

Metodologija analize naravnih danosti za karakterizacijo izbranega pilotnega območja

Analiza naravnih danosti za karakterizacijo izbranega pilotnega območja (DP 3, M3.1)

CRP projekt št. V1-2213 »GeoCOOL FOOD - Hladno skladiščenje hrane z rabo plitve geotermalne energije«



<https://fr.termodizayn.com/#>

Naročnik:	Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano - MKGP, Dunajska cesta 22, 1000 Ljubljana in Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije – ARIS, Bleiweisova cesta 30, 1000 Ljubljana
Izvajalec:	GEOLOŠKI ZAVOD SLOVENIJE Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana
Št. pogodbe:	2330-22-000245 z dne 23. 10. 2022
Ponudba:	razpis CRP »Naša hrana, podeželje in naravni viri" vloga št. 031
Evidenčna številka:	631-301_2025
Število izvodov:	2 GeoZS + pdf za MKGP
Projekt:	projekt V1-2213, GeoCOOL FOOD - Hladno skladiščenje hrane z rabo plitve geotermalne energije
Naslov poročila:	M3.1 Metodologija analize naravnih danosti za karakterizacijo izbranega pilotnega območja
Datum izdelave:	15. oktober 2025
Avtorji Geološki zavod Slovenije:	mag. Joerg Prestor, univ. dipl. inž. geol. Simona Pestotnik, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž. dr. Simona Adrinek, mag. inž. geol. <i>tal</i> mag. Dušan Rajver, univ. dipl. inž. geol. <i>K</i> doc. dr. Nina Rman, univ. dipl. inž. geol. <i>K</i>
Vodja projekta:	doc. dr. Nina Rman, univ. dipl. inž. geol. <i>K</i>
Vodja organizacijske enote GeoZS:	dr. Sonja Cerar, univ. dipl. inž. geol. <i>cr</i>
Direktor GeoZS:	dr. Miloš Bavec, univ. dipl. inž. geol. <i>mp</i>
Ključne besede:	Geosonde, Geotermalna energija, Geotermične raziskave, Jedra, Modeliranje

**VSEBINA**

Projektna naloga	6
1. ANALIZE RAZPOLOŽLJIVIH PROSTORSKIH PODATKOV	1
1.1. Možnosti uporabe sistemov geotermalnih toplotnih črpalk	1
1.2. Hidrogeološka karta Slovenije	3
1.3. Toplotne prevodnosti vrhnjih geoloških plasti v Sloveniji 1:100.000	4
1.4. Volumske toplotne kapacitete kamnin in zemljin v Sloveniji 1:100.000	4
1.5. Porazdelitve temperatur na površini trdnih tal	5
1.6. Temperature (°C) pod površjem na globini 100 m	6
1.7. Gostota toplotnega toka.....	7
1.8. Karta gladin podzemne vode	8
1.9. Povprečne temperature podzemne vode v plitvih vodonosnikih	9
2. OCENA GEOTERMALNEGA POTENCIALA ZA NAMENE HLAJENJA V KMETIJSTVU ZA SLOVENIJO... 10	10
2.1. Metodologija karte geotermalnega potenciala za hlajenje v kmetijstvu	10
2.1.1. Značilne geotermične razmere.....	10
2.1.2. Vpliv podnebnih značilnosti kraja.....	14
2.1.3. Vpliv mejne temperature delovne tekočine	14
2.1.4. Vpliv postavitve geosonde.....	15
2.1.5. Vpliv uravnotežene rabe	16
2.1.6. Vpliv toka podzemne vode	17
2.1.7. Geotermalni potencial vodnjakov v tipičnih aluvialnih vodonosnikih v Sloveniji	19
2.2. Karta geotermalnega potenciala za hlajenje	20
2.2.1. Grafični prikaz karte	20
2.2.2. Metapodatki	21
3. PILOTNO OBMOČJE	23
1. PRILOGA - Deleži temperaturnih presežkov in primanjkljajev na izbranih območjih	24
2. PRILOGA - Trendi letnega temperaturnega presežka	26
3. PRILOGA - Ocena geotermalnega potenciala vodnjakov.....	28
4. PRILOGA - Terenski ogledi za izbor pilotnega primera	38

KAZALO SLIK

Slika 1. Pregled obstoječih slojev pri načrtovanju pridobivanja hladu iz tal.....	1
Slika 2. Toplotne prevodnosti geoloških plasti smo razvrstili v osem razredov.	11
Slika 3. Razredi toplotnih prevodnosti geoloških plasti in temperature tal.....	11
Slika 4. Odvisnost geotermalnega potenciala za hlajenje (MWh/leto) od prevodnosti in temperature tal (Geosonda 2 × 50 m, izključno hlajenje, delovna tekočina $T_{\max} = 24^{\circ}\text{C}$).	13
Slika 5. Razredi geotermalnega potenciala za hlajenje v kmetijstvu v Sloveniji in njihovi deleži glede na kmetijska zemljišča.	13
Slika 6. Pregled vpliva posameznih faktorjev potenciala geosond za hlajenje.	17
Slika 7. Konceptualni modeli petih slovenskih aluvialnih vodonosnikov z glavnimi vhodnimi geotermičnimi in hidrogeološkimi parametri za geotermično modeliranje.	18
Slika 8. Pregled vpliva toka podzemne vode na potencial geosonde za hlajenje na območjih tipičnih slovenskih aluvialnih vodonosnikov.	19
Slika 9. Modelirani geotermalni potencial vodnjakov v tipičnih aluvialnih vodonosnikih v Sloveniji....	19
Slika 10. Karta geotermalnega potenciala za hlajenje v kmetijstvu.....	20
Slika 11. Savska kotlina – zmogljivost vodnjaka (analitično modeliranje po SIA 546 384/7:2015).....	28
Slika 12. Savska kotlina – vplivno območje (modeliranje z GED – Groundwater Energy Designer).	29
Slika 13. Savinjska kotlina – zmogljivost vodnjaka (analitično modeliranje po SIA 546 384/7:2015)..	30
Slika 14. Savinjska kotlina – vplivno območje (modeliranje z GED – Groundwater Energy Designer). .	31
Slika 15. Krška kotlina – zmogljivost vodnjaka (analitično modeliranje po SIA 546 384/7:2015).	32
Slika 16. Krška kotlina – vplivno območje (modeliranje z GED – Groundwater Energy Designer).	33
Slika 17. Dravska kotlina – zmogljivost vodnjaka (analitično modeliranje po SIA 546 384/7:2015)....	34
Slika 18. Dravska kotlina – vplivno območje (modeliranje z GED – Groundwater Energy Designer). ...	35
Slika 19. Murska kotlina – zmogljivost vodnjaka (analitično modeliranje po SIA 546 384/7:2015). ...	36
Slika 20. Murska kotlina – vplivno območje (modeliranje z GED – Groundwater Energy Designer).	37
<i>Slika 21. Lokacije terenskih ogledov z dne 20. 11. 2023, RM, MA, KI in KD.</i>	<i>39</i>
<i>Slika 22. Lokacija hladilnice RM in vodnjakov.</i>	<i>40</i>
<i>Slika 23. Lokacija hladilnice MA.</i>	<i>41</i>
<i>Slika 24. Lokacija hladilnice KI.</i>	<i>42</i>
<i>Slika 25. Lokacija hladilnice KD.</i>	<i>43</i>
<i>Slika 26. Lokacije opravljenih terenskih pregledov.</i>	<i>44</i>
<i>Slika 27. Lokacija hladilnice SR.</i>	<i>45</i>
<i>Slika 28. Lokacija hladilnice JJ.</i>	<i>45</i>
<i>Slika 29. Lokacija hladilnice ZM.</i>	<i>46</i>
<i>Slika 30. Lokacija hladilnice SR.</i>	<i>47</i>
<i>Slika 31. Lokacija hladilnice ZM.</i>	<i>48</i>
<i>Slika 32. Lokacija hladilnice MM.</i>	<i>49</i>
<i>Slika 33. Lokacija hladilnice 45, SP.</i>	<i>51</i>
<i>Slika 34. Lokacija hladilnice 39, KT.</i>	<i>51</i>
<i>Slika 35. Lokacija hladilnice 16, AP.</i>	<i>52</i>

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1. Parametri geosonde - vhodni podatki, uporabljeni pri modeliranju.	12
Preglednica 2. Energija E (MWh/leto) pri različnih geotermičnih pogojih.	12
Preglednica 3. Razlike v oceni geotermalnega potenciala za hlajenje v odvisnosti od podnebnih značilnosti.....	14
Preglednica 4. Vpliv mejne temperature delovne tekočine na količino oddane toplote v podtalje.	15
Preglednica 5. Ocena geotermalnega potenciala za hlajenje z geosondo na aluvialnih vodonosnikih (2 × 50 m, T _{max} = 24 °C).	17
<i>Preglednica 6. Terenski pregledi hladilnic.</i>	<i>23</i>
<i>Preglednica 7. Pregled geotermičnih podatkov za terenske ogled, 20. 11. 2023.</i>	<i>38</i>
<i>Preglednica 8. Pregled geotermičnih podatkov za terenske ogled, 24. 11. 2023.</i>	<i>44</i>
<i>Preglednica 9. Pregled geotermičnih podatkov za terenski ogled, 19. 1. 2024.</i>	<i>49</i>
<i>Preglednica 10. Pregled geotermičnih podatkov za terenske ogled, 7. 2. 2024.</i>	<i>50</i>
Preglednica 11. Pregled geotermičnih podatkov.....	52

KAZALO PRILOG

PRILOGA 1. Deleži temperaturnih presežkov in primanjkljajev na izbranih območjih.	24
PRILOGA 2. Trendi letnega temperaturnega presežka.	26
PRILOGA 3. Ocena geotermalnega potenciala vodnjakov v značilnih aluvialnih vodonosnikih.	28
PRILOGA 4. Terenski ogledi za izbor pilotnega primera.....	38

Projektna naloga

DP 3: Analiza naravnih danosti za karakterizacijo izbranega pilotnega območja

V prvem koraku analize naravnih danosti bomo v regionalnem merilu analizirali razpoložljive prostorske podatke v geografskem informacijskem sistemu, da bomo izdelali oceno geotermalnega potenciala za namene hlajenja za celotno Slovenijo. Pri tem bomo nadgradili obstoječo metodologijo za analizo naravnih danosti z vsaj naslednjimi podatki in njihovo evaluacijo:

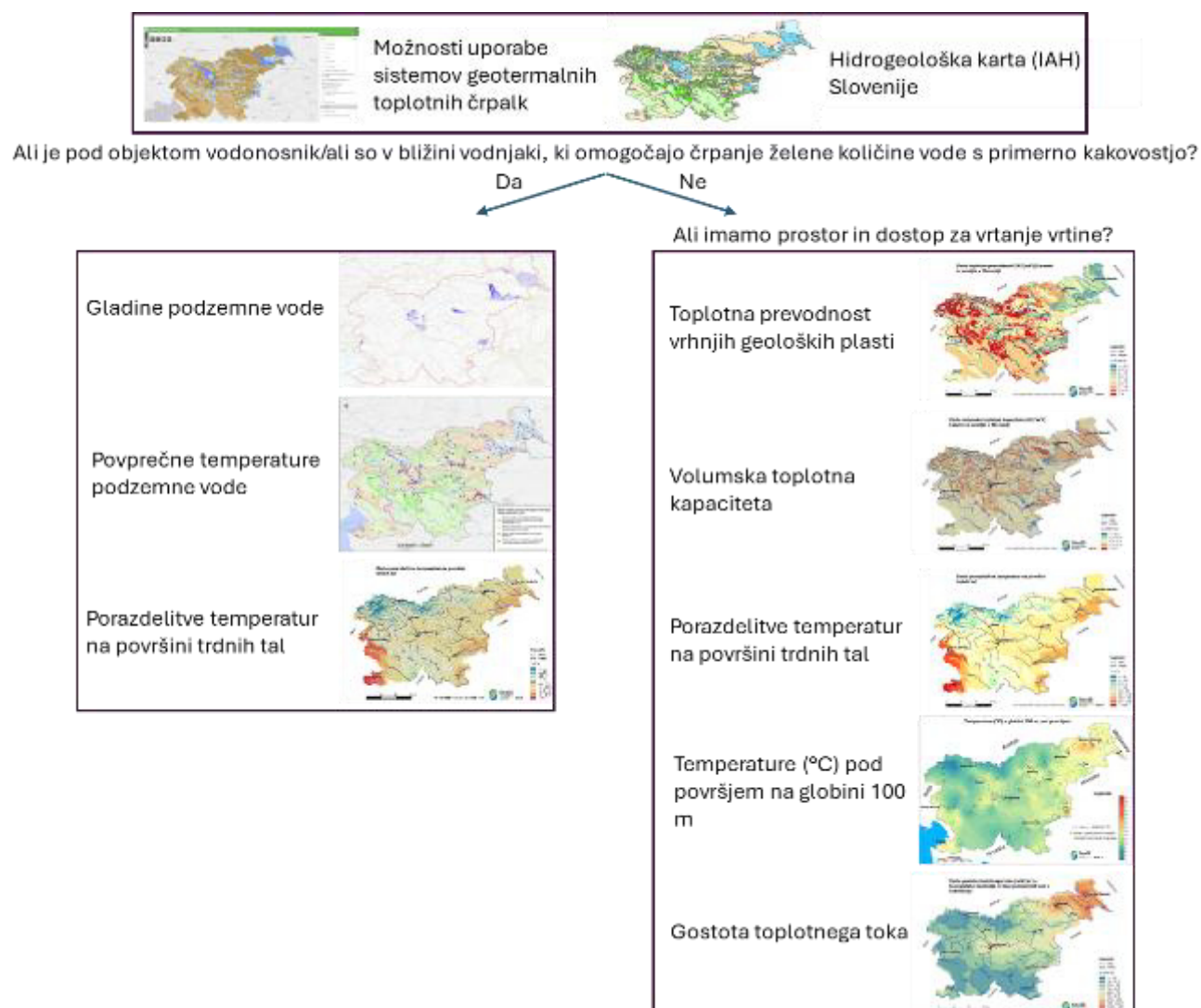
1. Možnosti uporabe sistemov geotermalnih toplotnih črpalk, eGeologija. Prestor, J, Rajver, D. Pestotnik, S. 2015: Karta možnosti uporabe geotermalnih toplotnih črpalk = Map of the possibility of using geothermal heat pumps. Geološki zavod Slovenije.
2. Karta toplotne prevodnosti vrhnjih geoloških plasti v Sloveniji 1:100.000, GeoZS, Ministrstvo za infrastrukturo. Pestotnik, S., eGeologija; Prestor, J., Pestotnik, S., Rajver, D., Jež, J., Gerčar, D., Klančič, K., Svetina, J. Analize potenciala plitve geotermalne energije v Sloveniji do leta 2050, za projekt LIFE ClimatePath2050 (LIFE 16 GIC/SI/000043). Ljubljana: Inštitut Jožef Stefan, 2018. 59 str.
3. Karta volumske toplotne kapacitete kamnin in zemljin v Sloveniji 1:100.000, GeoZS, Ministrstvo za infrastrukturo. Pestotnik, S., eGeologija.; Prestor, J., Pestotnik, S., Rajver, D., Jež, J., Gerčar, D., Klančič, K., Svetina, J. Analize potenciala plitve geotermalne energije v Sloveniji do leta 2050, za projekt LIFE ClimatePath2050 (LIFE 16 GIC/SI/000043). Ljubljana: Inštitut Jožef Stefan, 2018. 59 str.
4. Karta porazdelitve temperatur na površini trdnih tal. 2018. M1:100.000, GeoZS, Ministrstvo za infrastrukturo.
5. Temperature (°C) pod površjem na globini 100 m. Rajver, D., Janža M., Lapanje, A.: Geotermična karta - Pričakovane temperature v globini 100 m.
6. Geotermična karta - Gostota toplotnega toka. Rajver, D., eGeologija.
7. Hidrogeološka karta (IAH) Slovenije 1:250.000 vir zajema: Geološka karta Slovenije 1:250.000 (S. Buser, v tisku); Hidrogeološka karta Slovenije, merilo vira: 1:250.000, datum vira: 2004, datum zajema: 2003, datum zadnjega ažuriranja : 2008
8. eGeologija GeoZS, Karta gladin podzemne vode (hidroizohipse), Modelski sistem GROWA - DENUZ/WEKU za regionalno modeliranje toka dušika preko tal in vodonosnikov v površinska vodna telesa Slovenije – novelacija vhodnih podatkovnih slojev v letu 2020; Končno poročilo
9. Povprečne temperature podzemne vode v plitvih vodonosnikih ARSO, 2020.

Mejnik:

M3.1 Metodologija analize naravnih danosti za karakterizacijo izbranega pilotnega območja

1. ANALIZE RAZPOLOŽLJIVIH PROSTORSKIH PODATKOV

Trenutno razpolagamo s tremi sklopi prostorskih podatkov za oceno geotermalnega potenciala. Prvi sklop je generalna karta Možnosti uporabe sistemov geotermalnih toplotnih črpalk in hidrogeološka karta. Drugi sklop so podatki o podzemni vodi, to je karta glavin in povprečne temperature podzemne vode. Tretji sklop so geotermični parametri, v katerem je pet kart z informacijami o toplotni prevodnosti in volumski toplotni kapaciteti kamnin in zemljin, temperaturi na površini in pod površjem na globini 100 m ter gostota toplotnega toka. V nadaljevanju je podan opis obstoječih slojev in kako jih uporabiti.



Slika 1. Pregled obstoječih slojev pri načrtovanju pridobivanja hladu iz tal.

1.1. Možnosti uporabe sistemov geotermalnih toplotnih črpalk

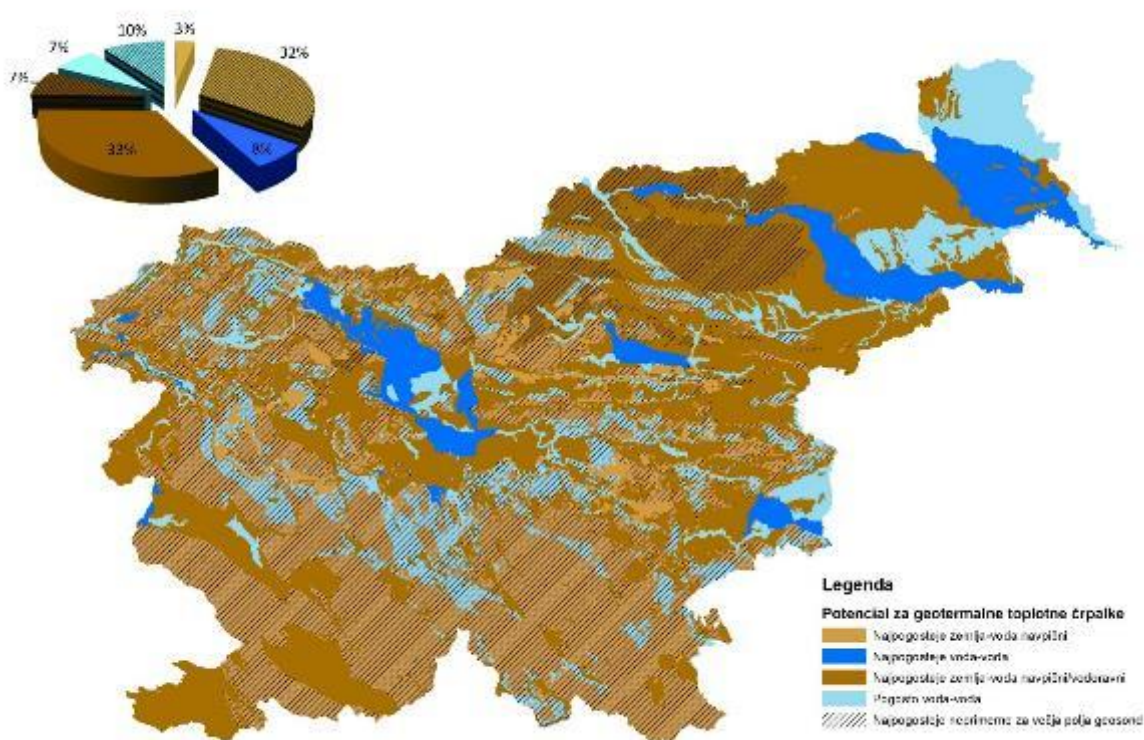
Na karti je ozemlje Slovenije razdeljeno na štiri kategorije glede na pogostost uporabe geotermalnih toplotnih črpalk. Sistemi voda-voda so najpogostejše primerni v nižinskih območjih, kjer so razviti mladi, pliokvartarni nevezani in slabo vezani sedimenti (prod, pesek, melj). Območja, kjer so sistemi voda-voda tudi pogosta izbira, vendar ne povsod najboljša, so predeli s kopenskimi in deltnimi sedimenti

neogenske in pliokvartarne starosti.

Sistemi zemlja-voda z navpičnimi toplotnimi izmenjevalci (geosonde) so najpogostejše najboljša izbira na območjih osrednje, južne in zahodne Slovenije z geološko raznolikimi kamninami, bodisi klastičnimi (peščenjaki, melji) ali karbonatnimi (apnenci, dolomiti).

Sistemi zemlja-voda z navpičnimi in vodoravnimi kolektorji so najpogostejše najboljša izbira na območjih s klastičnimi ali pa celo metamorfnimi in magmatskimi kamninami. Ti sistemi so primerni tudi na večjih območjih s flišnimi in drugimi globokomorskimi kamninami (zgornjekredne starosti). Te geološke plasti pogosto pokriva debelejša plast preperine, ki omogoča preproste izkope do globine 1,5 m, kar je zelo primerno za vodoravne kolektorje.

Zgornjetriasne do spodnjekredne karbonatne kamnine ter metamorfne in magmatske kamnine so lahko neprimerne za večja polja geosond tam, kjer lahko pri njihovi izdelavi naletimo na nepredvidene zaplete, kot so kaverne, zdrobljene tektonske in razpoklinske cone s težavami pri cementaciji, nenadnimi zarušnji v vrtini ali poznejšimi poškodbami zaradi nabrekanja določenih mineralov (sadre, anhidrita, halita, montmorillonita).



UPORABA: Karta je uporabna za namen, da v prvem koraku preverimo ali se lokacija za katero delamo poizvedbo nahaja na območju z bolj ali manj ugodnim plitvim vodonosnikom, oz. na območju kjer so bolj pogoste rešitve z zaprtimi sistemi kolektorjev ali geosond. Karta prikazuje tudi območja, ki so za večja polja geosond lahko problematična.

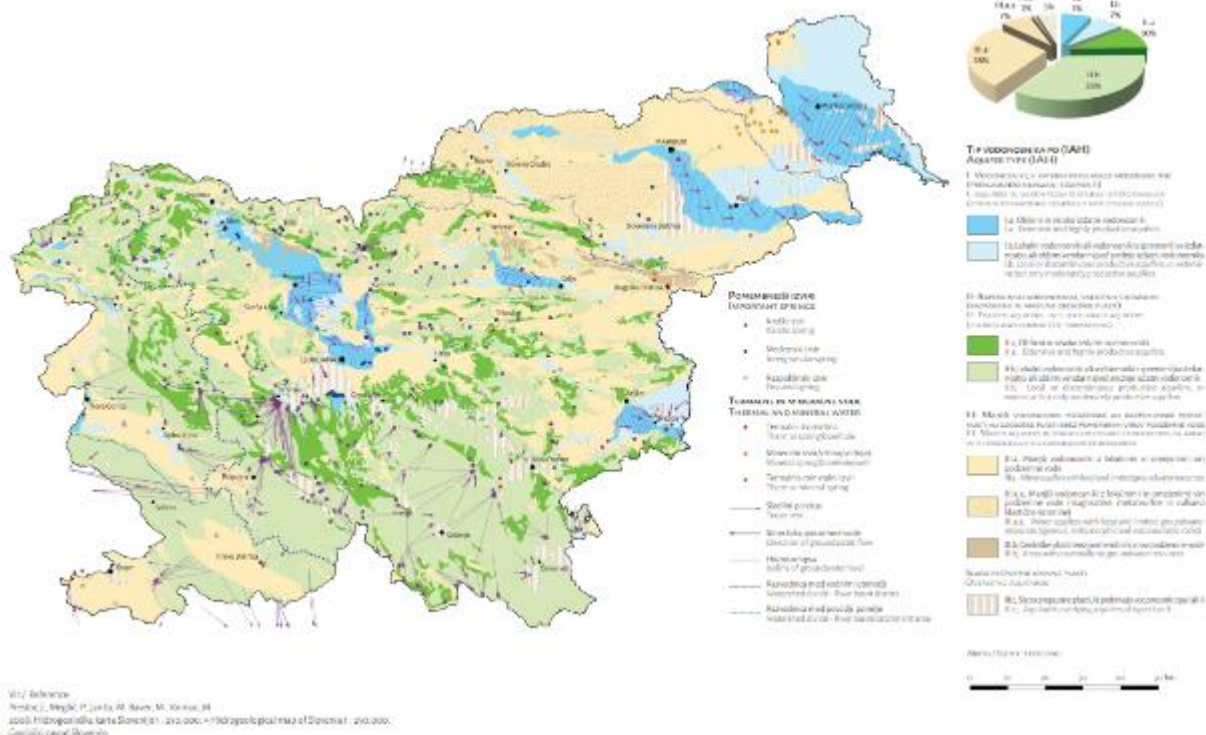
Nadaljujemo s poizvedbo hidrogeoloških enot po IAH klasifikaciji – Poglavje 1.2. Hidrogeološka karta Slovenije.

VIR: Možnosti uporabe sistemov geotermalnih toplotnih črpalk, eGeologija. Prestor, J, Rajver, D. Pestotnik, S. 2015: Karta možnosti uporabe geotermalnih toplotnih črpalk = Map of the possibility of using geothermal heat pumps. Geološki zavod Slovenije.

1.2. Hidrogeološka karta Slovenije

Hidrogeološka karta Slovenije prikazuje ozemlje Slovenije glede na tip poroznosti ter obširnosti in izdatnosti vodonosnikov. Visoka izdatnost pomeni, da je v vodonosniku mogoče izdelati zajetja skupne zmogljivosti več kot 50 l/s, kar zadošča za oskrbo manjšega mesta z vodo. Srednje izdatni vodonosniki omogočajo zajem 2 do 50 l/s, nizko izdatni pa praviloma manj kot 2 l/s. Kraški vodonosniki so prikazani kot vodonosniki s spremenljivo izdatnostjo, od zelo visoke do zelo nizke. Zanimljivo majhen delež ozemlja predstavljajo plasti brez pomembnih virov podzemne vode, kjer ne bi bilo mogoče zajeti vsaj 0,12 l/s, kar zadošča za oskrbo naselja z do 50 prebivalci z vodo.

HYDROGEOLOGICAL MAP



UPORABA: Na karti preverimo izdatnost vodonosnika, stopnje zakrasedlosti (močno – srednje – slabo zakraselo), kot informacija, na katerih območjih je potrebna pozornost. Zakrasele karbonatne kamnine so lahko neprimerne za večja polja geosond tam, kjer lahko pri njihovi izdelavi naletimo na nepredvidene zaplete, kot so kaverne, zdrobljene tektonske in razpoklinske cone s težavami pri cementaciji, nenadnimi zarušenji v vrtini ali kasnejšimi poškodbami. V hidrogeološko karto so vključene tudi druge pomembne hidrogeološke informacije: rezultati sledilnih poskusov, srednje gladine podzemne vode, pomembnejši vodni viri in vodni viri termalne in mineralne vode.

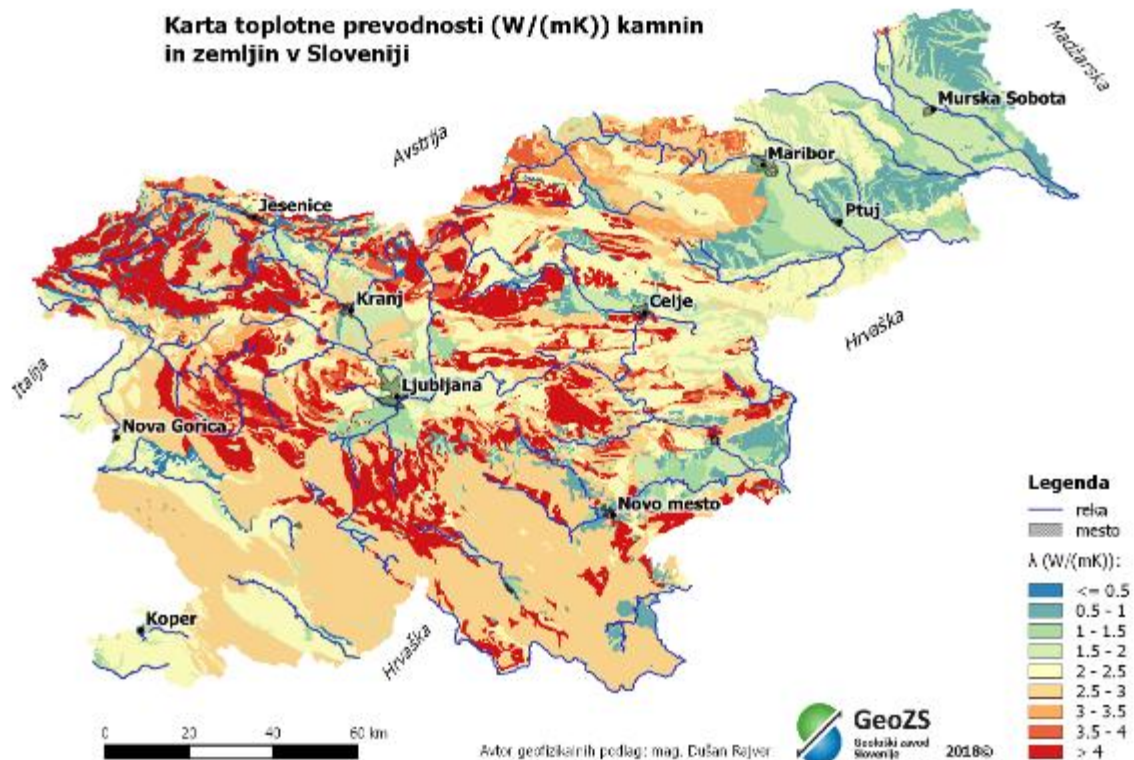
Če gre za poseg na območju ugodnega, plitvega vodonosnika preverimo gladine podzemne vode – Poglavlje 1.8. Karta gladin podzemne vode. V nasprotnem primeru preverimo vrednosti toplotne prevodnosti kamnin in zemljin – Poglavlje 1.3.

VIR: Hidrogeološka karta (IAH) Slovenije 1:250.000 vir zajema: Geološka karta Slovenije 1:250.000 (S.

Buser, v tisku); Hidrogeološka karta Slovenije, merilo vira: 1:250.000, datum vira: 2004, datum zajema: 2003, datum zadnjega ažuriranja: 2008

1.3. Toplotne prevodnosti vrhnjih geoloških plasti v Sloveniji 1:100.000

Karta toplotne prevodnosti vrhnjih geoloških plasti v Sloveniji prikazuje toplotne prevodnosti kamnin in zemljin v $W/(mK)$, ki so privzete na podlagi povprečnih izmerjenih vrednosti za različne kamnine in zemljine, ter pripisane litološkim enotam osnovne geološke karte Slovenije v merilu 1:100.000.



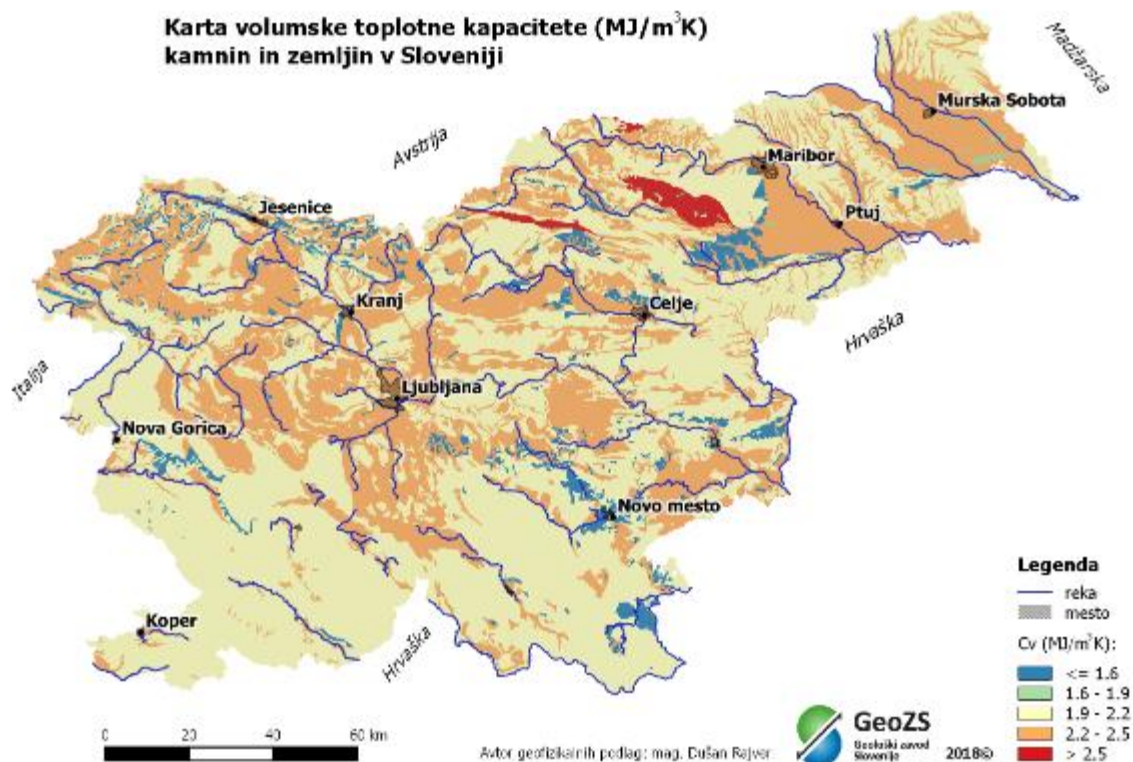
UPORABA: Namen karte je prostorski prikaz vrednosti toplotne prevodnosti kamnin in zemljin v Sloveniji na podlagi katerih lahko izračunamo potencial za izkoriščanje plitvih geotermalnih virov. Predvsem globina geosond je direktno pogojena s toplotno prevodnostjo kamnine, oziroma zemljine v kateri se nahaja.

Nadaljujemo s preverbo volumnske toplotne kapacitete kamnin in zemljin – Poglavje 1.4.

VIR: Karta toplotne prevodnosti vrhnjih geoloških plasti v Sloveniji 1:100.000, GeoZS, Ministrstvo za infrastrukturo. Pestotnik, S., eGeologija; Prestor, J., Pestotnik, S., Rajver, D., Jež, J., Gerčar, D., Klančič, K., Svetina, J. Analize potenciala plitve geotermalne energije v Sloveniji do leta 2050, za projekt LIFE ClimatePath2050 (LIFE 16 GIC/SI/000043). Ljubljana: Inštitut Jožef Stefan, 2018. 59 str.

1.4. Volumnske toplotne kapacitete kamnin in zemljin v Sloveniji 1:100.000

Karta volumnske toplotne kapacitete kamnin in zemljin v Sloveniji prikazuje volumnsko toplotno kapaciteto kamnin in zemljin v MJ/m^2K . Vhodna podatka sta osnovna geološka karta Slovenije v merilu 1:100.000 in povprečne izmerjene vrednosti volumnskih toplotnih kapacitet kamnin in zemljin. Le te so glede na prisotnost določenih tipov kamnin pripisane kartiranim litološkim enotam.



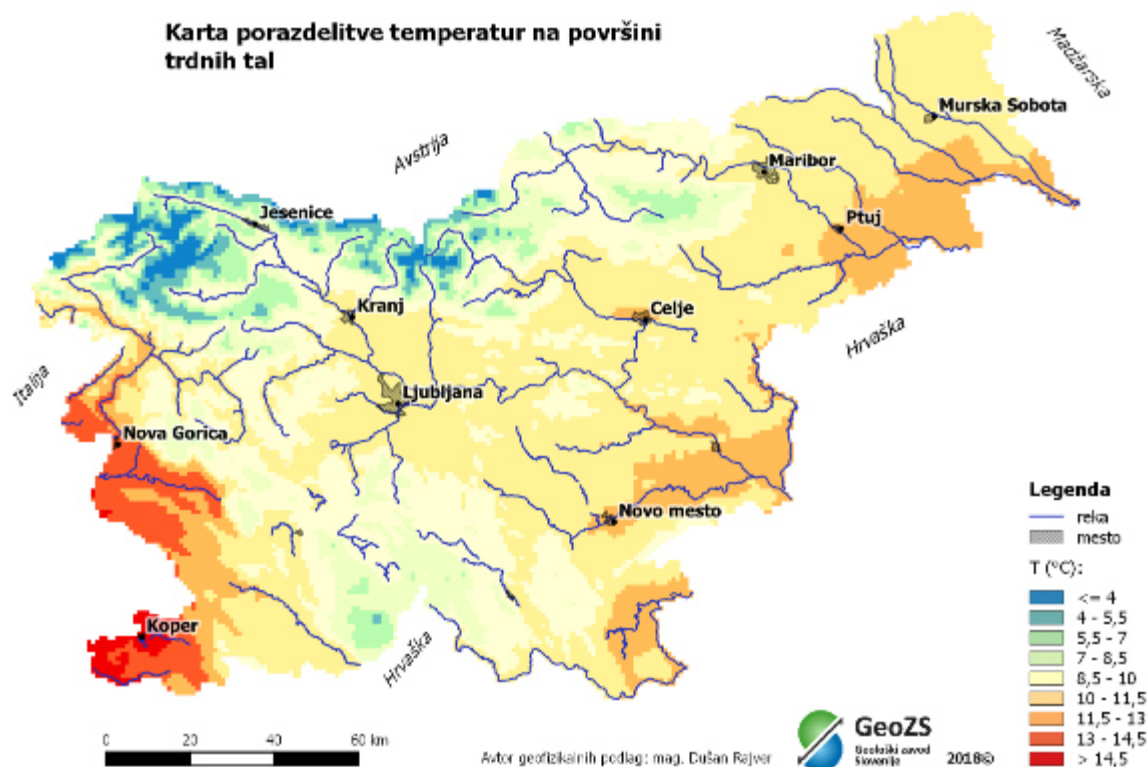
UPORABA: Namen karte je prostorski prikaz vrednosti volumnskih toplotnih kapacitet za območje Slovenije na podlagi katerih lahko izračunamo potencial za izkoriščanje plitvih geotermalnih virov.

Nadaljujemo s preverbo porazdelitve temperatur na površini trdnih tal – Poglavje 1.5.

VIR: Karta volumnske toplotne kapacitete kamnin in zemljin v Sloveniji 1:100.000, GeoZS, Ministrstvo za infrastrukturo. Pestotnik, S., eGeologija.; Prestor, J., Pestotnik, S., Rajver, D., Jež, J., Gerčar, D., Klančič, K., Svetina, J. Analize potenciala plitve geotermalne energije v Sloveniji do leta 2050, za projekt LIFE ClimatePath2050 (LIFE 16 GIC/SI/000043). Ljubljana: Inštitut Jožef Stefan, 2018. 59 str.

1.5. Porazdelitve temperatur na površini trdnih tal

Karta porazdelitve temperatur na površini trdnih tal prikazuje povprečne letne temperature na površini trdnih tal za območje Slovenije. Kot vhodni podatek je bil uporabljen rastrski sloj 30 letnega povprečja (1981-2010) temperatur zraka merjenih 2 m nad tlemi. Temperatura površine trdnih tal je izračunana tako, da je v celinskem delu Slovenije vrednostim temperatur zraka prišteta 1°C , v primorskem delu Slovenije pa $1,2^\circ\text{C}$. Vrednost za celinsko Slovenijo je izračunana kot poprečje razlik trendnih črt poprečne temperature zraka (2 m) ter poprečne temperature tal (-2 cm) med nadmorskima višinama 0 m ($1,3^\circ\text{C}$) in 2864 m ($0,7^\circ\text{C}$). Za primorsko Slovenijo tak izračun ni bil možen zaradi premajhnega števila podatkov in je le ocenjen.



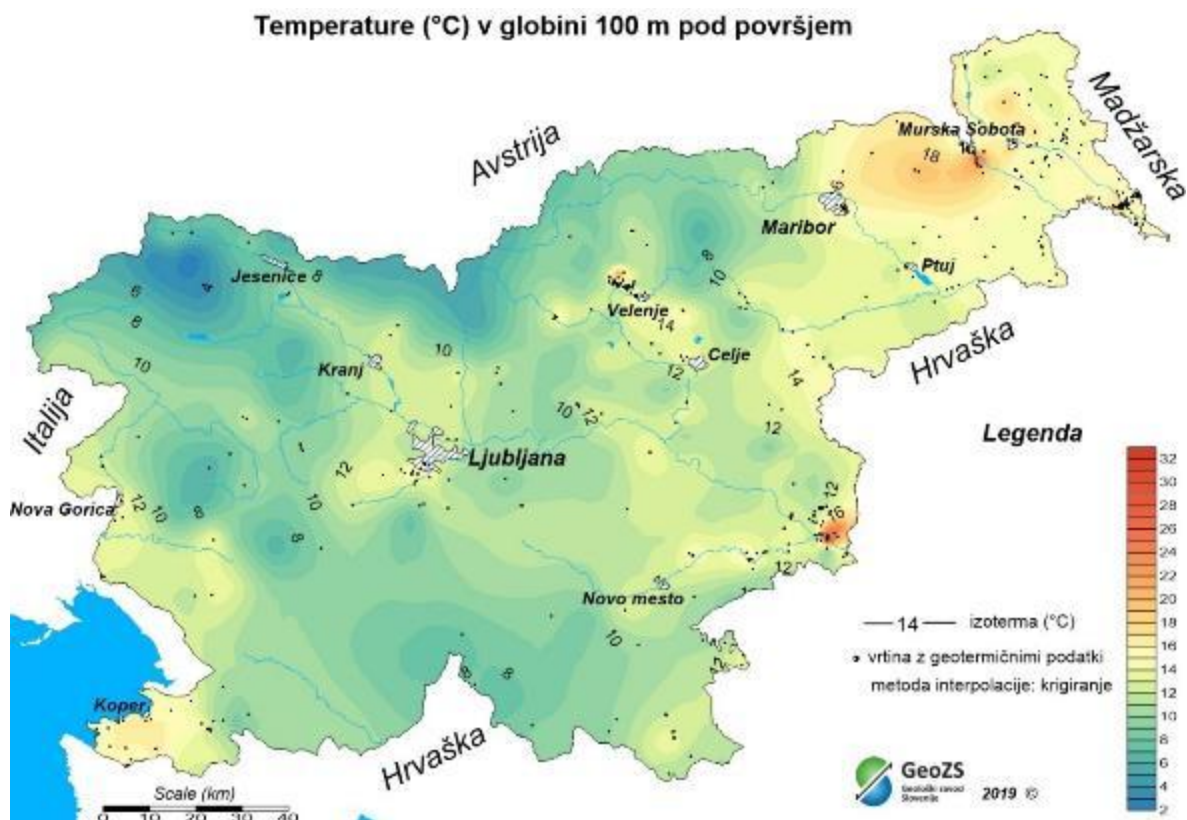
UPORABA: Namen karte je prostorski prikaz vrednosti povprečne letne temperature na površini trdnih tal za območje Slovenije na podlagi katerih lahko izračunamo potencial za izkoriščanje plitvih geotermalnih virov.

Nadaljujemo s preverbo temperatur pod površjem na globini 100 m – Poglavje 1.6.

VIR: Karta porazdelitve temperatur na površini trdnih tal. 2018. M1:100.000, GeoZS, Ministrstvo za infrastrukturo.

1.6. Temperature (°C) pod površjem na globini 100 m

Podzemni geotermični pogoji se ne glede na lego vodonosnikov prikazujejo s primernimi geotermičnimi kartami. Ta karta predstavlja pričakovane temperature v globini 100 m in je izdelana s podatki iz 424 vrtin in dveh cestnih predorih. Za pravilnejši izris izoterm so dodane temperature, izračunane v režimu prevajanja toplote v 157 točkah po Sloveniji s poznavanjem srednje letne temperature tal.



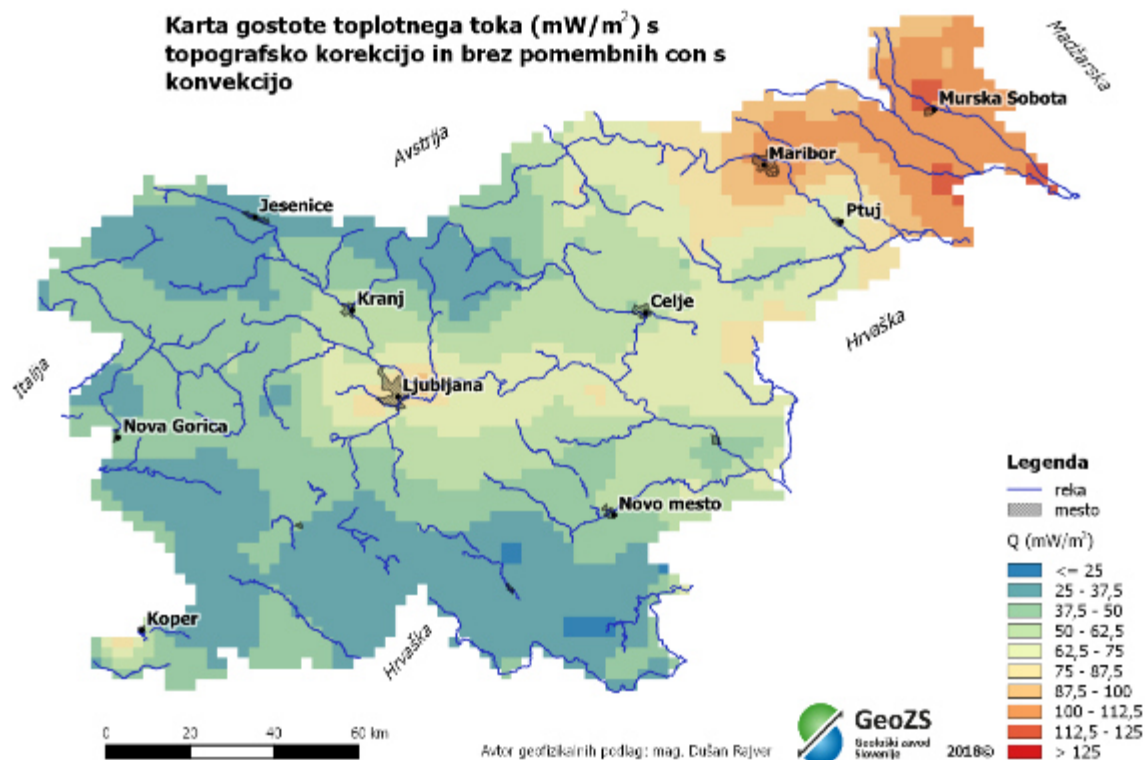
UPORABA: Karta temperatur v globini 100 m je pomembna za načrtovanje rabe plitve geotermalne energije s toplotnimi črpalkami. Značilen je prehod od nizkih vrednosti, pod 10 °C, na zahodu, severu in marsikje v osrednji in južni Sloveniji, kar je posledica razmeroma hitrega globokega pronicanja meteorne vode skozi razpokane kamnine, ki se do globine 100 metrov še ne segreje, do višjih na severovzhodu. Vzhodno od Drave so vrednosti precej višje, ponekod med Lenartom in Radenci celo nad 18 °C. Temperature so tu povišane zaradi tanjše Zemljine skorje v Panonskem bazenu in povišanega geotermičnega gradienta zaradi manjše debeline neogenskih sedimentov in možne konvekcije termalne vode v metamorfnih kamninah pod njimi na Murskosoboškem bloku. Izrazita, a po obsegu majhna je anomalija na vzhodnem delu Krške kotline (Čateško geotermalno polje). Temperatura v njenem jedru je več kot 24 °C, zaradi konvekcije v dolomitnem vodonosniku. Rahlo povišane temperature so še v obalnem delu Slovenije, ponekod nad 16 °C.

V zadnjem koraku preverimo še gostote toplotnega toka – Poglavje 1.7.

VIR: Temperature (°C) pod površjem na globini 100 m. Rajver, D., Janža M., Lapanje, A.: Geotermična karta - Pričakovane temperature v globini 100 m.

1.7. Gostota toplotnega toka

Karta gostote površinskega toplotnega toka prikazuje gostoto toplotnega toka v mW/m², ki je večinoma odraz prevajanja toplote iz notranjosti Zemlje proti površju; toplotni tok je določen z meritvami temperaturnega gradient v 111 vrtinah in meritvami toplotne prevodnosti na vzorcih kamnin iz večine od teh vrtin; ker se omenjene meritve nanašajo le na vrhnjih 3 do 5 km Zemljine skorje, gre za gostoto površinskega toplotnega toka. Karta je s topografsko korekcijo in brez pomembnih con s konvekcijo.

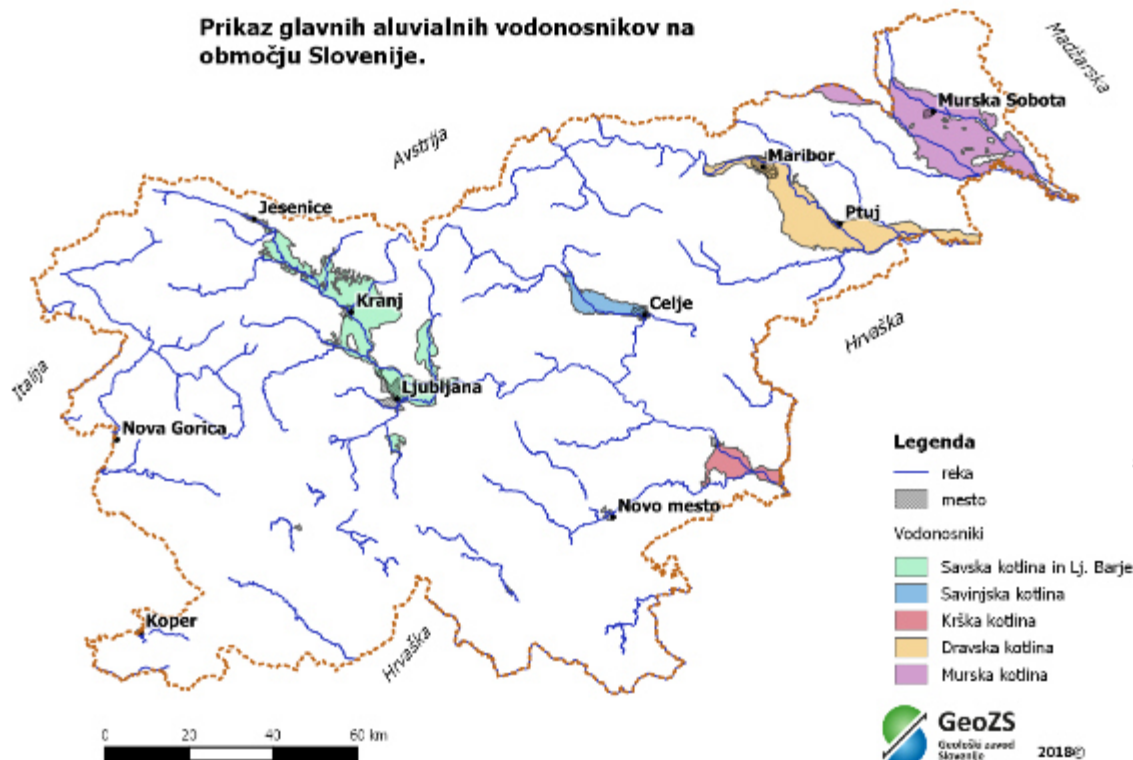


UPORABA: Namen karte je prostorski prikaz vrednosti gostote površinskega toplotnega toka za območje Slovenije na podlagi katerih lahko izračunamo potencial za izkoriščanje plitvih geotermalnih virov.

VIR: Geotermična karta - Gostota toplotnega toka. Rajver, D., eGeologija.

1.8. Karta gladin podzemne vode

Karta gladin podzemne vode (hidroizohipse) prikazuje gladine podzemne vode na območju Krške kotline, Ljubljansko polje, Prodni zasip Kamniške Bistrice, Sorško polje in Kranjsko polje, Ljubljansko barje, Iški Vršaj in Borovniški vršaj, Dravska kotlina, Savinjska kotlina, Apaško polje in Mursko in Dolinsko Ravensko polje.



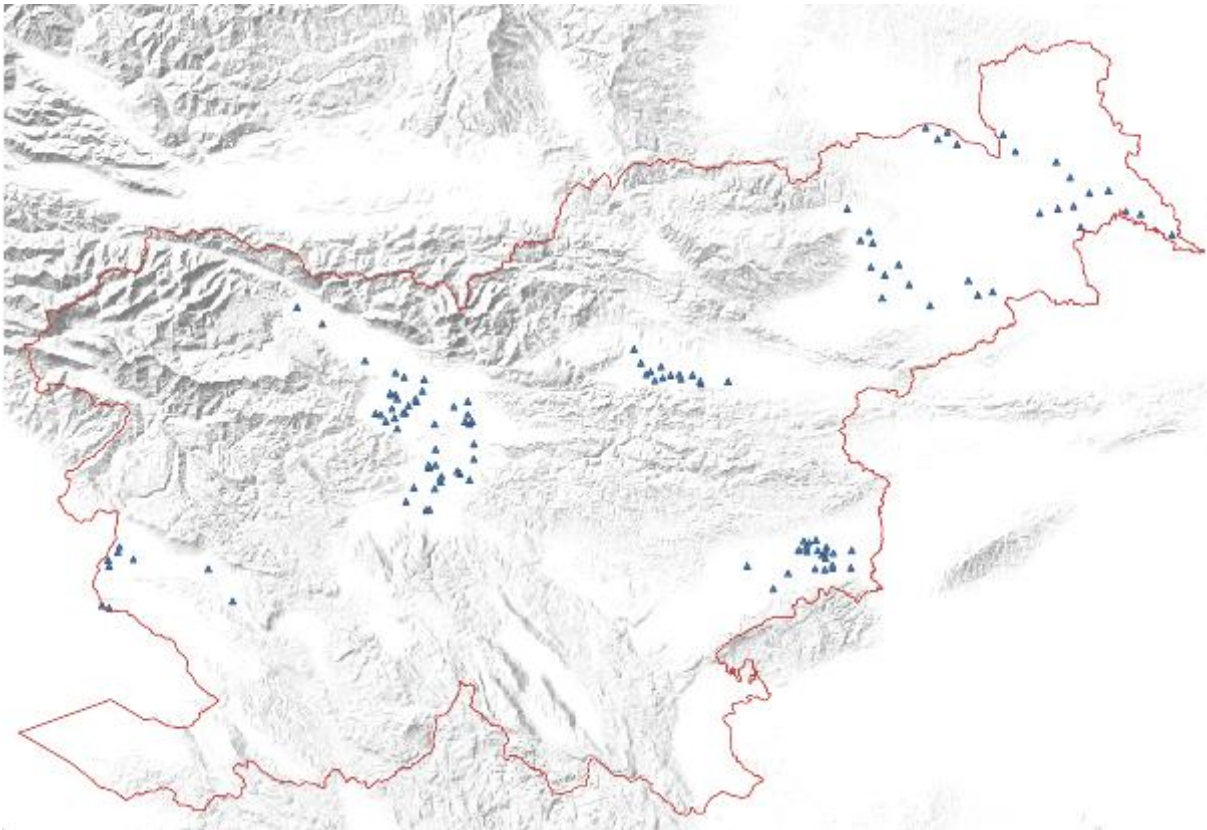
UPORABA: Uporabi se podatek o pričakovani gladini podzemne vode, lahko se določi smer in gradient toka podzemne vode ter prispevno območje, pri čemer se upošteva še topografija in geološka zgradba ozemlja. V naslednjem koraku preverimo podatek iz meritve globine do podzemne vode in temperature podzemne vode – Poglavlje 1.9. Karta gladin podzemne vode.

VIR: Karta gladin podzemne vode (hidroizohipse), Modelski sistem GROWA - DENUZ/WEKU za regionalno modeliranje toka dušika preko tal in vodonosnikov v površinska vodna telesa Slovenije - novelacija vhodnih podatkovnih slojev v letu 2020; Končno poročilo.

<https://egeologija.si/geonetwork/srv/slv/catalog.search#/metadata/95c96b29-91ea-45c8-9abd-39cbdc906306>

1.9. Povprečne temperature podzemne vode v plitvih vodonosnikih

ARSO izvaja program monitoringa količinskega stanja podzemnih voda na že vzpostavljeni državni merilni mreži v plitvih vodonosnikih, zasnovani na podlagi izbora reprezentativnih lokacij merilnih mest glede na konceptualne hidrogeološke modele in metodologije posameznih preizkusov pri ocenjevanju količinskega stanja podzemnih voda.



UPORABA: Uporabi se podatek iz meritve globine do podzemne vode in temperature podzemne vode. Rezultati so uporabljeni za izračune učinkovitosti zajetja plitve geotermalne energije in analizo možnosti obnavljanja zajetja.

Zadnji korak je porazdelitev temperatur na površini tal – Poglavje 1.5.

VIR: ARSO

2. OCENA GEOTERMALNEGA POTENCIALA ZA NAMENE HLAJENJA V KMETIJSTVU ZA SLOVENIJO

2.1. Metodologija karte geotermalnega potenciala za hlajenje v kmetijstvu

2.1.1. Značilne geotermične razmere

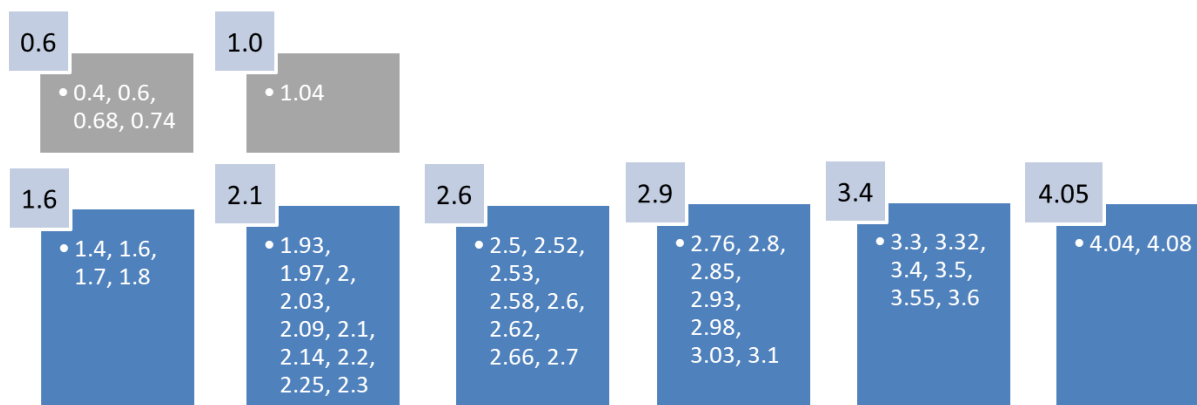
Karta »geotermalnega potenciala za hlajenje« je prvenstveno narejena za geosonde, saj je z geosondami možno izkoriščati plitvo geotermalno energijo praktično povsod.

V prvem koraku smo s pomočjo GIS izbrali »kmetijska območja« znotraj Slovenije, kjer je po evidenci dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč vrsta dejanske rabe 1100 njiva, 1160 hmeljišče, 1190 rastlinjak, 1211 vinograd in 1221 intenzivni sadovnjak.

V drugem koraku smo na tako izbranih kmetijskih območjih analizirali vrednosti toplotne prevodnosti in temperature tal, ki sta bistvena parametra pri oceni potenciala in najbolj odločilno vplivata na »geotermične razmere«.

Toplotne prevodnosti, ki se pojavljajo na izbranih kmetijskih območjih lahko razporedimo v 8 razredov (Slika 2). Za dober potencial so ugodne toplotne prevodnosti večje od $\lambda = 1,6 \text{ W/(m.K)}$. Nižje vrednosti

se pojavljajo v primerih, ko gre za tanjši pokrov nevezanih sedimentov na površju globine nekaj metrov (10 m), pod njimi pa je osnovna kamnina, npr. kraška ilovica na apnencu.

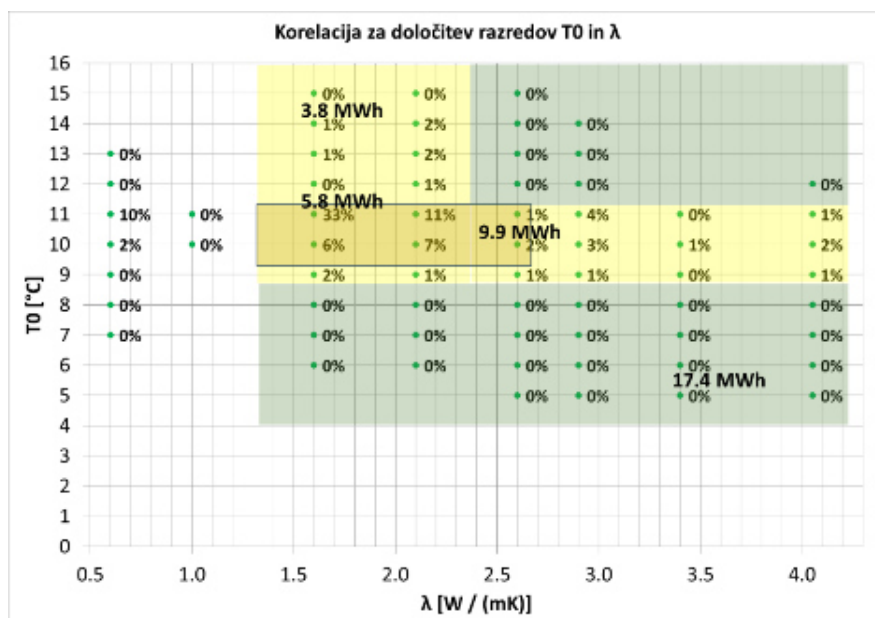


Slika 2. Toplotne prevodnosti geoloških plasti smo razvrstili v osem razredov.

Vrednosti temperature tal so na izbranih kmetijskih območjih med 5 in 15 °C. Ugodnejše so nižje temperature tal, saj je v njih možno oddati več presežkov toplote, ki nastajajo pri hlajenju. Poenostavljeno rečeno: »iz hladnejših tal je možno pridobiti več hladu kot iz toplejših«.

V tretjem koraku smo analizirali, kakšne so najbolj pogoste »geotermične razmere«, to je kombinacije med parametroma T_0 in λ na izbranih kmetijskih območjih (Slika 3).

Najpogostejša kombinacija (33 % vseh primerov) je $T_0 = 11^\circ\text{C}$ in $\lambda = 1,6 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, kjer so geotermične razmere srednje ugodne (Slika 3).



Slika 3. Razredi toplotnih prevodnosti geoloških plasti in temperature tal.

S programom EED (Earth Energy Designer, BLOCON¹) smo izračunali razpon geotermalnega potenciala za hlajenje v nastopajočih geotermičnih razmerah z »enostavno izvedbo geosonde«.

»Enostavno izvedbo geosonde« predstavlja par vrtin globine po 50 m in dokaj restriktiven robni pogoj za »najvišjo mejno temperaturo delovne tekočine«, ki ne preseže $T_{\max} = 24\text{ °C}$.

Drugi geotermični vhodni podatki, ki so bili uporabljeni pri modeliranju, se nanašajo na izvedbo geosonde, to so »parametri geosonde« in so podani v preglednici (Preglednica 1).

Preglednica 1. Parametri geosonde - vhodni podatki, uporabljeni pri modeliranju.

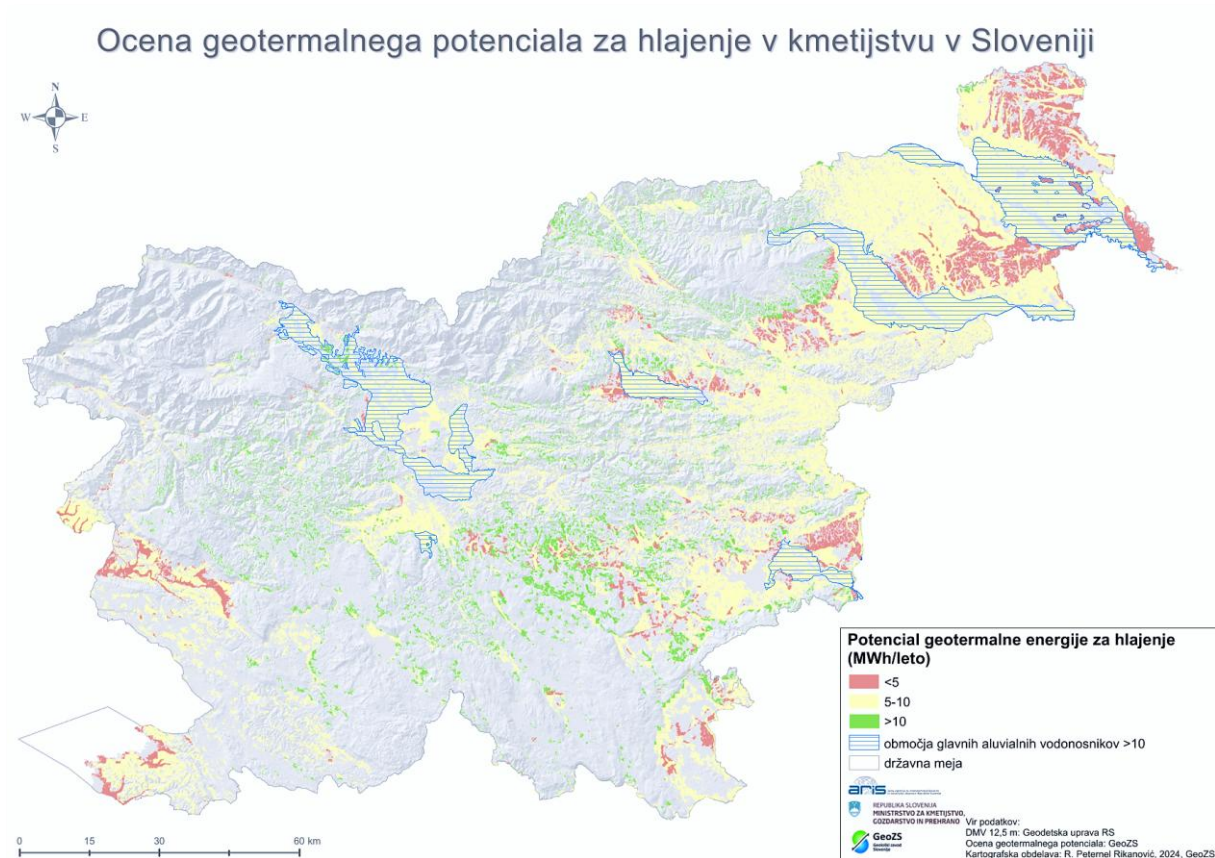
Parametri geosonde	
Število U zank v geosondi	2
Globina (m)	50
Premer vrtine [mm]	152
Razmik med cevmi v zankah [mm]	76
Zunanji premer cevi sonde [mm]	32
Debelina cevi [mm]	3
Toplotna prevodnost cevi [W/(m.K)]	0,42
Toplotna prevodnost polnitve – cement [W/(m.K)]	2
- Delovna tekočina - prenosnik toplote	
Pretok delovne tekočine skozi geosondo [l/s]	0,5
Vrsta delovne tekočine	25% Monoethylenglycol
Količina delovne tekočine v geosondi (l)	133
Toplotna prevodnost delovne tekočine [W/(m.K)]	0,48
Specifična toplotna zmogljivost [J/kgK]	3795
Gostota [kg/m ³]	1052
Viskoznost [kg/ms]	0,0052
Zmrzišče [°C]	-14

Rezultati izračunov potenciala so predstavljeni v spodnji preglednici (Preglednica 2, Slika 3) in kažejo, koliko energije za hlajenje je možno pridobiti z enostavno izvedbo geosonde v »najugodnejših« do »najneugodnejših geotermičnih razmerah«.

Preglednica 2. Energija E (MWh/leto) pri različnih geotermičnih pogojih.

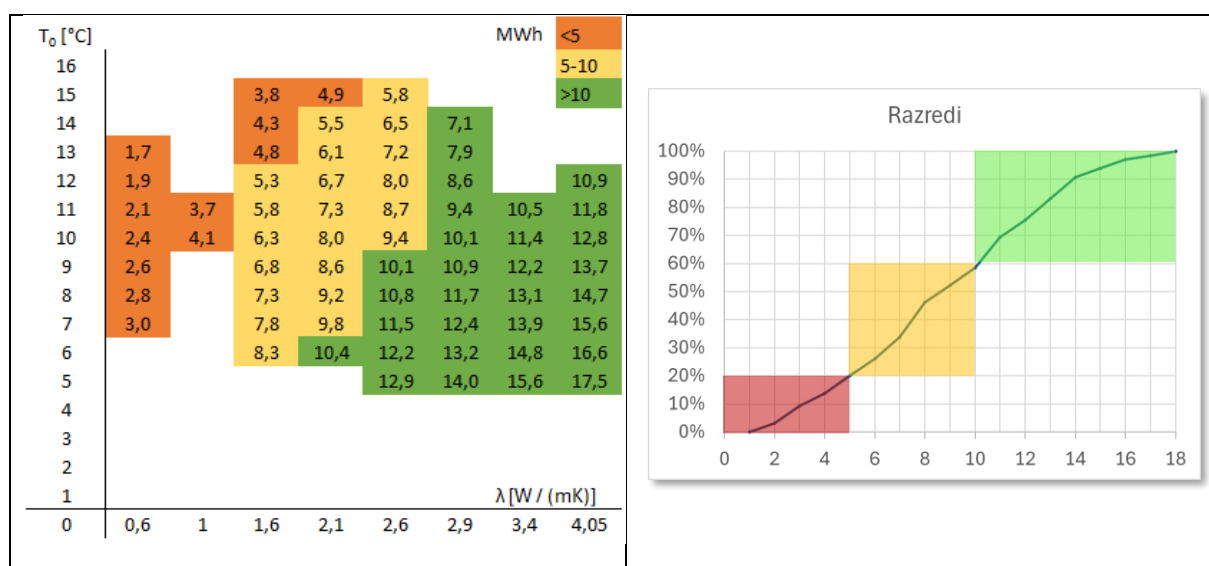
λ	T0	Geotermične razmere	E (MWh/leto)
1.6	15	Najneugodnejše	3,8
2.8	10	Srednje	9,9
4	5	Najugodnejše	17,4
1.6	11	Najpogostejše	5,8

¹Blocon, programska oprema "EED version 4 Manual - Earth Energy Designer", Februar 2017.



Slika 4. Odvisnost geotermalnega potenciala za hlajenje (MWh/leto) od prevodnosti in temperature tal (Geosonda 2×50 m, izključno hlajenje, delovna tekočina $T_{max} = 24^\circ\text{C}$).

Dobljeni geotermalni potencial za hlajenje je prikazan s tremi razredi. Najmanj ugoden (s številko 1) na teh območjih je nižji kot 5 MWh/leto. Razred 2 predstavlja srednji razred s potencialom med 5 in 10 MWh/leto. Kot najbolj ugodna območja so določena z razredom 3, kjer je potencial večji od 10 MWh/leto (Slika 5, Slika 3).



Slika 5. Razredi geotermalnega potenciala za hlajenje v kmetijstvu v Sloveniji in njihovi deleži glede na

kmetijska zemljišča.

2.1.2. Vpliv podnebnih značilnosti kraja

Obnavljanje toplotne energije v tleh je odvisno od dinamike hlajenja skozi leto. Ta je odvisna od podnebnih značilnosti kraja. Zato smo preverili občutljivost izračuna potenciala na razlike v »značilnem meteorološkem letu« na različnih območjih Slovenije. Za 7 reprezentativnih območij smo obdelali podatke značilnega meteorološkega leta po postajah Bilje pri Novi Gorici, Dobliče pri Črnomlju, Koper, Letališče ER Maribor, Letališče JP Ljubljana (Kranj), Ljubljana in Murska Sobota. Izračunali smo značilne mesečne vrednosti deležev temperaturnih presežkov in primanjkljajev po odstotkih. Za ogrevanje hiše smo upoštevali temperaturni primanjkljaj za 20 °C, za hlajenje hiše temperaturni presežek za 22 °C ter za hladilnice presežek 5.5 °C. V primeru hladilnic smo izračunali mesečne vrednosti za hladilnice, ki delujejo celo leto in za hladilnice, ki v poletju ne obratujejo. Izračuni deležev temperaturnega primanjkljaja in presežka so prikazani v prilogi (PRILOGA 1 - Deleži temperaturnih presežkov in primanjkljajev na izbranih območjih).

Vpliv podnebnih značilnosti na geotermalni potencial za hlajenje smo nato izračunali s programom EED. Za izračun smo privzeli najpogostejše geotermične razmere ($TC = 1.6W/mK$; $T_0 = 11^{\circ}C$) in za primer celoletnega delovanja hladilnice.

Rezultati izračunov kažejo, da ocena potenciala zaradi različnih podnebnih značilnosti kraja odstopa do 1.000 kWh, oziroma do 18 % (Preglednica 3). Najbližje srednji vrednosti (5.943 kWh) je območje Črnomlja (5.950 kWh).

Preglednica 3. Razlike v oceni geotermalnega potenciala za hlajenje v odvisnosti od podnebnih značilnosti..

Značilno meteorološko leto	kWh ($TC=1.6W/mK$; $T_0=11^{\circ}C$, 1U)	Faktor
Murska Sobota	5.800	1,05
Nova Gorica	6.100	1,11
Koper	6.500	1,18
Maribor	5.700	1,04
Črnomelj*	5.950	1,08
Kranj	5.500	1,00
Ljubljana	6.050	1,10

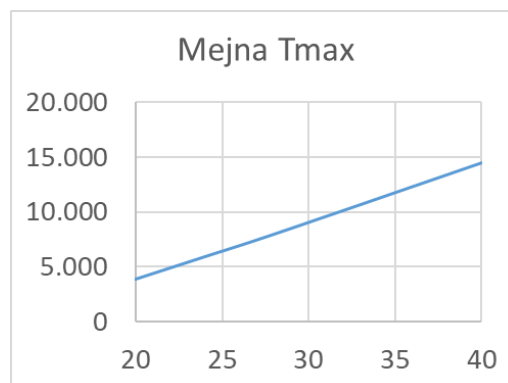
*1U = 5.950 kWh, 2U = 6.350 kWh

2.1.3. Vpliv mejne temperature delovne tekočine

Mejna temperatura delovne tekočine ima velik vpliv na potencial. Pri mejni temperaturi višji za 4° C, se potencial oddaje toplote v podtalje poviša za faktor 1,34. Vendarle se hkrati s tem zniža tudi učinkovitost naprave (EER), saj se s tem poviša temperatura, s katero je treba oddajati toploto v podtalje. Pri odločanju za višje temperature je vsekakor treba preveriti ekonomičnost z vidika vpliva na okoljske vplive, vključno z geotehničnimi razmerami za sosednje objekte. Hkrati je treba preveriti tudi učinkovitost v primerjavi s sistemom zrak – voda, oziroma aerotermalnimi toplotnimi črpalkami.

Preglednica 4. Vpliv mejne temperature delovne tekočine na količino oddane toplote v podtalje.

Mejna Tmax	kWh (TC=1.6W/mK; T0=11°C)	Faktor
20	3.900	0,66
24	5.950	1,00
28	8.000	1,34
40	14.500	2,44



2.1.4. Vpliv postavitve geosonde

Razmik	kWh (TC=1.6W/mK; T0=11°C)	Faktor
5	5.800	0,97
7	5.950	1,00
10	6.050	1,02
25	6.300	1,06

Globina (50, 75, 100, 150)

Globina	kWh (TC=1.6W/mK; T0=11°C)	Faktor
25	3.400	0,57
50	5.950	1,00
75	8.000	1,34
100	9.800	1,65
150	12.500	2,10

Število (1, 2, 3, 9, linija, polje)

Število vrtin	kWh (TC=1.6W/mK; T0=11°C)	Faktor
1	3.220	0,54
2	5.950	1,00
3	8.500	1,43
9	22.700	3,82
9	19.750	3,32

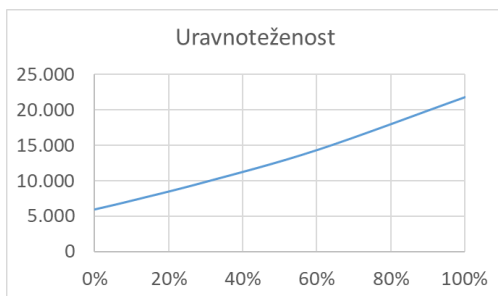
2.1.5. Vpliv uravnotežene rabe

Črnomelj

SPF = 3,5; SEER = 3,5

$PG = Q \times (1 + 1/SEER)$

Oddana toplota kWh	Odvzeta toplota kWh	Oddana / Odvzeta	Hlajenje kWh	Ogrevanje kWh	Vsota pridobljene energije Qpr	Faktor
7.650	0	0%	5.950	0	5.950	1
7.843	784	10%	6.100	1.098	7.198	1,2
8.229	2.469	30%	6.400	3.456	9.856	1,7
8.871	5.323	60%	6.900	7.452	14.352	2,4
10.029	10.029	100%	7.800	14.040	21.840	3,7



Glavni dejavniki, ki opredeljujejo potencial geosonde za hlajenje

2.1.1. Značilne geotermične razmere

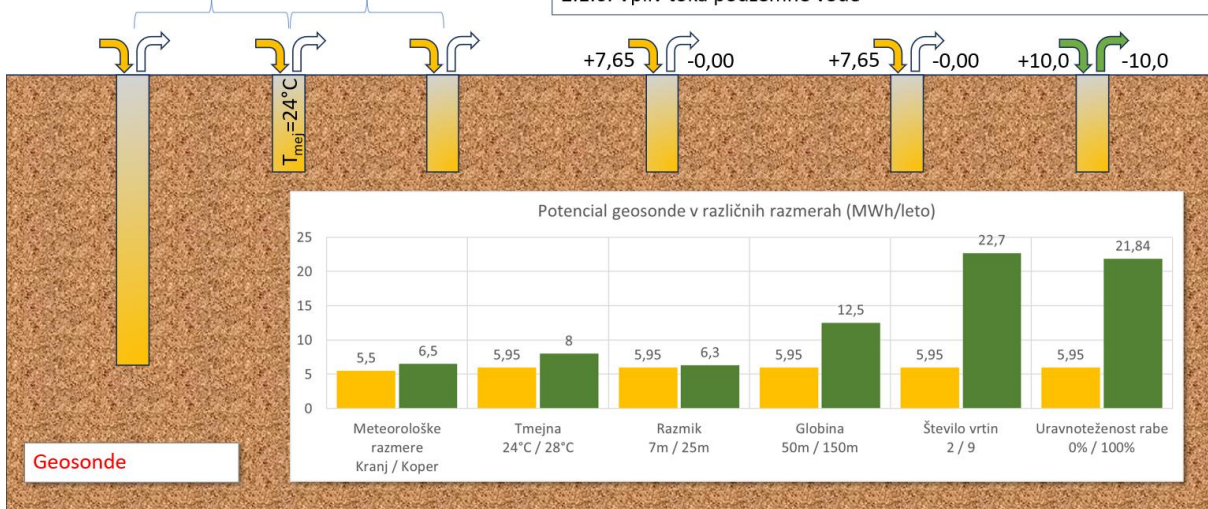
2.1.2. Vpliv podnebnih značilnosti kraja – meteorološke razmere

2.1.3. Vpliv mejne temperature delovne tekočine (T_{mejna})

2.1.4. Vpliv postavitve geosonde (razmik, globina, število)

2.1.5. Vpliv uravnotežene rabe

2.1.6. Vpliv toka podzemne vode



Slika 6. Pregled vpliva posameznih faktorjev potenciala geosond za hlajenje.

2.1.6. Vpliv toka podzemne vode

Razmeroma velik delež hladilnic pričakujemo na aluvialnih ravninah, kjer je velik delež kmetijskih območij, hkrati pa tudi izdatni vodonosniki. Aluvialne ravnine predstavljajo pomembne vodonosnike, kjer lahko tok podzemne vode precej vpliva na hitrejše obnavljanje toplote v podtalju. To lahko bistveno poveča geotermalni potencial. Za oceno tega vpliva smo pripravili pet konceptualnih modelov za značilne geotermične in hidrogeološke razmere v aluvialnih ravninah porečja Save, Savinje, Krškega, Drave in Mure (Slika 7).

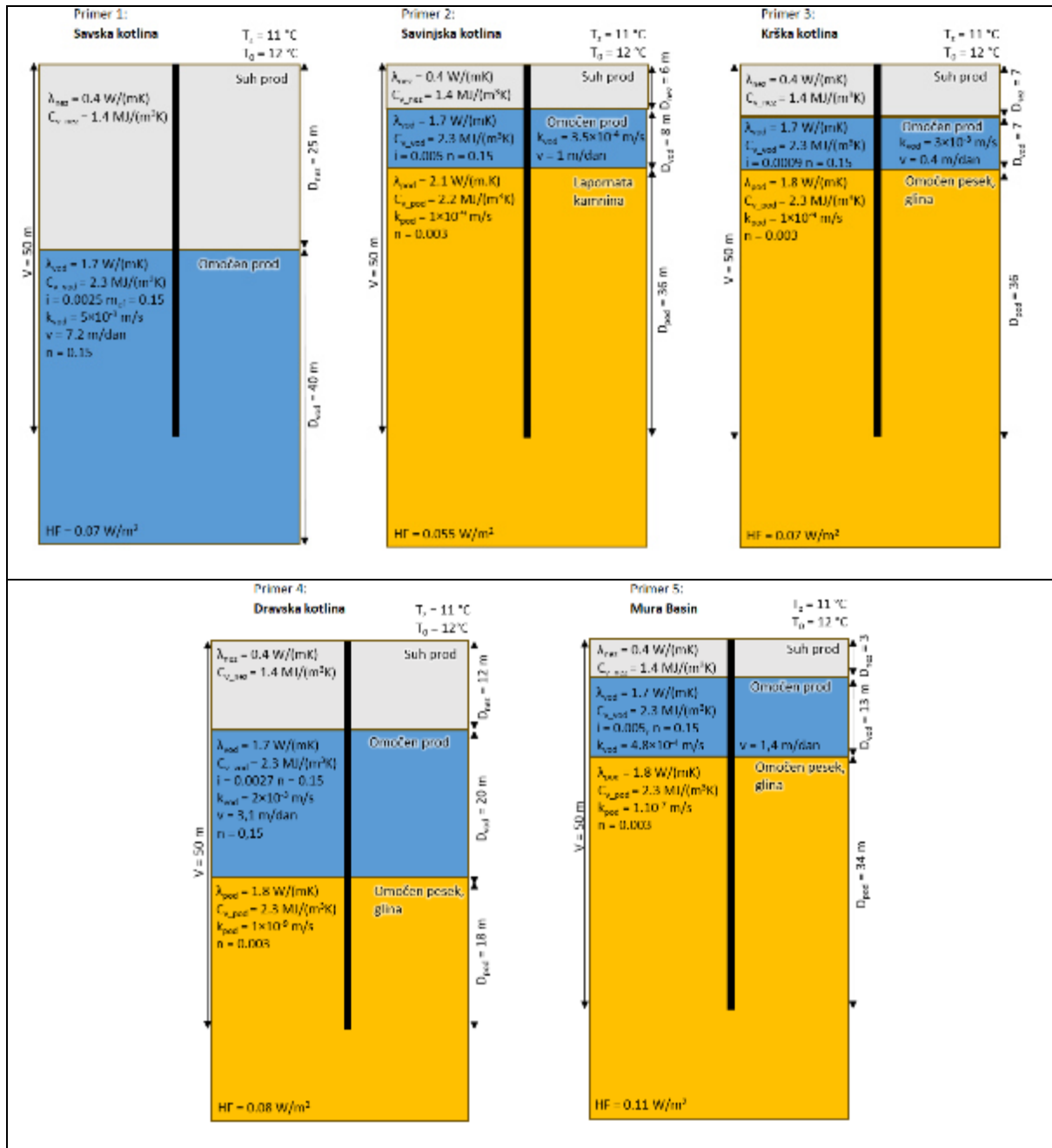
Modeliranje je bilo izvedeno z uporabo numerične kode FEM (metoda končnih elementov) FEFLOW različice 8.1 (Diersch, 2014). Izvedena je bila stacionarna simulacija pretoka podzemne vode in prenosa toplote, da se določijo začetni pogoji s fiksnimi robnimi pogoji in lastnostmi materiala za vsako območje, kot je prikazano na konceptualnih modelih. Vodonosnik je bil modeliran kot neomejen z zgornjo freatično plastjo, kar dopušča možnost, da elementi v tej plasti postanejo suhi ali delno nasičeni (Diersch, 2014). Za preostale plasti je bila uporabljena Darcyjeva enačba. Nastala hidravlična višina in porazdelitev temperature sta bila podlaga za nadaljnje prehodne izračune porazdelitev temperature.

Vsi numerični modeli imajo dimenzije 500 m dolžine, 200 m širine in 65 m globine. Na splošno je vsak numerični model obsegal 13 plasti in 14 računskih slojev z navpično porazdelitvijo na 5 m. Navpična razdelitev modela na plasti je bila izvedena za izboljšanje ločljivosti izračunov izmenjave toplote okoli geosonde. Za izračun vpliva toka podzemne vode je bil pri tipični gladini podzemne vode v konceptualnih modelih (Slika 7) dodan hidravlični gradient, značilen za vsako območje.

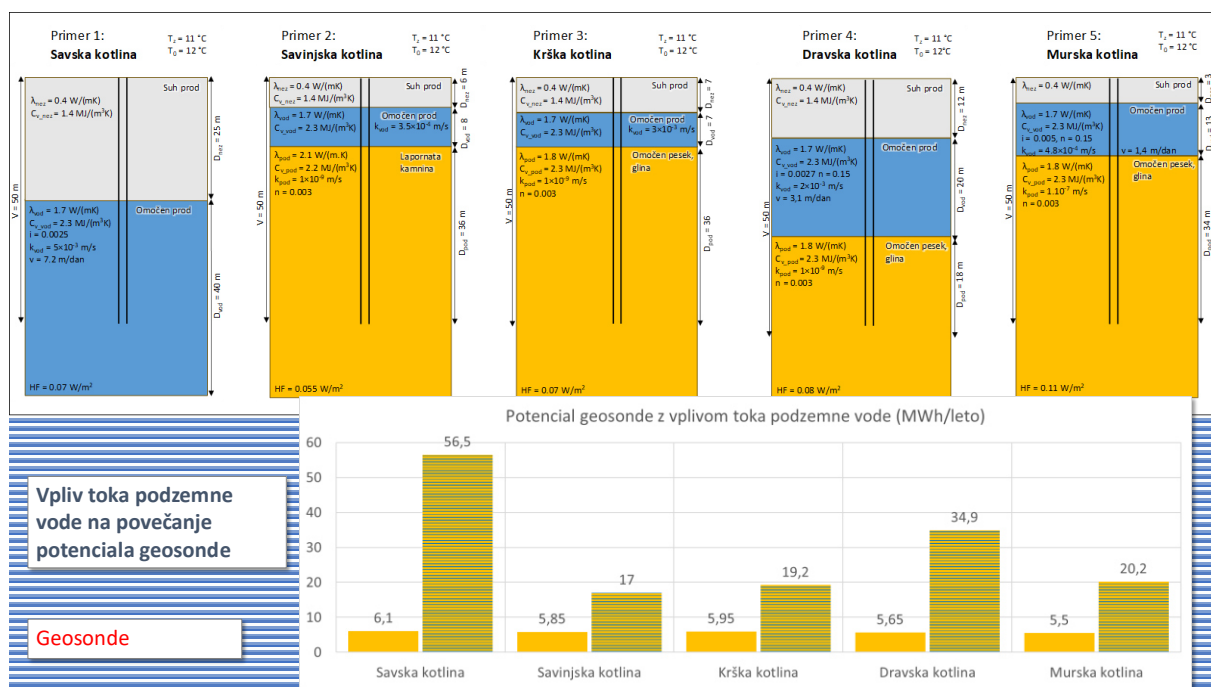
Na ta način smo modelirali obnavljanje geotermalne energije v razmerah značilnega toka podzemne vode in dobili oceno, kakšno je v tem primeru geotermalni potencial za hlajenje. Iz izračunov je razvidno, da je lahko potencial bistveno višji, odvisno od debeline omočenega dela vodonosnika in hitrosti vode v njem (Preglednica 5).

Preglednica 5. Ocena geotermalnega potenciala za hlajenje z geosondo na aluvialnih vodonosnikih (2×50 m, $T_{max} = 24$ °C).

Brez vpliva toka podzemne vode	Območje aluvialnega vodonosnika	Z vplivom toka podzemne vode	Faktor
6.100 kWh/leto	Savska kotlina	56.500 kWh/leto	9,3
5.850 kWh/leto	Savinjska kotlina	17.000 kWh/leto	2,9
5.950 kWh/leto	Krška kotlina	19.200 kWh/leto	3,2
5.650 kWh/leto	Dravska kotlina	34.900 kWh/leto	6,2
5.500 kWh/leto	Murska kotlina	20.200 kWh/leto	3,7

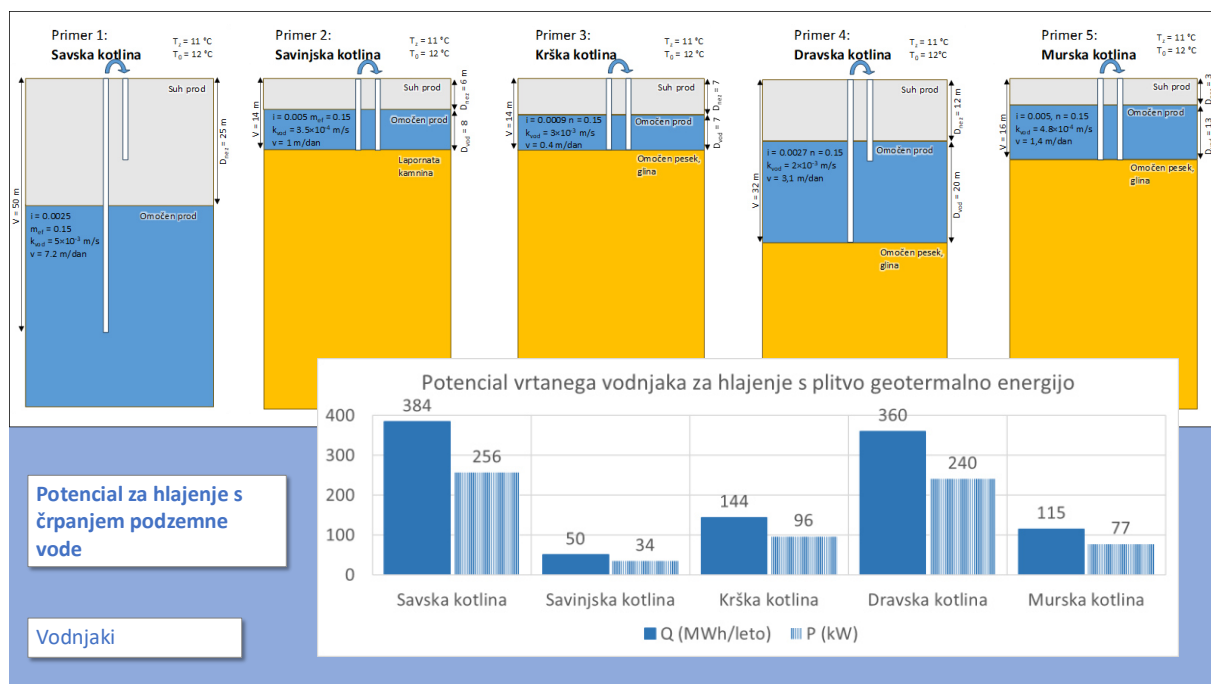


Slika 7. Konceptualni modeli petih slovenskih aluvialnih vodonosnikov z glavnimi vhodnimi geotermičnimi in hidrogeološkimi parametri za geotermično modeliranje.



Slika 8. Pregled vpliva toka podzemne vode na potencial geosonde za hlajenje na območjih tipičnih slovenskih aluvialnih vodonosnikov.

2.1.7. Geotermalni potencial vodnjakov v tipičnih aluvialnih vodonosnikih v Sloveniji

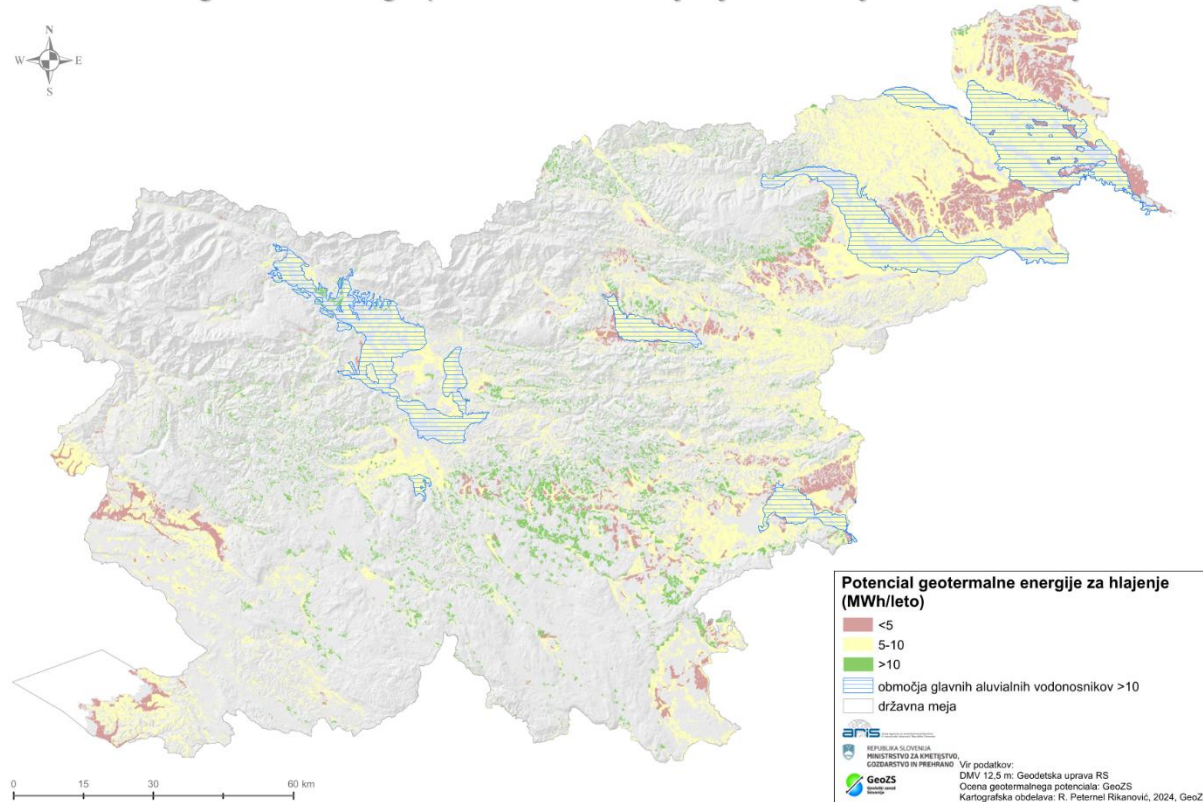


Slika 9. Modelirani geotermalni potencial vodnjakov v tipičnih aluvialnih vodonosnikih v Sloveniji

2.2. Karta geotermalnega potenciala za hlajenje

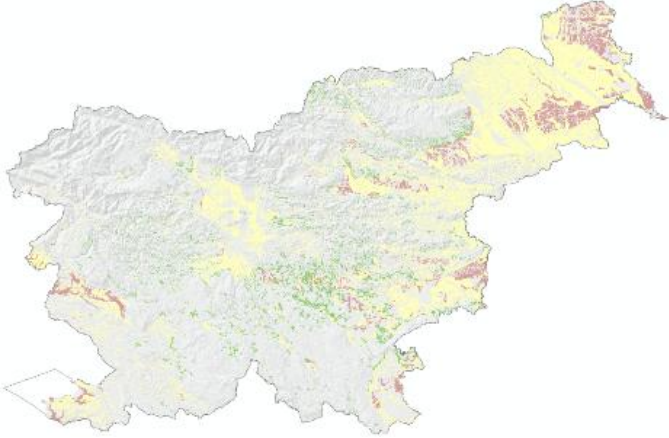
2.2.1. Grafični prikaz karte

Ocena geotermalnega potenciala za hlajenje v kmetijstvu v Sloveniji



Slika 10. Karta geotermalnega potenciala za hlajenje v kmetijstvu.

2.2.2. Metapodatki

Naslov vira	Potencial geotermalne energije za hlajenje v kmetijstvu (MWh/leto)
Datum	2024-06-06
Tip datuma	Ustvarjen
Datum	2024-06-06
Tip datuma	Objavljen
Oblika formata	Raster
Povzetek vira	Podatek je pripravljen v sklopu poročila Podatkovni sloj Potencial_GTE podaja oceno potenciala geotermalne energije za potrebe hlajenja v kmetijstvu v Sloveniji. Iz podatkovne zbirke Evidenca dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč (digitalni prostorski sloj RABA, datum objave 30.04.2024; Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Internet: https://rkg.gov.si/vstop/) smo za potrebe naloge izločili naslednje kategorije kmetijske rabe (atribut RABA ID): 1100 - Njiva, 1160 - Hmeljišče, 1190 - Rastlinjak, 1211 - Vinograd, 1221 - Intenzivni sadovnjak. Prostorski sloj izločenih kategorij smo pretvorili v celice velikosti 100x100 m. Na podlagi podatkov o toplotni prevodnosti kamnin in temperature tal na površju je bil za vsako celico izračunan potencial geotermalne energije za hlajenje. Celice smo glede na vrednosti razvrstili v 3 razrede: 1. <5 MWh/leto 2. 5-10 MWh/leto 3. >10 MWh/leto.
Namen	Ocena geotermalnega potenciala za namene hlajenja v kmetijstvu
Grafični prikaz	 The map displays the geographical distribution of geothermal potential across Slovenia. The legend at the bottom indicates three categories: low potential (yellow), medium potential (orange), and high potential (red). The map shows that the highest potential is concentrated in the eastern and southern regions, while the lowest potential is found in the central and northern mountainous areas.
Ime podatkovnega sloja	Potencial_GTE.tif
Jezik vira	slv (slovenski)
Ključne besede	Geotermalna energija, Potencial plitve geotermije, Hlajenje, Hladilnica

Odgovorna organizacija

Ime organizacije	Geološki zavod Slovenije
Vloga odgovorne organizacije	Avtor: Organizacija, ki je avtor vira
Telefon	+386(0)1 2809 700
Naslov	Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana

Pogostost vzdrževanja in posodabljanja	Po potrebi: Podatki so posodobljeni po potrebi.
Pogoji, ki veljajo za dostop in uporabo	Avtorska pravica: Izključna pravica do objave, proizvodnje ali prodaje pravic za literarna, glasbena ali umetniška dela. Velja tudi za uporabo komercialnih izpisov.

Merilo

Opis	Slovenija
Geografski prostorski obseg	S: 193542.561; Z: 377535.638; J: 31242.561; V: 622735.638
Referenčna sistemska informacija	Slovenia 1996 / Slovene National Grid (EPSG 3794); D96/TM

Informacija o metapodatkih

Metapodatkovni datum	2024-06-06
Pogoji, ki veljajo za dostop in uporabo	
Pogostost vzdrževanja in posodabljanja	Po potrebi: Podatki so posodobljeni po potrebi.

Metapodatkovna točka za stike

Osebnostno ime	Rada Peternel Rikanović
Ime organizacije	Geološki zavod Slovenije
Vloga odgovorne organizacije	Kontakt: Organizacija, na katero se lahko obrnete za informacije o podatkih
Telefon	+386(0)1 2809 822
Naslov	Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana
Kontaktne e-naslov	Rada.Peternel-Rikanovic@geo-zs.si
Metapodatkovni jezik	slv (slovenski)

3. PILOTNO OBMOČJE

Po zaključeni inventarizaciji (v delovnem sklopu DP1), pri kateri je bil izveden popis 48 hladilnic je bil v naslednji fazi opravljen terenski pregled 10 lokacij v času od 20. 11. 2023 do 7. 2. 2024 (*Preglednica 6*). Rezultati pregledov so predstavljeni v nadaljevanju.

Pri izbiri končne lokacije smo upoštevali naslednje:

- 1- Pridelava zelenjave
 - 2- Obstoječe hladilnice
 - 3- Interes lastnika
 - 4- Območje hidro-geološko ni raziskano?
 - 5- Možen razvoj hladilnic
- 1) Med razpravo so bili še posebej izpostavljeni nekateri za projekt pomembni vidiki in vprašanja glede razvoja hladilnic:
- V kakšnem stanju je hiša, objekti – ali tudi potrebujejo menjavo energenta, tako da je smiselno celovito prestrukturirati celotno gospodarstvo.
 - Koliko so hladilnice izkoriščene?
 - Zakaj so se odločili za energent, ki ga uporabljajo sedaj? Ali so z njim zadovoljni – zakaj da/ne? Zakaj in kdaj bi se za drugega?
 - Kakšno podporo potrebujejo pri energetskih dilemah?
 - Ali se zaradi spremenjenih stroškov električne energije ali cene goriv sedaj odločajo drugače kot v preteklosti za samo rabo hladilnice? Ali jo npr. prej izključijo? Ali bi dlje skladiščili proizvode, če bi bila energija cenejša, ali to sploh ni faktor za odločitve?
 - Ali so povezani v skupino proizvajalcev, zakaj da/ne? Ali bi šli v skupno hladilnico (3 so že skupnost), pod kakšnimi možnostmi?
 - Ugotoviti, v čem so razlike med individualnimi in skupinskimi hladilnicami (energetsko, v pristopu, raziskavah, nadzoru-optimizaciji)

Preglednica 6. Terenski pregledi hladilnic.

	Oznaka	Mesto	Terenski ogled	Vrsta pridelka
1	KD	Ljubljana	20. 11. 2023	zelenjava
2	KI	Ljubljana	20. 11. 2023	zelenjava
3	MA	Ljubljana	20. 11. 2023	zelenjava
4	RM	Ljubljana	20. 11. 2023	zelenjava
5	RS	Komenda	24. 11. 2023	zelenjava
6	MZ	Drenov Grič	24. 11. 2023	zelenjava
7	MM	Juršinci	19. 01. 2024	zelenjava
8	KT	Podbočje	07. 02. 2024	zelenjava
9	SP	Leskovec pri Krškem	07. 02. 2024	razno
10	AP	Cerovec pri Semiču	07. 02. 2024	zelenjava

Za končni izbor pilotnega območja smo izbrali primera:

MM – zaradi možnosti kombinacije geosonde in vodnjaka ter ogrevanja rastlinjaka za sadike ali vode za namaknje;

KT – zaradi razvojnih ciljev za pridobitev čim večjega deleža lastne energije pridobljene na lokaciji.

1. PRILOGA - Deleži temperaturnih presežkov in primanjkljajev na izbranih območjih

PRILOGA 1. Deleži temperaturnih presežkov in primanjkljajev na izbranih območjih.

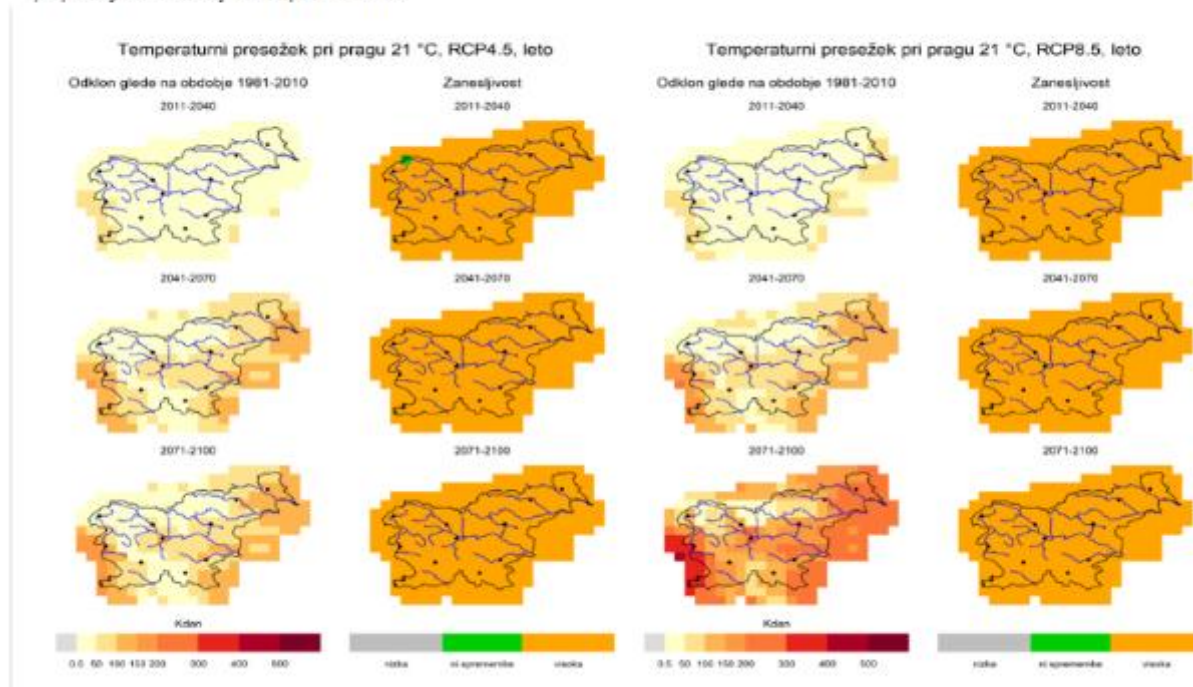
Murska Sobota					Nova Gorica				
			Celo leto	Brez poletja				Celo leto	Brez poletja
	Hiša	kWh	Hladilnica			Hiša	kWh	Hladilnica	
	Ogrevanje	Hlajenje	Hlajenje	Hlajenje		Ogrevanje	Hlajenje	Hlajenje	Hlajenje
1	21%		1%	1%	1	20%		1%	2%
2	18%		0%	1%	2	18%		1%	2%
3	15%		3%	6%	3	17%		3%	6%
4	7%		7%	15%	4	7%		6%	13%
5			14%	30%	5			12%	24%
6		35%	17%		6		26%	15%	
7		42%	20%		7		33%	17%	
8		23%	18%		8		41%	18%	
9			12%	25%	9			13%	26%
10	7%		6%	13%	10	5%		8%	16%
11	13%		3%	7%	11	13%		5%	9%
12	20%		1%	2%	12	20%		1%	2%
Leto	100%	100%	100%	100%	Leto	100%	100%	100%	100%
Koper					Maribor				
			Celo leto	Brez poletja				Celo leto	Brez poletja
	Hiša	kWh	Hladilnica			Hiša	kWh	Hladilnica	
	Ogrevanje	Hlajenje	Hlajenje	Hlajenje		Ogrevanje	Hlajenje	Hlajenje	Hlajenje
1	21%		1%	2%	1	20%		1%	2%
2	19%		1%	3%	2	17%		0%	1%
3	15%		4%	8%	3	15%		3%	6%
4	7%		7%	13%	4	6%		7%	15%
5			11%	21%	5			14%	30%
6		25%	15%		6		19%	16%	
7		43%	17%		7		55%	20%	
8		32%	16%		8		26%	18%	
9			12%	24%	9	1%		11%	24%
10	5%		9%	16%	10	10%		7%	15%
11	13%		5%	9%	11	14%		3%	6%
12	20%		2%	4%	12	18%		1%	2%
Leto	100%	100%	100%	100%	Leto	100%	100%	100%	100%

Črnomelj					Kranj				
			Celo leto	Brez poletja				Celo leto	Brez poletja
	Hiša	kWh	Hladilnica			Hiša	kWh	Hladilnica	
	Ogrevanje	Hlajenje	Hlajenje	Hlajenje		Ogrevanje	Hlajenje	Hlajenje	Hlajenje
1	19%		1%	2%	1	19%		0%	0%
2	17%		0%	1%	2	16%		0%	0%
3	14%		3%	6%	3	13%		2%	4%
4	6%		7%	14%	4	8%		6%	14%
5	1%		14%	28%	5	0%		13%	31%
6		22%	15%		6		35%	19%	
7		50%	19%		7		48%	21%	
8		28%	17%		8		17%	19%	
9	5%		11%	23%	9	3%		11%	27%
10	9%		8%	16%	10	9%		7%	17%
11	13%		3%	7%	11	14%		2%	6%
12	17%		1%	3%	12	18%		0%	1%
Leto	100%	100%	100%	100%	Leto	100%	100%	100%	100%
Ljubljana									
			Celo leto	Brez poletja					
	Hiša	kWh	Hladilnica						
	Ogrevanje	Hlajenje	Hlajenje	Hlajenje					
1	20%		0%	1%					
2	17%		0%	0%					
3	14%		3%	7%					
4	8%		6%	13%					
5			14%	30%					
6		30%	17%						
7		41%	19%						
8		28%	18%						
9	1%		11%	24%					
10	9%		8%	16%					
11	14%		3%	7%					
12	18%		1%	2%					
Leto	100%	100%	100%	100%					

2. PRILOGA - Trendi letnega temperaturnega presežka

PRILOGA 2. Trendi letnega temperaturnega presežka.

Slika PP11-6: Predvidena sprememba letnega temperaturnega presežka pri temperaturnem pragu 21 °C v Sloveniji in pripadajoča zanesljivost spremembe



Viri: Agencija RS za okolje, 2020 (20. 04. 2021)

Letni temperaturni presežek, Kdan						
Leto	Kredarica	Rateče	Murska Sobota	Novo mesto	Ljubljana	Bilje
1961	0	0	42		48	
1962	0	0	25	22	47	
1963	0	0	67	51	72	95
1964	0	0	13	13	38	92
1965	0	0	26	25	46	60
1966	0	0	13	15	26	64
1967	0	0	54	41	71	132
1968	0	5	41	36	53	77
1969	0	0	23	16	43	76
1970	0	0	36	28	70	97
1971	0	2	38	31	64	108
1972	0	0	31	28	37	96
1973	0	0	24	24	27	98
1974	0	0	51	45	63	108
1975	0	0	8	10	17	59
1976	0	1	17	26	31	56
1977	0	0	18	24	23	36
1978	0	0	3	10	9	34
1979	0	0	23	28	32	83

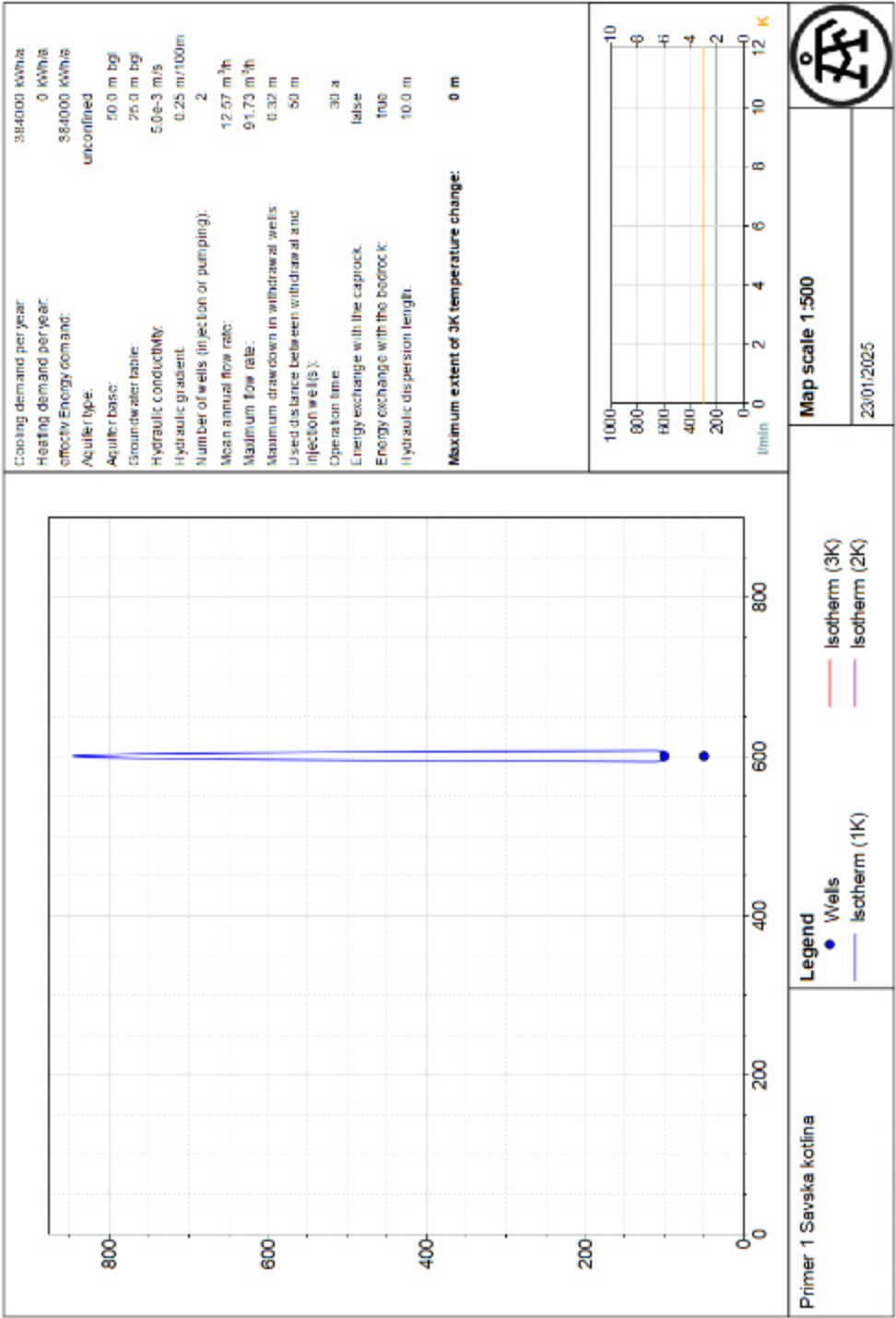
Letni temperaturni presežek, Kdan						
Leto	Kredarica	Rateče	Murska Sobota	Novo mesto	Ljubljana	Bilje
1980	0	0	14	26	36	52
1981	0	0	39	47	41	67
1982	0	0	20	38	55	130
1983	0	10	55	59	77	70
1984	0	3	14	28	26	23
1985	0	0	33	41	64	72
1986	0	1	37	42	63	95
1987	0	0	56	52	59	93
1988	0	0	72	77	107	108
1989	0	0	31	24	34	60
1990	0	0	30	44	58	65
1991	0	2	62	65	87	134
1992	0	6	145	94	123	139
1993	0	2	85	106	103	135
1994	0	7	109	121	145	229
1995	0	3	44	54	83	145
1996	0	0	31	36	47	72
1997	0	0	31	22	35	85
1998	0	5	90	116	153	204
1999	0	0	55	70	81	124
2000	0	1	131	144	129	132
2001	0	0	103	125	143	168
2002	0	10	86	75	91	134
2003	0	15	237	250	267	376
2004	0	3	46	62	83	129
2005	0	4	56	77	90	139
2006	0	19	110	142	159	209
2007	0	6	146	119	137	157
2008	0	3	107	100	128	170
2009	0	6	79	107	143	199
2010	0	17	108	127	144	157
2011	0	8	95	129	157	202
2012	0	14	166	189	218	306
2013	0	28	175	169	205	245
2014	0	1	67	68	80	82
2015	0	28	183	209	238	275
2016	0	4	85	101	138	218
2017	0	1	151	202	218	233
2018	0	13	120	96	174	228
2019	0	27	154	168	211	304
2020	0	5	66	99	121	172

3. PRILOGA - Ocena geotermalnega potenciala vodnjakov

PRILOGA 3. Ocena geotermalnega potenciala vodnjakov v značilnih aluvialnih vodonosnikih.

Primer 1 SAVSKA KOTLINA		spremenljivka IZRAČUN	
POTREBNA KOLIČINA ČRPANJA q_{req}			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRU/ PRIMER	ENOTA	$q_{req} = \frac{\theta_{c,gen}}{\rho_w \cdot c_w \cdot \Delta T} resp. \frac{\theta_{c,dis}}{\rho_w \cdot c_w \cdot \Delta T}$
toplotna moč pridobljena iz plitve geotermalne energije - moč kondenzatorja toplotne črpalke	$\Theta_{c,gen}$	0 kW	
moč hlajenja pridobljena iz plitve geotermalne energije	$\Theta_{c,dis}$	320 kW	
gostota vode	ρ_w	997 kg/m ³	
specifična toplota vode	c_w	4186 J/kgK	
sprememba temperature	ΔT	3 K	
zahtevan/potreben volumski pretok (ogrevanje)	$q_{req, gen}$	0.0000 m ³ /s	
		0.00 l/s	
		0.000 m3/h	
		0.000 l/min	
zahtevan/potreben volumski pretok (hlajenje)	$q_{req, dis}$	0.0256 m ³ /s	
		25.56 l/s	
		92.010 m3/h	
		1,533.506 l/min	
ENAČBA ZA PROSTO GLADINO PODZEMNE VODE V ODPRTEM VODONOSNIKU			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRU/ PRIMER	ENOTA	$q_e = \frac{\pi \cdot K \cdot (H^2 - h^2)}{\ln \frac{R}{r_w}}$
prepustnost vodonosnika	K	5.00E-03 m/s	
razlika med dnom vodonosnika in piezometrično gladino pred črpanjem (statično gladino)	H	25 m	
razlika med dnom vodonosnika in znižano piezometrično gladino med črpanjem (dinamično gladino)	h	24.72 m	
vplivni polmer vodnjaka (npr. po Sichardt-u)	R	59.40 m	
polmer vrtine	r_w	0.122 m	
razpoložljiva količina črpanja z vodnjakom	q_e	0.0353 m ³ /s	
		35.34 l/s	
		127.222 m3/h	
OCENJENA ZMOGLJIVOST VODNJAKA q_e PO SICHARDT-U ZA ODPRTI VODONOSNIK			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRU/ PRIMER	ENOTA	$q_e = \frac{2\pi \cdot r_w \cdot h \cdot \sqrt{K}}{15}$
polmer vrtine	r_w	0.122 m	
razlika med dnom vodonosnika in znižano piezometrično gladino med črpanjem (dinamično gladino)	h	24.72 m	
prepustnost vodonosnika	K	5.00E-03 m/s	
priporočena zmogljivost vodnjaka	(3/2 q_e)	0.0383 m ³ /s	
zmogljivost vodnjaka	$q_e > (3/2 q_e)$	0.0893 m ³ /s	
		89.33 l/s	
		321.577 m3/h	
polmer filtrskih cevi	r_f	0.122	
Najmanjša potrebna odprtost filtrskih cevi (vdop < 0,03 m/s)	n_f	6.7 %	
nf > Q/(2.pi.r.h.vdop)			
ZNIŽANJE ALI DVIG GLADINE VODE Δh V VODNJAKU V PRIMERU VRAČANJA (S PRIBLIŽEVANJEM TUDI ZA ODPRTI VODONOSNIK)			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRU/ PRIMER	ENOTA	$\Delta h = \frac{q_v}{2\pi \cdot K \cdot M} \ln \frac{D - r_w}{r_w}$
pretok	q_v	0.0383 m ³ /s	
razdalja med črpalnim in ponikalnim vodnjakom	D	10.00 m	
prepustnost vodonosnika	K	5.00E-03 m/s	
polmer vrtine	r_w	0.122 m	
debelina zaprtega vodonosnika [m]	M	24.78 m	
znižanje ali dvig gladine vode v vodnjaku	Δh	0.22 m	Δh 0.22
DARCYEVA HITOST			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRU/ PRIMER	ENOTA	Vd = K · grad(h)
prepustnost vodonosnika	K	5.00E-03 m/s	
grad(h)	grad(h)	0.0025	
darcyeva hitrost	v_D	1.25E-05 m/s	
		1.08 m/dan	
RAZDALJA DO MESTA VRAČANJA			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRU/ PRIMER	ENOTA	D > 2qv/(pi*M*VD)
debelina zaprtega vodonosnika [m]	M	24.72 m	
darcyeva hitrost	v_D	1.25E-05 m/s	
pretok	q_v	4.38E-03 m ³ /s	
Razdalja do mesta vračanja	D	9.02 m	
VPLIVNI POLMER VODNJAKA PRI NAJVEČJEM ZNIŽANJU			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRU/ PRIMER	ENOTA	R = 3000 · Δh · $\sqrt{K}$
prepustnost vodonosnika	K	5.00E-03 m/s	
sprememba gladine vode v vodnjaku	Δh	0.28 m	
radij vpliva črpanja	R	59.40 m	

Slika 11. Savska kotlina – zmogljivost vodnjaka (analitično modeliranje po SIA 546 384/7:2015).

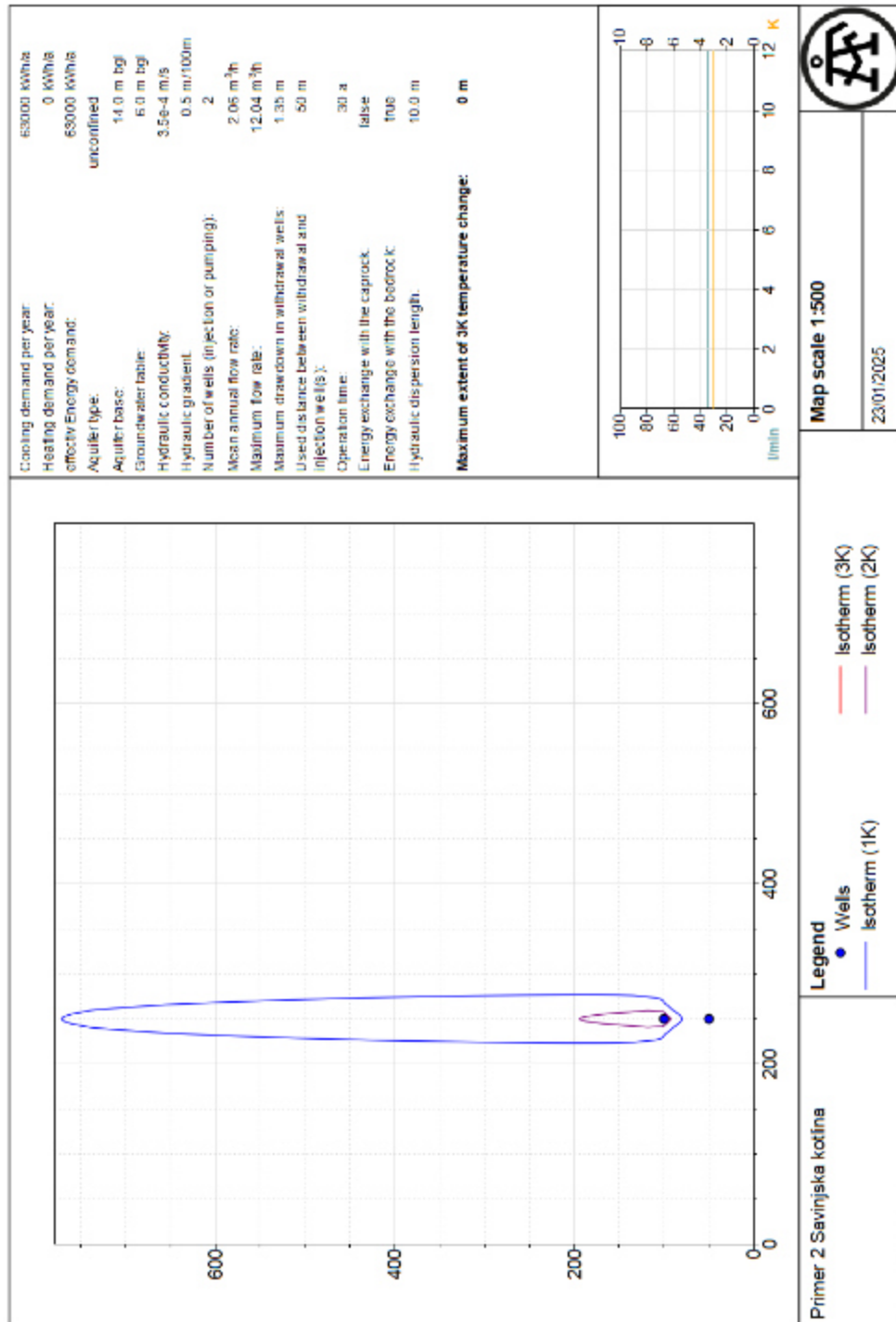


Slika 12. Savska kotlina – vplivno območje (modeliranje z GED – Groundwater Energy Designer).

M3.1 Metodologija analize naravnih danosti za karakterizacijo izbranega pilotnega območja

Primer 2		spremenljivka	
SAVINJSKA KOTLINA		IZRAČUN	
POTREBNA KOLIČINA ČRPANJA q_{req}			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRA/PRIMER	ENOTA	
toplotna moč pridobljena iz plitve geotermalne energije - moč kondenzatorja toplotne črpalke	$\Theta_{c,gen}$	0 kW	$q_{req} = \frac{\theta_{c,gen}}{\rho_w \cdot c_w \cdot \Delta T} resp. \frac{\theta_{c,dis}}{\rho_w \cdot c_w \cdot \Delta T}$
moč hlajenja pridobljena iz plitve geotermalne energije	$\Theta_{c,dis}$	42 kW	
gostota vode	ρ_w	997 kg/m ³	
specifična toplota vode	c_w	4186 J/kgK	
sprememba temperature	ΔT	3 K	
zahtevan/potreben volumski pretok (ogrevanje)	$q_{req, gen}$	0.0000 m ³ /s	
		0.00 l/s	
		0.000 m ³ /h	
		0.000 l/min	
zahtevan/potreben volumski pretok (hlajenje)	$q_{req, dis}$	0.0034 m ³ /s	
		3.35 l/s	
		12.076 m ³ /h	
		201.273 l/min	
ENAČBA ZA PROSTO GLADINO PODZEMNE VODE V ODPRTEM VODONOSNIKU			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRA/PRIMER	ENOTA	
prepustnost vodnosnika	K	3.50E-04 m/s	2.67 1/3 H 5.33 h
razlika med dnomo vodnosnika in piezometrično gladino pred črpanjem (statično gladino)	H	8 m	
razlika med dnomo vodnosnika in znižano piezometrično gladino med črpanjem (dinamično gladino)	h	5.33 m	
vplivni polmer vodnjaka (npr. po Sichardt-u)	R	149.85 m	
polmer vrtine	r_w	0.122 m	
razpoložljiva količina črpanja z vodnjakom	q_e	0.0055 m ³ /s	$q_e = \frac{\pi \cdot K \cdot (H^2 - h^2)}{\ln \frac{R}{r_w}}$
		5.50 l/s	
		19.805 m ³ /h	
OČENJENA ZMOGLJIVOST VODNJAKA q_c PO SICHARDT-U ZA ODPRTI VODONOSNIK			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRA/PRIMER	ENOTA	
polmer vrtine	r_w	0.122 m	$q_c = \frac{2\pi \cdot r_w \cdot h \cdot \sqrt{K}}{15}$
razlika med dnomo vodnosnika in znižano piezometrično gladino med črpanjem (dinamično gladino)	h	5.33 m	
prepustnost vodnosnika	K	3.50E-04 m/s	
priporočena zmogljivost vodnjaka	(3/2 q_c)	0.0050 m ³ /s	
zmogljivost vodnjaka	$q_c > (3/2 q_c)$	0.0051 m ³ /s	
		5.10 l/s	
		18.345 m ³ /h	
polmer filtrskih cevi	r_f	0.122 m	nf > Q/(2·pi·r·h·vdop)
Najmanjša potrebna odprtost filtrskih cevi (vdop < 0,03 m/s)	n_f	4.1 %	
ZNIŽANJE ALI DVIG GLADINE VODE Δh V VODNJAKU V PRIMERU VRAČANJA (S PRIBLIŽEVANJEM TUDI ZA ODPRTI VODONOSNIK)			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRA/PRIMER	ENOTA	
pretok	q_v	0.0050 m ³ /s	$\Delta h = \frac{q_v}{2\pi \cdot K \cdot M} \ln \frac{D - r_w}{r_w}$
razdalja med črpalnim in ponikalnim vodnjakom	D	40.00 m	
prepustnost vodnosnika	K	3.50E-04 m/s	
polmer vrtine	r_w	0.122 m	
debelina zaprtega vodnosnika [m]	M	5.53 m	
znižanje ali dvig gladine vode v vodnjaku	Δh	2.40 m	Δh 2.40
DARCYEVA HITOST			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRA/PRIMER	ENOTA	
prepustnost vodnosnika	K	3.50E-04 m/s	Vd = K · grad(h)
grad(h)	grad(h)	0.005	
darcyeva hitrost	v_D	1.75E-06 m/s	
		0.15 m/dan	
RAZDALJA DO MESTA VRAČANJA			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRA/PRIMER	ENOTA	
debelina zaprtega vodnosnika [m]	M	5.33 m	D > 2qv/(pi*M*VD)
darcyeva hitrost	v_D	1.75E-06 m/s	
pretok	q_v	5.74E-04 m ³ /s	
Razdalja do mesta vračanja	D	39.20 m	
VPLIVNI POLMER VODNJAKA PRI NAJVEČJEM ZNIŽANJU			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRA/PRIMER	ENOTA	
prepustnost vodnosnika	K	3.50E-04 m/s	$R = 3000 \cdot \Delta h \cdot \sqrt{K}$
sprememba gladine vode v vodnjaku	Δh	2.67 m	
radij vpliva črpanja	R	149.85 m	

Slika 13. Savinjska kotlina – zmogljivost vodnjaka (analitično modeliranje po SIA 546 384/7:2015).

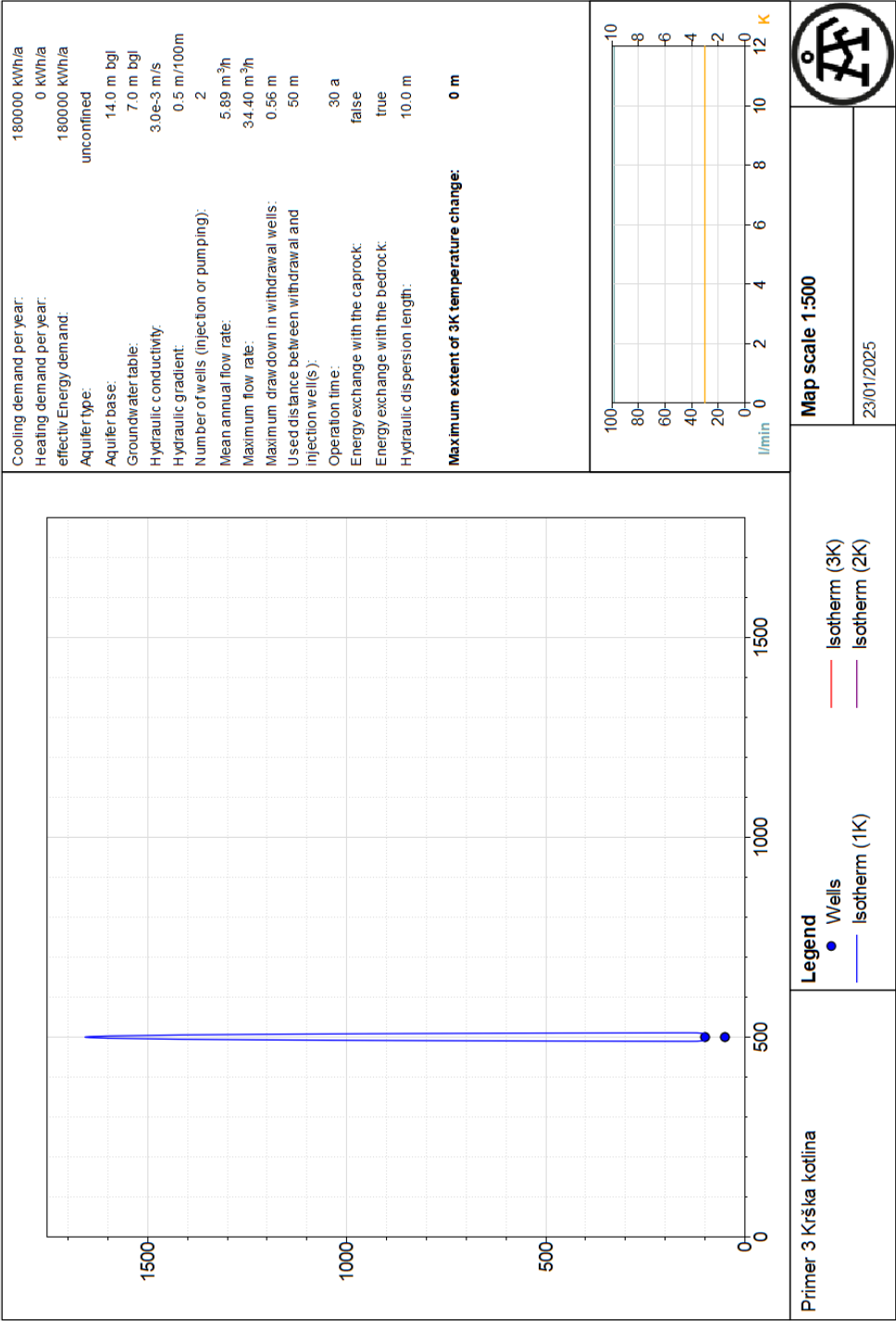


Slika 14. Savinjska kotlina – vplivno območje (modeliranje z GED – Groundwater Energy Designer).

M3.1 Metodologija analize naravnih danosti za karakterizacijo izbranega pilotnega območja

Primer 3		spremenljivka	
KRŠKA KOTLINA		IZRAČUN	
POTREBNA KOLIČINA ČRPNJA q_{req}			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRA/PRIMER	ENOTA	
toplotna moč pridobljena iz plitve geotermalne energije - moč kondenzatorja toplotne črpalke	$\Theta_{c,gen}$	0	$q_{req} = \frac{\theta_{c,gen}}{\rho_w \cdot c_w \cdot \Delta T} \cdot resp. \cdot \frac{\theta_{c,dis}}{\rho_w \cdot c_w \cdot \Delta T}$
moč hlajenja pridobljena iz plitve geotermalne energije	$\Theta_{c,dis}$	120	
gostota vode	ρ_w	997	
specifična toplota vode	c_w	4186	
sprememba temperature	ΔT	3	
zahtevan/potreben volumski pretok (ogrevanje)	$q_{req, gen}$	0.0000	
		0.00	
		0.000	
		0.000	
zahtevan/potreben volumski pretok (hlajenje)	$q_{req, dis}$	0.0096	
		9.58	
		34.504	
		575.065	
ENAČBA ZA PROSTO GLADINO PODZEMNE VODE V ODPRTEM VODONOSNIKU			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRA/PRIMER	ENOTA	
prepustnost vodonosnika	K	3.00E-03	$q_e = \frac{\pi \cdot K \cdot (H^2 - h^2)}{\ln \frac{R}{r_w}}$
razlika med dnom vodonosnika in piezometrično gladino pred črpanjem (statično gladino)	H	7	
razlika med dnom vodonosnika in znižano piezometrično gladino med črpanjem (dinamično gladino)	h	6.24	
vplivni polmer vodnjaka (npr. po Sichardt-u)	R	124.88	
polmer vrtine	r_w	0.122	
razpoložljiva količina črpanja z vodnjakom	q_e	0.0137	
		13.68	
		49.258	
OCENJENA ZMOGLJIVOST VODNJAKA q_e PO SICHARDT-U ZA ODPRTI VODONOSNIK			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRA/PRIMER	ENOTA	
polmer vrtine	r_w	0.122	$q_e = \frac{2\pi \cdot r_w \cdot h \cdot \sqrt{K}}{15}$
razlika med dnom vodonosnika in znižano piezometrično gladino med črpanjem (dinamično gladino)	h	6.24	
prepustnost vodonosnika	K	3.00E-03	
priporočena zmogljivost vodnjaka	(3/2 q_c)	0.0144	
zmogljivost vodnjaka	$q_c > (3/2 q_c)$	0.0175	
		17.47	
		62.878	
polmer filtrskih cevi	r_f	0.122	$nf > Q/(2 \cdot \pi \cdot r \cdot h \cdot v_{dop})$
Najmanjša potrebna odprtost filtrskih cevi (vdop < 0,03 m/s)	n_f	10.0	
ZNIŽANJE ALI DVIG GLADINE VODE Δh V VODNJAKU V PRIMERU VRAČANJA (S PRIBLIŽEVANJEM TUDI ZA ODPRTI VODONOSNIK)			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRA/PRIMER	ENOTA	
pretok	q_v	0.0144	$\Delta h = \frac{q_v}{2\pi \cdot K \cdot M} \ln \frac{D - r_w}{r_w}$
razdalja med črpalnim in ponikalnim vodnjakom	D	12.00	
prepustnost vodonosnika	K	3.00E-03	
polmer vrtine	r_w	0.122	
debelina zaprtega vodonosnika [m]	M	6.46	
znižanje ali dvig gladine vode v vodnjaku	Δh	0.54	
DARCYEVA HITOST			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRA/PRIMER	ENOTA	
prepustnost vodonosnika	K	3.00E-03	$V_d = K \cdot grad(h)$
grad(h)	grad(h)	0.005	
darcyeva hitrost	v_D	1.50E-05	
		1.30	
RAZDALJA DO MESTA VRAČANJA			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRA/PRIMER	ENOTA	
debelina zaprtega vodonosnika [m]	M	6.24	$D > 2q_v/(\pi \cdot M \cdot V_D)$
darcyeva hitrost	v_D	1.50E-05	
povprečni letni pretok	q_v	1.64E-03	
Razdalja do mesta vračanja	D	11.16	
VPLIVNI POLMER VODNJAKA PRI NAJVEČJEM ZNIŽANJU			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRA/PRIMER	ENOTA	
prepustnost vodonosnika	K	3.00E-03	$R = 3000 \cdot \Delta h \cdot \sqrt{K}$
sprememba gladine vode v vodnjaku	Δh	0.76	
radij vpliva črpanja	R	124.88	

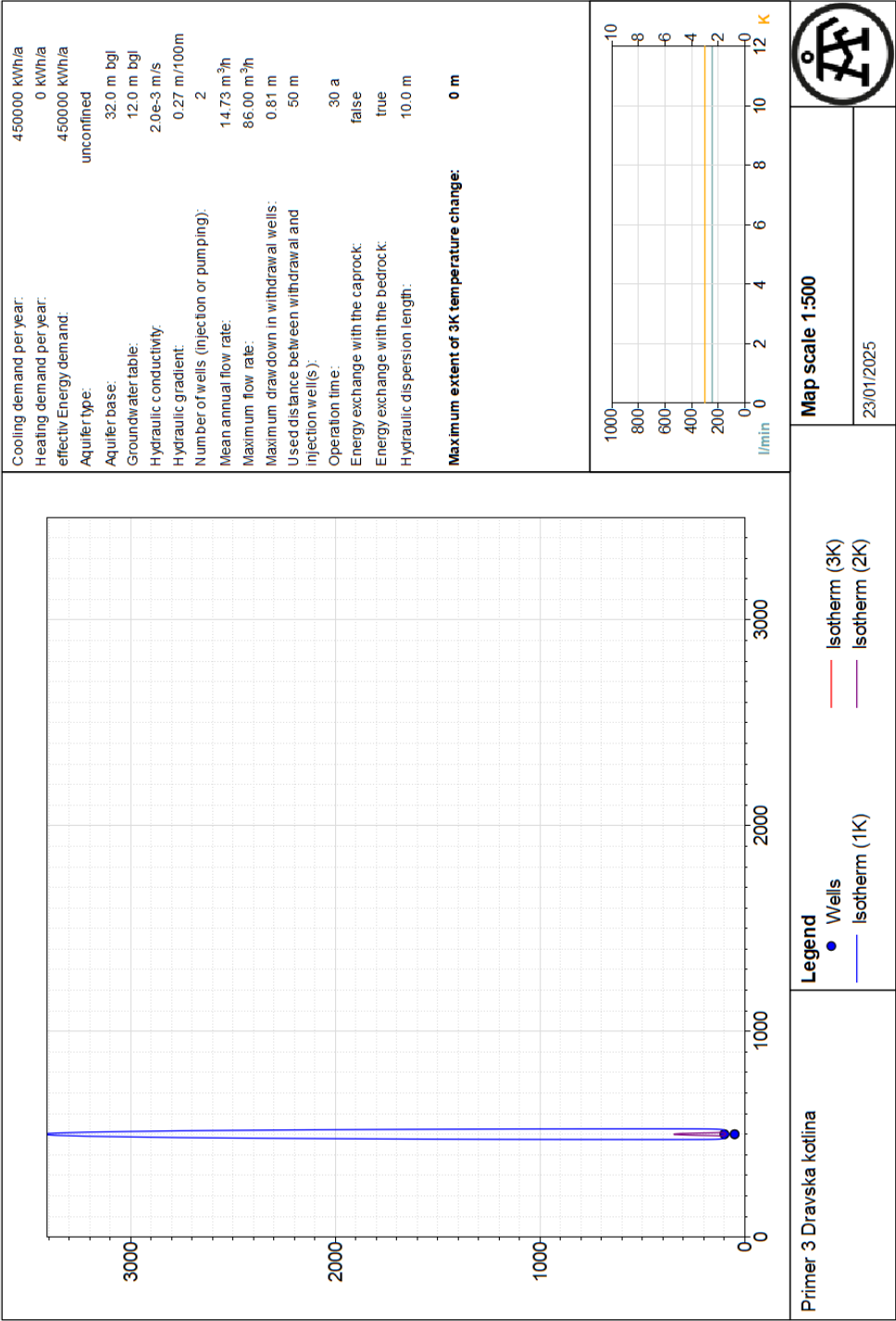
Slika 15. Krška kotlina – zmogljivost vodnjaka (analitično modeliranje po SIA 546 384/7:2015).



M3.1 Metodologija analize naravnih danosti za karakterizacijo izbranega pilotnega območja

Primer 4		spremenljivka	
DRAVSKA KOTLINA		IZRAČUN	
POTREBNA KOLIČINA ČRPNJA q_{req}			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRA/PRIMER	ENOTA	
toplotna moč pridobljena iz plitve geotermalne energije - moč kondenzatorja toplotne črpalke	$\Theta_{c,gen}$	0 kW	$q_{req} = \frac{\theta_{c,gen}}{\rho_w \cdot c_w \cdot \Delta T} resp. \frac{\theta_{c,dis}}{\rho_w \cdot c_w \cdot \Delta T}$
moč hlajenja pridobljena iz plitve geotermalne energije	$\Theta_{c,dis}$	300 kW	
gostota vode	ρ_w	997 kg/m ³	
specifična toplota vode	c_w	4186 J/kgK	
sprememba temperature	ΔT	3 K	
zahtevan/potreben volumski pretok (ogrevanje)	$q_{req, gen}$	0.0000 m ³ /s	
		0.00 l/s	
		0.000 m ³ /h	
		0.000 l/min	
zahtevan/potreben volumski pretok (hlajenje)	$q_{req, dis}$	0.0240 m ³ /s	
		23.96 l/s	
		86.260 m ³ /h	
		1,437.662 l/min	
ENAČBA ZA PROSTO GLADINO PODZEMNE VODE V ODPRTEM VODONOSNIKU			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRA/PRIMER	ENOTA	
prepustnost vodnosnika	K	2.00E-03 m/s	$q_e = \frac{\pi \cdot K \cdot (H^2 - h^2)}{\ln \frac{R}{r_w}}$
razlika med dnem vodnosnika in piezometrično gladino pred črpanjem (statično gladino)	H	20 m	
razlika med dnem vodnosnika in znižano piezometrično gladino med črpanjem (dinamično gladino)	h	19 m	
vplivni polmer vodnjaka (npr. po Sichardt-u)	R	134.16 m	
polmer vrtine	r_w	0.122 m	
razpoložljiva količina črpanja z vodnjakom	q_e	0.0350 m ³ /s	
		34.99 l/s	
		125.972 m ³ /h	
OČENJENA ZMOGLJIVOST VODNJAKA q_e PO SICHARDT-U ZA ODPRTI VODONOSNIK			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRA/PRIMER	ENOTA	
polmer vrtine	r_w	0.122 m	$q_e = \frac{2\pi \cdot r_w \cdot h \cdot \sqrt{K}}{15}$
razlika med dnem vodnosnika in znižano piezometrično gladino med črpanjem (dinamično gladino)	h	19.00 m	
prepustnost vodnosnika	K	2.00E-03 m/s	
priporočena zmogljivost vodnjaka	(3/2 q_c)	0.0359 m ³ /s	
zmogljivost vodnjaka	$q_c > (3/2 q_c)$	0.0434 m ³ /s	
		43.42 l/s	
		156.322 m ³ /h	
polmer filtrskih cevi	r_f	0.122 m	$nf > Q/(2 \cdot \pi \cdot r \cdot h \cdot vdop)$
Najmanjša potrebna odprtost filtrskih cevi (vdop < 0,03 m/s)	n_f	8.2 %	
ZNIŽANJE ALI DVIG GLADINE VODE Δh V VODNJAKU V PRIMERU VRAČANJA (S PRIBLIŽEVANJEM TUDI ZA ODPRTI VODONOSNIK)			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRA/PRIMER	ENOTA	
pretok	q_v	0.0359 m ³ /s	$\Delta h = \frac{q_v}{2\pi \cdot K \cdot M} \ln \frac{D - r_w}{r_w}$
razdalja med črpalnim in ponikalnim vodnjakom	D	26.00 m	
prepustnost vodnosnika	K	2.00E-03 m/s	
polmer vrtine	r_w	0.122 m	
debelina zaprtega vodnosnika [m]	M	19 m	
znižanje ali dvig gladine vode v vodnjaku	Δh	0.81 m	Δh 0.81
DARCYEVA HITOST			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRA/PRIMER	ENOTA	
prepustnost vodnosnika	K	2.00E-03 m/s	$Vd = K \cdot grad(h)$
grad(h)	grad(h)	0.0027	
darcyeva hitrost	v_D	5.40E-06 m/s	
		0.47 m/dan	
RAZDALJA DO MESTA VRAČANJA			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRA/PRIMER	ENOTA	
debelina zaprtega vodnosnika [m]	M	19 m	$D > 2q_v/(\pi \cdot M \cdot VD)$
darcyeva hitrost	v_D	5.40E-06 m/s	
povprečni letni pretok	q_v	4.10E-03 m ³ /s	
Razdalja do mesta vračanja	D	25.46 m	
VPLIVNI POLMER VODNJAKA PRI NAJVEČJEM ZNIŽANJU			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRA/PRIMER	ENOTA	
prepustnost vodnosnika	K	2.00E-03 m/s	$R = 3000 \cdot \Delta h \cdot \sqrt{K}$
sprememba gladine vode v vodnjaku	Δh	1.00 m	
radij vpliva črpanja	R	134.16 m	

Slika 17. Dravska kotlina – zmogljivost vodnjaka (analitično modeliranje po SIA 546 384/7:2015).

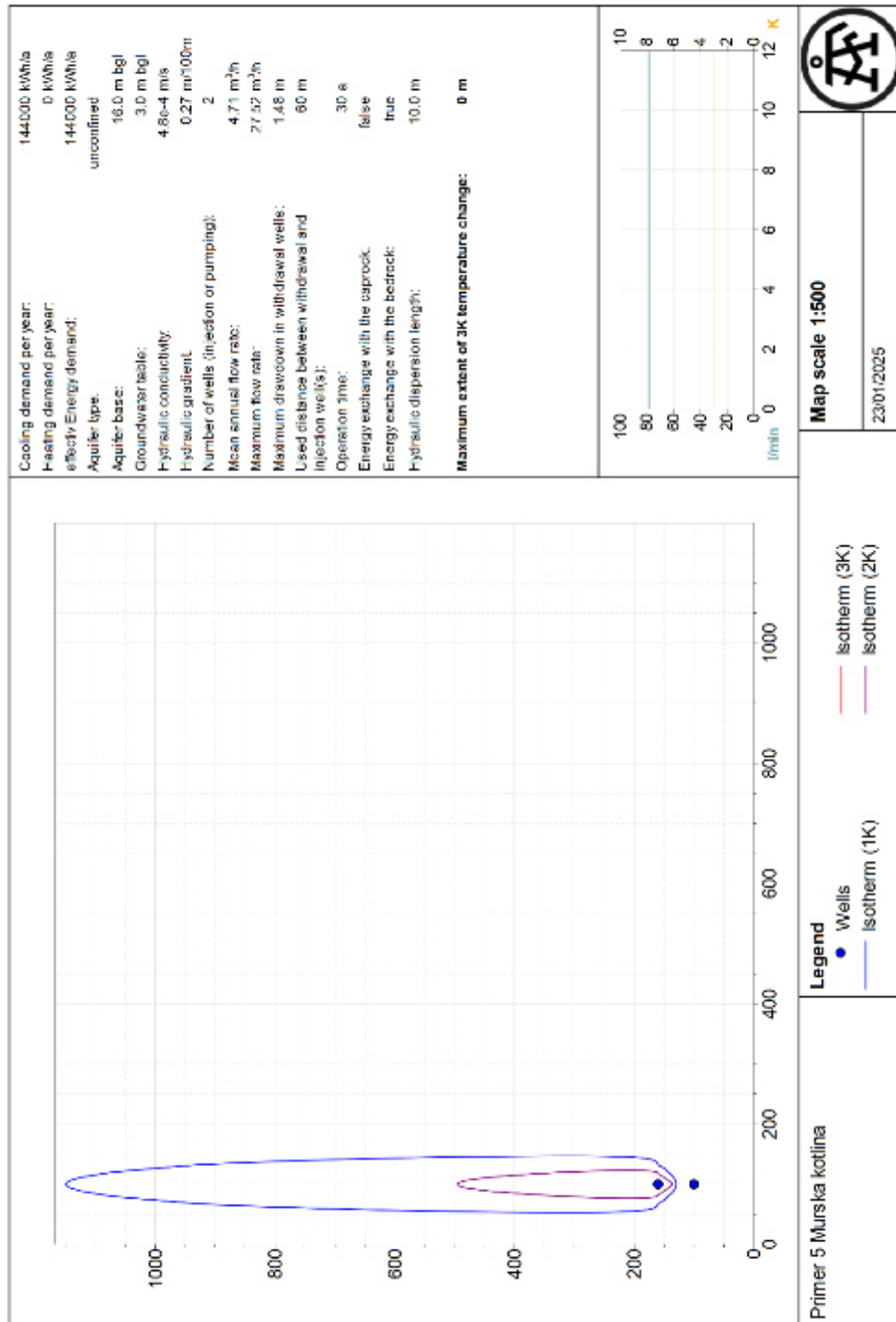


Slika 18. Dravska kotlina – vplivno območje (modeliranje z GED – Groundwater Energy Designer).

M3.1 Metodologija analize naravnih danosti za karakterizacijo izbranega pilotnega območja

Primer 5			spremenljivka
MURSKA KOTLINA			IZRAČUN
POTREBNA KOLIČINA ČRPNJA q_{req}			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRU/PRIMER	ENOTA	
toplotna moč pridobljena iz plitve geotermalne energije - moč kondenzatorja toplotne črpalke	$\Theta_{c,gen}$	0	$q_{req} = \frac{\theta_{c,gen}}{\rho_w \cdot c_w \cdot \Delta T} resp. \frac{\theta_{c,dis}}{\rho_w \cdot c_w \cdot \Delta T}$
moč hlajenja pridobljena iz plitve geotermalne energije	$\Theta_{c,dis}$	96	
gostota vode	ρ_w	997	
specifična toplota vode	c_w	4186	
sprememba temperature	ΔT	3	
zahtevan/potreben volumski pretok (ogrevanje)	$q_{req, gen}$	0.0000	
		0.00	
		0.000	
		0.000	
		0.000	
zahtevan/potreben volumski pretok (hlajenje)	$q_{req, dis}$	0.0077	
		7.67	
		27.603	
		460.052	
ENAČBA ZA PROSTO GLADINO PODZEMNE VODE V ODPRTEM VODONOSNIKU			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRU/PRIMER	ENOTA	
prepustnost vodonosnika	K	4.80E-04	$q_e = \frac{\pi \cdot K \cdot (H^2 - h^2)}{\ln \frac{R}{r_w}}$
razlika med dnom vodonosnika in piezometrično gladino pred črpanjem (statično gladino)	H	13	
razlika med dnom vodonosnika in znižano piezometrično gladino med črpanjem (dinamično gladino)	h	10.69	
vplivni polmer vodnjaka (npr. po Sichardt-u)	R	151.83	
polmer vrtine	r_w	0.122	
razpoložljiva količina črpanja z vodnjakom	q_e	0.0116	
		11.58	
		41.686	
OCENJENA ZMOGLJIVOST VODNJAKA q_e PO SICHARDT-U ZA ODPRTI VODONOSNIK			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRU/PRIMER	ENOTA	
polmer vrtine	r_w	0.122	$q_e = \frac{2\pi \cdot r_w \cdot h \cdot \sqrt{K}}{15}$
razlika med dnom vodonosnika in znižano piezometrično gladino med črpanjem (dinamično gladino)	h	10.69	
prepustnost vodonosnika	K	4.80E-04	
priporočena zmogljivost vodnjaka	(3/2 q_c)	0.0115	
zmogljivost vodnjaka	$q_c > (3/2 q_c)$	0.0120	
		11.97	
		43.087	
polmer filtrskih cevi	r_f	0.122	$nf > Q/(2 \cdot \pi \cdot r \cdot h \cdot v_{dop})$
Najmanjša potrebna odprtost filtrskih cevi (vdop < 0,03 m/s)	n_f	4.7	
ZNIŽANJE ALI DVIG GLADINE VODE Δh V VODNJAKU V PRIMERU VRAČANJA (S PRIBLIŽEVANJEM TUDI ZA ODPRTI VODONOSNIK)			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRU/PRIMER	ENOTA	
pretok	q_v	0.0115	$\Delta h = \frac{q_v}{2\pi \cdot K \cdot M} \ln \frac{D - r_w}{r_w}$
razdalja med črpalnim in ponikalnim vodnjakom	D	61.00	
prepustnost vodonosnika	K	4.80E-04	
polmer vrtine	r_w	0.122	
debelina zaprtega vodonosnika [m]	M	10.81	
znižanje ali dvig gladine vode v vodnjaku	Δh	2.19	
DARCYEVA HITOST			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRU/PRIMER	ENOTA	
prepustnost vodonosnika	K	4.80E-04	$V_d = K \cdot grad(h)$
grad(h)	grad(h)	0.0027	
darcyeva hitrost	v_D	1.30E-06	
		0.11	
		m/dan	
RAZDALJA DO MESTA VRAČANJA			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRU/PRIMER	ENOTA	
debelina zaprtega vodonosnika [m]	M	10.69	$D > 2q_v/(\pi \cdot M \cdot V_D)$
darcyeva hitrost	v_D	1.30E-06	
povprečni letni pretok	q_v	1.31E-03	
Razdalja do mesta vračanja	D	60.33	
		m	
VPLIVNI POLMER VODNJAKA PRI NAJVEČJEM ZNIŽANJU			
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRU/PRIMER	ENOTA	
prepustnost vodonosnika	K	4.80E-04	$R = 3000 \cdot \Delta h \cdot \sqrt{K}$
sprememba gladine vode v vodnjaku	Δh	2.31	
radij vpliva črpanja	R	151.83	

Slika 19. Murska kotlina – zmogljivost vodnjaka (analitično modeliranje po SIA 546 384/7:2015).



Slika 20. Murska kotlina – vplivno območje (modeliranje z GED – Groundwater Energy Designer).