



INFO-GEOTHERMAL

**Podpiranje učinkovite kaskadne uporabe geotermalne energije z dostopom
do uradnih in javnih informacij /**

**Supporting efficient cascade use of geothermal energy by unlocking official
and public information**

**Delovni sklop T3 – Priprava smernic za razvoj projekta
Aktivnost A.T 3.1 Smernice in ciljno usmerjeno usposabljanje strokovnjakov**

**Dosežek: D.T 3.1.4 Smernice za razvoj projektov neposredne uporabe
(daljinsko ogrevanje in ogrevanje rastlinjakov) in povezovanje z drugimi OVE
- ENERGETIKA -**

april 2024

Verzija 1.0

Projekt INFO-GEOTHERMAL sofinancirajo Islandija, Lihtenštajn in Norveška s sredstvi Finančnega mehanizma EGP v višini 1.073.529,41 €. Namen projekta je podpiranje učinkovite kaskadne uporabe geotermalne energije z dostopom do uradnih in javnih informacij.



Vodilni partner / Lead partner: Ministrstvo za naravne vire in prostor

Avtorji / Authors: Denis Oletič¹, Nina Rman², Andrej Lapanje²

¹ Veling-Deol d.o.o., Razlagova 46, 9000 Murska Sobota

² Geološki zavod Slovenije / Geological Survey of Slovenia, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenia (GeoZS)

Ta dokument je nastal s finančno podporo Finančnega mehanizma EGP. Za vsebino tega dokumenta so odgovorni izključno avtorji, navedi zgoraj, in zanj v nobenem primeru ne velja, da odraža stališča Nosilca programa Blaženje podnebnih sprememb in prilagajanje nanje.

Kazalo

1	Uvod.....	1
2	Načini kaskadne rabe termalne energije	1
3	Primeri kaskadne rabe termalne energije.....	2
3.1	Uporaba termalne vode za ogrevanje rastlinjakov	2
3.2	Uporaba termalne vode za ogrevanje termalnega kompleksa	6
3.3	Uporaba termalne vode za daljinsko ogrevanje	9
4	Uporaba električne energije v sistemih rabe geotermalne energije.....	10
5	Potrebni pogoji za uspešen začetek izvajanja rabe termalne vode.....	12
6	Idejni projekt za prestrukturiranje sistema daljinskega ogrevanja Murske Sobotne in vključitev virov geotermalne energije.....	13
6.1	Uvod	13
6.2	Analiza naravnega vira	13
6.3	Analiza toplotnih potreb objektov	16
6.4	Analiza potrebne konične toplotne energije	20
6.5	Zaključek.....	21
7	Literatura.....	22

Kazalo slik

Slika 1: Obseg regionalnega in čezmejnega vodonosnika v Murski formaciji v SV Sloveniji (vir: GeoZS)	2
Slika 2: Prikaz različnih načinov cevnege ogrevanja geotermalnih rastlinjakov in strojnica manjšega rastlinjaka. Foto: N. Rman.....	3
Slika 3: Dnevni zalogovnik (desni zeleni stolp) toplotne energije. Vetrtice služijo proizvodnji električne energije, geotermalne vrtine v ospredju pa proizvajajo tudi zemeljski plin, ki ga s kogeneracijo pretvarjajo v električno energijo in toploto. Nastali CO ₂ dodajajo rastlinam za hitrejšo rast. Primer nizozemskega rastlinjaka. Foto: N. Rman	4
Slika 4: Skica tristopenjske kaskadne rabe termalne vode v rastlinjaku z dnevnim zalogovnikom toplote	4
Slika 5: Skica tristopenjske kaskadne rabe termalne vode v rastlinjaku s sezonskim zalogovnikom toplote	5
Slika 6: Primer ustja geotermalne vrtine, ki služi za ogrevanje hotelskega in bazenskega kompleksa. Foto: N. Rman	6
Slika 7: Kaskadna raba termalne vode s temperaturo vsaj 60 °C na ustju vrtine	7
Slika 8: Kaskadna raba termalne vode s temperaturo največ 60 °C na ustju vrtine	8
Slika 9: Skica rabe električne energije v geotermalnem sistemu	10
Slika 10: Primer črpalk v sistemu filtriranja pri reinjekcijski geotermalni vrtini. Foto: N. Rman	11
Slika 11: Kako začeti?	12
Slika 12: Lokacije štirih geotermalni vrtin v Murski Soboti	13



Slika 13: Izgled jedra iz vrtine Sob-4: vodonosnega slabo sprijetega peščenjaka na 890 m globine (levo) ter neprepustne metamorfne kamnine na dnu vrtine na globini 1197 m (desno). Foto: N. Rman	14
Slika 14: Obratovalni podatki vrtine Sob-1 in Sob-2 med leti 2009 in 2013 - gladina in temperatura vode (Rman, 2013).....	15
Slika 15: Izgled ustja vrtine Sob-1 (levo) in Sob-2 (desno) okoli leta 2013, ko sta še bili v uporabi	15
Slika 16: Na območju vrtine Sob-4 je postavljen interpretacijski center geotermalne energije	16
Slika 17: Lokacije objektov	17
Slika 18: Letni režim porabe toplotne energije izbranih objektov po mesecih	20
Slika 19: Lokacije štirih geotermalni vrtin v Murski Soboti	21

Kazalo tabel

Tabela 1: Priporočena temperatura termalne vode za različne namene rabe	6
Tabela 2: Ocena energetskih potreb in potenciala proizvodnje energije iz LEK (Envirodual, 2020)	16
Tabela 3: Gledališče	18
Tabela 4: Grad	18
Tabela 5: ZD Murska Sobota	18
Tabela 6: Igrišče za tenis	19
Tabela 7: Klubski prostori NK Mura.....	19
Tabela 8: Igrišče NK Mura	19

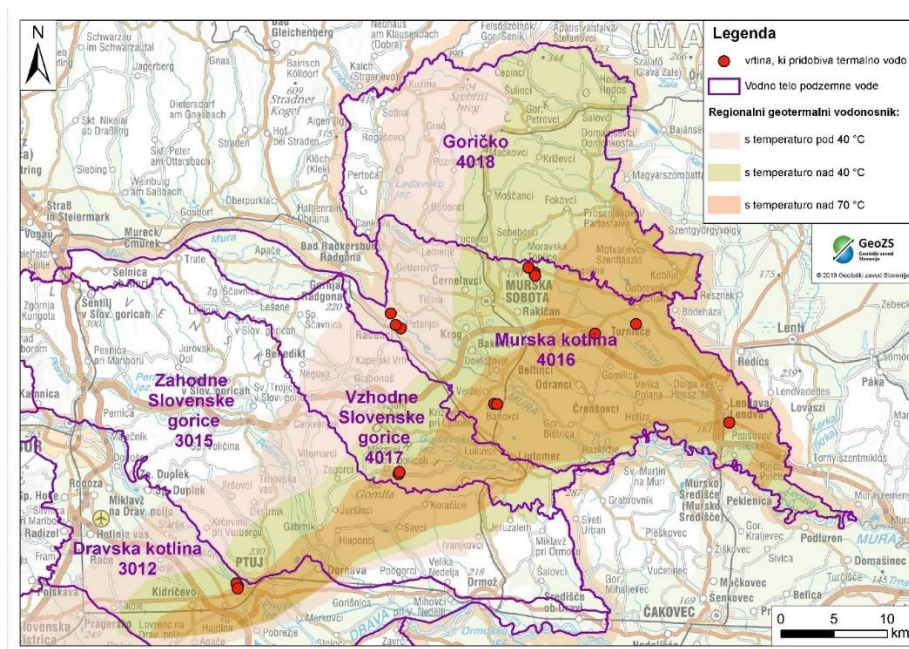
1 Uvod

Slovenija je zaradi svoje geologije in hidrogeologije, predvsem na njenem severovzhodnem delu, bogata s termalno vodo. Glede na svetovna gibanja, povezana z rabo energije, se predvsem v zadnjih letih vse več napora posveča učinkoviti rabi energije in povečanju deleža obnovljivih virov energije. Geotermalno energijo lahko uporabljamo na številne načine: za ogrevanje prostorov, kot toplo vodo, za kopanje in rekreacijo v termalnih zdraviliščih, v industriji in kmetijstvu. Smernice za razvoj projektov neposredne uporabe (daljinsko ogrevanje in ogrevanje rastlinjakov) se ukvarjajo izključno z energetske izrabo termalnih virov. Pri učinkoviti rabi energije strmimo, da vir izkoristimo do največje možne mere, vendar smo pri tem omejeni s fizikalnimi zakonitostmi, ki jih pri načrtovanju in uporabi moramo upoštevati. V obsegu teh smernic, ki pokrivajo energetski del načrtovanja rabe geotermalne energije, je prikazanih nekaj primerov za učinkovito izrabo termalne vode kot prenosnika toplotne energije. Predvsem nas zanima kaskadna izraba toplote, pri čemer kaskadna ali zaporedna ali večstopenjska uporaba pomeni gospodarno in energetsko učinkovit način izrabe toplotne energije, s tem pa tudi zmanjšan vpliv na okolje. V teh smernicah so predlagana načela za kaskadno uporabo termalne vode na splošno, ki jih lahko uporabimo pri načrtovanju in gradnji posameznega sistema rabe. Da bi lahko energetsko učinkovito izrabili termalni vir in s tem zadostili tako tehničnim kot ekonomskim ciljem, je potrebno pred zasnovo sistema dobro poznati oceno baznih in koničnih toplotnih potreb ter temperaturne nivoje posameznih predvidenih sistemov rabe. Zavedati se je namreč potrebno, da pri rabi termalne energije obstajajo različni temperaturni nivoji. Smernice na primeru Mestne občine Murska Sobota podajajo idejno študijo energetskega dela razvoja geotermalnega projekta, ki lahko temelji na štirih obstoječih in trenutno neaktivnih geotermalnih vrtinah.

2 Načini kaskadne rabe termalne energije

V primeru rabe podzemne termalne vode kot nosilca toplotne energije moramo strmeti, da bo stopnja izrabe in s tem količina pridobljene toplote čim višja. Količino razpoložljive geotermalne energije najpogosteje pogojuje podzemna struktura ter fizikalno-kemijske lastnosti vode v vodonosniku. Po razpoložljivih podatkih se temperature regionalnega in čezmejnega geotermalnega vodonosnika na območju SV Slovenije gibljejo med 40 in nad 70 °C (Slika 1).

Pretok termalne vode in razpoložljiva temperatura služita kakor osnovni fizikalni podatek za načrtovanje površinskega sistema rabe. V kolikor obstajajo primerljive lokacije ali da je bila vrtina že testiranja, sta pred začetkom načrtovanja in uporabe vode v sistemu izrabe toplote najpogosteje že zanesljivo znana. Na osnovi obeh podatkov in njune zanesljivosti se je moč odločati za način izrabe pridobljene toplote. Kadar gre za rabo toplote za potrebe ogrevanja in pripravo sanitarne tople vode, pa tudi za potrebe indirektnega ogrevanja kopalne vode, je priporočljivo, da termalni vodi zgolj odvzamemo toplotno energijo, kemično in drugače pa je ne spreminjamo, saj jo le na ta način lahko ponovno vrnemo v vodonosnik. Zavedati se moramo, da so razpoložljive količine termalne vode omejene in ne gre za neizčrpen vir, pač pa je smiselno in ponekod nujno, da toplotno izrabljeno termalno vodo vrnemo v njen prvotni prostor, kjer lahko ponovno prejme toploto Zemlje in tako kroži v sistemu rabe več desetletij. Toplotna energija je večinoma (80%) shranjena v kamninah in se prenaša na termalno vodo, ki kroži po razpokah in porah kamnin, zato dolgoživost in večji energetski izplen dosežemo le, če voda služi le kot medij za prenos toplote na površje, za kar kroži v sistemu pridobivalnih in reinjekcijskih vrtin.



Slika 1: Obseg regionalnega in čezmejnega vodonosnika v Murski formaciji v SV Sloveniji (vir: GeoZS)

Ker je količina porabljene toplotne energije direktno povezana z višino stroškov, je potrebno strniti k temu, da bo količina pridobljene toplote glede na vloženo energijo čim večja. To pomeni, da je pri nespremenjenem pretoku termalne vode le to potrebno čim bolj toplotno izkoristiti (ohladiti) pred vračanjem v vodonosnik oz. izpustom v okolje. Pridobljena toplota je namreč prenosorazmerna pretoku vode (na katerega imamo manjši vpliv) in spremembi temperature termalne vode na ustju vrtine ter temperature, s katero termalna voda zapušča sistem ogrevanja. Osnovna energetska enačba za izračun inštalirane zmogljivosti posamezne vrtine je:

$$Q = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta T$$

pri čemer je:

Q = toplotna moč (W = J/s)

$\dot{m}$ = masni tok termalne vode (kg/s)

c_p = specifična toplotna kapaciteta vode pri stalnem tlaku (≈ 4200 J/kgK)

ΔT = razlika temperature termalne vode pred in po sistemu rabe (K)

3 Primeri kaskadne rabe termalne energije

3.1 Uporaba termalne vode za ogrevanje rastlinjakov

Rastlinjaki so eden od sektorjev z največjo porabo energije, saj potrebujejo energijo za nadzor notranjega okolja za rast rastlin in pridelek. Uporaba geotermalnega toplotnega vira se v ogrevanju rastlinjakov za pridelavo vrtnin in drugih kultur izkaže kot zelo učinkovita. Zahtevane temperature v rastlinjaki (npr. cvetja, paradižnika ipd.) so običajno med 15 in 25 °C, a so zelo odvisne tudi od kulture, ki jo v rastlinjaku pridelujemo, ter faze razvoja rastline.

Ogrevanje v prostorih za rast rastlin se najpogosteje vrši preko velikih površin za prenos toplote v obliki jeklenih cevovodov, ki so običajno speljani pod rastnimi koriti horizontalno (tračni sistem) ter ob steklenih površinah

vertikalno (sistem za rast; Slika 2). Za tračni sistem je pogosto zahtevan višji temperaturni nivo, za sistem za rast pa nekoliko nižji, kar s stališča kaskadne rabe predstavlja dodatno pridobitev.

Izhodiščna konična toplotna moč za 1 hektar ogrevanega rastlinjaka znaša 1000 kW, letno potrebno energijo za slovenske podnebne razmere pa lahko ocenimo med 250-400 kWh/m²/leto (glede na mikroklimatske pogoje postavitve). Obstoječi rastlinjaki v Sloveniji imajo kapaciteto vrtin reda velikosti največje količine pretoka 25-30 l/s in temperature 62 °C.



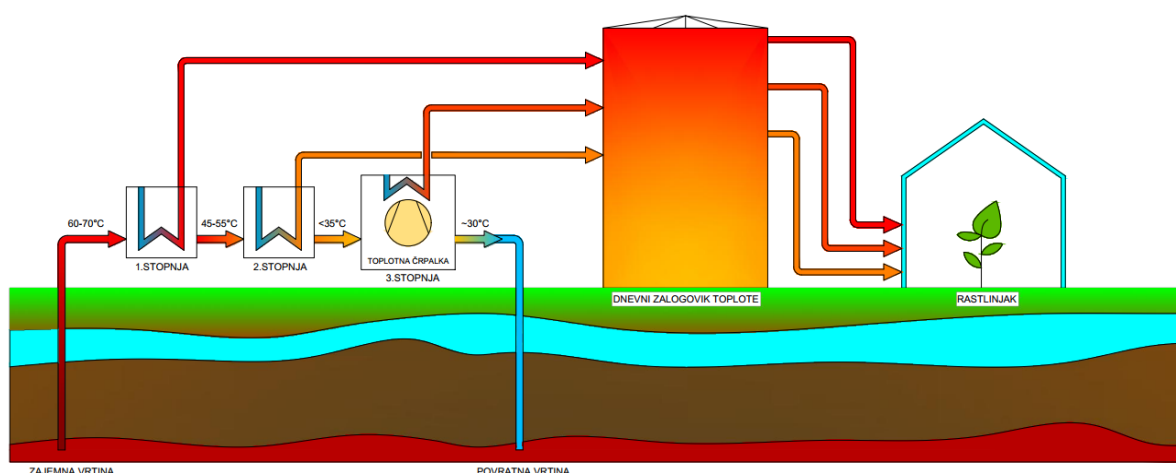
*Slika 2: Prikaz različnih načinov cevnega ogrevanja geotermalnih rastlinjakov in strojnica manjšega rastlinjaka.
Foto: N. Rman*

Zaradi stabilnosti delovanja in pokrivanja toplotnih potreb v obdobjih, ko sončno sevanje, zunanji pogoji in toplotna energija iz geotermalnega vira ne zagotavljajo dovolj toplotne energije za ogrevanje rastlinjaka, se v sistem ogrevanja rastlinjakov vgrajujejo veliki dnevni hranilniki toplote (nočni čas, oblačni dnevi, dnevi z nižjimi temperaturami; Slika 3). Hranilnik toplote zagotavlja plastenje vode po višini hranilnika, s čimer je zagotovljen odjem z različnimi temperaturami.



Slika 3: Dnevni zalogovnik (desni zeleni stolp) toplotne energije. Vetrnice služijo proizvodnji električne energije, geotermalne vrtnice v ospredju pa proizvajajo tudi zemeljski plin, ki ga s kogeneracijo pretvarjajo v električno energijo in toploto. Nastali CO₂ dodajajo rastlinam za hitrejšo rast. Primer nizozemskega rastlinjaka. Foto: N. Rman

V povezavi s spodnjim grafičnim prikazom (Slika 4) se termalna voda izkorišča v treh stopnjah preko treh toplotnih prenosnikov, pri čemer je izraba prve stopnje namenjena višjemu temperaturnemu režimu obratovanja (tračni sistem). Druga stopnja izrabe je namenjena sistemu za rast z nižjo temperaturo vode. Predvidoma naj je temperatura termalne vode, ki zupušča drugo stopnjo izrabe, nižja kakor 35 °C. Dodatno toplotno energijo lahko pridobimo z izrabo tretje stopnje izrabe. Pri tem toplotna črpalka kot primarni vir uporablja delno izrabljeno termalno vodo, kot sekundarni vir pa pridobimo toplotno energijo. Za delovanje toplotne črpalke moramo zagotoviti stalni pretok termalne vode. Tako pridobljeno toploto na sekundarni strani, ki je na temperaturnem nivoju med 55 in 60 °C, lahko izrabljamo direktno v rastlinjaku oz. jo skladiščimo v zalogovniku toplote. S tem lahko zagotovimo, da je temperatura, s katero termalna voda zupušča sistem ogrevanja, na nivoju 30 °C. Po toplotni izrabi se voda vrača (reinjektira) v vodonosnik.

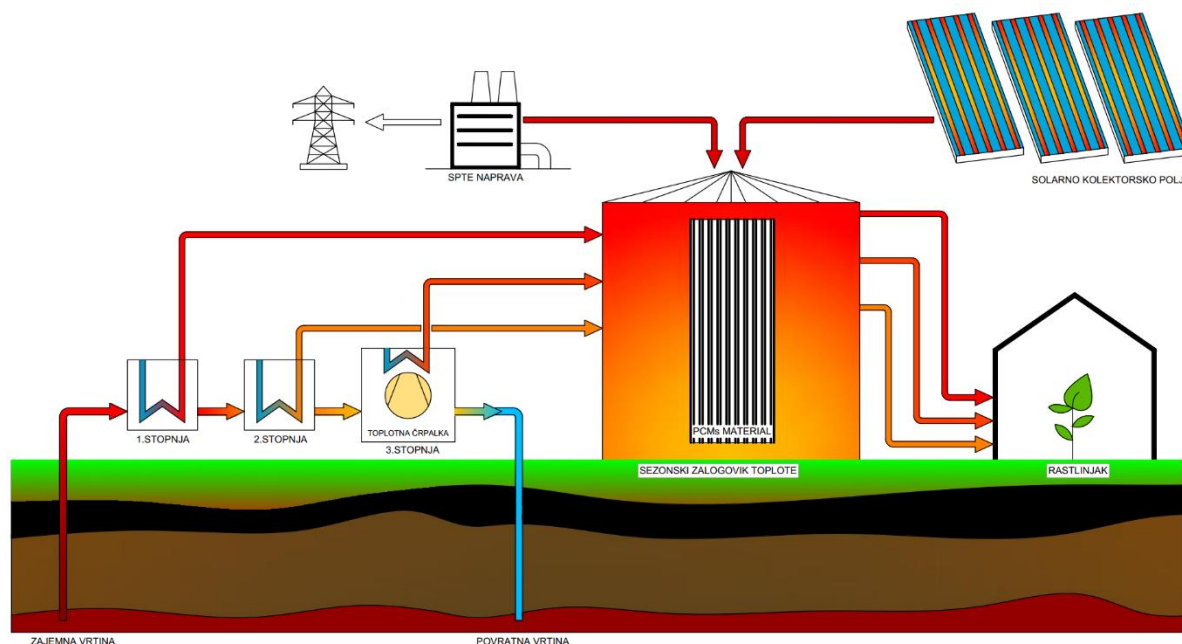


Slika 4: Skica tristopenjske kaskadne rabe termalne vode v rastlinjaku z dnevnim zalogovnikom toplote

Poleg plastnih (dnevni) zalogovnikov toplote poznamo tudi tako imenovane sezonske (TES) sisteme za hranjenje toplote, ki se v Sloveniji še niso uveljavili, na severu pa je razvoj zelo hiter. V razvoju je več vrst TES sistemov in sicer latentni, termo-kemični in senzibilni.

V latentnih zalogovnikih se uporabljajo različni materiali s faznimi spremembami (PCMs). Večina energije, ki se dovede v sistem, je latentna in je shranjena kot toplota, ki se absorbira med fazno pretvorbo materiala. Material za shranjevanje toplote je lahko organski (npr. parafin, maščobne kisline, alkani) ali anorganski (npr. taljenje ledu, kovinske soli). Zaradi kapacitete takšnih sistemov je zaželeno, da se vanj vključuje čim več sistemov za pridobivanje toplote (solarno termični sistemi, kogeneracijski sistemi (SPTE),...).

V termo-kemičnih sistemih TES je medij za shranjevanje toplote termo-kemični material (TCM). V tem procesu se toplotna energija, vnesena v sistem, pretvori v kemično energijo in se v tej obliki shranjuje. Toplotna energija, ki se sprosti pri obratnem poteku kemijskega procesa. Sproščanje energije najpogosteje omogoči uporaba katalizatorja.



Slika 5: Skica tristopenjske kaskadne rabe termalne vode v rastlinjaku s sezonskim zalogovnikom toplote

Senzibilni sistemi TES delujejo podobno kakor predhodno opisana dveh sistema. Medij za shranjevanje toplote je lahko tekoč (npr. voda, različne solne raztopine, olje) ali trdni (npr. skala, kamen, gramoz, zemlja, pesek, beton, grafit, železne kroglice). Najpogosteje uporabljen medij za prenos toplote je voda. Sistem TES ne predstavlja vira energije, ampak deluje velika baterija, ki poveča delež OVE v sistemu, saj omogoča kontinuirano rabo energije, ko ta v drugih oblikah ni na razpolago oz. bi ga morali nadomeščati s fosilnimi gorivi.

Poleg opisanih sistemov so v svetu v uporabi tudi prostorsko večji sezonski podzemni zalogovniki za skladiščenje toplote v vodonosnikih (ATES), zemljini (BTES), rudnikih (MTES), podzemnih rezervoarjih (RTES) itd. Pri tem sta podzemna voda (za ATES sistem) oz. topla kamnina (za BTES sistem) v vlogi skladiščnega medija. Značilnost sistema je v tem, da je moč energijo skladiščiti za daljše časovno obdobje. Potrebne prostornine tovrstnih podzemnih zalogovnikov znašajo za ATES (torej volumen vodonosnik geoloških plasti) vsaj 30.000 m³, pri BTES pa zadostuje najmanjša prostornina 20.000 m³. Novejši sistemi, predvsem na Nizozemskem, s to tehnologijo pozimi pokrijejo večji del koničnih potreb po toploti kot z običajnim pristopom, zato imajo manjše potrebe po dodatnih sistemih ogrevanja (npr. plinu).

3.2 Uporaba termalne vode za ogrevanje termalnega kompleksa

Predstavljen primer prikazuje možnost rabe termalne vode v termalnem kompleksu z nastanitvenimi in bazenskim kapacitetami. Ker gre v tovrstnih objektih za kompleksno rabo toplotne energije, je potrebno pred zasnovo in načrtovanjem preveriti vse sisteme, kakor tudi toplotne nivoje (potrebe po toplotni moči in temperaturi) posameznih sistemov. Zaradi različnih stopenj razvoja uporabljene tehnologije je energetska preureditev ali sanacija takšnih sistemov pogosto bolj zahtevna kot načrtovanje in izgradnja povsem novih sistemov rabe.

Porabniki toplotne energije so (vsaj) sistemi za pripravo tople sanitarne vode, sistemi za ogrevanje prostorov, sistemi za prezračevanje (HVAC) in sistemi za ogrevanje bazenske vode. Za uspešno kaskadno rabo moramo predhodno določiti tehnične sisteme za posamezno vrsto rabe ter njegov temperaturni nivo. V Tabela 1 so podani izhodiščni temperaturni nivoji, ki lahko služijo kot zasnova za razvoj kaskadne rabe toplotne energije.

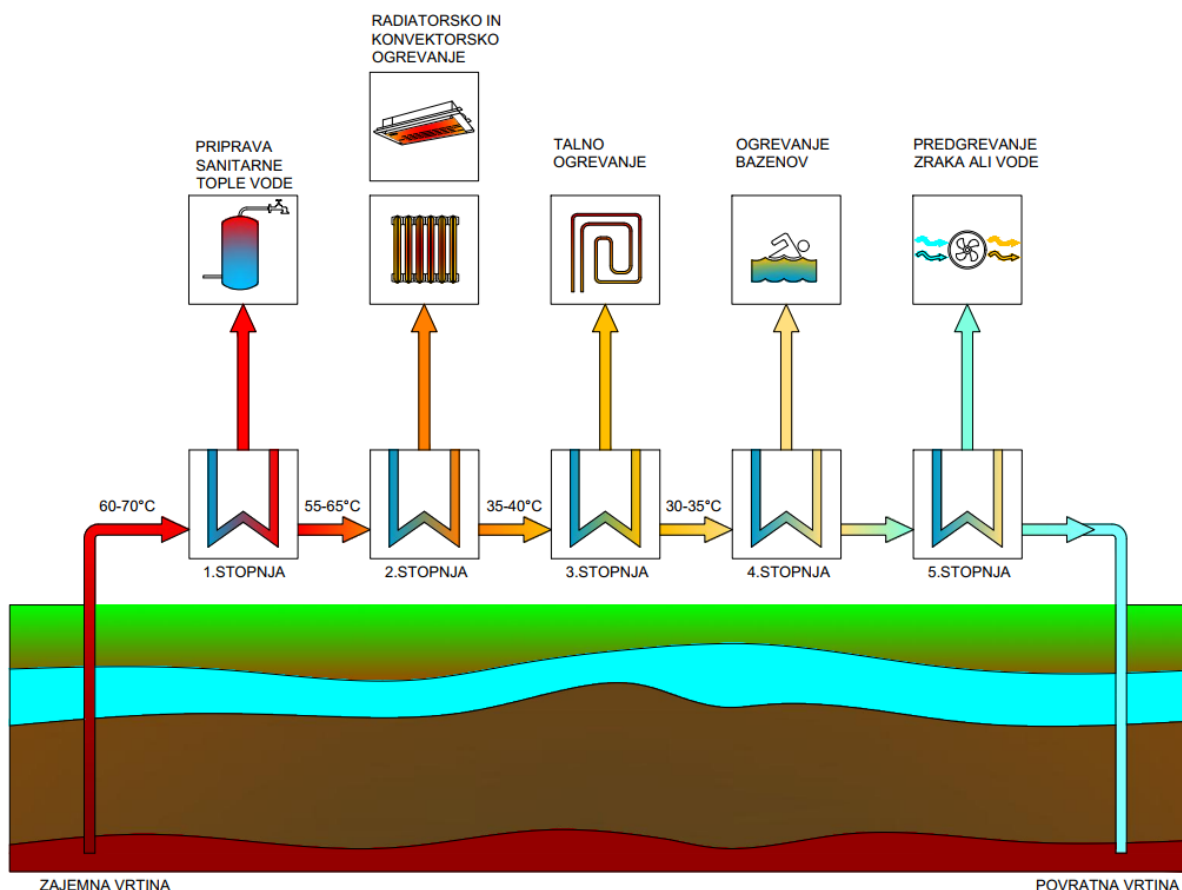
Tabela 1: Priporočena temperatura termalne vode za različne namene rabe

	priporočena temperatura vira [°C]
priprava tople sanitarne vode	60-70
konvektorsko ogrevanje	50-55
radiatorsko ogrevanje	45-55
talno ogrevanje	30-35
prezračevalni sistemi	40-50
predgrevanje sanitarne vode	30
predgrevanje zraka	20-30

Glede na razpoložljivo temperaturo termalne vode se nato odločamo za načine in sisteme, ki jih bomo pri načrtovanju in gradnji uporabili. V nadaljevanju sta podana dva predloga za kaskadno rabo toplotne energije.



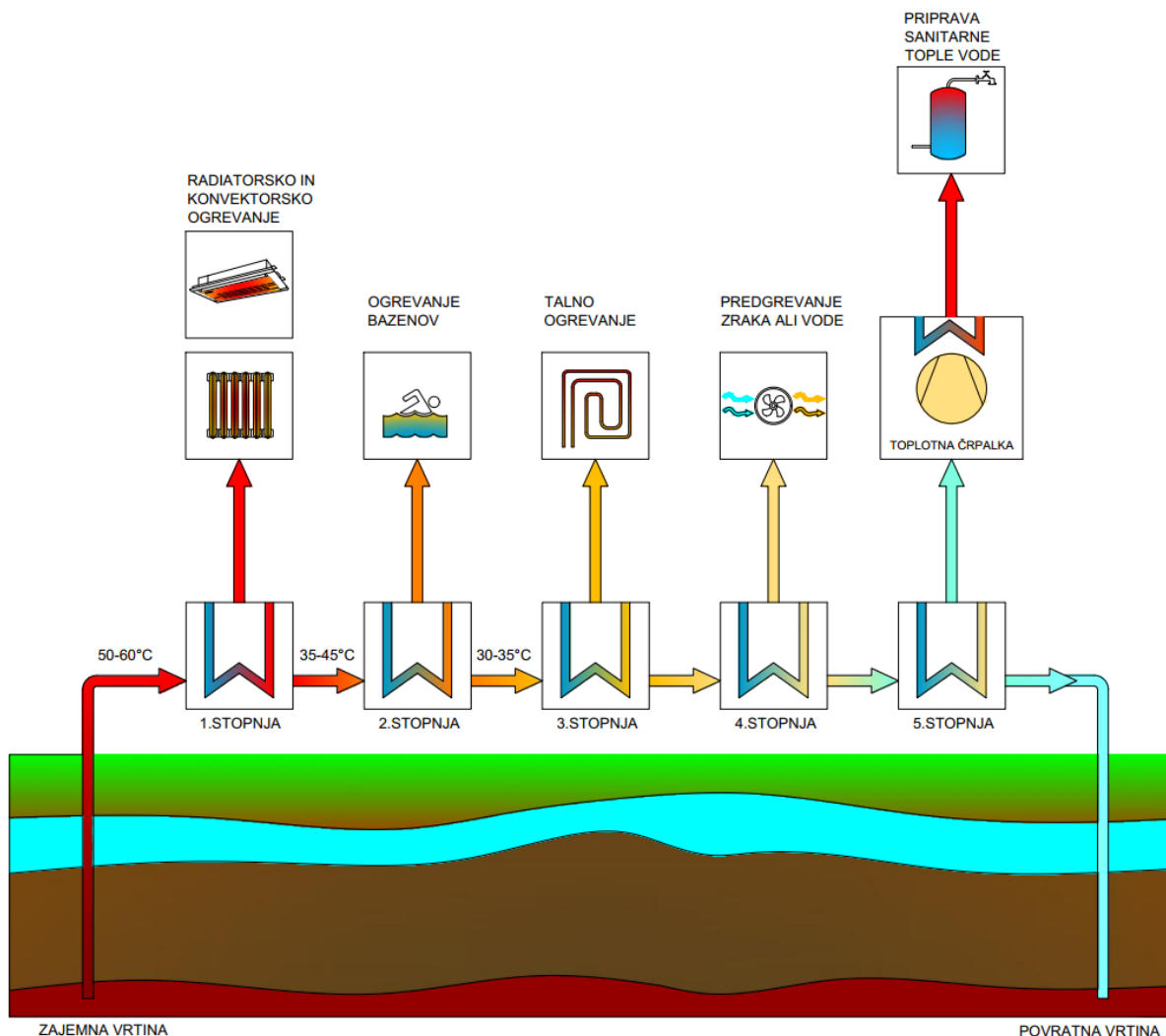
Slika 6: Primer ustja geotermalne vrtine, ki služi za ogrevanje hotelskega in bazenskega kompleksa. Foto: N. Rman



Slika 7: Kaskadna raba termalne vode s temperaturo vsaj 60 °C na ustju vrtine

Prvi primer (Slika 7) prikazuje kaskadno rabo toplotne energije termalnega vira v primeru, da je termalna voda na takšnem temperaturnem nivoju, da je moč zagotavljati ustrezno temperaturo tople sanitarne vode. V kolikor ni moč zagotavljati stalne temperature tople sanitarne vode na zahtevanem nivoju, je potrebno zagotoviti drugi visokotemperaturni toplotni vir, s katerim v sistemu cevovodov preprečujemo razvoj bakterij iz družine legionela. Ogreta sanitarna voda predstavlja najvišji temperaturni nivo v sistemu rabe tako, da je smiselno, da toploto termalne vode sprva odvezamo za potrebe ogrevanja sanitarne vode, kar predstavlja 1. stopnjo izrabe. Ker so toplotne potrebe za ogrevanje sanitarne vode po navadi količinsko manjše, kakor je potreba po drugih vrstah ogrevanja, je izveden obtok, ki je lahko nadzorovan ali le hidravlično uravnotežen glede na projektno zasnovo. Naslednjo, 2. stopnjo izrabe predstavljajo radiatorski in konvektorski ogrevalni sistemi ter sistemi ogrevanja zraka v prezračevalnih sistemih. Ogrevanje bazenske vode predstavlja 3. stopnjo izrabe, ki jo je potrebno prilagoditi glede na željeno temperaturo vode v bazenih (običajno med 25 in 30 °C). Bazenska voda se običajno ogreva posredno (indirektno) preko ustrezno dimenzioniranih toplotnih prenosnikov. Termalna voda se lahko v bazene dodaja direktno le v primeru, da izpolnjuje kemično-fizikalne lastnosti, ki so zahtevane za kopalno bazensko vodo. V kolikor se uporablja direktno polnjenje bazenov, se je potrebno zavedati, da vračanje bazenske odpadne vode v vodonosnik ni dovoljeno. Po odvzeti toploti preko toplotnega prenosnika 3. stopnje, vstopa delno izrabljena termalna voda v prenosnik 4. stopnje izrabe, ki je namenjena talnemu ogrevanju. Zaradi možnosti učinkovite izrabe nizkotemperaturnega vira, je talno ogrevanje (tudi zunanjih površin ali športnih igrišč) zelo zaželen način ogrevanja. Poleg talnega ogrevanja se lahko ogrevalni sistem dopolnjuje tudi z drugimi ploskovnimi ogrevalnimi sistemi (npr. stensko). Tako izrabljena termalna voda ima <30 °C in jo lahko nadalje izrabimo še za predgrevanje tople sanitarne vode in (ali) za predgrevanje zraka v prezračevalnih sistemih. Na opisan način lahko termalni vir izrabimo do takšne

mere, da je izraba toplote najbolj učinkovita, temperatura vode, ki izstopa iz sistema ogrevanja, pa na najnižji možni stopnji. Celoten sistem je potrebno krmiliti z učinkovitim sistemom vodenja, brez katerega ni moč zagotoviti učinkovite rabe.



Slika 8: Kaskadna raba termalne vode s temperaturo največ 60 °C na ustju vrtine

Primer 2 (Slika 8) prikazuje kaskadno rabo toplotne energije termalnega vira v primeru, da je toplotni vir na takšnem temperaturnem nivoju, da ni moč zagotavljati ustrezno temperaturo tople sanitarne vode z direktno izrabo geotermalnega vira. V tem primeru predstavljajo radiatorski in konvektorski ogrevalni sistemi ter sistemi ogrevanja zraka v prezračevalnih sistemih najvišji temperaturni nivo v sistemu, kar predstavlja 1. stopnjo izrabe. Ogrevanje bazenske vode predstavlja 2. stopnje izrabe. Bazenska voda se ogreva posredno preko ustrezno dimenzioniranih toplotnih prenosnikov. Termalna voda se lahko v bazene dodaja direktno le v primeru, da izpolnjuje kemično-fizikalne lastnosti, ki so zahtevane za bazensko vodo, a se je v tem primeru potrebno zavedati, da vračanje vode v vodonosnik ni dovoljeno. Po odvzeti toploti preko toplotnega prenosnika 2. stopnje, vstopa delno izrabljena termalna voda v prenosnik 3. stopnje izrabe, ki je namenjena talnemu ogrevanju. Zaradi možnosti učinkovite izrabe nizkotemperaturnega vira, je talno ogrevanje zelo zaželen način ogrevanja. Poleg talnega ogrevanja se lahko ogrevalni sistem dopolnjuje tudi z drugimi ploskovnimi ogrevalnimi sistemi (npr. stensko). Tako izrabljena termalna voda naj je <30 °C, ki jo lahko nadalje izrabimo še za predgrevanje tople sanitarne vode in (ali) za predgrevanje zraka v prezračevalnih sistemih kar predstavlja 4. stopnjo izrabe. Ker tako izrabljene vode zaradi nizke temperature ne moremo neposredno uporabiti, jo uporabimo kot primarni vir za potrebe toplotne črpalke sistema voda/voda.

Za obratovanje toplotnih črpalk potrebujemo kot vir še električno energijo, ki poganja kompresor. S tem pridobimo dodatno toplotno energijo temperature 50 do 55 °C, ki jo lahko uporabimo za ogrevanje sanitarne tople vode ali za druge potrebe v sistemu ogrevanja. Priporočljivo je kombiniranje OVE, kjer elektriko za delovanje črpalk in obtočnega sistema zagotavljajo drugi OVE, npr. sončna, vetrna energija ali biomasa.

Na opisan način lahko termalno vodo izrabimo do takšne mere, da je izraba toplote najbolj učinkovita, temperatura vode, ki izstopa iz sistema ogrevanja, pa na najnižji možni stopnji. Kakor navedeno že predhodno je celoten sistem potrebno krmiliti z učinkovitim sistemom vodenja, brez katerega ni moč zagotoviti učinkovite rabe.

3.3 Uporaba termalne vode za daljinsko ogrevanje

Primer prikazuje možnost izrabe termalnega vira v primeru ogrevanje strnjene naselja. Pri zasnovi in načrtovanju ogrevanja naselij s termalno vodo je potrebno upoštevati predvsem obstoječe sisteme, v primeru da se le ti priključujejo na toplovodno omrežje. Sistem ogrevanja naj je ločen na primarni (termalni) in sekundarni (interni) hidravlični sistem. V sistemu je potrebno zagotavljati temperaturo vode tako, da bo potreba po toplotni energiji pri najnižjih zunanjih temperaturah zadostovala za pokrivanje toplotnih potreb stavbe. V kolikor se na območju predvidene gradnje toplovodnega sistema predvidevajo tudi novi objekti, naj se spodbuja vgradnja ploskovnih ogrevalnih sistemov s čim nižjo projektno temperaturo vstopne vode v ogrevalni sistem stavbe. Na takšen način je omogočena kaskadna raba.

V primeru daljinskega sistema mesta Lendava, ki uporablja eno pridobivalno in eno reinjekcijsko vrtino, se uporablja termalna voda s 66 °C, ki se vrača v vodonosnik s 40-45 °C. Količina vode je do 25 l/s. Sistem ima inštalirano kapaciteto 6,65 MW_t in zagotavlja toploto za 65.000 m² stanovanjskih, javnih in poslovnih površin.

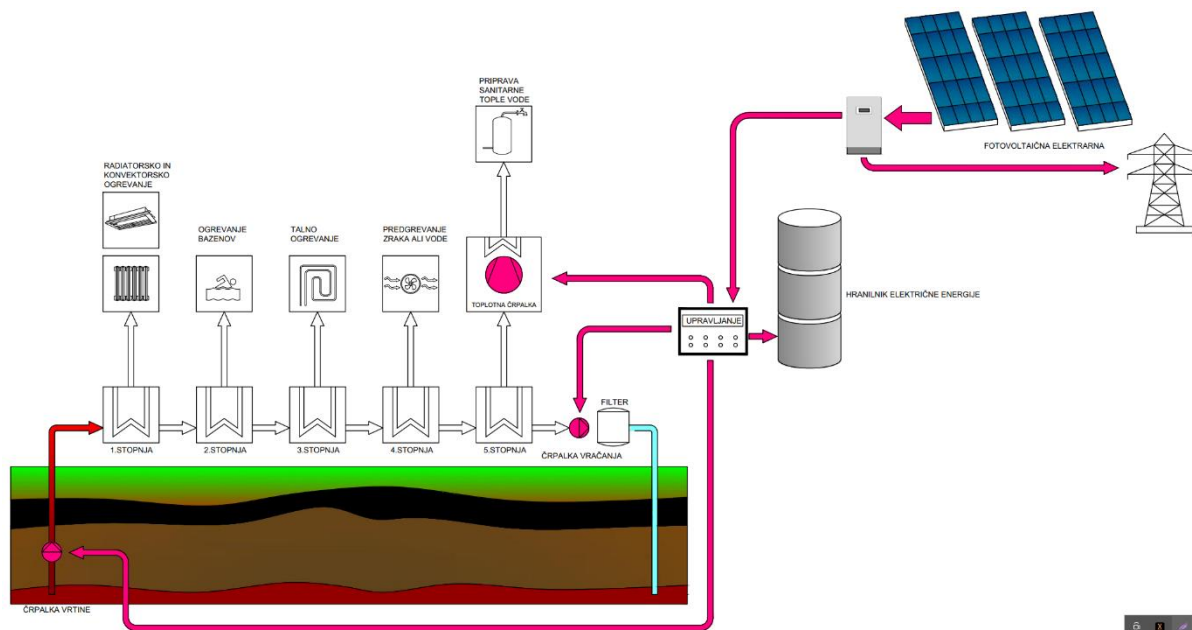
Letna poraba geotermalne toplote znaša približno 5.400 MWh. V letu 2022 je bilo prodanih 6.192 MWh toplote, od tega 88 % geotermalne toplote in 12 % toplote iz fosilnih goriv (Lendavainfo, 2023b). Toplotno omrežje ima primarni krog, ki deluje pri 62-65 °C in 2 barih s toleranco pri porabniku ± 3 °C. Pri uporabi talnega ogrevanja je zagotovljena temperatura 50 °C. V sekundarni krog lahko v najslabšem primeru dospe le 45 °C (Jug, 2017, Petrol d.d., 2024). Zaradi zasedenosti trenutno priklop novih uporabnikov ni mogoč (Lendavainfo, 2023a).

Inovativni del sistema je uporaba visokotemperaturne toplotne črpalke (> 250 kW, COP > 7), razvite v okviru projekta EUREKA (Torhač in sod., 2011). Uporablja toploto odpadne geotermalne vode s približno 40 °C za dvig temperature v ploščnih toplotnih izmenjevalnikih primarnega kroga. Kotli na zemeljski plin se tradicionalno uporabljajo za zagotavljanje dodatne toplote v sekundarnem krogu pri koničnih obremenitvah ali na končnih lokacijah. V letu 2021 je bila izvedena nadgradnja sistema na 600 m² velikem objektu kulturne dediščine (knjižnice). Njena izolacija zaradi zaščitnih ukrepov ni bila mogoča, za ogrevanje pa so uporabljali kurilno olje. Ker je knjižnica na končni točki omrežja daljinskega ogrevanja, je bila uporabljena še ena inovativna rešitev. Oljne kotle sta nadomestila dva 1000 L rezervoarja, napolnjena s kroglicami iz parafinskega voska (PCM) (Galeasso in sod. 2021). Pri odvzemu temperature 45/30 °C se energija čez dan absorbira, oddaja pa ponoči in zjutraj.

4 Uporaba električne energije v sistemih rabe geotermalne energije

V sistemih z uporabo geotermalne energije se električna energija v večji meri uporablja za naslednje namene:

- Črpanje termalne vode iz vodonosnika ter distribucijo vode skozi primarni ogrevalni sistem
- Črpanje in vtiskovanje vode ob vračanju v vodonosnik.



Slika 9: Skica raba električne energije v geotermalnem sistemu

V kolikor elektriko »črpamo« iz javnega distribucijskega omrežja, predstavlja to najdražjo rešitev, saj je cenovni trg z električno energijo zelo negotov. Za zagotavljanje učinkovite rabe energije in povečanje deleža obnovljivih virov energije v zvezi z rabo elektrike je na voljo kar nekaj možnosti, predvsem pa sta v uporabi sistema **lastne elektrarne s fotovoltaično solarno elektrarno (FV)** ter **vetrna elektrarna**, ki v naši državi še ni uveljavljena. V kolikor v sistem rabe energije vključimo tudi predhodno opisane **sezonske sisteme za hranjenje toplote (TES)**, je moč učinkovitost rabe energije še bistveno povečati, je pa to povezano z ekonomičnostjo projekta.

Za potrebe črpanja vode iz vodonosnika najpogosteje uporabljamo palične potopne večstopenjske črpalke, ki jih vgrajujemo v vrtino na globino, ki je določena s hidrogeološkimi raziskavami. V SV Sloveniji je to nekje med 50 in 100 m pod koto ustja vrtine. Na podlagi izkušenj znaša **potrebna letna električna energija za črpanje vode iz vrtine ca. 40-60 MWh/leto**, kar je pogojeno s potrebno višino črpanja. Letna količina črpanja znaša pri tem ca. 400.000 m³, konična količina črpanja pa ne presega 90 m³/h (25 l/s). Omeniti velja, da količina črpanja pogosto ni stalna in se spreminja glede na potrebe po toploti in glede na vrsto rabe (ogrevanje prostorov, rastlinjaki, podnebni pogoji, ogrevanje bazenov,...) v različnih časovnih intervalih.

Za potrebe vračanja toplotno izrabljene termalne vode v vodonosnik najpogosteje uporabljamo večstopenjske stoječe črpalke, ki jih vgrajujemo skupaj s filtrirnim sistemom v objekt, ki se običajno nahaja ob povratni / reinjekcijski vrtini (Slika 10). Na podlagi izkušenj je potrebna **letna električna energija za vračanje ca. 30-40 MWh/leto**. Pretok vode, ki jo vračamo v vodonosnik je pogojen s količino črpane vode in tlakom vtiskanja. Podatek velja za količino, ki je navedena za predhodno navedeno črpalno količino.

Skupaj torej za črpanje in vračanje termalne vode pri navedenih pogojih porabimo ca. **100 MWh električne energije na leto, kar na dan izdelave tega dokumenta predstavlja strošek ca. 17.000,00 Eur/leto.**



Slika 10: Primer črpalk v sistemu filtriranja pri reinjekcijski geotermalni vrtini. Foto: N. Rman

Da bi povečali učinkovitost sistema za izrabo toplote iz termalne vode je zelo smiselno razmisliti o vgradnji toplotne črpalke (TČ), ki kot primarni vir uporablja delno izrabljeno termalno vodo v zadnji stopnji izrabe s temperaturo $<30^{\circ}\text{C}$ in kjer se za pogon kompresorja uporabi električna energija. Na 1 kWh vložene električne energije je tako moč pridobiti najmanj 4 kWh toplotne energije s temperaturo $50\text{--}55^{\circ}\text{C}$ (to opredeljujemo kot vrednost števila COP).

Za učinkovitejšo rabo električne energije naj se izvede tudi ekonomsko-tehnična študija o možnosti vgradnje sistema FV v kombinaciji s hranilnikom električne energije ali brez, s čimer se bistveno zmanjša strošek za električno energijo.

Kot primer navedimo sistem, v katerega črpamo termalno vodo z letno količino 400.000 m^3 , vanj pa je nameščena črpalna v proizvodni vrtini, črpalni sistem za vračanje vode v vodonosnik skozi reinjekcijsko vrtino ter toplotna črpalna (TČ) s toplotno močjo 200 kW.

Potrebna električna energija na leto:

Črpanje vode	55.000 kWh
Vračanje vode	40.000 kWh
Toplotna črpalna*	100.000 kWh
Skupaj na leto:	195.000 kWh

*TČ obratuje 2000ur/leto, COP=4

S tako izgrajenim sistemom je v enem letu mogoče pridobiti toploto pri upoštevanju :

Temperatura termalne vode na ustju vrtine:	60°C
Temperatura termalne vode ob vstopu v TČ:	30°C
Temperatura odpadne termalne vode ob vračanju v vodonosnik:	20°C
Letna načrpana količina vode:	400.000 m^3

V sistem je vgrajena tudi TČ moči 200 kW, ki obratuje s povprečno letno močjo 60 % v trajanju 2000 ur.

Pridobljena skupna letna toplota znaša:

Termalna voda direktno:	50.400.000 MJ	oz. 14.000 MWh
S toplotno črpalko:	864.000 MJ	oz. 240 MWh
Skupaj pridobljena toplota na leto:	51.264.000 MJ	oz. 14.240 MWh

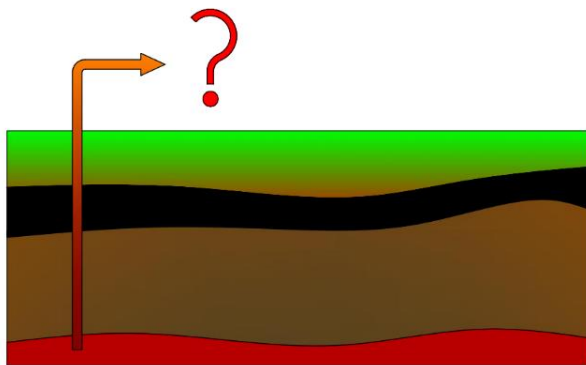
Za primerjavo povejmo, da je pri povprečni letni porabi 14 MWh toplotne energije za posamezno gospodinjstvo, moč s tako pridobljeno toploto ogrevati več kakor 1000 gospodinjstev.

Pri tem je letna poraba električne energije, kakor že navedeno, 195 MWh.

Strošek za električno energijo lahko zmanjšamo z vgradnjo fotovoltaičnega solarnega sistema (FV), ki lahko nadomesti zajeten del potreb po elektriki. V kolikor v navedeni sistem vključimo tudi izgradnjo FV sistema velikosti 100 kW, je moč vsako leto proizvesti ca. 100.000 kWh električne energije ter s tem zagotoviti ca. 20-25 % pokritje lastnih potreb (razlika se oddaja v omrežje).

Za izgradnjo FV elektrarne navedene velikosti potrebujemo 550-600 m² strešne ali druge površine, nanjo pa namestimo ca. 200 FV panelov. Velikost enega FV panela znaša običajno 1 meter v dolžino in 2-2,2 m v širino. V kolikor se v sistem za oskrbo z električno energijo s FV paneli vgradi tudi hranilnik električne energije ustreznih velikosti, je možno s sistemom pokriti potrebe po električni energiji do 80 %. Za navedeni primer zadostuje velikost hranilnika električne energije velikosti 600-700 kWh.

5 Potrebni pogoji za uspešen začetek izvajanja rabe termalne vode



Slika 11: Kako začeti?

Za uspešno zasnovo, načrtovanje in izvedbo projekta rabe geotermalne energije je potrebno predhodno zagotoviti nekaj osnovnih pogojev. Pri tem se ne osredotočamo na poslovni načrt, ki opredeljuje osnovno dejavnost (gradnja hotelskega kompleksa s kopališčem, gradnja rastlinjakov za vzgojo vrtnin ,...), pač pa na učinkovito rabo geotermalne energije. Potrebno se je osredotočiti na naslednja področja:

- hidrogeološke danosti območja, kjer se vrši nameravana gradnja,
- način financiranja projekta,
- dejanski pretoki in temperatura termalne vode,
- fizikalne in kemične lastnosti vode in
- razpoložljiva elektro-energetska infrastruktura na območju predvidene gradnje.

Poglavitna stroška, ki ju investitor plačuje za potrebe ogrevanja objektov in (ali) bazenskih sistemov v primeru rabe geotermalne energije, sta strošek električne energije za pogon črpalk ter drugih naprav, ki so vgrajene v ogrevalni sistem ter dajatve za rabo naravnega vira (koncesijska dajatev za rabo termalne vode). Višina koncesijskih dajatev je predpisana z zakonom in odvisna od vrste koncesije oz. zakonske osnove (Zakon v vodah ali Zakon o rudarstvu). Koncesijska dajatev se v praksi bistveno zmanjša, v kolikor se voda po rabi toplote vrača v vodonosnik.

6 Idejni projekt za prestrukturiranje sistema daljinskega ogrevanja Murske Sobote in vključitev virov geotermalne energije

6.1 Uvod

V tem poglavju predstavljamo nastavke idejnega projekta za prestrukturiranje sistema daljinskega ogrevanja Murske Sobote vzdolž obstoječega cevovoda in z možnostjo njegove razširitve med geotermalnima vrtinama Sob-1 in Sob-4 z analizo energetskega potreb možnih javnih porabnikov toplote in hladu. Zaradi svoje lokacije in naravnih danosti velja mesto Murska Sobota za obetavno nizko energetska mesto, ki bi lahko v prihodnje večino javnih objektov ogrevala s pomočjo termalne vode. Potencialni geotermalni viri za potrebe ogrevanja v Murski Soboti zaokrožujejo tri vrtine v lasti Mestne občine Murska Sobota in sicer Sob-1, Sob-3g in Sob-4g. Sob-2 je v zasebni lasti.

6.2 Analiza naravnega vira

Geotermalni potencial za direktno rabo geotermalne energije določamo z upoštevanjem najvišjega pretoka vode pri trajnostni rabi, vhodne temperature termalne vode v sistem koriščenja in izhodne temperature iz njega. V Murski Soboti so zgrajene štiri geotermalne vrtine (Slika 12).



Slika 12: Lokacije štirih geotermalni vrtin v Murski Soboti

Na območju Murske Sobote se regionalni peščen vodonosnik v Murski formaciji nahaja na globinah približno med 500 in 800 m (povzeto po LEK (Envirodual, 2020)). Nekaj podatkov povzema tudi Vratarič (2011). Globlje plasti, to so peščenjaki v Lendavski formaciji in kamnine v podlagi, so le nizko izdatne (povzeto po LEK (Envirodual, 2020)).



Slika 13: Izgled jedra iz vrtine Sob-4: vodonosnega slabo sprijetega peščnjaka na 890 m globine (levo) ter neprepustne metamorfne kamnine na dnu vrtine na globini 1197 m (desno). Foto: N. Rman

Tu so štiri namenske geotermalne vrtine. Sob-1/87, globoka 870 m in s termalno vodo s približno 49 °C, se je uporabljala do vključno leta 2015 za daljinsko ogrevanje dela mesta, upravljelec je bila Komunala MS. Še vedno (l. 2020) se uporablja 887 m globoka vrtina Sob-2/88 v Hotelu Diana, ki ima približno 48 °C. Obe vrtini sta imeli na začetku visoko izdatnost (do 25 l/s), brez reinjekcije pa je ta izdatnost danes bistveno nižja, <10 l/s, opazi se tudi ciklično nihanje temperature in mineralizacije vode v odvisnosti od režima črpanja (Slika 14). Ekonomičnost rabe teh geotermalnih vrtin je v veliki meri pogojena z njihovo kapaciteto. Medtem ko je temperatura vode zelo primerna za zaporedno-kaskadno rabo.

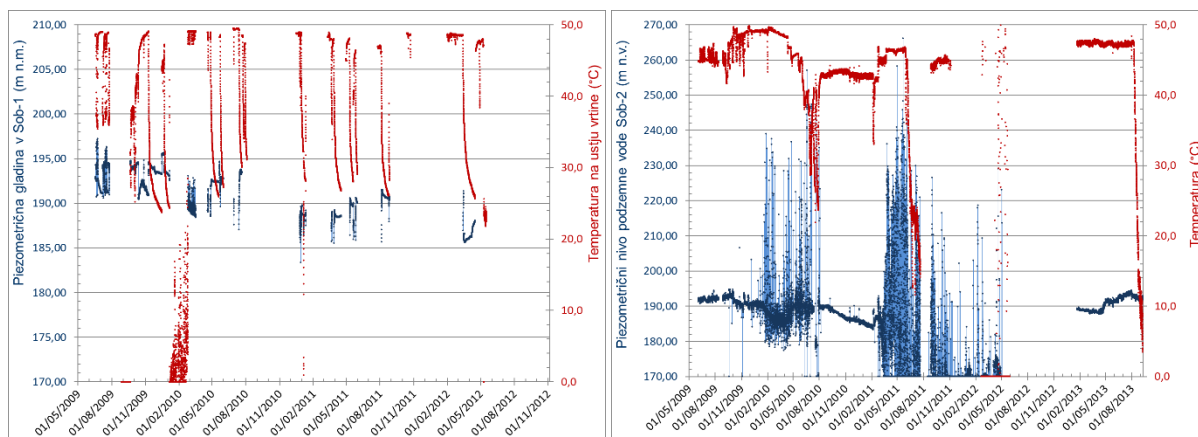
Vrtina Sob-3g/12, globoka 1.501 m, je bila izvrtana leta 2012 za namen proizvodnje termalne vode v Černelavcih. Ocenjeno je bilo, da bi lahko zagotovila tudi več kot 10 l/s vode s 55 °C, vendar ustrezen daljši črpalni preizkus še ni bil izveden. Leta 2013 je bila izvrtana 1.201 m globoka vrtina Sob-4g/13, z namenom vračati toplotno izrabljeno termalno vodo nazaj v vodonosnik (za reinjeciranje). Obe vrtini sta prevrtali tudi spodaj ležečo Lendavsko formacijo in dosegli tudi predterciarno kamninsko podlago. Ob izdelavi je bila njuna izdatnost ravno tako dobra, več deset litrov na sekundo, pri čemer pa je pretežni del termalne vode iz Murske formacije.

LEK (Envirodual, 2020) podaja oceno rabe geotermalne energije v Mestni občini Murska Sobota kot 9,9 GWh/leto v letu 2019 iz plitve geotermalne energije (geotermalnih toplotnih črpalk) in do 2,4 GWh/leto iz globoke geotermalne energije (termalne vode). Zmogljivosti rabe termalne vode je bila ocenjena na okoli 462 kW (4,8 l/s z vhodno temperaturo 44 in izhodno 21 °C), raba pa je bila nekje 2,8 l/s termalne vode s temperaturno razliko 23 °C, kar zneso 2,38 GWh/leto. Globina zajema geotermalnega vodonosnika je 557 – 856 m, kapaciteta 820 W. Vhodna temperatura vode je 49 °C, izhodna temperatura 30 °C, maksimalni pretok 10,3 kg/s, povprečni letni pretok 7 kg/s. Proizvedena toplota 4.872 MWh/a, faktor izkoristka 0,68. Po podatkih Nafta Geoterm je bil z vrtino Sob-4g zajet potencial s konično močjo $P = 5,4 \text{ MWt}$ pri količini črpanja 43 l/s in temperaturni razliki 30 °C. Če privzamemo, da bi s štirimi obstoječimi geotermalnimi vrtinami zagotovili možno povprečno letno količino črpanja vsaj 10 l/s, bi to predstavljalo 11,2 GWh/leto. LEK podaja, da morajo biti novi sistemi rabe geotermalne energije načrtovani v sistemu z vračanjem vode in s toplotnim izkoristkom vsaj 70 %. Usmeritev občine mora biti raba te energije namesto kurilnega olja.

Termalna voda v Murski Soboti je $\text{Na}^+\text{HCO}_3^-$ hidrogeokemijskega tipa in ima od 2,5 do 3,1 g/l skupnih raztopljenih snovi, medtem ko jih imata vodi iz Sob-3g/12 in Sob-4g/13 celo do 7 g/l. Voda vsebuje veliko prostega plina CO_2 ,

ki lahko povzroča nenadne plinske izbruhe in korozijo cevi. Tudi to zahteva iskanje rešitev z izvedbo zaprtega sistema vračanja vode. Obarjanje mineralov se ni izkazalo kot težava.

Za doseganje ekonomske kapacitete vrtin je verjetno potrebna vpeljava zaprtega sistema rabe toplote (preureditev ustja, da voda ne bo prišla v stik z zrakom in se bo pod tlakom črpala iz vrtin, na toplotnih izmenjevalcih oddala energijo, nato pa reinjecirala nazaj v vodonosnik). To bo preprečevalo tudi plinske izbruhe. S tem se bo ohranjala razpoložljiva količina vode, povečala proizvodna kapaciteta vrtin, preprečile tehnološke težave zaradi prostega plina in zmanjšala kemična in toplotna obremenitev čistilnih naprav ali površinskih vodotokov, v katere bi sicer bila odvedena odpadna termalna voda.



Slika 14: Obratovalni podatki vrtine Sob-1 in Sob-2 med leti 2009 in 2013 - gladina in temperatura vode (Rman, 2013).



Slika 15: Izgled ustja vrtine Sob-1 (levo) in Sob-2 (desno) okoli leta 2013, ko sta še bili v uporabi



Slika 16: Na območju vrtine Sob-4 je postavljen interpretacijski center geotermalne energije

6.3 Analiza toplotnih potreb objektov

Glede na prostorsko umestitev obstoječih vrtin in objektov v okolici obstoječe infrastrukture so bili kot potencialni objekti, ki jih je moč priključiti na geotermalni vir izbrani naslednji (Slika 17):

- Gledališče Murska Sobota
- Grad Murska Sobota
- Zdravstveni dom Murska Sobota
- Igrišče za tenis
- Prostori in nogometno igrišče NK Mura

V LEK (2020) so na voljo energetske podatki za Gledališče Murska Sobota, Grad Murska Sobota in Zdravstveni dom Murska Sobota (Tabela 2) ter sposobnost proizvodnje FV električne energije.

Tabela 2: Ocena energetskih potreb in potenciala proizvodnje energije iz LEK (Envirodual, 2020)

	Kondicionirana površina objekta (m ²)		Specifična poraba energije – toplotna energija (kWh/m ²)	Specifična poraba energije – električna energija (kWh/m ²)	Skupna nazivna moč FV elektrarne na površini z velikim potencialom ob namestitvi FV modulov z	Predvidena letna proizvodnja el. energije na strehi z velikim potencialom iz FV modulov nazivne moči
Zdravstveni dom: objekt 2 – uprava, zobna ambulanta	82	Skupna kotlovnica v Grajski ulici 24 na zemeljski plin, ogrevanje z daljinsko toploto	179	7		
Zdravstveni dom: objekt 3 – pljučni disp., NMP	1.307		134	7		
Zdravstveni dom: objekt 4 – reševalna postaja	185		178	8		
Zdravstveni dom: objekt 5 – otroški, ženski dispanzer	1680		141	7		
Zdravstveni dom: objekt 6 – laboratorij	207		166	8		

	Kondicionirana površina objekta (m ²)		Specifična poraba energije – toplotna energija (kWh/m ²)	Specifična poraba energije – električna energija (kWh/m ²)	Skupna nazivna moč FV elektrarne na površini z velikim potencialom ob namestitvi FV modulov z	Predvidena letna proizvodnja el. energije na strehi z velikim potencialom iz FV modulov nazivne moči
Gledališče Park Murska Sobota	1459	Za pripravo ogrevnega medija in sanitarne tople vode uporablja odpadno termalno vodo, vod poteka ob objektu –nameščena je toplotna črpalka voda-voda. Sekundarni energent je zemeljski plin.	0	166	5	5.507
Grad Murska Sobota		Trubarjev drevored 4			63	71.398



Slika 17: Lokacije objektov

Za namene te energetske analiza je MO Murska Sobota v letu 2024 zagotovila podatke, da smo lahko izračunali konične in predvidene mesečne potrebe po toplotni energiji za posamezni objekt, ki so prikazani tudi v obliki črtnega diagrama. Podnebni podatki so povzeti po:

http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/graph/sl/by_location/murska-sobota/climate-diagram_81-10_murska-sobota.pdf.

Tabela 3: Gledališče

Mesec	z (dni)	tam*	Gt	K	št. ogrev. ur letno [h]	Qog [MWh]
jan	31	-1,1	716,1	0,19	2000	25
feb	28	0,8	593,6	0,16	2000	21
mar	31	5,5	511,5	0,14	2000	18
apr	18	10,5	207	0,06	2000	7
maj	/	15,7	/	/	/	0
junij	/	18,8	/	/	/	0
julij	/	20,6	/	/	/	0
avgust	/	19,7	/	/	/	0
sept	18	15,2	122,4	0,03	2000	4
okt	31	10,2	365,8	0,10	2000	13
nov	30	4,6	522	0,14	2000	18
dec	31	0,1	678,9	0,18	2000	24
skupaj:			3717,3			130

Tabela 4: Grad

Mesec	z (dni)	tam*	Gt	K	št. ogrev. ur letno [h]	Qog [MWh]
jan	31	-1,1	716,1	0,19	2000	46
feb	28	0,8	593,6	0,16	2000	38
mar	31	5,5	511,5	0,14	2000	33
apr	18	10,5	207	0,06	2000	13
maj	/	15,7	/	/	/	0
junij	/	18,8	/	/	/	0
julij	/	20,6	/	/	/	0
avgust	/	19,7	/	/	/	0
sept	18	15,2	122,4	0,03	2000	8
okt	31	10,2	365,8	0,10	2000	24
nov	30	4,6	522	0,14	2000	34
dec	31	0,1	678,9	0,18	2000	44
skupaj:			3717,3			240

Tabela 5: ZD Murska Sobota

Mesec	z (dni)	tam*	Gt	K	št. ogrev. ur letno [h]	Qog [MWh]
jan	31	-1,1	716,1	0,19	2000	127
feb	28	0,8	593,6	0,16	2000	105
mar	31	5,5	511,5	0,14	2000	91
apr	18	10,5	207	0,06	2000	37
maj	/	15,7	/	/	/	0
junij	/	18,8	/	/	/	0
julij	/	20,6	/	/	/	0
avgust	/	19,7	/	/	/	0

Mesec	z (dni)	tam*	Gt	K	št. ogrev. ur letno [h]	Qog [MWh]
sept	18	15,2	122,4	0,03	2000	22
okt	31	10,2	365,8	0,10	2000	65
nov	30	4,6	522	0,14	2000	93
dec	31	0,1	678,9	0,18	2000	121
skupaj:			3717,3			661

Tabela 6: Igrišče za tenis

Mesec	z (dni)	tam*	Gt	K	št. ogrev. ur letno [h]	Qog [MWh]
jan	31	-1,1	716,1	0,19	1500	29
feb	28	0,8	593,6	0,16	1500	24
mar	31	5,5	511,5	0,14	1500	21
apr	18	10,5	207	0,06	1500	8
maj	/	15,7	/	/	/	0
junij	/	18,8	/	/	/	0
julij	/	20,6	/	/	/	0
avgust	/	19,7	/	/	/	0
sept	18	15,2	122,4	0,03	1500	5
okt	31	10,2	365,8	0,10	1500	15
nov	30	4,6	522	0,14	1500	21
dec	31	0,1	678,9	0,18	1500	27
skupaj:			3717,3			150

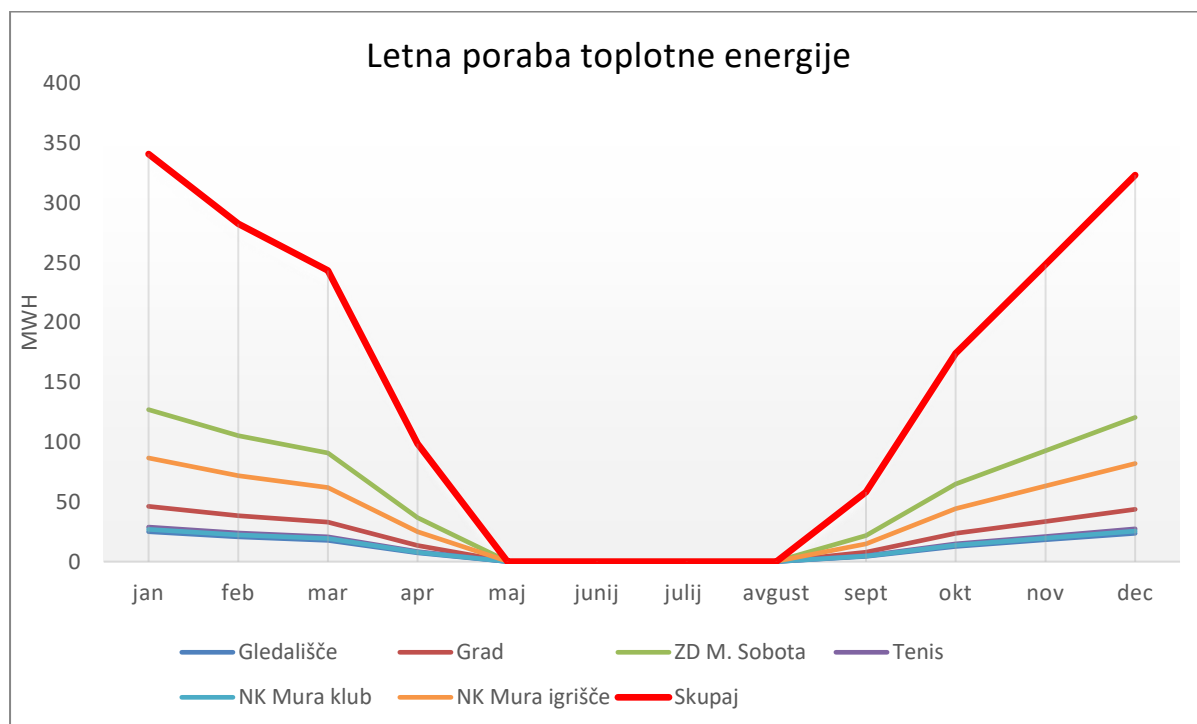
Tabela 7: Klubski prostori NK Mura

Mesec	z (dni)	tam*	Gt	K	št. ogrev. ur letno [h]	Qog [MWh]
jan	31	-1,1	716,1	0,19	2000	27
feb	28	0,8	593,6	0,16	2000	22
mar	31	5,5	511,5	0,14	2000	19
apr	18	10,5	207	0,06	2000	8
maj	/	15,7	/	/	/	0
junij	/	18,8	/	/	/	0
julij	/	20,6	/	/	/	0
avgust	/	19,7	/	/	/	0
sept	18	15,2	122,4	0,03	2000	5
okt	31	10,2	365,8	0,10	2000	14
nov	30	4,6	522	0,14	2000	20
dec	31	0,1	678,9	0,18	2000	26
skupaj:			3717,3			140

Tabela 8: Igrišče NK Mura

Mesec	z (dni)	tam*	Gt	K	št. ogrev. ur letno [h]	Qog [MWh]
jan	31	-1,1	716,1	0,19	1500	87
feb	28	0,8	593,6	0,16	1500	72
mar	31	5,5	511,5	0,14	1500	62
apr	18	10,5	207	0,06	1500	25
maj	/	15,7	/	/	/	0

junij	/	18,8	/	/	/	0
julij	/	20,6	/	/	/	0
avgust	/	19,7	/	/	/	0
sept	18	15,2	122,4	0,03	1500	15
okt	31	10,2	365,8	0,10	1500	44
nov	30	4,6	522	0,14	1500	63
dec	31	0,1	678,9	0,18	1500	82
skupaj:			3717,3			451



Slika 18: Letni režim porabe toplotne energije izbranih objektov po mesecih

6.4 Analiza potrebne konične toplotne energije

Za potrebe nadaljnjih analiz in razvoja projekta je potrebna skrbna določitev potrebne konične toplotne energije. Skladno z navedeno analizo toplotnih potreb, ob predpostavki, da kot vir črpamo termalno vodo iz ene vrtnine vrtno in vodo vračamo v vodonosnik s temperaturo 50 °C in jo izkoristimo do temperature 30 °C, je potrebna najmanjša količina črpanja naslednja:

Potrebna toplotna moč za ogrevanje objektov: 2548 kW
Rezerva 10% (izgube prenosa,...): 250 kW
Skupaj: 2798 kW

Temperatura termalne vode: 50 °C
Temperatura toplotno izrabljene termalne vode: 30 °C
Potreben ocenjen konični pretok termalne vode: 33,4 l/s

Trenutno razpoložljivi podatki o termalnih virih so naslednji:

Vrtina	Količina termalne vode (l/s)	Temperatura na ustju (°C)
Sob-1	7	49
Sob-2	7	48
Sob-3	28,7	53
Sob-4	20	54
Skupaj	62,7	48-54

Glede na spremenljivo potrebno količino toplote, ki je odvisna od zunanjih pogojev, je sistem potrebno zasnovati in izgraditi tako, da je možno spremenljivo črpanje in reinjekcija vode iz več vrtin. Zaradi dolgotrajne rabe vrtin je depresijski radij na območju vrtin Sob-1 in Sob-2 največji, tlaki na ustju vrtin pa so najvišji na Sob-4. Zato se predlaga, da bi se sistem rabe preusmeril – iz smeri od Sob-1 proti Sob-4 (Slika 19), torej proti severu, bi termalno vodo raje črpali iz Sob-4 in izrabljali na njeni poti do Sob-1 in/ali Sob-2, ki bi služile kot reinjekcijske vrtine. V primeru aktivacije Sob-3, bi ta lahko zagotavljala toploto za SZ del mesta, ali pa dopolnjevala potrebne količine za optimalno delovanje sistema rabe Sob-4.



Slika 19: Lokacije štirih geotermalni vrtin v Murski Soboti

6.5 Zaključek

Na osnovi pridobljenih in analiziranih podatkov je moč zaključiti, da obstajajo osnovni pogoji za pristop k izvedbi nadaljnjih aktivnosti v zvezi s prestrukturiranje sistema daljinskega ogrevanja Murske Sobote vzdolž obstoječega cevovoda. Cevovod je potrebno vzpostaviti (vsaj) med vrtinami Sob-1 in Sob-4 in poskrbeti za umestitev ustrezne filtrirne postaje pred bodočo reinjekcijsko vrtino (Sob-1 ali Sob-2). V naslednji fazi se predlaga načrtovanje in izvedba črpalnih preskusov v sistemu para črpalno-reinjekcijske vrtine, s čimer bo moč natančneje definirati dejansko kapaciteto sistema rabe in za tem idejno zasnovati celovit cevni sistem ter definirati ostalo potrebno infrastrukturo in opremo za priklop posameznih uporabnikov ter možnost povezave sončnih elektrarn za delovanje potrebnih črpalk.

Pri zasnovi sistema je potrebno posebno skrb posvetiti predvsem:

- načinu izvedbe kaskadne rabe in določitvi temperaturnih nivojev posameznih porabnikov (npr. nogometno igrišče zahteva bistveni nižji temperaturni vir kakor radiatorsko ogrevanje gradu)
- umestitev cevne trase
- umestitev potrebnih objektov (zalogovniki termalne vode, filtrirni sistemi)
- umestitev električne infrastrukture (zajemna/črpalna in povratna/reinjekcijska vrtina).



7 Literatura

Envirodual, d.o.o. 2020: Lokalni energetske koncept Mestne občine Murska Sobota.

Galeasso, L., Cornaglia, M., Lo Curzio, M. et al. 2021: Transnational evaluation report on pilot actions D.T2.3.3, project STORE4HUC, 52 PP. <https://programme2014-20.interreg-central.eu/Content.Node/Store4HUC/CE1344-Store4HUC-D.T2.3.3-Transnational-evaluation-report-on.pdf>

Jug, M. 2017: Sistemska obratovalna navodila za distribucijski sistem toplote na geografskem območju občine Lendava. Petrol Geoterm d.o.o., Lendava, <https://www.petrol.si/binaries/content/assets/www/2018/pages/za-dom/energenti/daljinsko-ogrevanje/lendava/sistemska-obratovalna-navodila-za-distribucijski-sistem-toplote-na-geografskem-obmocju-obcine-lendava.pdf>

Lendavainfo, 2023a: Je v Lendavi obstoječe daljinsko ogrevanje še možno razširjati? Lendavainfo.com on-line media on 04.02.2023, <https://lendavainfo.com/je-v-lendavi-obstojece-daljinsko-ogrevanje-se-mozno-razsirjati/>

Lendavainfo, 2023b: Daljinsko ogrevanje se bo že novembra podražilo! Lendavainfo.com on-line media on 13.10.2023, <https://lendavainfo.com/daljinsko-ogrevanje-se-bo-ze-novembra-podrazilo/>

Petrol d.d., 2024: Daljinsko ogrevanje v Lendavi. <https://www.petrol.si/za-dom/energenti/daljinsko-ogrevanje/lendava>

Torhač, E., Goričanec, D., Andrejevič, S., Saljnikov, S., Kroppe, J. 2011: New high temperature heat pumps for exploiting low-temperature sources. Research Journal of Chemistry and environment 15/2, 1-6.

Vratarič, V. 2011: Načrtovanje izrabe geotermalne energije v Mestni občini Murska Sobota. Diplomsko delo visokostrokovnega študijskega programa. Maribor: Fakulteta za gradbeništvo, Univerza v Mariboru.