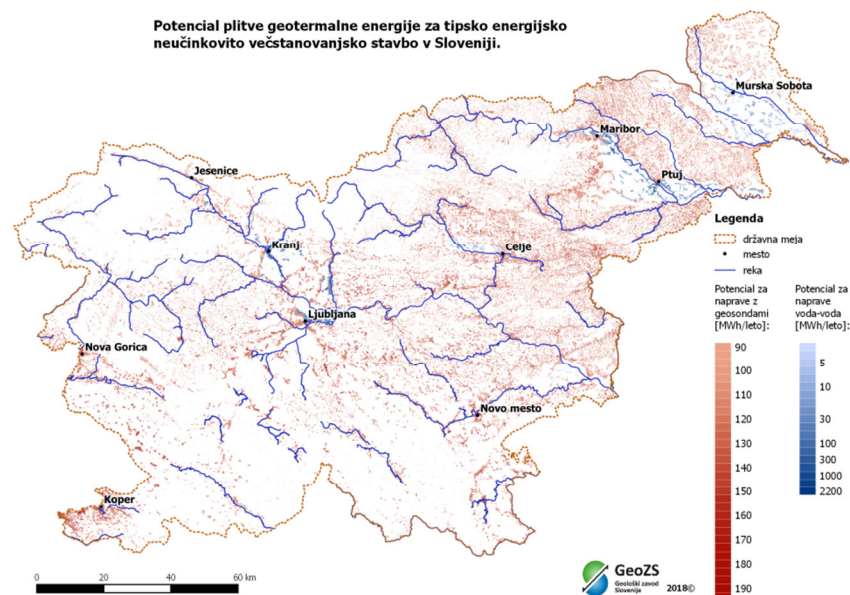


Analize potenciala plitve geotermalne energije v Sloveniji do leta 2050, za projekt LIFE ClimatePath2050 (LIFE 16 GIC/SI/000043)

Končno poročilo



Naročnik:	Institut "Jožef Stefan", Center za energetska učinkovitost (CEU), Jamova c. 39, 1001 Ljubljana
Izvajalec:	GEOLOŠKI ZAVOD SLOVENIJE Dimičeva ulica 14, 1001 Ljubljana
Št. pogodbe / naročilnice / e-naročila:	N18_0016
Dinamika plačil:	30 dni po izstavljeni fakturi
Datum izdaje ponudbe:	22.02.2018
Arhivska številka:	
Število izvodov:	
Naloga/Projekt:	Analize potenciala plitve geotermalne energije v Sloveniji do leta 2050, za projekt LIFE ClimatePath2050 (LIFE 16 GIC/SI/000043)
Datum izdelave:	Julij 2017
Avtorji:	mag. Joerg Prestor, univ.dipl.inž.geol. Simona Pestotnik, univ.dipl.inž.vod. in kom. inž. mag. Dušan Rajver, univ.dipl.inž.geol. dr. Jernej Jež, univ.dipl.inž.geol. David Gerčar, mag. inž. geol. Klemen Klančič, dipl. inž. geol. Janja Svetina, dipl. inž. geol.
Tehnična podpora:	
Nosilec naloge:	Simona Pestotnik, univ.dipl.inž.vod. in kom. inž.
Vodja organizacijske enote:	dr. Nina Rman, univ.dipl.inž.geol.
Direktor:	dr. Miloš Bavec, univ. dipl. inž. geol.
Ključne besede:	Potencial, geotermalne toplotne črpalke, plitva geotermalna energija, geosonde, sistemi voda-voda, Slovenija
Datum:	Ljubljana, julij 2018

Nosilci posameznih sklopov naloge
DP1:
DP2:
DP3:
DP4
Sodelavci na projektu
Pregledovalec:

VSEBINA

1. UVOD	5
1.1. PLITVA GEOTERMALNA ENERGIJA	6
2. EKONOMSKI VIDIK IZKORIŠČANJA GEOTERMALNE ENERGIJE	8
2.1. Geotermalne toplotne črpalke	9
2.2. Obratovalni stroški in vzdrževanje	11
2.3. Zajetje z geosondo	14
2.4. Zajetje s sistemom voda-voda	15
2.5. Letni stroški vzdrževanja in življenjska doba	15
2.6. Ekonomska analiza investicije	16
3. DEJAVNIKI IN OMEJITVE IZKORIŠČANJA GEOTERMALNE ENERGIJE	17
3.1. Območja izključitev (izključitvena območja)	17
3.2. Območja opozoril	18
4. PRIPRAVA KONCEPTA MODELA IN IZRAČUNI	23
4.1. Geosonde	23
4.1.1. Scenariji	30
4.2. Sistemi voda - voda	34
4.2.1. Modeliranje za ugotavljanje potenciala izkoriščanja toplote iz vodonosnika	39
4.2.2. Pregled dobljenih izračunov vplivnih območij s spremembo temperature podzemne vode nad 1°C	42
5. REZULTATI IZRAČUNOV ZA PRIMERU MARIBOR	46
5.1. Geosonde	46
5.1.1. Interpretacija podatkov na primeru Maribor	47
5.1.1.1. Scenarij za energijsko neučinkovito enostanovanjsko stavbo (ESS1)	47
5.1.1.2. Scenarij za energijsko učinkovito enostanovanjsko stavbo (ESS2)	47
5.1.1.3. Scenarij za energijsko neučinkovito večstanovanjsko stavbo (VSS1)	47
5.1.1.4. Scenarij za energijsko učinkovito večstanovanjsko stavbo (VSS2)	48
5.1.1.5. Scenarij za energijsko neučinkovito pisarniško stavbo (PS1)	48
5.1.1.6. Scenarij za energijsko učinkovito pisarniško stavbo (PS2)	49
5.1.1.7. Razprava	49
5.2. Sistemi voda-voda	50
Znotraj območja Maribor je bil izračunan potencial za sisteme voda-voda za celice, ki ležijo znotraj vodonosnika in izven ožjih vodovarstvenih območji (Slika 32).	50
5.2.1. Interpretacija podatkov na primeru Maribor	52

5.2.1.1. Scenarij za energijsko neučinkovito večstanovanjsko stavbo (VSS1).....	52
5.2.1.2. Scenarij za energijsko učinkovito večstanovanjsko stavbo (VSS2).....	53
5.2.1.3. Scenarij za energijsko neučinkovito pisarniško stavbo (PS1).....	53
5.2.1.4. Scenarij za energijsko neučinkovito pisarniško stavbo (PS2).....	54
5.2.1.5. Razprava	54
6. ANALIZA POTENCIALA PLITVE GEOTERMALNE ENERGIJE ZA GOSTO POSELJENA OBMOČJA V SLOVENIJI	55
7. LITERATURA/VIRI.....	56
8. ELEKTRONSKE PRILOGE.....	59

KAZALO SLIK

Slika 1. Primeri različnih zajetij plitve geotermalne energije.....	7
Slika 2. Odvisnost cene geotermalnih toplotnih črpalk od nazivne toplotne moči (Termo-tehnika d.o.o., 2018).	10
Slika 3. Cene energije za standardne porabniške skupine - letno povprečje. Vir: MZI, Portal energetika.	11
Slika 4. Rast učinkovitosti geotermalnih toplotnih črpalk po celoletnem izkoristku (SPF - seasonal performance factor) glede na uporabo te tehnologije v Srednji Evropi ter pričakovanja do leta 2020. EGECE, 2012.....	12
Slika 5. Potrebna globina vrtine za tip energijsko manj učinkovite enostanovanjske stavbe (ESS 1) glede na SPF število, pri $\lambda = 2,6 \text{ W/mK}$; $T_0 = 10 \text{ °C}$; $q = 0,05 \text{ W/m}^2 \text{ in}$; $C_v = 2,1 \text{ MJ/(m}^3\text{K)}$	13
Slika 6. Letni strošek delovanja potopne črpalke v odvisnosti pretoka podzemne vode in dvizne višine.	14
Slika 7. Združen prikaz območij izključitev za potencial zajetij plitve geotermalne energije.	18
Slika 8. Območja in stopnje zakrasedlosti kamnin v Sloveniji.	20
Slika 9. Združen prikaz vseh območij opozoril pri gradnji zajetij plitve geotermalne energije.....	21
Slika 10. Skupni prikaz območij izključitev (rdeča) in omejitev (oranžna) ter ostalih (zelena).	22
Slika 11. Letna raba energije za ogrevanje na območju Maribor (Urbančič, 2018).....	23
Slika 12. Karta porazdelitve temperatur na površini trdnih tal za Slovenijo, T_0 , °C.....	24
Slika 13. Karta toplotne prevodnosti kamnin in zemljin na površju v Sloveniji, λ , $\text{W/(m}\cdot\text{K)}$	25
Slika 14. Karta gostote toplotnega toka za Slovenijo, q , mW/m^2	25
Slika 15. Karta volumnske toplotne kapacitete kamnin in zemljin na površju za Slovenijo, C_v , $\text{MJ/(m}^3\text{K)}$	26
Slika 16. Razredi toplotnih prevodnosti geoloških plasti in temperature tal na območju računskih celic.	27
Slika 17. Strošek zajetja z geosondo na enoto pridobljene moči v odvisnosti od temperature tal.....	28
Slika 18. Razpon vrednosti med toplotnimi prevodnostmi geoloških plasti in volumnske toplotne kapacitete na območju celotne Slovenije, določeno na Buserjevi litološki karti Slovenije 1:250.000..	28
Slika 19. Kombinacije vrednosti temperature tal, toplotne prevodnosti in gostote toplotnega toka, ki smo jih modelirali v programu EED.	29
Slika 20. Shema za enostanovanjsko stavbo (ESS). $ETOT1 = 10,88 \text{ MWh/leto}$, $LBHE1 = 84,4 \text{ m}$. $SPFH = 3,7$ in $SPFSTV = 3$. Karakteristike tal: $\lambda = 2,6 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, $T_0 = 10 \text{ °C}$, $q = 62,5 \text{ mW/m}^2$, $C_v = 2,1$	

MJ/(m ³ K).....	31
Slika 21. Območje 1 ha (100 m x 100 m) na katerem so štiri enostanovanjske stavbe, vsaka ima za pokrivanje potreb po toploti eno geosondo, skupaj 4 geosonde, z modro črtkano črto pa je prikazano območje vpliva ene geosonde (42,2 m x 42,2 m).....	32
Slika 22. Shema za večstanovanjsko stavbo (VSS). $ETOT1 = 107,784$ MWh/leto, $LBHE1 = 150$ m. $SPFH = 3,7$ in $SPFSTV = 3$. Karakteristike tal: $\lambda = 2,9$ W/(m.K), $T_0 = 11$ °C, $q = 75$ mW/m ² , $C_v = 2,1$ MJ/(m ³ K).....	33
Slika 23. Območje 1 ha (100 m x 100 m) z 1 poljem geosond. Z modro črtkano črto je označena površina vpliva 1 polja geosond (75 m x 103 m). V vzdolžni smeri je vpliv polja večji od 100 m, v bočni pa manjši. Skupna površina vpliva enega polja pa je manjša od 1 ha.....	34
Slika 24. Območje računa potenciala za sisteme voda-voda znotraj večjih aluvialnih vodonosnikov v Sloveniji.	34
Slika 25. Izračun gradienta za vodno telo Savinjske doline.	36
Slika 26. Izračun gradienta za vodno telo Savske kotline in Ljubljanskega barja.	38
Slika 27. Prikaz razredov debelin zasičene cone medzrnskih vodonosnikov (5-10 m, 10-15 m, 15-20 m, ≥ 20 m).	39
Slika 28. Izračun potenciala izkoriščanja toplote podzemne vode z modeliranjem termične vplivne površine po 30 letih delovanja z uporabo GED programske opreme za primer PS1 in različne debeline vodonosnika.	42
Slika 29. Razporeditev vrednosti izračunanih dolžin oblaka z $dT > 1$ °C za vse obravnavane primere..	44
Slika 30. Potencial za primer VSS1.....	48
Slika 31. Primerjava pridobljene energije na 200 metrsko geosondo za različne toplotne prevodnosti (λ) in vmesne razdalje.....	50
Slika 32. Celice znotraj medzrnskega vodonosnika in izven omejitev na območju Maribor.	51
Slika 33. Potencial za primer VSS1.....	53
Slika 34. Potencial plitve geotermalne energije za primer VSS1.	55

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1. Profil rabe potrebne toplote za ogrevanje, gospodinjstva in storitveni sektor (Stegnar, 2018).	8
Preglednica 2. Mesečni profili rabe potrebne toplote za ogrevanje, gospodinjstva in storitveni sektor (Stegnar, 2018).	9
Preglednica 3. Potrebna toplota za pripravo tople vode (Stegnar, 2018).	9
Preglednica 4. Cene toplotnih črpalk za namen te analize.....	10
Preglednica 5. Subvencije EKOSKLAD 54SUB-OB17.	10
Preglednica 6. Cene energije za standardne porabniške skupine - letno povprečje za leto 2016. Vir: Mzi, Portal energetika.	12
Preglednica 7. Učinkovitost geotermalnih toplotnih črpalk, glede na meritve na terenu iz različnih kampanj v Nemčiji, ki jih je izvajal Fraunhofer ISE, Freiburg (vrednosti vzete iz predstavitve Miara na forumu BWP Wärmepumpenforum 2014, Berlin 14.11.2014) (EGEC, 2017. EGEC extended feedback on DRAFT REGULATION on Annual energy statistics updates for annual and monthly energy statistics amending Regulation (EC) No 1099/2008;.....	13
Preglednica 8. Ocene investicije za instalacije	14
Preglednica 9. Cena vrtine z geosondo (Benček R. 2017)	15

Preglednica 10. Cena zajetja z vodnjakom (Klima d.o.o., 2018)	15
Preglednica 11. Letni stroški vzdrževanja in življenjska doba	15
Preglednica 12. Investicija (brez DDV)	16
Preglednica 13. Posebni geoloških pogojev, kriteriji in ustrezni ukrepi (GRETA, 2018)	19
Preglednica 14. Vhodni podatki v EED	29
Preglednica 15. Največji čas neprekinjenega delovanja toplotne črpalke v urah, povzete po Groupe de travail PGN, 2008.	30
Preglednica 16. Osnovni parametri	40
Preglednica 17. Statistične lastnosti vzorca izbranih celic za analizo potenciala za geosonde	46
Preglednica 18. Statistične lastnosti vzorca izbranih celic za analizo potenciala za voda-voda.	51

KAZALO ELEKTRONSKIH PRILOG

Elektronska priloga 1:	59
------------------------------	----

1. UVOD

V okviru naloge "Analize potenciala plitve geotermalne energije v Sloveniji do leta 2050, za projekt LIFE ClimatePath2050 (LIFE 16 GIC/SI/000043)" smo po naročilu Instituta "Jožef Stefan", Center za energetska učinkovitost (CEU), izvedli naslednje aktivnosti:

- Ekonomski vidik izkoriščanja geotermalne energije

Pripravljena je ekonomska analiza investicije v geotermalno toplotno črpalko na primeru dveh tipičnih eno- in večstanovanjskih stavb ter poslovnih stavb za sisteme geosond in voda-voda.

Ekonomska ocena upošteva različne razrede potenciala in različne potrebe po toploti in sicer ločeno za območja z vodonosniki in območja brez vodonosnikov.

V ekonomski oceni je podana tudi struktura stroškov, ki vsebuje vse potrebne ekonomske podatke za oceno stroškov v življenjski dobi (investicijska cena, letni obratovalni stroški, stroški vzdrževanja).

- Dejavniki in omejitve izkoriščanja geotermalne energije

Pripravljen je opis dejavnikov, ki določajo in omejujejo izkoriščanje plitve geotermalne energije. Kot elektronska priloga je pripravljena GIS karta omejitev izkoriščanja plitve geotermalne energije.

- Priprava koncepta modela in izračun dveh primerov

Pripravljen je koncept modela potenciala za izkoriščanje plitve geotermalne energije za gosto poseljena območja v Sloveniji in dva primera ocen, in sicer za eno območje z vodonosniki in eno območje brez vodonosnikov za območje Maribora.

Izračunan je potencial in pripravljena GIS karta potenciala za izkoriščanje geotermalne energije na obravnavanih gosto poseljenih območjih z in brez vodonosnikov:

- na podlagi podatkov, ki jih je pripravil naročnik - podatkov o potrebni toploti in sicer za območja 100 m x 100 m za Maribor;
 - upoštevane so značilnosti tal (toplotna prevodnost, specifična toplotna zmogljivost, temperatura tal, gostota toplotnega toka) ter omejitve izkoriščanja plitve geotermalne energije);
 - ocenjen je potencial geotermalne energije (v MWh/a) za območja 100m x 100m in stroški za izkoriščanje geotermalne energije z upoštevanjem potenciala za izkoriščanje in glede na potrebe po toploti.
- Analiza potenciala plitve geotermalne energije za gosto poseljena območja v Sloveniji

Glede na usklajen koncept modela ocene potenciala in GIS karto gosto poseljenih območij z ocenami potrebne toplote na območjih velikosti 100 mx100 m je izračunan potencial in pripravljene so GIS karte potenciala za izkoriščanje geotermalne energije z modelom.

- Sodelovanje na delavnici o potencialih geotermalne energije

Dne, 19.6.2018, smo aktivno sodelovali na delavnici z naslovom »Potenciali plitve geotermalne energije v Sloveniji«, katere namen je bila razprava v širši strokovni javnosti in s ključnimi deležniki o predpostavkah za projekcije rabe plitve geotermalne energije v Sloveniji.

1.1. PLITVA GEOTERMALNA ENERGIJA

Geotermalne toplotne črpalke izkoriščajo za ogrevanje in hlajenje stavb energijo, ki je shranjena v obliki toplote pod trdnim zemeljskim površjem. Toploto, oziroma hlad, odvzamejo podzemni vodi, kamnini ali zemljini in jo prenesejo v ogrevalni, oziroma hladilni, sistem stavbe. Sama toplotna črpalka pa deluje enako kot druge toplotne črpalke, ki izkoriščajo toplotno energijo iz okolja, to je iz zraka, reke, jezera, morja. Toplotna energija iz zemlje se prenese na posebno hladilno sredstvo, ki kroži v toplotni črpalci. Prednost in večja učinkovitost geotermalne toplotne črpalke od ostalih črpalk je v tem, da je temperatura v tleh bolj stalna in v povprečju višja kot v zraku ali površinskih vodah. Že na površini tal je temperatura v povprečju višja za eno stopinjo glede na povprečno temperaturo zraka. Bistveno nižji pa je tudi razpon nihanja temperature med zimo in poletjem. Na globini večji od 20 m tega nihanja praktično ni več, tako da je na tej globini temperatura že stalna (v Sloveniji večinoma med 9 in 14 °C) in se z globino povečuje za približno 3 °C/100 m.

V kamninah in zemljinah se toplotna energija počasi obnavlja. Zaradi tega so primerne tudi za skladiščenje toplote, sistemi, ki uporabljajo gretje in hlajenje pa so zaradi tega bistveno cenejši in učinkovitejši od tistih, ki uporabljajo samo gretje ali samo hlajenje. Če je v kamnini oziroma zemljini prisoten tok podzemne vode, je obnavljanje toplotne energije bistveno hitrejše. Zato so sistemi voda-voda najbolj učinkoviti, vendar pa so bolj dovzetni na medsebojne vplive, ki jih je treba upoštevati pri ocenah potenciala.

Izkoriščanje geotermalne energije za ogrevanje in hlajenje s toplotnimi črpalkami se lahko izvede z zaprtimi ali odprtimi sistemi. »Zaprti sistem« je sistem toplotne izmenjave, pri katerem prenosnik toplote kroži v zaprti cevni napeljavi pod površjem tal in ne pride do stika z naravnim okoljem. »Odprti sistem« je sistem toplotne izmenjave, pri katerem je prenosnik toplote površinska ali podzemna voda, ki je v stiku z naravnim okoljem, iz katerega se črpa oziroma vrača. Zajetja plitve geotermalne energije lahko izvedemo na zelo različne načine, ki se prilagajajo različnim geološkim in drugim razmeram na danem zemljišču. Z vodoravnimi sistemi (kolektorji) lahko naredimo zajetje že v globini od 1,2 do 2 m, z navpičnimi sistemi z vrtinami običajno 100 do 150 m globine, z energetske piloti globine od 5 do 45 m, energetske košarami globine od 2 do 5 m in z vodnjaki globine od 4 do > 50 m. Za toplotne izmenjevalnike se lahko izkoristijo tudi gradbene konstrukcije, kot so na primer temelji stavb, predori ali tudi rudniški rovi. Primeri različnih zajetij so prikazani na spodnji sliki (Slika 1).



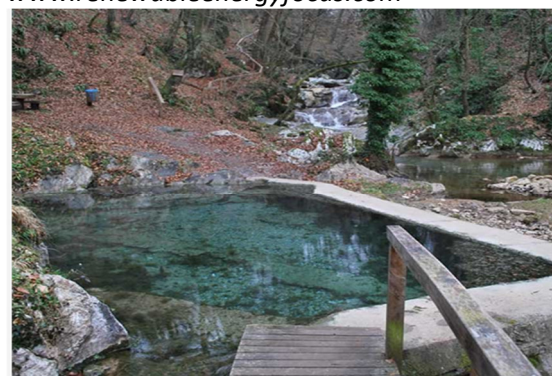
Vodoravni kolektor ($\approx 0,8 - 3,2 \text{ kW} / 100 \text{ m}^2$).
<http://ingramswaterandair.com>



Geosonda v vrtini ($\approx 3,8 - 7,5 \text{ kW} / 100 \text{ m}$).
www.renewableenergyfocus.com



Predorska obloga. <http://www.bine.info>



Izvir ($\approx 13 \text{ kW}$ na 1 l/s $dT=3^\circ\text{C}$).
vnaravi.si/novomesko-kraska/klevezv



Energetska košara ($\approx 1 - 3 \text{ kW}$ na košaro globine do 5 m). info.uponor.lv



Vodnjak za podzemno vodo ($\approx 13 \text{ kW}$ na 1 l/s $dT=3^\circ\text{C}$) <http://www.geo-hidro.si>



Energetski pilot ($\approx 1 - 3 \text{ kW}$ na pilot)
<https://ars.els-cdn.com>



Energetski gradbeni element

Slika 1. Primeri različnih zajetij plitve geotermalne energije.

2. EKONOMSKI VIDIK IZKORIŠČANJA GEOTERMALNE ENERGIJE

Glavni komponenti stroškov izkoriščanja geotermalne energije sta toplotna črpalka in zajetje plitve geotermalne energije.

Stroški toplotne črpalke so okoli 5.400 € za enostanovanjske stavbe (do 20 kW) ter okoli 10.500 € za večje stavbe (nad 20 do 100 kW). Strošek na toplotno moč je za toplotne črpalke voda-voda nekoliko nižji.

Stroški zajetja so odvisni od tipa tehnologije. Najbolj razpršena so zajetja z geosondami, pri katerih so stroški 53,69 € na meter vrtine, plus fiksni stroški na vrtino, premik 325 € na vrtino ter 28 € na meter za razpeljavo med vrtinami. Po drugi strani so zajetja podzemne vode veliko bolj primerna za velike naprave. Gradnja vodnjakov ima številne fiksne ali le malo spremenljive stroškovne komponente, kot so načrt lokacije črpalne in ponikovalne vrtine, strokovne osnove za pridobitev dovoljenja za raziskavo podzemnih voda, po končanih vrtalnih deli poročilo o izvedenih črpalnih / nalivalnih poizkusih za pridobitev vodne pravice. Zaradi tega so ti sistemi postali priljubljeni pri velikih napravah (na primer preko 20 kW), na katere imajo taki stroški šibkejši vpliv. Privzamemo skupne stroške na meter vodnjaka med 70 in 120 € na meter vrtine. Za primerjavo bi v tem primeru zajetje podzemne vode v Mariboru, z močjo 100 kW, sistemom dveh vodnjakov s po 30 m globine in pomenil investicijo 4.200 € do 7.200 €; sistem z geosondami bi zajemal približno 15 sond z globino 100 m in skupno stroškom več kot 87.000 €!

V naslednjih poglavjih je predstavljena struktura stroškov na primeru tipičnih profilov rabe potrebne toplote za ogrevanje (Preglednica 1, Preglednica 2) in za pripravo tople vode (Preglednica 3) s sistemom geotermalnih toplotnih črpalk voda/voda in zemlja/voda. Vhodni podatek je vsota potrebne toplote za ogrevanje in sanitarno toplo vodo.

Pomen oznak:

ESS enostanovanjska stavba

VSS večstanovanjska stavba

PS pisarniška stavba

_1 energijsko neučinkovita stavba, ki ne ustreza obstoječemu pravilniku, ki ureja URE v stavbah

_2 energijsko učinkovita stavba, ki ustreza obstoječemu pravilniku, ki ureja URE v stavbah

Preglednica 1. Profil rabe potrebne toplote za ogrevanje, gospodinjstva in storitveni sektor (Stegnar, 2018).

	ESS1	ESS2	VSS1	VSS2	PS1	PS2	Enota
Moč - H	6	4	48	23	65	40	kW
Moč - STV	3	3	18	18	6,5	6,5	kW
Moč – H & STV	9	7	66	41	71,5	46,5	kW
Qnh	58	21	45	14,9	87	39	kWh/m ² a
Qnh	9280	3360	79024	26180	112779	50697	kWh/a

H – ogrevanje (heating); STV – sanitarna topla voda

Preglednica 2. Mesečni profili rabe potrebne toplote za ogrevanje, gospodinjstva in storitveni sektor (Stegnar, 2018).

Mesec	ESS1	ESS2	VSS1	VSS2	PS1	PS2	TP (Ljubljana)
Enota	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[kWh/m]
1	24%	29%	21%	25%	22%	25%	20%
2	17%	17%	16%	19%	17%	19%	17%
3	10%	6%	13%	12%	12%	11%	14%
4	(4%) 5%	(1%) 2%	8%	(6%) 5%	(6%) 7%	4%	9%
5	0%	0%	1%	0%	1%	0%	0%
6	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
7	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
8	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
9	0%	0%	1%	0%	0%	0%	1%
10	6%	3%	6%	2%	7%	5%	9%
11	16%	17%	14%	14%	15%	15%	14%
12	22%	26%	20%	23%	19%	21%	18%

*vrednosti v oklepajih so bile prilagojene, zaradi zaokroževanj.

Preglednica 3. Potrebna toplota za pripravo tople vode (Stegnar, 2018).

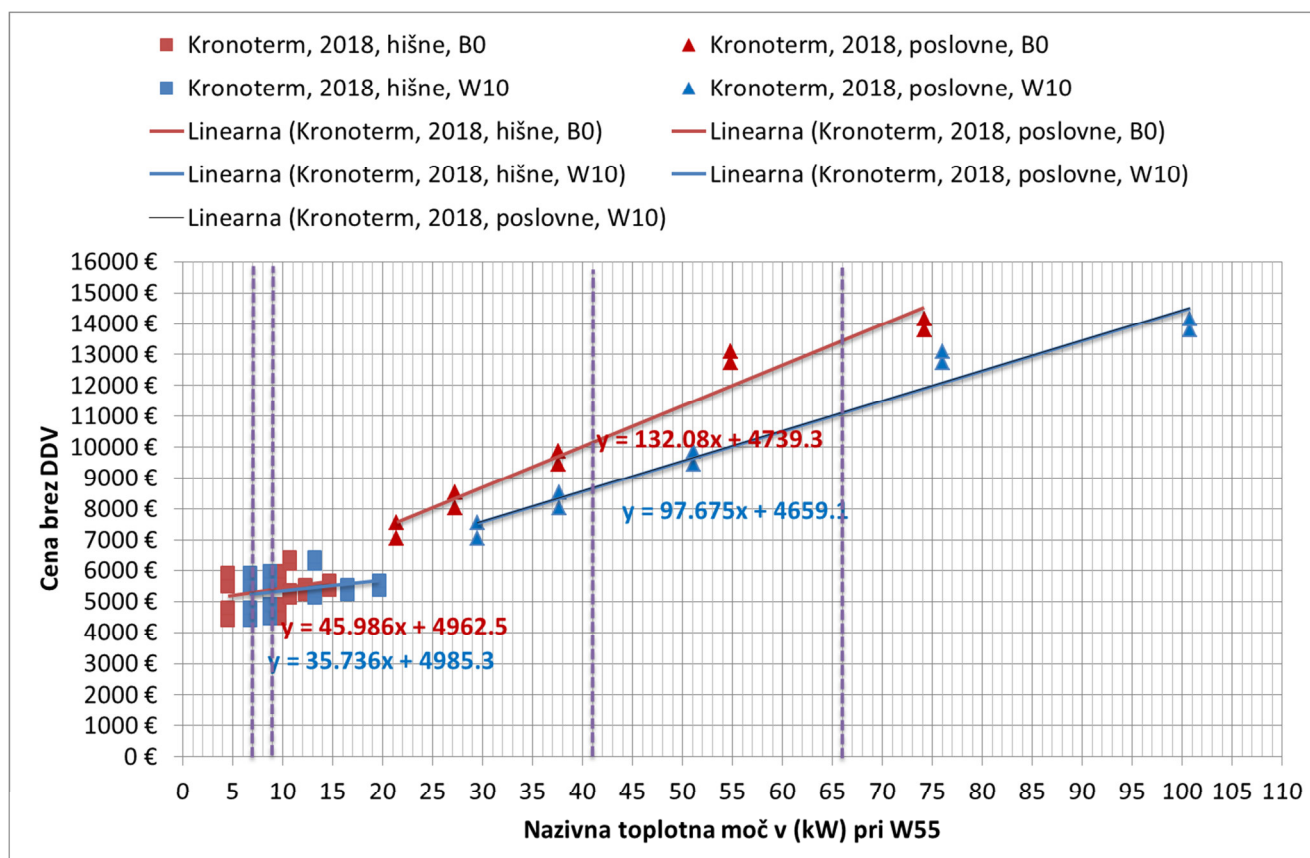
Zahteve						
ESS	10	kWh/m ² a	160	m ²	1600	kWh/a
VSS	16	kWh/m ² a	1760	m ²	28160	kWh/a
PS	30	Wh/m ² d	1299	m ²	14224	kWh/a

2.1. Geotermalne toplotne črpalke

V Sloveniji so štirje pomembni proizvajalci geotermalnih toplotnih črpalk, to so Kronoterm d.o.o., Kota d.o.o., Gorenje d.o.o. in Termoshop d.o.o. Poleg teh je na slovenskem trgu mnogo zastopnikov z več kot 35 tujih znamk. Iz analize, ki smo jo opravili na podatkih 231 stavb (poslovnih, izobraževalnih, turističnih), moči med 20 in 500 kW ima največ objektov nameščene toplotne črpalke znamke Kronoterm d.o.o., sledi Kota d.o.o. Poleg teh dveh se pogosto pojavljata tudi Vissmann in Dimplex. Manj zastopane so znamke Termoshop, Nibe, IDM, Frigopol, Thermia, Rehau, Clivet in druge znamke.

Glede na največjo zastopanost na Slovenskem trgu, smo analizirali cene po katalogu proizvajalca Kronoterm 2018¹, posebej za hišne in poslovne objekte, zemlja-voda (B0) ter voda-voda (W10). Cena geotermalnih toplotnih črpalk raste približno linearno z močjo, zato smo na podatkih uporabili linearno trendno črto ter glede na njeno enačbo izračunali ceno za izbrane tipe stavb.

¹ https://kronoterm.com/wp-content/uploads/2018/04/Cenik-2018-2019_veljavnost-s-16_4_2018-9.pdf?dwpfuha=1



Slika 2. Odvisnost cene geotermalnih toplotnih črpalk od nazivne toplotne moči (Termo-tehnika d.o.o., 2018).

Stroški po nazivni moči toplotnih črpalk voda-voda so nekoliko nižji kot zemlja-voda, ta razlika postane pomembna pri toplotnih črpalkah večjih nazivnih moči. Spodnja preglednica povzema cene, ki so bile uporabljene za namen te analize.

Preglednica 4. Cene toplotnih črpalk za namen te analize.

	Zemlja-voda	Voda-voda
ESS2, 7kW	5.300 €	5.200 €
ESS1, 9 kW	5.400 €	5.300 €
VSS2, 41 kW	10.200 €	8.700 €
VSS1, 66 kW	13.500 €	11.100 €
PS1, 71,5 kW	14.200 €	11.600 €
PS2, 46,5 kW	10.900 €	9.200 €

V Sloveniji so na voljo tudi subvencije za nakup in vgradnjo toplotne črpalke in izvedbo zajetja plitve geotermalne energije. Preglednica 5 prikazuje trenutne možnosti za fizične osebe.

Preglednica 5. Subvencije EKOSKLAD 54SUB-OB17.

FIZIČNE OSEBE	
Pri prvi vgradnji ogrevalnega sistema v stanovanjski stavbi oziroma če toplotna črpalčka	Višina nepovratne finančne spodbude znaša do 20 % priznanih stroškov naložbe, vendar ne več kot

ne bo zamenjala stare kurilne naprave , in sicer na celotnem območju Republike Slovenije :	2.500 € za ogrevalno toplotno črpalko tipa voda/voda ali slanica (kot npr. zemlja)/voda
Pri zamenjavi stare kurilne naprave z novo toplotno črpalko na območjih občin, kjer ni sprejet Odlok o načrtu za kakovost zraka :	Višina nepovratne finančne spodbude znaša do 40 % priznanih stroškov naložbe, vendar ne več kot 4.000 € za ogrevalno toplotno črpalko tipa voda/voda ali slanica (kot npr. zemlja)/voda
Pri zamenjavi stare kurilne naprave z novo toplotno črpalko na območjih občin, ki imajo sprejet Odlok o načrtu za kakovost zraka :	Višina nepovratne finančne spodbude znaša do 50 % priznanih stroškov naložbe, vendar ne več kot 5.000 € za ogrevalno toplotno črpalko tipa voda/voda ali slanica (kot npr. zemlja)/voda

Priznani stroški vključujejo:

- Nakup in vgradnjo ene ogrevalne toplotne črpalke na stanovanjsko enoto;
- Nakup in vgradnjo hranilnika toplote, vodnega toplotnega zbiralnika ter povezavo s toplotno črpalko;
- Izvedbo zemeljskega kolektorja ali vrtin;
- Električne in strojne instalacije za potrebe delovanja in krmiljenja sistema ter zagon sistema.

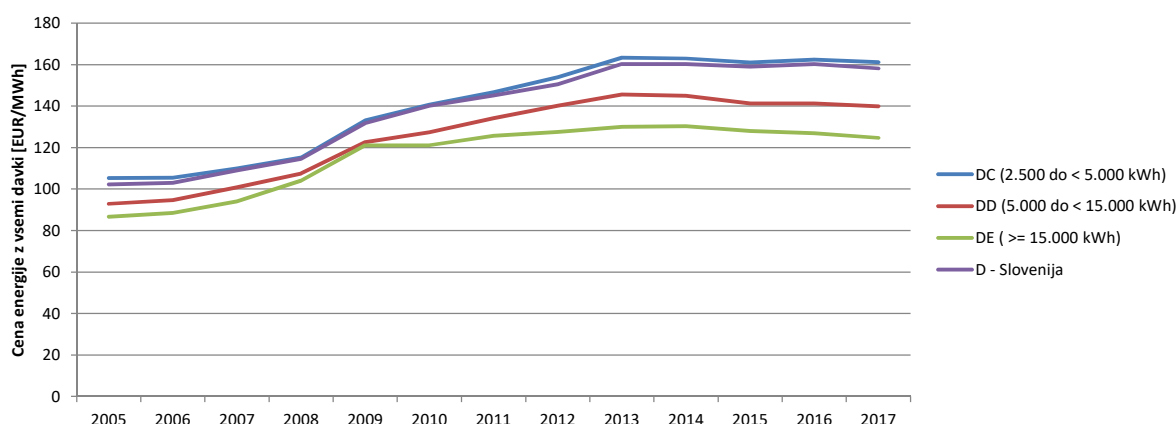
Subvencije nismo upoštevali pri vrednotenju investicij, saj višina spodbude ni fiksna in je odvisna od več faktorjev, kot je razvidno iz zgornje tabele.

2.2. Obratovalni stroški in vzdrževanje

Na obratovalne stroške vplivajo cene elektrike in učinkovitost toplotne črpalke (SPF).

Za namen te analize upoštevamo cene energije za porabniško skupino DD (5.000 do < 15.000 kWh), ki je 141,2 € (Preglednica 6). Tipična poraba povprečnega gospodinjstva v Sloveniji je okrog 3.600 kWh/leto. V analizo je predpostavljena za enodružinske hiše dodatna poraba za obratovanje toplotne črpalke cca 2.510 oz. 910 kWh/leto za dva tipa stavb.

Glede na dejstvo, da se v zadnjih dveh letih cene niso bistveno spreminjale (Slika 3), upoštevamo leto 2016, kar je tudi bazno modelsko leto za celotno analizo.

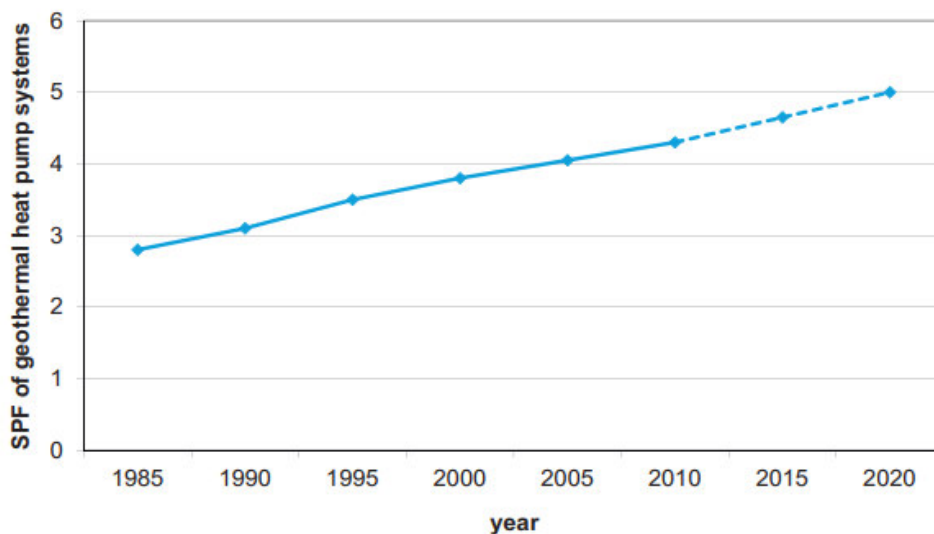


Slika 3. Cene energije za standardne porabniške skupine - letno povprečje. Vir: MzI, Portal energetika.

Preglednica 6. Cene energije za standardne porabniške skupine - letno povprečje za leto 2016. Vir: MzI, Portal energetika.

	DB (1.000 do < 2.500 kWh)	DC (2.500 do < 5.000 kWh)	DD (5.000 do < 15.000 kWh)	D - Slovenija
	2016	2016	2016	2016
Energija	56,51	55,83	54,69	55,83
Omrežnina	70,57	55,64	47,36	54,72
Dajatve	32,84	18,54	10,64	17,67
Trošarina	3,05	3,05	3,05	3,05
DDV	35,85	29,28	25,46	28,88
Končna cena	198,83	162,35	141,2	160,16

Rast povprečne učinkovitosti geotermalnih toplotnih črpalk po celoletnem izkoristku (SPF - seasonal performance factor) glede na uporabo te tehnologije v Srednji Evropi ter pričakovanja do leta 2020 prikazuje spodnja slika (Slika 4).



Slika 4. Rast učinkovitosti geotermalnih toplotnih črpalk po celoletnem izkoristku (SPF - seasonal performance factor) glede na uporabo te tehnologije v Srednji Evropi ter pričakovanja do leta 2020. EGEC, 2012.

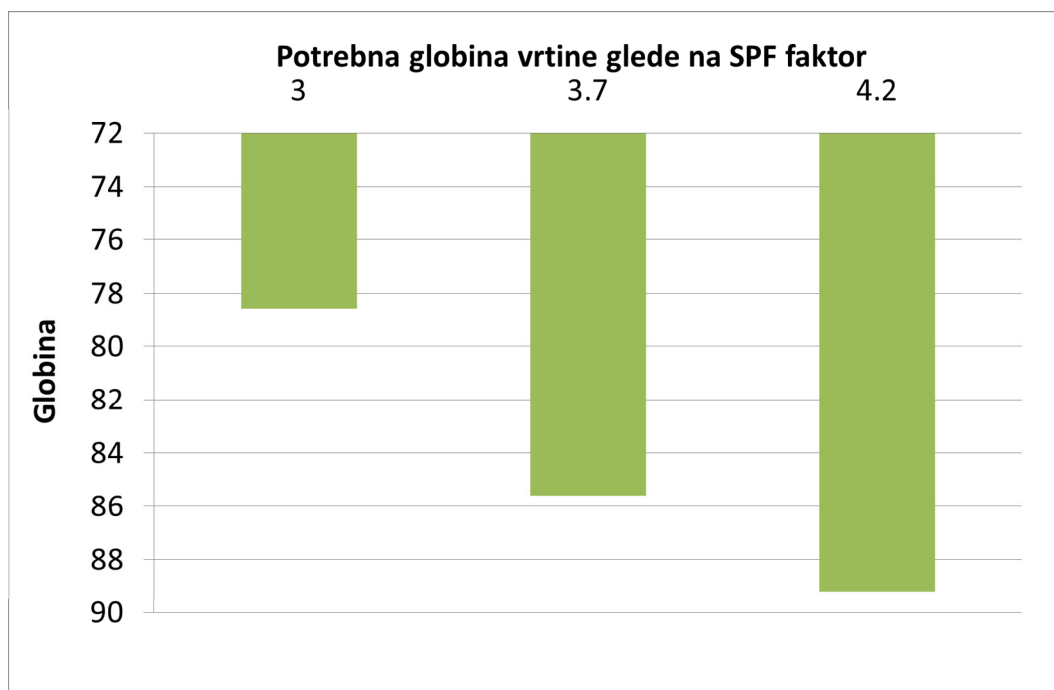
Učinkovitost celotnega sistema (geotermalne toplotne črpalke in zajetja) se najbolj pokaže iz rezultatov monitoringa. Objava Evropskega geotermalnega združenja (EGEC), ki temelji na dejanskih meritvah učinkovitosti, je podana v spodnji preglednici (Preglednica 7).

Preglednica 7. Učinkovitost geotermalnih toplotnih črpalk, glede na meritve na terenu iz različnih kampanj v Nemčiji, ki jih je izvajal Fraunhofer ISE, Freiburg (vrednosti vzete iz predstavitve Miara na forumu BWP Wärmepumpenforum 2014, Berlin 14.11.2014) (EGEC, 2017. EGEC extended feedback on DRAFT REGULATION on Annual energy statistics updates for annual and monthly energy statistics amending Regulation (EC) No 1099/2008;

https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/feedback/1361/attachment/090166e5b0b48f5c_en

	srednja	območje
GTČ pri prenovah (2008-2009)	3,3	2,2 – 4,3
GTČ v novih stavbah (2007-2010)	3,9	3,1 – 5,1
GTČ v novih stavbah (2012-2013)	4,0	3,0 – 5,4
Povprečje	3,7	2,8 - 5,0

S programom EED smo testirali občutljivost celoletnega izkoristka na potrebno dolžino geosond (slika 3) v izbranih geoloških pogojih. Račun je bil narejen na primeru manj učinkovite enostanovanjske stavbe (SFH 1) za vrednosti SPF = 3; 3,7 in 4,2.



Slika 5. Potrebna globina vrtine za tip energijsko manj učinkovite enostanovanjske stavbe (ESS 1) glede na SPF število, pri $\lambda = 2,6 \text{ W/mK}$; $T_0 = 10 \text{ °C}$; $q = 0,05 \text{ W/m}^2 \text{ in}$; $C_v = 2,1 \text{ MJ/(m}^3\text{K)}$.

Iz zgornje slike je razvidno, da se ob enakih vhodnih pogojih in z naraščanjem letnega grelnega števila (SPF) potrebna dolžina geosonde povečuje. Za SPF enak 3 bi zadoščala dolžina sonde enaka 79 metrov, za 3,7 86 metrov in za 4,2 90 metrov.

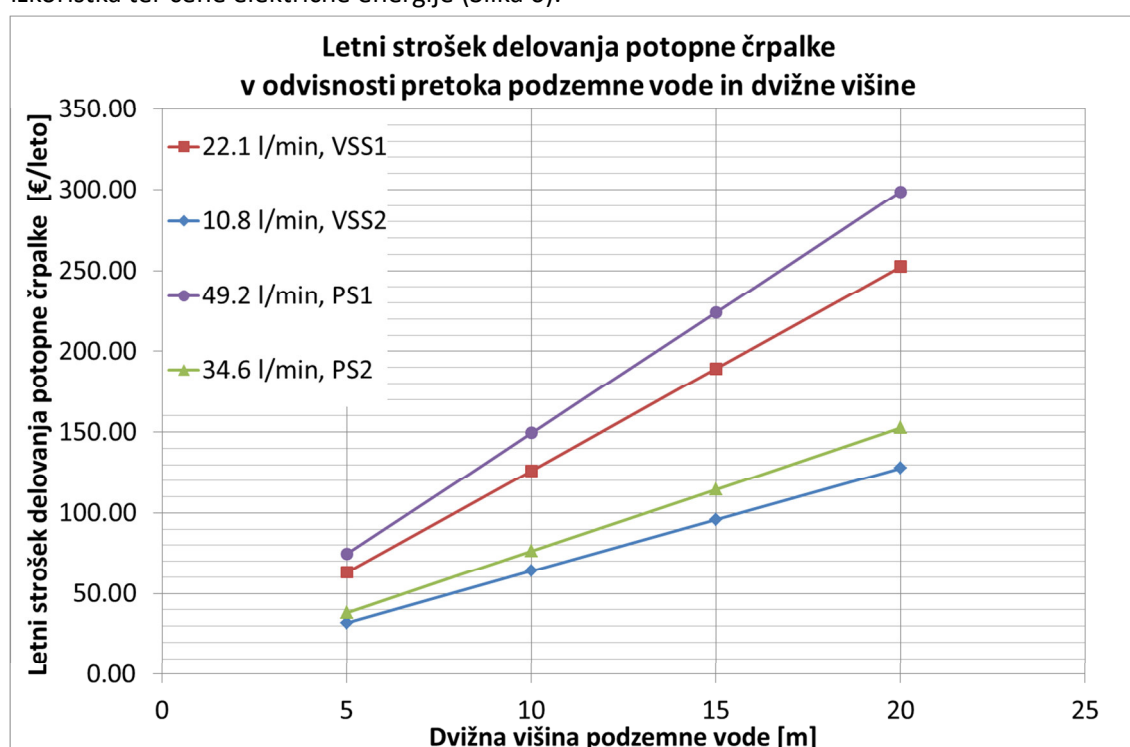
En razred razlike v SPF 3 do 4 je okoli 9 metrov. Z vidika investicije v zajetje je to okoli 480 €/razred SPF. Z vidika učinkovitosti pa to pomeni, da se poraba električne energije zmanjša za 24%. V primeru

tipske enostanovanjske stavbe (SFH 1: 9,280 MWh ESS 1 iz preglednice - Preglednica 1) in cene energije 160,16 €/MWh iz preglednice (Preglednica 6) pomeni to prihranek 0,74 MWh/leto električne energije in 118 €/leto nižji strošek.

Sistemi voda-voda so v splošnem bolj učinkoviti, kot sistemi zemlja-voda, če upoštevamo, da je temperatura podzemne vode okoli 10°C, sistemi zemlja-voda pa delujejo na okoli 10°C nižji ravni.

Glede na zgornje smo za namen te naloge upoštevali SPF = 3,7 za sisteme geosond (povprečje srednjih vrednosti) ter 5,0 za sisteme voda-voda (povprečna zgornja meja območja).

Pri sistemih voda-voda je pomembni strošek obratovanja še raba električne energije za delovanje potopne črpalke. Ta strošek je bil za namen te analize izračunan iz potrebnega pretoka, dvizne višine, izkoristka ter cene električne energije (Slika 6).



Slika 6. Letni strošek delovanja potopne črpalke v odvisnosti pretoka podzemne vode in dvizne višine.

Za namen te analize smo upoštevali tudi cene inštalacij v strojnici po spodnji preglednici (Preglednica 8).

Preglednica 8. Ocene investicije za inštalacije

Instalacije v strojnici	Investicija [€]
ena ogrevalna veja	800
več ogrevalnih vej	2.100

2.3. Zajetje z geosondo

Strošek zajetja z geosondo je geografsko odvisen predvsem od geotermičnih danosti (najbolj od

toplotne prevodnosti geoloških plasti ter od temperature tal na površju). Če gradimo zajetje z geosondo na območju z dobrimi geotermičnimi danosti (primer Šebrelje, Cerklje na Gori) bi, npr. za enostanovanjsko stavbo z letnimi potrebami energije za ogrevanje prostorov 18,3 MWh/leto in grelni močjo 8 kW, zadoščala 75 metrska geosonda s stroškom 4.030 €. Nasprotni primer je stavba z enakimi potrebami na območju s slabimi geotermičnimi danosti (primer Bukovo, Cerklje na Gori), kjer bi potrebovali 160 metrska geosonda s stroškom 8.590 €. Specifični strošek na meter geosonde ni toliko odvisen od lokacije do lokacije v običajnih pogojih dostopa in geologije v Sloveniji. Pri modeliranju potenciala za geosonde so bile upoštevane vrednosti po spodnji preglednici (Preglednica 9).

Preglednica 9. Cena vrtine z geosondo (Benček R. 2017)

Elementi vrtine z geosondo	
Fiksni stroški na vrtino (premik)	325,00 €/vrtino
Strošek na meter vrtine	53,69 €/m
Strošek na meter jarka (razpeljave med vrtnami)	28,00 €/m

Izračun je narejen glede na poročilo (Benček R. 2017), Poglavje 4, Preglednica 1: vrtanje do globine 100 m, sonda dvojni U DN 32 mm, zapolnjevanje vrtine plus fiksni stroški iz Preglednice 2.

2.4. Zajetje s sistemom voda-voda

Skupni stroški zajetja z vodnjakom, ki zajema pripravljalna in zaključna dela, vrtanje, material, pripravo tehnične dokumentacije, spremljavo izdelave in črpalni poizkus znaša med 70 € na meter za vodnjake do 20 metrov in 120 € na meter za globlje (4 cole). Glede na potrebne moči tipičnih stavb, potreben pretok ne presega 1 l/s, kar pomeni, da v vseh primerih ustreza premer cevi 4 cole. Za namen te analize smo upoštevali povprečje, kar pomeni da je strošek izvedbe črpalnega in ponikalnega vodnjaka enak 4.800 €.

Preglednica 10. Cena zajetja z vodnjakom (Klima d.o.o., 2018)

Strošek zajetja z vodnjakom	€
črpalnišče podzemne vode, H=20m	4.800

2.5. Letni stroški vzdrževanja in življenjska doba

Letni stroški vzdrževanja so podani kot ocenjene vrednosti stroška investicije v procentih. Za strojne instalacije znašajo 1 %, za gradbena dela pa 0,5 %. Preglednica 11 prikazuje letne stroške vzdrževanja in življenjsko dobo celotnega sistema za namen te analize.

Preglednica 11. Letni stroški vzdrževanja in življenjska doba

	strošek vzdrževanja, kot % od investicije	let
Geotermalna toplotna črpalnica	1	15
Strojne instalacije	1	15
Gradbena dela (zajetje)	0,5	33

2.6. Ekonomska analiza investicije

V spodnji preglednici (Preglednica 12) je podan primer rezultata ekonomske analize investicije za sistem geotermalnih toplotnih črpalk na danem primeru tipičnih eno- in večstanovanjskih ter pisarniških stavb. Predpostavljene so pogoji, da je na območju toplotna prevodnost zemljin in kamnin $2,1 \text{ W/(m.K)}$, temperatura tal 10°C , gostota toplotnega toka $0,1 \text{ W/m}^2$.

Rezultat kaže, da z močjo geotermalnih črpalk zelo raste investicija v geosonde na račun zajetja, medtem ko ekonomika pri sistemu voda-voda zelo pridobiva.

Preglednica 12. Investicija (brez DDV)

	ESS1, 9 kW		ESS2, 7 kW	
	TČ zemlja/voda	TČ voda/voda	TČ zemlja/voda	TČ voda/voda
Toplotna črpalka	5.400 €	5.300 €	5.300 €	5.200 €
INSTALACIJE	800 €	800 €	800 €	800 €
GRADBENA DELA	5.200 €	4.800 €	3.300 €	4.800 €
SKUPAJ	11.400 €	10.900 €	9.400 €	10.800 €

	VSS1, 66 kW		VSS2, 41 kW	
	TČ zemlja/voda	TČ voda/voda	TČ zemlja/voda	TČ voda/voda
Toplotna črpalka	13.500 €	11.100 €	10.200 €	8.700 €
INSTALACIJE	2.100 €	2.100 €	2.100 €	2.100 €
GRADBENA DELA	54.300 €	4.800 €	23.900 €	4.800 €
SKUPAJ	69.900 €	18.000 €	36.200 €	15.600 €

	PS1, 71,5 kW		PS2, 46,5 kW	
	TČ zemlja/voda	TČ voda/voda	TČ zemlja/voda	TČ voda/voda
Toplotna črpalka	14.200 €	11.600 €	10.900 €	9.200 €
INSTALACIJE	2.100 €	2.100 €	2.100 €	2.100 €
GRADBENA DELA	72.600 €	4.800 €	38.100 €	4.800 €
SKUPAJ	88.900 €	18.500 €	51.100 €	16.100 €

Ekonomska analiza investicije v plitvo geotermalno energijo je narejena glede na mrežo celic 100 krat 100 metrov, ki prekriva celotno ozemlje Slovenije,. Za vsako celico so bile podane potrebe po toploti za ogrevanje in pripravo sanitarne tople vode. Glede na hidrogeološke in geotermične lastnosti v posamezni celici je narejen izračun stroška zajetja, strošek toplotne črpalke in instalacij, strošek investicije zajetja skupaj s toplotno črpalko in instalacijami, celotni letni strošek vzdrževanja investicije, letni strošek obratovanja. Izračuni so narejeni ločeno za šest tipičnih stavb (ESS1, ESS2, VSS1, VSS2, PS1 in PS2).

3. DEJAVNIKI IN OMEJITVE IZKORIŠČANJA GEOTERMALNE ENERGIJE

Pred načrtovanjem zajetja plitve geotermalne energije je potrebno preveriti omejitve in dejavnike, ki vplivajo na gradnjo teh sistemov. Med izključitvene dejavnike štejemo prvi in drugi pas vodovarstvenih območij (VVO I in VVO II) ter arteški vodonosnik Ljubljanskega barja.

Med opozorilne dejavnike, ki lahko vplivajo na gradnjo teh sistemov, spadajo plazovi, območja anhidrita, močnejše zakraselosti ter bližina zajetij vodnih virov, ki niso varovani z vodovarstvenimi območji. Ti dejavniki lahko omejijo možnost izvede zajetja plitve geotermalne energije, niso pa izključitveni. Namreč, kadar je zagotovljeno skrbno načrtovanje in vrtanje, se znatno zmanjša tveganje za poškodbe naprave ali okolje, tip zajetja in izvedba pa se lahko prilagodi danim razmeram. Zaradi tega takih območij nismo izključili iz ocene potenciala.

3.1. Območja izključitev (izključitvena območja)

Vodovarstvena območja

Na teh območjih velja pristop previdnostnega načina. To pomeni, da v ta prostor ne uvajamo, kar ni nujno. Dovoljenja za raziskave podzemnih voda in s tem tudi za vrtanje v najožjih vodovarstvenih območjih in na vodnih zemljiščih se praviloma ne izdajo. V teh primerih se ne uporabljajo niti vodoravni sistemi.

V ožjih in širših vodovarstvenih območjih je pridobitev vodne pravice vprašljiva in je odvisna od veljavnih predpisov varovanja določenega vodnega vira oziroma od presoj na podlagi mnenj ali analiz tveganja in od primera do primera. Vsekakor pa so v teh primerih prisotna dodatna tveganja in je zato treba posebno pozornost nameniti vsem možnim varnostnim ukrepom.

Posledično so bila najožja in ožja vodovarstvena območja izvzeta iz analize potencialnih območij za gradnjo zajetij plitve geotermalne energije.

Ime podatkovnega sloja: vvo_drzavni, vvo_obcinski, vvo_vrelicni

Vir podatkov: ARSO, ARSO-GIS, <http://gis.arslo.gov.si/geoportal/catalog/main/home.page>

Kratek opis: Območja iz evidence in baze vodovarstvenih območij vodnih virov namenjenih vodooskrbi – državni, občinski in vrelični nivo. Iz osnovnega vektorskega sloja so bila zbrana vodovarstvena območja z oznako I in II. Ti podatki so bili nato pripeti na grid 100 x 100 metrov.

Vsebina in zgradba datoteke: Grid, ki ima vrednosti 1.0 pomeni izključitev zaradi lege na vodovarstvenem območju 1 in 2. Oznaka 'NULL' predstavlja vse ostalo, kjer ni nobene informacije.

Arteški vodonosniki

Trenutno je v Sloveniji z uredbo varovano le območje arteškega vodonosnika Ljubljanskem Barju², kjer

² <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED4396>

velja prepoved gradnje zajetij plitve geotermalne energije.

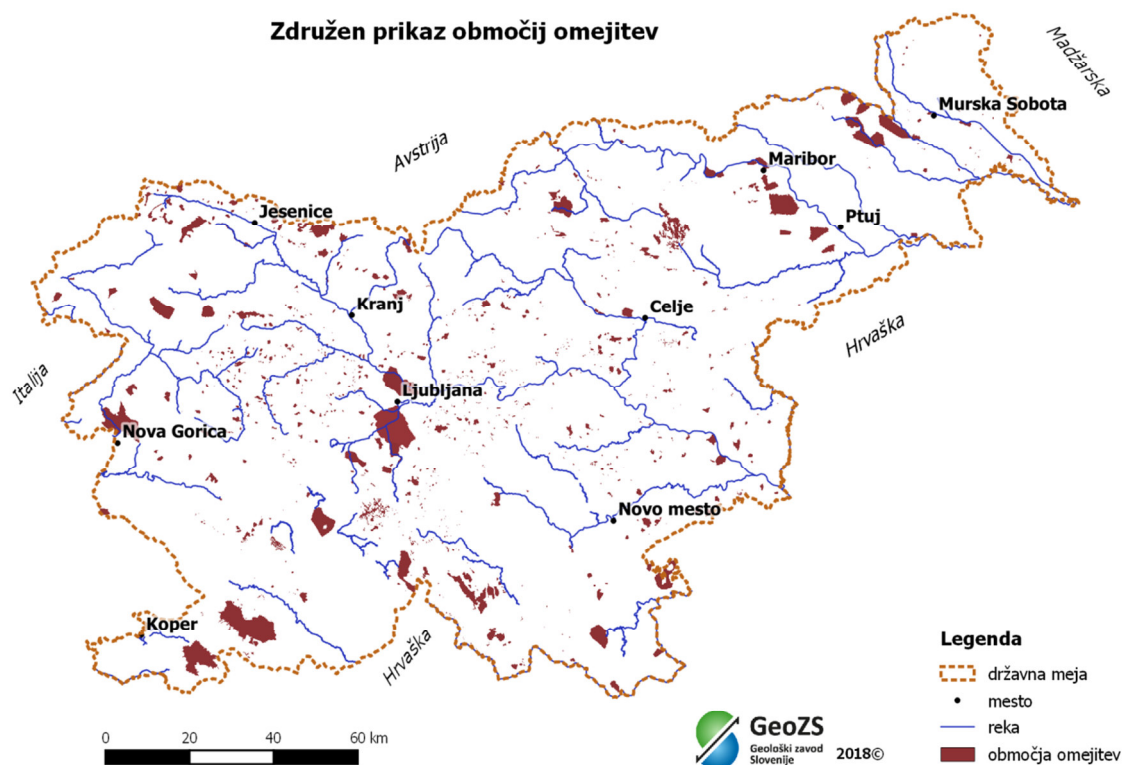
Ime podatkovnega sloja: artesi_vodonosnik

Vir podatkov: arhiv GeoZS

Kratek opis: Območje arteških vodonosnikov. Iz osnovnega vektorskega sloja je bil izdelan grid 100 x 100 metrov.

Vsebina in zgradba datoteke: Grid, ki ima vrednosti 1.0 pomeni izključitev zaradi lege na območju arteškega vodonosnika. Oznaka 'NULL' predstavlja vse ostalo kjer ni nobene informacije.

Na spodnji sliki je prikazan združen prikaz območij izključitev (Slika 7). Ta območja so bila izključena iz nadaljnjih analiz potenciala plitve geotermalne energije.



Slika 7. Združen prikaz območij izključitev za potencial zajetij plitve geotermalne energije.

3.2. Območja opozoril

Značilne geološke razmere (pogoji) lahko pomenijo različna tveganja pri gradnji zajetij plitve geotermalne energije. V spodnji tabeli je povzetek posebnih geoloških pogojev, kriteriji in ustrezni ukrepi.

Preglednica 13. Posebni geološki pogoji, kriteriji in ustrezni ukrepi (GRETA, 2018)

Posebni geološki pogoji	Razlaga (ključne besede)	Kriterij/ukrep
1. Arteški vodonosnik	Hidravlični tlak nad površjem	> 0 m omejitev globine vrtanja
Zaprti vodonosniki	Širši depresijski lijak in vpliv	omejitev globine vrtanja, tesnenje
2. Gladina podzemne vode tik pod površjem	Problematična reinjekcija	2 m brez reinjekcije
3. Viseči vodonosniki	Puščanje iz zgornjih v nižje plasti	tesnenje
4. Območja z vodonosniki drug nad drugim	Puščanje med plastmi, pogrezanje	omejitev globine vrtanja, tesnenje
5. Vodonosnik z mineralno vodo	Korozija, sedimentacija	omejitev globine vrtanja
6. Vodonosnik s termalno vodo	Mešanje s hladno vodo	$T_{\text{podzemne vode}} > 20-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ omejitev globine vrtanja
7. Pojavi plina	Tveganja pri vrtanju	omejitev globine vrtanja
8. Nestabilna tla		
a. Stisljive zemljine	Poškodbe zaradi lezenja	le energetski piloti
b. Plazovi	Poškodbe zaradi lezenja	ni dovoljeno
c. Evaporiti / soli	Nabrekanje, raztapljanje, pogrezanje	omejitev globine vrtanja
d. Umetne jame	Porušitev, vrtanje / izguba polnilne mase	ni dovoljeno
9. Onesnažena zemljišča	Prodor onesnaževal	tesnjenje
10. Kraška območja	Porušitev, vrtanje / izguba polnilne mase	> 2 l/s izgub, ni dovoljeno / ustrezna zapolnitev
11. Vdori slane vode	mešanje, korozija	ni dovoljeno

Za name te naloge so bili na karti prikazana opozorila za območja plazov, stopnje zakraselosti, pojave anhidrita ter zajetja vodnih virov, ki niso varovani z vodovarstvenimi območji.

Območja plazov

Ime podatkovnega sloja: plazovi

Vir podatkov: Ministrstvo za okolje in prostor, 2005. Internet: <http://www.geopedia.si>

Kratek opis: Zelo obsežna datoteka s prikazom prioritete plazovitih območij. Točkovnim podatkom je bil dodan buffer 100 metrov, za tega pa izdelan grid 100 x 100 metrov. V tej celici je torej lahko le en zabeležen plaz na robu ali pa jih je več razpršenih. Prikaz je le informacija, da je potrebna pozornost na tem območju. Na teh območjih se lahko da prioriteto drugim obnovljivim virom energije.

Vsebina in zgradba datoteke: Grid, ki ima vrednosti 1.0 pomeni opozorilo zaradi lege na območju pojava plazov. Oznaka 'NULL' predstavlja vse ostalo kjer ni nobene informacije.

Zakraselost

Ime podatkovnega sloja: zakraselost

Vir podatkov: Hidrogeološka karta Slovenije (LAWA) 1: 250,000; arhiv GeoZS.

Kratek opis: Gre za prikaz stopenj zakraselosti močno – srednje – slabo zakraselo. Iz vektorskega sloja je bil izdelan grid 100 x 100 metrov. Prikaz je le informacija, da je na teh območjih potrebna pozornost. Na teh območjih se lahko da prioriteto rabi za eno-stanovanjske stavbe. 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 vrtni ali kasnejšimi poškodbami.

Vsebina in zgradba datoteke: Grid, ki ima vrednosti »8: močno zakraselo – karbonatne kamnine«, »10: srednje zakraselo – karbonatne kamnine«, »11: srednje zakraselo – karbonatne kamnine z organsko snovjo« in »12: slabo zakraselo – karbonatne kamnine«. Oznaka 'NULL' predstavlja vse ostalo kjer ni nobene informacije.

Spodnja slika prikazuje stopnjo zakraselosti kamnin v Sloveniji.



Slika 8. Območja in stopnje zakraselosti kamnin v Sloveniji.

Anhidrit

Ime podatkovnega sloja: anhidrit

Vir podatkov: Geološka karta Slovenije 1: 250.000 (S. Buser, 2009), arhiv GeoZS.

Kratek opis: Iz osnovne geološke karte so bile izločene litološke enote (92, 93 in 94), kjer bi lahko prišlo do prisotnosti evaporitov. V teh zaporedjih se sadra ali anhidrit ne pojavljajo v večjih količinah, prisotni so v obliki tankih leč ali pa samo kot kristali. Iz vektorskega sloja je bil izdelan grid 100 x 100 metrov. Prikaz je le informacija, da je na teh območjih potrebna pozornost na tem območju.

Vsebina in zgradba datoteke: Grid, ki ima vrednosti 1.0 pomeni opozorilo zaradi lege na območju pojava anhidrita. Oznaka 'NULL' predstavlja vse ostalo kjer ni nobene informacije.

Zajetja vodnih virov, ki niso varovani z vodovarstvenimi območji

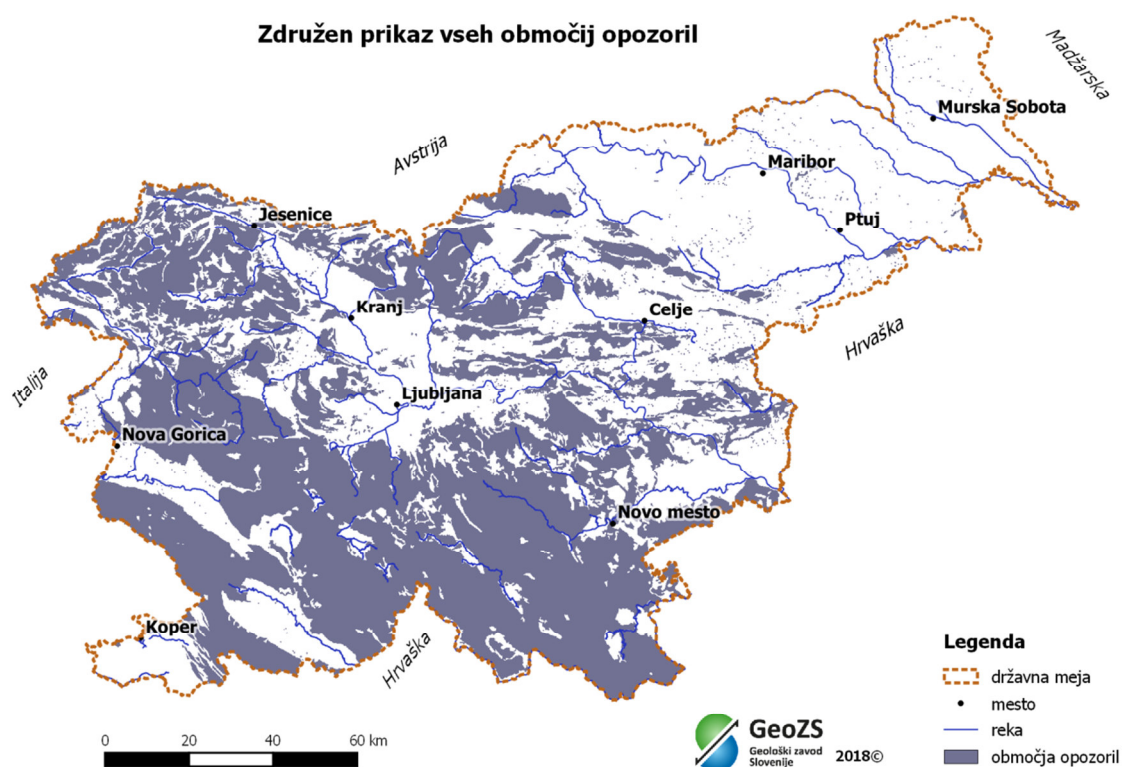
Ime podatkovnega sloja: zajetja_izven

Vir podatkov: ARSO, ARSO-GIS, <http://gis.arso.gov.si/geoportal/catalog/main/home.page>

Kratek opis: Zelo obsežna datoteka s prikazom zajetji vodnih virov. Iz osnovne točkovne shape file datoteke so bila izločena zajetja, ki niso varovana z vodovarstvenimi območji. Tem točkovnim podatkom je bil dodan buffer 100 metrov, za tega pa izdelan grid 100 x 100 metrov. V celici je lahko le eno zabeleženo zajetje ali pa jih je več. Prikaz je le informacija, da je na teh območjih potrebna pozornost.

Vsebina in zgradba datoteke: Grid, ki ima vrednosti 1.0 pomeni opozorilo zaradi lege na območju vodnih zajetij. Oznaka 'NULL' predstavlja vse ostalo kjer ni nobene informacije.

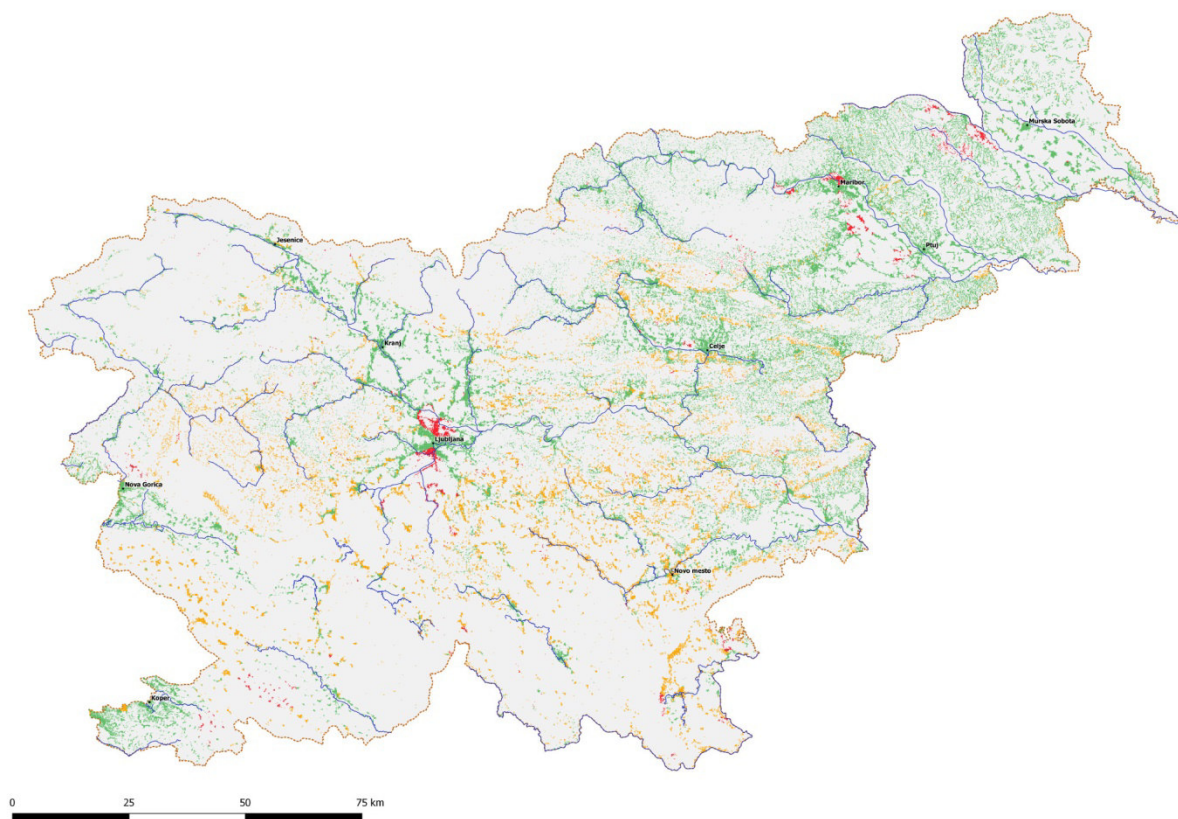
Na spodnji sliki je prikazan združen prikaz vseh območij opozoril.



Slika 9. Združen prikaz vseh območij opozoril pri gradnji zajetij plitve geotermalne energije.

K poročilu je priložen GIS sloj omejitev izkoriščanja plitve geotermalne energije.

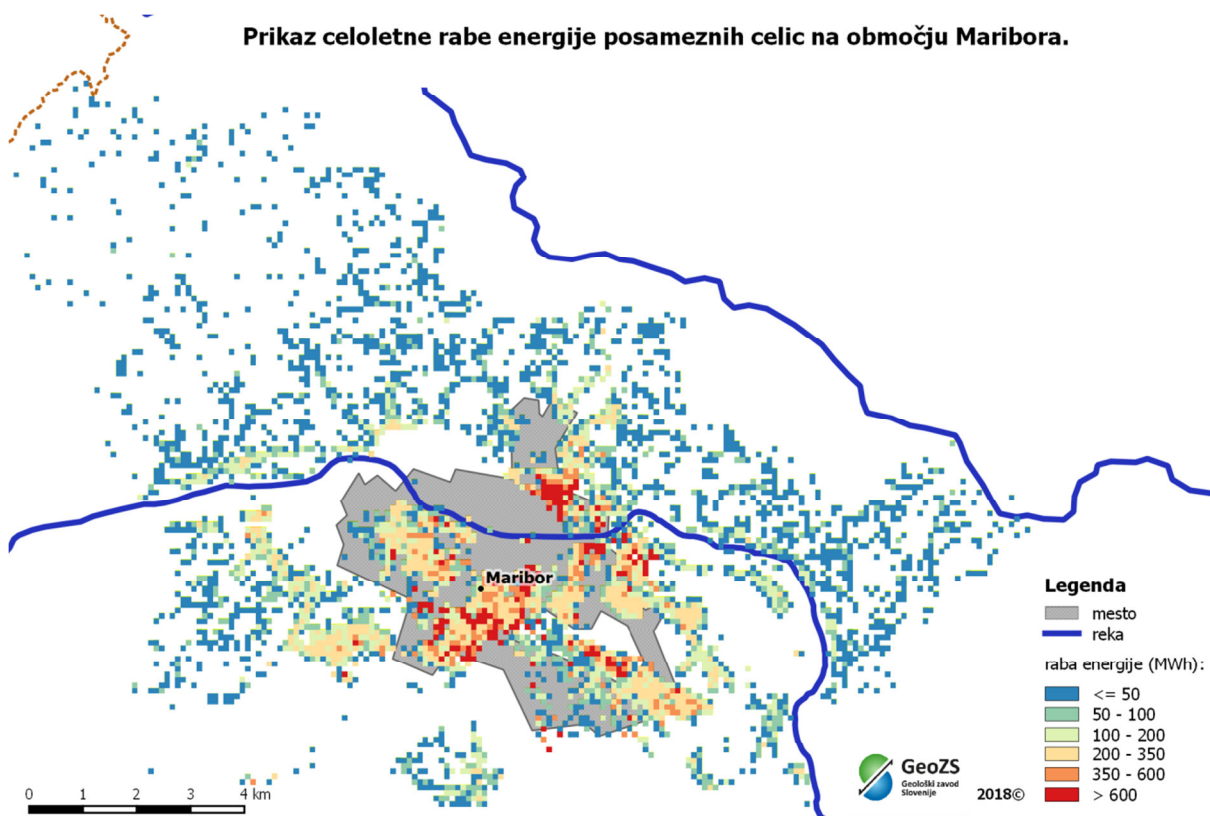
Na spodnji sliki (Slika 7) je skupni prikaz območij izključitev in omejitev ter ostalih za območje cele Slovenije, kjer se ocenjuje potencial za plitvo geotermalno energije. Iz slike vidimo, da so območja izključitev zelo omejena in ne predstavljajo večje ovire pri izkoriščanju potenciala za plitvo geotermalno energijo v Sloveniji.



Slika 10. Skupni prikaz območij izključitev (rdeča) in omejitev (oranžna) ter ostalih (zelena).

4. PRIPRAVA KONCEPTA MODELA IN IZRAČUNI

V tem poglavju je predstavljen koncept modela za izračun potenciala ločeno za geosonde in sisteme voda-voda na primeru Maribor. Izračun je vezan na letno rabo energije za ogrevanje in pripravo sanitarne tople vode v posamezni celici (Slika 11).



Slika 11. Letna raba energije za ogrevanje na območju Maribor (Urbančič, 2018).

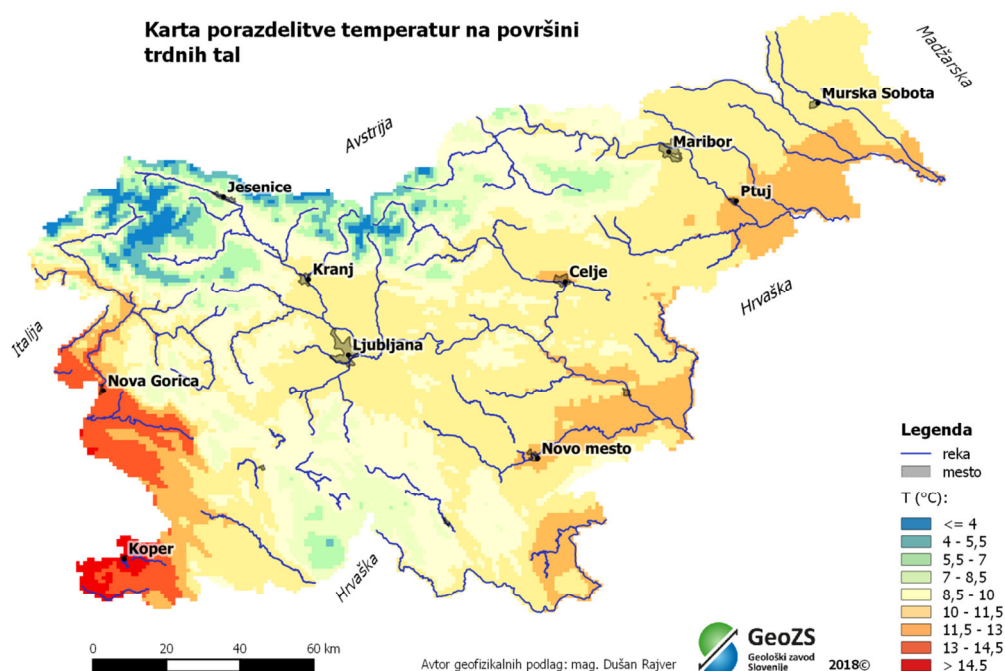
4.1. Geosonde

Energijo, ki se letno sprosti z geotermalnim tokom, lahko izračunamo, če poznamo povprečni toplotni tok in površino (konzervativna ocena). Ta toplotni tok predstavlja del povsem obnovljive energije, zato se lahko uporablja brez da bi imelo vpliv na spremembo temperature medija. Del te energije (do približno 20 m globoko) zagotavlja sonce (PDGN, 2010).

Povprečni geotermalni tok:	0,05 W / m ²
Zaokroženo z upoštevanjem sončnega toka:	0,1 W / m ²
Letna energija:	8,76 MWh / ha / leto
Celotna površina Slovenije	2.027.100 ha
Energija, ki je na voljo v celi državi:	17.757,4 GWh / leto

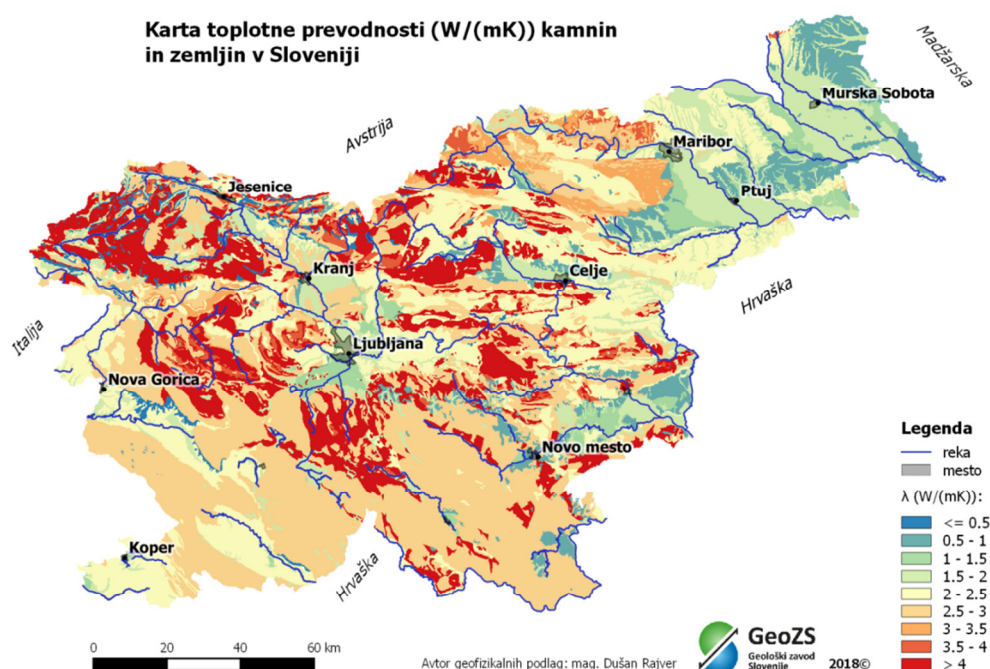
Potencial za geosonde je odvisen predvsem od toplotne prevodnosti geoloških plasti in temperature tal. Poleg teh imata pomembnejšo vlogo še toplotna zmogljivost in gostota geoloških plasti. Za namen te naloge so bile izdelane te karte za območje Slovenije in so prikazane na spodnjih slikah (Slika 12, Slika 13, Slika 14, Slika 15). Karte so izdelane v velikem merilu 1:250.000.

Slika 12 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 smo dobili 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.



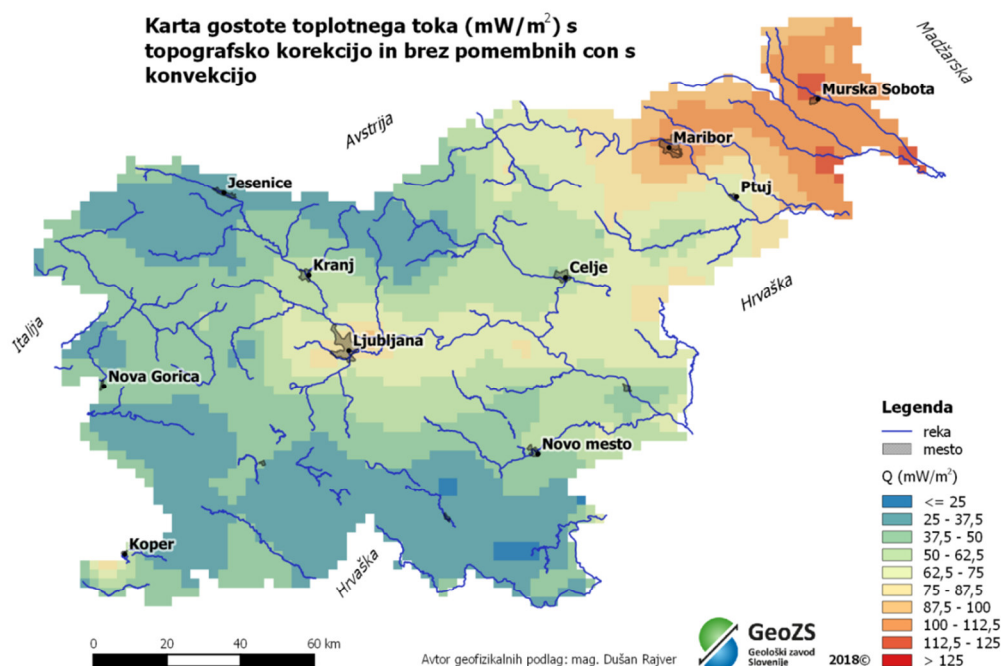
Slika 12. Karta porazdelitve temperatur na površini trdnih tal za Slovenijo, T_0 , $^{\circ}\text{C}$.

Slika 13 prikazuje toplotne prevodnosti kamnin in zemljin, λ v $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, ki so privzete na podlagi povprečnih vrednosti toplotne prevodnosti, pridobljenih z meritvami na številnih različnih kamninah in zemljinah, predvsem iz vrtin (435 vzorcev iz 118 vrtin in 2 predorov) in manj s površinskih lokacij (35 vzorcev); vrednosti λ so pripisane litološkim enotam osnovne geološke karte Slovenije v merilu 1:100.000.



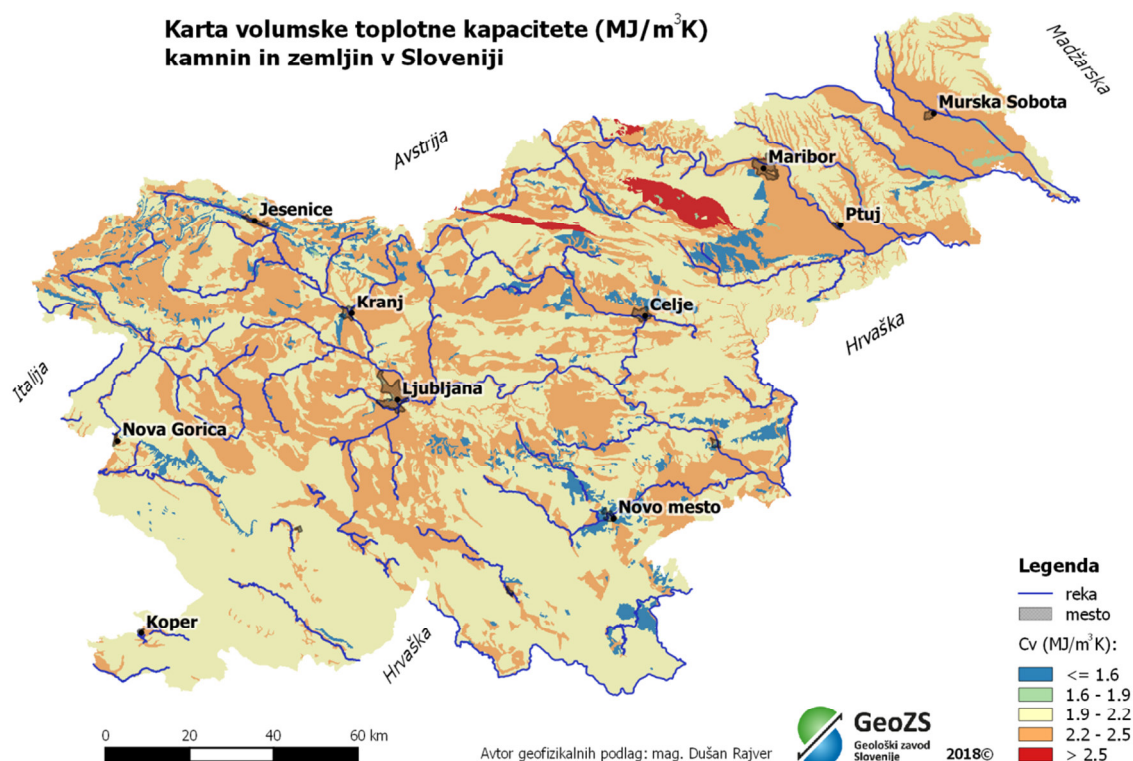
Slika 13. Karta toplotne prevodnosti kamnin in zemljin na površju v Sloveniji, λ , $W/(m \cdot K)$.

Slika 14 prikazuje gostoto toplotnega toka v mW/m^2 , ki je večinoma odraz prevajanja toplote iz notranjosti Zemlje proti površju; toplotni tok je določen z meritvami temperaturnega gradienta 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.



Slika 14. Karta gostote toplotnega toka za Slovenijo, q , mW/m^2 .

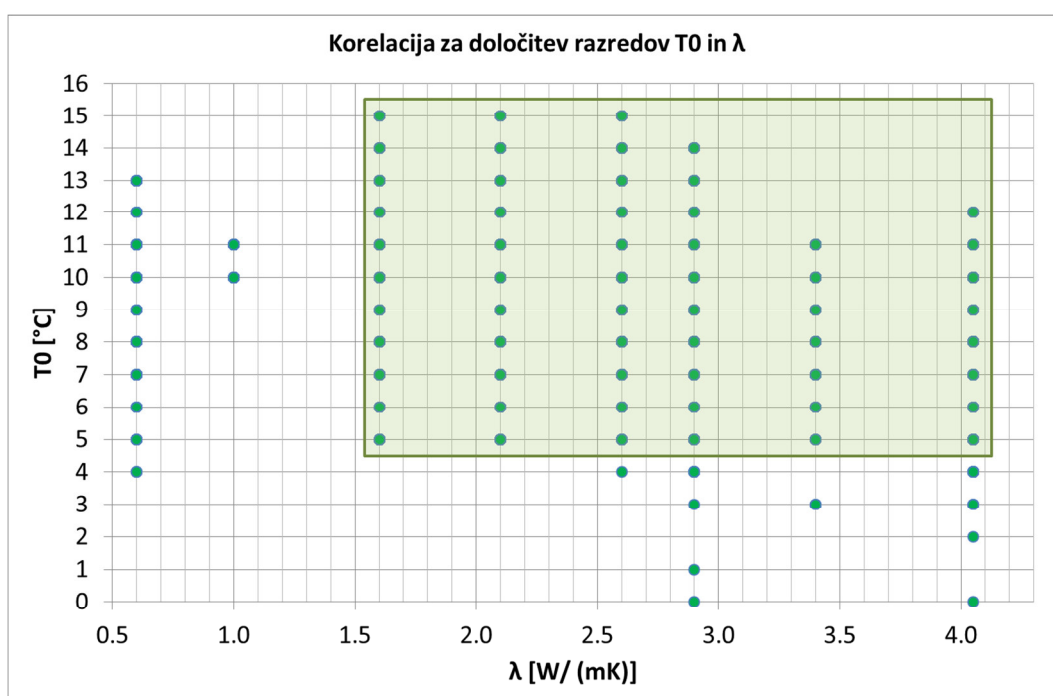
Slika 15 prikazuje volumsko toplotno kapaciteto kamnin in zemljin v $\text{MJ}/\text{m}^3\text{K}$. Vhodna podatka sta osnovna geološka karta Slovenije v merilu 1:100.000 in povprečne izmerjene vrednosti volumskih toplotnih kapacitet kamnin in zemljin, ki so povzete iz dveh standardov (SIA in VDI). Le te so glede na prisotnost določenih tipov kamnin pripisane kartiranim litološkim enotam.



Slika 15. Karta volumske toplotne kapacitete kamnin in zemljin na površju za Slovenijo, C_v , $\text{MJ}/(\text{m}^3\text{K})$.

Za izračun potenciala na določenem območju je pri sistemu geosond pomemben mesečni profil rabe energije. Ko se ogrevamo, se tla hladijo, v obdobju izven ogrevalne sezone pa se temperatura v tleh obnavlja in tako ne pride do ohlajanja tal. Pri teh sistemih je najbolj optimalna kombinacija ogrevanja in hlajenja. Pri hlajenju se temperatura, ki jo odvajamo iz stavb namreč shranjuje v tleh ter je na voljo pozimi za ogrevanje. S tem dosegamo večjo učinkovitost izkoriščanja plitve geotermalne energije.

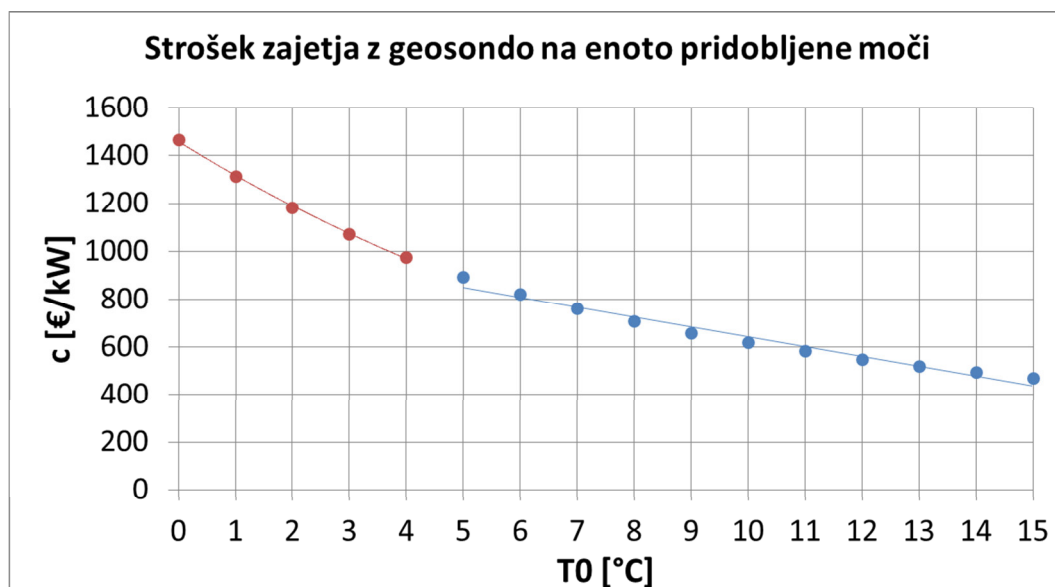
Glede na presek območja računskih celic s toplotnimi prevodnostmi geoloških plasti in temperature tal je bila na teh narejena korelacija med parametroma T_0 in λ ter določeni razredi za postavitve scenarijev za modeliranje potenciala geosond za posamezne celice na območju Slovenije (Slika 16).



Slika 16. Razredi toplotnih prevodnosti geoloških plasti in temperature tal na območju računskih celic.

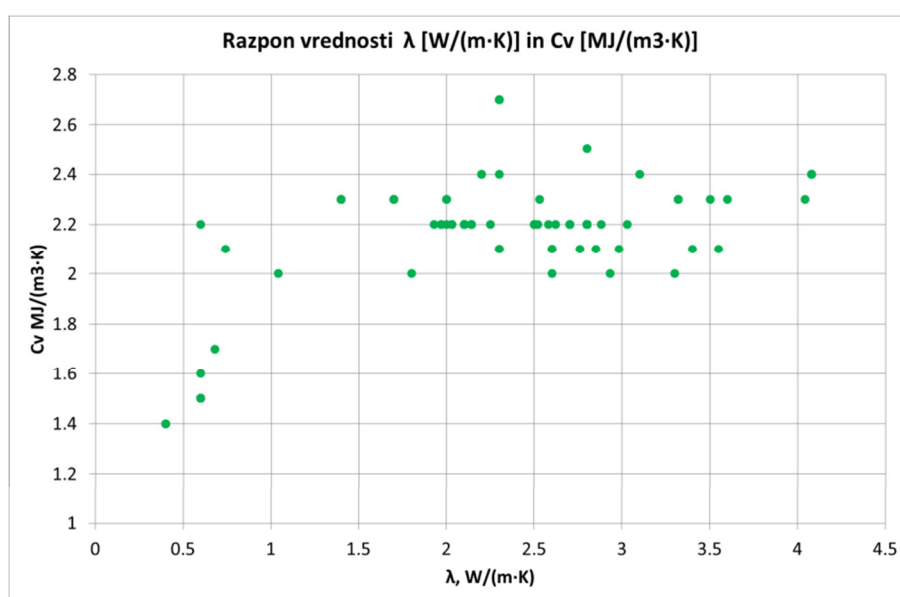
Glede na rezultate te analize so bile kot reprezentativne za modeliranje izbrane kombinacije za toplotne prevodnosti $\lambda = 1,6, 2,1, 2,6, 2,9, 3,4$ in $4,1$ W/(m.K). Nižje vrednosti niso realne, saj gre pri teh primerih za tanjši pokrov nevezanih sedimentov na površju globine nekaj metrov (10 m), pod njimi pa je osnovna kamnina, npr. kraška ilovica na apnencu.

Pri temperaturi tal smo vzeli spodnjo mejo $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, saj je pri nižjih temperaturah obnavljanje zajetja neugodno. Če pogledamo strošek zajetja z geosondo na enoto pridobljene moči [€/kW] na primeru stavbe ESS1 in pogojih $\lambda = 2,1$ W/(m.K), $q = 0,05$ W/m² vidimo, da pri temperaturah pod $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ strošek na kilovat pridobljene moči raste eksponentno (Slika 17). Na območjih, kjer je temperatura tal nižja od $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, potencial ni bil računat. To ne pomeni, da ga ni, pač pa v tem primeru računamo, na primer, da se prednostno uvaja druge obnovljive vire energije.



Slika 17. Strošek zajetja z geosondo na enoto pridobljene moči v odvisnosti od temperature tal.

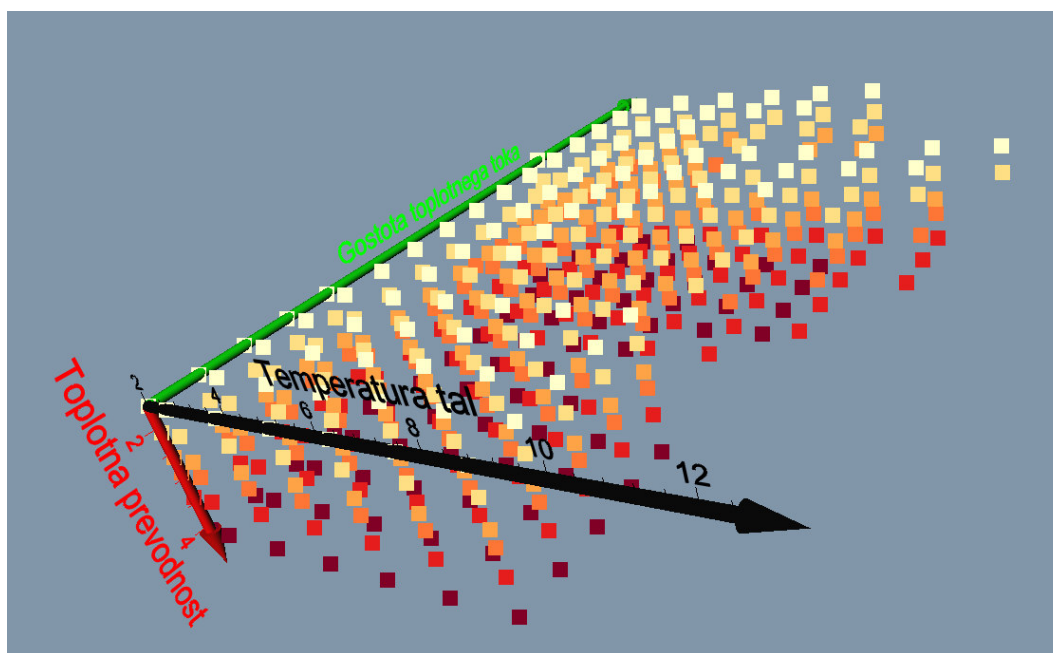
Vrednosti gostote toplotnega toka smo razdelili v 10 razredov, glede na spodnje vrednosti območij, ki so prikazane na karti gostote toplotnega toka za Slovenijo (Slika 14). Ti razredi so: 0,02, 0,025, 0,0375, 0,05, 0,0625, 0,075, 0,0875, 0,1, 0,1125 in 0,125 W/m². Globina sonde se spremeni za približno 1 m na spremenjeno vrednost gostote toplotnega toka q za 1 mW/m². Odstopanje v razredu je potemtakem lahko do 12,5 m na varni strani. Za vnos volumske toplotne kapacitete je bila privzeta povprečna vrednost za Slovenijo, tj. 2,1 MJ/(m³K), saj na izračune ne vpliva bistveno. Globina sonde se spremeni za približno 1 m na spremenjeno vrednost volumske toplotne kapacitete C_v za 0,1 MJ/m³K. Glede na predpostavljeno vrednost je odstopanje pri izračunu potrebne dolžine geosonde lahko do 3 m. Iz spodnje slike lahko tudi vidimo, da so večinoma vse vrednosti volumske toplotne kapacitete (C_v) med 2 in 2,4 (Slika 18).



Slika 18. Razpon vrednosti med toplotnimi prevodnostmi geoloških plasti in volumske toplotne

kapacitete na območju celotne Slovenije, določeno na Buserjevi litološki karti Slovenije 1:250.000.

Modeliranje za ugotavljanje obnašanja sistema v življenjski dobi, preverbo konfiguracije v celici in oceno stroškov geotermalnega sistema je bilo izvedeno s programsko opremo Earth Energy Designer (EED). Kombinacije vrednosti temperature tal, toplotne prevodnosti in gostote toplotnega toka, ki jih opisujemo zgoraj in smo jih modelirali v programu EED konceptualno prikazuje spodnja slika (Slika 19).



Slika 19. Kombinacije vrednosti temperature tal, toplotne prevodnosti in gostote toplotnega toka, ki smo jih modelirali v programu EED.

V spodnjih preglednicah so podani vhodni podatki (Preglednica 14, Preglednica 15).

Preglednica 14. Vhodni podatki v EED.

Parametri za modeliranje		Vrednosti za sondo
Letna poraba energije		Preglednica 1, Preglednica 2, Preglednica 3 (ESS1, ESS2, VSS1, VSS2, PS1 in PS2)
SPF (H)		3,7
SPF (STV)		3
Doba delovanja (let)		50 let
Parametri sonde		Vrednosti za sondo 100 m
Tip		Dvojni U
Premer vrtine		130 mm
Zunanji premer cevi sonde		32 mm
Debelina cevi		3 mm
Toplotna prevodnost sonde		0,42 [W/(m.K)]
Toplotna prevodnost polnitve		1,6 (cement) [W/(m.K)]

Preglednica 15. Največji čas neprekinjenega delovanja toplotne črpalke v urah, povzete po Groupe de travail PGN, 2008.

Mesec	Čas neprekinjenega delovanja [h]
Januar	18
Februar	16
Marec	12
April	8
Maj	3
Junij	3
Julij	3
Avgust	3
September	3
Oktober	8
November	16
December	18

4.1.1. Scenariji

Scenariji so bili narejeni za tipične eno- in večstanovanjske ter pisarniške stavbe. Pri modeliranju enostanovanjskih stavb smo predpostavili, da za pokritost energetskega potreb zadošča namestitve in ene geosonde. Za večstanovanjske in pisarniške stavbe pa smo uporabili model polja geosond. Za slednje smo izvedli tudi računsko optimizacijo postavitve in globine vrtin. Pri tem smo model omejili na:

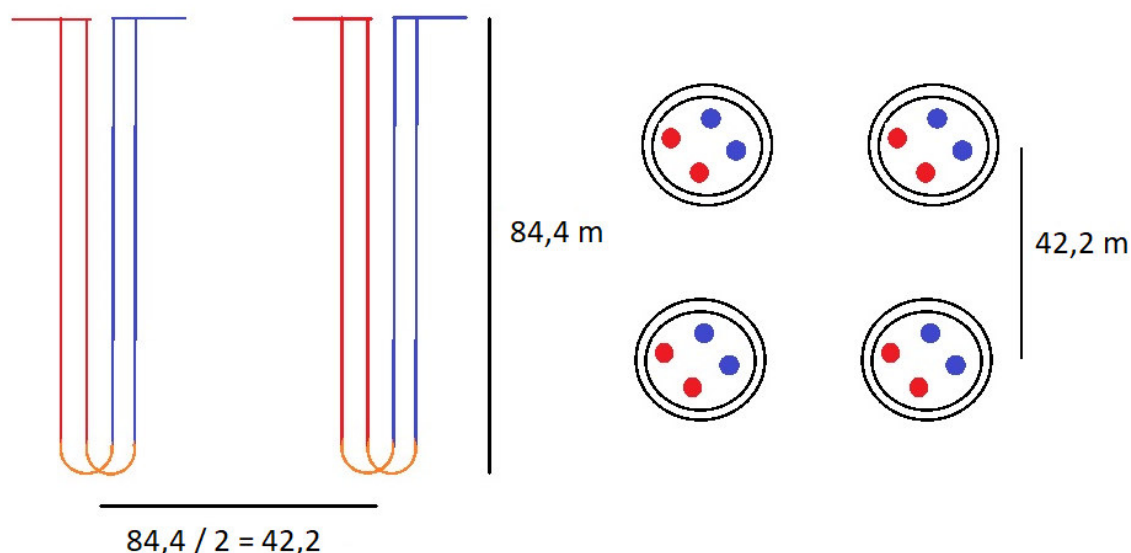
- linearno razporeditev geosond (konfiguracija 1 – 20), ki dopušča do 25 vzdolžno postavljenih geosond
- na območju modeliranja, ki ne presega površine 500 x 500 m²
- globina vrtin oz. dolžina geosond se lahko giba med 50 – 150 m,
- razdalja med geosondami pa med 7 – 50 m.

Po izvedeni optimizaciji smo pridobljene rezultate razvrstili glede na razdaljo med geosondami in glede na strošek zajetja. Kot najbolj optimalne so se vedno izkazale medsebojne razdalje med sondami znotraj polja 7 metrov. Dobljene možne rešitve iz optimizacije smo nato razvrstili še glede na stroške zajetja in upoštevali scenarij konfiguracije in dolžine geosond, kjer je bil strošek zajetja najnižji. Rezultate smo sistematično vpisovali v Excel tabelo za izračun ostalih parametrov.

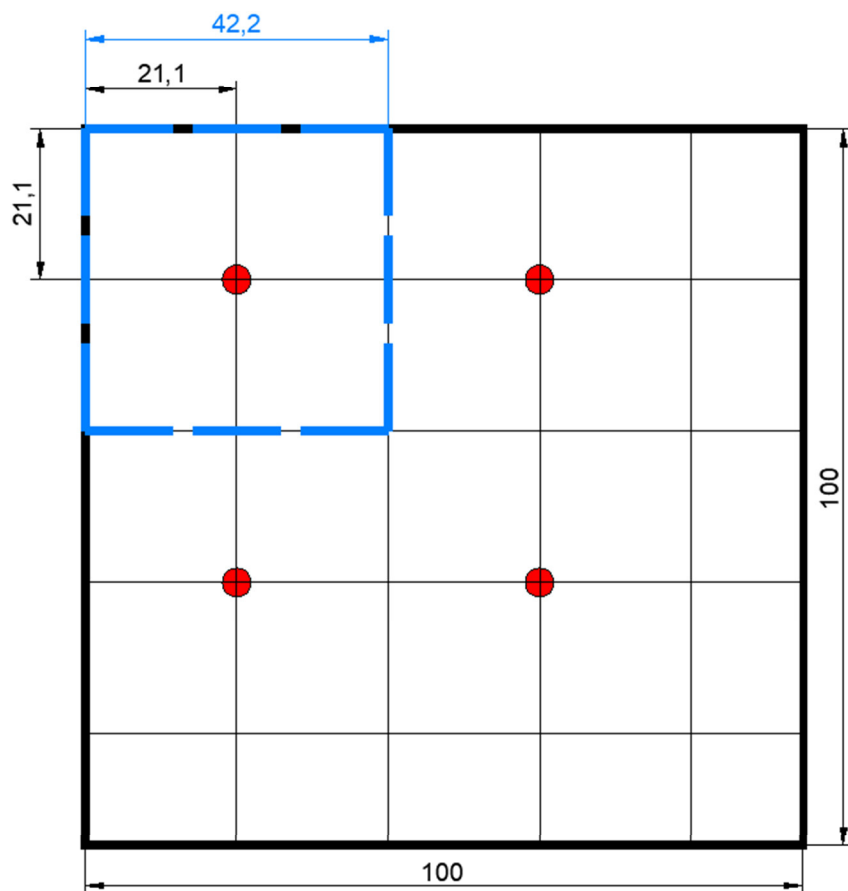
Pri računu površine, je upoštevano, da je razdalja, od katere naprej ni več pomembnega vpliva na sosednjega uporabnika z geosondo, ocenjena na polovico dolžine geosonde (Pahud et al., 2002) oz. na vsako stran od sonde četrtnina dolžine, tako, da je med dvema sosednjima sistemoma polovica dolžine geosonde. Shematično je ta princip prikazan na spodnjih slikah (Slika 20, Slika 21, Slika 22,

Slika 23).

Prvi dve sliki (Slika 20, Slika 21) prikazujeta koncept na enostanovanjski stavbi. Narisana je za konkreten primer, ko z eno geosondo pokrijemo potrebo po toploti za ogrevanje in pripravo sanitarne tople vode, ki znaša 10,88 MWh/leto. Globina geosonde je 84,4 m, letno grelni število (SPF) za ogrevanje je 3,7 in za pripravo sanitarne tople vode 3. Toplotna prevodnost $\lambda = 2,6 \text{ W/(m.K)}$, temperatura tal $T_0 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$, gostota toplotnega toka $q = 62,5 \text{ mW/m}^2$, volumska toplotna kapaciteta pa $c_v = 2,1 \text{ MJ/(m}^3\text{K)}$. Slika 20 prikazuje dolžino posamezne geosonde $L_{BHE1} = 84,4 \text{ m}$ in razporeditev 4 sosednjih geosond v prostoru. Posamezne geosonde morajo biti v vseh smereh oddaljene vsaj 42,2 m, kar ustreza polovici dolžine geosonde. S tem zagotovimo, da ne pride do medsebojnega vpliva (Pahud et al., 2002). Slika 21 prikazuje koncept za isti primer, kjer je razporeditev štirih sosednjih geosond prikazana na območju 1 ha (100 m x 100 m). S polno črto je vrisano območje celice 100 x 100 metrov, s črtkano črto pa je vrisana površina, ki jo zasede en sistem oz. uporabnik za določene potrebe po toplotni energiji (42,2 m x 42,2 m).

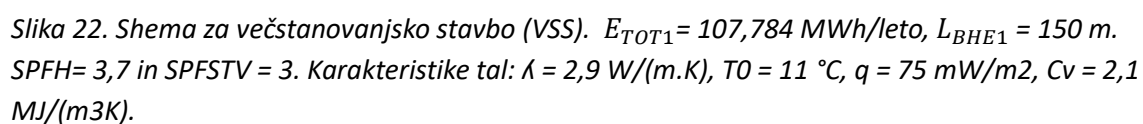


Slika 20. Shema za enostanovanjsko stavbo (ESS). $E_{TOT1} = 10,88 \text{ MWh/leto}$, $L_{BHE1} = 84,4 \text{ m}$. $SPFH = 3,7$ in $SPFSTV = 3$. Karakteristike tal: $\lambda = 2,6 \text{ W/(m.K)}$, $T_0 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$, $q = 62,5 \text{ mW/m}^2$, $C_v = 2,1 \text{ MJ/(m}^3\text{K)}$.



Slika 21. Območje 1 ha (100 m x 100 m) na katerem so štiri enostanovanjske stavbe, vsaka ima za pokrivanje potreb po toploti eno geosondo, skupaj 4 geosonde, z modro črtkano črto pa je prikazano območje vpliva ene geosonde (42,2 m x 42,2 m).

Spodnji sliki (Slika 22, Slika 23) prikazujeta koncept za večstanovanjske stavbe. Narisana je za konkreten primer, ko s poljem petih geosond globine po 150 metrov pokrivamo potrebe po toploti za ogrevanje in pripravo sanitarne tople vode za večstanovanjsko stavbo, ki znaša 107,184 MWh/leto. Predpostavljeno letno grelno število (SPF faktor) za ogrevanje je 4,2, SPF faktor za pripravo sanitarne tople vode pa 3. Toplotna prevodnost $\lambda = 2,9 \text{ W/(m.K)}$, temperatura tal $T_0 = 11 \text{ °C}$, gostota toplotnega toka $q = 75 \text{ mW/m}^2$, volumska toplotna kapaciteta pa $c_v = 2,1 \text{ MJ/(m}^3\text{K)}$. Slika 22 prikazuje dolžino posameznih geosond, ki je 150 metrov in razporeditev 2 polj geosond v prostoru. Ena polje zavzema 5 vzdolžno postavljenih geosond, ki so med seboj oddaljene 7 metrov. Minimalna razdalja med dvema polji geosond je 75 m, kar ustreza polovici dolžine geosonde. S tem zagotovimo, da ne pride do medsebojnega vpliva (Pahud et al., 2002). Slika 23 prikazuje koncept za ta primer, kjer je razporeditev 1 polja geosond prikazana na območju 1 ha (100 m x 100 m). Z modro črtkano črto je označena površina vpliva 1 polja geosond (75 m x 103 m). V vzdolžni smeri je vplivno območje polja večje od 100 m, skupna površina pa je manjša od 1 hektarja. Poenostavljeno lahko privzamemo, da je na celico 100 x 100 m možno izvesti 1,3 takih polj.

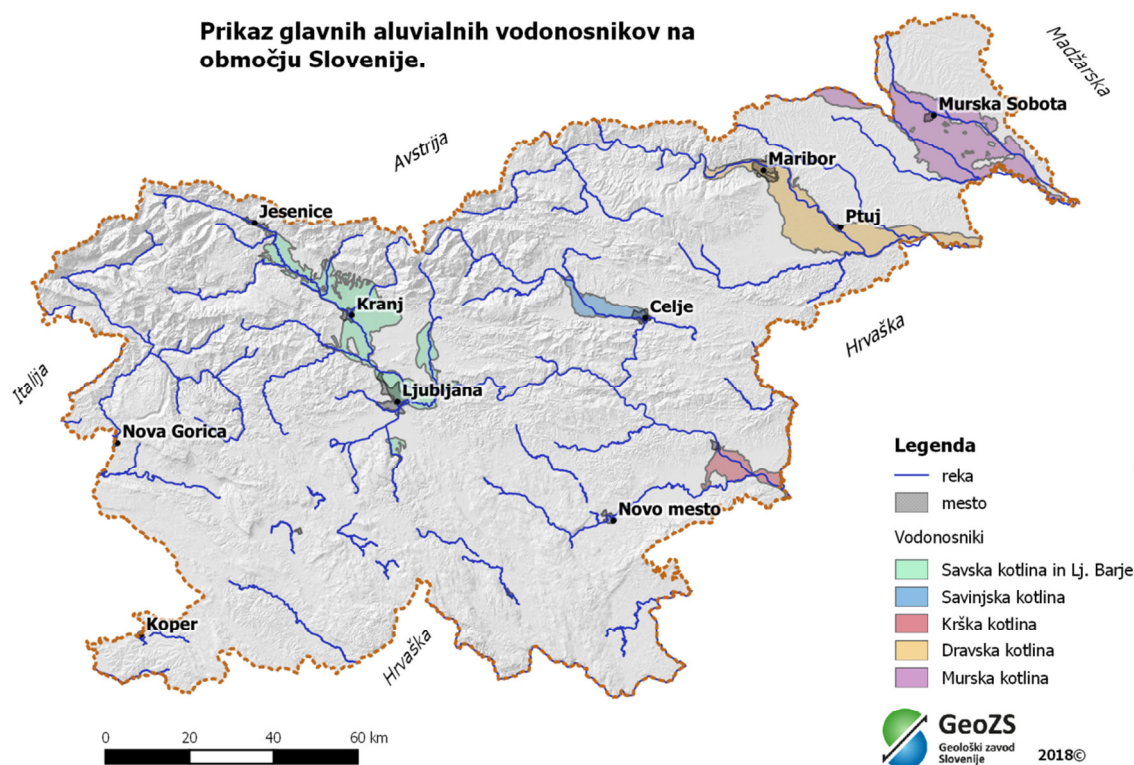


Slika 23. Območje 1 ha (100 m x 100 m) z 1 poljem geosond. Z modro črtkano črto je označena površina vpliva 1 polja geosond (75 m x 103 m). V vzdolžni smeri je vpliv polja večji od 100 m, v bočni pa manjši. Skupna površina vpliva enega polja pa je manjša od 1 ha.

Glavni kriterij pri izračunu je, da se temperatura prenosnika toplote v geosondi po 50 letih delovanja lahko ohladi do največ -3 °C.

4.2. Sistemi voda - voda

Potencial za sistem voda-voda je bil izračunan na osnovi analize celic s potrebami, ki so izven omejitev ter predstavljajo večji aluvialni vodonosnik (Slika 24). Na območjih, ki so premalo prepustni ali imajo pretanek omočeni del, oz. premajhno debelino, ostanemo pri geosondah. To so obrobna območja ter območja manjših aluvialnih nanosov in nevezanih sedimentov v dolinah manjših rek in potokov.



Slika 24. Območje računa potenciala za sisteme voda-voda znotraj večjih aluvialnih vodonosnikov v Sloveniji.

Za odprte sisteme je bil potencial izračunan le za več-stanovanjske in pisarniške stavbe, ker je učinkovitost in ekonomika pri večjih napravah boljša ter lažja kontrola medsebojnih vplivov. Večji vodonosniki so, v nasprotju z geosondami, na voljo na zelo omejenih območjih. Zaradi tega se naprave geotermalnih toplotnih črpalk voda-voda usmerja na večje naprave, npr. za skupine hiš ali večje stavbe.

Sledi opis glavnih aluvialnih vodonosnikov na območju Slovenije. Poleg samih opisov vodnih teles so dodane tudi karte debelin omočenih delov vodonosnikov. Izračunane so na podlagi srednjih gladin

podzemne vode in obstoječih prostorskih modelov podlag kvartarnih, oziroma pliokvartarnih aluvialnih sedimentov. Sloj hidroizohips aluvialnih vodonosnikov je bil interpoliran in pretvorjen v rastrsko obliko z natančnostjo 100 m, kjer celice rastrskega sloja sovpadajo z vektorskim slojem celic stavb. S pomočjo matematičnih funkcij je bila izračunana debelina zasičene cone, kot razlika med kotami gladin podzemne vode in kotami podlag vodonosnika. Vrednosti so bile nato pripisane posamičnim celicam in razdeljene v 4 razrede.

Krška kotlina

Med Krškim in državno mejo pri Bregani se nahaja vodno telo podzemne vode v aluvialnih prodnih zasipih reke Save. Razteza se na območju 97 km², z maksimalno dolžino 18 km in širino 9 km.

Tabela 1: Osnovni hidrogeološki parametri vodnega telesa Krške kotline

Vodno telo Krške kotline	
Hidravlični gradient [m/100m]	0,11
Hidravlična prevodnost [m/s]	0,003
Učinkovita poroznost [%]	10-20%

Aluvialni vodonosnik je odprtega tipa in sega do površja, gladina do podzemne vode pa se giblje od 5 do 8 m. Koeficient prepustnosti (K) kvartarnih sedimentov se giblje med 10⁻³ m/s in 10⁻⁵ m/s, z značilno vrednostjo 3*10⁻³ m/s. Vodnjaki aluvialnega vodonosnika so visoko ali srednje izdatni, vplivni polmeri pa znašajo med 100 in nekaj 100 metri. Učinkovita poroznost znaša 10-20% (15%). Pretoki skozi 1. Vodonosnik Krškega in Brežiškega polja je ocenjen na podlagi privzete širine toka podzemne vode 6200 m (hidroizohipsa 148 m n.m.) in povprečni debelini omočenega sloja 7 m, hidravličnega gradienta 0,09% (med hidroizohipsami 150 in 146 m n.m. na razdalji 4600 m) in upoštevanju koeficienta prepustnosti 3*10⁻³ m/s in znaša 0,117 m³/s (NBHG - Vodno telo podzemne vode Krška kotlina (VTPodV 1003), na straneh 5-13).

Savinjska kotlina

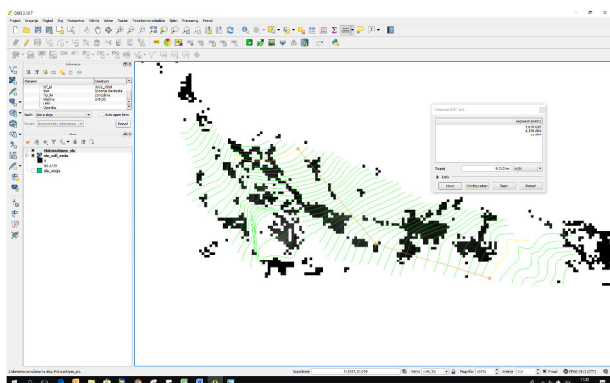
Vodno telo podzemne vode na območju aluvialnega prodnega zasipa reke Savinje med Letušem in Celjem se razteza se na območju 109 km² z maksimalno dolžino 30.8 km in širino 9.6 km.

Tabela 2: Osnovni hidrogeološki parametri vodnega telesa Savinjske doline

Vodno telo Savinjske kotline	
Hidravlični gradient [m/100m]	0,5
Hidravlična prevodnost [m/s]	3,5*10 ⁻⁴
Učinkovita poroznost [%]	15%

Globina do podzemne vode znaša med 1 in 8 metri, vodonosnik pa je odprtega hidrodinamskega tipa. Kotlino prekriva do 22 metrov debel prodni pokrov, v splošnem pa je debelina med 3 in 16 metri. Privzeta vrednost zasičene cone vodonosnika znaša 8 metrov. Kvartarni sedimenti imajo dobro prepustnost, srednja vrednost koeficienta prepustnosti (K) znaša 3.5*10⁻⁴. Vodnjaki znotraj kotline so lahko visoko izdatni na predelih z večjo debelino omočenega sloja in srednje izdatni na obrobju z manjšo debelino omočenega sloja. Vplivni polmeri so reda velikosti med 100 in nekaj 100 metri, gre pa za majhna znižanja podzemne vode reda velikosti 1 meter. Privzeta vrednost za učinkovito

poroznost je 15% (NBHG - *Vodno telo podzemne vode Savinjska kotlina (VTPodV 1002)*, na straneh 5-10). Hidravlični gradient je bil izračunan glede na hidroizohipse in znaša 0,005 (Slika 25).



Slika 25. Izračun gradienta za vodno telo Savinjske doline.

Dravska kotlina

Vodno telo podzemne vode Dravske kotline se nahaja na območju aluvialnega prodnega zasipa reke Drave med Selnico ob Dravi in Ormožem do Središča ob Dravi ob meji s Hrvaško. Zavzema območje veliko 429 km² z maksimalno dolžino 67 km in širino 13.8 km.

Tabela 3: Osnovni hidrogeološki parametri vodnega telesa Dravske kotline

Vodno telo Dravske kotline	
Hidravlični gradient [m/100m]	0,27
Hidravlična prevodnost [m/s]	$5 \cdot 10^{-3}$
Učinkovita poroznost [%]	15%

Debelina kvartarnih naplavin je precej spremenljiva zaradi valovite terciarne podlage. Posledično se debeline gibajo med 2.5 do 35 metrov. Značilna globina do podzemne vode prvega vodonosnika znaša med 8 in 12 metri. Debelina zasičene cona znaša med 12 in 22 metri debeline na Dravskem polju in od 5 do 12 metrov na Ptujskem polju. Povprečna vrednost za celotno kotlino znaša 12 metrov. Povprečna vrednost koeficienta prepustnosti za prvi vodonosnik znaša $5 \cdot 10^{-3}$ m/s, izdatnost pa je visoka do srednja. Visoko izdatni vodnjaki dosežejo vplivne polmere reda velikosti 100 metrov, nizko izdatni reda velikosti 10 metrov. Učinkovita poroznost znaša približno 15%. Ocena potencialnih zalog je 3.17 m³/s. Gradient podzemne vode se giblje med 4‰ in 1.2‰ (NBHG- *Vodno telo podzemne vode Dravska kotlina (VTPodV 1002)*, na straneh 4-12).

Murska Kotlina

Na slovenskem območju aluvialnega prodnega zasipa reke Mure se nahaja vodno telo podzemne vode Murske kotline. Zavzema območje v velikosti 591 km², z največjo dolžino 57km in širino 18 km.

Tabela 4: Osnovni hidrogeološki parametri vodnega telesa Murske kotline

Vodno telo Murske kotline	
Hidravlični gradient [m/100m]	0,11
Hidravlična prevodnost [m/s]	$4,8 \cdot 10^{-4}$

Učinkovita poroznost [%]	10-20%
--------------------------	--------

Aluvialni vodonosnik je odprtega hidrodinamskega tipa, podzemna voda pa se nahaja blizu površja. Značilna prepustnost je dobra in znaša $4.8 \cdot 10^{-4}$ m/s, povprečna debelina zasičene cone je 13 metrov. Gladina podzemne vode sega do globine 3 metrov, včasih pa je lahko tudi manjša od 1 m. Izdatnost aluvialnega vodonosnika je visoka do srednja, posledično visoko izdatni vodnjaki dosegajo vplivne polmere reda velikosti 100 metrov, nizko izdatni pa reda velikosti 10 metrov. Učinkovita poroznost se giblje med 10 in 20 %. Gradient piezometrične gladine je 0.11 % (NBHG - *Vodno telo podzemne vode Murska kotlina (VTPodV 4016)*, na straneh 4-11).

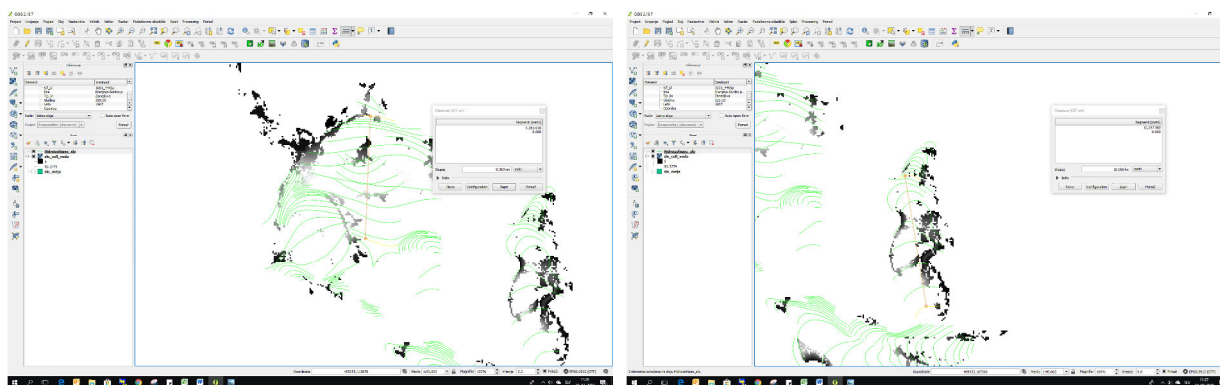
Savska kotlina in Ljubljansko barje

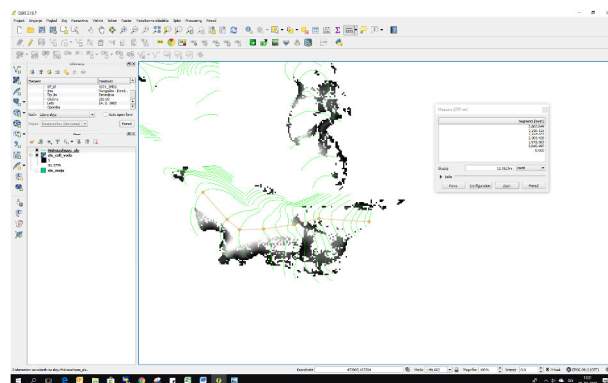
Vodno telo podzemne vode Savske kotline in Ljubljanskega barja se nahaja v aluvialnem prodnem zasipu reke Save med Jesenicami in Dolskim pri Ljubljani ter Ljubljanice od izvira do izliva v Savo. Obsega območje 774 km^2 z maksimalno dolžino 69.6 km in širino 28 km.

Tabela 5: Osnovni hidrogeološki parametri vodnega telesa Savske kotline in Ljubljanskega barja

Vodno telo Savske kotline in Ljubljanskega barja	
Hidravlični gradient [m/100m]	0,5
Hidravlična prevodnost [m/s]	10^{-3}
Učinkovita poroznost [%]	15%

Globina do podzemne vode se giblje med nekaj metri do 30 metrov, povprečno 15 metrov. Povprečna debelina zasičene cone aluvialnega vodonosnika je med 10 in 40 metri. Povprečna vrednost koeficienta prepustnosti (K) je 10^{-3} m/s. Vodnjaki so visoko izdatni oziroma srednje izdatni na obrobjih, z vplivnimi polmeri reda velikosti 100 do nekaj 100 m, z majhnimi znižanji vode reda velikosti 1 m. Učinkovita poroznost je ocenjena na 15% (NBHG - *Vodno telo podzemne vode Savska kotlina in Ljubljansko barje (VTPodV 1001)*, na straneh 5-14). Hidravlični gradient je bil izračunan glede na hidroizohipse in znaša 0,005 (Slika 26).

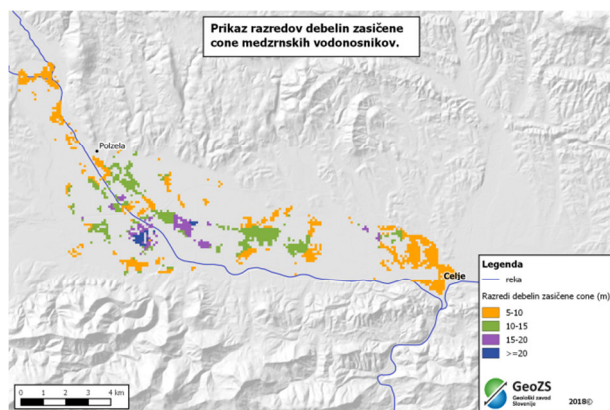




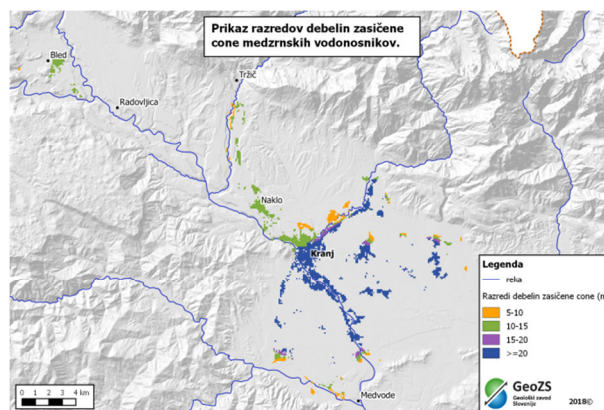
Slika 26. Izračun gradienta za vodno telo Savske kotline in Ljubljanskega barja.

Določanje debelin zasičene cone

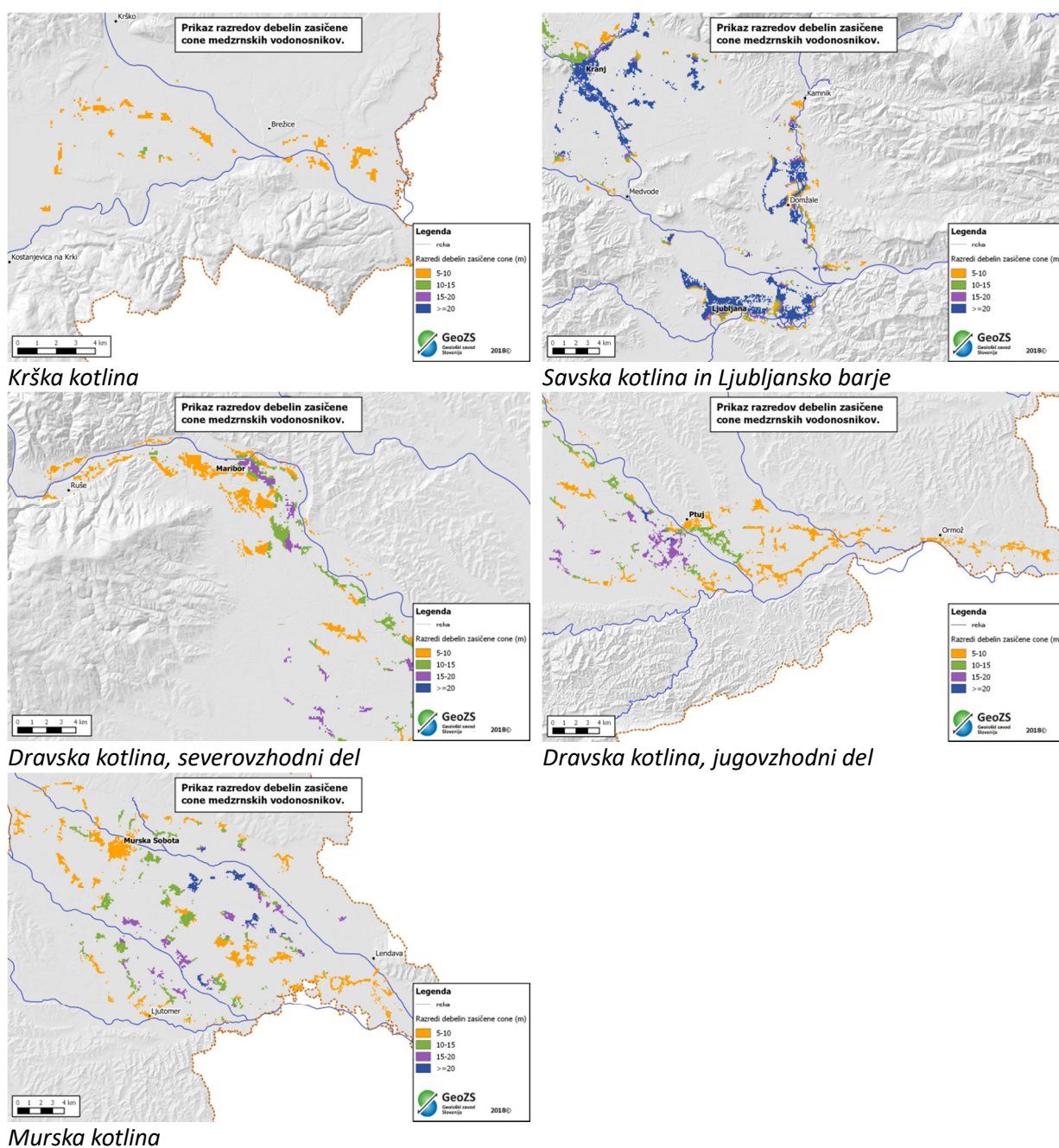
Debeline omočenih delov aluvialnih vodonosnikov so izračunane na podlagi srednjih gladin podzemne vode in obstoječih prostorskih modelov podlag kvartarnih, oziroma pliokvartarnih aluvialnih sedimentov (Drobne in sod., 1977; Lapanje in sod., 1999; Lapanje in sod., 2006; Prestor in sod., 2006; Resman, 2014; Žlebnik, 1965; Žlebnik, 1968; Žlebnik, 1971; drugi interni in neobjavljeni podatki – modeli podlag vodonosnikov). Sloj hidroizohips aluvialnih vodonosnikov je bil interpoliran in pretvorjen v rastrsko obliko z natančnostjo 100 m, kjer celice rastrskega sloja sovpadajo z vektorskim slojem celic stavb. S pomočjo matematičnih funkcij je bila izračunana debelina zasičene cone, kot razlika med kotami gladin podzemne vode in kotami podlag vodonosnika. Vrednosti so bile nato pripisane posamičnim celicam in razdeljene v 4 razrede. Na spodnjih slikah so izseki posameznih kotlin s prikazom debeline zasičene cone v razredih 5, 10, 15, 20 metrov (Slika 27).



Savinjska kotlina



Savska kotlina



Slika 27. Prikaz razredov debelin zasičene cone medzrnskih vodonosnikov (5-10 m, 10-15 m, 15-20 m, ≥ 20 m).

4.2.1. Modeliranje za ugotavljanje potenciala izkoriščanja toplote iz vodonosnika

Modeliranje za ugotavljanje potenciala izkoriščanja toplote iz vodonosnika je bilo izvedeno s programsko opremo Groundwater Energy Designer (GED).

Uporabljena sta bila dva kriterija:

- Vpliv na temperaturo podzemne vode po 30 let delovanja največ 1 K
- Temperaturni oblak glede na naravno stanje ne preseže 3 K na radiju 100 m.

Razširjanje temperaturnega oblaka je odvisno od moči, ki jo vlečemo iz tal, prepustnosti, gradienta. Znižanje globine podzemne vode je odvisno od črpanih količin. Te vplive v praksi lahko kontroliramo s tem, da povečamo število vrtin (ali črpalnih, ali ponikalnih ali obeh).

Scenariji so bili narejeni le za ogrevanje, hlajenje ni upoštevano. Kombinacija ogrevanja in hlajenja bi pomenila bistveno povečanje potenciala.

Scenariji:

- Debeline vodonosnika 5, 10, 15 in 20 m.
- Učinkovita poroznost 15 %.
- Hidravlični gradient, hidravlična prepustnost:

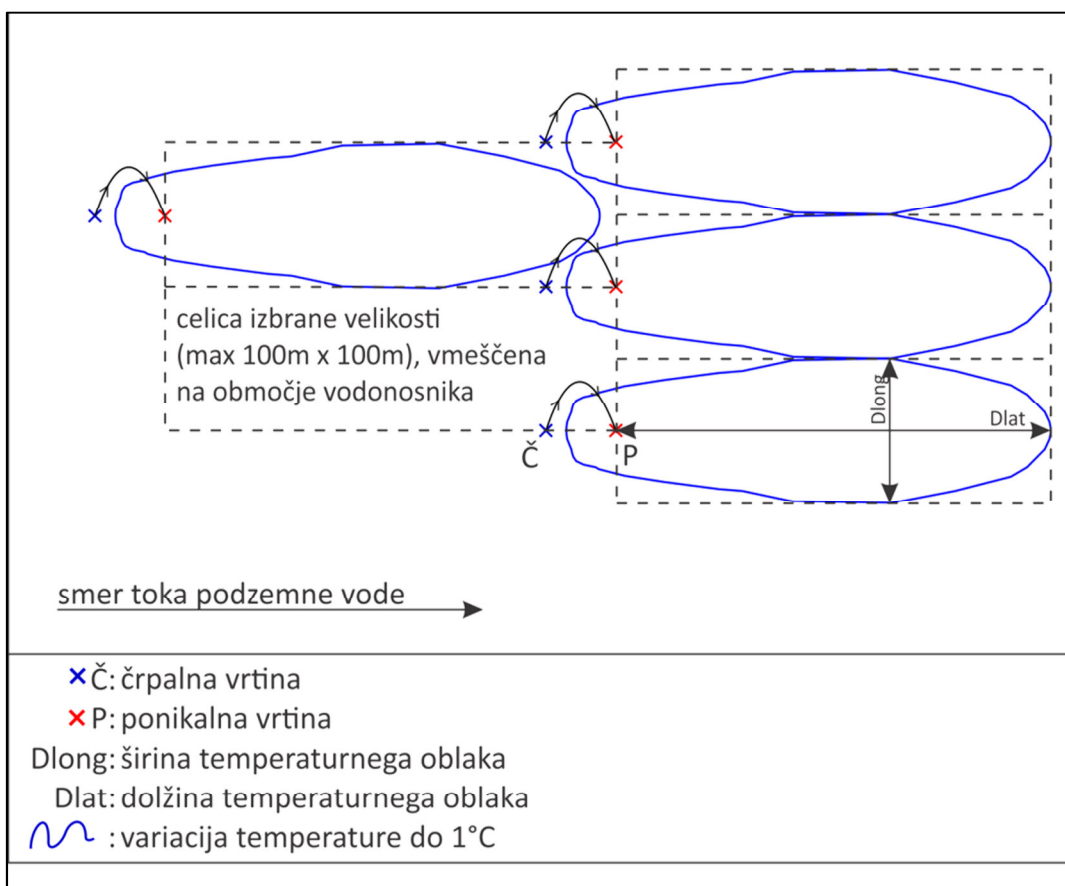
	Krška kotlina	Savinjska kotlina	Dravska kotlina	Murska kotlina	Savska kotlina in LJ barje
Hidravlični gradient [l]	0,001	0,005	0,003	0,001	0,005
Hidravlična prevodnost [m/s]	0,003	0,0005	0,005	0,0005	0,001

- Letne porabe energije (na vrtino) 107,2 (VSS1), 54,3 (VSS2), 127,0 (PS1), 64,9 (PS2) MWh/leto.
- Toplotne moči toplotne črpalke (na vrtino) 66 (VSS1), 41 (VSS2), 71,5 (PS1) in 46,5 (PS2).
- vpliv je bil ocenjen z bočno in vzdolžno razdaljo, nad katero je temperaturna razlika glede na začetno stanje manjša za 1° C.
- vpliv se meri od vodnjaka ali vodnjakov za reinjekcijo naprej.
- cona, kjer je dT večja od 3° C ne sme biti širša oz daljša od 100 m.

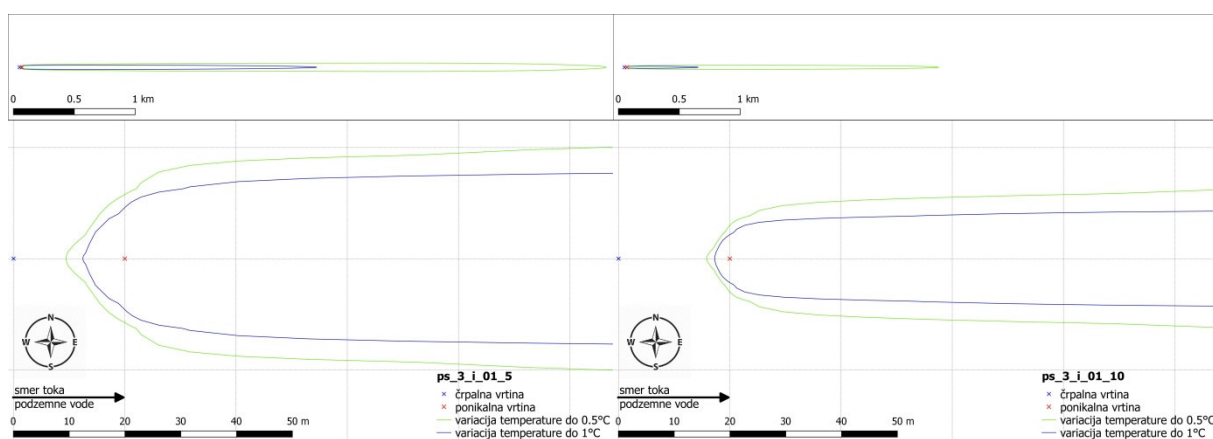
V spodnji preglednici so podani vhodni podatki (Preglednica 16).

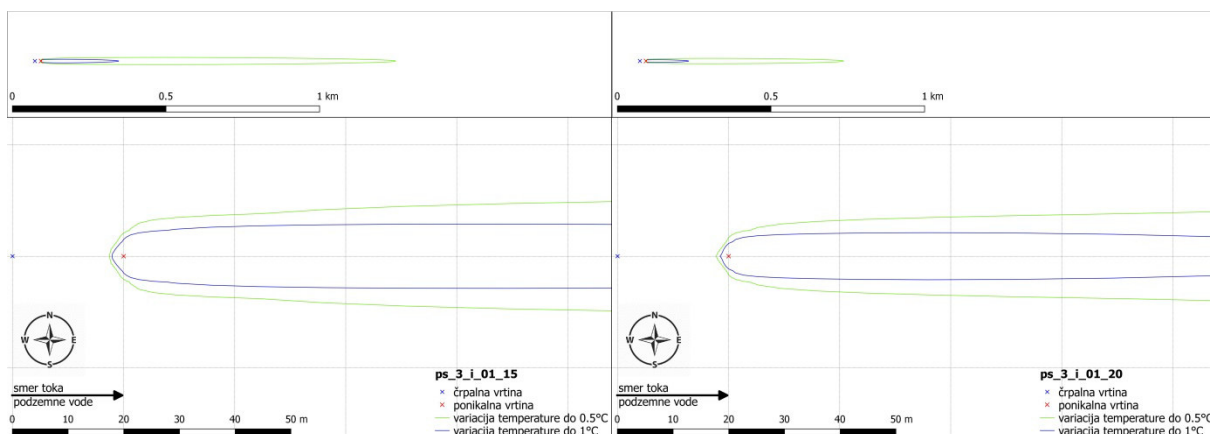
Preglednica 16. Osnovni parametri

Parametri za modeliranje	Vrednosti
SPF	5
Doba delovanja [let]	30
Razlika v temperaturi med črpanim in vračanim [K]	3
Razdalja med črpalno in ponikalno vrtino (v smeri x-osi) [m]	20
Odprt vodonosnik – globina do nizke vode [m]	10
Odprt vodonosnik – globina do podlage [m]	15, 20, 25, 30



Primer izračuna za primer PS2 in pri rastočih debelinah vodonosnika (od 5 do 20 m) v pogojih ki veljajo za Mursko kotlino je prikazan na spodnji sliki (Slika 28).





Slika 28. Izračun potenciala izkoriščanja toplote podzemne vode z modeliranjem termične vplivne površine po 30 letih delovanja z uporabo GED programske opreme za primer PS1 in različne debeline vodonosnika.

Prepustnost vodonosnika ima velik vpliv na izkoristljivo moč. Večja prepustnost pomeni, da je možno izkoriščati več energije, in obratno. Pri manjši prepustnosti je potrebno več vodnjakov za isto moč.

Za cone s slabšo prepustnostjo (10^{-5} m/s) velja, da je izkoristljivost hitro omejena z znižanjem v vodnjaku in toplotnim oblakom. Takih naprav nismo vključili v izračun potenciala, ker potrebujejo preveč prostora, zaradi potrebne razdalje med zajetjem in vračanjem in je zaradi tega njihov prispevek v skupnem potencialu majhen.

Cone s srednjo prepustnostjo (10^{-4} m/s) omogočajo izkoriščanje pomembnih količin energije, vendar imata gradient in debelina vodonosnika večjo vlogo. Takšni vodonosniki so zanimivi predvsem za manjše naprave ali za skladiščenje toplote in reverzibilno rabo (topla in hladna vrtina).

Cone s povišano prepustnostjo (10^{-3} m/s) omogočajo izkoriščanje večjih količin toplote, brez večjega vpliva na temperaturo podzemne vode. V primeru večjih sistemov pa se lahko vpliv zmanjša z uporabo več vodnjakov za vračanje vode. (Groupe de travail PGG, 2011, str. 168)

Vpliv temperaturnega oblaka se pozna predvsem dolvodno in nekoliko bočno. Pri majhnih prevodnostih je vpliv večji.

Za dane potrebe zadošča en črpalni in en ponikalni vodnjak. Do temperaturnega oblaka 3 K v danih primerih ne pride.

4.2.2. Pregled dobljenih izračunov vplivnih območij s spremembo temperature podzemne vode nad 1°C

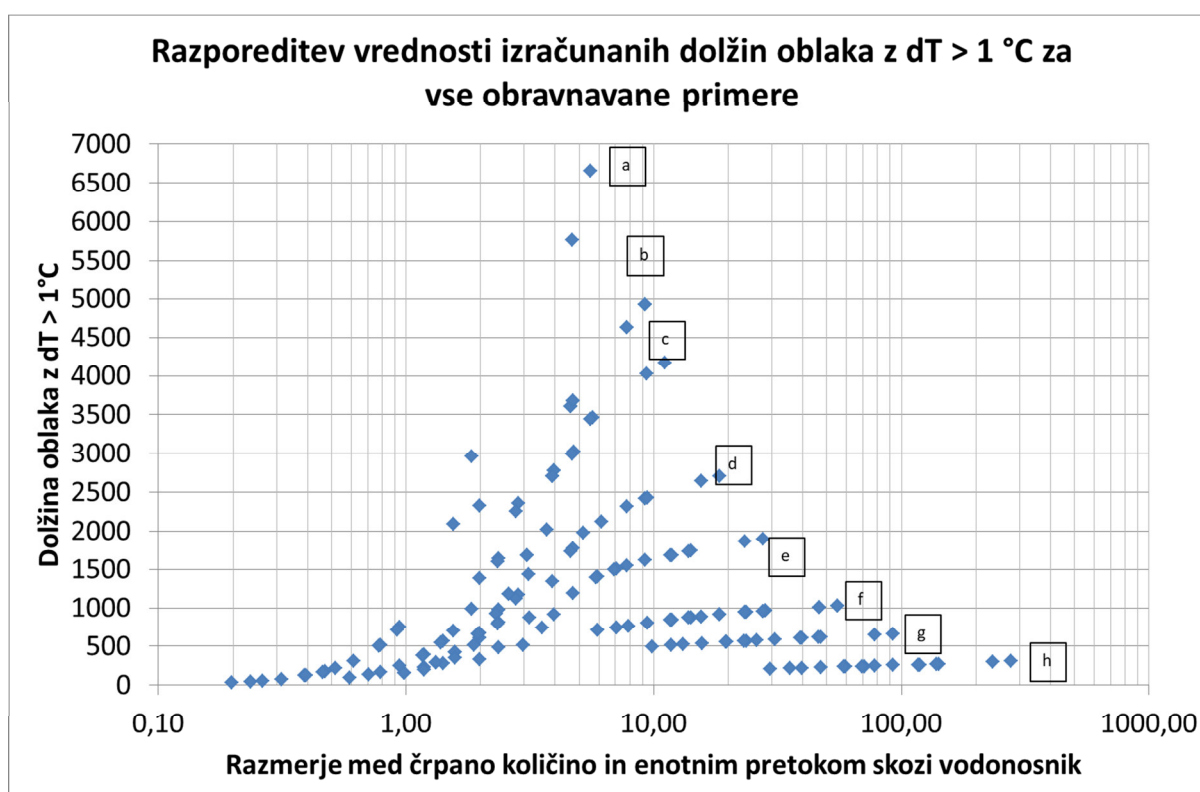
Potencial sistemov voda-voda smo ocenili na območjih najbolj ugodnih glavnih aluvialnih vodonosnikov v Sloveniji. Vodonosnike smo omejili glede na pričakovano debelino omočenega vodonosnika vsaj 5 m in pričakovano dobro do zelo dobro prepustnost $k \geq 1 \cdot 10^{-4}$ m/s.

	i grad(h) [m/m, ‰]	k [m/s]	vD (Darcyjeva hitrost) [m/s]
--	--------------------	---------	------------------------------

1	3	0,005	1,50E-05
2	1	0,003	3,00E-06
3	5	0,001	5,00E-06
4	3	0,001	3,00E-06
5	1	0,001	1,00E-06
6	5	0,0005	2,50E-06
7	3	0,0005	1,50E-06
8	1	0,0005	5,00E-07
9	5	0,0001	5,00E-07
10	3	0,0001	3,00E-07
11	1	0,0001	1,00E-07

Prepustnosti in gradienti piezometrične gladine so se razvrstili v 11 razredov, debeline omočenega sloja pa smo razvrstili v 4 razrede (vsaj 5 m, 10 m, 15 m in 20 m). S programom GED smo nato opravili modelne izračune za 11 različnih primerov stavb s po 4 različnimi potrebami po energiji za ogrevanje. Tako smo dobili 176 različnih izračunov vplivnih območij. Velikosti izračunanih vplivnih območij se gibljejo med vrednostmi 30 – 6.659 m dolžine in 2 – 267 m širine.

Velikost vplivnega območja vračane ohlajene vode je v prvi vrsti odvisna od hitrosti toka in količine podzemne vode, ki se pretaka skozi vodonosnik. Zato smo splošen pregled dobljenih rezultatov prikazali na diagramu $L_{\text{long}} = \text{dolžina vplivnega območja} = f(Q_s \text{ količina načrpane vode} / Q_{aq} = \text{količina pretoka skozi enotno širino vodonosnika})$. Rezultati se razporedijo po sedmih značilnih krivuljah a – h (Slika 29). Večinoma gre za primere, ko je črpna količina med 1 do 100 –krat večja od pretoka skozi enotno širino vodonosnika. Črpane količine so torej večinoma manjše kot se pretaka podzemne vode skozi celico širine 100 m.



Slika 29. Razporeditev vrednosti izračunanih dolžin oblaka z $dT > 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ za vse obravnavane primere.

Za primerjavo rezultatov izračunanih dolžin vplivnih območij po GED smo uporabili še metodo izračuna dolžine termičnega vpliva z $dT > 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ in SIA 384/7. V posameznih primerih lahko ugotovimo dobro ujemanje (primera 2 in 3 spodaj), medtem, ko so v posameznih primerih odstopanja zelo velika (lahko tudi bistveno višja od razlike v primeru 1 spodaj). Pri tem je treba upoštevati, da je metoda po SIA 384/7 zelo poenostavljena; predvsem, ker upošteva, da se celotna temperatura razlika med vračano in črpano vodo v celoti razporedi po celotni debelini omočenega dela vodonosnika na mestu vračanja. Vsekakor je tudi za potrebe ocene potenciala v velikem merilu, kot smo ga opravili v tej nalogi, treba uporabiti modeliranje, saj ima omenjena analitična metoda, kot opozarja tudi SIA standard, preveč poenostavitev.

1. primer

	[MWh/a]	[kW]	[L/min]	[L/s]	[L/s/m]	[m]	[m]	[‰]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	
Primeri	Qnh	Pnh	Q	Qs	Qaq	Qs/Qaq	E	i	k	Vd	N_wells	1D Č-P	D Č-Č	DLat	DLong		
PS primer 1	64,921	46,5	28,327	0,47	0,03	14,16	5	1	0,001	1,00E-06	1	20	0	1741	89		
PS primer 1	127,003	71,5	55,415	0,92	0,07	13,85	10	1	0,001	1,00E-06	1	20	0	1735	89		
VSS primer 1	54,34	41	23,71	0,40	0,03	11,86	5	1	0,001	1,00E-06	1	20	0	1686	81		
VSS primer 1	107,184	66	46,768	0,78	0,07	11,69	10	1	0,001	1,00E-06	1	20	0	1681	82		
PS primer 1	127,003	71,5	55,415	0,92	0,10	9,24	15	1	0,001	1,00E-06	1	20	0	1620	72		
VSS primer 1	107,184	66	46,768	0,78	0,10	7,79	15	1	0,001	1,00E-06	1	20	0	1552	65		
PS primer 1	64,921	46,5	28,327	0,47	0,07	7,08	10	1	0,001	1,00E-06	1	20	0	1506	60		
PS primer 1	127,003	71,5	55,415	0,92	0,13	6,93	20	1	0,001	1,00E-06	1	20	0	1496	59		
VSS primer 1	54,34	41	23,71	0,40	0,07	5,93	10	1	0,001	1,00E-06	1	20	0	1401	53		
VSS primer 1	107,184	66	46,768	0,78	0,13	5,85	20	1	0,001	1,00E-06	1	20	0	1391	53		
	64,921	46,5	28,327	0,47	0,07	7,08	10	1	0,001	1,00E-06	1	20	0	1506	60		
PARAMETER	OZNAKA PARAMETRA							PRIMER	ENOTA	REZULTAT							
temperatura podtalnice (statična raven)	Θ_0								10 °C	$\Delta\Theta = 0,33$							
temperature de restitution (obnovljiva temperatura??)	Θ_i								7 °C								
čas t								946080000 s		30 let							
toplotna prevodnost zgornjega sloja	λ								2 W/mK								
komplementarna funkcija napake	erfc								/								
razdalja y								2460 m		poroznost n							
učinkovita poroznost	mef							0,15		0,2							
debelina zaprtega vodonosnika	M							10 m									
prepustnost k								1,00E-03 m/s									
gradient i								0,001									
Darcyjeva hitrost	v_D							0,000001 m/s									
čas prenosa delca vode s spremenjeno temperaturo	τ							369.000.000,00 s		4271 dni		11,70 let					
gostota vodonosnika	ρ_a							2100 kg/m3		SIA384/6		zasičen prod					
specifična toplota vodonosnika	c_a							1238 J/kgK		2600 MJ/(m3K)							
gostota kamnine	ρ_r							2400 kg/m3				apnenčasta kamnina					
specifična toplota kamnine	c_r							917 J/kgK		2200 MJ/(m3K)							
gostota vode	ρ_w							997 kg/m3									
specifična toplota vode	c_w							4186 J/kgK		2.600.000,00		Vodonosnik					
vrednost za izračun erfc(x)	x							2,58956E-05		2.594.688		voda+kamnina					

2. primer

			[MWh/a]	[kW]	[L/min]	[L/s]	[L/s/m]	[m]	[m]	[‰]	[m/s]	[m/s]	[-]	[m]	[m]	[m]	[m]
Zap	oznaka	Primeri	Qnh	Pnh	Q	Qs	Qaq	Qs/Qaq	E	i	k	Vd	N_wells	1D Č-P	D Č-Č	Dlat	DLo
	96 e	PS primer 1	64,921	46,5	28,327	0,47	0,13	3,54	20		1	0,001	1,00E-06	1	20	0	736
	8	VSS primer 1	54,34	41	23,71	0,40	0,13	2,96	20	1	0,001	1,00E-06		1	20	0	512
	169 c	PS primer 9	127,003	71,5	55,415	0,92	0,08	11,08	5	5	0,0005	2,50E-06		1	20	0	4168
	81 c	VSS primer 9	107,184	66	46,768	0,78	0,08	9,35	5	5	0,0005	2,50E-06		1	20	0	4027
	173 c	PS primer 9	64,921	46,5	28,327	0,47	0,08	5,67	5	5	0,0005	2,50E-06		1	20	0	3466
	170 c	PS primer 9	127,003	71,5	55,415	0,92	0,17	5,54	10	5	0,0005	2,50E-06		1	20	0	3445
	85 c	VSS primer 9	54,34	41	23,71	0,40	0,08	4,74	5	5	0,0005	2,50E-06		1	20	0	3027
	82 c	VSS primer 9	107,184	66	46,768	0,78	0,17	4,68	10	5	0,0005	2,50E-06		1	20	0	2993

PARAMETER	OZNAKA PARAMETRA	PRIMER	ENOTA	REZULTAT
temperatura podtalnice (statična raven)	Θ_0		10 °C	$\Delta\Theta = 0,33$
temperature de restitution (obnovljiva temperatura??)	Θ_i		7 °C	
čas t		946080000 s		30 let
toplotna prevodnost zgornjega sloja	λ		2 W/mK	
komplementarna funkcija napake	erfc		/	
razdalja y		3250 m		poroznost n
učinkovita poroznost	mef	0,15		0,2
debelina zaprtega vodonosnika	M	5 m		
prepustnost k		5,00E-04 m/s		
gradient i		0,005		
Darcyjeva hitrost	v_D	0,0000025 m/s		
čas prenosa delca vode s spremenjeno temperaturo	τ	195.000.000,00 s		2257 dni
				6,18

3. primer

Zap	oznaka	Primeri	[MWh/a]	[kW]	[L/min]	[L/s]	[L/s/m]	[m]	[m]	[‰]	[m/s]	[m/s]	[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
			Q _{nh}	P _{nh}	Q	Q _s	Q _{aq}	Q _s /Q _{aq}	E	i	k	V _d	N _{wells}	D Č-P	D Č-Č	D _{Lat}	D _{Long}	Δ
137 g	PS primer 5		127,003	71,5	55,415	0,92	0,01	92,36	5	3	0,0001	3,00E-07	1	20	0	661	200	
49 g	VSS primer 5		107,184	66	46,768	0,78	0,01	77,95	5	3	0,0001	3,00E-07	1	20	0	648	184	
141 g	PS primer 5		64,921	46,5	28,327	0,47	0,01	47,21	5	3	0,0001	3,00E-07	1	20	0	619	149	
138 g	PS primer 5		127,003	71,5	55,415	0,92	0,02	46,18	10	3	0,0001	3,00E-07	1	20	0	618	151	
53 g	VSS primer 5		54,34	41	23,71	0,40	0,01	39,52	5	3	0,0001	3,00E-07	1	20	0	608	141	
50 g	VSS primer 5		107,184	66	46,768	0,78	0,02	38,97	10	3	0,0001	3,00E-07	1	20	0	607	138	
139 g	PS primer 5		127,003	71,5	55,415	0,92	0,03	30,79	15	3	0,0001	3,00E-07	1	20	0	588	127	
51 g	VSS primer 5		107,184	66	46,768	0,78	0,03	25,98	15	3	0,0001	3,00E-07	1	20	0	577	116	
142 g	PS primer 5		64,921	46,5	28,327	0,47	0,02	23,61	10	3	0,0001	3,00E-07	1	20	0	570	112	
140 g	PS primer 5		127,003	71,5	55,415	0,92	0,04	23,09	20	3	0,0001	3,00E-07	1	20	0	568	110	
54 g	VSS primer 5		54,34	41	23,71	0,40	0,02	19,76	10	3	0,0001	3,00E-07	1	20	0	556	103	
52 g	VSS primer 5		107,184	66	46,768	0,78	0,04	19,49	20	3	0,0001	3,00E-07	1	20	0	554	103	

PARAMETER	OZNAKA PARAMETRA	PRIMER	ENOTA	REZULTAT
temperatura podtalnice (statična raven)	Θ_0		10 °C	$\Delta\Theta = 0,33$
temperature de restitution (obnovljiva temperatura??)	Θ_i		7 °C	
čas t		946080000 s		30 let
toplotna prevodnost zgornjega sloja	λ		2 W/mK	
komplementarna funkcija napake	erfc		/	
razdalja y		740 m		poroznost n
učinkovita poroznost	mef	0,15		0,2
debelina zaprtega vodonosnika	M	10 m		
prepustnost k		1,00E-04 m/s		
gradient i		0,003		
Darcyjeva hitrost	v_D	0,0000003 m/s		
čas prenosa delca vode s spremenjeno temperaturo	τ	370.000.000,00 s		4282 dni
				11,73 let

5. REZULTATI IZRAČUNOV ZA PRIMERU MARIBOR

Rezultati izračunov za primer Maribor so podani v obliki 10 GIS kart, od tega 6 za geosonde in 4 za sisteme voda-voda. V naslednjih poglavjih je podan pregled atributov vsake karte.

5.1. Geosonde

Račun potenciala je narejen glede na reprezentativne geotermalne lastnosti, ki jih pokriva mreža potreb za območje Maribor, kjer ni ugodnega vodonosnika in kjer ni prepovedi (1. in 2. vodovarstveni pas, arteški vodonosnik). V spodnji tabeli so statistične lastnosti vzorca izbranih celic za analizo potenciala za geosonde za primer občine Maribor (Preglednica 17).

Preglednica 17. Statistične lastnosti vzorca izbranih celic za analizo potenciala za geosonde.

Št. celic:	2779	
Potrebe po toplotni energiji v celici [MWh/a]		
Minimalne	0,65	
Maksimalne	3368,13	
Povprečje	110,28	
Mediana	32,11	
Skupna energija [MWh/a]	306468,50	
Razredi energetskega potreb	št. celic:	Skupna energija [MWh/a]
1-25,0	1175	15.778,37
25,1-50,0	549	19.594,82
50,1-100,0	358	25.829,58
100,1-200,0	290	41.958,56
200,1-350,0	237	62.027,91
350,1-600,0	81	36.958,63
>600,0	89	104.320,62

Rezultati so podani v prilogi tega poročila, kot preglednice, kjer je:

- E_TOT_1... potrebna energija (iz tal + toplotne črpalke) za en sistem [MWh/leto]
- E_EL_1... vložena električna energija za en sistem [MWh/leto]
- L_BHE_1... potrebna dolžina geosond za en sistem [m]
- c_BHE_1... strošek zajetja brez TČ in brez upoštevanja subvencije za 1 sistem [€]
- c_TC_1... strošek TČ in instalacij brez upoštevanja subvencije za 1 sistem [€]
- c_INVEST_1... strošek investicije zajetja s TČ, instalacijami in brez upoštevanja subvencije za 1 sistem [€]
- c_VZDR_1... letni strošek vzdrževanja zajetja s TČ, instalacijami za 1 sistem [€]
- c_OBRAT_1... letni strošek obratovanja za 1 sistem, el.en. [€]
- N_BHE_1... število geosond za 1 sistem [-]
- A_1... površina, ki jo zasede 1 sistem geosond [m²]
- P_BHEs_ha... potencial geotermalne energije z upoštevanjem vložene el.en. [MWh/ha]
- P_TCs_ha... potrebna el. en. za pogon TČ N sistemov na ha [MWh/ha]
- N_BHEs_ha... število N sistemov v celici [št./ha]

c_INVEST_ha... strošek investicije N zjetji s TČ, instalacijami in brez upoštevanja subvencije [€]

c_VZDR_ha... letni strošek vzdrževanja N zjetji s TČ, instalacijami [€]

c_OBRAT_ha... letni strošek obratovanja N sistemov, el.en. [€]

e_GEha... potencialna izkoriščena geotermalna energija N sistemov brez vložene el.en. na ha [MWh/ha]

A_GEha... površina, ki jo zasede N sistemov [m²]

5.1.1. Interpretacija podatkov na primeru Maribor

5.1.1.1. Scenarij za energijsko neučinkovito enostanovanjsko stavbo (ESS1)

Zajetje z geosondo za ogrevanje energijsko neučinkovite enostanovanjske stavbe glede na geološko geotermične lastnosti zavzame med 0,1 in 0,3 ha površine (v povprečju 0,2 ha). Preračunano na hektar pomeni, da lahko v eni celici namestimo med 3,6 in 9,3 naprav. Glede na geološko pestrost območja računa potenciala za primer Maribora pa skupaj 13.625,5 naprav. Skupna investicija v te naprave bi bila 154,6 mio EUR, stroški obratovanja 5,9 mio EUR/leto, stroški vzdrževanja 1,2 mio EUR/leto. Z vsemi temi napravami bi pridobili 106.810,3 MWh obnovljive geotermalne energije.

Po toplotni karti Mestne občine Maribor se potrebe gibajo med 0,648 in 3.368 MWh/leto/ha, skupne pa znašajo 306.468,5 MWh. Potencial za geotermalne toplotne črpalke s sistemom geosond, pa se giba med 38,7 in 101,4 MWh/leto/ha, skupaj pa znaša 148.408,9 MWh.

5.1.1.2. Scenarij za energijsko učinkovito enostanovanjsko stavbo (ESS2)

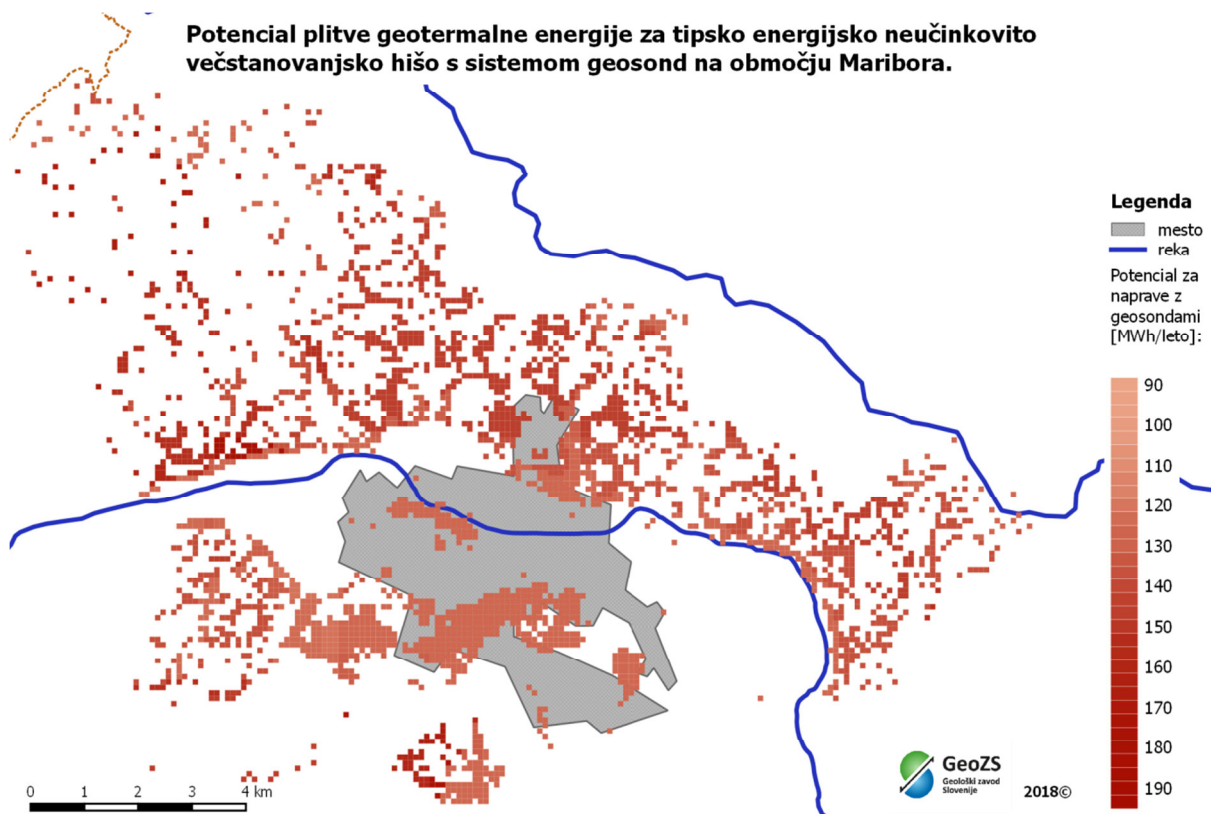
Zajetje z geosondo za ogrevanje energijsko učinkovite enostanovanjske stavbe glede na geološko geotermične lastnosti zavzame med 0,04 in 0,1 ha površine (v povprečju 0,08 ha). Preračunano na hektar pomeni, da lahko v eni celici namestimo med 9,4 in 25,3 naprav. Glede na geološko pestrost območja računa potenciala za primer Maribora pa skupaj 36.404 naprav. Skupna investicija v te naprave bi bila 341,1 mio EUR, stroški obratovanja 7,4 mio EUR/leto, stroški vzdrževanja 2,8 mio EUR/leto. Z vsemi temi napravami bi pridobili 128.105,7 MWh obnovljive geotermalne energije.

Po toplotni karti Mestne občine Maribor se potrebe gibajo med 0,648 in 3368 MWh/leto/ha, skupne pa znašajo 306.468,5 MWh. Potencial za geotermalne toplotne črpalke s sistemom geosond, pa se giba med 46,8 in 125,2 MWh/leto/ha, skupaj pa znaša 180.650,4 MWh.

5.1.1.3. Scenarij za energijsko neučinkovito večstanovanjsko stavbo (VSS1)

Zajetje z geosondo za ogrevanje energijsko neučinkovite večstanovanjske stavbe glede na geološko geotermične lastnosti zavzame med 0,6 in 0,9 ha površine (v povprečju 0,78 ha). Preračunano na hektar pomeni, da lahko v eni celici namestimo med 1,1 in 1,7 naprav. Glede na geološko pestrost območja računa potenciala za primer Maribora pa skupaj 3.559 naprav. Skupna investicija v te naprave bi bila 248,2 mio EUR, stroški obratovanja 15,4 mio EUR/leto, stroški vzdrževanja 1,5 mio EUR/leto. Z vsemi temi napravami bi pridobili 272.070,1 MWh obnovljive geotermalne energije.

Po toplotni karti Mestne občine Maribor se potrebe gibajo med 0,648 in 3368 MWh/leto/ha, skupne pa znašajo 306.468,5 MWh. Potencial za geotermalne toplotne črpalke s sistemom geosond, pa se giba med 122,1 in 177,3 MWh/leto/ha, skupaj pa znaša 382.346,9 MWh (Slika 30).



Slika 30. Potencial za primer VSS1.

5.1.1.4. Scenarij za energijsko učinkovito večstanovanjsko stavbo (VSS2)

Zajetje z geosondo za ogrevanje energijsko učinkovite večstanovanjske stavbe glede na geološko geotermične lastnosti zavzame med 0,4 in 0,7 ha površine (v povprečju 0,55 ha). Preračunano na hektar pomeni, da lahko v eni celici namestimo med 1,5 in 2,6 naprav. Glede na geološko pestrost območja računa potenciala za primer Maribora pa skupaj 5.054 naprav. Skupna investicija v te naprave bi bila 177,3 mio EUR, stroški obratovanja 11,7 mio EUR/leto, stroški vzdrževanja 1,2 mio EUR/leto. Z vsemi temi napravami bi pridobili 191.449 MWh obnovljive geotermalne energije.

Po toplotni karti Mestne občine Maribor se potrebe gibajo med 0,648 in 3368 MWh/leto/ha, skupne pa znašajo 306.468,5 MWh. Potencial za geotermalne toplotne črpalke s sistemom geosond, pa se giba med 82,4 in 140,9 MWh/leto/ha, skupaj pa znaša 275.418,2 MWh.

5.1.1.5. Scenarij za energijsko neučinkovito pisarniško stavbo (PS1)

Zajetje z geosondo za ogrevanje energijsko neučinkovite pisarniške stavbe glede na geološko geotermične lastnosti zavzame med 0,7 in 1 ha površine (v povprečju 0,9 ha). Preračunano na hektar pomeni, da lahko v eni celici namestimo med 1 in 1,3 naprav. Glede na geološko pestrost območja računa potenciala za primer Maribora pa skupaj 3.074 naprav. Skupna investicija v te naprave bi bila

265,2 mio EUR, stroški obratovanja 15,3 mio EUR/leto, stroški vzdrževanja 1,5 mio EUR/leto. Z vsemi temi napravami bi pridobili 282.113,7 MWh obnovljive geotermalne energije.

Po toplotni karti Mestne občine Maribor se potrebe gibajo med 0,648 in 3368 MWh/leto/ha, skupne pa znašajo 306.468,5 MWh. Potencial za geotermalne toplotne črpalke s sistemom geosond, pa se giba med 127,9 in 169,8 MWh/leto/ha, skupaj pa znaša 391.531,8 MWh.

5.1.1.6. Scenarij za energijsko učinkovito pisarniško stavbo (PS2)

Zajetje z geosondo za ogrevanje energijsko učinkovite pisarniške stavbe glede na geološko geotermične lastnosti zavzame med 0,5 in 0,7 ha površine (v povprečju 0,65 ha). Preračunano na hektar pomeni, da lahko v eni celici namestimo med 1,3 in 1,9 naprav. Glede na geološko pestrost območja računa potenciala za primer Maribora pa skupaj 4.280 naprav. Skupna investicija v te naprave bi bila 234,5 mio EUR, stroški obratovanja 11,1 mio EUR/leto, stroški vzdrževanja 1,5 mio EUR/leto. Z vsemi temi napravami bi pridobili 198.929,1 MWh obnovljive geotermalne energije.

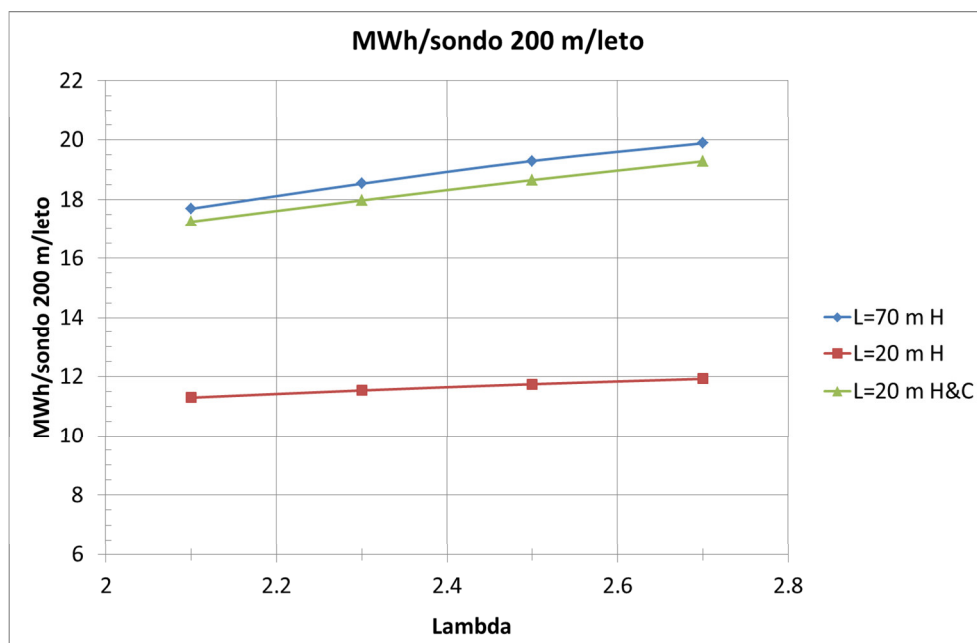
Po toplotni karti Mestne občine Maribor se potrebe gibajo med 0,648 in 3368 MWh/leto/ha, skupne pa znašajo 306.468,5 MWh. Potencial za geotermalne toplotne črpalke s sistemom geosond, pa se giba med 85 in 121 MWh/leto/ha, skupaj pa znaša 278.421 MWh.

5.1.1.7. Razprava

Pri računu potenciala izhajamo iz potreb po energiji za ogrevanje tipičnih stavbe v celici 100 x 100 metrov. Za posamezni tip bolj in manj energijsko učinkovitih stavb je bila izračunana površina, ki jo zavzame zajetje plitve geotermalne energije. Bolj kot je stavba učinkovita, manjše so potrebe, manjša je v povprečju površina, ki jo zasede zajetje.

Vračanje oziroma hlajenje v računu ni upoštevano. Če bi upoštevali tudi to, bi bil v tem primeru potencial pomembno večji.

Na spodnji sliki (Slika 31) je primerjava izračunov za 3 scenarije, koliko energije [MWh/leto] bi dobili na 200 metrsko sondo pri λ 2,1 do 2,6 ter vmesni razdalji 70 in 20 m pri ogrevanju ter na razdalji 20 m pri ogrevanju in hlajenju. Izkaže se, da bi lahko bila za enako toplotno energijo razdalja med geosondami v primeru ogrevanja in hlajenja bistveno manjša.



Slika 31. Primerjava pridobljene energije na 200 metrsko geosondo za različne toplotne prevodnosti (λ) in vmesne razdalje.

K poročilu je priložen GIS sloj potenciala plitve geotermalne energije s sistemom geosond.

Ime podatkovnih slojev: mb_geos_sf1, mb_geos_sf2, mb_geos_mfh1, mb_geos_mfh2, mb_geos_ps1, mb_geos_ps2

Vir podatkov: GeoZS.

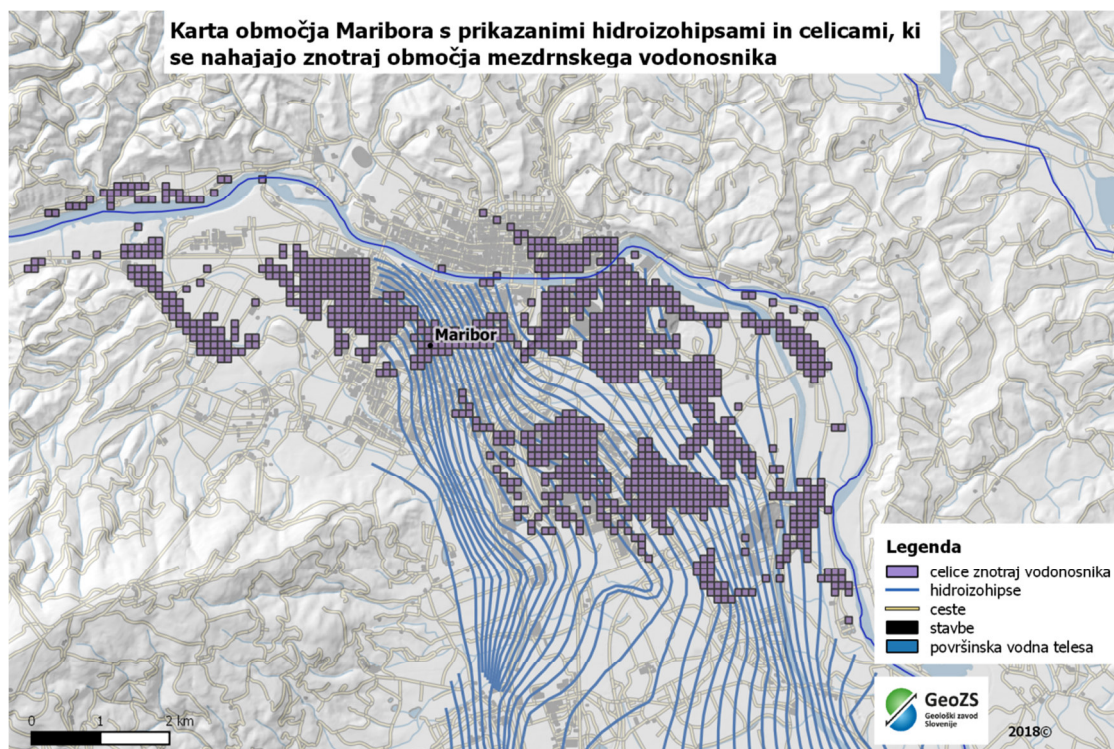
Kratek opis: Gre za prikaz potenciala za geosonde v MWh/leto, stroškov investicije, vzdrževanja in obratovanja za različne tipe stavb v celicah za primer Maribor. Izdelan je shp na celico 100 x 100 metrov.

Vsebina in zgradba datoteke: vektorski sloj, ki ima vrednosti po zgoraj opisanih atributih.

5.2. Sistemi voda-voda

Račun potenciala je narejen glede na lastnosti vodonosnikov, ki jih pokriva mreža potreb za območje Maribor, kjer je ugodni vodonosnik in kjer ni prepovedi (1. in 2. vodovarstveni pas, arteški vodonosnik).

Znotraj območja Maribor je bil izračunan potencial za sisteme voda-voda za celice, ki ležijo znotraj vodonosnika in izven ožjih vodovarstvenih območji (Slika 32).



Slika 32. Celice znotraj mezdrskega vodonosnika in izven omejitev na območju Maribor.

V spodnji tabeli (Preglednica 18) so prikazane statistične lastnosti vzorca izbranih celic za analizo potenciala za sisteme voda-voda.

Preglednica 18. Statistične lastnosti vzorca izbranih celic za analizo potenciala za voda-voda.

Št. celic:	1139	
Potrebe po toplotni energiji v celici [MWh/a]		
Minimalne	0.33	
Maksimalne	2050.50	
Povprečje	205.64	
Mediana	124.84	
Skupna energija [MWh/a]	234225.11	
Razredi energetskih potreb	št. celic:	Skupna energija [MWh/a]
1-25,0	150	1948.39
25,1-50,0	135	4906.79
50,1-100,0	205	15545.30
100,1-200,0	237	34500.99
200,1-350,0	252	66597.84
350,1-600,0	90	40176.87
>600,0	70	70548.94

Rezultati so podani v prilogi tega poročila, kot preglednice, kjer je:

Sum_SumO_1... potrebne toplote za ogrevanje in pripravo tople vode v rastru 100 x 100 m

Q_{nh} [kWh/a]... letna poraba energije za ogrevanje in pripravo tople vode za tipsko stavbo
 P_{nh} [W/m²]... grelna moč za tipsko stavbo
 E [m]... debelina vodonosnika
 i_1 [‰]... hidravlični gradient
 p_1 [m/s]... hidravlična prevodnost
 N_{wells_1} [-]... število vodnjakov
 D_{C_P} [m]... razdalje med črpalno in ponikalno vrtino
 D_{C_C} [m]... razdalje med črpalnimi vrtinami
 D_{Lat} [m]... širina temperaturnega oblaka
 D_{Long} [m]... dolžina temperaturnega oblaka
 A [m²]... Površina temperaturnega oblaka
 $Q_{nh_A_m}$ [kWh/m²]... potencial geotermalne energije za ogrevanje in pripravo tople vode za tipsko stavbo na m²
 P_{nh_A} [W/m²]... potencial geotermalne toplotne moči za tipsko stavbo na m²
 $Q_{nh_A_ha}$ [MWh/ha]... potencial geotermalne energije za ogrevanje in pripravo tople vode za tipsko stavbo na ha
 C_{well_1} [€]... strošek zajetja brez TČ in brez upoštevanja subvencije za 1 sistem
 C_{TC_1} [€]... strošek TČ in instalacij brez upoštevanja subvencije za 1 sistem
 C_{INVEST_1} [€] ... strošek investicije zajetja s TČ, instalacijami in brez upoštevanja subvencije za 1 sistem
 C_{VZDR_1} [€]... letni strošek vzdrževanja zajetja s TČ, instalacijami za 1 sistem
 C_{OBRAT_1} [€]... letni strošek obratovanja za 1 sistem, el.en. [€]
 N_{wells_ha} [št./ha]... število N sistemov v celici [št./ha]
 C_{INVES_ha} [€]... strošek investicije N zajetji s TČ, instalacijami in brez upoštevanja subvencije
 C_{VZDR_ha} [€]... letni strošek vzdrževanja N zajetji s TČ, instalacijami
 C_{OBRAT_ha} [€]... letni strošek obratovanja N sistemov, el.en. [€]
 E_{GEha} [MWh/ha]... potencialna izkoriščena geotermalna energija N sistemov brez vložene el.en. na ha [MWh/ha]
 A_{GEha} [m²]... površina, ki jo zasede N sistemov

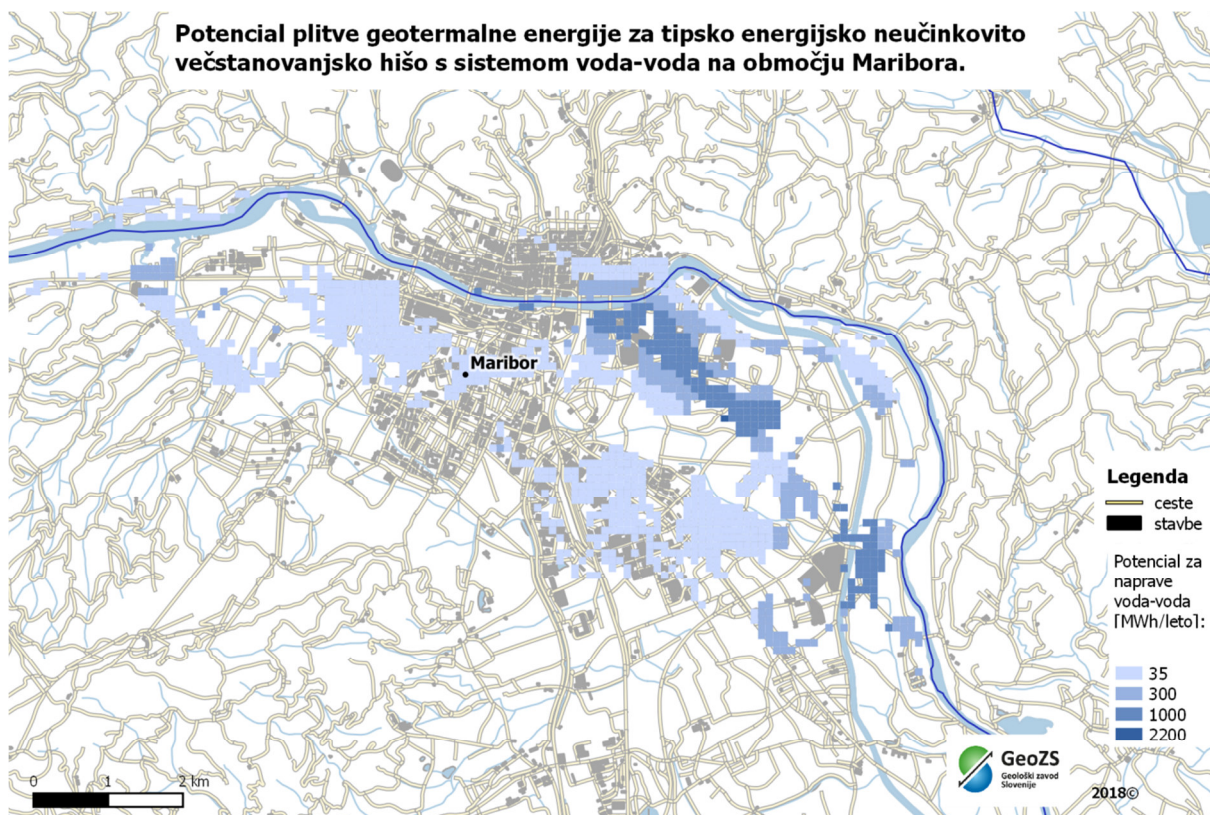
5.2.1. Interpretacija podatkov na primeru Maribor

5.2.1.1. Scenarij za energijsko neučinkovito večstanovanjsko stavbo (VSS1)

Vpliv temperaturnega oblaka zajetje s sistemom voda-voda za ogrevanje energijsko neučinkovite večstanovanjske stavbe glede na lastnosti vodonosnika zavzame med 0,05 in 3,1 ha površine (v povprečju 2,1 ha). Preračunano na hektar pomeni, da lahko v eni celici namestimo med 0,3 in 20,7 naprav. Glede na različne debeline vodonosnika na območju računa potenciala za primer Maribora pa skupaj 2378,8 naprav. Skupna investicija v te naprave bi bila 42,8 mio EUR, stroški obratovanja 7,3 mio EUR/leto, stroški vzdrževanja 0,37 mio EUR/leto. Z vsemi temi napravami bi pridobili 203.972,6 MWh obnovljive geotermalne energije.

Po toplotni karti Mestne občine Maribor se potrebe gibajo med 0,332 in 2051 MWh/leto, skupne pa

znašajo 234.225,1 MWh. Potencial za geotermalne toplotne črpalke s sistemom voda-voda, pa se giba med 34,1 in 2.214,5 MWh/leto, skupaj pa znaša 254.965,7 MWh (Slika 33).



Slika 33. Potencial za primer VSS1.

5.2.1.2. Scenarij za energijsko učinkovito večstanovanjsko stavbo (VSS2)

Vpliv temperaturnega oblaka zajetje s sistemom voda-voda za ogrevanje energijsko učinkovite večstanovanjske stavbe glede na lastnosti vodonosnika zavzame med 0,0006 in 0,36 ha površine (v povprečju 0,25 ha). Preračunano na hektar pomeni, da lahko v eni celici namestimo med 2,8 in 166,7 naprav. Glede na različne debeline vodonosnika na območju računa potenciala za primer Maribora pa skupaj 23.521,9 naprav. Skupna investicija v te naprave bi bila 366,9 mio EUR, stroški obratovanja 37,6 mio EUR/leto, stroški vzdrževanja 3,1 mio EUR/leto. Z vsemi temi napravami bi pridobili 1.022.544,3 MWh obnovljive geotermalne energije.

Po toplotni karti Mestne občine Maribor se potrebe gibajo med 0,332 in 2051 MWh/leto, skupne pa znašajo 234.225,1 MWh. Potencial za geotermalne toplotne črpalke s sistemom voda-voda, pa se giba med 149,6 in 9.056,7 MWh/leto, skupaj pa znaša 1.278.180,4 MWh.

5.2.1.3. Scenarij za energijsko neučinkovito pisarniško stavbo (PS1)

Vpliv temperaturnega oblaka zajetje s sistemom voda-voda za ogrevanje energijsko neučinkovite pisarniške stavbe glede na lastnosti vodonosnika zavzame med 0,068 in 5 ha površine (v povprečju 3,4 ha). Preračunano na hektar pomeni, da lahko v eni celici namestimo med 0,2 in 14,7 naprav. Glede na različne debeline vodonosnika na območju računa potenciala za primer Maribora pa skupaj 1.427,4

naprav. Skupna investicija v te naprave bi bila 26,4 mio EUR, stroški obratovanja 5,3 mio EUR/leto, stroški vzdrževanja 0,2 mio EUR/leto. Z vsemi temi napravami bi pridobili 145.023,2 MWh obnovljive geotermalne energije.

Po toplotni karti Mestne občine Maribor se potrebe gibajo med 0,332 in 2051 MWh/leto, skupne pa znašajo 234.225,1 MWh. Potencial za geotermalne toplotne črpalke s sistemom voda-voda, pa se giba med 25,2 in 1867,7 MWh/leto, skupaj pa znaša 181.279 MWh.

5.2.1.4. Scenarij za energijsko neučinkovito pisarniško stavbo (PS2)

Vpliv temperaturnega oblaka zajetje s sistemom voda-voda za ogrevanje energijsko učinkovite pisarniške stavbe glede na lastnosti vodonosnika zavzame med 0,0086 in 0,67 ha površine (v povprečju 0,46 ha). Preračunano na hektar pomeni, da lahko v eni celici namestimo med 1,5 in 116,3 naprav. Glede na različne debeline vodonosnika na območju računa potenciala za primer Maribora pa skupaj 11.319 naprav. Skupna investicija v te naprave bi bila 182 mio EUR, stroški obratovanja 21,6 mio EUR/leto, stroški vzdrževanja 1,55 mio EUR/leto. Z vsemi temi napravami bi pridobili 587.919,6 MWh obnovljive geotermalne energije.

Po toplotni karti Mestne občine Maribor se potrebe gibajo med 0,332 in 2051 MWh/leto, skupne pa znašajo 234.225,1 MWh. Potencial za geotermalne toplotne črpalke s sistemom voda-voda, pa se giba med 96,7 in 7.549 MWh/leto, skupaj pa znaša 734.900 MWh.

5.2.1.5. Razprava

Pri računu potenciala izhajamo iz potreb po energiji za ogrevanje tipičnih stavbe v celici 100 x 100 metrov. Za posamezni tip bolj in manj energijsko učinkovitih stavb je bila izračunana površina, ki jo zavzame zajetje plitve geotermalne energije (vpliv temperaturnega oblaka). Bolj kot je stavba učinkovita, manjše so potrebe, manjša je v povprečju površina, ki jo zasede zajetje.

K poročilu je priložen GIS sloj potenciala plitve geotermalne energije s sistemom voda-voda.

Ime podatkovnih slojev: mb_voda_vss1, mb_voda_vss2, mb_voda_ps1, mb_voda_ps2

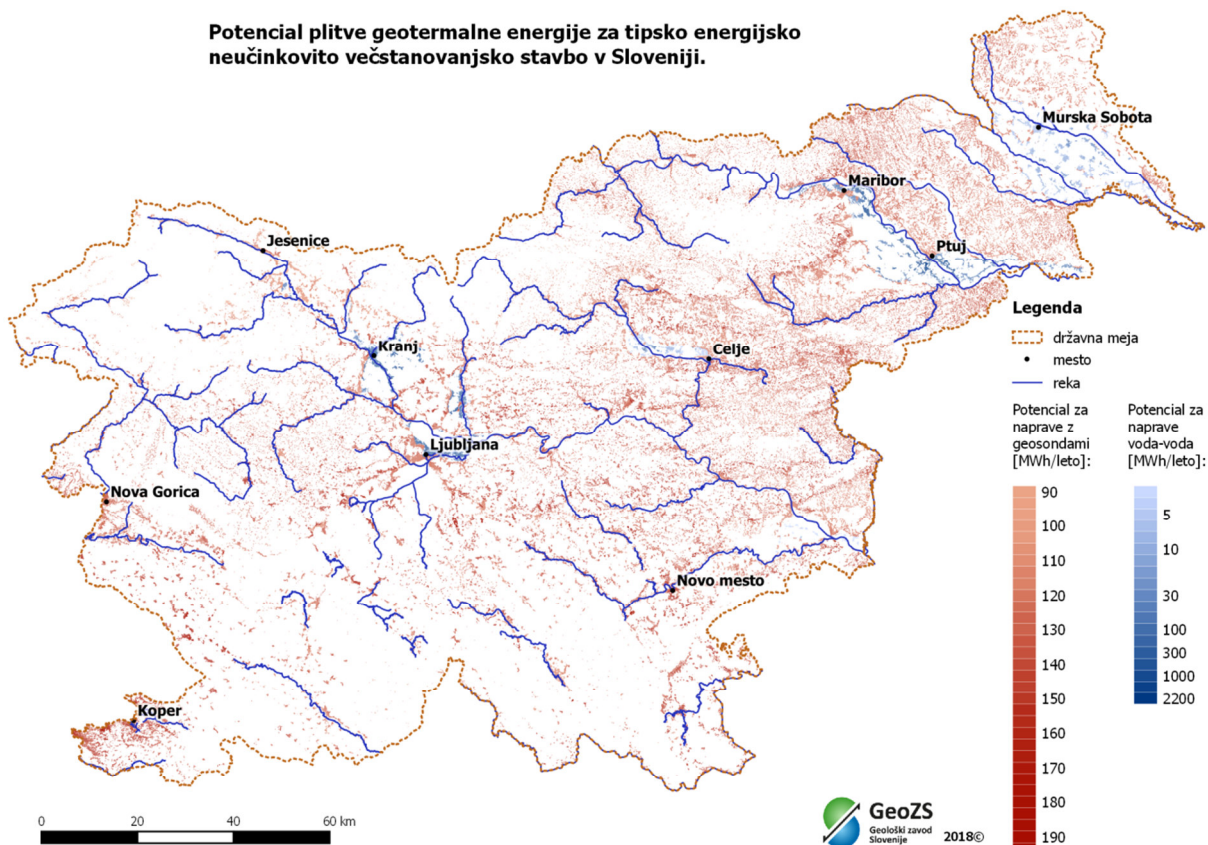
Vir podatkov: GeoZS.

Kratek opis: Gre za prikaz potenciala za sisteme voda-voda v MWh/leto, stroškov investicije, vzdrževanja in obratovanja za različne tipe stavb v celicah za primer Maribor. Izdelan je shp na celico 100 x 100 metrov.

Vsebina in zgradba datoteke: vektorski sloj, ki ima vrednosti po zgoraj opisanih atributih.

6. ANALIZA POTENCIALA PLITVE GEOTERMALNE ENERGIJE ZA GOSTO POSELJENA OBMOČJA V SLOVENIJI

Po zgoraj opisanem konceptu je bil izračunan potencial za območje cele Slovenije. Spodnja slika prikazuje potencial za plitvo geotermalno energijo za primer VSS1 v MWh na leto, posebej za geosonde in sisteme voda-voda.



Slika 34. Potencial plitve geotermalne energije za primer VSS1.

K poročilu je priložen GIS sloj potenciala plitve geotermalne energije s sistemom geosond in sistemom voda-voda.

Ime podatkovnih slojev: slo_geos_sfh1, slo_geos_sfh2, slo_geos_mfh1, slo_geos_mfh2, slo_geos_ps1, slo_geos_ps2, slo_voda_vss1, slo_voda_vss2, slo_voda_ps1, slo_voda_ps2.

Vir podatkov: GeoZS.

Kratek opis: Gre za prikaz potenciala za sisteme geosond in voda-voda v MWh/leto, stroškov investicije, vzdrževanja in obratovanja za različne tipe stavb v celicah za celo Slovenijo. Izdelan je shp na celico 100 x 100 metrov.

Vsebina in zgradba datoteke: vektorski sloj, ki ima vrednosti po zgoraj opisanih atributih.

7. LITERATURA/VIRI

Benček R. 2017: Značilne cene različnih elementov plitve geotermalne vrtine v običajnih pogojih dostopa in geologije v Sloveniji. Poročilo za projekt GRETA (Interreg Alpine Space). Arhiv GeoZS.

DROBNE, F., NOVAK, D., ŽLEBNIK, L., VESELIČ, M. 1977: Regionalne hidrogeološke raziskave v porečju zgornje Save in Soče, V. faza, Zaključno poročilo. Arh. št.: K-II-30d/b-4/15-c. Geološki zavod Ljubljana, Ljubljana.

EGEC, 2012: Geothermal market report, Second Edition.

Groupe de travail PGN, 2008. Evaluation du potentiel géothermique du canton de Neuchâtel (PGN). Vol.1 : Rapport final, stran 45, CREGE 11-08/02, Neuchâtel.

Groupe de travail PDGN, 2010. Programme cantonal de développement de la géothermie à Neuchâtel – PDGN ; Volume 1 : Rapport final, 284 pp.

Groupe de travail PGG, 2011. Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève (PGG). Vol.1 : Rapport final, Vol.2 : Annexes, GADZ 5753/1, Genève.

Klima d.o.o. 2018: Izračun stroškov in koristi pri energetske sanaciji obstoječega ogrevalnega sistema enostanovanjske hiše. Poročilo za projekt GRETA (Interreg Alpine Space). Arhiv GeoZS.

LAPANJE, A., BOLE, Z., HERIČ, J., PRAPROTNIK, B., 1999: Hidrogeološke raziskave za dovodni tunel HE Moste (Projekt revitalizacija HE Moste, PGD-PZI). Arh. št.: J-II-30d/b6-20/100-t. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.

LAPANJE, A., HOETZL, M. 2006: Hidrogeološko poročilo o izvedbi raziskovalne črpalne vrtine TRATA-1/06 za toplotno črpalko – Trata pri Škofji Loki. Arh. št.: K-II-30d/c-2/1370-a. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.

NBHG, 2005. Nacionalna baza hidrogeoloških podatkov za opredelitev teles podzemne vode Republike Slovenije (VTPodV 2005), GeoZS, Ljubljana. Arh.št.: K-II-30d/c-11/1113-j.

Pahud, D., Kohl, T., Megel, T. et al. (2002) Langzeiteffekt von Mehrfach-Erdwärmesonden. Schlussbericht März 2002, DIS-Projekt 39690, Bundesamtes für Energie, Switzerland.

PRESTOR, J., FEGUŠ, B., BENČINA, D., 2006: Izbor značilnih hidrogeoloških prereзов za nadaljnjo opredelitev ogroženih TPV. Hidrogeološko poročilo. Arh. št. K-II-30d/c-11/1113-j. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.

RESMAN, Š., 2014: Karta podlage aluvialnega vodonosnika Spodnje Savinjske doline = Map of alluvial aquifers in the Lower Savinja Valley: diplomsko delo. Ljubljana.

Stegnar, G. RE: Geotermalna energija - podatki za Kamnik (elektronska pošta). Sporočilo za: Simona Pestotnik, Joerg Prestor. 13.4.2018. Osebno sporočilo.

Termo-tehnika d.o.o., 2013: Kronoterm cenik 2013

Urbančič, A. FW: GIS plast (layer) s toplotno karto MOM 2015 (elektronska pošta). Sporočilo za: Simona Pestotnik. 22.3.2018. Osebno sporočilo.

ŽLEBNIK, L. 1965: Pleistocen Kranjsko-Sorškega polja in njegova hidrogeologija: doktorska disertacija, Ljubljana.

ŽLEBNIK, L. 1968: Poročilo o hidrogeoloških razmerah v Dindolu pri Bledu. Arh. št. K-II-30d/c-1/94. Geološki zavod Ljubljana, Ljubljana.

ŽLEBNIK, L. 1971: Pleistocen Kranjskega, Sorškega in Ljubljanskega polja. Geologija, 14: 5-51.

8. ELEKTRONSKE PRILOGE

Elektronska priloga 1:

Vsebina elektronske priloge:

- GIS sloji omejitev za izkoriščanje potenciala plitve geotermalne energije s sistemom geosond in voda-voda, format grid.
- GIS sloji potenciala plitve geotermalne energije s sistemom geosond in voda-voda, format shp
- Poročilo v doc in pdf obliki.