

**FS****UNIVERZA V LJUBLJANI**
Fakulteta za strojništvo**Datum:** April 2025

Umeščanje OVE tehnologij v Mestni občini Velenje

Končno poročilo**COBISS.SI-ID: 234269699****Izvajalec:****Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo****Laboratorij za hlajenje in daljinsko energetiko**

ANDREJ
KITANO
VSKI

Digitally signed
by ANDREJ
KITANOVSKI
Date: 2025.04.28
19:17:44 +02'00'

Prof. dr. Andrej Kitnovski
vodja projekta

MIHAEL
SEKAVCNIK

Digitally signed by
MIHAEL SEKAVCNIK
Date: 2025.05.05
09:13:48 +02'00'

Prof. dr. Mihael Sekavčnik
dekan

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za strojništvo
Laboratorij za hlajenje in daljinsko energetiko

**FS****UNIVERZA V LJUBLJANI**
Fakulteta za strojništvo

Umeščanje OVE tehnologij v Mestni občini Velenje

Nosilec: prof. dr. Andrej Kitanovski

Sodelavci: doc. dr. Katja Klinar

Izak Oberčkal Pluško

Št. izvodov poročila in prejemniki:

- 2 izvoda Komunalno podjetje Velenje, d.o.o.
- 1 izvod Laboratorij za hlajenje in daljinsko energetiko

Ljubljana, April 2025

**FS****UNIVERZA V LJUBLJANI**
Fakulteta za strojništvo

Kazalo

1. Uvod.....	5
2. Proizvodnja električne energije s sončno elektrarno.....	5
3. Izbira toplotnih črpalk	9
3.1. Prikaz in opis enostavnih shem delovanja in povezav toplotnih črpalk ter virov in ponorov toplote (osnovni scenarij)	12
3.2. Prikaz in opis enostavnih shem delovanja in povezav toplotnih črpalk ter virov in ponorov toplote (dopolnjeni in predlagani scenarij).....	14
3.3. Globalni trg z visokotemperaturnimi toplotnimi črpalkami.....	22
4. Ostali deli sistema: črpališče in hranilniki energije.....	24
4.1. Črpališče	24
4.2. Hranilniki energije	25
4.2.1. Hranilniki toplote.....	25
4.2.2. Hranilniki električne energije	27
4.2.3. Elektrodni hranilniki toplote	28
5. Analiza scenarijev v obdobju 1.5. do 30.9.....	28
5.1. Prvi scenarij: toplotne črpalke konstantno proizvajajo 4 MW toplote....	32
5.2. Drugi scenarij: toplotne črpalke konstantno proizvajajo 8 MW toplote.	36
5.3. Tretji scenarij: toplotne črpalke konstantno proizvajajo 9,3 MW toplote	41
5.4. Četrty scenarij: toplotne črpalke konstantno proizvajajo 10.5 MW toplote	45
6. Povzetek in opis predlaganega sistema	47

**FS****UNIVERZA V LJUBLJANI**
Fakulteta za strojništvo

6.1.	Solarna elektrarna.....	48
6.2.	Toplotne črpalke.....	48
6.3.	Črpalna postaja	49
6.4.	Elektrodni kotli.....	50
6.5.	Električni baterijski sistem.....	50
6.6.	Hranilniki toplote	50
7.	Povzetek analize za toplotne črpalke moči 8 MW	51
8.	Ocena investicije v celotni sistem	57
9.	Povzetek poročila za odločevalce	59
10.	Reference	66

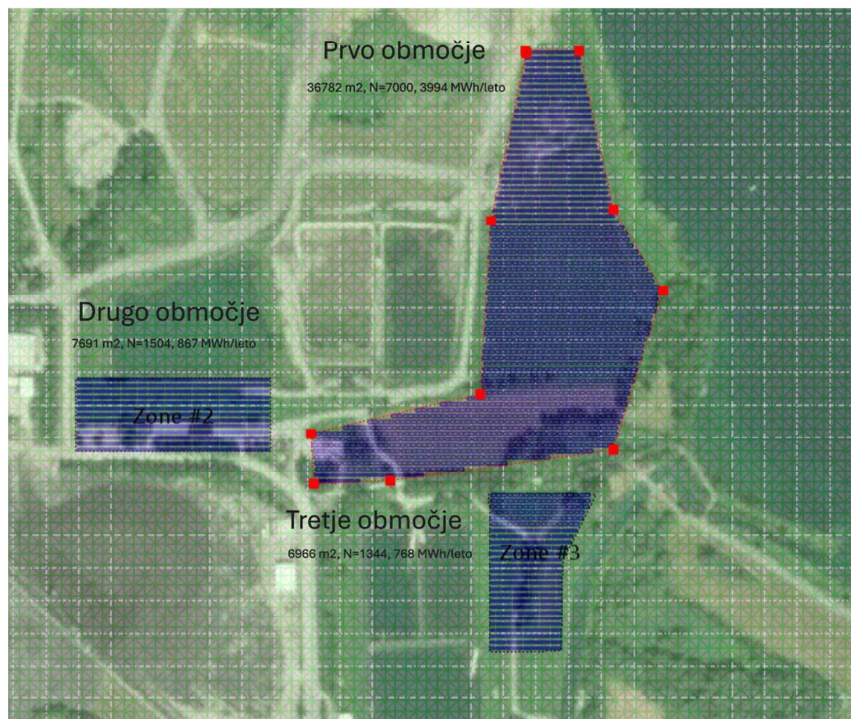
1. Uvod

To poročilo in izvedena študija (projektna naloga) služi za pridobitev projektne dokumentacije (v nadaljevanju DPP, IDZ) in podlag za spremembo prostorskih izvedbenih pogojev veljavnega prostorskega izvedbenega akta (s spremembo namenske rabe prostora), kar bo omogočilo gradnjo objektov za zagotavljanje obnovljivih virov energije za lokalne skupnosti. Projektna naloga je skladno s tem obsegala Izbiro in tehnično-ekonomsko analizo najustrežnejše kombinacije obnovljivih virov energije za območje zemljišča Mestne občine Velenje ob deponiji premoga. Poročilo obsega razširjeni povzetek študije, ki služi kot vsebinska podlaga za odločevalce. V nadaljevanju obravnavamo posamezno področje študije.

2. Proizvodnja električne energije s sončno elektrarno

Razpoložljivo območje za postavitev sončne elektrarne (SE) je na območju deponije premoga v skupni velikosti približno 59.000 m² (slika 1):

- površina SE₁: cca 40.000 m² (prvo območje),
- površina SE₂: cca 12.000 m² (drugo območje),
- površina SE₃: cca 7.000 m² (tretje območje).



Slika 1: Prikaz ene izmed umestitev fotonapetostnih modulov v obravnavana tri področja.

Za dimenzioniranje sončne elektrarne smo uporabili profesionalni simulacijski program PVSyst, ki omogoča simulacijo realne postavitve fotonapetostnih modulov na topografijo območja ter upošteva lokalne meteorološke podatke. V analizi so bili fotonapetostni moduli nagnjeni pod kotom 26° , kar je program izbral kot optimalni kot za obratovanje poleti na dani lokaciji.

Analizirali smo štiri kombinacije fotonapetostnih modulov in inverterjev. Lastnosti uporabljenih modulov in inverterjev so prikazane v **preglednici 1**.

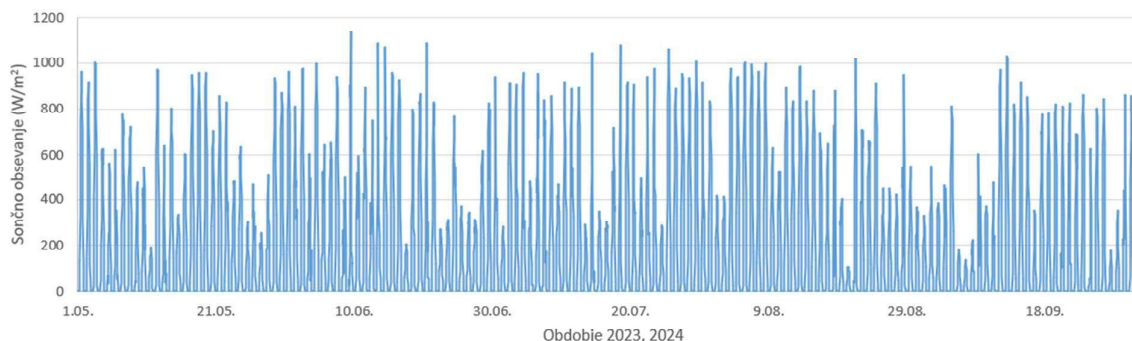
Preglednica 1: Lastnosti fotonapetostnih modulov ter inverterjev

Fotonapetostni modul	Nominalna moč modula (W)	Število modulov	Površina modulov (m ²)
Bisol BXO-380 XL	380	10.912	21.260
Sunpower SPR-X21-470-COM	470	9.837	21.268
Inverter	Nominalna moč (kW)	Število inverterjev	Razmerje (DC:AC)
Generični*	30,0	126	1,22
Huawei SUN2000-150K-MG0-480V	150	22	1,26

*generični inverter predstavlja s strani programa PVSyst izbrano delovanje nekega povprečnega inverterja

Število fotonapetostnih modulov se razlikuje, saj so moduli različnih dimenzij. Površina, ki jo pokrivajo fotonapetostni moduli, je skoraj polovico manjša od površine, ki je na voljo. Razlog je optimizacija postavitve modulov tako, da fotonapetostni moduli drug drugemu senčijo največ 5% površine.

Vremenski podatki za izbrano lokacijo so na voljo v orodju PVSyst. Orodje generira urne vremenske podatke (temperatura zraka, hitrost vetra, direktno in difuzno sončno obsevanje) iz povprečnih desetletnih podatkov iz baze Meteonorm. Povprečne urne vrednosti sončnega obsevanja na dani lokaciji so prikazane na **sliki 2**.



Slika 2: Povprečno sončno obsevanje na dani lokaciji.

Na podlagi podanih podatkov smo izvedli simulacije časovno odvisne proizvodnje električne energije (korak 1 ura) ter na podlagi tega določili celotno letno proizvodnjo električne energije (**preglednica 2**).

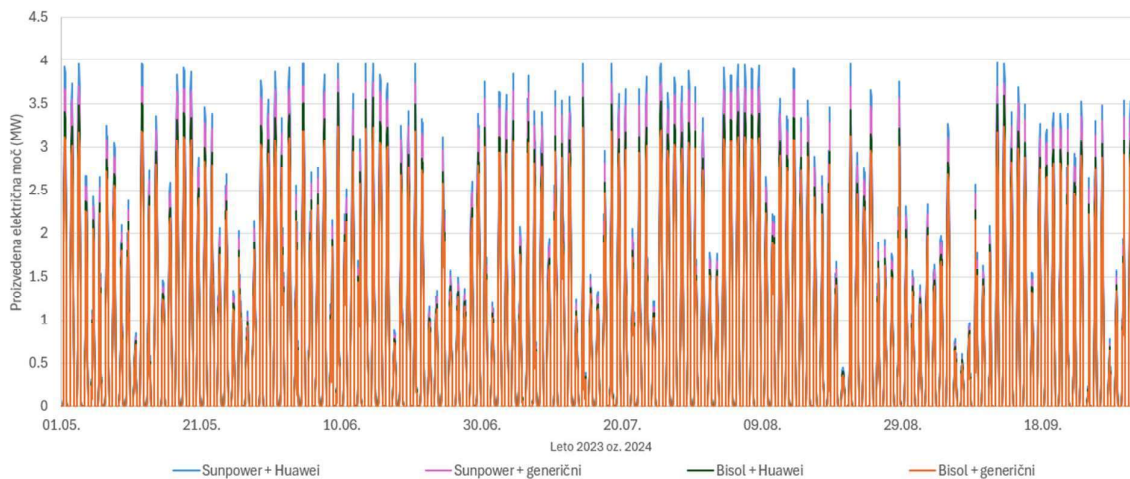
Preglednica 2: Celotna proizvedena energija za štiri različne obravnavane primere

	BiGen	BiHu	SPGen	SPHu
Celotna proizvedena moč [MWh/leto]	4.986	5.292	5.619	5.960
Število fotonapetostnih modulov	10.912	10.912	9.837	9.837
Izgube inverterjev [%]	7,2	1,8	7,2	1,7
Učinkovitost modulov [%]	19,61	19,61	21,8	21,8
Temperaturne izgube [%]	3,7	3,7	2,6	2,6

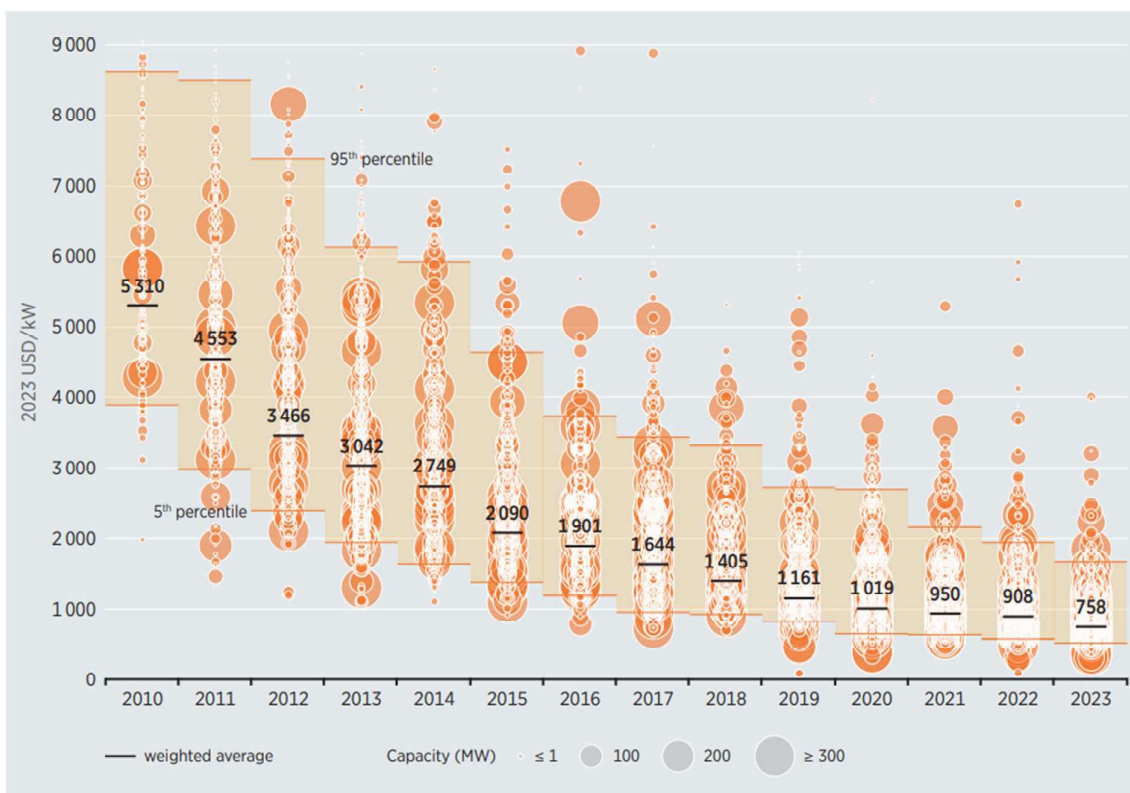
BiGen: fotonapetostni moduli Bisol + generični inverter, BiHu: fotonapetostni moduli Bisol + Huawei inverter , c) SPGen: fotonapetostni moduli Sunpower + generični inverter, d) SPHu: fotonapetostni moduli Sunpower + Huawei inverter

Slika 3 prikazuje proizvedeno električno moč s časovnim korakom 1 ure za leti 2023 in 2024 za primer vseh štirih obravnavanih kombinacij fotonapetostnih modulov in inverterjev. Najvišje vrednosti električne moči proizvede kombinacija Sunpower SPR-X21-470-COM z inverterji Huawei SUN2000-150K-MG0-480V. Iz slike je razvidno, da maksimalna moč modulov ne presega 4 MW.

Slika 4 prikazuje povprečne stroške izgradnje SE med letoma 2010 in 2023. Čeprav se povprečni strošek z leti zmanjšuje, je cena na kWh za manjše SE večja kot za SE zelo velikih moči.

**FS****UNIVERZA V LJUBLJANI**
Fakulteta za strojništvo

Slika 3: Proizvedena električna moč s časovnim korakom 1 ure za leto 2024 in za primer obravnavanih kombinacij modulov z inverterji.



Notes: MW = megawatt; kW = kilowatt.

Slika 4: Celotni stroški fotonapetostnih elektrarn [1].

3. Izbira toplotnih črpalk

Pri izbiri toplotnih črpalk je potrebno izjemno pozornost nameniti sledečim vplivnim faktorjem, kot jih prikazuje **preglednica 3**. Izdelali smo pregled trenutnih hladiv, vrste tehnologij, dobo razpoložljivosti tehnologije/hladiva na trgu, izkušnje proizvajalcev z rabo določenih hladiv, potrebno varnost rokovanja s toplotnimi črpalkami in hladivi, ter vpliva hladiv na okolje. Čeprav voda predstavlja najboljše možno hladivo, na trgu ni zaslediti veliko proizvajalcev in tisti, ki ponujajo rešitve, pa imajo manj kot 10 let izkušenj pri trženju tovrstnih naprav. To lahko pri velikih enotah toplotnih črpalk (okrog oziroma nad 1 MW) zasledimo tudi pri ogljikovem dioksidu (CO₂) in rabi ogljikovodikov (HC). Na trgu so že dlje časa prisotna hladiva HFO (Hydrofluorolefin), ki načeloma predstavljajo različico večinoma že izločenih HFC (Hydro-Fluoro-Carbon). Čeprav nekatera hladiva iz te vrste ne predstavljajo pomembno negativnega vpliva na okolje z vidika globalnega segrevanja, pa imajo vpliv na t.i. TFA (trifluoroacetic acid), ki ima dolgo obstojnost v ozračju in posledično vpliva tudi na močno onesnaževanje okolje. Trenutno za določena HFO hladiva še ni okoljevarstvenih zahtev s stališča TFA, pričakovati pa je v prihodnje, da bo to lahko predstavljalo velik problem in skladno s tem tudi izločitev vseh HFO hladiv [2]. CHF hladiva (primer R134a) naj nikakor ne bodo predmet obravnave.

Preglednica 3: Osnovni vplivni faktorji pri izbiri toplotnih črpalk (ocena 1 – najslabše do ocena 5 najboljše)

Hladivo	NH ₃	HFO	HC	CO ₂	H ₂ O
Vpliv na okolje	5	3	5	5	5
Število let na trgu z velikimi napravami	5	4	3	2	1
Število ponudnikov opreme	4	5	3	1	1
Varnost rokovanja s tehnologijo	3	3	2	4	5
Skupna ocena	17	15	13	12	12

Odsvetujemo nakup sistemov, pri katerih ima proizvajalec manj kot 10 let izkušenj na področju tehnologije toplotnih črpalk, ki jo ponuja.



Na podlagi podatkov iz **Preglednice 3**, v kolikor bo sistem deloval v območju temperatur vira toplote 0-15 °C in ponora toplote 80-90 °C, **predlagamo izbiro tehnologij, ki se nanašajo na amonijak (NH₃)**. Pri tem pa moramo opozoriti na sledeče.

- Tehnologije, ki uporabljajo amonijak, temeljijo večinoma na batnih ali vijačnih kompresorjih. Ta vrsta tehnologij z amonijakom in višjimi temperaturami je na trgu vsaj 25 let.
- Pričakovana življenjska sistemov z amonijakom je okrog 25-30 let ob rednem in kvalitetnem vzdrževanju.
- Tehnologije, ki uporabljajo HFO, temeljijo večinoma na turbo-kompresorjih. Ta vrsta tehnologij s HFO je na trgu do približno 15 let.
- Pričakovana življenjska sistemov s HFO je okrog 30-40 let ob rednem in kvalitetnem vzdrževanju.

Naročniku predlagamo, da se podrobneje seznani z delovanjem in specifičnostjo sistema daljinskega ogrevanja v Lendavi, ki uporablja toplotne črpalke japonskega proizvajalca Mayekawa (Mycom), ki uporabljajo amonijak.

V kolikor bi se naročnik vseeno odločil za sistem, ki uporablja HFO hladivo, predlagamo izbiro takih sistemov, ki uporabljajo HFO hladivo R1234ze. Zaradi tveganja, da bi morebiti v prihodnjih 10-20 letih prišlo do izločitve tovrstnega hladiva ali pa stroškov, vezanih na obremenjevanje okolja, predlagamo naročniku, da zahteva od proizvajalca ustrezne garancije za tak primer.

Preglednica 4 prikazuje dodatne tehnično-ekonomske kriterije, ki lahko služijo kot drugi odločitveni nivo (po evalvaciji kriterijev iz **Preglednice 3**) pri izbiri ponudnika. Pri tem obravnavamo Osnovni Scenarij in Dopolnjeni osnovni scenarij, ki sta ločeno opisana v **poglavju 3.1 in 3.2**, kjer je tudi razložen pomen vpliva različnih obremenitev, različnih povezav in različnih virov.

Preglednica 4: Dodatni tehnično-ekonomski vplivni faktorji pri izbiri toplotnih črpalk

	Osnovni scenarij (primer slika 6)	Dopolnjeni in tudi predlagani osnovni scenarij (primer slika 11)
Investicijski stroški	Podati za celotni sistem s specifikacijo	Podati za celotni sistem s specifikacijo
Ocena vzdrževalnih stroškov	Podati za celotni sistem s specifikacijo	Podati za celotni sistem s specifikacijo
Pričakovana življenjska doba	Podati za sistem in glavne komponente	Podati za sistem in glavne komponente
Grelno število (COP), ki upošteva celotni sistem, ki je predmet nakupa	Grelno število celotnega sistema kot funkcija delne obremenitve od 10 do 100% in za točno določeno temperaturo vira toplote (vstopna temperatura iz jezera 5, 10, 15 °C) in	Grelno število celotnega sistema kot funkcija delne obremenitve od 10 do 100% in za točno določeno temperaturo vira toplote (vstopna temperatura iz jezera 5, 10, 15 °C; in



	ponora toplote (vstopna voda na strani prenosnika toplote iz sistema daljinskega ogrevanja 60, 65, 70 °C; izstopna voda na strani prenosnika toplote za daljinsko ogrevanje (80, 85, 90 °C))	ponora toplote (vstopna voda na strani prenosnika toplote 25, 30, 40°C) Ter za višje temperature vira toplote (vstopna voda na strani prenosnika toplote 25, 30, 40 °C) in ponora toplote (vstopna voda na strani prenosnika toplote iz sistema daljinskega ogrevanja 60, 65, 70 °C; izstopna voda na strani prenosnika toplote za daljinsko ogrevanje (80, 85, 90 °C)).
Časovna odzivnost servisne mreže	Od javljene napake na sistemu do odziva z ekipo na terenu Specifikacija servisnih storitev Pričakovane zamude pri dobavi/zamenjavi določenih delov sistema	Od javljene napake na sistemu do odziva z ekipo na terenu Specifikacija servisnih storitev Pričakovane zamude pri dobavi/zamenjavi določenih delov sistema
Usposabljanje za upravljanje in vzdrževanje	Specifikacija storitev	Specifikacija storitev

Sistemi večjih toplotnih črpalk, kot so predmet tega projekta, so delani po naročilu in prilagojeni specifičnosti konkretnega primera oziroma zahtev, ki jih podaja naročnik. Zato lahko naročnik izbira pogoje, karakteristike in koncepte, ki najbolj ustrezajo ne samo trenutnemu stanju, temveč tudi prihodnji preobrazbi sistema. Zaradi holističnega pristopa, ki zahteva obvladovanje celovite rešitve mora naročnik posebno pozornost posvetiti več-letnim izkušnjam izvajalcev celovite rešitve.

Skladno z opisi v naslednjih podpoglavjih mora ponudnik opreme/storitev upoštevati sledeče:

1. Možnost spremembe temperaturnega režima toplotnih črpalk na strani ponora toplote

Zaradi prihodnjega prehoda iz temperaturnega režima 80/60 °C sistema daljinskega ogrevanja v nizkotemperaturni sistem s temperaturami dovoda do 60 °C. Pri tem morajo pri morebitnem prehodu v prihodnosti biti komponente predlaganega sistema ohranjene v energetske učinkovitem delovanju in ne izločene.

2. Možnost sočasne rabe dodatnih virov (odpadne) toplote na višjih temperaturnih nivojih za toplotne črpalke, ki se lahko pojavijo v prihodnosti

Zaradi prihodnje preobrazbe celovitega sistema proizvodnje toplote je potrebno upoštevati vire odpadne toplote (kondenzacijska odpadna toplota pri proizvodnji elektrike, odpadna toplota iz industrije), ki lahko namesto jezera delno ali pa v celoti predstavljajo novi ali

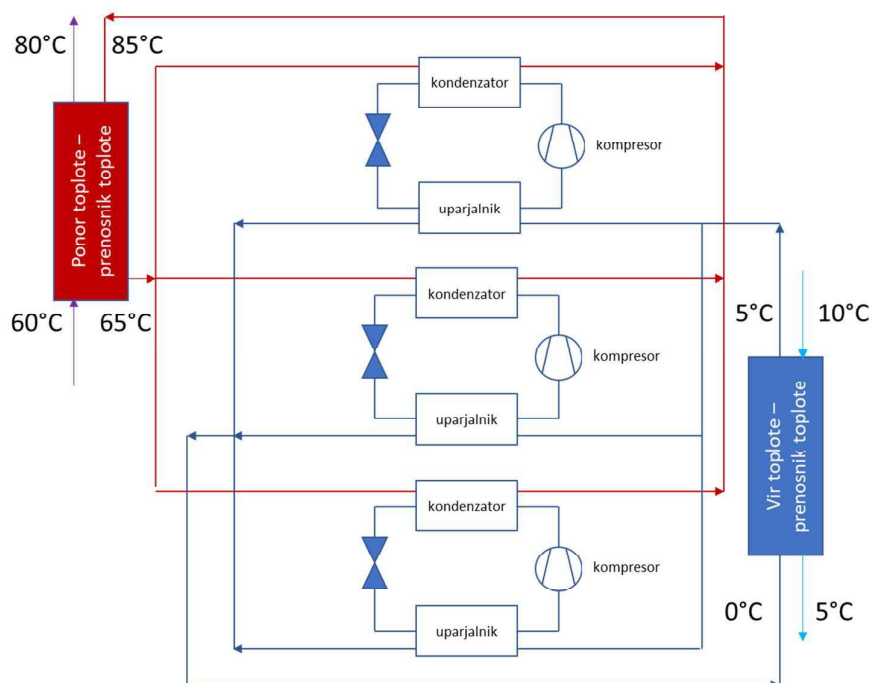


dodatni vir toplote za toplotne črpalke, ali pa omogočajo razširitev moči toplotnih črpalk od predlaganih v tem poročilu.

3.1. Prikaz in opis enostavnih shem delovanja in povezav toplotnih črpalk ter virov in ponorov toplote (osnovni scenarij)

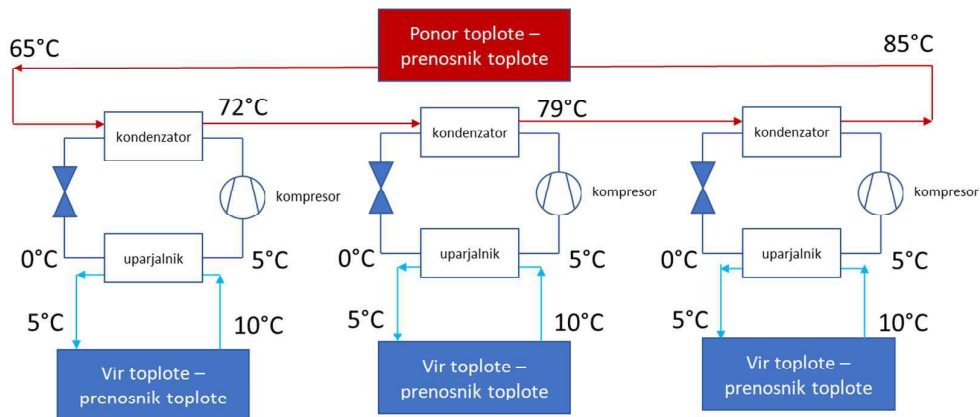
Na izbiro sistema toplotnih črpalk poleg parametrov obratovanja izjemno pomembno vpliva tudi njihovo število ter način povezav v celotni sistem. Izbira samo ene ali dveh enot toplotnih črpalk, ki bi zagotavljale želeno toplotno moč, lahko ob nizkih obremenitvah in kljub zvezni regulaciji obratovanja vodi do neželene slabše učinkovitosti toplotne črpalke, kar ima seveda za posledico večjo rabo električne energije za proizvodnjo toplote. Obratovanje pri pogojih 0 - 30% nazivne moči posamezne toplotne črpalke lahko vodi do izjemnega poslabšanja grelnega števila COP. Zato je potrebno posebno pozornost posvetiti rešitvam, ki jih proizvajalec podaja glede vzporedne vezave večjega števila toplotnih črpalk (vsaka toplotna črpalka omogoča dvig temperature od izvora toplote do ponora toplote) ter zaporedne vezave toplotnih črpalk (vsaka toplotna črpalka omogoča postopni dvig temperature, s čimer je grelni število COP, ki predstavlja razmerje med proizvedeno toploto in vloženo električno močjo, večje od posamične enote toplotne črpalke, ki zagotavlja celotni dvig temperature. Drugi vidik se nanaša na ponudnike enostopenjskih, večstopenjskih ali kaskadnih rešitev. Zaradi možnosti različnih izvedb je bolj kot sama izvedba pomembno, kakšne pogoje sistem glede na Preglednico 4 dosega, seveda ob upoštevanju osnovnih zahtev naročnika.

Slika 5 prikazuje zelo enostaven primer vzporedne vezave toplotnih črpalk. Pri takih sistemih je temperatura uparjanja in kondenzacije enaka pri vsaki enoti. Moč sistema se povečuje s številom vzporedno vezanih toplotnih črpalk. Vsaka toplotna črpalka mora zagotavljati celoten dvig temperature, zaradi česar bodo ponudniki opreme v takem primeru ponujali kaskadno rešitev ali pa dvostopenjske toplotne črpalke.



Slika 5: Enostaven prikaz vzporedne vezave treh toplotnih črpalk (osnovni scenarij).

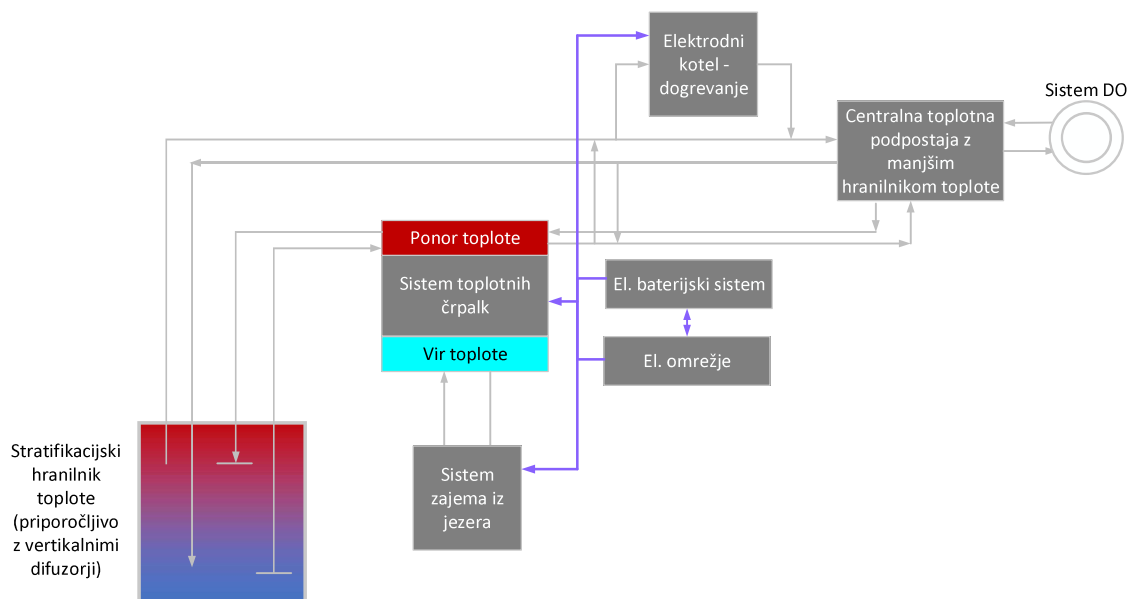
Slika 6 prikazuje enostaven prikaz zaporedne vezave treh toplotnih črpalk. Pri takih sistemih je učinkovitost sistema višja, ker toplotne črpalke delujejo pri manjših temperaturnih razlikah med kondenzatorjem in uparjalnikom. Moč toplotne črpalke narašča z nižanjem temperaturne razlike med kondenzatorjem in uparjalnikom. Moč sistema je pogojena z zadnjo stopnjo toplotne črpalke.



Slika 6: Enostaven primer in prikaz zaporedne vezave treh toplotnih črpalk (osnovni scenarij).

Pri delni obremenitvi npr. pod 30% bo učinkovitost sistema zaporedno vezanih toplotnih črpalk padla. V kolikor ena izmed toplotnih črpalk ne deluje, sistem ne bo mogel delovati. Zaradi velikega števila toplotnih črpalk bi v takem primeru bila smiselna vezava dveh vzporedno

vezanih sistemov, pri čemer bi vsak sistem vseboval maksimalno tri zaporedno vezane toplotne črpalke.



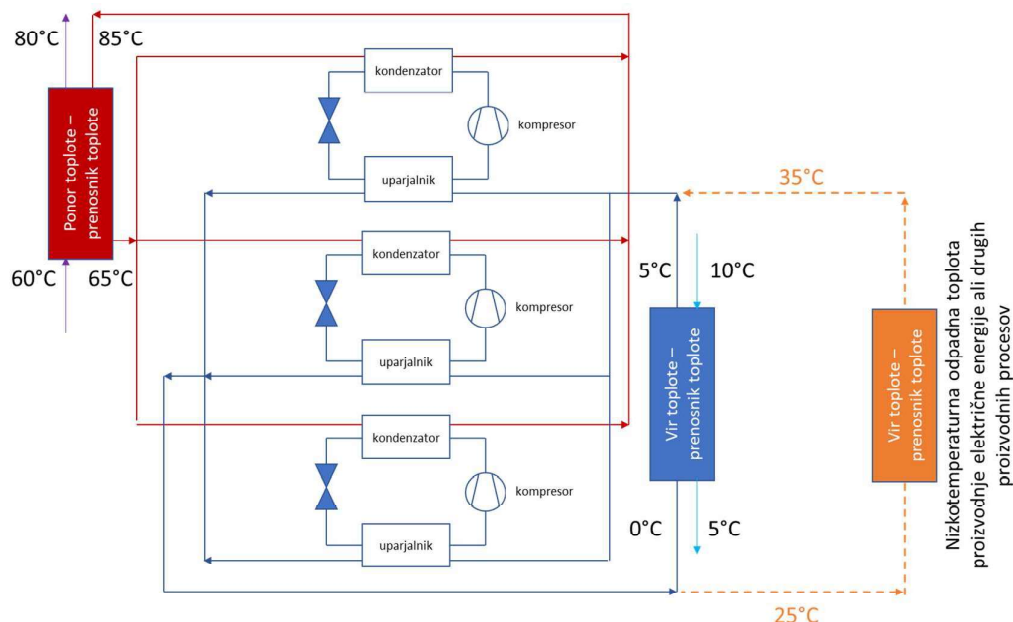
Slika 7: Osnovni scenarij: Enostaven prikaz celotnega sistema treh vrst hranilnikov energije (toplotni, električne baterije in elektrodni kotel) s sistemom toplotnih črpalk (sistem toplotnih črpalk lahko predstavlja večje število dvostopenjskih, zaporedno, oziroma kaskadno vezanih toplotnih črpalk) in sistemom daljinskega ogrevanja.

3.2. Prikaz in opis enostavnih shem delovanja in povezav toplotnih črpalk ter virov in ponorov toplote (dopolnjeni in predlagani scenarij)

Zaradi dolgoročnejšega načrtovanja je potrebno upoštevati možnosti postopne spremembe delovanja toplotnih črpalk v njihovi življenjski dobi. Konkretno se to nanaša na razpoložljive vire toplote za toplotne črpalke. Ključno pa se nanaša na strategijo občine glede prihodnjih tehnologij, ki bi vzporedno delovale za zagotavljanje vira toplote za daljinsko ogrevanje. Vir toplote za toplotne črpalke je lahko odpadna toplota iz sistema proizvodnje električne energije, npr. kondenzacijske toplote, ki je lahko na temperaturnem nivoju med 30-45 °C. Druga oblika vira je lahko odpadna toplota industrijskih procesov. Oboje lahko izjemno pomembno vpliva na dvig grelnega števila toplotnih črpalk (znižanje rabe električne energije za proizvodnjo toplote). V kolikor so tovrstni sistemi načrtovani za prihodnost s strani občine, bi bilo smiselno, da občina kot naročnik od ponudnikov zahteva tako ponudbo sistema, ki bi omogočal prehod in/ali sočasno rabo jezerske vode kot vira toplote in vira odpadne toplote iz naslova proizvodnje električne energije iz drugih sistemov.

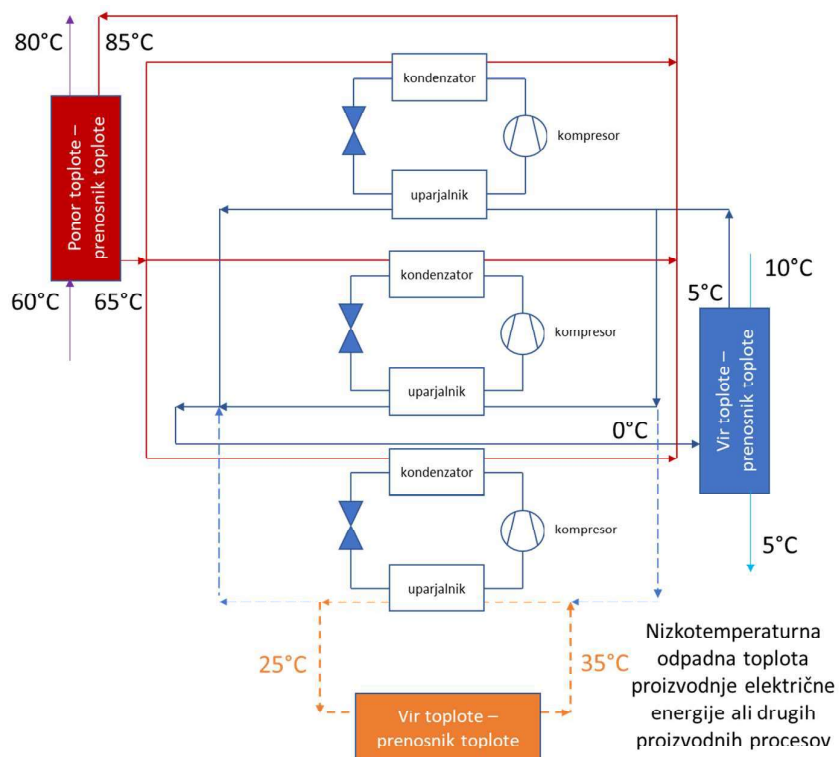
Skladno s tem predlagamo, da naročnik od ponudnikov zahteva zelo jasne podatke o možnostih povezav, delovanja in učinkovitosti, skladnimi z opisi in nakazanimi konceptualnimi rešitvami na **slikah 8-12**. To mora namreč poleg osnovnega scenarija, kjer je obravnavana samo možnost izkoriščanja enega vira toplote iz jezera, omogočati širitev rabe bodisi z istočasnim izkoriščanjem dveh virov na različnih nivojih temperature, ali pa s preходом na drugačen vir.

Slika 8 prikazuje zelo enostavno shemo vzporedne vezave toplotnih črpalk, pri katerih je možno preliminarni vir toplote iz jezera nadomestiti z odpadno toploto višje temperature.



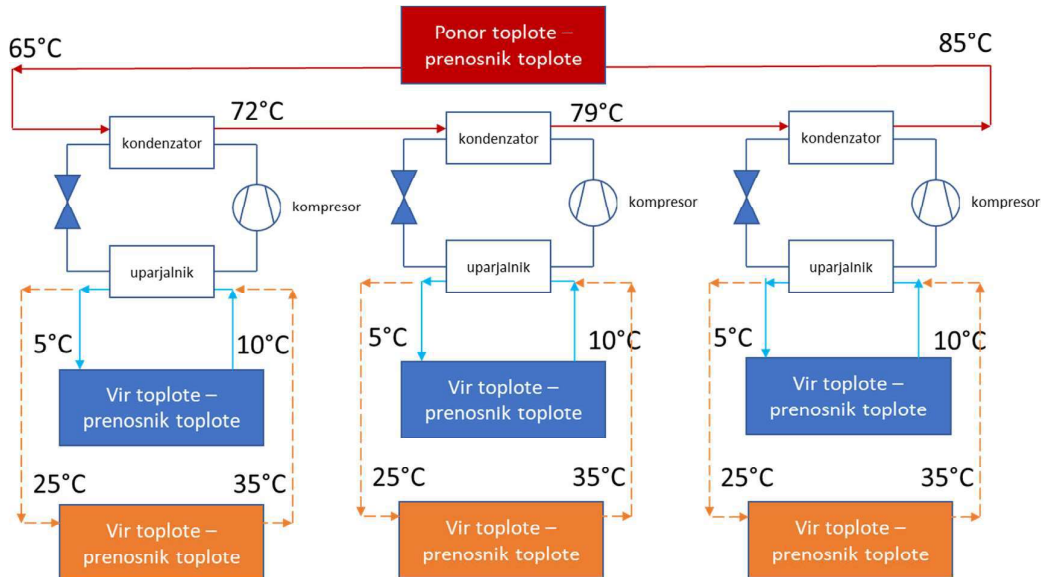
Slika 8: Enostaven primer in prikaz vzporedne vezave treh toplotnih črpalk, pri čemer je možno spremeniti vir toplote za obratovanje v posameznem obdobju za vse toplotne črpalke.

Slika 9 prikazuje zelo enostavno shemo vzporedne vezave toplotnih črpalk, pri katerih je možno preliminarni vir toplote iz jezera nadomestiti z odpadno toploto višje temperature in pri čemer je tak vir uporabljen samo na eni enoti toplotne črpalke, drugi vir pa ostaja enak.



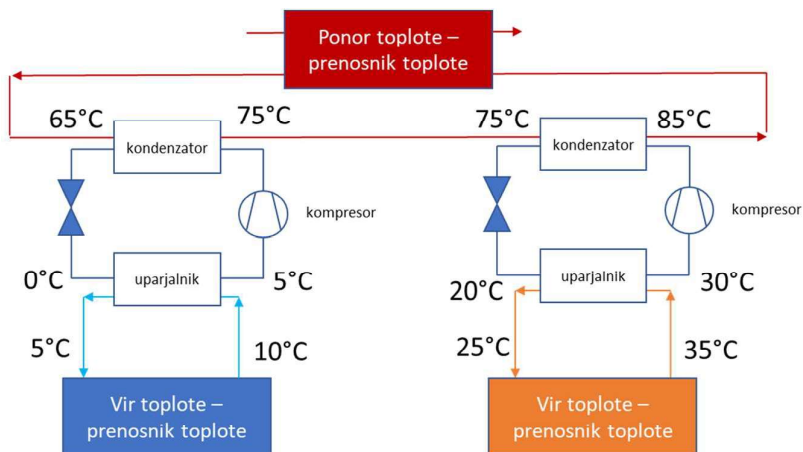
Slika 9: Enostaven primer in prikaz vzporedne vezave treh toplotnih črpalk, pri čemer je možno spremeniti vir toplote za obratovanje v posameznem obdobju za eno enoto toplotnih črpalk, pri drugih pa vir ostaja enak.

Slika 10 prikazuje enostaven primer in prikaz zaporedne vezave treh toplotnih črpalk, od katerih imajo vse toplotne črpalke možnost prehoda iz nizkotemperaturnega vira toplote iz jezera, na odpadno toploto višje temperature iz drugega vira.



Slika 10: Enostaven primer in prikaz zaporedne vezave treh toplotnih črpalk, od katerih imajo vse toplotne črpalke možnost prehoda iz nizkotemperaturnega vira toplote iz jezera, na odpadno toploto višje temperature iz drugega vira.

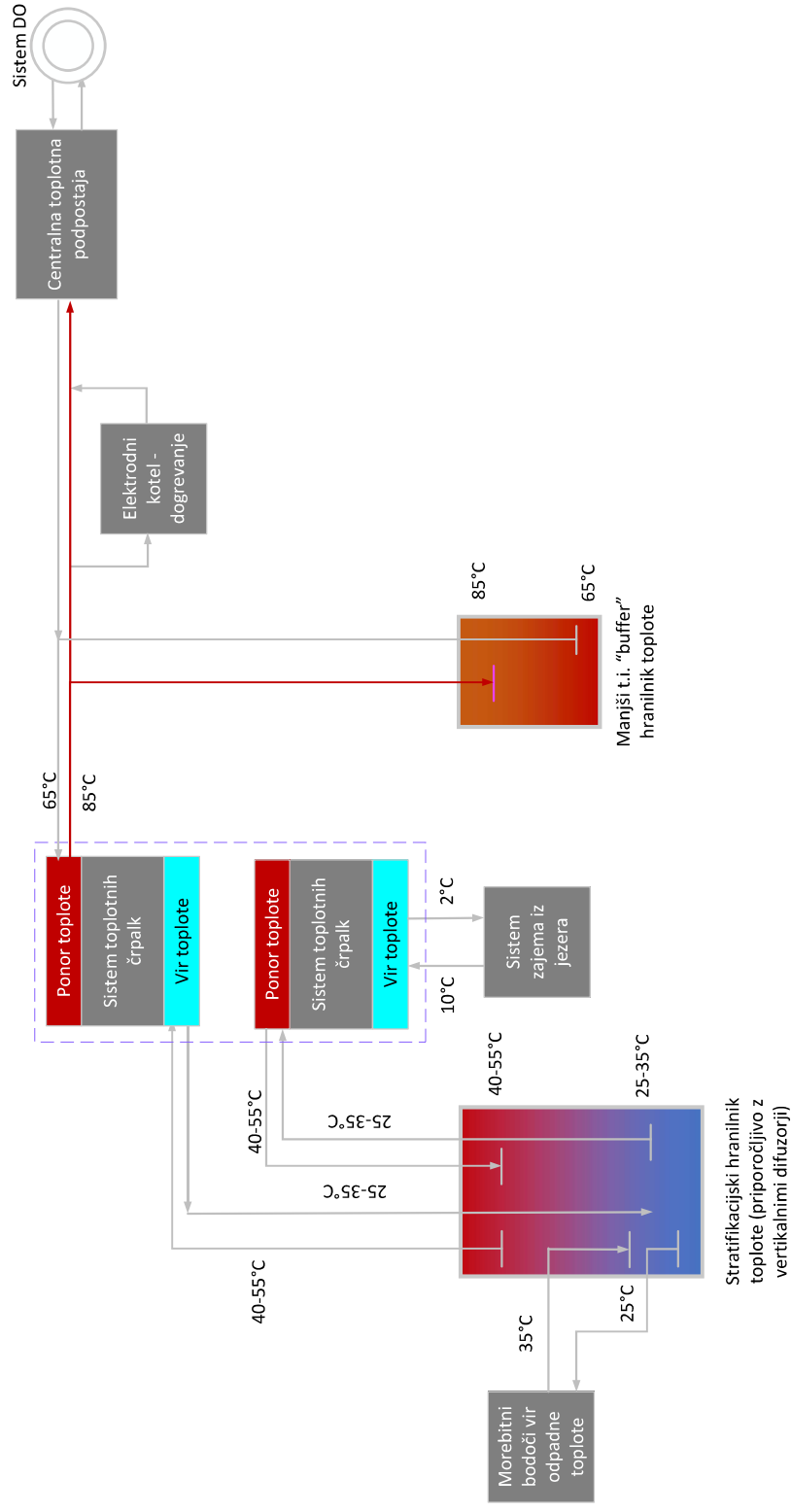
Slika 11 prikazuje enostaven primer in prikaz zaporedne vezave dveh toplotnih črpalk, od katerih ima ena toplotna črpalka nizkotemperaturni toplote iz jezera, druga pa kot vir toplote uporablja odpadno toploto.



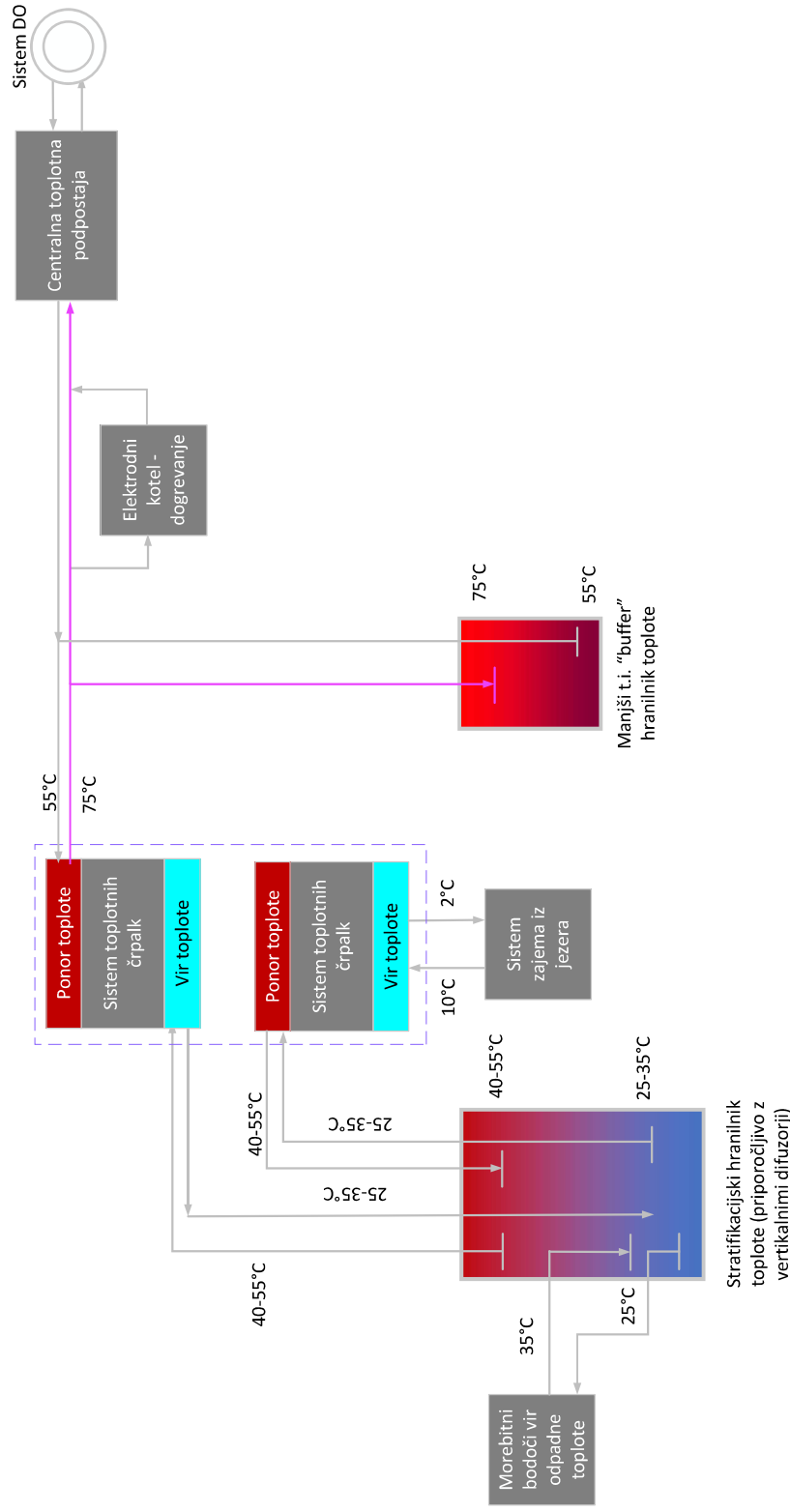
Slika 11: Enostaven primer in prikaz zaporedne vezave dveh toplotnih črpalk, od katerih ima ena toplotna črpalka nizkotemperaturni toplote iz jezera, druga pa kot vir toplote uporablja odpadno toploto.

Na **sliki 12** predstavljamo sistem, za katerega menimo, da bi bil s stališča nadaljnjega razvoja proizvodnih kapacitet v občini najbolj smiseln. Tak sistem bi bil sestavljen iz dveh stratifikacijskih hranilnikov, pri čemer bi prvi hranilnik predstavljal nižje temperature, drugi hranilnik, ki lahko predstavlja manjšo kapaciteto od prvega, pa višje temperature shranjevanja toplote. Na sliki smo dodali še možnost izrabe odpadne toplote, ki se lahko pojavi v prihodnosti kot del kondenzacijske oziroma odpadne toplote pri proizvodnji električne energije ali industrije. Celoten sistem, zasnovan na principu **Slike 12** kot tak ni odvisen od vira odpadne toplote, omogoča pa njegovo morebitno izkoriščanje v prihodnosti. Sistem toplotnih črpalk, obkrožen s črtkano črto se lahko nanaša na večje število dvostopenjskih (z možnostjo izkoriščanja vmesne stopnje), zaporedno vezanih, oziroma kaskadno vezanih toplotnih črpalk. Dodatno k celotnemu sistemu lahko z vgraditvijo elektrodnega kotla omogočamo dodaten dvig temperature, v kolikor je ta potreben.

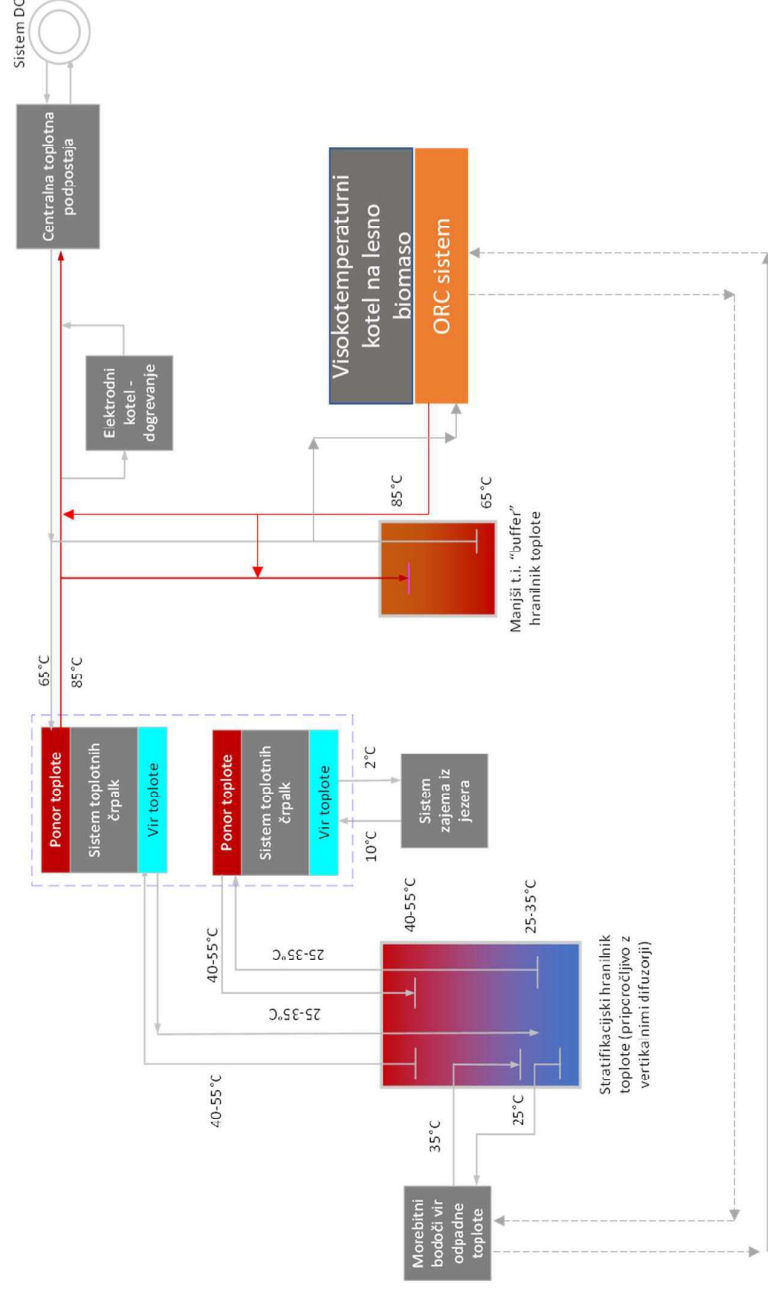
Sistem daljinskega ogrevanja v Velenju se lahko po prenovi objektov, njihovih notranjih ogrevalnih sistemov in toplotnih podpostaj, ob sočasni postavitvi drugega proizvodnega vira npr. na lokaciji Šaleka ali Sela, preobrazi v nizkotemperaturni sistem, kar je seveda cilj zelenega prehoda. V takem primeru se bodo temperature dovoda in povratka toplote lahko znižale, skladno s tem pa bo lahko sistem toplotnih črpalk, ki so predmet tega projekta, deloval na znižanih temperaturah ob nespremenjeni konfiguraciji predlaganega sistema. Skladno s tem je potrebno pri zasnovi samega projekta in kasnejše izvedbe upoštevati to možnost.



Slika 12: Dopolnjeni in predlagani scenarij: Enostaven prikaz povezave predlaganega sistema treh vrst hranilnikov energije s sistemom toplotnih črpalk in sistemom daljinskega ogrevanja.



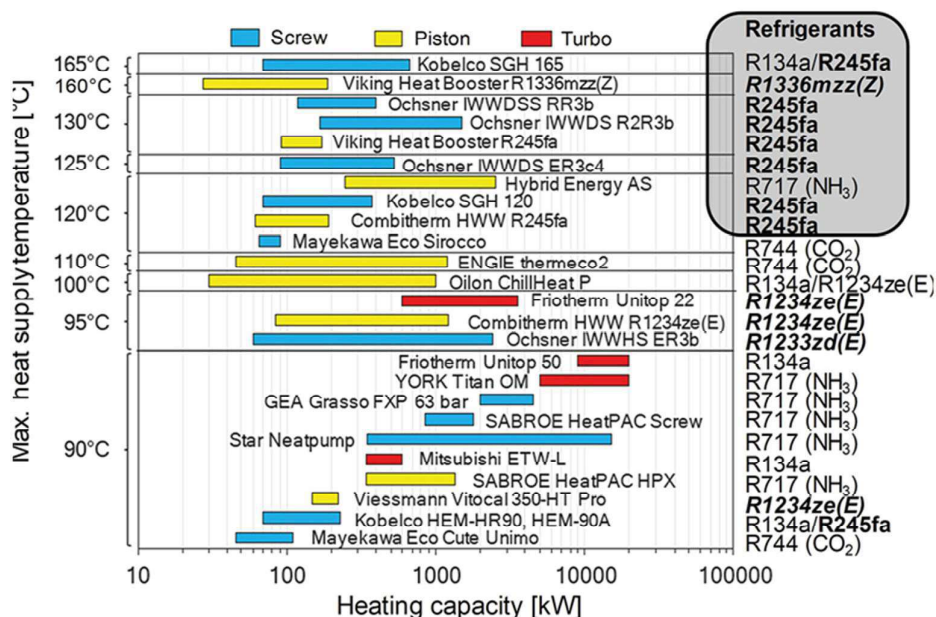
Slika 13: Dopolnjeni in predlagani scenarij za predvideno spremembo temperaturnega režima delovanja: Enostaven prikaz povezave predlaganega sistema treh vrst hranilnikov energije s sistemom toplotnih črpalk in sistemom daljinskega ogrevanja.



Slika 14: Dopolnjeni in predlagani scenarij za predvideno nadgradnjo sistema: Enostaven prikaz povezave predlaganega sistema treh vrst hranilnikov energije s sistemom toplotnih črpalk in sistemom daljinskega ogrevanja ter OVE kogeneracijskim sistemom, pri čemer slednji omogoča delovanje v kondenzacijskem režimu nizkih temperatur (povezava na vir odpadne toplote), ali pa kot dodatni vir toplote poleg toplotnih črpalk.

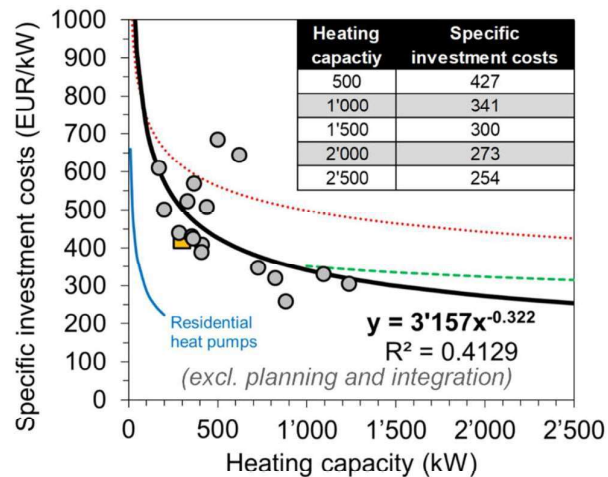
3.3. Globalni trg z visokotemperaturnimi toplotnimi črpalkami

V tem delu prikazujemo trenutno stanje različnih vrst toplotnih črpalk, ki so dostopne na trgu. Prav tako smo dodali k pregledu sistemov še okvirne vrednosti investicij, ki lahko pomembno vplivajo na odločitev pri nakupu sistema toplotnih črpalk. **Slika 15** prikazuje toplotne črpalke večjih zmogljivosti, ki jih je moč dobiti na trgu in ki se nanašajo na temperaturna območja celo do 165 °C.



Slika 15: Trg toplotnih črpalk večjih moči za potrebe ogrevanja do 165 °C [3]. Podatki se nanašajo na leto 2020.

Slika 16 prikazuje okvirne vrednosti investicije v toplotne črpalke (brez planiranja in inštalacije). Vsekakor se z velikostjo sistema pomembno nižajo stroški investicije na enoto moči. Pri tem moramo poudariti, da ima segment visokotemperaturnih toplotnih črpalk višjo dodano vrednost v primerjavi z veliki toplotnimi črpalkami, ki se uporabljajo v namen klimatizacije in hlajenja objektov (za enako moč). Pri naročilu sistema toplotnih črpalk za potrebe projekta, ki je predmet te študije, je potrebno pridobiti ponudbe velikega števila proizvajalcev, ki ustrezajo zgoraj podanim kriterijem. Menimo, da so v nekaterih primerih ponudnikov cene pretirane in jih je možno pomembno znižati, v kolikor naročnik prevzame pobudo in ustrezno komunikacijo z velikim številom ponudnikov.



Slika 16: Okvirne vrednosti investicije v toplotne črpalke glede na toplotno moč brez upoštevanja planiranja in namestitve sistema [4]. Objava podatkov je iz leta 2024.

Podjetja, ki danes ponujajo toplotne črpalke, ki uporabljajo AMONIJAK (NH₃) za doseganje višjih temperatur, skladnih z obravnavanim primerom so:

- Mayekawa Mycom [5],
- Styne Group [6],
- Gea [7],
- Copeland [8],
- Sabroe (Johnson Controls)[9],
- Star Refrigeration [10].

Podjetja, ki danes ponujajo toplotne črpalke, ki uporabljajo HFO hladiva za doseganje višjih temperatur, skladnih z obravnavanim primerom so:

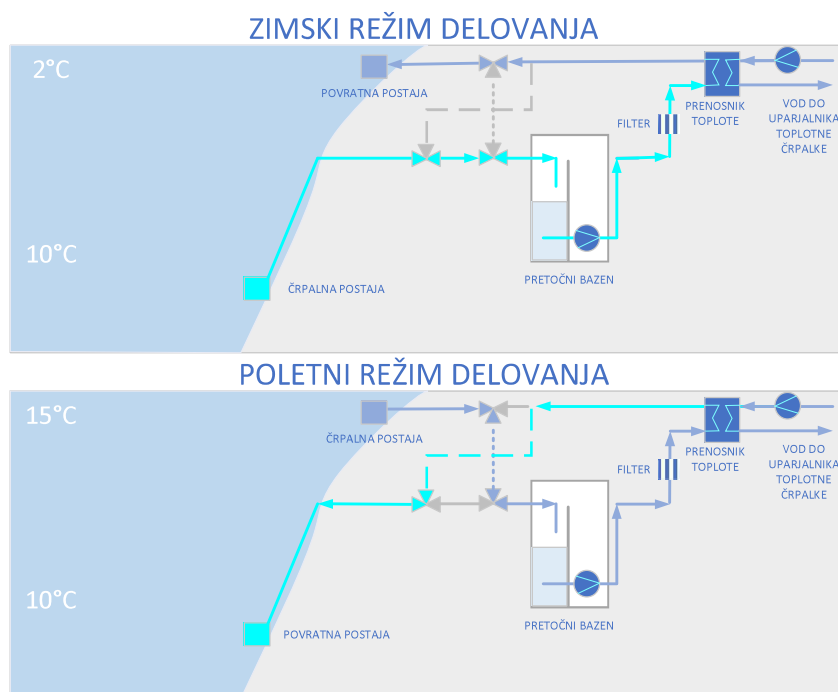
- SPH [11],
- OCHSNER [12],
- FRIOTHERM [13],
- HEATEN [14],
- YORK [15],
- CARRIER [16],
- TURBODEN [17],
- Pure Thermal [18],
- TRANE [19],
- SIEMENS Energy [20].

4. Ostali deli sistema: črpališče in hranilniki energije

4.1. Črpališče

Pomemben del sistema predstavlja črpališče in distribucija jezerske vode do prenosnikov toplote. Zajem in nadalje distribucija vode iz jezera morata omogočati čistost vode v prenosnikih toplote in hkrati izkoriščati prednosti zajema vode iz jezera pri čim višjih temperaturah. Pri tem je hkrati potrebno upoštevati vpliv na mikro-okolje jezera, torej da se povratek vode v jezero vodi na tisto globino, ki približno ustreza temperaturi vodi povratka v jezero. Naročniku predlagamo kontakt in obisk sistema, ki je vzpostavljen ob Ženevskem jezeru ([21], [22], [23], [24]).

Predlagamo uporabo jezerske vode na način, da ta v kombinaciji s toplotno črpalko predstavlja odprti sistem, kjer se voda iz jezera (v primeru ogrevanja s toplotnimi črpalkami) črpa na določeni globini (poziroma globoko, poleti na površini) in vrača v/na jezero (poziroma na površino, poleti v globino). Ponudniki opreme naj ponudijo izvedbo možnosti tako za plavajočo ploščad za črpanje in vračanje vode, kot za potopljeni sistem, kot je na **sliki 17**. Ponudniki sistema naj imajo več kot 10 let referenc pri postavljanju tovrstnih črpalno/čistilnih sistemov.



Slika 17: Prikaz odprtega sistema: črpanja jezerske vode kot vira toplote za toplotne črpalke (ocenjujemo, da bo tak črpalni sistem potreboval priključno električno moč približno enako območju med 12 do 16 kW_{elektrike} / MW_{toplote} vira toplote, torej na strani uparjalnikov).



Odsvetujemo nakup sistemov/storitev, pri katerih ima ponudnik manj kot 10 let izkušenj na področju tehnologije zajema in povratka jezerske vode kot vira toplote v toplotnih črpalkah.

4.2. Hranilniki energije

Hranilniki energije morajo predstavljati smiselni del sistema. Načeloma bi njihova polna dodana vrednost in funkcionalnost bistveno boljše delovala, če bi predstavljali enoto, povezano s celotno proizvodnjo toplote in elektrike na območju. Ne glede na to predstavljajo tudi smiselni del sistema s toplotnimi črpalkami in fotonapetostnim poljem in sicer preko sledečih možnih konfiguracij in delovanja:

- shranjevanje viškov proizvodnje električne energije,
- shranjevanje presežkov toplote iz omrežja daljinskega ogrevanja,
- shranjevanje električne energije z izkoriščanjem ekonomske prednosti nizkih cen električne energije na trgu,
- zmanjšanje maksimalne moči proizvodnih naprav za toploto.

Shranjevanje električne energije ali toplote predstavlja sledeče možnosti:

- Shranjevanje toplote v hranilniku toplote preko pogona toplotnih črpalk*** (to je možno samo v primeru, če so potrebe omrežja daljinskega ogrevanja manjše od zmogljivosti toplotnih črpalk), izkoristek hranilnika toplote je cca >80%. Pretvorba iz ene enote elektrike vodi do COP~2,5, torej 2,5 kratne proizvodnje toplote.
- Shranjevanje električne energije v električnih baterijah*** (pri tem se moramo zavedati, da baterijski sistemi omogočajo polnjenje in praznjenje baterijskega sistema z do 80% učinkovitostjo. Električna energija se v želenem obdobju rabi za pogon toplotnih črpalk ali drugih sistemov. Potrebno je tudi upoštevati, da se za ohranjanje življenjske dobe baterije ne smejo izprazniti pod določen odstotek (npr. 30%), kar seveda predstavlja predimenzioniranje glede na želeno energijo shranjevanja.
- Preko pretvorbe električne energije direktno v toploto.*** Pretvorba iz ene enote elektrike v toploto (primer enakega temperaturnega nivoja kot pri shranjevanju preko toplotne črpalke) je 2,5 krat manjša od primera s toplotno črpalko. Shranjevanje toplote v tovrstnem hranilniku je ima približno >80% učinkovitost.

Odsvetujemo nakup sistemov/storitev, pri katerih ima ponudnik manj kot 10 let izkušenj na področju tehnologij shranjevanja toplote ali shranjevanja električne energije.

4.2.1. Hranilniki toplote

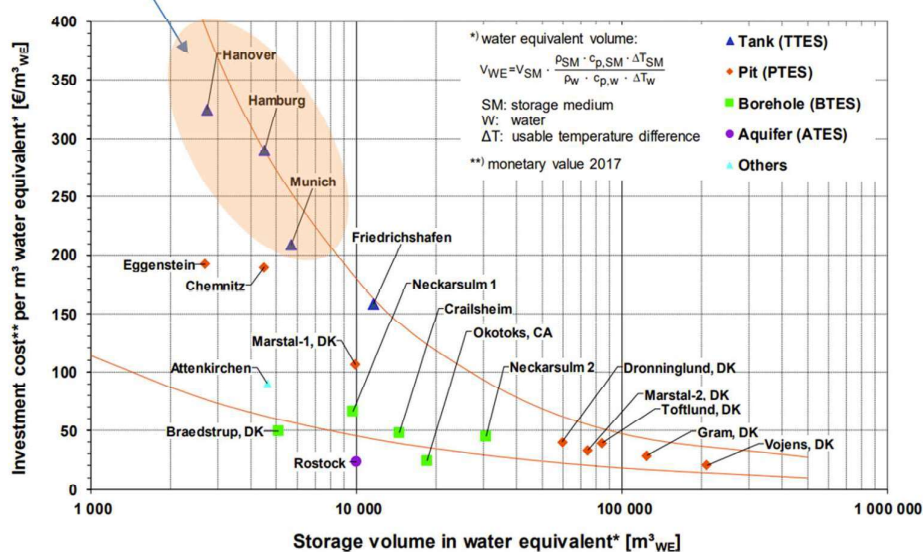
Med hranilniki toplote za urno ali dnevno rabo **predlagamo rabo klasičnih, vendar dobro izoliranih nadzemnih ali vkopanih (v kolikor to značilnosti terena in lokacije dopuščajo) rezervoarjev vodnih stratifikacijskih hranilnikov.** Z vidika trga je s to vrsto hranilnikov največ izkušenj, hkrati pa imajo hitro odzivnost in so primerni za urno in dnevno obratovanje.

Spodaj podajamo nekaj primerov ponudnikov opreme:

- Araner [25],
- Taikisha group [26],
- Rieckman [27],
- Lipp system [28],
- Fishertank [29].

Ostale vrste velikih hranilnikov toplote so bolj primerne za sezonsko shranjevanje toplote. V primeru, da želi občina ob ostali energetski infrastrukturi, ki ni predmet te študije (npr. sežigalnica, kogeneracija, termoelektrarne) analizirati možnosti sezonskega shranjevanja viškov toplote, **pri sezonskih hranilnikih predlagamo preliminarno usmeritev v analizo primernosti izvedbe sezonskih hranilnikov in sicer za vodne hranilnike z uporabo zapuščene rudniške infrastrukture ali hranilnike z uporabo geosond.** Tretjo možnost predstavlja **izraba opuščenih cevovodov**, ki pa ne omogočajo želene stratifikacije glede na temperaturne nivoje. Kljub temu se ti cevovodi, v kolikor so vkopani, ne smejo zanemariti kot dodatni potencial za shranjevanje toplote.

Pričakovano območje stroškov vodnega hranilnika toplote



Slika 18: Investicijski stroški velikih hranilnikov toplote [30].

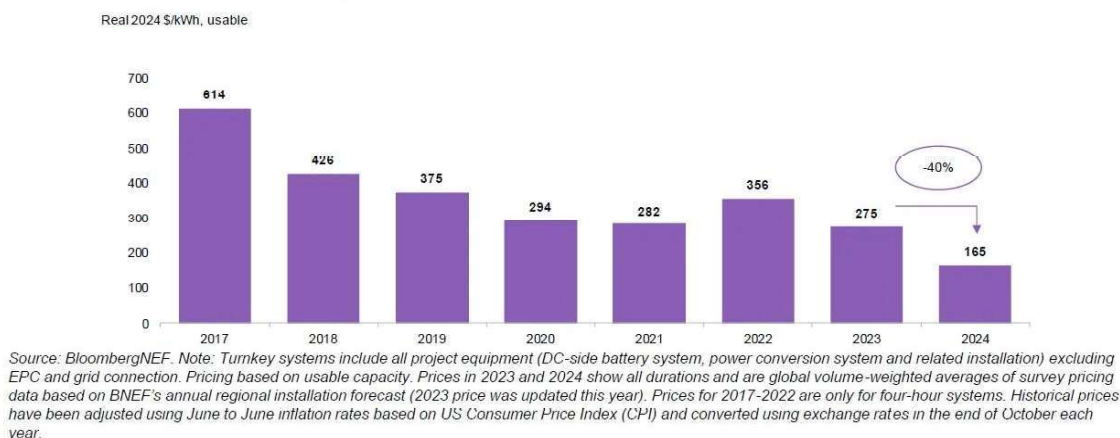


Slika 19: Primer dveh nadzemnih rezervoarjev - stratifikacijskih hranilnikov toplote za dvodnevno shranjevanje toplote v Copenhagenu [31].

4.2.2. Hranilniki električne energije

Glede na obravnavane scenarije v tem poročilu se poleg uporabe hranilnikov toplote lahko smiselno uporabi tudi hranilnike za shranjevanje proizvedene električne energije iz SE, ali pa shranjevanje bistveno cenejše električne energije na trgu, ki jo je možno koristiti kasneje v sistemu. Primarno naj se hranilniki električne energije uporabljajo v povezavi s sistemom toplotnih črpalk in ne električnih kotelnih grelnikov/hranilnikov, to pa zaradi zelo slabe energetske učinkovitosti slednjih.

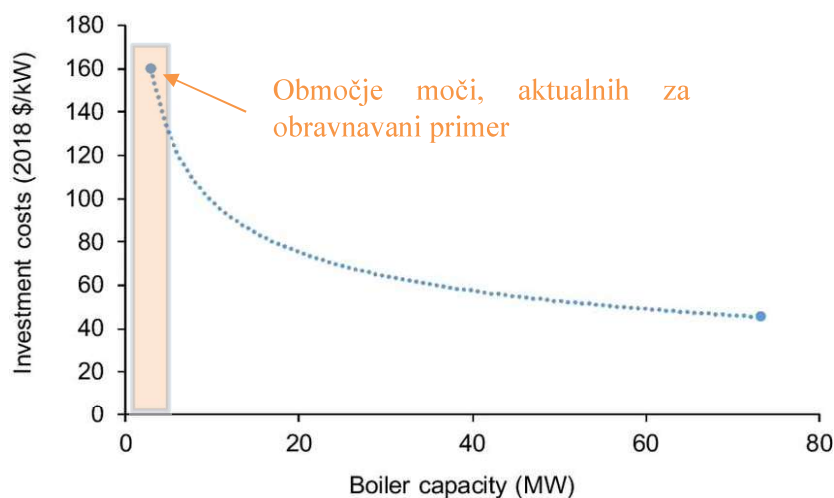
Historical prices for turnkey energy storage systems



Slika 20: Stroški hranilnikov elektrike glede na leto (BloombergNEF, 2023-2024).

4.2.3. Elektrodni hranilniki toplote

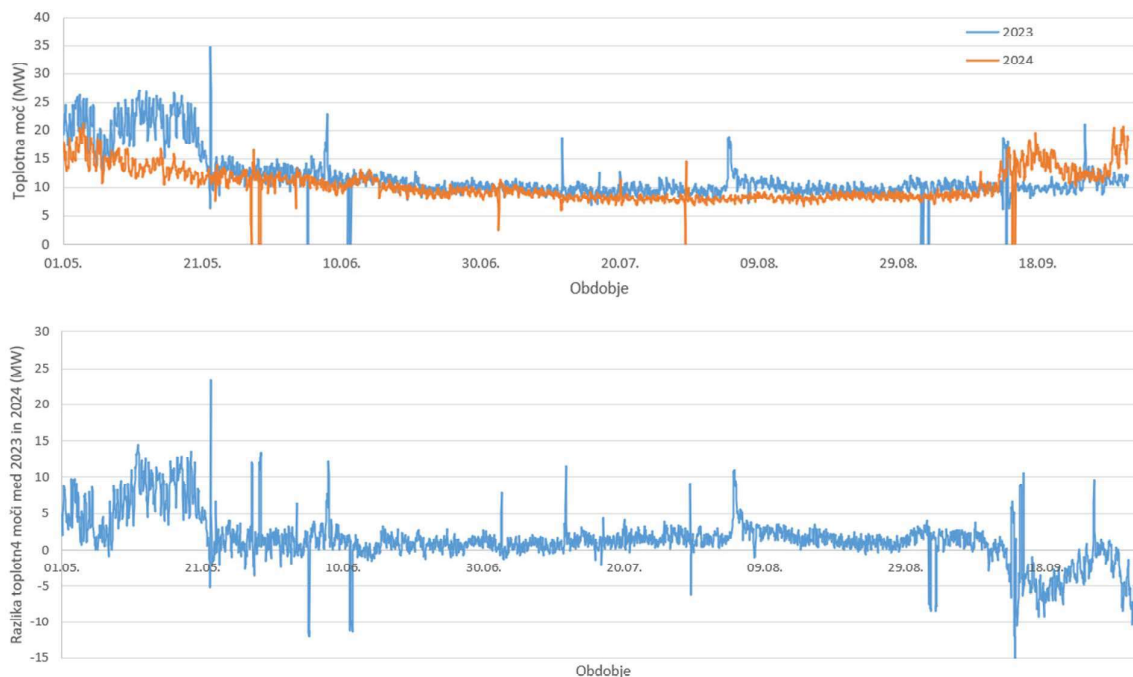
Elektrodni hranilniki toplote predstavlja energetska gledano najslabšo možno varianto shranjevanja toplote. Ta vrsta hranilnikov in hkrati generatorjev toplote mora zato predstavljati v primerjavi s toplotnimi črpalkami in hranilniki toplote minorni del. Elektrodni hranilniki toplote, zaradi možnosti gretja do visokih temperatur, se naj primarno uporabijo za dogrevanje vode za sistem daljinskega ogrevanja, vendar naj pri tem ne doprinašajo več kot 10 K temperaturnega dviga na strani vode v sistemu (zaradi energetske potratnosti). Njihova druga funkcija naj bo povezana z možnostjo pokrivanja vršnih obremenitev sistema daljinskega ogrevanja.



Slika 21: Stroški elektrodnih hranilnikov glede na toplotno moč [32].

5. Analiza scenarijev v obdobju 1.5. do 30.9.

Iz Komunalnega podjetja Velenje (KPV) smo pridobili urne vrednosti o toplotnem odjemu za leti 2023 in 2024. Osredotočili smo se na obdobje med 1.5. in 30.9. Predviden toplotni odjem smo izračunali kot 75% vsote odjema za Velenje in Šoštanj. Urne vrednosti za leti 2023 in 2024 so prikazane na **sliki 22**. Vrednosti se precej razlikujejo – v letu 2024 je bilo dobavljenih 5.448 MWh toplote manj kot v istem obdobju v letu 2023. Spodnji graf na **sliki 22** prikazuje razliko med obema obdobjema.



Slika 22: Toplotni odjem za leto 2023 in 2024.

Določili smo tri scenarije pokrivanja toplotne moči z uporabo kombinacije sončne elektrarne in toplotnih črpalk. Analiza obsega štiri različne kombinacije modulov in inverterjev v sončni elektrarni, o katerih je več zapisano v **Poglavju 2**:

- BiGen (Bisol moduli + generični inverterji),
- BiHu (Bisol moduli + Huawei inverterji),
- SPGen (Sunpower moduli + generični inverterji),
- SPHu (Sunpower moduli + Huawei inverterji).

Za vsako kombinacijo smo analizirali urne vrednosti proizvedene električne energije, ki smo jih določili s programom PVsyst. Analizirali smo štiri različne scenarije, ki se med seboj razlikujejo po skupni nazivni toplotni moči toplotnih črpalk in sicer:

- prvi scenarij: toplotne črpalke konstantno proizvajajo 4 MW toplote,
- drugi scenarij: toplotne črpalke konstantno proizvajajo 8 MW toplote,
- tretji scenarij: toplotne črpalke konstantno proizvajajo 9,3 MW toplote,
- četrti scenarij: toplotne črpalke konstantno proizvajajo 10,5 MW toplote.

Proizvedena električna energija iz fotonapetostnih sistemov je za vse štiri scenarije enaka.

V analizi smo uporabili podatke o toplotni črpalki voda-voda Sabroe DualPAC 712-W [33], ki so zapisani v preglednici 5.

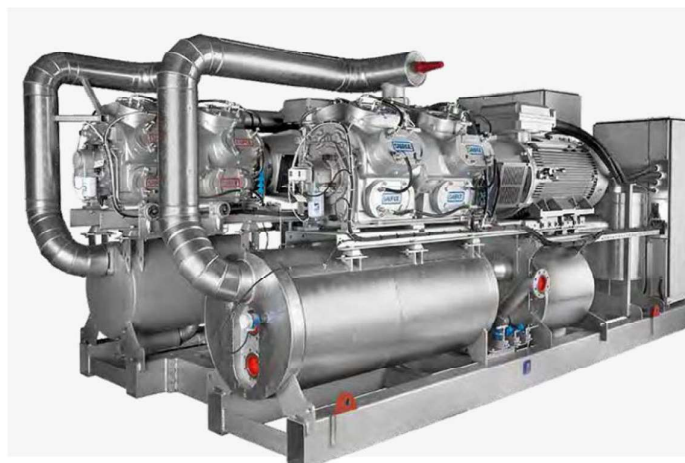
Preglednica 5: Podatki za eno enoto toplotne črpalke Sabroe DualPAC 712-W [33] pri temperaturah uparjalnika 15 °C/5 °C (vstop/izstop) ter temperaturah kondenzatorja 70 °C/90 °C (vstop/izstop).

Toplotna moč (kW)	El. moč na gredi (kW)	COP na gredi (/)	Količina hladiiva R717 (kg)	Masa (kg)	Dimenzije (mm)	Hrup (dB(A))
1.381	445*	3,1*	102	13.500	5.500x3.000x2.100	88

Podatek za COP smo korigirali in sicer zaradi sledečih razlogov:

- podatki proizvajalca so podani za električno moč in COP na gredi.
- S KPV smo se dogovorili o analizi delovanja toplotne črpalke pri pogojih 80 °C/60 °C (dovod in povratek v sistemu daljinskega ogrevanja) ter upoštevanjem vsakotredenskega pregrevanja dovoda na 85°C.

Zato smo v ostalih analizah upoštevali znižano grelni število in sicer $COP = 2,5$.



Slika 23: Prikaz obravnavane dvostopenjske toplotne črpalke Sabroe DualPAC 712-W z batnim kompresorjem in amonijakom kot hladivom [33].

Za vsak scenarij smo predpostavili, da toplotne črpalke v obravnavanem obdobju delujejo ves čas z največjo toplotno močjo. Na urnem nivoju smo za štiri različne sončne elektrarne



analizirali presežek oz. primanjkljaj toplotne in električne moči. Na podlagi podatkov o presežkih smo analizirali uporabo baterijskega hranilnika in toplotnega hranilnika.

Podatki, ki so prikazani v preglednicah za posamezne scenarije, so naslednji:

Povzetek rezultatov celotnega analiziranega obdobja:

- proizvedena električna energija na SE (MWh),
- zahtevana el. energija za max toplotno moč vseh TČ (MWh),
- dovedena el. energija iz omrežja v primeru SE brez baterij (MWh),
- presežek el. energije SE- energija shranjena v baterijo (MWh),
- št. ur presežka proizvedene el. energije,
- maksimalna velikost baterij. hr. za shranjevanje vse odvečne el. energije (MWh),
- dovedena el. energija iz omrežja v primeru SE z baterijo (MWh),
- odstotek el. energije iz omrežja v primeru brez uporabe baterij. hr.,
- odstotek el. energije iz omrežja v primeru uporabe baterij. hr.,
- proizvedena toplota s polno obrat. močjo (MWh),
- zahtevana toplota (odjem)(MWh),
- primanjkljaj toplote (zahtevana-proizvedena) (MWh),
- št. ur, ko TČ ustvarijo presežek toplote (/),
- presežna toplota shranjena v hranilnik toplote (MWh),
- maksimalna velikost hr. toplote za shranjevanje toplote (MWh),
- primanjkljaj toplote brez hranilnika toplote (MWh), primanjkljaj toplote s hranilnikom toplote (MWh),
- odstotek shranjene toplote v primerjavi s celotno proizvedeno toploto (MWh).

V preglednicah so podane največje urne vrednosti v celotnem obdobju:

- Proizvedena električna moč na SE (MW)
- Zahtevana el. moč za maksimalno toplotno moč vseh TČ (MW)
- Dovedena električna moč iz omrežja v primeru SE brez baterij (MW)
- Presežek električne moči SE- energija shranjena v baterijo (MW)
- Dovedena el. moč iz omrežja v primeru SE z baterijo (primanjkljaj) (MW)
- Zahtevana toplota moč (odjem)(MW)
- Primanjkljaj toplotne moči (zahtevana-proizvedena) brez hranilnika (MW)
- Primanjkljaj toplotne moči s hranilnikom toplote (MW)
- Presežna toplota moč (MW)

Predpostavili smo popolnoma idealno delovanje električnega baterijskega hranilnika – polnjenje in praznjenje med 0 in 100%. Kapaciteta hranilnika ni bila omejena, tako da smo lahko shranili vse viške električne energije proizvedene na SE. Potrebno velikost se lahko določi iz najvišje dosežene vrednosti energije shranjene v hranilnik.

V scenarijih, pri katerih je bila ugotovljena smiselnost uporabe hranilnika toplote, količina shranjene toplote ne vpliva na delovanje toplotnih črpalk in posledično ne vpliva na količino



uporabljene električne energije. Toplotne črpalke ves čas delujejo na polni obremenitvi, višek toplote pa se shranjuje v hranilnik toplote in se uporabi za nadomeščanje razlike toplote med odjemom in dovedeno toploto iz toplotnih črpalk pri polni obremenitvi. Po želji naročnika lahko analizo razširimo tako, da bi se delovanje toplotnih črpalk prilagajalo količini shranjene toplote v hranilniku (npr. izključitev ene ali več enot toplotnih črpalk za neko časovno obdobje). V takšni analizi bi videli vpliv shranjene toplote na rabo električne energije za delovanje toplotnih črpalk.

Analiza 2023 in 2024 ima različne podatke o rabi toplote, proizvedena električna energija na SE pa je enaka za obe obdobji, saj program PVsyst za izračun sončnega obsevanja uporabi podatke modelnega leta (10-letno vremensko povprečje na dani lokaciji).

V naslednjih scenarijih je obravnavano obdobje 1.5. do 30.9. za leti 2023 in 2024.

5.1. Prvi scenarij: toplotne črpalke konstantno proizvajajo 4 MW toplote

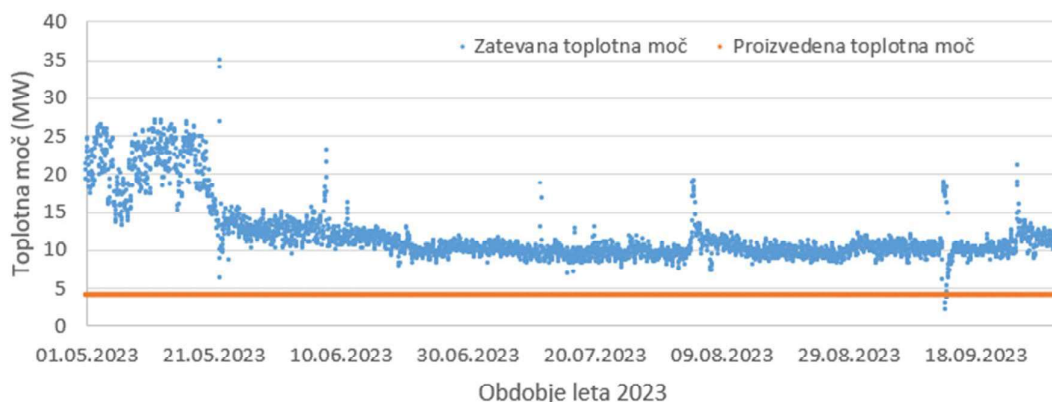
V prvem scenariju bi za zagotavljanje 4 MW toplotne moči potrebovali 3 enote toplotnih črpalk Sabroe DualPAC 712-W [33], s skupno toplotno močjo 3,996 MW in skupno električno močjo 1,60 MW.

a) Obdobje 2023

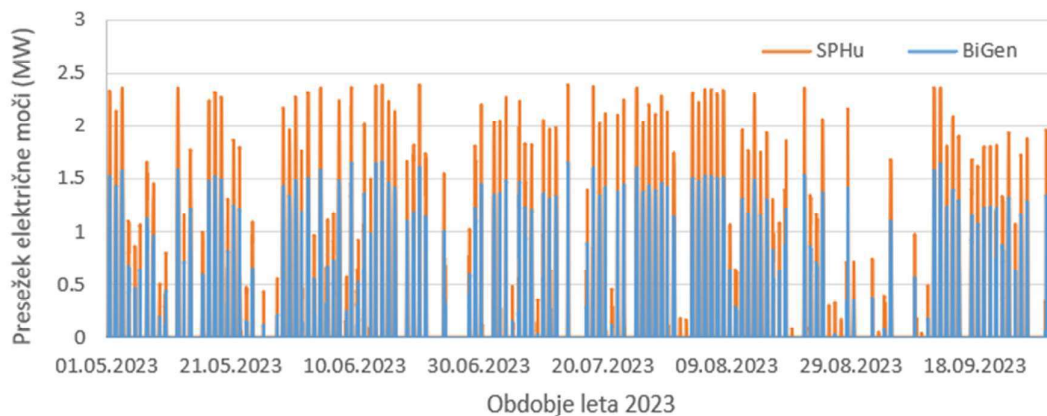
Preglednica 6: Povzetek rezultatov celotnega obdobja 1.5. do 30.9. 2023 (razlaga rezultatov v nadaljevanju teksta)

	BiGen	BiHu	SPGen	SPHu
Proizvedena električna energija na SE (MWh)	2603,7	2763,8	2960,8	3137,6
Zahtevana el. energija za max toplotno moč vseh TČ (MWh)	5869,3	5869,3	5869,3	5869,3
Dov. dodatna el. energija iz omrežja v primeru SE brez baterij (MWh)	3839,7	3776,8	3740,8	3676,6
Presežek el. energije SE- energija shranjena v baterijo (MWh)	574,1	671,3	832,2	944,9
Št. ur presežka proizvedene el. energije	703	739	811	868
Max vel. bat. za shranjevanje vse odvečne el. energije (MWh)	10,0	11,8	14,0	15,7
Dov. el. energija iz omrežja v primeru SE z baterijo (MWh)	3265,6	3105,5	2908,6	2731,7
Odstotek el. en. iz omrežja v primeru brez uporabe baterij. hr.	65,4	64,3	63,7	62,6
Odstotek el. en. iz omrežja v primeru uporabe baterij. hr.	55,6	52,9	49,6	46,5
Proizvedena toplota s polno obrat. močjo (MWh)	14673,3	14673,3	14673,3	14673,3
Zahtevana toplota (odjem)(MWh)	43760,5	43760,5	43760,5	43760,5

Primanjkljaj toplote (zahtevana-proizvedena) (MWh)	29090,6	29090,6	29090,6	29090,6
Št. ur, ko TČ ustvarijo presežek toplote (/)	3,0	3,0	3,0	3,0
Presežna toplota shranjena v hranilnik toplote (MWh)	3,4	3,4	3,4	3,4
Max. velikost hr. toplote za shranjevanje toplote (MWh)	3,4	3,4	3,4	3,4
Primanjkljaj toplote brez hranilnika toplote (MWh)	29090,6	29090,6	29090,6	29090,6
Primanjkljaj toplote s hranilnikom toplote (MWh)	29087,2	29087,2	29087,2	29087,2
Odstotek shranjene toplote v primerjavi s celotno proizvedeno toploto (MWh)	0,0	0,0	0,0	0,0



Slika 24: Zahtevana toplotna moč in proizvedena toplotna moč s toplotnimi črpalkami v obdobju med 1.5. in 30.9.2023.



Slika 25: Presežek električne moči proizvedene v dveh različnih SE in sicer BiGen in SPHu. Presežek predstavlja preostanek moči v tistih delih opazovanega obdobja, kot SE proizvede več elektrike, kot je toplotne črpalke 4 MW moči potrebujejo.



Komentar k analizi proizvedene toplote: Toplotne črpalke proizvajajo 4 MW toplotne moči, kar v 99,99% obravnavanega časa ne pokrije zahtevane toplotne moči. V scenariju 1 je proizvedena toplotna moč višja od odjema samo v 3 urnih vrednostih. Presežek toplote je skupno 3,4 MWh, zaradi česar toplotni hranilnik ni potreben. Preostali čas toplotne črpalke ne zadostijo rabi, zaradi česar je potrebno zagotoviti skupno 29090,6 MWh toplote iz drugih virov. V primeru, da bi hranilnik s kapaciteto 3.4 MWh ure vseeno imeli, bi bilo potrebno iz drugih virov dovesti 29087,2 MWh toplote.

Komentar k analizi proizvedene električne energije: Za delovanje toplotnih črpalk pri polni toplotni moči 4 MW proizvedena električna energija na SE ne zadostuje, zahtevane električne energije ne moremo v celotni pokriti niti z uporabo baterijskega hranilnika, v kolikor bi le ta shranjeval samo električno energijo iz SE. Seveda pa lahko tak hranilnik shranjujejo poceni kupljeno električno energijo na trgu in tako premosti primanjkljaj.

Celotna zahtevana električna energija TČ v opazovanem obdobju je 5869,3 MWh. V tem obdobju kombinacija BiGen proizvede 2603,7 MWh, kombinacija SPHu pa 3137,6 MWh električne energije. Kombinacija BiGen proizvede zadostno (oz. višjo) električno moč od zahtevane v 703 urah (19,1% časa), kombinacija SPHu pa v 868 urah (23,6% časa).

Če viškov proizvedene električne energije ne shranjujemo v baterijskem hranilniku, je v primeru uporabe kombinacije BiGen iz omrežja potrebno dobaviti 3839.7 MWh električne energije (65,4%), v primeru SPHu pa 3676,6 MWh (62,6%).

Z uporabo idealnega baterijskega hranilnika se potrebna dovedena električna energija iz omrežja zmanjša, optimalna velikost hranilnika pa mora biti prilagojena vsaki kombinaciji fotonapetostnih modulov in inverterjev. V primeru baterijskih hranilnikov s kapaciteto 10 MWh (BiGen) oz. 15,74 MWh (SPHu) bi lahko shranili vse viške električne energije proizvedene na SE. Višek proizvedene električne energije v primeru BiGen znaša 574 MWh, v primeru SPHu pa 944,88 MWh. Iz električnega omrežja bi ob uporabi baterijskega hranilnika in kombinacije BiGen morali dovesti 3265,6 MWh električne energije (55,6%), v primeru SPHu pa 2731,7 MWh električne energije (46,5%).

Preglednica 7: Povzetek rezultatov največjih urnih vrednosti v celotnem obdobju 2023

	BiGen	BiHu	SPGen	SPHu
Proizvedena električna moč na SE (MW)	3,2	3,6	3,8	4,0
Zahtevana el. moč za max toplotno moč vseh TČ (MW)	1,6	1,6	1,6	1,6
Dovedena električna moč iz omrežja v primeru SE brez baterij (MW)	1,6	1,6	1,6	1,6
Presežek električne moči SE- energija shranjena v baterijo (MW)	1,6	2,0	2,2	2,4
Dov. el. moč iz omrežja v primeru SE z baterijo (primanjkljaj) (MW)	1,6	1,6	1,6	1,6
Zahtevana toplota moč (odjem)(MW)	34,8	34,8	34,8	34,8
Primanjkljaj toplotne moči (zahtevana-proizvedena) brez hranilnika (MW)	30,8	30,8	30,8	30,8
Primanjkljaj toplotne moči s hranilnikom toplote (MW)	30,8	30,8	30,8	30,8
Presežna toplota moč (MW)	1,9	1,9	1,9	1,9

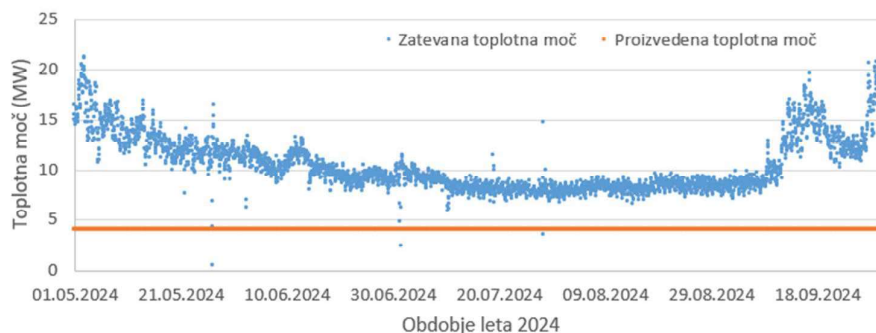


Komentar: Največji presežek električne energije bi bil 2,4 MWh v primeru SPHu, kar je posledica največje proizvedene električne energije v tem primeru. Vsi preostali podatki v **Preglednici 7** so enaki za vse primere, saj nanje izbira modulov in inverterjev ne vpliva.

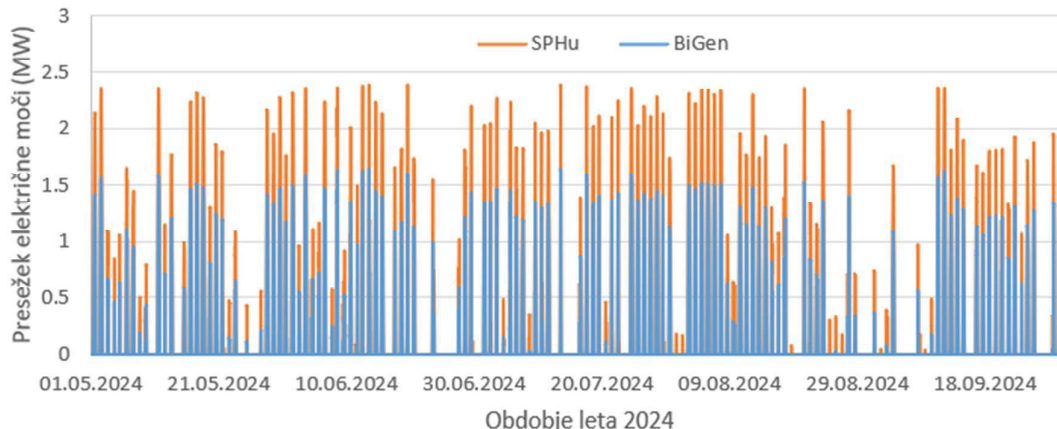
b) Obdobje 2024

Preglednica 8: Povzetek rezultatov celotnega obdobja 2024

	BiGen	BiHu	SPGen	SPHu
Proizvedena električna energija na SE (MWh)	2603,7	2763,8	2960,8	3137,6
Zahtevana el. energija za max toplotno moč vseh TČ (MWh)	5869,3	5869,3	5869,3	5869,3
Dov. el. energija iz omrežja v primeru SE brez baterij (MWh)	3839,7	3776,8	3740,8	3676,6
Presežek el. energije SE- energija shranjena v baterijo (MWh)	574,09	671,32	832,25	944,88
Št. ur presežka proizvedene el. energije	703,00	739,00	811,00	868,00
Max vel. bat. za shranjevanje vse odvečne el. energije (MWh)	10,03	11,75	14,02	15,74
Dov. el. energija iz omrežja v primeru SE z baterijo (MWh)	3265,6	3105,5	2908,6	2731,7
Odstotek el. en. iz omrežja v primeru brez uporabe baterij. hr.	65,4	64,3	63,7	62,6
Odstotek el. en. iz omrežja v primeru uporabe baterij. hr.	55,6	52,9	49,6	46,5
Proizvedena toplota s polno obrat. močjo (MWh)	14673,3	14673,3	14673,3	14673,3
Zahtevana toplota (odjem)(MWh)	38244,2	38244,2	38244,2	38244,2
Primanjkljaj toplote (zahtevana-proizvedena) (MWh)	23585,1	23585,1	23585,1	23585,1
Št. ur, ko TČ ustvarijo presežek toplote (/)	5,0	5,0	5,0	5,0
Presežna toplota shranjena v hranilnik toplote (MWh)	14,2	14,2	14,2	14,2
Max. velikost hr. toplote za shranjevanje toplote (MWh)	7,7	7,7	7,7	7,7
Primanjkljaj toplote brez hranilnika toplote (MWh)	23585,1	23585,1	23585,1	23585,1
Primanjkljaj toplote s hranilnikom toplote (MWh)	23570,9	23570,9	23570,9	23570,9
Odstotek shranjene toplote v primerjavi s celotno proizvedeno toploto (MWh)	0,1	0,1	0,1	0,1



Slika 26: Zahtevana toplotna moč in proizvedena toplotna moč v obdobju med 1.5. in 30.9.2024.



Slika 27: Presežek električne moči BiGen in SPHu.

Komentar: Podatki za 2024 so podobni podatkom iz 2023, razlika je le v 5561,3 MWh manjši zahtevani toploti v letu 2024.

Preglednica 9: Povzetek rezultatov največjih urnih vrednosti v celotnem obdobju 2024

	BiGen	BiHu	SPGen	SPHu
Maksimalna proizvedena električna moč na SE (MW)	3,2	3,6	3,8	4,0
Zahtevana el. moč za maksimlano toplotno moč vseh TČ (MW)	1,6	1,6	1,6	1,6
Dovedena električna moč iz omrežja v primeru SE brez baterij (MW)	1,6	1,6	1,6	1,6
Maksimalni presežek el. moči SE - energija shranjena v baterijo (MW)	1,6	2,0	2,2	2,4
El. moč iz omrežja v primeru SE z baterijo (primanjkljaj) (MW)	1,6	1,6	1,6	1,6
Zahtevana maksimalna toplota moč (odjem)(MW)	21,2	21,2	21,2	21,2
Maksimalni primanjkljaj toplotne moči brez hranilnika (MW)	17,2	17,2	17,2	17,2
Maksimalni primanjkljaj toplotne moči s hranilnikom toplote (MW)*	17,2	17,2	17,2	17,2
Maksimalna presežna toplota moč (MW)	4,3	4,3	4,3	4,3

*Za primer, ko hranilnik služi samo shranjevanju presežne toplote iz TČ

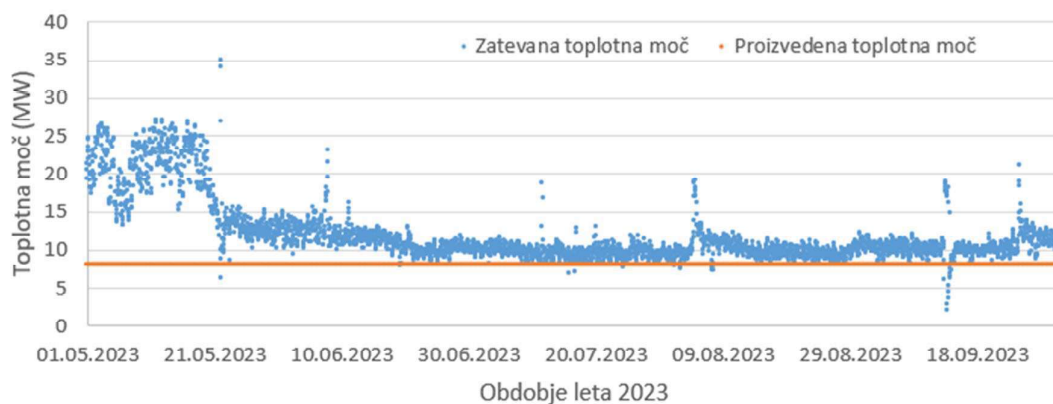
Komentar: V primerjavi z letom 2023 so majhne razlike posledica nižjega toplotnega odjema.

5.2. Drugi scenarij: toplotne črpalke konstantno proizvajajo 8 MW toplote

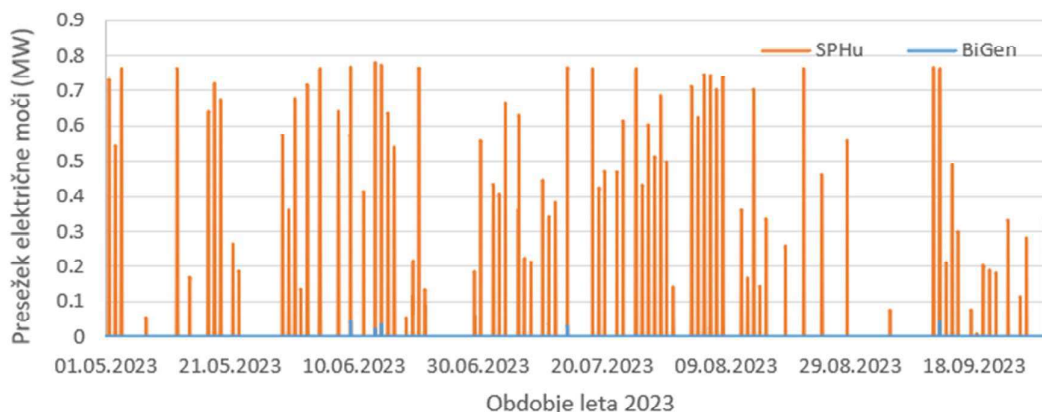
V drugem scenariju bi za pokrivanje 8 MW toplotnega odjema potrebovali 6 enot toplotnih črpalk Sabroe DualPAC 712-W [33], s skupno toplotno močjo 7,992 MW in skupno električno močjo 3,2 MW.

**a) Obdobje 2023****Preglednica 10: Povzetek rezultatov celotnega obdobja 2023**

	BiGen	BiHu	SPGen	SPHu
Proizvedena električna energija na SE (MWh)	2603,7	2763,8	2960,8	3137,6
Zahtevana el. energija za max toplotno moč vseh TČ (MWh)	11738,6	11738,6	11738,6	11738,6
Dov. el. energija iz omrežja v primeru SE brez baterij (MWh)	9135,1	8987,7	8831,8	8698,6
Presežek el. energije SE- energija shranjena v baterijo (MWh)	0,2	12,9	54,0	97,5
Št. ur presežka proizvedene el. energije	7	85	191	264
Max vel. bat. za shranjevanje vse odvečne el. energije (MWh)	0,05	1,1	2,1	3,4
Dov. el. energija iz omrežja v primeru SE z baterijo (MWh)	9135,0	8974,8	8777,9	8601,1
Odstotek el. en. iz omrežja v primeru brez uporabe baterij. hr.	77,8	76,6	75,2	74,1
Odstotek el. en. iz omrežja v primeru uporabe baterij. hr.	77,8	76,5	74,8	73,3
Proizvedena toplota s polno obrat. močjo (MWh)	29346,6	29346,6	29346,6	29346,6
Zahtevana toplota (odjem)(MWh)	43760,5	43760,5	43760,5	43760,5
Primanjkljaj toplote (zahtevana-proizvedena) (MWh)	14452,0	14452,0	14452,0	14452,0
Št. ur, ko TČ ustvarijo presežek toplote (/)	28,0	28,0	28,0	28,0
Presežna toplota shranjena v hranilnik toplote (MWh)	38,1	38,1	38,1	38,1
Max. velikost hr. toplote za shranjevanje toplote (MWh)	21,8	21,8	21,8	21,8
Primanjkljaj toplote brez hranilnika toplote (MWh)	14452,0	14452,0	14452,0	14452,0
Primanjkljaj toplote s hranilnikom toplote (MWh)	14413,9	14413,9	14413,9	14413,9
Odstotek shranjene toplote v primerjavi s celotno proizvedeno toploto (MWh)	0,1	0,1	0,1	0,1



Slika 28: Zahtevana toplotna moč in proizvedena toplotna moč v obdobju med 1.5. in 30.9.2023.



Slika 29: Presežek električne moči BiGen in SPHu.

Komentar: V scenariju 2 je proizvedena toplota višja od odjema pri 28 urnih vrednostih (skupno 38,1 MWh). Za pokrivanje viškov proizvedene toplote s pomočjo toplotnih črpalk bi potrebovali 21,8 MWh velik hranilnik. Seveda kljub hranilniku toplotne črpalke ne zadostijo rabi, zaradi česar je potrebno zagotoviti skupno 14413,9 MWh oz. 14452,0 (če hranilnika ne bi imeli) toplote iz drugih virov.

Za delovanje na polni moči proizvedena električna energija na SE kljub uporabi baterijskega hranilnika ne zadostuje. V primeru BiGen je presežek električne energije zaznan le v 7 urah, zaradi česar baterijski hranilnik ne bi bil smiseln. V primeru SPHu je presežek električne energije zaznan v 264 urah. Z uporabo baterijskega hranilnika s kapaciteto 3,4 MWh bi v tem primeru iz omrežja potrebovali 0,8% električne energije manj, kot če baterijskega hranilnika ne bi imeli. V primeru BiGen je iz omrežja potrebno dobaviti 77,8% v primeru SPHu pa 74,1% električne energije za delovanje TČ (brez upoštevanja baterijskega hranilnika).

Preglednica 11: Povzetek rezultatov največjih urnih vrednosti v celotnem obdobju 2023

	BiGen	BiHu	SPGen	SPHu
Maksimalna proizvedena električna moč na SE (MW)	3,2	3,6	3,8	4,0
Zahtevana el. moč za maksimalno toplotno moč vseh TČ (MW)	3,2	3,2	3,2	3,2
Dovedena električna moč iz omrežja v primeru SE brez baterij (MW)	3,2	3,2	3,2	3,2
Maksimalni presežek el. moči SE - energija shranjena v baterijo (MW)	0,05	0,4	0,6	0,8
El. moč iz omrežja v primeru SE z baterijo (primanjkljaj) (MW)	3,2	3,2	3,2	3,2
Zahtevana maksimalna toplota moč (odjem)(MW)	34,8	34,8	34,8	34,8
Maksimalni primanjkljaj toplotne moči brez hranilnika (MW)	26,8	26,8	26,8	26,8
Maksimalni primanjkljaj toplotne moči s hranilnikom toplote (MW)*	26,0	26,0	26,0	26,0
Maksimalna presežna toplota moč (MW)	5,9	5,9	5,9	5,9

*Za primer, ko hranilnik služi samo shranjevanju presežne toplote iz TČ

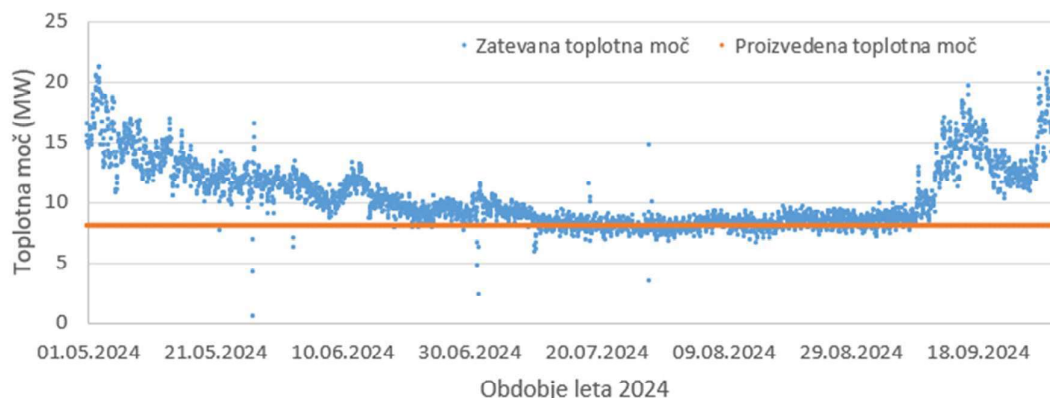


Komentar: Največji presežek električne energije bi bil 0,8 MWh v primeru SPHu, kar je posledica največje proizvedene električne energije v tem primeru. Vsi preostali podatki v tabeli so enaki za vse primere, saj nanje izbira modulov in inverterjev ne vpliva.

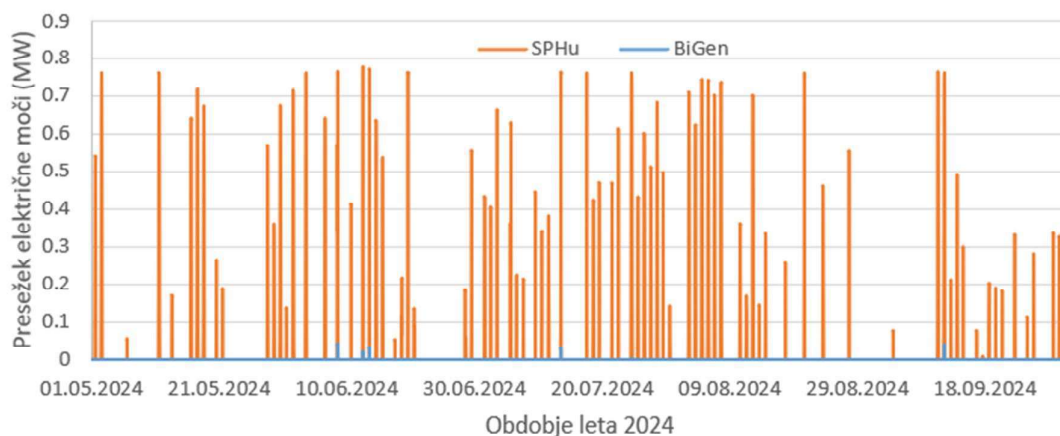
a) Obdobje 2024

Preglednica 12: Povzetek rezultatov celotnega obdobja 2024

	BiGen	BiHu	SPGen	SPHu
Proizvedena električna energija na SE (MWh)	2603,7	2763,8	2960,8	3137,6
Zahtevana el. energija za max toplotno moč vseh TČ (MWh)	11738,6	11738,6	11738,6	11738,6
Dov. el. energija iz omrežja v primeru SE brez baterij (MWh)	9135,1	8987,7	8831,8	8698,6
Presežek el. energije SE- energija shranjena v baterijo (MWh)	0,18	12,86	53,95	97,50
Št. ur presežka proizvedene el. energije	7,00	85,00	191,00	264,00
Max vel. bat. za shranjevanje vse odvečne el. energije (MWh)	0,05	1,07	2,15	3,45
Dov. el. energija iz omrežja v primeru SE z baterijo (MWh)	9135,0	8974,8	8777,9	8601,1
Odstotek el. en. iz omrežja v primeru brez uporabe baterij. hr.	77,8	76,6	75,2	74,1
Odstotek el. en. iz omrežja v primeru uporabe baterij. hr.	77,8	76,5	74,8	73,3
Proizvedena toplota s polno obrat. močjo (MWh)	29346,6	29346,6	29346,6	29346,6
Zahtevana toplota (odjem)(MWh)	38244,2	38244,2	38244,2	38244,2
Primanjkljaj toplote (zahtevana-proizvedena) (MWh)	9140,4	9140,4	9140,4	9140,4
Št. ur, ko TČ ustvarijo presežek toplote (/)	572,0	572,0	572,0	572,0
Presežna toplota shranjena v hranilnik toplote (MWh)	242,8	242,8	242,8	242,8
Max. velikost hr. toplote za shranjevanje toplote (MWh)	50,8	50,8	50,8	50,8
Primanjkljaj toplote brez hranilnika toplote (MWh)	9140,4	9140,4	9140,4	9140,4
Primanjkljaj toplote s hranilnikom toplote (MWh)	8897,6	8897,6	8897,6	8897,6
Odstotek shranjene toplote v primerjavi s celotno proizvedeno toploto (MWh)	0,8	0,8	0,8	0,8



Slika 30: Zahtevana toplotna moč in proizvedena toplotna moč v obdobju med 1.5. in 30.9.2024.



Slika 31: Presežek električne moči BiGen in SPHu.

Komentar: Podatki za 2024 se od podatkov iz 2023 razlikujejo zaradi manjšega odjema toplote v letu 2024.

V scenariju 2 je proizvedena toplota višja od odjema 572 urnih vrednostih (skupno 242 MWh). Za pokrivanje viškov proizvedene toplote s pomočjo toplotnih črpalk bi potrebovali 50,8 MWh velik hranilnik. Seveda kljub hranilniku toplotne črpalke ne zadostijo rabi, zaradi česar je potrebno zagotoviti skupno 8897,6 MWh oz. 9140,4 MWh (če hranilnika ne bi imeli) toplote iz drugih virov.

Za delovanje pri polni moči proizvedena električna energija na SE kljub uporabi baterijskega hranilnika ne zadostuje. V primeru BiGen je presežek električne energije zaznan le v 7 urah, zaradi česar baterijski hranilnik ni smisel. V primeru SPHu je presežek električne energije zaznan v 264 urah. Z uporabo baterijskega hranilnika s kapaciteto 3,4 MWh bi v tem primeru iz omrežja potrebovali 0,8% električne energije manj, kot če baterijskega hranilnika ne bi imeli. V primeru BiGen je iz omrežja potrebno dobaviti 77,8% v primeru SPHu pa 74,1% električne energije za delovanje TČ (brez upoštevanja baterijskega hranilnika).

Preglednica 13: Povzetek rezultatov največjih urnih vrednosti v celotnem obdobju 2024

	BiGen	BiHu	SPGen	SPHu
Maksimalna proizvedena električna moč na SE (MW)	3,2	3,6	3,8	4,0
Zahtevana el. moč za maksimalno toplotno moč vseh TČ (MW)	3,2	3,2	3,2	3,2
Dovedena električna moč iz omrežja v primeru SE brez baterij (MW)	3,2	3,2	3,2	3,2
Maksimalni presežek el. moči SE - energija shranjena v baterijo (MW)	0,0	0,4	0,6	0,8
El. moč iz omrežja v primeru SE z baterijo (primanjkljaj) (MW)	3,2	3,2	3,2	3,2
Zahtevana maksimalna toplota moč (odjem)(MW)	21,2	21,2	21,2	21,2
Maksimalni primanjkljaj toplotne moči brez hranilnika (MW)	13,2	13,2	13,2	13,2



Maksimalni primanjkljaj toplotne moči s hranilnikom toplote (MW)*	13,2	13,2	13,2	13,2
Maksimalna presežna toplota moč (MW)	8,3	8,3	8,3	8,3

*Za primer, ko hranilnik služi samo shranjevanju presežne toplote iz TČ

Komentar: V primerjavi z letom 2023 so razlike posledica nižjega toplotnega odjema.

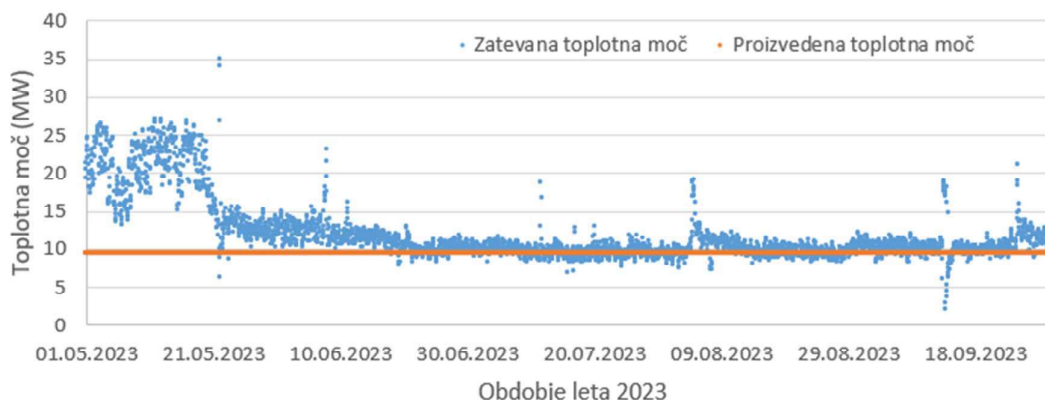
5.3. Tretji scenarij: toplotne črpalke konstantno proizvajajo 9,3 MW toplote

V tretjem scenariju bi za pokrivanje 10,6 MW toplotnega odjema potrebovali 7 enot toplotnih črpalk Sabroe DualPAC 712-W [33], s skupno toplotno močjo 9,324 MW in skupno električno močjo 3,73 MW.

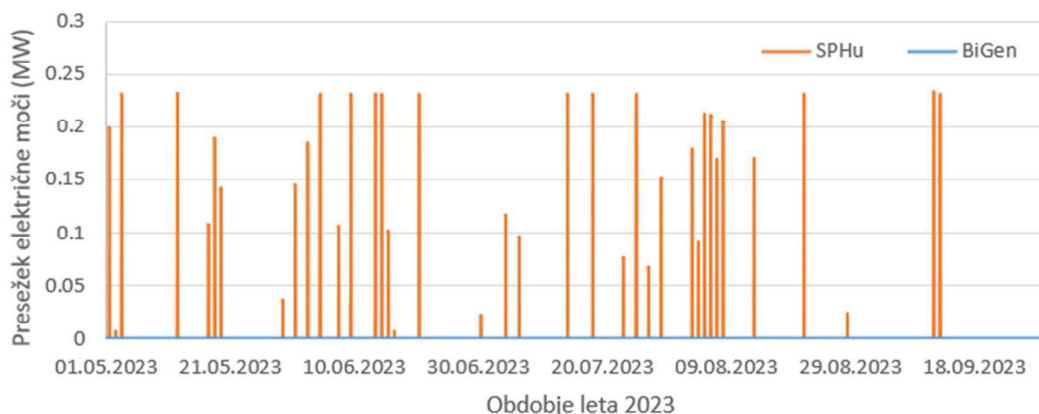
a) Obdobje 2023

Preglednica 14: Povzetek rezultatov celotnega obdobja 2023

	BiGen	BiHu	SPGen	SPHu
Proizvedena električna energija na SE (MWh)	2603,7	2763,8	2960,8	3137,6
Zahtevana el. energija za max toplotno moč vseh TČ (MWh)	13695,1	13695,1	13695,1	13695,1
Dov. el. energija iz omrežja v primeru SE brez baterij (MWh)	11091,4	10931,3	10734,4	10568,2
Presežek el. energije SE- energija shranjena v baterijo (MWh)	0,00	0,00	0,11	10,66
Št. ur presežka proizvedene el. energije	0,00	0,00	8,00	75,00
Max vel. bat. za shranjevanje vse odvečne el. energije (MWh)	0,00	0,00	0,05	0,82
Dov. el. energija iz omrežja v primeru SE z baterijo (MWh)	11091,4	10931,3	10734,3	10557,5
Odstotek el. en. iz omrežja v primeru brez uporabe baterij. hr.	81,0	79,8	78,4	77,2
Odstotek el. en. iz omrežja v primeru uporabe baterij. hr.	81,0	79,8	78,4	77,1
Proizvedena toplota s polno obrat. močjo (MWh)	34237,7	34237,7	34237,7	34237,7
Zahtevana toplota (odjem)(MWh)	43760,5	43760,5	43760,5	43760,5
Primanjkljaj toplote (zahtevana-proizvedena) (MWh)	9860,8	9860,8	9860,8	9860,8
Št. ur, ko TČ ustvarijo presežek toplote (/)	617,0	617,0	617,0	617,0
Presežna toplota shranjena v hranilnik toplote (MWh)	338,0	338,0	338,0	338,0
Max. velikost hr. toplote za shranjevanje toplote (MWh)	30,9	30,9	30,9	30,9
Primanjkljaj toplote brez hranilnika toplote (MWh)	9860,8	9860,8	9860,8	9860,8
Primanjkljaj toplote s hranilnikom toplote (MWh)	9522,8	9522,8	9522,8	9522,8
Odstotek shranjene toplote v primerjavi s celotno proizvedeno toploto (MWh)	1,0	1,0	1,0	1,0



Slika 32: Zahtevana toplotna moč in proizvedena toplotna moč v obdobju med 1.5. in 30.9.2023.



Slika 33: Presežek električne moči pri SPHu (pri BiGen ni presežka).

Komentar: V scenariju 3 je proizvedena toplota višja od odjema v 617 urnih vrednostih (skupno 338 MWh). Za shranjevanje presežne toplote bi potrebovali hranilnik s kapaciteto 30,9 MWh. Odstotek shranjene toplote v primerjavi s proizvedeno toploto je 1%. Preostali čas toplotne črpalke ne zadostijo potrebam omrežja daljinskega ogrevanja, zaradi česar je potrebno zagotoviti skupno 9522,8 MWh oz. 9860,8 (v primeru brez hranilnika toplote) MWh toplote iz drugih virov.

Za delovanje pri polni moči proizvedena električna energija na SE kljub uporabi baterijskega hranilnika ne zadostuje. V primeru BiGen je iz omrežja potrebno dobaviti 81%, v primeru SPHu pa 77,2% električne energije za delovanje TČ. Baterijski hranilnik s kapaciteto 0,82 MWh (SPHu) bi lahko shranil vse viške električne energije proizvedene na SE. Če upoštevamo še lastno rabo ostalih delov celovitega sistema, hranilnik električne energije samo za potrebe shranjevanja viškov proizvedene elektrike iz SE ni potreben.

**Preglednica 15:** Povzetek rezultatov največjih urnih vrednosti v celotnem obdobju 2023

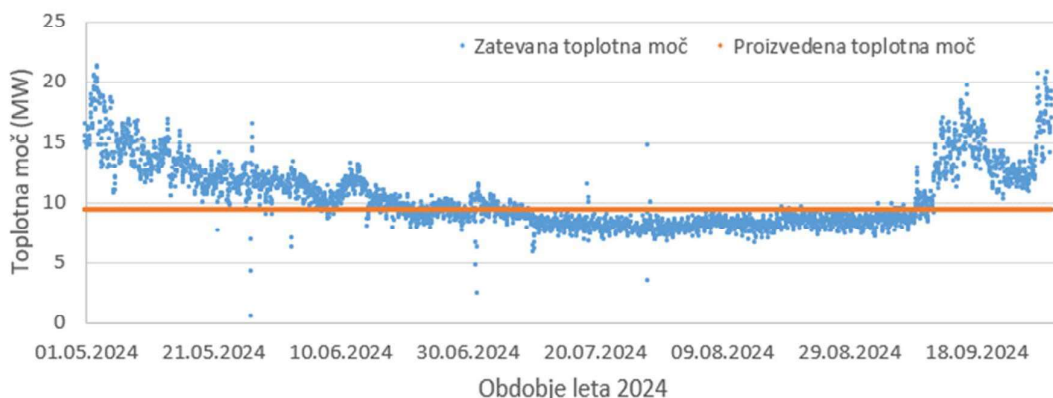
	BiGen	BiHu	SPGen	SPHu
Maksimalna proizvedena električna moč na SE (MW)	3,2	3,6	3,8	4,0
Zahtevana el. moč za maksimalno toplotno moč vseh TČ (MW)	3,7	3,7	3,7	3,7
Dovedena električna moč iz omrežja v primeru SE brez baterij (MW)	3,7	3,7	3,7	3,7
Maksimalni presežek el. moči SE - energija shranjena v baterijo (MW)	0,0	0,0	0,1	0,2
El. moč iz omrežja v primeru SE z baterijo (primanjkljaj) (MW)	3,7	3,7	3,7	3,7
Zahtevana maksimalna toplota moč (odjem)(MW)	34,8	34,8	34,8	34,8
Maksimalni primanjkljaj toplotne moči brez hranilnika (MW)	25,5	25,5	25,5	25,5
Maksimalni primanjkljaj toplotne moči s hranilnikom toplote (MW)*	24,7	24,7	24,7	24,7
Maksimalna presežna toplota moč (MW)	7,2	7,2	7,2	7,2

*Za primer, ko hranilnik služi samo shranjevanju presežne toplote iz TČ

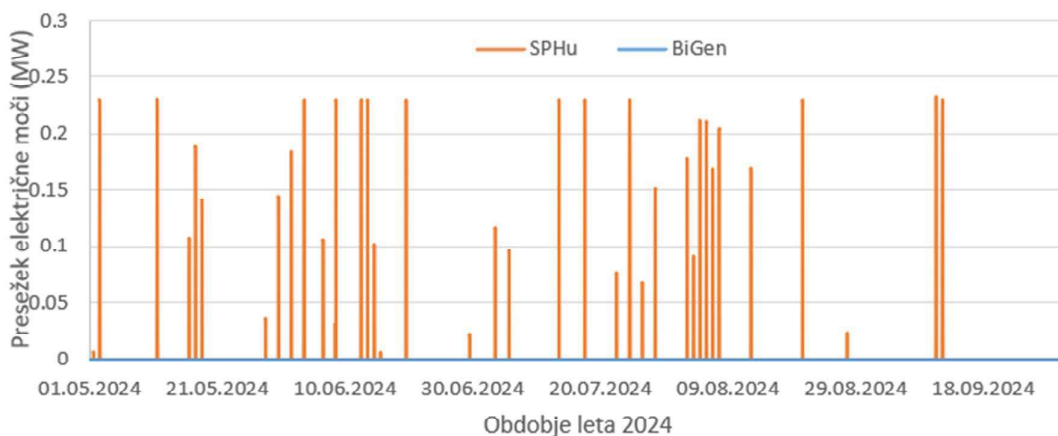
Komentar: Največji presežek električne energije bi bil 0,2 MWh v primeru SPHu, kar je posledica največje proizvedene električne energije v tem primeru. Ob upoštevanju drugih, manjših porabnikov v sistemu, električne baterije niso potrebne. Vsi preostali podatki v tabeli so enaki za vse primere, saj nanje izbira modulov in inverterjev ne vpliva.

b) Obdobje 2024**Preglednica 16:** Povzetek rezultatov celotnega obdobja 2024

	BiGen	BiHu	SPGen	SPHu
Proizvedena električna energija na SE (MWh)	2603,7	2763,8	2960,8	3137,6
Zahtevana el. energija za max toplotno moč vseh TČ (MWh)	13695,1	13695,1	13695,1	13695,1
Dov. el. energija iz omrežja v primeru SE brez baterij (MWh)	11091,4	10931,3	10734,4	10568,2
Presežek el. energije SE- energija shranjena v baterijo (MWh)	0,00	0,00	0,11	10,66
Št. ur presežka proizvedene el. energije	0,00	0,00	8,00	75,00
Max vel. bat. za shranjevanje vse odvečne el. energije (MWh)	0,00	0,00	0,05	0,82
Dov. el. energija iz omrežja v primeru SE z baterijo (MWh)	11091,4	10931,3	10734,3	10557,5
Odstotek el. en. iz omrežja v primeru brez uporabe baterij. hr.	81,0	79,8	78,4	77,2
Odstotek el. en. iz omrežja v primeru uporabe baterij. hr.	81,0	79,8	78,4	77,1
Proizvedena toplota s polno obrat. močjo (MWh)	34237,7	34237,7	34237,7	34237,7
Zahtevana toplota (odjem)(MWh)	38244,2	38244,2	38244,2	38244,2
Primanjkljaj toplote (zahtevana-proizvedena) (MWh)	5909,0	5909,0	5909,0	5909,0
Št. ur, ko TČ ustvarijo presežek toplote (/)	1769,0	1769,0	1769,0	1769,0
Presežna toplota shranjena v hranilnik toplote (MWh)	1902,6	1902,6	1902,6	1902,6
Max. velikost hr. toplote za shranjevanje toplote (MWh)	1743,2	1743,2	1743,2	1743,2
Primanjkljaj toplote brez hranilnika toplote (MWh)	5909,0	5909,0	5909,0	5909,0
Primanjkljaj toplote s hranilnikom toplote (MWh)	4006,5	4006,5	4006,5	4006,5
Odstotek shranjene toplote v primerjavi s celotno proizvedeno toploto (MWh)	5,6	5,6	5,6	5,6



Slika 34: Zahtevana toplotna moč in proizvedena toplotna moč v obdobju med 1.5. in 30.9.2024.



Slika 35: Presežek električne moči BiGen in SPHu (pri BiGen ni presežka)

Komentar: Podatki za 2024 se od podatkov iz 2023 razlikujejo zaradi manjšega odjema toplote v letu 2024. Scenarij 3 za leto 2024 je podoben scenariju 4 za leto 2023.

V scenariju 3 je proizvedena toplota višja od odjema v 1769 urnih vrednostih (skupno 1902,6 MWh). V kolikor bi torej v takem primeru toplotne črpalke neprestano delovale, bi zaradi presežkov potrebovali manjši sezonski hranilnik. Od 20.6. do 27.9. hranilnik skupaj s toplotno črpalčko pokriva vso potrebno toploto. V obdobju med 1.5. in 19.6. ter od 27.9. do 30.9. pa toplotne črpalke in hranilnik toplote ne zadostijo rabi, zaradi česar je potrebno zagotoviti skupno 4006,5 MWh toplote iz drugih virov.



Za delovanje pri polni moči proizvedena električna energija na SE ne zadostuje, v primeru BiGen je iz omrežja potrebno dobaviti 81%, v primeru SPHu pa 77,2% električne energije za delovanje TČ. Baterijskega hranilnika v primeru BiGen ne potrebujemo, saj ni viškov električne energije. V primeru SPHu pa je višek v 75 urah v opazovanem obdobju, v baterijski hranilnik kapacitete 0,82 MWh bi lahko shranili 10,66 MWh električne energije.

Preglednica 17: Povzetek rezultatov največjih urnih vrednosti v celotnem obdobju 2024

	BiGen	BiHu	SPGen	SPHu
Maksimalna proizvedena električna moč na SE (MW)	3,2	3,6	3,8	4,0
Zahtevana el. moč za maksimalno toplotno moč vseh TČ (MW)	3,7	3,7	3,7	3,7
Dovedena električna moč iz omrežja v primeru SE brez baterij (MW)	3,7	3,7	3,7	3,7
Maksimalni presežek el. moči SE - energija shranjena v baterijo (MW)	0,0	0,0	0,1	0,2
El. moč iz omrežja v primeru SE z baterijo (primanjkljaj) (MW)	3,7	3,7	3,7	3,7
Zahtevana maksimalna toplota moč (odjem)(MW)	21,2	21,2	21,2	21,2
Maksimalni primanjkljaj toplotne moči brez hranilnika (MW)	11,9	11,9	11,9	11,9
Maksimalni primanjkljaj toplotne moči s hranilnikom toplote (MW)*	11,9	11,9	11,9	11,9
Maksimalna presežna toplota moč (MW)	9,6	9,6	9,6	9,6

*Za primer, ko hranilnik služi samo shranjevanju presežne toplote iz TČ

Komentar: V primerjavi z letom 2023 so razlike posledica nižjega toplotnega odjema.

5.4. Četrty scenarij: toplotne črpalke konstantno proizvajajo 10.5 MW toplote

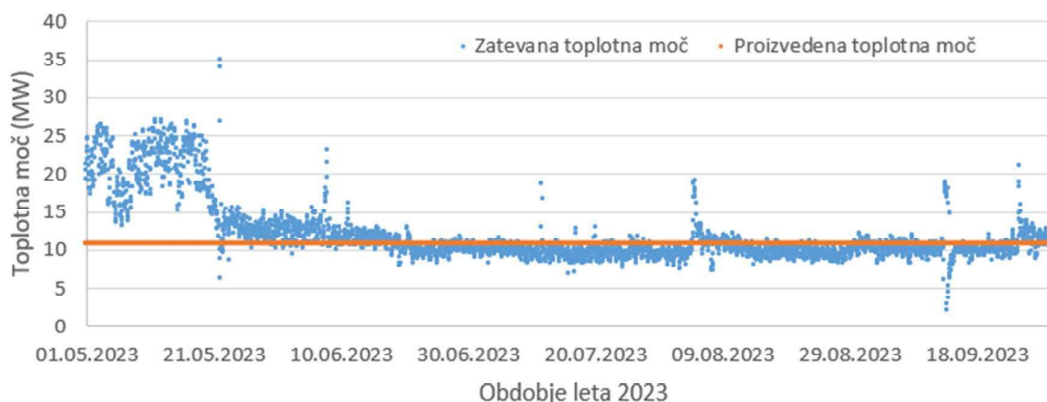
V četrtem scenariju bi za pokrivanje 10,6 MW toplotnega odjema potrebovali 8 enot toplotnih črpalk Sabroe DualPAC 712-W [33], s skupno toplotno močjo 10,656 MW in skupno električno močjo 4,26 MW.

a) Obdobje 2023

Preglednica 18: Povzetek rezultatov celotnega obdobja 2023

	BiGen	BiHu	SPGen	SPHu
Proizvedena električna energija na SE (MWh)	2603,7	2763,8	2960,8	3137,6
Zahtevana el. energija za max toplotno moč vseh TČ (MWh)	15651,5	15651,5	15651,5	15651,5
Dov. el. energija iz omrežja v primeru SE brez baterij (MWh)	13047,8	12887,7	12690,8	12513,9
Presežek el. energije SE- energija shranjena v baterijo (MWh)	0,00	0,00	0,00	0,00
Št. ur presežka proizvedene el. energije	0,00	0,00	0,00	0,00
Max vel. bat. za shranjevanje vse odvečne el. energije (MWh)	0,00	0,00	0,00	0,00

Dov. el. energija iz omrežja v primeru SE z baterijo (MWh)	13047,8	12887,7	12690,8	12513,9
Odstotek el. en. iz omrežja v primeru brez uporabe baterij. hr.	83,4	82,3	81,1	80,0
Odstotek el. en. iz omrežja v primeru uporabe baterij. hr.	83,4	82,3	81,1	80,0
Proizvedena toplota s polno obrat. močjo (MWh)	39128,8	39128,8	39128,8	39128,8
Zahtevana toplota (odjem)(MWh)	43760,5	43760,5	43760,5	43760,5
Primanjkljaj toplote (zahtevana-proizvedena) (MWh)	6771,9	6771,9	6771,9	6771,9
Št. ur, ko TČ ustvarijo presežek toplote (/)	2019,0	2019,0	2019,0	2019,0
Presežna toplota shranjena v hranilnik toplote (MWh)	2140,2	2140,2	2140,2	2140,2
Max. velikost hr. toplote za shranjevanje toplote (MWh)	1704,6	1704,6	1704,6	1704,6
Primanjkljaj toplote brez hranilnika toplote (MWh)	6771,9	6771,9	6771,9	6771,9
Primanjkljaj toplote s hranilnikom toplote (MWh)	6172,0	6172,0	6172,0	6172,0
Odstotek shranjene toplote v primerjavi s celotno proizvedeno toploto (MWh)	5,5	5,5	5,5	5,5



Slika 36: Zahtevana toplotna moč in proizvedena toplotna moč v obdobju med 1.5. in 30.9.2023.

Slike s presežkom električne moči ne moremo narisati, saj presežka ni.

Komentar: V scenariju 4 je proizvedena toplota višja od odjema v 2019 urnih vrednostih (skupno 2140 MWh), kar predstavlja potrebo po sezonskem hranilniku. Od 19.6. naprej se hranilnik ne sprazni in do konca opazovanega obdobja pokriva vso potrebno toploto - na koncu opazovanega obdobja je v hranilniku še 1540 MWh toplote. V obdobju med 1.5. in 19.6. pa toplotne črpalke in hranilnik toplote ne zadostijo rabi, zaradi česar je potrebno zagotoviti skupno 6772 MWh toplote iz drugih virov.

Za delovanje na polni moči proizvedena električna energija na SE ne zadostuje, v primeru BiGen je iz omrežja potrebno dobaviti 83,4% v primeru SPHu pa 80% električne energije za delovanje TČ. Baterijskega hranilnika ne potrebujemo.

**Preglednica 19:** Povzetek rezultatov največjih urnih vrednosti v celotnem obdobju 2023

	BiGen	BiHu	SPGen	SPHu
Maksimalna proizvedena električna moč na SE (MW)	3,2	3,6	3,8	4,0
Zahtevana el. moč za maksimalno toplotno moč vseh TČ (MW)	4,3	4,3	4,3	4,3
Dovedena električna moč iz omrežja v primeru SE brez baterij (MW)	4,3	4,3	4,3	4,3
Maksimalni presežek el. moči SE - energija shranjena v baterijo (MW)	0,0	0,0	0,0	0,0
El. moč iz omrežja v primeru SE z baterijo (primanjkljaj) (MW)	4,3	4,3	4,3	4,3
Zahtevana maksimalna toplota moč (odjem)(MW)	34,8	34,8	34,8	34,8
Maksimalni primanjkljaj toplotne moči brez hranilnika (MW)	24,2	24,2	24,2	24,2
Maksimalni primanjkljaj toplotne moči s hranilnikom toplote (MW)*	23,3	23,3	23,3	23,3
Maksimalna presežna toplota moč (MW)	8,5	8,5	8,5	8,5

*Za primer, ko hranilnik služi samo shranjevanju presežne toplote iz TČ

Komentar: Pri tem scenariju ni presežka proizvedene električne energije niti v primeru SPHu, ki proizvede največ električne energije. Vsi preostali podatki v tabeli so enaki za vse primere, saj nanje izbira modulov in inverterjev ne vpliva.

b) Obdobje 2024

Za obdobje 2024 scenarija z 8 enotami TČ nismo preverjali, saj je primer s 7 enotami (scenarij 3) mejni.

6. Povzetek in opis predlaganega sistema

Na podlagi pregleda in analize različnih možnosti sistemov, povzemamo najpomembnejše izsledke študije. Pri tem predlagamo sistem, kot je z enostavno shemo prikazan na **slikah 12 do 14**. Upoštevamo, da bo poleg toplotnih črpalk deloval še drugi sistem proizvodnje toplote in sicer v pasu, ki bo pokrival razliko med variabilno močjo toplotnih črpalk (nazivne moči 8 MW) in maksimalno močjo odjema sistema daljinskega ogrevanja v opazovanem obdobju. Drugi razlog za odločitev je ta, da se podatki za leti 2023 in 2024 glede odjema toplote izjemno razlikujejo, zaradi česar je bolje, da se sistem ne predimenzionira. Maksimalna manjkajoča toplotna moč celotne sistema daljinskega ogrevanja bo tako glede na podatke iz leta 2023 enaka 26,8 MW (nanaša se predvsem na obdobje prvih treh tednov v maju) in 13,2 MW za leto 2024 (nanaša se predvsem na obdobje prvih treh tednov v maju in pa zadnjih treh tednov v septembru). **Za opazovano leto 2023:** V obdobju med 21.5. in 10.6 ter v zadnjem tednu septembra je primanjkljaj moči za predlagano nazivno moč toplotnih črpalk 7-8 MW, med 10.6. in 21.9 pa maksimalno cca 4 MW. Glede na leto 2023 bi v tem primeru v celotnem opazovanem obdobju proizvedli 67% vse toplote, ostalo bi morali zagotoviti drugi viri.



Za opazovano leto 2024: V obdobju med 21.5. in 14.6. ter v zadnjem tednu septembra je primanjkljaj moči za predlagano nazivno moč toplotnih črpalk 7-8 MW, v obdobju med 14.6. in 12.9. pa je maksimalni primanjkljaj cca 3 MW. Glede na leto 2024 bi v tem primeru v celotnem opazovanem obdobju proizvedli 76% vse toplote, ostalo bi morali zagotoviti drugi viri.

Izračune za toplotne črpalke (**gl. povzetek za izbrano moč toplotnih črpalk, poglavje 7**) smo izdelali konzervativno z vidika vseh možnih razpoložljivih virov toplote v prihodnosti, saj smo upoštevali kot vir toplote zgolj jezero. Popolnoma nesmiselno pa bi bilo, da se odpadna toplota iz morebitne proizvodnje električne energije na neposredni lokaciji v prihodnosti ne izkoristi. Potrebno je povedati, da bo moč izbranih toplotnih črpalk večja ob višjih temperaturah vira toplote, ali pa ob morebitnem znižanju temperatur dovoda toplote, kar se nanaša tudi na tranzicijo sistema daljinskega ogrevanja v nizkotemperaturni režim npr. 70/50 °C. Slednji bi zahteval pretočne grelnike sanitarne tople vode v objektih, kar tehnično ni težavno. Zaradi manjših izgub omrežja in podpostaj in z upoštevanjem večje zmogljivosti toplotnih črpalk lahko v takem primeru pričakujemo, da bodo toplotne črpalke v prihodnosti skoraj zagotovo pokrile vse potrebe po daljinskem ogrevanju v obdobju med cca. 10.6 in 15.9.

Zaradi možnosti širitve sistema toplotnih črpalk ali dodatnih hranilnikov toplote mora biti v neposredni bližini planiranega sistema dovolj prostora, za namestitev dodatnih kapacitet.

6.1. Solarna elektrarna

Za podana območja postavitve solarne elektrarne smo s pomočjo topografske umestitve fotonapetostnih modulov, ki jo je omogočal profesionalni program PVSyst, in na podlagi lokalnih meteoroloških podatkov, določili postavitev smer jug, z vertikalnim kotom nagnjenosti 26 °, kar je optimalni kot za obratovanje poleti na dani lokaciji. Kvaliteta fotonapetostnih modulov in inverterjev se močno razlikuje med proizvajalci. Za najboljšo izbiro smo izračunali, da bi za dano območje treh parcel lahko proizvedli letno maksimalno 5,960 MWh elektrike, kar bi zahtevalo postavitev 9,837 izbranega proizvajalca. Največja generirana moč take elektrarne bi bila cca. 4 MW.

6.2. Toplotne črpalke

Predlagamo sistem toplotnih črpalk, ki uporablja naravno hladivo NH₃ (amonijak), alternativo temu lahko predstavlja hladivo HFO R1234ze, za katerega pa smo navedli določene pomisleke (Poglavje 3, uvodni del).

Predlagamo skupno nazivno moč vseh toplotnih črpalk 8 MW (scenarij 2, Poglavje 5.2). Razlog za tako izbiro je v tem, da njihova maksimalna moč le delno presega potrebe po odjemu sistema daljinskega ogrevanja, s čimer minimiziramo velikosti hranilnikov. Prav tako lahko ob izbiri maksimalne moči skoraj vse toplotne črpalke delujejo na nazivni moči, kar tudi pomeni,

da bo njihovo delovanje energetsko učinkovito in investicija v njihovo moč izkoriščena. Seveda je to močno odvisno od drugih virov toplote za daljinsko ogrevanje, ki jih občina načrtuje.

Glede načina vezav toplotnih črpalk predlagamo, da le ta predstavlja vsaj tri kaskadno ali zaporedno vezane pare toplotnih črpalk, ki omogočajo delovanje glede na **slike 12 do 14**. Ponudniki opreme bodo namreč glede na njihove tehnologije predložili različne rešitve, zato je smiselno omogočiti večjo širino izbire možnosti. Dopusčamo možnost dodatnih variant, ki ustrezajo predlagani rešitvi. Sistem toplotnih črpalk naj se deli na nizkotemperaturni in visokotemperaturni, pri čemer naj sistema ne bosta popolnoma odvisna eden od drugega, temveč morata omogočati tudi neodvisno delovanje eden od drugega v povezavi s hranilniki toplote. Toplotne črpalke na omogočajo obratovanje brez rabe hranilnikov toplote, sočasno obratovanje s polnjenjem in praznjenjem hranilnikov toplote, ali pa ločeno obratovanje, kjer nizkotemperaturni sklop deluje lahko neodvisno od visokotemperaturnega sklopa. Nizkotemperaturni sistem toplotnih črpalk naj bo posredno povezan preko vmesnega toplotnega tokokroga s prenosniki toplote z zajemom jezerske vode, pri kateri lahko niha temperatura med 5 do 28 °C, odvisno od globine in sezone. Ponudnik opreme in projektant morata upoštevati, da mora nizkotemperaturni sklop toplotnih črpalk delovati pri takih temperaturah vira (5-25 °C temperatura vode na vstopu v uparjalnik), in omogočati segrevanje vode (torej v prvi stopnji) na temperaturne nivoje med 40 do 55 °C (temperature ogrevanje vode na izstopu iz kondenzatorja). Visokotemperaturni del sklopa toplotnih črpalk mora omogočati delovanje pri viru toplote 35-55 °C (temperatura ogrevane vode na vstopu v uparjalnik) in dvig temperaturnega nivoja na temperature v območju 70 do 90 °C (temperatura ogrevane vode na izstopu iz kondenzatorja).

6.3. Črpalna postaja

Predlagamo potopljeni črpalni sistem (**slika 17**) in ne plavajočo platformo, saj je le ta izpostavljena zunanjim vplivom, hkrati pa bo predstavljala vpliv na videz okolja, kjer se razvija turizem. Električna moč, potrebna za delovanje črpalnega sistema, bo približno 130 kW.

Črpalna postaja naj ima globoki in plitki zajem/povratek, pri čemer naj zajem/povratek omogočata spremembo smeri toka v odvisnosti od sezone. V zimskem obdobju naj bo zajem na globini, ki ni podvržena vplivom zime. Ker se voda hladi, naj se tudi zaradi naravnega ravnovesja vrača na povratek, ki se naj nanaša v plitki globini. V poletnem obdobju naj bo omogočen zajem v plitki globini, ki omogoča izkoriščanje kar se da tople vode. Povratek pa naj bo izveden na globini. Projektant in ponudnik/izvajalec sistema morajo poskrbeti, da bodo tako v zimskem obdobju, kot v poletnem obdobju na voljo čim višje temperature vode, ki bo služila kot vir toplote. Jezerska voda lahko namreč niha temperatura med 5 do 28 °C, odvisno od globine in sezone.

Sistem toplotnih črpalk naj bo posredno povezan preko vmesnega toplotnega tokokroga s prenosniki toplote z zajemom jezerske vode. Učinkovitost toplotnih črpalk je pogojena s temperaturno razliko, na kateri delujejo. Prenosniki toplote, ki zaradi svoje konstrukcije zahtevajo velike temperaturne razlike med obema medijema v sistemu, lahko pomembno



vplivajo na samo učinkovitost sistema. Črpalni sistem s pretočnim bazenom in filtracijo mora zato omogočati rabo vzporedno vezanih (zaradi zanesljivosti obratovanja in čiščenja) vijačenih kompaktnih prenosnikov toplote, ki omogočajo prenos toplote med jezersko vodo in sekundarnim medijem, t.j. vodo z inhibitorji in sredstvi proti zamrzovanju. Sekundarni krog predstavlja povezavo med vijačenimi kompaktnimi prenosniki toplote in uparjalnikom toplotnih črpalk. Alternativo vijačenim prenosnikom toplote lahko predstavljajo cevni (kotelni ali spiralni prenosniki toplote), vendar to ne sme vplivati na pomembno povišanje temperaturne razlike delovanja toplotnih črpalk. Projektant in ponudnik/izvajalec morata poskrbeti za popolnoma nemoteno delovanje sistema uporabe prenosnikov toplote.

6.4. Elektrodni kotli

Glede na **slike 12 do 14** predlagamo rabo elektrodnih kotlov, vendar v kolikor so elektrodni kotli umeščeni v sistem, njihova moč naj ne presega 1 MW in njihova kapaciteta shranjevanja toplote naj ne presega 4 MWh, s čimer pokrijemo maksimalni presežek proizvodnje električne energije iz SE in hkrati omogočamo dodatno kapaciteto hranilnikom toplote, z dodatno možnostjo dogrevanja ogrevane vode.

6.5. Električni baterijski sistem

Menimo, da za izbrani scenarij in rešitve, ki jih podajamo v tem poglavju, baterije niso potrebne za celotni obravnavani sistem črpalne postaje, toplotnih črpalk in daljinskega ogrevanja.

6.6. Hranilniki toplote

Delitev na nizkotemperaturni in visokotemperaturni hranilnik omogoča ne samo boljše prilagajanje dinamiki obratovanja sistema, temveč naj tudi omogoča ločeno in neodvisno polnjenje in praznjenje enega ali drugega hranilnika. Glede na to, da se podatki o odjemu toplote iz sistema daljinskega ogrevanja močno razlikujejo med letoma 2023 in 2024 in ob hkratnem upoštevanju rabe elektrodnega kotla predlagamo namestitve dveh hranilnikov toplote in sicer:

- a) Nizkotemperaturni stratifikacijski hranilnik toplote za območje temperatur 25 do 55 °C, s toplotno kapaciteto do 50 MWh, kar predstavlja približno 2,000 m³ prostornine. Glede na izračune predstavlja taka velikost hranilnika največjo kapaciteto, izračunano za Scenarij 2.

Sistem naj omogoča neodvisno polnjenje nizkotemperaturnega hranilnika preko prve stopnje toplotnih črpalk, glede na drugo stopnjo toplotnih črpalk in visokotemperaturni hranilnik. To pomeni, da lahko v primeru viškov električne energije, ali pa drugih, odpadnih virov v

prihodnosti, deluje samo sklop prve stopnje toplotnih črpalk, oziroma se hranilnik polni iz drugih virov neodvisno od sistema toplotnih črpalk v primeru dodatnih virov v prihodnosti.

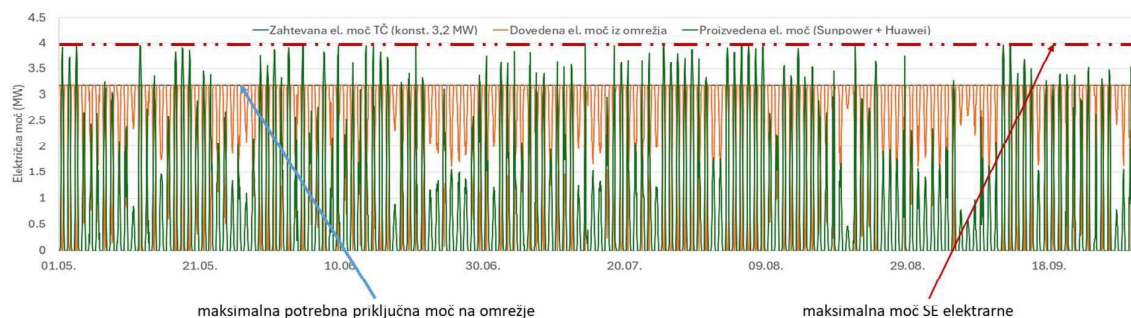
Prav tako naj sistem omogoča, da v povezavi z nizkotemperaturnim hranilnikom toplote deluje samo visokotemperaturni sklop toplotnih črpalk, brez nujnega delovanja nizkotemperaturnega sklopa toplotnih črpalk.

- b) Visokotemperaturni stratifikacijski hranilnik toplote za območje temperatur 65 °C do 85 °C, s toplotno kapaciteto cca. 35 MWh, kar predstavlja približno 1,500 m³ prostornine. Glede na izračune predstavlja taka velikost hranilnika povprečno velikost hranilnika toplote za leti 2023 in 2024.

Ta hranilnik je vezan na visokotemperaturni del sklopa toplotnih črpalk in nadalje povezan s prenosniki toplote, ki predstavljajo povezavo s sistemom daljinskega ogrevanja. Alternativno je lahko povezan tudi z elektrodnim kotlom in alternativno možnostjo polnjenja preko elektrodnega kotla. Hranilnik lahko torej deluje neodvisno od sklopa toplotnih črpalk, deluje v povezavi z visokotemperaturnim sklopom toplotnih črpalk in alternativno, dodatnim virom preko elektrodnega kotla.

7. Povzetek analize za toplotne črpalke moči 8 MW

Slika 37 kaže potrebno električno moč za delovanje TČ z močjo 8 MW (ki je konstantno 3,2 MW), proizvedeno električno moč iz SE (najboljši primer – Sunpower + Huawei inverterji) in dovedeno električno iz omrežja. Iz grafa je razvidno, da proizvedena električna moč na SE le v nekaj urah presega zahtevano električno moč. Podatki so enaki za leti 2023 in 2024. Potrebna električna moč za TČ je ves čas konstantna, saj nismo predvideli prilagajanja rabi.



Slika 37: Zahtevana, proizvedena električna moč v SE ter električna moč dovedena iz omrežja za obe obdobji.



Preglednica 20 kaže maksimalne in minimalne vrednosti proizvedene električne moči iz SE ter dovedeno električno moč iz električnega omrežja. Potrebna električna moč za TČ je ves čas konstantna, saj nismo predvideli prilagajanja rabi. Minimalna proizvedena el. moč na SE je enaka 0 MW, maksimalna pa je odvisna od zmogljivosti fotonapetostnih modulov. Maksimalna toplotna moč je 3,2 MW, enaka je tudi maksimalna dovedena električna moč iz omrežja (npr. ponoči, ko SE ne deluje), ko pa SE deluje s 3,2 MW pa je električna moč iz omrežja enaka 0.

Preglednica 20: Povzetek rezultatov največjih in najmanjših urnih vrednosti v obdobju v letih 2023 in 2024.

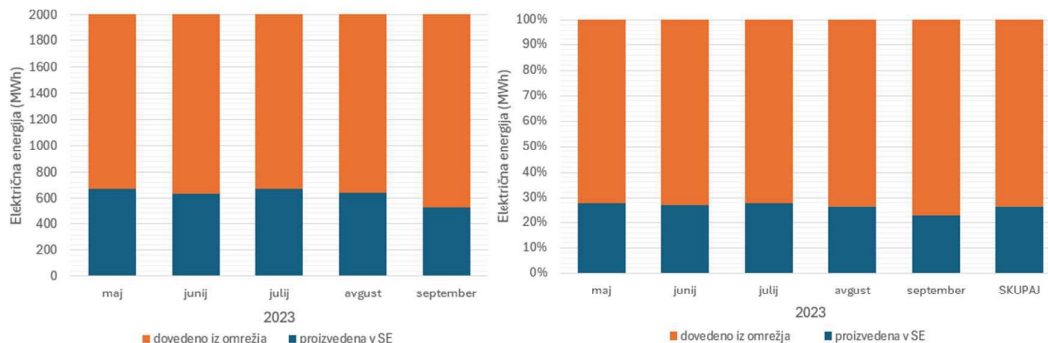
2023 in 2024	BiGen	BiHu	SPGen	SPHu
Maksimalna proizvedena električna moč na SE (MW)	3,2	3.6	3,8	4,0
Minimalna proizvedena električna moč na SE (MW)	0	0	0	0
Zahtevana el. moč za maksimalno toplotno moč vseh TČ (MW)	3,2	3.2	3,2	3,2
Maksimalna dovedena električna moč iz omrežja v primeru SE (MW)	3,2	3,2	3.2	3,2
Minimalna dovedena električna moč iz omrežja v primeru SE (MW)	0	0	0	0

Preglednica 21 kaže skupno in mesečno električno energijo iz SE ter dovedeno električno energijo iz električnega omrežja. Potrebna električna moč za TČ je ves čas maksimalna, saj nismo predvideli prilagajanja rabi. Obravnavani primer nima baterijskega hranilnika, kar pomeni, da gredo viški električne energije v omrežje.

Preglednica 21: Povzetek rezultatov povezanih z električno energijo.

	Celotna potrebna el. energija (MWh)	El. energija proizvedena v SE (MWh)	Višek električne energije (MWh)	El. energija dovedena iz omrežja (MWh)
maj	2378,42	670,05	22,29	1730,66
junij	2301,70	632,20	18,62	1688,11
julij	2378,42	671,70	22,55	1729,27
avgust	2378,42	640,08	23,07	1761,41
september	2301,70	523,54	10,97	1789,12
SKUPAJ	11738,65	3137,59	97,50	8698,57

Podatki so prikazani še na sliki 36. Predpostavljeno je bilo konstantno delovanje TČ ne glede na količino shranjene toplote v hranilniku toplote.



Slika 38: Podatki iz preglednice 21, skupna in mesečna proizvedena električna energija ter energija, ki jo je za delovanje TČ potrebno dovesti iz omrežja. Levi histogram vsebuje absolutne vrednosti, desni pa relativne.

V nadaljevanju prikazujemo rezultate toplotne analize. **Slika 39** kaže zahtevano toploto, toploto, ki jo proizvedemo s TČ (konstantna moč 8 MW) ter primanjkljaj toplote, ki ga mora dovesti drug vir. Rezultati za leti 2023 in 2024 se razlikujejo, saj je bil v letu 2024 manjši odjem toplote. Po navodilu KPV se odločamo na podlagi podatkov za leto 2024, saj je predvideno nadaljnje zmanjševanje.

Slika 39 prikazuje primer brez in s hranilnikom toplote za leto 2023. Leta 2023 je razlika med primerom s hranilnikom toplote ali brez njega skoraj popolnoma enaka.



Slika 39: Zahtevana toplotna moč, proizvedena toplotna moč z 8 MW TČ ter primanjkljaj toplote, ki ga je potrebno nadomestiti z drugimi viri v letu 2023.

Obravnavali smo tri različne primere, ki so prikazani v preglednici 22:

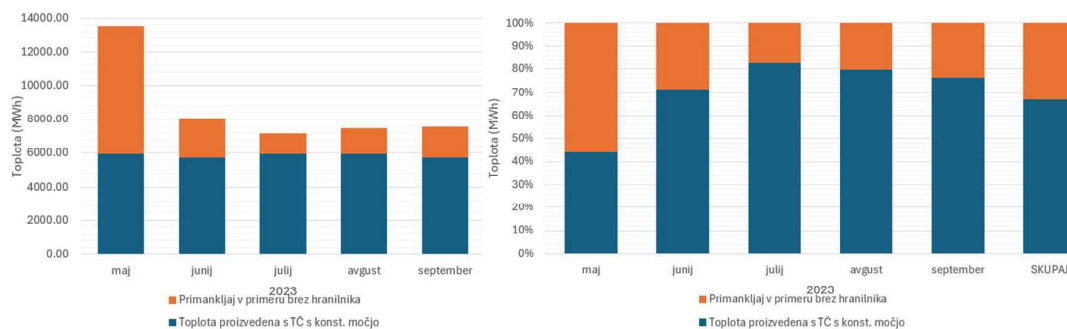
- brez hranilnika toplote,
- s hranilnikom toplote (shranjuje viške toplote iz TČ),
- s hranilnikom toplote (shranjuje viške toplote iz TČ ter z električnim kotlom pridobljena toplota iz viškov iz sončne elektrarne).



Za leto 2023 je bil predpostavljen hranilnik toplote z velikostjo 22 MWh, za leto 2024 pa 52 MWh.

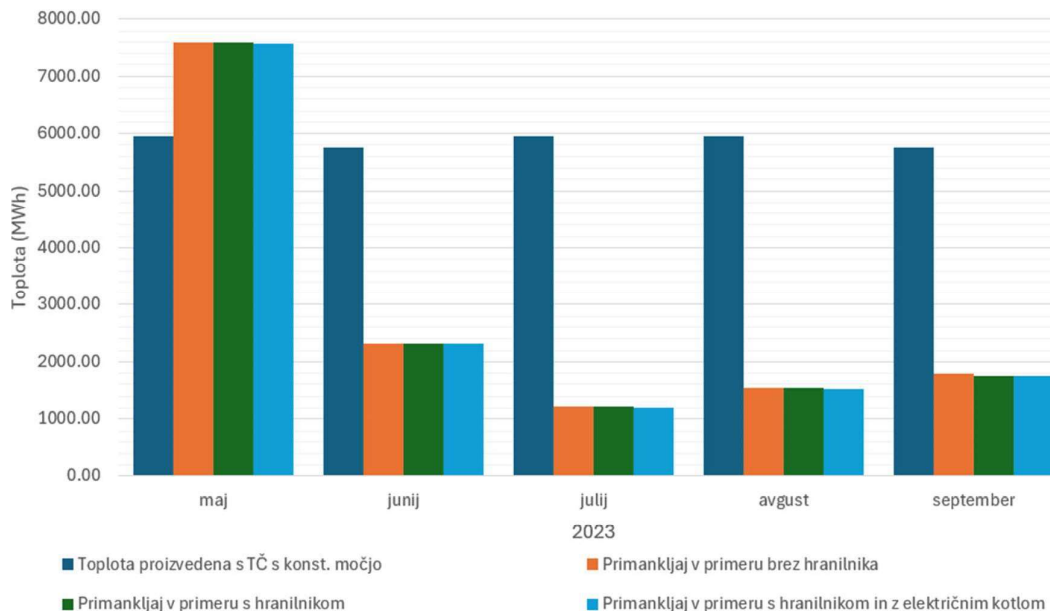
Preglednica 22: Povzetek rezultatov povezanih s toploto.

	Celotna potrebna toplota (MWh)	Toplota proizvedena s TČ s konst. močjo (MWh)	Primankljaj v primeru brez hranilnika (MWh)	Primankljaj v primeru s hranilnikom (MWh)	Primankljaj v primeru s hranilnikom in z električnim kotlom (MWh)
Leto 2023					
maj	13526,36	5946,05	7582,11	7580,32	7573,21
junij	8074,85	5754,24	2320,87	2320,61	2312,26
julij	7168,61	5946,05	1225,35	1222,56	1211,35
avgust	7480,18	5946,05	1537,45	1534,13	1526,13
september	7510,53	5754,24	1786,23	1756,29	1751,82
SKUPAJ	43760,53	29346,62	14452,02	14413,91	14374,77



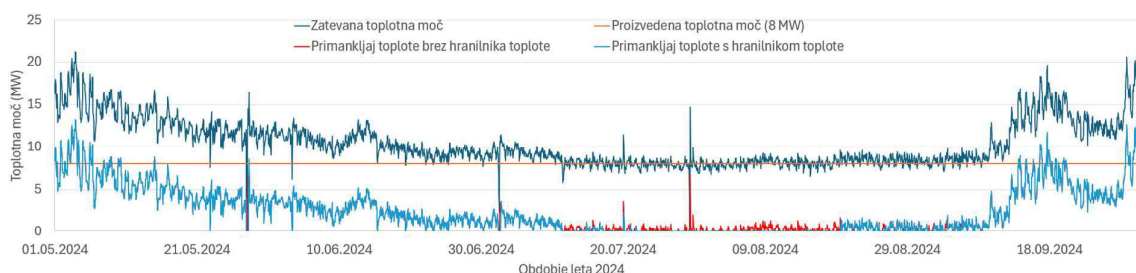
Slika 40: Podatki iz preglednice 22, skupna in mesečna proizvedena toplota s TČ ter primanjkljaj toplote v primeru brez uporabe hranilnika toplote. Levi histogram vsebuje absolutne vrednosti, desni pa relativne.

Na sliki 39 pa smo natančneje primerjali vse tri primere uporabe hranilnika. V letu 2023 so med njimi zanemarljive razlike.



Slika 41: Primerjava proizvedene toplote s količino toplote, ki jo mora zagotoviti drug vir (primanjkljaj). Primerjava je prikazana za primer brez hranilnika toplote, za primer s hranilnikom toplote, ki shranjuje viške proizvedene toplote s TČ, ki delujejo na konstantni moči ter primer hranilnika, ki poleg viško proizvedene toplote s TČ shranjuje tudi toploto iz električnega kotla, ki za delovanje uporablja viške električne energije iz SE.

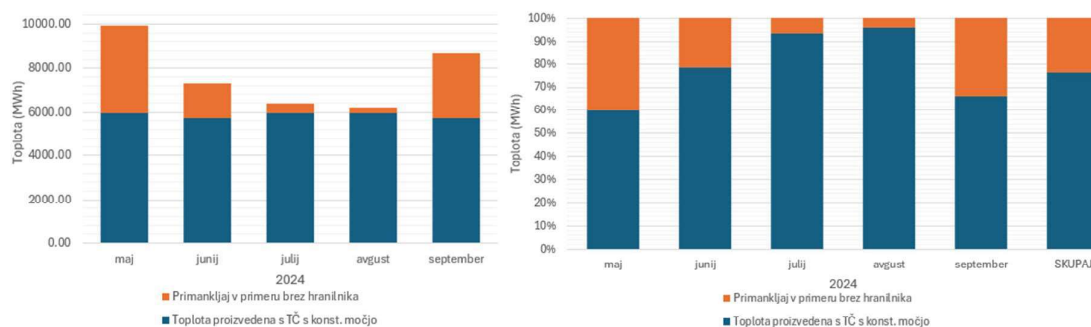
V letu 2023 zaradi primanjkljaja toplote toplotnih črpalk ni smiselno ugašati, saj morajo ves čas delovati na maksimalni moči – višek ustvarijo le v 28 urah od 3672 ur.



Slika 42: Zahtevana toplotna moč, proizvedena toplotna moč z 8 MW TČ ter primanjkljaj toplote, ki ga je potrebno nadomestiti z drugimi viri v letu 2024. Opazimo, da v primeru uporabe hranilnika toplote v večini julija in avgusta pokrijemo celotno zahtevano toplotno moč.

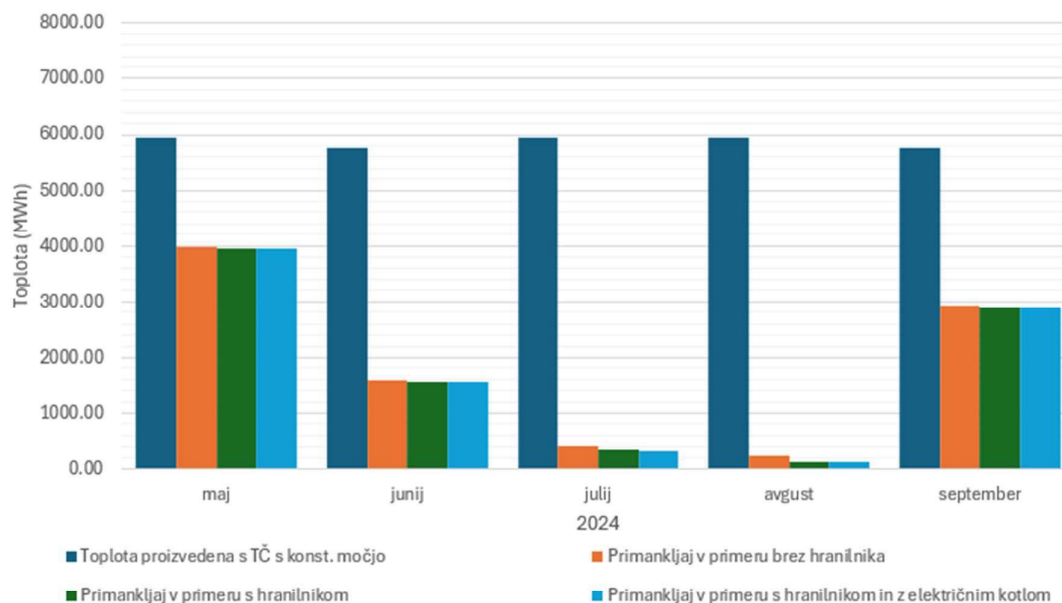
**Preglednica 23:** Povzetek rezultatov povezanih s toploto.

Leto 2024	Celotna potrebna toplota (MWh)	Toplota proizvedena s TČ s konst. močjo (MWh)	Primankljaj v primeru brez hranilnika (MWh)	Primankljaj v primeru s hranilnikom (MWh)	Primankljaj v primeru s hranilnikom in z električnim kotlom (MWh)
maj	9909,75	5946,05	3984,79	3963,70	3956,60
junij	7318,48	5754,24	1568,18	1564,24	1556,02
julij	6245,47	5946,05	421,74	330,32	322,32
avgust	6104,41	5946,05	241,28	128,07	123,05
september	8666,08	5754,24	2924,37	2911,22	2906,56
SKUPAJ	38244,18	29346,62	9140,36	8897,56	8864,55



Slika 43: Podatki iz preglednice 23, skupna in mesečna proizvedena toplota s TČ ter primanjkljaj toplote v primeru brez uporabe hranilnika toplote. Levi histogram vsebuje absolutne vrednosti, desni pa relativne.

Na sliki 42 pa smo natančneje primerjali vse tri primere uporabe hranilnika. Tudi v letu 2024 so med njimi majhne razlike.



Slika 44: Primerjava proizvedene toplote s količino toplote, ki jo mora zagotoviti drug vir (primanjkljaj). Primerjava je prikazana za primer brez hranilnika toplote, za primer s hranilnikom toplote, ki shranjuje viške proizvedene toplote s TČ, ki delujejo na konstantni moči ter primer hranilnika, ki poleg viško proizvedene toplote s TČ shranjuje tudi toploto iz električnega kotla, ki za delovanje uporablja viške električne energije iz SE.

V letu 2024 zaradi primanjkljaja toplote toplotnih črpalk ni smiselno ugašati, saj morajo ves čas delovati na maksimalni moči – višek ustvarijo v 572 urah od 3672 ur in vsa toplota se lahko shrani v hranilniku.

8. Ocena investicije v celotni sistem

Oceno investicije smo izdelali na podlagi najnovejših podatkov, ki smo jih pridobili iz objavljene literature. Najvišji del investicije seveda predstavljajo toplotne črpalke. Pri teh moramo poudariti, da so ponudbe mnogih proizvajalcev močno pretirane in da ti izkoriščajo pomanjkljivost ponudbe na trgu. Velike toplotne črpalke za hlajenje, t.i. hladilni sistemi za klimatizacijo, imajo na trgu lahko tudi 4x do 5x nižjo ceno za enako moč. Čeprav taki sistemi ne delujejo pri visokih temperaturah (temperaturni razpon in moč toplotnih črpalk sta premo sorazmerna), je cena visokotemperaturnih toplotnih črpalk vseeno pretirana. Še ena posebnost, ki jo velja omeniti, je sledeča. Ponudnikov toplotnih črpalk za temperaturne režime do 80-90°C je kar veliko, veliko manj jih je za višje temperature. Zato se nam je zdelo smiselno, da skladno s tem podamo širši seznam proizvajalcev toplotnih črpalk (**poglavje 3.3.**), ki lahko služi za bolj poštene ponudbe s strani ponudnikov. Dodatno in skladno s tem bi vsekakor bilo smiselno, da bi pred morebitnim javnim naročilom predhodno seznanili vse potencialne ponudnike



opreme/storitev (tudi tujih) in izvedli javno predstavitev projekta ter pričakovanja naročnika. Pri tem je seveda Fakulteta za strojništvo UL na voljo kot podpora občini. Na ta način se morda lahko nabor ponudnikov poveča, to pa lahko pomembno vpliva na stroške investicije. Stroške investicije v sistem toplotnih črpalk smo vrednotili glede na **sliko 16**. Pri tem smo upoštevali, da 30% celotne vrednosti (30% od 6 mio Eur predstavlja celotna inštalacija z vsemi elementi), 70% (t.j. 4,2 mio Eur pa sistem toplotnih črpalk z nazivno močjo 8 MW). To bi glede na **sliko 16** predstavljalo maksimalno vrednost 525 Eur/kW (rdeča črtkana črta v sliki 16), ki spada v območje moči 500-1.000 kW glede na enoto. Za hranilnike toplote smo se poslužili podatkov iz **slike 18**, ki prikazuje realne stroške investicij v stratifikacijske vodne hranilnike toplote, pri čemer smo za večji hranilnik 2.000 m³ predvideli 20% stroškov za inštalacijo samega sistema (260.000 Eur), za sam hranilnik pa preostalih 80% (1.040.000 Eur, kar znaša 515 Eur/ m³. Za manjši hranilnik kapacitete 1.200 m³ smo za inštalacijo samega sistema predvideli 20% celotne vrednosti (188.000 Eur), preostanek 80% pa za sam hranilnik (748.000 Eur), kar znaša 624 Eur/ m³. Stroške solarne elektrarne (na ključ) smo ocenili na podlagi podatkov iz **slike 3**, pri čemer smo privzeli vrednost 4.000 Eur/kW. Ker se stroški vsako leto nižajo, lahko predvidimo, da je ta ocena konzervativna. Za elektrodni kotel, ki vsebuje manjši hranilnik toplote 4 MWh smo na podlagi **slike 21** ocenili stroške 240 Eur /kW. Največji problem pri oceni investicije je predstavljala črpalna postaja z vsemi cevovodi in armaturami, zajemom in odjemom, bazenom in filtracijo. Medtem, ko je lahko strošek za celotni črpalni del nizek, npr. 100.000 Eur/MW [34], so lahko ostali stroški veliko večji [35]. Zato predstavlja 1 mio Eur za investicijo zelo grobi približek.

Preglednica 24: Ocena investicijskih stroškov v sistem

	Velikost sistema	Ocenjena investicija (EUR) s celotno namestitvijo
Črpalna postaja z vsemi armaturami in cevovodi	130 kW _{el} , max pretok 820 m ³ /h	1.000.000 (zelo približna ocena)
Večji hranilnik toplote	2.000 m ³	1.300.000
Manjši hranilnik toplote	1.200 m ³	936.000
Sistem toplotnih črpalk	8 MW	6.000.000
Solarna elektrarna	4 MW	1.600.000
Elektrodni kotel	1 MW	240.000
Skupaj		11.076.000



9. Povzetek poročila za odločevalce

To poročilo in izvedena študija (projektna naloga) služi za pridobitev projektne dokumentacije (v nadaljevanju DPP, IDZ) in podlag za spremembo prostorskih izvedbenih pogojev veljavnega prostorskega izvedbenega akta (s spremembo namenske rabe prostora), kar bo omogočilo gradnjo objektov za zagotavljanje obnovljivih virov energije za lokalne skupnosti. Projektna naloga je skladno s tem obsegala Izbiro in tehnično-ekonomsko analizo najustreznejše kombinacije obnovljivih virov energije za območje zemljišča Mestne občine Velenje ob deponiji premoga. Na podlagi naročnika smo se osredotočili na obdobje 1.5. do 30.9., pri tem pa smo kljub temu upoštevali možnosti obratovanja tudi v zimskem obdobju.

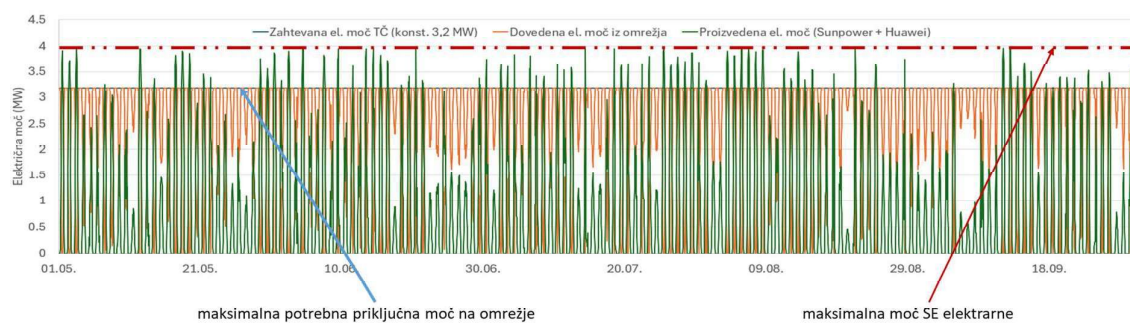
Na podlagi izsledkov analize, podajamo ključne ugotovitve:

1. Sistem naj bo sestavljen iz solarne elektrarne maksimalne moči 4 MW brez baterijskega podsistema, saj le ta ni potreben za podano rešitev.
2. Skupna kapaciteta sistema toplotnih črpalk pri delovanju 85/60 °C in zajemu jezerske vode naj bo 8 MW. Za vrsto toplotnih črpalk in njihovo izbiro smo podali poseben seznam zahtev.
3. Predlagamo rešitev z uporabo dveh hranilnikov toplote in sicer nizkotemperaturnim kapacitete 2,000 m³ (do 55 °C) in visokotemperaturnim hranilnikom kapacitete 1,200 m³ (do 85 °C). Pri tem naj nizkotemperaturni hranilnik omogoča zajem odpadne toplote iz prihodnjih sistemov generacije elektrike, s čimer lahko bistveno izboljšamo učinkovitost toplotnih črpalk.
4. Predlagamo uporabo manjšega elektrodnega kotla 1 MW, ki lahko služi za morebitno dogrevanje vode iz toplotnih črpalk.
5. Predlagamo zajem jezerske vode na način, da se ta prilagaja čim višji temperaturi vode iz jezera, saj le to vpliva na učinkovitost delovanja toplotnih črpalk. Hkrati predlagana rešitev sistema ne vpliva na biološke značilnosti jezera.
6. Prihodnji razvoj ostalih kapacitet proizvodnje električne energije in toplote v danem območju mora nujno upoštevati današnje in prihodnje scenarije (in njihovo infrastrukturo), ki smo jih navedli v tem poročilu. V nasprotnem primeru lahko pride do predimenzioniranja sistema, nepotrebnih investicij in vpliva na zmanjšanje energetske učinkovitosti.
7. Za potrebe izvedbe projekta in naročila smo predlagali veliko število različnih ponudnikov sistemov toplotnih črpalk. Pred izvedbo javnega naročila predlagamo mednarodno in javno predstavitev projekta in vpoklic čim večjega števila ponudnikov, saj lahko na tak način občina doseže bistveno manjše stroške, od morebitnih stroškovno pretiranih ponudb in v izogib morebitnemu kartelnemu dogovarjanju.
8. Pri vseh ponudnikih opreme/storitev morajo le ti imeti vsaj 10 let izkušenj in referenc pri izvedbi podobnih projektov. Posebej je potrebno paziti, da za ponudbo ne stoji konzorcij podjetij, ki s tovrstnimi projekti sploh še niso imeli opravka (take primere lahko namreč zasledimo v Sloveniji in sicer na drugih področjih).

**FS****UNIVERZA V LJUBLJANI**
Fakulteta za strojništvo**Preglednica A: Ocena predvidene investicije**

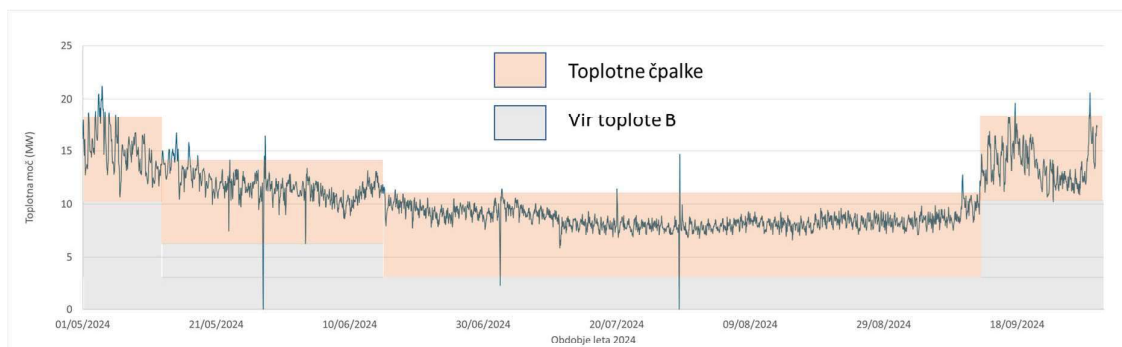
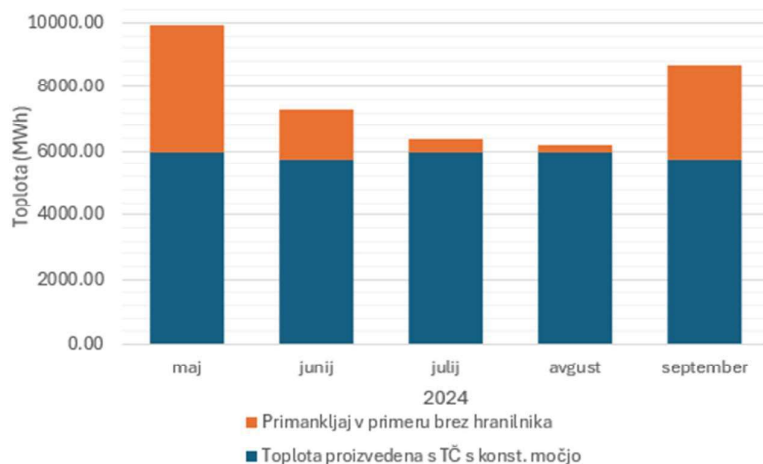
	Velikost sistema	Ocenjena investicija (EUR) s celotno namestitvijo
Črpalna postaja z vsemi armaturami in cevovodi	130 kW _{el} , max pretok 820 m ³ /h	1,000.000 (zelo približna ocena)
Večji hranilnik toplote	2,000 m ³	1,300.000
Manjši hranilnik toplote	1,200 m ³	936.000
Sistem toplotnih črpalk	8 MW	6,000.000
Solarna elektrarna	4 MW	1,600.000
Elektrodni kotel	1 MW	240.000
Skupaj		11,076.000

Slika A prikazuje proizvedena električno moč v sončni elektrarni ter dodatno električno moč, dovedena iz omrežja za potrebe delovanja toplotnih črpalk pri polni moči 8 MW.



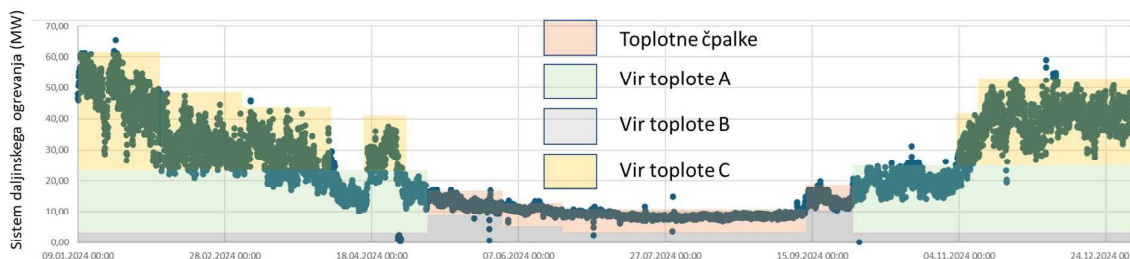
Slika A: Proizvedena električna moč v sončni elektrarni ter dodatna električna moč dovedena iz omrežja za potrebe delovanja toplotnih črpalk pri polni moči 8 MW.

Slika B prikazuje proizvedeno toploto iz predlaganega sistema toplotnih črpalk in primanjkljaj toplote, ki ga je potrebno zagotavljati iz drugih virov.

**FS****UNIVERZA V LJUBLJANI**
Fakulteta za strojništvo

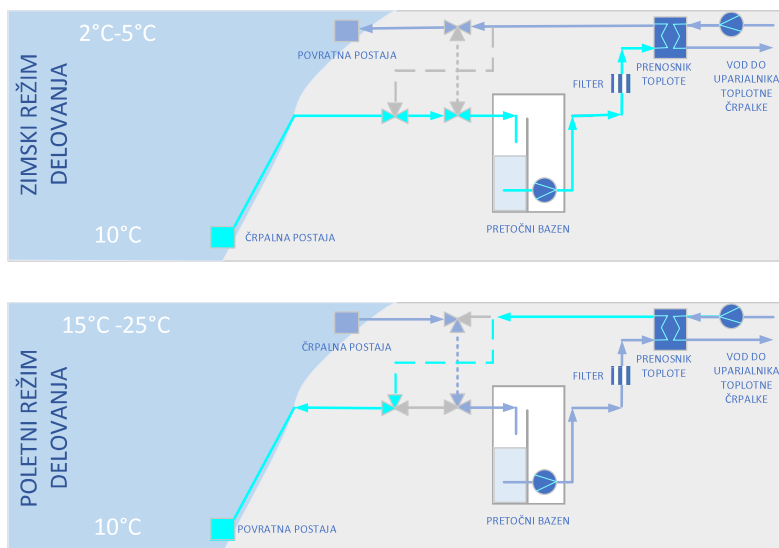
Slika B: Zgoraj: Proizvedena toplota iz toplotnih črpalk in primanjkljaj toplote, ki ga je potrebno zagotavljati iz drugih virov; **Spodaj:** Prikaz pokrivanja potreb po toploti v opazovanem obdobju s pomočjo toplotnih črpalk in drugih virov

Slika C prikazuje razširjeni pogled na celoletno obratovanje, pri čemer je upoštevano obravnavano obdobje. Dodatni viri toplote, ki pokrivajo celotne potrebe po ogrevanju, so seveda lahko različni.



Slika C: Razširjeni pogled na celoletno obratovanje sistema daljinskega ogrevanja – ob upoštevanju podatkov iz leta 2024.

Slika D prikazuje enostavno shemo zajema jezerske vode in njene uporabe.



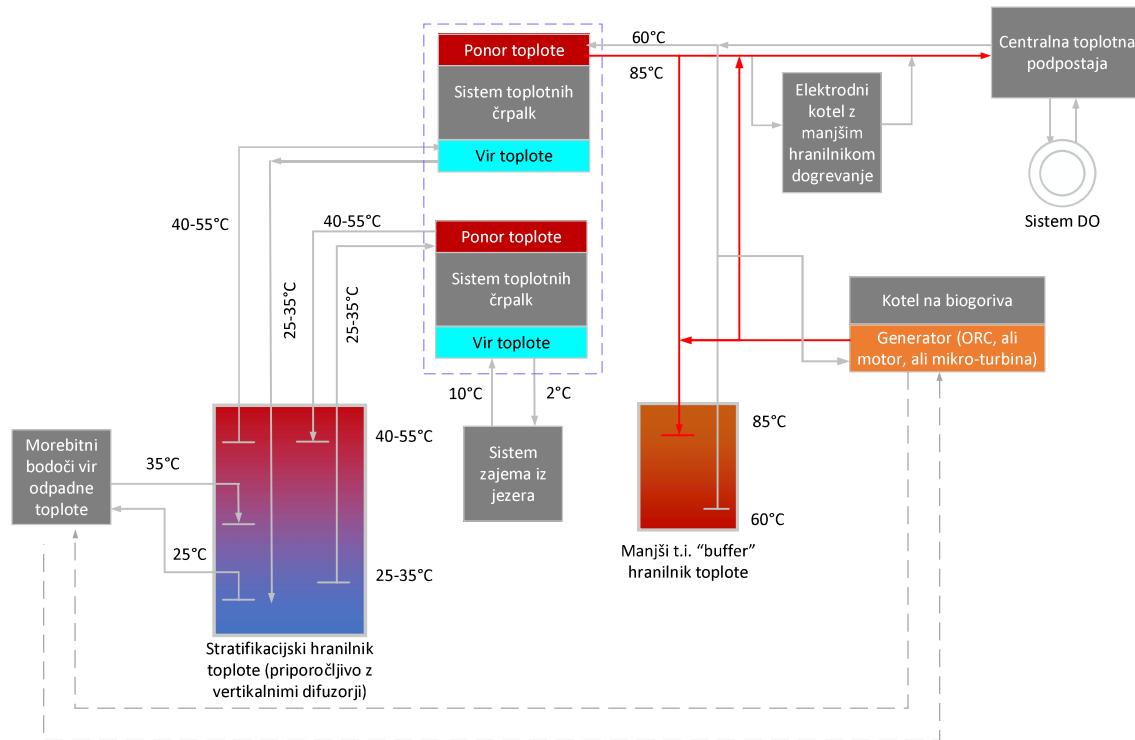
PREDNOSTI PREDLAGANEGA SISTEMA

Možnost izkoriščanja jezerske vode glede na njeno najvišjo temperaturo, kar pozitivno vpliva na učinkovitost toplotnih črpalk

Način črpanja in vračanja vode v jezero je izveden na način, da minimizira negativne vplive na biološko ravnovesje

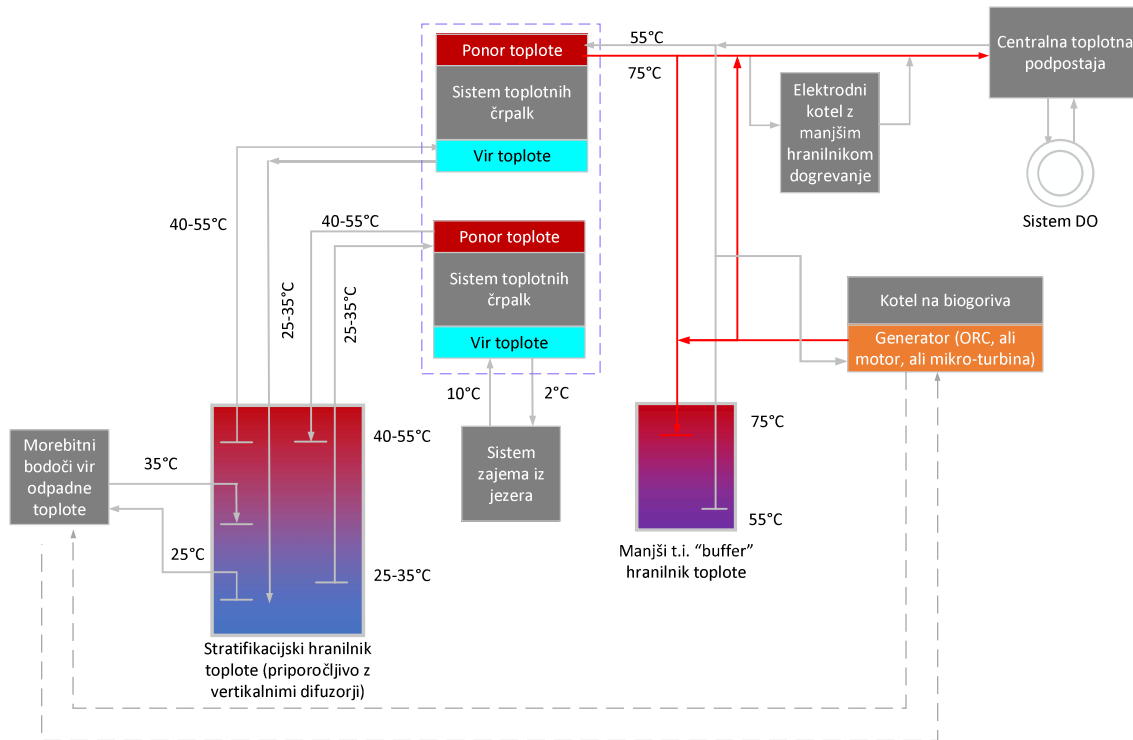
Slika D: Prikaz odprtega sistema: črpanja jezerske vode kot vira toplote za toplotne črpalke. Temperature jezera v opazovanem obdobju so med 8 do vsaj 25 °C, odvisno od globine in dneva. Kvaliteten projektant in ponudnik opreme/izvajalec mora to znati izkoristiti.

Slika E prikazuje predlagano rešitev povezav toplotnih črpalk, hranilnikov toplote in elektrodnega kotla, v kombinaciji z morebitnim sistemom proizvodnje električne energije. Slednji mora omogočati zajem toplote tako pri višjih temperaturah, kot pri nižjih. Na ta način lahko izjemno pomembno zmanjšamo rabo električne energije za toplotne črpalke, ali pa tudi povečamo moč toplotnih črpalk, zato dodatnih virov in njihove prilagoditve delovanju sistema nikakor ne smemo zanemariti.



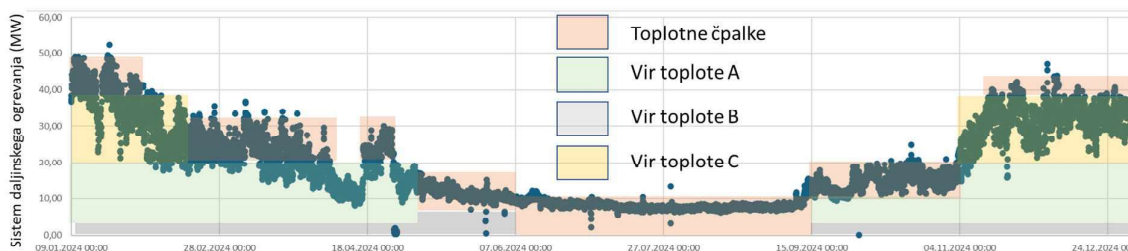
Slika E: Prikaz predlaganega sistema v kombinaciji s proizvodnjo električne energije iz biogoriv. pri čemer mora slednji zagotavljati »kondenzacijski« režim in režim pri višjih temperaturah toplote.

V prihodnosti bo moral sistem daljinskega ogrevanja v Velenju, zaradi zelenega prehoda, nujno preiti v nizkotemperaturno obratovanje in sicer s temperaturami dovoda/povratka približno 75/55 °C (**slika F**), tudi v zimskem obdobju. Rešitev prikazana na **sliki E** lahko v tem primeru ostane enaka, z razliko nižjega temperaturnega režima, kar pozitivno vpliva na: zmanjšanje toplotnih izgub omrežja, manjšo rabo električne energije za potrebe toplotnih črpalk ali morebitno večjo razpoložljivo toplotno moč toplotnih črpalk.



Slika F: Prikaz predlaganega sistema v kombinaciji s proizvodnjo električne energije iz biogoriv, pri preobrazbi v nizkotemperaturni režim daljinskega ogrevanja skozi celotno leto.

Slika G prikazuje približno stanje leta 2035. Pri tem smo ocenili, da bo raba pozimi, glede na leto 2024, 20% manjša in raba poleti, glede na leto 2024, 10% manjša. Zaradi nižjih temperatur ogrevanja in izrabe odpadne toplote smo konzervativno predvideli 12% večjo moč toplotnih črpalk.

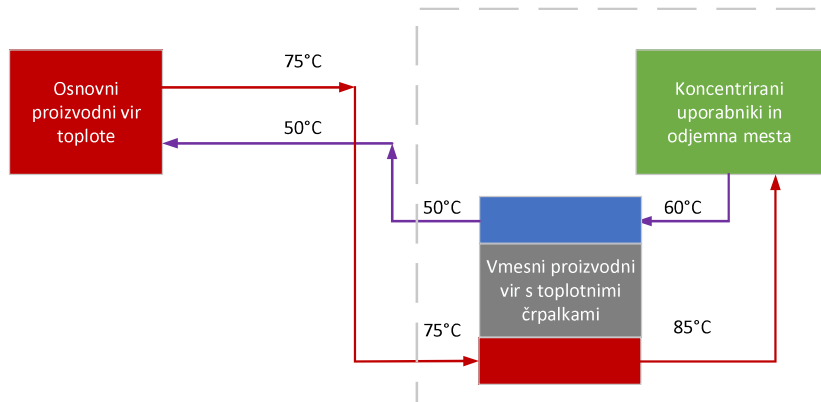


Slika G: Razširjeni pogled na celoletno obratovanje sistema daljinskega ogrevanja – ob predvidenem poteku odjema leta 2035. Iz slike je zelo jasno vidno, da bi lahko inštalirane toplotne črpalke danes, v prihodnosti lahko pokrivala velik del potreb sistema daljinskega ogrevanja. Pri tem bodo toplotne črpalke skupaj s hranilniki toplote odigrale poglavitno vlogo pri pokrivanju vršnih obremenitev, hkrati pa popolnoma pokri potrebe v poletnem obdobju.



Zaradi bodočih sprememb sistema daljinskega ogrevanja in v želji po izboljšanju njegove energetske učinkovitosti predlagamo v dodatni razmislek sledeče:

- a. Postavitev podobnega sistema, kot je obravnavan v tem poročilu, na lokaciji Šaleka ali Sela, ki obsega dodatno sončno elektrarno, dodatne kapacitete toplotnih črpalk, vezane na odpadno toploto (30-45°C) pri proizvodnji električne energije na taisti lokaciji (torej bi te kapacitete predstavljale vir toplote za toplotne črpalke), ter uvedbo dveh hranilnikov toplote. Na ta način bi zapolnili potrebe po ogrevanju celotnega sistema. Postavitev dodatne proizvodne enote na tem območju bi po našem razumevanju sistema daljinskega ogrevanja v Velenju omogočilo znižanje temperaturnih nivojev.
- b. Skladno z bodočim razvojem je nujno potrebna preučitev kar se da možnega znižanja temperatur dovoda in tudi povratka, ob ohranitvi temperaturne razlike (v našem poročilu smo predlagali prehod na režim 75/55°C skozi celotno leto) in rešitev, ki smo jo podali, omogoča tak prehod. Vsekakor mora skladno s tem biti izvedena popolna obnova vseh ovojev objektov (ter z omogočitvijo rekuperiranega prezračevanja), toplotnih podpostaj vključno z njihovo popolno digitalizacijo, ter tudi posega v same notranje ogrevalne sisteme objektov (zamenjava vseh zastarelih radiatorjev in ventilov, hidravlično uravnoteženje). Posebno pozornost je potrebno posvetiti pripravi sanitarne tople vode s pretočnimi grelniki, za katere danes obstajajo rešitve, ki so tehnično popolnoma izvedljive.
- c. Potrebno je tudi preučiti vpliv neprekinjenega ogrevanja objektov z variabilnimi temperaturami, kar ima lahko za posledico dodatno znižanje moči sistema daljinskega ogrevanja. Prekinjeno ogrevanje izkorišča shranjevanje toplote v ovoju stavbe, vendar ob vzpostavitvi ogrevanja v sistemih daljinskega ogrevanja povzroča neželen dvig moči.
- d. **Slika H** prikazuje enostaven prikaz alternativne možnosti, ki omogoča lokalni dvig temperatur dovoda in lokalno znižanje temperatur povratka v sistemu daljinskega ogrevanja. Prav tako predstavlja rešitev, ki nujno ne posega v popolno sanacijo vseh objektov, kar predstavlja z vidika investicij v objektih precejšnjo prednost. Pri tem na **sliki H** predstavlja Osnovni vir proizvodne toplote našo predlagano rešitev v tem poročilu. Ta osnovni vir je precej oddaljen od koncentriranih porabnikov, zato bi lahko načeloma deloval pri nižjih temperaturah dovoda in povratka. Na vozliščih in v bližini odjemalcev bi lahko postavili dodatne postaje toplotnih črpalk, ki bi lokalno, v določenem vozlišču, dvigovale temperaturni režim dovoda toplote na zeleni temperaturni nivo, hkrati pa bi nižale temperature povratka do Osnovnega proizvodnega vira, kar bi z vidika termo-hidravličnih razmer omogočalo delovanje sistema pri zelo znižanem temperaturnem režimu.



Slika H: Alternativni prikaz možnosti znižanja temperaturnih režimov na primarnih vodih iz osnovega proizvodnega vira toplote, ki je bil predmet te študije

10. Reference

- [1] IRENA, "Renewable power generation costs in 2023," Abu Dhabi, 2024.
- [2] M. Kauffeld and M. Dudita, "Environmental impact of HFO refrigerants & alternatives for the future," *Open Access Government*, 2021.
- [3] F. Schlosser, M. Jesper, J. Vogelsang, T. G. Walmsley, C. Arpagaus, and J. Hesselbach, "Large-scale heat pumps: Applications, performance, economic feasibility and industrial integration," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 133, p. 110219, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.rser.2020.110219.
- [4] N. Calame *et al.*, "Joining Forces to Encourage High-Temperature Heat Pumps in Swiss Industries," *Heat Pumping Technologies MAGAZINE Heat Pumps Unleashing Flexibility and Sector Coupling*, vol. 42, no. 1, 2024.
- [5] "Mayekawa Mycom : <http://www.mayekawa.eu/en/products/mycom/standard-units/heat-pump-unit/plus-heat>."
- [6] "Styne Group: <https://www.styne.co.uk/refrigeration-solutions/ammonia-heat-pump>."
- [7] "Gea: <https://grasso-adearest.com/products-overview/chillers-and-heat-pumps/item/33-gea-grasso-fx-p-heat-pump.html>."
- [8] "Copeland: <https://www.copeland.com/en-us/products/refrigeration/industrial-refrigeration/industrial-heat-pumps>."



- [9] “Sabroe Johnson Controls: <https://www.sabroe.com/products-and-solutions/industrial-heat-pumps/>.”
- [10] “Star Refrigeration: <https://www.star-ref.co.uk/products/heat-pumps/water-source-heat-pump-neatpump/#1577074799498-b75691c3-b8f0>”.
- [11] “SPH: <https://spheat.de/media/?lang=en>.”
- [12] “OCHSNER: <https://www.ochsner.com/en/ochsner-products/high-capacity-heat-pumps>,
https://ochsner-energietechnik.com/wp-content/uploads/2023/08/OCHSNER_Energietechnik_EN_2023_ET08e_kl.pdf.”
- [13] “FRIOTHERM: <https://www.friotherm.de/produkte/unitop/unitop-50/>.”
- [14] “HEATEN: <https://www.heaten.com/products/>.”
- [15] “YORK (Johnson Controls): <https://www.skyair.si/wp-content/uploads/2024/04/YORK-Titan-OM-Custom-Water-to-Water-Heat-Pump.pdf>.”
- [16] “CARRIER: <https://www.carrier.com/commercial/en/eu/products/heating/water-to-water-heat-pumps/>.”
- [17] “TURBODEN Mitsubishi Heavy: <https://www.turboden.com/solutions/2602/large-heat-pump/>.”
- [18] “Pure Thermal: <https://purethermal.co.uk/high-temperature-heat-pumps/>.”
- [19] “TRANE: <https://trane.eu/uk/equipment/product-details.html?prodId=227>.”
- [20] “SIEMENS Energy: <https://www.siemens-energy.com/global/en/home/products-services/product-offerings/heat-pumps.html>.”
- [21] “Sistem DH Lake Geneva <https://lenews.ch/2016/09/24/the-almost-invisible-machinery-that-uses-lake-geneva-to-heat-400-homes/>.”
- [22] “Sistem DH Lake Geneva <https://smart-cities-marketplace.ec.europa.eu/projects-and-sites/projects/tetraener/tetraener-site-geneva>.”
- [23] “Sistem DH Lake Geneva <https://heatpumpingtechnologies.org/annex47/wp-content/uploads/sites/54/2018/12/annex-47sub-projetcsla-tour-de-peilz.pdf>.”
- [24] “Sistem DH Lake Geneva in La Tour-de-Peilz <https://www.unitracc.com/e-journal/news-and-articles/district-heating-pipeline-with-water-from-lake-geneva-in-la-tour-de-peilz-ch>.”
- [25] “Araner: <https://www.araner.com/business-lines/thermal-storage-tank>.”
- [26] “Taikisha group: <https://www.taikisha-group.com/service/heat-storage/stratherm/>.”
- [27] “Rieckman: <https://rieckman.com/dn-tanks>.”

**FS****UNIVERZA V LJUBLJANI**
Fakulteta za strojništvo

- [28] “Lipp system: <https://www.lipp-system.de/tanks/thermal-storage-tank-large/?lang=en>.”
- [29] “Fishertank: <https://fishertank.com/> .”
- [30] T. Schmidt *et al.*, “Design Aspects for Large-scale Pit and Aquifer Thermal Energy Storage for District Heating and Cooling,” *Energy Procedia*, vol. 149, pp. 585–594, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.egypro.2018.08.223.
- [31] “DBDH; Thermal Energy Storage for District Heating: <https://dbdh.org/all-about-district-energy/technology/thermal-energy-storage-for-district-heating/>.”
- [32] M. J. S. Zuberi, A. Hasanbeigi, and W. Morrow, “Electrification of industrial boilers in the USA: potentials, challenges, and policy implications,” *Energy Effic*, vol. 15, no. 8, p. 70, Dec. 2022, doi: 10.1007/s12053-022-10079-0.
- [33] “Sabroe DualPAC 712-W: https://tyco.widen.net/content/vg1legsjpgk/pdf/DualPAC_PUBL-8593_2023_EN.pdf?u=ihblpf.”
- [34] Priess web, “Large plug-and-play pumping station innovating Swedish district heating, <https://priess-web.com/case/large-plug-and-play-pumping-station-innovating-swedish-district-heating/>.”
- [35] M. Mosteiro-Romero, E. Riegelbauer, S. Hsieh, and A. Schlueter, “District-scale lake water free cooling in Zurich, Switzerland: System performance simulation and techno-economic feasibility,” in *33rd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems (ECOS 2020)*, Osaka, Japan, 29 June – 3 July 2020, R. Yokoyama and Y. Amano, Eds., Osaka, 2020, pp. 1781–1791.