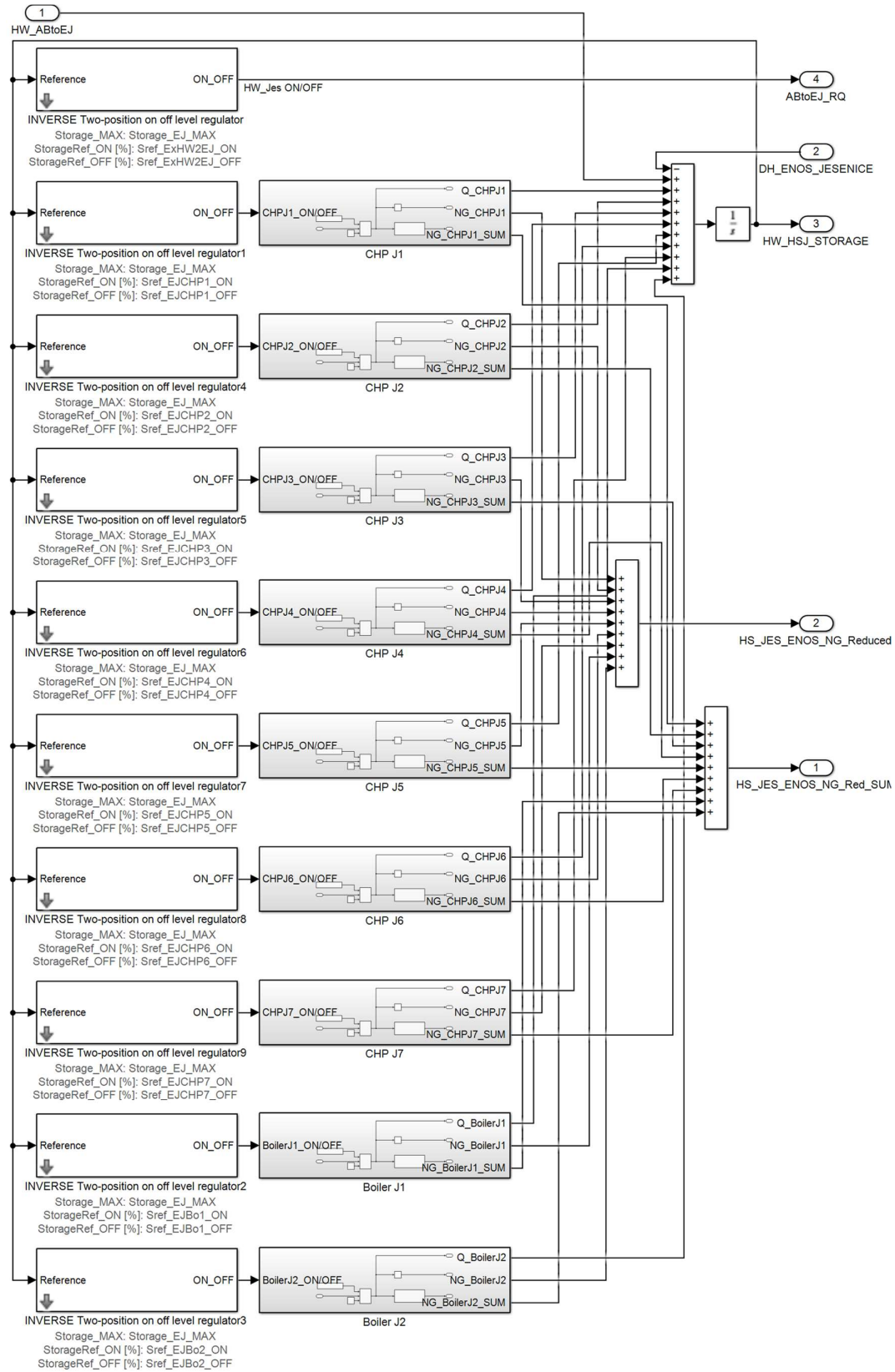


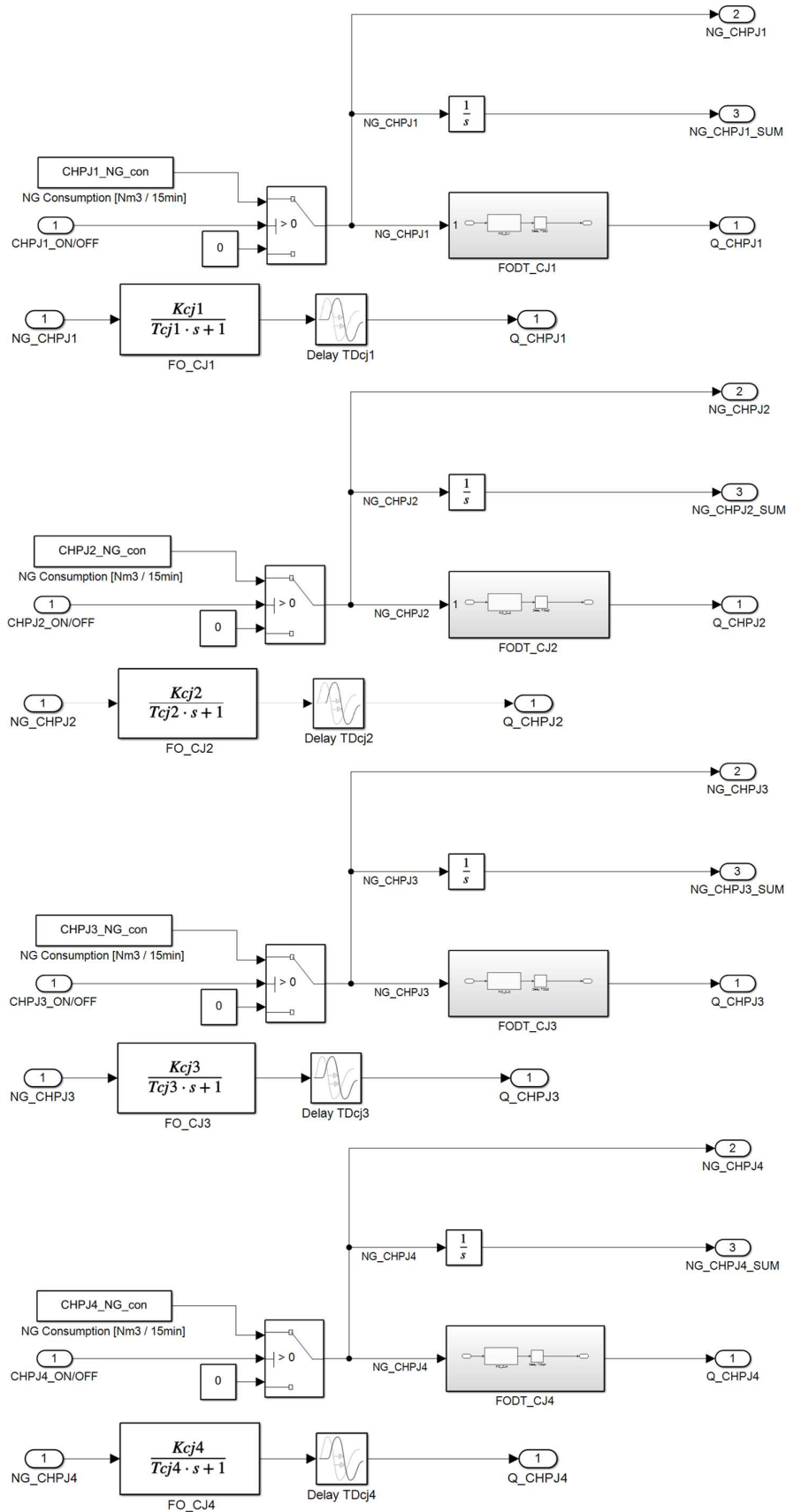


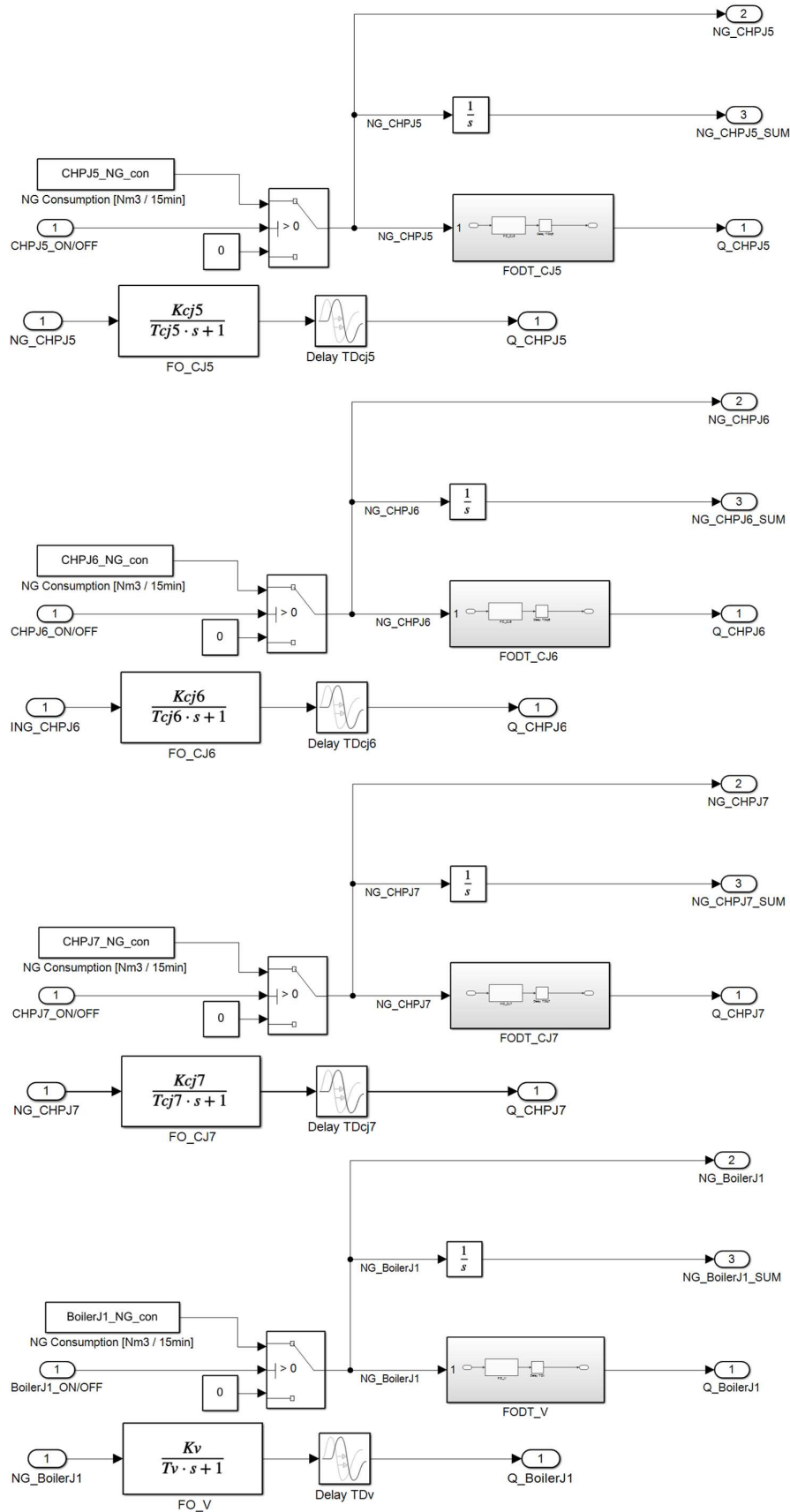


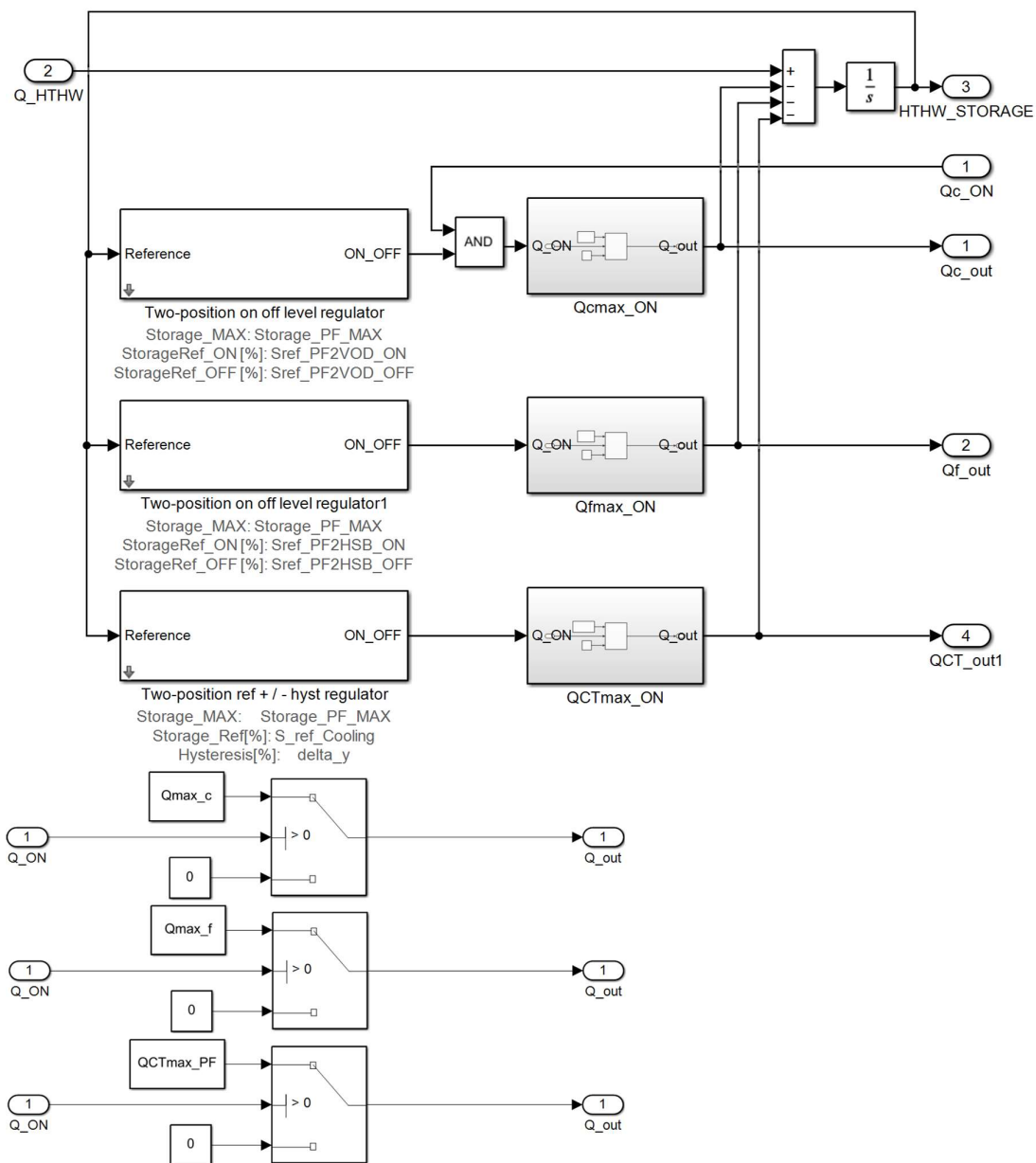
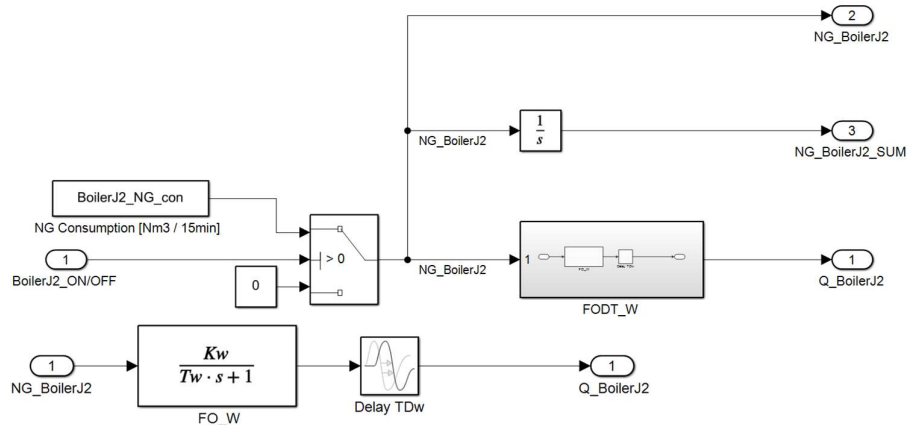


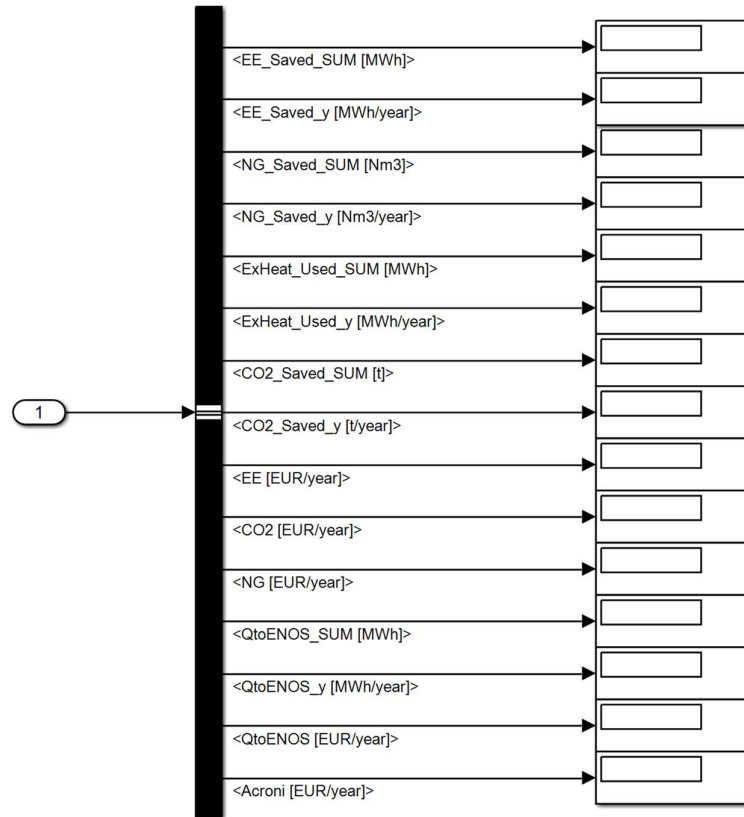
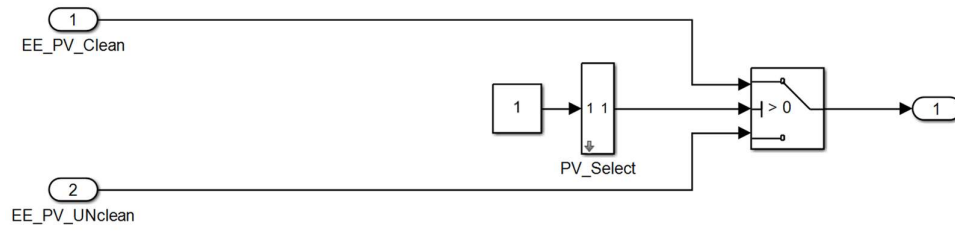












Model Variables

Variable Name	Parent Blocks	Value
AOD_ON	AOD ON/OFF	1
BoilerB1_NG_con	HS ENOS BELA	20
BoilerB2_NG_con	HS ENOS BELA	83
BoilerJ1_NG_con	HS ENOS Jesenice	277
BoilerJ2_NG_con	HS ENOS Jesenice	277
CHP12_NG_con	CHP1 & 2 (T)	46
CHPB1_NG_con	HS ENOS BELA	23
CHPJ1_NG_con	HS ENOS Jesenice	50
CHPJ2_NG_con	HS ENOS Jesenice	50
CHPJ3_NG_con	HS ENOS Jesenice	50
CHPJ4_NG_con	HS ENOS Jesenice	50
CHPJ5_NG_con	HS ENOS Jesenice	50
CHPJ6_NG_con	HS ENOS Jesenice	50
CHPJ7_NG_con	HS ENOS Jesenice	50
CHP_ON	CHP ON/OFF, CHP ON/OFF(INV!), CHP ON/OFF(INV!)1	1
COMP_ON	Comp ON/OFF	1
CRNODEg_ON	CRNODEg ON/OFF	1
CRNOSteam_ON	CRNOSteam ON/OFF	1
CRNO_ON	CRNO ON/OFF	1
DHEB_ON	DHEB ON/OFF DHEB ON/OFF1	1
DHEJ_ON	DHEJ ON/OFF	1
EAF_ON	EAF ON/OFF	1
HSWBeJE_ON	HSWBeJE ON/OFF	1
HSWPDpee_ON	HSWPDpee ON/OFF	1
HSWPDpng_ON	HSWPDpng ON/OFF	1
Ka	A PFODT NG_LOOS to Steam boiler (A) LOOS_NG Steam boiler (A)	0.01
Kb	Off-Gas to HT HotWater (B)	0.0011
Kc	PF to VOD HTHW pipeline (C)	0.75
Kcj1	HS ENOS Jesenice	0.006
Kcj2	HS ENOS Jesenice	0.006
Kcj3	HS ENOS Jesenice	0.006
Kcj4	HS ENOS Jesenice	0.006
Kcj5	HS ENOS Jesenice	0.006
Kcj6	HS ENOS Jesenice	0.006
Kcj7	HS ENOS Jesenice	0.006
Kd	HT HotWater to Steam (D)	1.3
Kf	PF to HS Bela HTHW pipeline (F)	0.8
Kg	Heat to HotWater (G)	0.0012
Kh	PF to HS Bela pipeline (H)	0.9
Ki	Off-Gas to Steam (I)	0.013
Kj	EE to Steam (J)	1.3
Kk	EE to Steam (K)	1.565
Kl	Steam to HW (L)	0.575
Km	HW CRNO to HS BELA pipeline	0.8
Kn	"EE / Heat" - Pickling tubes electric heaters (N)	0.95
Ko	"EE / Heat" - HSW electric heaters (O)	0.95
Kp	"NG / Heat" - HSW NG heaters (P)	0.01
Kq	Comp. EE con. to hot water (cooling sys.) (Q)	0.75
Kr	Jeklarna to HS Bela PIPELINE (R)	0.7
Ks	HS Bela to HS ENOS Jesenice PIPELINE (S)	0.9
Kt	CHP1 & 2 (T)	0.005
Ku	Welman Off-gas water cooling system (U)	0.002
Kv	HS ENOS Jesenice	0.009
Kw	HS ENOS Jesenice	0.009
Kx	HS ENOS BELA	0.009
Ky	HS ENOS BELA	0.009
Kz	HS ENOS BELA	0.006
LOOS_NG_con	LOOS_NG Steam boiler (A)	175
PF_ON	PF ON/OFF	1
PicT_ON	PicT ON/OFF	1

QCTmax_CRNO	Steam_CRNO STORAGE	3
QCTmax_HSAB	HS ACRONI BELA	5
QCTmax_JEK	HS Jeklarna HW STORAGE	3
QCTmax_PF	PF HTHW (E)	3
Qmax_ABtoEB	HS ACRONI BELA	0.15
Qmax_EBtoAB	HS ENOS BELA	0.8
Qmax_EBtoPDP	HS ENOS BELA	0.25
Qmax_PDPtoEB	HS Acroni PDP	0.15
Qmax_c	PF HTHW (E)	1
Qmax_f	PF HTHW (E)	1
Qmax_m	Steam_CRNO STORAGE	0.5
Qmax_r	HS Jeklarna HW STORAGE	4
Qmax_s	HS ACRONI BELA	1.75
S_ref_Cooling	HS ACRONI BELA, HS Jeklarna HW STORAGE, PF_HTHW (E), Steam_CRNO STORAGE	95
S_ref_Wel OFF	HS Acroni PDP	90
Sref_AB2EB OFF	HS ACRONI BELA	10
Sref_AB2EB ON	HS ACRONI BELA	30
Sref_AB2EJ OFF	HS ACRONI BELA	20
Sref_AB2EJ ON	HS ACRONI BELA	40
Sref_ABCHP OFF	HS ACRONI BELA	20
Sref_ABCHP ON	HS ACRONI BELA	10
Sref_DegGen_Enable	Steam_CRNO STORAGE	20
Sref_EB2AB OFF	HS ENOS BELA	10
Sref_EB2AB ON	HS ENOS BELA	30
Sref_EB2PDP OFF	HS ENOS BELA	10
Sref_EB2PDP ON	HS ENOS BELA	30
Sref_EBBo1 OFF	HS ENOS BELA	50
Sref_EBBo1 ON	HS ENOS BELA	40
Sref_EBBo2 OFF	HS ENOS BELA	40
Sref_EBBo2 ON	HS ENOS BELA	30
Sref_EBCHP OFF	HS ENOS BELA	60
Sref_EBCHP ON	HS ENOS BELA	50
Sref_EBtoAB OFF	HS ACRONI BELA	25
Sref_EBtoAB ON	HS ACRONI BELA	15
Sref_EBtoPDP OFF	HS Acroni PDP	40
Sref_EBtoPDP ON	HS Acroni PDP	20
Sref_EJBo1 OFF	HS ENOS Jesenice	40
Sref_EJBo1 ON	HS ENOS Jesenice	30
Sref_EJBo2 OFF	HS ENOS Jesenice	40
Sref_EJBo2 ON	HS ENOS Jesenice	20
Sref_EJCHP1 OFF	HS ENOS Jesenice	65
Sref_EJCHP1 ON	HS ENOS Jesenice	50
Sref_EJCHP2 OFF	HS ENOS Jesenice	60
Sref_EJCHP2 ON	HS ENOS Jesenice	55
Sref_EJCHP3 OFF	HS ENOS Jesenice	60
Sref_EJCHP3 ON	HS ENOS Jesenice	55
Sref_EJCHP4 OFF	HS ENOS Jesenice	70
Sref_EJCHP4 ON	HS ENOS Jesenice	60
Sref_EJCHP5 OFF	HS ENOS Jesenice	70
Sref_EJCHP5 ON	HS ENOS Jesenice	65
Sref_EJCHP6 OFF	HS ENOS Jesenice	75
Sref_EJCHP6 ON	HS ENOS Jesenice	65
Sref_EJCHP7 OFF	HS ENOS Jesenice	75
Sref_EJCHP7 ON	HS ENOS Jesenice	70
Sref_ExHW2EB OFF	HS ENOS BELA	100
Sref_ExHW2EB ON	HS ENOS BELA	60
Sref_ExHW2EJ OFF	HS ENOS Jesenice	95
Sref_ExHW2EJ ON	HS ENOS Jesenice	93
Sref_HWtoHSB OFF	HS Jeklarna HW STORAGE	5
Sref_HWtoHSB ON	HS Jeklarna HW STORAGE	40
Sref_LOOS OFF	VOD	80
Sref_LOOS ON	VOD	20
Sref_PDPtoEB OFF	HS Acroni PDP	30

Sref_PDPtoEB_ON	HS Acroni_PDP	80
Sref_PF2HSB_OFF	PF HTHW (E)	50
Sref_PF2HSB_ON	PF HTHW (E)	70
Sref_PF2VOD_OFF	PF HTHW (E)	10
Sref_PF2VOD_ON	PF HTHW (E)	50
Sref_PF_OFF	VOD	95
Sref_PF_ON	VOD	90
Sref_St2HW_OFF	Steam CRNO STORAGE	50
Sref_St2HW_ON	Steam CRNO STORAGE	95
Steam2HEAT	Gain2	0.619
Storage_AB_MAX	HS ACRONI BELA	30
Storage_CRNO_MAX	Steam CRNO STORAGE	3
Storage_EB_MAX	HS ENOS BELA	0.446
Storage_EJ_MAX	HS ENOS Jesenice	5
Storage_Jek_MAX	HS Jeklarna HW STORAGE	20
Storage_PDP_MAX	HS Acroni_PDP	2
Storage_PF_MAX	PF HTHW (E)	10
Storage_VOD_MAX	VOD	5
TDa	A PFODT NG LOOStoSteam LOOS, LOOS_NG_Steam boiler (A)	0.1
TDb	Off-Gas to HT HotWater (B)	0.1
TDc	PF to VOD HTHW pipeline (C)	1.33
TDcj1	HS ENOS Jesenice	0.2
TDcj2	HS ENOS Jesenice	0.2
TDcj3	HS ENOS Jesenice	0.2
TDcj4	HS ENOS Jesenice	0.2
TDcj5	HS ENOS Jesenice	0.2
TDcj6	HS ENOS Jesenice	0.2
TDcj7	HS ENOS Jesenice	0.2
TDf	PF to HS Bela HTHW pipeline (F)	0.33
TDg	Heat to HotWater (G)	2
TDh	PF to HS Bela pipeline (H)	0.33
TDi	Comp. EE con. to hot water (cooling sys.) (Q) Off-Gas to Steam (I)	0.5
TDj	EE to Steam (J)	0.1
TDk	EE to Steam (K)	0.1
TDm	HW CRNO to HS BELA pipeline	0.8
TDn	"EE / Heat" - Pickling tubes electric heaters (N)	0.3
TDo	"EE / Heat" - HSW electric heaters (O)	0.1
TDp	"NG / Heat" - HSW NG heaters (P)	0.15
TDr	Jeklarna to HS Bela PIPELINE (R)	2
TDs	HS Bela to HS ENOS Jesenice PIPELINE (S)	2
TDt	CHP1 & 2 (T)	0.5
TDu	Welman Off-gas water cooling system (U)	0.33
TDv	HS ENOS Jesenice	0.5
TDw	HS ENOS Jesenice	0.5
TDx	HS ENOS BELA	0.3
TDy	HS ENOS BELA	0.5
TDz	HS ENOS BELA	0.2
Ta	A PFODT NG LOOStoSteam LOOS, LOOS_NG_Steam boiler (A)	0.2
Tb	Off-Gas to HT HotWater (B)	0.2
Tc	PF to VOD HTHW pipeline (C)	1
Tcj1	HS ENOS Jesenice	1
Tcj2	HS ENOS Jesenice	1
Tcj3	HS ENOS Jesenice	1
Tcj4	HS ENOS Jesenice	1
Tcj5	HS ENOS Jesenice	1
Tcj6	HS ENOS Jesenice	1
Tcj7	HS ENOS Jesenice	1
Td	HT HotWater to Steam (D)	1
Tf	PF to HS Bela HTHW pipeline (F)	0.1
Tg	Heat to HotWater (G)	1
Th	PF to HS Bela pipeline (H)	0.1

Ti	Off-Gas to Steam (I)	0.5
Tj	EE to Steam (J)	0.2
Tk	EE to Steam (K)	0.1
Tl	Steam to HW (L)	0.2
Tm	HW CRNO to HS BELA pipeline	0.2
Tn	"EE / Heat" - Pickling tubes electric heaters (N)	0.3
To	"EE / Heat" - HSW electric heaters (O)	1
Tp	"NG / Heat" - HSW NG heaters (P)	1
Tq	Comp. EE con. to hot water (cooling sys.) (Q)	0.75
Tr	Jeklarna to HS Bela PIPELINE (R)	0.5
Ts	HS_Acroni_PDP, HS ACRONI BELA, HS Bela to HS ENOS Jesenice PIPELINE (S), HS ENOS BELA, HS ENOS Jesenice, HS Jeklarna HW STORAGE, PF_HTHW (E), Steam CRNO STORAGE, VOD	4
Tt	CHP1 & 2 (T)	1
Tu	Welman Off-gas water cooling system (U)	1
Tv	HS ENOS Jesenice	2
Tw	HS ENOS Jesenice	2
Tx	HS ENOS BELA	1.5
Ty	HS ENOS BELA	2.1
Tz	HS ENOS BELA	1
VOD_ON	VOD ON/OFF, VOD ON/OFF1, VOD ON/OFF2	1
WEL_ON	Wel ON/OFF	1
delta_y	HS_Acroni_PDP, HS ACRONI BELA, HS Jeklarna HW STORAGE PF_HTHW (E), Steam_CRNO STORAGE	10

Literatura

- [1] H. Lund, B. V. Mathiesen, D. Connolly in P. A. Østergaard, »Renewable energy systems - a smart energy systems approach to the choice and modeling of 100% renewable solutions«, *Chemical engineering transactions*, Izv. 39, 2014.
- [2] G. Barone, A. Buonomano, C. Forzano in A. Palombo, »A novel dynamic simulation model for the thermo-economic analysis and optimisation of district heating systems«, *Energy Conversion and Management*, Izv. 220, 2020.
- [3] M. Lumbreras, R. Garay-Martinez, B. A. K. Martin-Escudero, G. Diarce, M. Raud in I. Hagu, »Data driven model for heat load prediction in buildings connected to District Heating by using smart heat meters«, *Energy*, Izv. 239 (part D), 2022.
- [4] A. Billerbeck, M. Fritz, A. Aydemir in P. Manz, »Strategic heating and cooling planning to shape our future cities«, *Towards sustainable and resilient communities. ECEEE Summer Study Proceedings*, pp. 601-611, 2022.
- [5] H. Lund, N. Duic, P. A. Østergaard in B. V. Mathiesen, »Future district heating systems and technologies: On the role of smart energy systems and 4th generation district heating«, *Energy*, Izv. 165, pp. 614-619, 2018.
- [6] A. Kishimoto, B. C. McLellan in T. Tezuka, »Conceptual design of the steel industry in 2050 considering collaboration with local communities«, *Energy Conversion and Management*, Izv. X 15, 2022.
- [7] A. L. Berka in E. Creamer, »Taking stock of the local impacts of community owned renewable energy: a review and research agenda«, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Izv. 82 (3), pp. 3400-3419, 2018.
- [8] F. Hanke, R. Guyet in M. Feenstra, »Do renewable energy communities deliver energy justice? Exploring insights from 71 European cases«, *Energy Research & Social Science*, Izv. 80, 2021.
- [9] F. Ceglia, P. Esposito, E. Marrasso in M. Sasso, »From smart energy community to smart energy municipalities: Literature review, agendas and pathways«, *Journal of Cleaner Production*, Izv. 254, 2020.
- [10] A. Razmjoo, S. Mirjalili, M. Aliehyaei, P. A. Østergaard, A. Ahmadi in M. M. Nezhad, »Development of smart energy systems for communities: technologies, policies and applications«, *Energy*, Izv. 248, 2022.
- [11] M. Goulden, B. Bedwell, S. Rennick-Egglestone, T. Rodden in A. Spence, »Smart grids, smart users? The role of the user in demand side management«, *Energy Research & Social Science*, Izv. 2, pp. 21-29, 2014.
- [12] D. Adshead, S. Thacker, L. I. Fuldauer in J. Hall, »Delivering on the Sustainable Development Goals through long-term infrastructure planning«, *Global Environmental Change*, Izv. 59, 2019.
- [13] A. Sharifi, A. Dawodu in A. Cheshmehzangi, »Limitations in assessment methodologies of neighborhood sustainability assessment tools: A literature review«, *Sustainable Cities and Society*, Izv. 67, 2021.
- [14] L. J. F. Ali-Toudert, L. Fährmann in S. Czempik, »Comprehensive Assessment Method for Sustainable Urban Development (CAMSUD) - A New Multi-Criteria System for Planning, Evaluation and Decision-Making«, *Progress in Planning*, Izv. 140, 2020.
- [15] E. Košnjek, B. Sučić, D. Kostić in T. Smolej, »An energy community as a platform for local sector coupling: From complex modelling to simulation and implementation«, *Energy*, Izv. 286, 2024.

- [16] United Nations Development Programme, »Sustainable Development Goals«, [Elektronski]. Available: <https://www.undp.org/sustainable-development-goals>. [Poskus dostopa 30 januar 2024].
- [17] Ministry of Infrastructure, »Integral National Energy and Climate Plan of the Republic of Slovenia«, 2020. Available: https://www.energetika-portal.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/nepn/dokumenti/nepn_5.0_final_feb-2020.pdf. [Poskus dostopa 30 januar 2024].
- [18] R. Moen, »Foundation and history of the PDSA cycle«, Associates in process improvement-Detroit, 2009.
- [19] A. Candiello in A. Cortesi, »KPI-supported PDCA model for innovation policy management in local government«, *Lecture notes in computer science*, Izv. 6846, 2011.
- [20] E. Benyoh, N. Kigha, M. B. Hemen, A. B. Owolabi, R. J. Wook, S. Dongjun in H. Jeung-Soo, »Integrating multi-criteria analysis with PDCA cycle for sustainable energy planning in Africa: Application to hybrid mini-grid system in Cameroon«, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Izv. 37, 2020.
- [21] T. L. Wheelen in J. D. Hunger, *Strategic management and business policy: toward global sustainability*, New Jersey: Prentice Hall, 2012, pp. 176-203.
- [22] H. Weihrich, »The TOWS matrix—A tool for situational analysis«, *Long Range Planning*, Izv. 15, pp. 54-66, 1982.
- [23] J. Verma, A. Bhandari in G. Singh, »iNIDS: SWOT Analysis and TOWS Inferences of State-of-the-Art NIDS solutions for the development of Intelligent Network Intrusion Detection System«, *Computer Communications*, Izv. 195, 2022.
- [24] M. Kaoma in S. H. Gheewala, »Evaluation of the enabling environment for the sustainable development of rural-based bioenergy systems in Zambia«, *Energy Policy*, Izv. 154, 2021.
- [25] H. Haque, S. Dhakal in S. Mostafa, »An assessment of opportunities and challenges for cross-border electricity trade for Bangladesh using SWOT-AHP approach«, *Energy Policy*, Izv. 137, 2020.
- [26] K. P. Das, D. Sharma in B. K. Satapathy, »Electrospun fibrous constructs towards clean and sustainable agricultural prospects: SWOT analysis and TOWS based strategy assessment«, *Journal of Cleaner Production*, Izv. 368, 2022.
- [27] H. Hosseinzadeh-Bandbafha, A. S. Nizami, S. A. Kalogirou, V. K. Gupta, Y. Park, A. Fallahi, A. Sulaiman, M. Ranjbari, H. Rahnama, M. Aghbashlo, W. Peng in M. Tabatabaei, »Environmental life cycle assessment of biodiesel production from waste cooking oil: A systematic review«, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Izv. 161, 2022.
- [28] H. Mikulčić, J. Baleta, J. J. Klemeš in X. Wang, »Energy transition and the role of system integration of the energy, water and environmental systems«, *Journal of Cleaner Production*, Izv. 292, 2021.
- [29] H. Lund, S. Werner, R. Wiltshire, S. Svendsen, J. E. Thorsen, F. Hvelplund in B. V. Mathiesen, »4th Generation District Heating (4GDH). Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems«, *Energy*, Izv. 68, pp. 1-11, 2014.
- [30] H. Edtmayer, P. Nageler, R. Heimrath, T. Mach in C. Hochenauer, »Investigation on sector coupling potentials of a 5th generation district heating and cooling network«, *Energy*, Izv. 230, 2021.
- [31] A. Lake, B. Rezaie in S. Beyerlein, »Review of district heating and cooling systems for a sustainable future«, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Izv. 67, pp. 417-425, 2017.
- [32] T. Keplinger, M. Haider, T. Steinparzer, A. Patrejko, P. Trunner in M. Haselgrübler, »Dynamic simulation of an electric arc furnace waste heat recovery system for steam production«, *Applied Thermal Engineering*, Izv. 135, pp. 188-196, 2018.

- [33] J. Ivner in S. B. Viklund, »Effect of the use of industrial excess heat in district heating on greenhouse gas emissions: A systems perspective«, *Resources, Conservation and Recycling*, Izv. 100, pp. 81-87, 2015.
- [34] F. Guo, X. Zhu, P. Li in X. Yang, »Low-grade industrial waste heat utilization in urban district heating: Simulation-based performance assessment of a seasonal thermal energy storage system«, *Energy*, Izv. 239, 2022.
- [35] A. Sandvall, M. Hagberg in K. Lygnerud, »Modelling of urban excess heat use in district heating systems«, *Energy Strategy Reviews*, Izv. 33, 2021.
- [36] X. Wang, H. Tian, F. Yan, W. Feng, R. Wang in J. Pan, »Optimization of a distributed energy system with multiple waste heat sources and heat storage of different temperatures based on the energy quality«, *Applied Thermal Engineering*, Izv. 181, 2020.
- [37] Y. Li, J. Xia, Y. Su in Y. Jiang, »Systematic optimization for the utilization of low-temperature industrial excess heat for district heating«, *Energy*, Izv. 144, pp. 984-991, 2018.
- [38] A. Abdalla, S. Mohamed, S. Bucking in J. S. Cotton, »Modeling of thermal energy sharing in integrated energy communities with micro-thermal networks«, *Energy and Buildings*, Izv. 248, 2021.
- [39] L. Li, S. Zhang, X. Cao in Y. Zhang, »Assessing economic and environmental performance of multi-energy sharing communities considering different carbon emission responsibilities under carbon tax policy«, *Journal of Cleaner Production*, Izv. 328, 2021.
- [40] J. Coignard, M. Janvier, V. Debusschere, G. Moreau, S. Chollet in R. Caire, »Evaluating forecasting methods in the context of local energy communities«, *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, Izv. 131, 2021.
- [41] F. D. Minuto, P. Lazzeroni, R. Borchiellini, S. Olivero, L. Bottaccioli in A. Lanzini, »Modeling technology retrofit scenarios for the conversion of condominium into an energy community: An Italian case study«, *Journal of Cleaner Production*, Izv. 282, 2021.
- [42] B. Fina, C. Monsberger in H. Auer, »Simulation or estimation? — Two approaches to calculate financial benefits of energy communities«, *Journal of Cleaner Production*, Izv. 330, 2022.
- [43] E. Popovski, T. Fleiter, H. Santos, V. Leal in E. O. Fernandes, »Technical and economic feasibility of sustainable heating and cooling supply options in southern European municipalities-A case study for Matosinhos, Portugal«, *Energy*, Izv. 153, pp. 311-323, 2018.
- [44] E. Košnjek, B. Sučić, F. Al-Mansour in A. Kavgić, »Strategic management approaches for developing sustainable renewable heat supply in local communities: A case study«, *Thermal Science and Engineering Progress*, Izv. 64, p. 13, 2025.
- [45] J. Ren, T. Zhou, Y. Rong, Y. Ma in R. Ahmad, »Feature-based modeling for industrial processes in the context of digital twins: A case study of HVOF process«, *Advanced Engineering Informatics*, Izv. 51, 2022.
- [46] F. Calise, G. N. Vastogirardi, M. D. d'Accadia in M. Vicidomini, »Simulation of polygeneration systems«, *Energy*, Izv. 163, pp. 290-337, 2018.
- [47] G. Brundtland, »Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development«, UN-Dokument A/42/427, Geneva, 1987.
- [48] B. Purvis, Y. Mao in D. Robinson, »Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins«, *Sustainability Science*, Izv. 14, pp. 681- 695, 2019.
- [49] United Nations, »Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development«, 2015.
- [50] M. Ciucci, »Kratki vodnik po Evropski uniji, Energetska politika: splošna načela«, Evropski parlament, 11 2023. Available: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/sl/sheet/68/energetska-politika-splosna-nacela>. [Poskus dostopa 1 februar 2024].

- [51] Evropska Komisija, »Okvirna strategija za odpornostno energetska unijo z napredno podnebno politiko«, Bruselj, 2015.
- [52] Evropska Komisija: Generalni direktorat za energijo, »Čista energija za vse evropejce, G. d. z. energijo«, Ured., Publications Office, 2019.
- [53] Evropska Komisija, »Pripravljeni na 55: uresničevanje podnebnega cilja EU za leto 2030 na poti do podnebne nevtralnosti«, Bruselj, 2021.
- [54] Evropski parlament in Svet, »Pogodba o delovanju Evropske Unije (PDEU)«, Uradni list EU C 202/2016, 2016.
- [55] Evropska Komisija, »Energetska unija«, 2015. Available: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/energy-union_en?prefLang=sl&etrans=sl. [Poskus dostopa 1 februar 2024].
- [56] Evropska Komisija, »Načrt REPowerEU«, Bruselj, 2022.
- [57] Evropski parlament in Svet, »Direktiva EU 2018/2001 o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov«, 2018.
- [58] Evropski parlament in Svet, »Direktiva (EU) 2018/2002 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 11. decembra 2018 o spremembi Direktive 2012/27/EU o energetske učinkovitosti«, Uradni list Evropske unije, 2018.
- [59] Evropski parlament in Svet, »Uredba (EU) 2018/1999 o upravljanju energetske unije in podnebnih ukrepov«, 2018.
- [60] Evropski parlament in Svet, »Direktiva (EU) 2019/944 o skupnih pravilih notranjega trga električne energije in spremembi Direktive 2012/27/EU«, 2019.
- [61] Evropski parlament in Svet, »Uredba (EU) 2019/943 o notranjem trgu električne energije«, 2019.
- [62] Evropski parlament in Svet, »Uredba (EU) 2019/941 o pripravljenosti na tveganja v sektorju električne energije in razveljavitvi Direktive 2005/89/ES«, 2019.
- [63] Evropski parlament in Svet, »Direktiva (EU) 2018/844 o spremembi Direktive 2010/31/EU o energetske učinkovitosti stavb in Direktive 2012/27/EU o energetske učinkovitosti«, 2018.
- [64] Evropski parlament in Svet, »Direktiva 2009/73/ES o skupnih pravilih notranjega trga z zemeljskim plinom in o razveljavitvi Direktive 2003/55/ES«, 2009.
- [65] Evropski parlament in Svet, »Uredba (ES) št. 715/2009 o pogojih za dostop do prenosnih omrežij zemeljskega plina in razveljavitvi Uredbe (ES) št. 1775/2005«, 2009.
- [66] Svet EU, »Direktiva Sveta 2003/96/ES o prestrukturiranju okvira Skupnosti za obdavčitev energentov in električne energije«, 2003.
- [67] Evropski parlament in Svet, »Uredba (EU) 2022/869 o smernicah za vseevropsko energetska infrastrukturo«, 2022.
- [68] Evropski parlament in Svet, »Uredba (EU) 2019/942 o ustanovitvi Agencije Evropske unije za sodelovanje energetske regulatorjev«, 2019.
- [69] Evropski parlament in Svet, »Uredba (EU) 2023/1542 o baterijah in odpadnih baterijah«, 2023.
- [70] Evropski parlament in Svet, »Sklep (EU) 2019/504 o spremembi Direktive 2012/27/EU o energetske učinkovitosti in Uredbe (EU) 2018/1999 o upravljanju energetske unije in podnebnih ukrepov zaradi izstopa Združenega kraljestva Velika Britanija in Severna Irska iz Unije«, 2019.
- [71] Evropski parlament in Svet, »Uredba (EU) 2023/2405 o zagotavljanju enakih konkurenčnih pogojev za trajnostni zračni prevoz (ReFuelEU za letalstvo)«, 2023.
- [72] Evropski parlament in Svet, »Uredba (EU) 2023/1805 o uporabi obnovljivih in nizkoogljičnih goriv v pomorskem prometu«, 2023.

- [73] Evropski parlament in Svet, »Uredba (EU) 2022/1032 o spremembi Uredb (EU) 2017/1938 in (ES) št. 715/2009 glede skladiščenja plina«, 2022.
- [74] Svet EU, »Uredba Sveta (EU) 2022/1369 o usklajenih ukrepih za zmanjšanje povpraševanja po plinu«, 2022.
- [75] Svet EU, »Konsolidirano besedilo: Uredba Sveta (EU) 2022/2576 o krepitvi solidarnosti z boljšim usklajevanjem nakupov plina, zanesljivimi referenčnimi cenami in čezmejno izmenjavo plina«, 2022.
- [76] Svet EU, »Uredba Sveta (EU) 2022/1854 o nujnem posredovanju za obravnavo visokih cen energije«, 2022.
- [77] Evropski parlament in Svet, »Direktiva (EU) 2023/1791 o energetske učinkovitosti in spremembi Uredbe (EU) 2023/955«, 2023.
- [78] Evropski parlament in Svet, »Direktiva (EU) 2023/2413 o spremembi Direktive (EU) 2018/2001, Uredbe (EU) 2018/1999 in Direktive 98/70/ES glede spodbujanja energije iz obnovljivih virov«, 2023.
- [79] Evropski parlament in Svet, »Uredba (EU) 2022/869 o smernicah za vseevropsko energetske infrastrukturo«, 2022.
- [80] Evropski parlament in Svet, »Uredba (EU) 2021/1153 o vzpostavitvi Instrumenta za povezovanje Evrope«, 2021.
- [81] Evropska Komisija, »Evropski zeleni dogovor«, Bruselj, 2019.
- [82] Evropska Komisija, »Čas za Evropo: obnova in priprava za naslednjo generacijo«, Bruselj, 2020.
- [83] Evropska Komisija, »Evropski strateški načrt za energetske tehnologije (načrt SET) - Na poti k prihodnosti z nizkimi emisijami ogljika« Bruselj, 2007.
- [84] Vlada Republike Slovenije, »Resolucija o Dolgoročni podnebni strategiji Slovenije do leta 2050 (ReDPS50)«, Uradni list RS, št. 119/21, 2021.
- [85] Vlada Republike Slovenije, »Energetske zakon (EZ-1)«, Ljubljana, 2021.
- [86] Vlada Republike Slovenije, »Zakon o učinkoviti rabi energije«, 2020.
- [87] Vlada Republike Slovenije, »Zakon o spodbujanju rabe obnovljivih virov energije (ZSROVE)«, 2021.
- [88] Vlada Republike Slovenije, »Zakon o oskrbi z električno energijo (ZOEE)«, 2021.
- [89] Vlada Republike Slovenije, »Zakon o oskrbi s plini (ZOP)«, Uradni list RS, št. 204, 2021.
- [90] Vlada Republike Slovenije, »Zakon o oskrbi s toploto iz distribucijskih sistemov (ZOTDS)«, Uradni list RS, št. 44/2022, 2022.
- [91] Vlada Republike Slovenije, »Zakon o infrastrukturi za alternativna goriva in spodbujanju prehoda na alternativna goriva v prometu (ZIAG)«, Uradni list RS, št. 62/23, 2023.
- [92] Vlada Republike Slovenije, »Zakon o uvajanju naprav za proizvodnjo električne energije iz obnovljivih virov energije (ZUNPEOVE)«, Uradni list RS, št. 78/23, 2023.
- [93] Vlada Republike Slovenije, »Zakon o ratifikaciji Pariškega sporazuma«, 2 december 2016. [Elektronski]. Available: <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/128507>. [Poskus dostopa 4 februar 2024].
- [94] Vlada Republike Slovenije, »Osnutek predloga posodobitve (2024): Celoviti nacionalni energetske in podnebni načrt Republike Slovenije«, Ljubljana.
- [95] Vlada Republike Slovenije, »Posodobljeni celoviti nacionalni energetske in podnebni načrt Republike Slovenije«, Ljubljana, 2024.
- [96] L. Valenčič, »Kriteriji načrtovanja SN in NN omrežja v smislu vključevanja in obratovanja razpršenih virov električne energije: študija št. 2240«, Elektroinštitut Milan Vidmar, Ljubljana, 2014.

- [97] L. Valenčič, »Vpliv množične elektrifikacije osebnega prometa in ogrevanja na razvoj distribucijskega omrežja: študija št. 2410«, Elektroinštitut Milan Vidmar, Ljubljana, 2018.
- [98] E. Košnjek, B. Sučić, S. Merše in M. Kovač, »Energetske skupnosti kot instrument pravičnega prehoda in razvoja trajnostne infrastrukture - nov postopek ocenjevanja potencialov OVE v povezavi z dejansko rabo energije: CIGRE ŠK C1-112«, *Referati in predstavitev 15. konference slovenskih elektroenergetikov CIGRE-CIRED*, p. 13, 2021.
- [99] Evropski parlament in Svet, »Direktiva EU 2019/944 o skupnih pravilih notranjega trga električne energije in spremembi Direktive 2012/27/EU«, Uradni list Evropske unije, L 158, 2019.
- [100] B. Sučić, E. Košnjek, M. Bevc in M. Berlič, »Challenges of integrating solar photovoltaic plants into urban environments: energy communities as a platform for connecting and self-supplying multi-apartment buildings«, v *18th SDEWES Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, Dubrovnik, Hrvaška, 2023.
- [101] Council of European Energy Regulators, *Regulatory Aspects of Self Consumption and Energy Communities*, CEER Report Ref: C18-CRM9_DS7-05-03 25, 2019.
- [102] Vlada Republike Slovenije, »Uredba o samooskrbi z električno energijo iz obnovljivih virov energije«, Uradni list RS, št. 43/22., 2022.
- [103] Vlada Republike Slovenije, »Zakon o ukrepih za obvladovanje kriznih razmer na področju oskrbe z energijo«, Uradni list RS, št. 121/22, 2022.
- [104] E. Košnjek, »Energetske skupnosti kot razvojna priložnost za dobro vključevanje industrije v lokalno okolje«, v *24. Dnevi energetikov: prezentacije*, Portorož, 2022.
- [105] M. Karami in R. Madlener, »Business models for peer-to-peer energy trading in Germany based on households' beliefs and preferences«, *Applied Energy*, Izv. 306, št. Part B, 2022.
- [106] S. Su, J. Li, J. Yuan, M. Tang, E. Wang in Y. Ding, »How can energy saving culture of a company influence energy behaviors and consumptions in its offices? A simulation and optimization model«, *Journal of Building Engineering*, Izv. 58, 2022.
- [107] B. Sučić, M. Pušnik, E. Košnjek in J. Knez, »Transformation of national energy and climate goals into real-life implementation programme at the company level: case study Slovenia«, *Sustainable energy & environmental protection: proceedings of the 14th International Conference on Sustainable Energy & Environmental Protection*, september 2022.
- [108] M. Robinius, A. Otto, P. Heuser, L. Welder, K. Syranidis, D. Ryberg, T. Grube, P. Markewitz, R. Peters in D. Stolten, »Linking the Power and Transport Sectors—Part 1: The Principle of Sector Coupling«, *Energies*, Izv. 10, p. 956, 7 2017.
- [109] P. Verstraten, R. Niessink, M. Duedahl, F. Verheij in A. Huygen, »Best practices for planning and construction of thermal networks identified in the EU«, 2021. [Elektronski]. Available: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC126954>. [Poskus dostopa 30 avgust 2023].
- [110] A. E. Ikudayisi, A. P. C. Chan, A. Darko in O. B. Adegun, »Integrated design process of green building projects: A review towards assessment metrics and conceptual framework«, *Journal of Building Engineering*, Izv. 50, 2022.
- [111] UN Commission on Sustainable Development (UNCSD), »Guidance in Preparing a National Sustainable Development Strategy: Managing Sustainable Development in the New Millennium«, 2002.
- [112] T. Saaty, »A scaling method for priorities in hierarchical structures«, *Journal of Mathematical Psychology*, Izv. 281, 1977.
- [113] T. Saaty, *The Analytic Hierarchy Process*, New York: McGraw-Hill, 1980.
- [114] Y. A. Solangi, Q. Tan, N. H. Mirjat in S. Ali, »Evaluating the strategies for sustainable energy planning in Pakistan: An integrated SWOT-AHP and Fuzzy-TOPSIS approach«, *Journal of Cleaner Production*, Izv. 236, 2019.

- [115] D. Mathivathanan, K. Govindan in A. N. Haq, »Exploring the impact of dynamic capabilities on sustainable supply chain firm's performance using Grey-Analytical Hierarchy Process«, *Journal of Cleaner Production*, Izv. 147, 2017.
- [116] C. Díaz-López, M. Carpio, M. Martín-Morales in M. Zamorano, »Defining strategies to adopt Level(s) for bringing buildings into the circular economy. A case study of Spain«, *Journal of Cleaner Production*, Izv. 287, 2021.
- [117] G. Doran, »There's a S.M.A.R.T. way to write management's goals and objectives«, *Management Review 70.11 (1981)*, 35. *Business Source Corporate.EBSCO (2008)*, Izv. 70.11, 1981.
- [118] Publications Office of the European Union, Guidebook How to develop a Sustainable Energy and Climate Action Plan (SECAP) – Part 1 - The SECAP process, step-by-step towards low carbon and climate resilient cities by 2030, P. Bertoldi, Ured., Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018.
- [119] J. Čižman, D. Staničić, G. Stegnar in S. Merše, »Povzetek ugotovitev pregleda izbranih lokalnih energetskega konceptov, DP 14458«, Jozef Stefan Institute, Ljubljana, 2020.
- [120] Government Office for Development and European Cohesion Policy, Slovenian Development Strategy 2030, Ljubljana, 2017.
- [121] L. I. Brand-Correa in J. K. Steinberger, »A Framework for Decoupling Human Need Satisfaction From Energy Use«, *Ecological Economics*, Izv. 141, 2017.
- [122] V. Ferreira, A. P. Barreira, P. Pinto in T. Panagopoulos, »Understanding attitudes towards the adoption of nature-based solutions and policy priorities shaped by stakeholders' awareness of climate change«, *Environmental Science & Policy*, Izv. 131, 2022.
- [123] A. Lengyel, »Spatial perspectives on sustainability priorities: Key stakeholders' insights,« *Journal of Cleaner Production*, Izv. 420, 2023.
- [124] K. D. Goepel, »Implementing the Analytic Hierarchy Process as a Standard Method for Multi-Criteria Decision Making In Corporate Enterprises – A New AHP Excel Template with Multiple Inputs«, *Proceedings of the International Symposium on the Analytic Hierarchy Process*, 2013.
- [125] C. Kwong in H. Bai, »Determining the important weights for the customer requirement in QFD using a fuzzy AHP with an extent analysis approach«, *IIE Transactions*, Izv. 7, p. 35, 2003.
- [126] F. Chan in N. Kumar, »Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach«, *The International Journal of Management Science*, Izv. 4, p. 35, 2007.
- [127] M. Pušnik in B. Sučić, »Integrated and realistic approach to energy planning – a case study of Slovenia«, *Management of Environmental Quality*, Izv. 25, 2014.
- [128] Z. Morvaj, D. Gvozdenac in Ž. Tomšič, *Sustavno gospodarenje energijom i upravljanje utjecajima na okoliš u industriji*, Zagreb: Energetika marketing, 2016.
- [129] Z. K. Morvaj in D. D. Gvozdenac, *Applied Industrial Energy and Environmental Management*, Chichester, United Kingdom: John Wiley & Sons, 2008.
- [130] J. J. Klemeš in H. L. Lam, »Process integration for energy saving and pollution reduction«, *Energy*, Izv. 36 (8), pp. 4586-4587, 2011.
- [131] B. Sučić, E. Košnjek, M. Đorić, F. Al_Mansour, M. Matković in T. Damjan, »Innovative Approach to Implementing Advanced Energy Projects in Urban Areas – from Comprehensive Simulation to Actual Implementation«, *Thermal Science and Engineering Progress*, Izv. 62, p. 14, junij 2025.
- [132] The International Energy Agency (IEA), *World Energy Outlook 2021*, Paris: IEA/OECD, 2021.
- [133] J. Rootzén in F. Johnsson, »CO₂ emissions abatement in the Nordic carbon-intensive industry – An end-game in sight?«, *Energy*, Izv. 80, pp. 715-730, 2015.

- [134] The International Energy Agency (IEA), Iron and Steel Technology Roadmap: Towards more sustainable steelmaking, IEA Publications, 2020.
- [135] J. Malinauskaite, H. Jouhara, B. Egilegor, F. Al-Mansour, L. Ahmad in M. Pusnik, »Energy efficiency in the industrial sector in the EU, Slovenia, and Spain«, *Energy, Izv.* 208, 2020.

Bibliografija

Članki v revijah

Izvirni znanstveni članek:

- E. Košnjek, B. Sučić, D. Kostić, T. Smolej, »An energy community as a platform for local sector coupling: From complex modelling to simulation and implementation«, *Energy*, Izv. 286, 2024.
- B. Sučić, E. Košnjek, M. Đorić, F. Al-Mansour, M. Matkovič, T. Damjan, »An innovative approach to implementing advanced energy projects in urban areas: from comprehensive simulation to actual implementation«, *Thermal science and engineering progress*, Izv. 62, 2025.
- E. Košnjek, B. Sučić, F. Al-Mansour, A. Kavgić, »Strategic management approaches for developing sustainable renewable heat supply in local communities: A case study«, *Thermal science and engineering progress*, Izv. 64, 2025.
- E. Košnjek, B. Sučić, M. Lončnar, T. Smolej, »Energy cost centre-based modelling of sector coupling in local communities«, *Energies*, Izv. 18, 2025.

Prispevki na konferencah

Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci:

- E. Košnjek, B. Sučić, F. Al-Mansour, A. Kavgić, »Combining different methods and tools for formulating strategies for sustainable local planning and energy sectors coupling«, V: *Sustainable energy & environmental protection : proceedings of the 16th International Conference on Sustainable Energy & Environmental Protection: Vienna, Austria, 9th-12th September 2024*, str. 291-295.
- B. Sučić, E. Košnjek, M. Đorić, F. Al-Mansour, T. Damjan, »Innovative approach for creation of energy communities in urban areas - from comprehensive simulation to actual implementation«, V: *Sustainable energy & environmental protection: proceedings of the 16th International Conference on Sustainable Energy & Environmental Protection: Vienna, Austria, 9th-12th September 2024*, str. 428-433.
- B. Sučić, E. Košnjek, M. Bevc, M. Berlič, »Challenges of integrating solar photovoltaic plants into urban environments : energy communities as a platform for connecting and self-supplying multi-apartment buildings«, V: *18th SDEWES Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems: September 24 - 28, 2023, Dubrovnik, Croatia*.
- E. Košnjek, B. Sučić, J. Knez, M. Levstek, »Lokalne energetske skupnosti kot instrument za uresničevanje nacionalnih energetske in podnebne ciljeve na podjetniški in lokalni ravni«, V: *Referati in predstavitve 16. konference slovenskih elektroenergetikov CIGRE-CIRED: Bled, 30. maj – 1. junij 2023, Ljubljana: Slovensko združenje elektroenergetikov CIGRE-CIRED, 2023*.
- B. Sučić, M. Pušnik, E. Košnjek, J. Knez, »Transformation of national energy and climate goals into real-life implementation programme at the company level: case study Slovenia«, V: *Sustainable energy & environmental protection: proceedings of the 14th International Conference on Sustainable Energy & Environmental Protection: London, 12th - 15th September 2022*, str. 220-225.
- E. Košnjek, B. Sučić, M. Kovač, S. Merše, »Energetske skupnosti kot instrument pravičnega prehoda in razvoja trajnostne infrastrukture - nov postopek ocenjevanja potencialov OVE v povezavi z dejansko rabo energije : CIGRE ŠK C1-112«, V: *Referati in predstavitve 15. konference slovenskih elektroenergetikov CIGRE-CIRED: Thermana Laško: 19.10.-21.10.2021, Ljubljana: Slovensko združenje elektroenergetikov CIGRE-CIRED, 2021*.
- B. Sučić, E. Košnjek, M. Pušnik, J. Čizman, S. Merše, F. Cimerman, A. Munih, A. Stušek, T. Vuk, »Energetske skupnosti kot platforma za doseganje ciljev trajnostnega razvoja in povezovanje energetske intenzivne industrije, energetske omrežij in lokalnega prebivalstva: CIGRE ŠK C1-146«, V: *Referati in predstavitve 15. konference slovenskih*

- elektroenergetikov CIGRE-CIRED: Thermana Laško: 19.10.-21.10.2021, Ljubljana: Slovensko združenje elektroenergetikov CIGRE-CIRED, 2021.
- J. Smukavec, T. Mavec, L. Močnik, U. Ažman, E. Košnjek, J. Curk, »Uporaba GOOSE sporočil izven razdelilnih transformatorskih postaj«, V: 13. konferenca slovenskih elektroenergetikov CIGRE-CIRED, Maribor, 22.-24. maj 2017, Ljubljana: Slovensko združenje elektroenergetikov CIGRE - CIRED, 2017.
- E. Košnjek, T. Mavec, A. Sirk, A. Blaznik, D. Novak, »IKT infrastruktura pametnih elektroenergetskih omrežij«, V: Omrežja prihodnosti: zbornik referatov, Trideseta delavnica o telekomunikacijah, 12. in 13. maj 2014, Brdo pri Kranju, Slovenija, Ljubljana: Elektrotehniška zveza Slovenije, 2014.
- M. Pintar, E. Košnjek, T. Mavec, »Uporaba tehnologije WIMAX v elektrodistribucijskih omrežjih«, V: Enajsta konferenca slovenskih elektroenergetikov, Laško, 27.-29. maj 2013, Ljubljana: Slovensko društvo elektroenergetikov CIGRE - CIRED, 2013.
- E. Košnjek, »Razvoj aktivnih omrežij in vpliv na optimizacijo procesov v distribuciji EE«, V: Enajsta konferenca slovenskih elektroenergetikov, Laško, 27.-29. maj 2013, Ljubljana: Slovensko društvo elektroenergetikov CIGRE - CIRED, 2013.
- B. Blažič, I. Papič, M. Kolenc, T. Mavec, E. Košnjek, »Specifikacija IKT infrastrukture za nadzor in vodenje razpršenih virov«, V: Enajsta konferenca slovenskih elektroenergetikov, Laško, 27.-29. maj 2013, Ljubljana: Slovensko društvo elektroenergetikov CIGRE - CIRED, 2013, str. 1-8.
- T. Tekavec, K. Perko, J. Smukavec, T. Mavec, L. Močnik, E. Košnjek, »Analiza časovne sinhroniziranosti merilnih podatkov in vplivi prenosnih poti = Analysis of time synchronization of measurement data and influence of the different transmission paths«, V: Povzetki referatov = Digests, Ljubljana: Slovensko društvo elektroenergetikov CIGRE - CIRED, 2011.
- I. Lorencin, M. Krvina, B. Strmčnik, J. Smukavec, L. Močnik, E. Košnjek, »Ocenjevalnik stanja sodobnega razdeljevalnega omrežja«, V: Referati in predstavitve, paneli, kataložni zapis, ostalo, Ljubljana: Slovensko društvo elektroenergetikov CIGRE - CIRED, 2009, 4 str.
- E. Košnjek, »Prednosti in slabosti TK tehnologij za nadaljnjo informatizacijo SN omrežja«, V: Izobraževanje s področja močnostne elektrotehnike in sodobnih električnih inštalacij, Maribor: Elektrotehniško društvo, 2009.
- T. Sitar, E. Košnjek, »Umešcanje 110 kV daljnovidne povezave med RTP Železniki in RTP Bohinj«, V: Referati in predstavitve, paneli, kataložni zapis, ostalo, Ljubljana: Slovensko društvo elektroenergetikov CIGRE - CIRED, 2009.
- D. Gerbec, J. Curk, E. Košnjek, »Implementation of Ethernet in MV/LV transformer stations«, V: Conference proceedings, 19th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, Vienna, 21-24 May 2007.
- J. Curk, I. Kobal, G. Parkelj, E. Košnjek, V. Lenardič, »Pilotni projekti NEO 3000«, V: Osmo konferenca slovenskih elektroenergetikov, Terme Čatež, 28. maj - 1. junij 2007: zbornik referatov, Ljubljana: Društvo Slovenski komite CIGRE - CIRED, 2007.
- J. Smukavec, E. Košnjek, »Rezervni center vodenja na podlagi daljinskega dostopa do lokalnih SCADA sistemov v RTP«, V: Osmo konferenca slovenskih elektroenergetikov, Terme Čatež, 28. maj - 1. junij 2007: zbornik referatov, Ljubljana: Društvo Slovenski komite CIGRE - CIRED, 2007.
- D. Gerbec, E. Košnjek, J. Smukavec, »Vzpostavitev Etherneta v transformatorskih postajah SN/0.4 kV«, V: Osmo konferenca slovenskih elektroenergetikov, Terme Čatež, 28. maj - 1. junij 2007: zbornik referatov, Ljubljana: Društvo Slovenski komite CIGRE - CIRED, 2007.
- J. Knavs, E. Košnjek, »Distribucija električne energije«, V: Strateška konferenca slovenskih družb energetske dejavnosti: zbornik referatov, Ljubljana, 24. oktober 2005, Gospodarska zbornica Slovenije, Združenje za energetiko, 2005.

Prispevek na konferenci brez natisa:

- S. Merše, E. Košnjek, A. Urbančič, M. Pušnik, M. Česen, Z. Košnjek, Posodobitev NEPN - srečanje za lokalne skupnosti: predstavljeno na Posvetu glede posodobitve NEPN z Združenjem mestnih občin Slovenije, 18. april 2024, Ljubljana.
- S. Merše, E. Košnjek, Glavni izzivi posodobitve NEPN: Javna predstavitev osnutka poročila o stanju izvajanja NEPN v Sloveniji, Ljubljana, 28. september 2022.
- E. Košnjek, S. Merše, Poročilo o izvajanju Celovitega nacionalnega energetskega in podnebne načrta : Javna predstavitev osnutka poročila o stanju izvajanja NEPN v Sloveniji, Ljubljana, 28. september 2022.

- E. Košnjek, Kakšni so učinki in pridobljene izkušnje iz projektov pametnih omrežij in kako daleč smo z digitalizacijo v distribuciji električne energije?: Interni strokovni posvet EDP. Šempeter v Savinjski dolini, 13. februar 2020.
- E. Košnjek, B. Sovič, A. Kregar, R. Vončina, F. Kokalj, B. Dukić, P. Novak, G. Marinček, Izbrana kombinacija virov mora biti finančno vzdržna in v ravnovesju z naravo: predavano na Strokovnem posvetu o pripravi nacionalnega energetskega in podnebnega načrta (NEPN), Maribor, 26. 8. 2019.
- E. Košnjek, M. Švajger, Program dela projektne skupine za pametna omrežja pri GIZ za distribucijo EE, rezultati dela v 2014: Predstavljeno na En.grids 2015, 6. strokovni konferenci o pametnih omrežjih, Ljubljana, 10. februar 2015.
- E. Košnjek, M. Švajger, Stanje in načrt razvoja pametnih omrežij v podjetjih za distribucijo EE v kontekstu Programa razvoja pametnih omrežij v Sloveniji: Predstavljeno na En.grids 2014, Konferenci tehnološke platforme za pametna omrežja, Ljubljana, 4. februar 2014.

Vabljen predavanje na konferenci:

- E. Košnjek, Strateški okvir zelenega prehoda in izzivi novega NEPN – ključni podporni ukrepi: XIV. konferenca Sistemi ciljnega spremljanja rabe energije, Brdo pri Kranju, 26. oktober 2022.
- E. Košnjek, Energetske skupnosti kot razvojna priložnost za dobro vključevanje industrije v lokalno okolje, V: 24. Dnevi energetikov: prezentacije, 11. in 12. aprila 2022, Portorož, 2022.

Monografije in druga zaključena dela

Magistrsko delo:

- E. Košnjek, Informacijsko-komunikacijski sistemi in aktivna omrežja za distribucijo električne energije = Information communications systems and smart grids for electricity distribution: magistrsko delo, Ljubljana, 2010.

Diplomsko delo:

- E. Košnjek, Zasnova informacijskega sistema obratovalnih meritev v distribuciji električne energije: diplomsko delo, Ljubljana, 2006.
- E. Košnjek, Analiza finančnega položaja podjetja: diplomatska naloga, Koper, 2002.
- E. Košnjek, Digitalna ura: zaključna naloga, Ljubljana, 1991.

Druge objave v povezavi z delom

Elaborat, predštudija, študija:

- B. Petelin-Visočnik, E. Košnjek, N. Hrovatin, M. Švigelj, J. Zorić, Povzetek drugega Celovitega nacionalnega energetskega in podnebnega poročanja (marec 2025): končno poročilo, Ljubljana: Institut Jožef Stefan, 2025.
- S. Merše, A. Urbančič, E. Košnjek, M. Pušnik, M. Česen, K. Trstenjak, B. Petelin-Visočnik, M. Dominko, R. Slabe Erker, Z. Košnjek, K. Dragaš, A. Deželak, M. Urh, G. Pretnar, B. Mali, J. Verbič, J. Zorić, U. Žvar Baškovič, Evalvacija priprave posodobljenega Celovitega nacionalnega energetskega in podnebnega načrta z usmeritvami za v prihodnje: Verzija 2.0, Ljubljana: Institut Jožef Stefan, 2024.
- S. Merše, M. Česen, M. Pušnik, G. Stegnar, M. Kovač, K. Trstenjak, A. Urbančič, A. M. Spindler, T. Janša, B. Petelin-Visočnik, E. Košnjek, et al., Posodobitev Celovitega nacionalnega energetskega in podnebnega načrta – analiza scenarijev: strokovne podlage, Ljubljana: Institut Jožef Stefan, 2024.
- S. Merše, E. Košnjek, M. Česen, M. Pušnik, G. Stegnar, A. Urbančič, K. Trstenjak, B. Petelin-Visočnik, A. M. Spindler, J. Čizman, D. Staničič, T. Janša, M. Kovač, B. Sučić, B. Majcen, M. Dominko, R. Slabe Erker, K. Primc, Z. Košnjek, K. Dragaš, F. Cimerman, M. Urh, G. Pretnar, L. Rikato Ružič, B. Mali, J. Verbič, N. Hrovatin, J. Zorić, M. Švigelj, T. Katrašnik, U. Žvar Baškovič, Posodobljeni celoviti Nacionalni energetski in podnebni načrt Republike

- Slovenije, Ver. 5.2, Ljubljana: Republika Slovenija, Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo, 2024.
- S. Merše, M. Česen, M. Pušnik, G. Stegnar, M. Kovač, K. Trstenjak, A. Urbančič, E. Košnjek, A. M. Spindler, T. Janša, B. Petelin-Visočnik, B. Majcen, M. Dominko, R. Slabe Erker, K. Primc, Z. Košnjek, K. Dragaš, F. Cimerman, M. Urh, G. Pretnar, B. Mali, J. Verbič, J. Zorič, N. Hrovatin, M. Švigelj, T. Katrašnik, U. Žvar Baškovič, Strokovne podlage, končno poročilo: posodobitev Celovitega nacionalnega energetskega in podnebnega načrta: končno poročilo, Ljubljana: Inštitut Jožef Stefan, 2024.
- S. Merše, B. Petelin-Visočnik, E. Košnjek, M. Đorić, M. Česen, A. M. Spindler, T. Janša, K. Trstenjak, M. Pušnik, G. Stegnar, T. Fatur, B. Majcen, Z. Košnjek, K. Dragaš, F. Cimerman, G. Pretnar, B. Mali, J. Verbič, N. Hrovatin, M. Švigelj, J. Zorič, Kratko poročilo iz prvega Celovitega nacionalnega energetskega in podnebnega poročanja (marec 2023), Ljubljana: Inštitut Jožef Stefan, 2023.
- I. Šömen, S. Merše, E. Košnjek, M. Česen, G. Stegnar, K. Trstenjak, L. Rikato Ružič, D. Crnčec, Poročilo o izvedbi dodatnega sklopa posvetov glede prenove ukrepov NEPN (oktober 2023), Ljubljana: Inštitut Jožef Stefan, 2023.
- S. Merše, E. Košnjek, I. Šömen, A. Urbančič, M. Česen, M. Kovač, M. Pušnik, J. Čizman, Z. Košnjek, F. Cimerman, M. Urh, L. Rikato Ružič, G. Pretnar, Poročilo o izvedbi strokovnih posvetov glede posodobitve NEPN, Ljubljana: Inštitut Jožef Stefan, 2023.
- D. Crnčec, I. Šömen, S. Merše, E. Košnjek, M. Česen, M. Kovač, M. Pušnik, J. Čizman, R. Slabe Erker, Z. Košnjek, K. Dragaš, F. Cimerman, L. Rikato Ružič, Poročilo o izvedbi strokovnih posvetov glede posodobitve NEPN (oktober-december 2022), Ljubljana: Inštitut Jožef Stefan, 2023.
- B. Petelin-Visočnik, K. Trstenjak, A. Urbančič, E. Košnjek, J. Čizman, S. Merše, G. Stegnar, L. Živčič, T. Tkalec, Preučitev in strokovne podlage za razvoj ukrepov za boj proti energetske revščini, Ljubljana: Inštitut Jožef Stefan, 2023.
- S. Merše, E. Košnjek, A. Urbančič, M. Česen, M. Pušnik, G. Stegnar, K. Trstenjak, A. M. Spindler, B. Majcen, M. Dominko, Z. Košnjek, K. Dragaš, F. Cimerman, M. Urh, G. Pretnar, B. Mali, M. Švigelj, T. Katrašnik, U. Žvar Baškovič, Scenariji posodobitve Celovitega nacionalnega energetskega in podnebnega načrta: posvetovalni dokument, Ljubljana: Inštitut Jožef Stefan, 2023.
- B. Petelin-Visočnik, K. Trstenjak, A. Urbančič, A. M. Spindler, J. Čizman, S. Merše, E. Košnjek, G. Stegnar, K. Primc, R. Slabe Erker, M. Dominko, L. Živčič, Strokovne podlage za Akcijski načrt za zmanjševanje energetske revščine, Ljubljana: Jožef Stefan Institute, 2023.
- S. Merše, B. Petelin-Visočnik, E. Košnjek, A. Urbančič, D. Crnčec, Evalvacija priprave Poročila o stanju izvajanja NEPN v Sloveniji in priporočila za naprej, Ljubljana: Inštitut Jožef Stefan, 2022.
- S. Merše, E. Košnjek, B. Sučić, B. Majcen, Z. Košnjek, K. Dragaš, F. Cimerman, G. Pretnar, B. Mali, J. Verbič, J. Zorič, Poročilo o izvajanju Celovitega nacionalnega energetskega in podnebnega načrta, Ljubljana: Inštitut Jožef Stefan, 2022.
- M. Česen, T. Janša, G. Stegnar, F. Al-Mansour, E. Košnjek, L. Tavčar, T. Fatur, M. Kovač, Presoja vplivov zakonodajnega svežnja »Pripravljeni na 55« (»Fit for 55«) na sektor prometa in stavb v Republiki Sloveniji: analiza stanja, Ljubljana: Inštitut Jožef Stefan, 2022.
- S. Merše, E. Košnjek, B. Sučić, Začetno poročilo projekta Strokovna in tehnična podpora pri Celovitem nacionalnem poročanju o napredku pri izvajanju Celovitega nacionalnega energetskega in podnebnega načrta in pripravi njegove posodobitve, Ljubljana: Inštitut Jožef Stefan, 2022.
- L. Tavčar, M. Pečkaj, B. Sučić, G. Stegnar, E. Košnjek, Poročilo o izvedenem razširjenem energetske pregledu podjetja AMZS d. d.: končno poročilo, Ljubljana: Inštitut Jožef Stefan, 2021.
- B. Di Costanzo, I. Ball, D. Rutz, G. Stegnar, T. Janša, M. Česen, D. Staničić, B. Sučić, E. Košnjek, F. Al-Mansour, M. Kovač, M. Matkovič, M. Pušnik, S. Merše, H. Tretter, F. Zach, REPLACE: Pregled okolju prijaznih tehnologij za ogrevanje in hlajenje v gospodinjstvih, Ljubljana: Austrian Energy Agency, 2021.
- B. Sučić, E. Košnjek, M. Kovač, M. Pušnik, M. Matkovič, M. Česen, G. Stegnar, S. Merše, Strategija energetske in snovne učinkovitosti ter trajnostnega razvoja DARS, d.d. do leta 2030, Ljubljana: Inštitut Jožef Stefan, 2021.
- B. Sučić, S. Merše, M. Pušnik, M. Česen, T. Janša, G. Stegnar, B. Petelin-Visočnik, A. Urbančič, F. Cimerman, S. Jamšek, K. Dragaš, E. Košnjek, B. Mali, N. Krajnc, R. Slabe Erker, B. Majcen, Z. Košnjek, G. Pretnar, J. Verbič, A. Cirman, J. Zorič, Celoviti nacionalni

- energetski in podnebni načrt Republike Slovenije, Ljubljana: Vlada Republike Slovenije, 2020.
- V. Cencič, S. Vidmar, I. Pavliha, B. Mljač, B. Sučić, E. Košnjek, M. Pušnik, J. Čižman, A. Pirih, V. Kozar, P. Cimprič, M. Kristan, A. Pogačnik, S. Kos, N. Jurko, K. Sonjak, J. Knez, P. Zajc, Študija oz. analiza za preveritev upravičenosti in utemeljitev priprave območnih načrtov za Goriško, Gorenjsko in Koroško regijo z namenom naslavljanja ukrepov in ciljev iz sklada za pravični prehod (JTF just transition fund): povzetek za odločanje, Ljubljana: Inštitut Jožef Stefan, 2020.
- V. Cencič, S. Vidmar, I. Pavliha, B. Mljač, B. Sučić, E. Košnjek, M. Pušnik, J. Čižman, A. Pirih, V. Kozar, P. Cimprič, M. Kristan, F. Gabrovšek Schmidt, B. Špehar, R. Šimenc, A. Pogačnik, A. Marc, S. Kos, N. Jurko, B. Kranjc, K. Sonjak, U. Kranjc, J. Knez, P. Zajc, Študija oziroma analiza za preveritev upravičenosti in utemeljitev priprave območnih načrtov za Goriško, Gorenjsko in Koroško regijo z namenom naslavljanja ukrepov in ciljev iz Sklada za pravični prehod (JTF - just transition fund), Ljubljana: Inštitut Jožef Stefan, 2020.
- B. Derganc, Z. Mezga, V. Mauko, V. Korenjak, E. Košnjek, M. Kosirnik, M. Drolec, L. Jug, J. Lorencin, Dopolnitev in razširitev baze tehničnih podatkov: ref. št. 1616/1. Del 1, Ljubljana: Elektroinštitut Milan Vidmar, 2003.
- B. Derganc, Z. Mezga, V. Mauko, V. Korenjak, E. Košnjek, M. Kosirnik, M. Drolec, L. Jug, J. Lorencin, Dopolnitev in razširitev baze tehničnih podatkov: ref. št. 1616/2. Del 2, Ljubljana: Elektroinštitut Milan Vidmar, 2003.

Intervju:

- N. Slaček (oseba, ki intervjuva), E. Košnjek (intervjuvanec), T. Medved (intervjuvanec), M. Sekavčnik (intervjuvanec), J. Sonnenschein (intervjuvanec), Kaj Evropi prinaša odvajanje od ruske energije?, Ljubljana: Radiotelevizija Slovenija javni zavod, 2022.
- B. Hočevar, E. Košnjek (intervjuvanec), Tako na Jesenicah nastaja najnaprednejša energetska skupnost v Sloveniji, Finance, 2022, 14. marec.
- B. Sučić (intervjuvanec), E. Košnjek (intervjuvanec), Jesenice, Slovenia: interview with Boris Sucic and Edvard Košnjek from Jožef Stefan Institute, pilot leader of Jesenice, Newsletter: CREATORS, september 2021, Izv. 1.
- B. Hočevar (oseba, ki intervjuva), E. Košnjek (intervjuvanec), 7 vrhunskih projektov slovenskih elektrodistributerjev, Finance, 2016, 17. maj.

Strokovni članek:

- E. Košnjek, »Preden se zaletimo, premislimo kaj pomeni odstotna točka energije iz obnovljivih virov«, Finance, 2019, 1. avgust.
- E. Košnjek, »Smo dovolj zreli za sodelovanje?«, Naš stik: glasilo delavcev elektrogospodarstva Slovenije, 2019, Izv. 5, str. 54-56.
- M. Jakomin (oseba, ki intervjuva), E. Košnjek (intervjuvanec), »Pospešena informatizacija distribucijskega omrežja«, Naš stik: glasilo delavcev Elektrogospodarstva Slovenije, 2014, 17. april.
- D. Papler, M. Žumer, E. Košnjek, »Distribucijski mejniki podjetja«, Elgo vestnik: poslovno glasilo družbe Elektro Gorenjska, 2013, Izv. 2, str. 12-15.
- E. Košnjek, R. Križnar, »Končan postopek umeščanja gorenjske zanke: nova 110 kV povezava med RTP Železniki in RTP Bohinj«, Naš stik: glasilo delavcev Elektrogospodarstva Slovenije, sep. 2009, str. 34-35.
- E. Košnjek, »Letos nagrajena dva inovacijska predloga«, Naš stik: glasilo delavcev Elektrogospodarstva Slovenije, 2007, str. 65-68.

Biografija

Avtor je diplomiral in magistriral na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Po dolgoletnem uspešnem delu na ključnih strokovnih in vodstvenih položajih v elektrodistribucijskem podjetju se je zaposlil v Centru za energetska učinkovitost Instituta Jožef Stefan (IJS-CEU). Aktivno sodeluje v lokalnih, državnih in mednarodnih razvojno raziskovalnih projektih s področja učinkovite rabe energije, energetskih skupnosti, zelenih tehnologij in povezovanja sektorjev. Pomaga pri pripravljanih strategij trajnostnega razvoja države in velikih družb in pri pripravi regionalnih strateških okoljsko energetskih študij. S sodelavci nudi podporo državnim institucijam pri pripravi zakonodajnih podlag ter pri izvajanju politik in ukrepov za trajnostni in podnebju prijazen razvoj družbe. Kot predavatelj je vključen v Ciljno usposabljanje za upravljanje z energijo in izobraževanje po mednarodnem programu Evropski energetski manager (EUREM). Je tudi mentor študentom EUREM pri pripravi zaključnih nalog v okviru študija.

