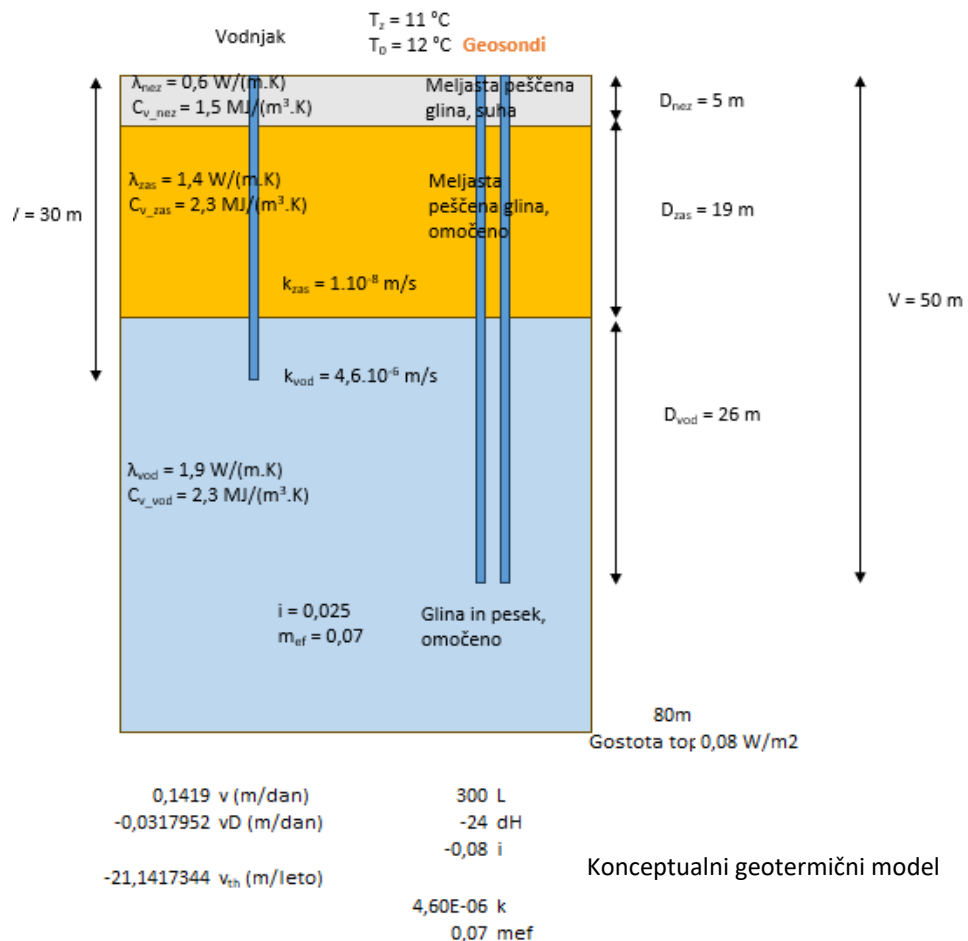


Izbor najustrežnejšega modela kvantifikacije s predlogom robnih pogojev in prednostnim seznamom ključnih parametrov za načrtovanje potrebnih raziskav

Izbor najustrežnejšega modela kvantifikacije potenciala

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



Ljubljana, oktober 2025

Naročnik:	Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano - MKGP, Dunajska cesta 22, 1000 Ljubljana in Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije – ARIS, Bleiweisova cesta 30, 1000 Ljubljana
Izvajalec:	GEOLOŠKI ZAVOD SLOVENIJE Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana
Št. pogodbe:	2330-22-000245 z dne 23. 10. 2022
Ponudba:	razpis CRP »Naša hrana, podeželje in naravni viri" vloga št. 031
Evidenčna številka:	631-302_2025
Število izvodov:	2 GeoZS + pdf za MKGP
Projekt:	projekt V1-2213, GeoCOOL FOOD - Hladno skladiščenje hrane z rabo plitve geotermalne energije
Naslov poročila:	M5.1 Izbor najustrežnejšega modela kvantifikacije s predlogom robnih pogojev in prednostnim seznamom ključnih parametrov za načrtovanje potrebnih raziskav
Datum izdelave:	15. oktober 2025
Avtorji Geološki zavod Slovenije:	mag. Joerg Prestor, univ. dipl. inž. geol. Simona Pestotnik, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž. dr. Simona Adrinek, mag. inž. geol.  mag. Dušan Rajver, univ. dipl. inž. geol. doc. dr. Nina Rman, univ. dipl. inž. geol. 
Vodja projekta:	doc. dr. Nina Rman, univ. dipl. inž. geol. 
Vodja organizacijske enote GeoZS:	dr. Sonja Cerar, univ. dipl. inž. geol. 
Direktor GeoZS:	dr. Miloš Bavec, univ. dipl. inž. geol. 
Ključne besede:	Geosonde, Geotermalna energija, Geotermične raziskave, Jedra, Modeliranje



VSEBINA

1. Robni pogoji za model kvantifikacije	1
1.1. Robni pogoji ekonomske uspešnosti investicije	1
1.2. Pregled dostopnih virov energije in uporabnikov	2
1.3. Bilanca rabe energije in vršne moči.....	3
1.4. Pregled vhodnih geotermičnih podatkov	4
1.5. Robni pogoji za okoljski vpliv	5
1.6. Robni pogoji učinkovitosti naprave	8
1.7. Način sledenja dejanske učinkovitosti za vzdrževanje in izboljšave v času delovanja.....	9
2. Geotermično modeliranje	10
2.1. Vrednotenje dveh inovativnih geotermalnih načinov sezonskega skladiščenja energije	10
2.2. Učinkovitost sezonskega skladiščenja	11

KAZALO SLIK

Slika 1. Primer načrtovanega obnavljanja toplote glede na predvideno rabo energije.	9
Slika 2. Podbočje - odvzem toplote 9,8 MWh/leto za ogrevanje: potrebna globina geosonde 108 m. 13	
Slika 3. Podbočje - oddaja toplote 5,9 MWh/leto za hlajenje: potrebna globina geosonde 134 m.....	14
Slika 4. Podbočje - odvzem 9,8 MWh/leto za ogrevanje in oddaja 5.9 MWh/leto toplote za hlajenje: potrebna globina geosonde 98,6 m.	15
Slika 5. Boljši geotermični pogoji - odvzem 10,6 MWh/leto za ogrevanje in oddaja 8,3 MWh/leto toplote za hlajenje: potrebna globina geosonde 98,5 m.	16

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1. Primer robnih pogojev v modeliranju ekonomske učinkovitosti investicije v geotermalno energijo (po Norm SIA 480).....	1
Preglednica 2. Primer pregleda tipičnih virov presežkov in primanjkljajev toplotne energije na kmetijskem gospodarstvu.	2
Preglednica 3. Primer pregleda bilanca rabe energije in vršne moči.	3
Preglednica 4. Primer pregleda ključnih geotermičnih vhodnih podatkov o podtalju.....	4
Preglednica 5. Primer pregleda geotermičnih vhodnih podatkov o geosondah.	4
Preglednica 6. Priporočene vrednosti najmanjših odmikov in največjih temperaturnih obremenitev proti neželenim okoljskim vplivom.....	5
Preglednica 7. Primer ključnih robnih pogojev za oceno učinkovitosti naprave.	8

KAZALO PRILOG

Priloga 1. Primer Podbočje - vrednotenja učinka shranjevanja toplotne energije z geosondo.....	13
--	----

1. Robni pogoji za model kvantifikacije

1.1. Robni pogoji ekonomske uspešnosti investicije

Načrtovanje ekonomske učinkovitosti investicije v geotermalno energijo je lahko sestavljeno iz vrste robnih pogojev, postavljenih glede na razvojne cilje dejavnosti. Poleg stroškovne učinkovitosti so lahko za uspešnost investicije pomembni še drugi učinki, ki izhajajo razvojnih ciljev dejavnosti:

- Povečanje deleža proizvodnje lastne energije - povečanje virov lastne energije
- Samopreskrba – zmanjšanje odvisnosti od zunanjih virov energije
- Izboljšanje prilagodljivosti na spremembe cen energije glede na ponudbo in povpraševanje
- Zmanjšanje izpustov toplogrednih plinov

V spodnji preglednici (Preglednica 1) je prikazan primer enega koraka v načrtovanju z razvojnim ciljem, da se z investicijo, na primer, za polovico zmanjša poraba elektrike.

Z geotermičnim modeliranjem se nato ugotavlja, ali in kako je tak cilj izvedljiv s plitvo geotermalno energijo in upoštevanjem robnih pogojev take rabe, prikazanih v naslednjih poglavjih.

Preglednica 1. Primer robnih pogojev v modeliranju ekonomske učinkovitosti investicije v geotermalno energijo (po Norm SIA 480).

Obračunska obrestna mera v %	3,5%	real
Letna inflacija %		
Realna obrestna mera %		

Investicije za zagon naprave	Znesek	Življenjska doba	Anuitetni faktor	Stroški kapitala	Likvidacijski izkupiček (+/-)	Sprememba cene	Preostala življenjska doba
	EUR	št. let	%	EUR/let	EUR nom/real	% nom/real	št. let
Toplotna črpalka	3.900	15	8,7%	339			15
Strojne instalacije	800	15	8,7%	69			15
Vrtna in gradbena dela	7.500	33	5,2%	387			33
SKUPAJ	12.200	22,4		795			
Obdobje obravnave		33	5,2%				

Prihodki/Odhodki	Letni dohodki			Letni stroški			Proizvedena energija
	Vrednost proizvedene energije	Dohodek 2	Dohodek 3	Cena porabljene elektrike	Cena vzdrževanja	Strošek 3	
v referenčnem času EUR/leto	2.750			1.375	100		55
Sprememba cene % (nom/real)							

Ekonomska učinkovitost investicije v geotermalno energijo

Neto vrednost kapitala	9.251	EUR	
Notranja stopnja donosa	8,73	%	real
Odplačilna doba	11,9	Število let	
Neto letni dobiček	477,09	EUR/leto	real
Proizvodni stroški na proizvedeno enoto	41,33	EUR/MWh	real

1.2. Pregled dostopnih virov energije in uporabnikov

Raba geotermalne energije omogoča rabo podtalja kot hranilnika toplotne energije, toplote oziroma hladu. Zato je pomemben pregled vseh presežkov in primanjkljajev toplotne energije v dejavnosti. Pregled zajema ciljno notranjo temperaturo, obdobje delovanja, potrebno moč (P) in energijo (Q) po posameznih porabnikih.

Preglednica 2. Primer pregleda tipičnih virov presežkov in primanjkljajev toplotne energije na kmetijskem gospodarstvu.

Primer podatkov									
Hlajenje	T	Režim	P(+)	Q(+)	Q(-)	P(-)	Režim	T	Ogrevanje
	(°C)	Od - do	kW	MWh	MWh	kW	Od - do	(°C)	
Dnevno skladiščenje 1	5	V. - IX.					II. - III.	10	Rastlinjak - vzgoja sadik
Dnevno skladiščenje 2	15	V. - IX.					X. - IV.	18	Rastlinjak - pridelava 1
Dnevno skladiščenje 3	3,5	V. - IX.	12	12			IX. - V.	20	Rastlinjak - pridelava 2
Sezonsko skladiščenje 1	5	IV. - X.					IV. - VI.	24	Rastlinjak - pridelava 3
Sezonsko skladiščenje 2	10	IX. - XI.							...
Stalno skladiščenje	5	I. - XII.							...
Sortirnica / pralnica	18	IV. - IX.					X. - III.	18	Sortirnica / pralnica
Gobarnica	15	I. - XII.					V. - IX.	20	Voda za namakanje
...									...
Stanovanjska hiša	25	VI. - VIII.	12	3	20	11	X. - IV.	24	Stanovanjska hiša
Delovni prostor	25	VI. - VIII.					X. - IV.	18	Delovni prostor
Prodajni prostor	25	VI. - VIII.					X. - IV.	18	Prodajni prostor
Jedilnica	25	VI. - VIII.					X. - IV.	20	Jedilnica
Stanov. sezon. delavci	25	VI. - VIII.					III. - X.	24	Stanov. sezon. delavci
...									...

1.3. Bilanca rabe energije in vršne moči

Parametri v bilanci rabe energije kažejo, kakšno količino energije je potrebni pridobiti iz podtalja in oddati v podtalje. Iščemo in skušamo se približati režimu delovanja, v katerem je bilanca odvzete in oddane toplote čim bolj uravnotežena (primer Preglednica 3).

Prikazan je primer, v katerem se iz podtalja odvzame 14,5 MWh/leto in v podtalje odda 14,6 MWh/leto. Na ta način je bilanca skoraj povsem uravnotežena. Skupna pridobljena energija iz podtalja je 26,5 MWh/leto ($Q_{pr} = 12 \text{ MWh/leto} + 14,5 \text{ MWh/leto}$).

Preglednica 3. Primer pregleda bilanca rabe energije in vršne moči.

Hlajenje		
$P = PG - PE$	8,0 kW	Toplotna moč pregrevanja stavbe
SEER	4,67	Sezonski faktor učinkovitosti hlajenja
PE	1,7 kW	Potrebna električna moč za delovanje sistema hlajenja
PG	9,7 kW	Moč prenosa toplote v podtalje pri hlajenju
Ekvivalent ur	1500 ur	Ekvivalent ur obratovanja s polno močjo
$Q_{pr} = Q_G - Q_E$	12,0 MWh/leto	Letna toplotna energija odvedena iz stavbe
QE	2,6 MWh/leto	Letna električna energija za delovanje sistema hlajenja
$Q_G = Q \times (1 + 1/SEER)$	14,6 MWh/leto	Letna toplotna energija oddana v podtalje (presežek toplote)
Ogrevanje		
$P = PG + PE$	11,0 kW	Potrebna grelna moč za ogrevanje stavbe
SPF = SCOP	3,74	Sezonski faktor učinkovitosti ogrevanja
PE	2,9 kW	Potrebna električna moč za delovanje sistema ogrevanja
PG	8,1 kW	Moč črpanja toplote iz podtalja
Ekvivalent ur	1800 ur	Ekvivalent ur obratovanja s polno močjo
$Q_G + Q_E$	19,8 MWh/leto	Letna toplotna energija dovedena v stavbo (primanjkljaj toplote)
QE	5,3 MWh/leto	Letna električna energija za delovanje sistema ogrevanja
$Q_{pr} = Q_G = Q \times (1 - 1/SPF)$	14,5 MWh/leto	Letna toplotna energija odvzeta iz podtalja
Uravnoteženost Q_G		
oddana/odvzeta toplota	100,4%	Razmerje med oddano toploto v podtalje in odvzeto toploto iz podtalja

Sezonska faktorja učinkovitosti ogrevanja in hlajenja sta odvisna od režima rabe energije in značilnosti toplotne črpalke (Poglavje 1.6).

1.4. Pregled vhodnih geotermičnih podatkov

Geotermični podatki, ki predstavljajo robne pogoje za modeliranje naprave za proizvodno plitve geotermalne energije, so sestavljeni iz dveh vrst.

V prvi vrsti gre za podatke, ki opisujejo geotermične značilnosti podtalja (Preglednica 4).

V drugi vrsti gre za podatke, ki opisujejo tehnične značilnosti geosond, ki bodo predstavljale izmenjevalnik toplote s podtaljem (Preglednica 5).

Preglednica 4. Primer pregleda ključnih geotermičnih vhodnih podatkov o podtalju.

Geotermični parametri podtalja

Toplotna prevodnost [W/mK]	2,1
Temperatura tal [°C]	9,83
Gostota toplotnega toka [mW/m ²]	40,9
Volumetrična toplotna kapaciteta [MJ/(m ³ ·K)]	2,2

Preglednica 5. Primer pregleda geotermičnih vhodnih podatkov o geosondah.

Parametri geosonde

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

1.5. Robni pogoji za okoljski vpliv

Kot okoljski vpliv razumemo v tem primeru vsak medsebojni vpliv naprave z okolico. Prevelike spremembe temperature v okolici naprave imajo lahko tudi povratni neželeni vpliv na napravo. Do takih vplivov bi lahko prišlo zaradi morebitne prevelike spremembe geokemijskih in mikrobioloških razmer ter posledično poslabšanje tehničnih pogojev obratovanja naprave ali celo stabilnostnih pogojev v podtalju. V spodnji preglednici so podana priporočila za varne odmike temperaturne spremembe. Poleg tega so podana tudi priporočila za določene primere odstopanja od teh vrednosti.

	Najmanjši odmiki	Geosonda	Vodnjak
1	Med geosondami iste naprave	>5 m	-
2	Med vodnjaki iste naprave	-	računsko
3	Med vodnjakoma za odvzem in ponovno injiciranje v isti napravi	-	računsko
4	Med sosednjimi napravami PGE	>H/2	-
5	Do sosednje parcele, tj. meje s sosednjim zemljiščem	>5 m	dh<0,1 m
6	Do bližnje stavbe	0	dh<0,1 m
7	Do vodnjaka pitne vode	>H/2	dh<0,1 m in dT<1°C
8	Do vodnjaka za druge vrste uporabe	-	dh<0,1 m in dT<1°C
9	Do posebnega območja	>H/2	dh<0,1 m in dT<1°C
	Temperaturna sprememba		
10	Razlika med vstopno in izstopno temperaturo prenosnika toplote ΔT [°C]	-	<6°C
11	Absolutna najnižja temperatura vračane tekočine za prenos toplote T_{min} [°C]	> -3°C	-
12	Absolutna najvišja temperatura vračane tekočine za prenos toplote T_{max} [°C]	< 28°C (<40°C)	-
13	Razlika ΔT_{amb} [°C] med spremenjeno in nespremenjeno temperaturo okolja		<±3 °C <100 m (<±4 °C <200 m)

Preglednica 6. Priporočene vrednosti najmanjših odmikov in največjih temperaturnih obremenitev proti neželenim okoljskim vplivom.

Ad 1)

Zaradi tehničnih razlogov pri vrtanju je priporočljivo upoštevati najmanjši odmik 5 m (npr. SIA 384/6) med toplotnimi izmenjevalniki. Upoštevati je treba tudi, da so lahko vrtine precej globoke. Zaradi tehničnih razlogov lahko pride pri vrtanju do odklona vrtine od navpičnice in že odstopanje za 1 % od predvidene smeri lahko povzroči drugačne geotermične lastnosti naprave poleg tega pa tudi fizičen stik med dvema globljima vrtinama. Da bi se v praksi izognili toplotnim interferencam med posameznimi toplotnimi izmenjevalniki, je varneje, če je razmik med vrtinami več kot 5 m, npr. 7 do 8 m. Kljub temu je treba izbrati optimalno razdaljo glede na način obratovanja (ali gre samo za ogrevanje, samo za hlajenje, ali kombinacijo obeh načinov), in v odvisnosti od optimizacije stroškov in koristi.

Ad 4)

Geosonde, med katerimi je razdalja B večja od dolžine geotermalne sonde H , lahko privzamemo kot neodvisne. Toplotni vpliv je v tem primeru vedno zanemarljiv. Toplotni vpliv je vedno majhen, kadar je razdalja B med $H/2$ in H .¹⁴ Na primer, pri geosondi globine 100 m mora biti odmik do sosednje geosonde 50 m ali več, da bi kar v največji možni meri zmanjšali toplotne interference.

Ad 5)

Odmik do sosednje parcele je posebej pomemben, če je možno, da bi tudi na sosednji parceli lahko kasneje prišlo do vgradnje geotermalnega toplotnega izmenjevalnika. V takem primeru je tehnično možen tudi manjši odmik, vendar ne manj kot 2,5 m. Na ta način sta lahko sosednji geosondi na minimalni medsebojni razdalji, njun medsebojni vpliv pa je treba računsko predvideti in temu prilagoditi globino vrtanja obeh geosond. To je možno, če lahko vnaprej predvidimo in določimo okvir režima rabe obeh geosond. Vpliv med sosednjimi toplotnimi izmenjevalniki pa lahko vodi tudi do pozitivnih učinkov, če obstaja nasprotna ali dopolnjujoča uporaba ogrevanja oz. hlajenja.

Ad 6)

Sistemi rabe plitve geotermalne energije (PGE) so lahko nameščeni kjerkoli na zemljišču, tudi pod stavbo. Klub temu moramo paziti, da ne pride do poškodovanja temeljev stavbe zaradi spreminjanja gladine podzemne vode ali temperature. Dela pri vrtanju lahko na drugi strani pomenijo nevarnost poškodb na stavbah (odkloni, vibracije). Enako velja tudi za druge naprave, kot so podzemni vodi.

Ad 5 do 9 za Vodnjak)

Vpliv na sosednje zemljišče ali stavbo ni več zanemarljiv, če povzroči spremembo gladine podzemne vode za več kot 0,1 m. V primeru večje spremembe je priporočljivo opredeliti višino in doseg vpliva in preveriti morebitne možne neželene vplive. Pri obstoječih vodnih pravicah in posebnih območjih je lahko pomembna tudi temperaturna sprememba. V primeru, da je večja kot 1 °C, je priporočljivo opredeliti višino in doseg večje temperaturne spremembe in preveriti možnost neželenih vplivov.

Ad 9)

Za posebna območja ni predpisanih najmanjših odmikov. Pri teh območjih gre le za kriterij, ali se poseg nahaja v ali izven območja. Vendarle so lahko v posebnih razmerah možni tudi negativni vplivi na posebno območje zaradi premajhnega odmika naprave PGE od meje posebnega območja.

Najmanjši odmik od onesnaženega območja: Razdalja, na kateri temperaturni oblak ne more povečati ali pospešiti sproščanja onesnaževal. Vsekakor pa imajo lahko povišane temperature v oblaku tudi pozitivne učinke, na primer zaradi pospešene mikorbiološke razgradnje onesnaženja.

Ad 10)

Ta temperaturna sprememba odraža toplotno izmenjavo s talnim virom, če upoštevamo tudi masni premik tekočine za prenos toplote, tj. količino odvzete podzemne vode v odprti zanki ali količino tekočine za prenos toplote, ki kroži v sistemu z zaprto zanko. S tehnološkega in okoljskega vidika je zaželeno in učinkovito, če temperaturna sprememba ni ne previsoka ne prenizka. Če je prenizka, je potreben večji masni premik, tj. večji črpalni pretok tekočine za prenos toplote. Prevelika

temperaturna sprememba pomeni tveganje, da bo dosežena najvišja ali najnižja dopustna temperatura, kar lahko ogrozi ohranitev ekosistema oziroma povzroči zamrzovanje. Temu ustrezno se uporablja temperaturna razlika med 3 in 6 °C.

Ad 11)

V splošnem se kot najnižja temperatura tekočine za prenos toplote pri vršnih obremenitvah v sistemih z zaprto zanko uporablja temperatura -3 °C. Za osnovne obremenitve se uporablja temperatura 0 °C, tako je torej povprečna najnižja temperatura tekočine za prenos toplote okrog -1,5 °C. Kot višji tehnični in okoljski standard se uporablja višji prag najnižje temperature. To pomeni, da je najnižja temperature bližje temperaturi okolja pred posegom, s tem pa je večja tudi učinkovitost (SPF) sistema GSHP, na primer $T_{min} = 0$ °C. Za najvišje okoljske standarde, kakršni veljajo na primer za zaščito virov pitne vode, se lahko uporablja $T_{min} \geq 4$ °C, tako da lahko kot tekočino za prenos toplote v zaprtih sistemih uporabljamo tudi čisto vodo brez dodanega sredstva proti zmrzovanju in zaviralca korozije.

Ad 12)

Območje uporabljenih dopustnih absolutnih najvišjih vrednosti temperature (T_{max} [°C]) je podobno v zaprtih in odprtih sistemih. Začne se pri temperaturi 20 °C in je lahko vse do ekstremne vrednosti 40 °C (Slika 4). Temperaturna meja 20 °C je blizu temperature okolja (vmesna vrednost med nizkimi in visokimi zunanjimi temperaturami), zato ni pričakovati, da bi lahko bistveno vplivala na procese ali odzive v okolju. Podobno lahko temperaturo 40 °C opredelimo kot ekstremno zunanjo temperaturo ali pa tudi kot temperaturo, ki lahko izzove bistvene spremembe nekaterih procesov, odvisno od značilnosti razmer na mestu geotermalne naprave. Pri načrtovanju temperatur vračanja $T > 20$ °C je priporočljivo računsko opredeliti doseg vpliva na povišanje temperature. Na ta način bo možno po potrebi preveriti, ali bi lahko prišlo do kakršnegakoli negativnega vpliva na tehnične pogoje obratovanja naprave, geotehnične stabilnostne razmere ali na okoljske razmere.

Ad 13)

Dopustno »razliko med predhodno in spremenjeno temperaturo okolja« moramo določiti računsko kot ± 3 °C po mešanju, omejeno na oddaljenost 100 m od injicirne vrtne ali največ ± 4 °C v oddaljenosti 200 m od vrtine za ponovno injiciranje.

V primeru, da gre v bližini za obstoječo vodno pravico, je treba upoštevati aktivno vlogo imetnikov v postopku izdaje dovoljenj v primeru sprememb v količini in kakovosti podzemne vode $dT > 1$ °C in dH (absolutna sprememba gladine podzemne vode) $> 0,1$ m.

1.6. Robni pogoji učinkovitosti naprave

Učinkovitost se meri v prvi vrsti z vidika stroškovne učinkovitosti in ekonomske uspešnosti investicije, kot je navedeno v prvem podpoglavju.

Prvi ključni robni pogoj je višina investicije, v tem primeru najbolj cena vrtalnih del. Višina investicije se optimizira z modeliranjem najbolj ugodne globine, števila in razporeditve geosond glede na dano razmere na zemljišču in morebitne potrebne odmike.

Drugi ključni robni pogoj je sezonski faktor učinkovitosti ogrevanja oziroma hlajenja (SPF / SEER), to je razmerje med pridobljeno in vloženo energijo za ogrevanje in hlajenje. Faktor učinkovitosti se uporabi v bilanci rabe energije in vršne moči (podpoglavje 1.3). Določajo ga tehnične značilnosti toplotne črpalke in pa temperaturni režim (podpoglavje 1.2), v katerem deluje toplotna črpalka. Čim manjša je razlika med temperaturo, na katero moramo ohladiti ali ogreti prostor, in temperaturo podtalja, tem višji je faktor učinkovitosti.

Preglednica 7. Primer ključnih robnih pogojev za oceno učinkovitosti naprave.

Robni pogoji za velikost zemljišča	
Razmik med geosondami (m)	7
Št. geosond	2
Postavitev (geometrijska razporeditev) geosond na zemljišču	1 × 2
Največja globina geosonde (m)	50
Skupna globina geosond (m)	100
Površina zemljišča vključno z odmiki (m ²)	30
Dolžina × širina zemljišča vključno z odmiki (m)	10 × 3

Robni pogoji za enotno ceno vrtalnih del	
Fiksni stroški na vrtino (premik) [€/vrtino]	325
Strošek na meter vrtine [€/meter]	66
Strošek na meter jarka (razpeljave med vrtinami) [€/meter]	28
Skupni strošek za vrtalna dela (€)	7.446

Sezonski faktor učinkovitosti ogrevanja (SCOP = SPF)	3,74
Sezonski faktor učinkovitosti hlajenja (SEER)	4,67

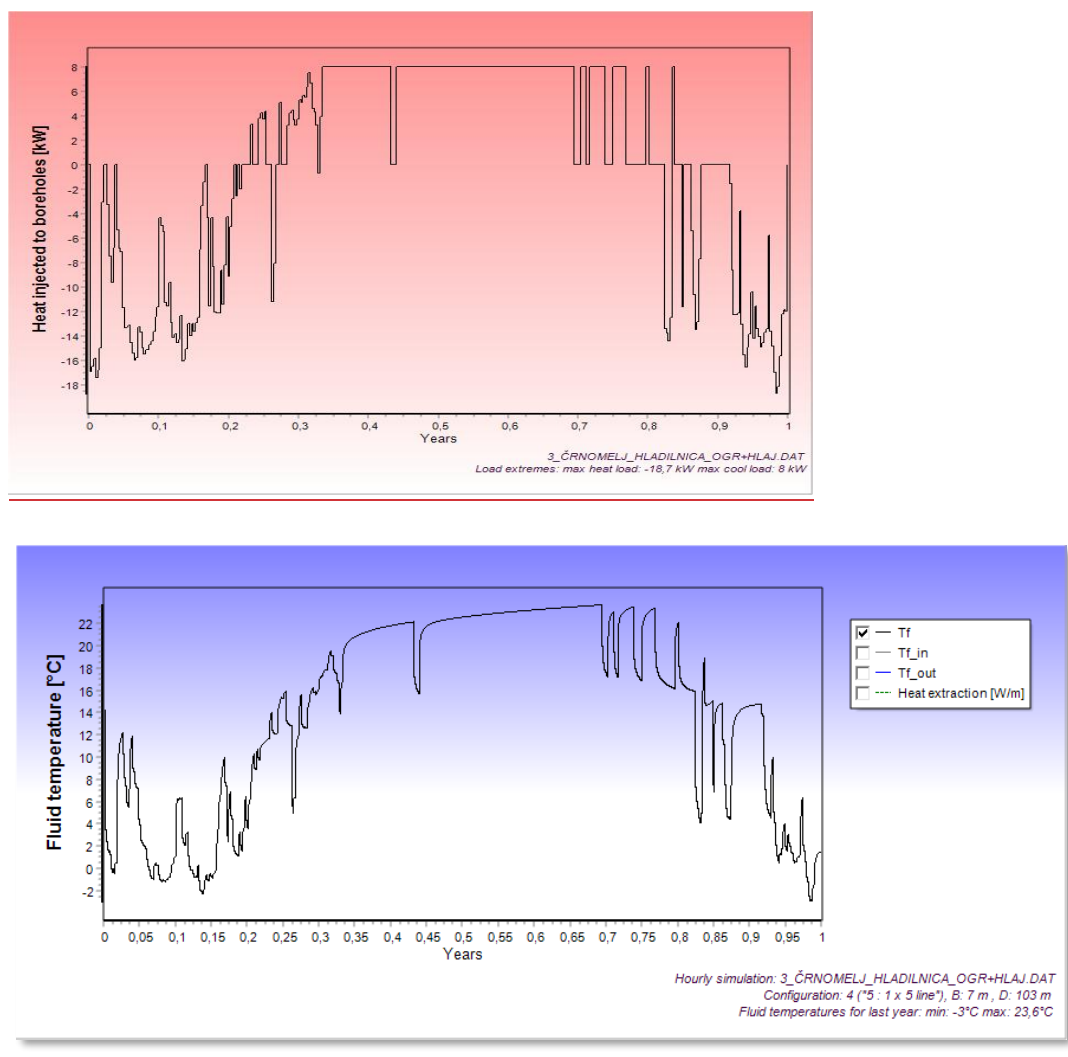
1.7. Način sledenja dejanske učinkovitosti za vzdrževanje in izboljšave v času delovanja

Sledenje dejanske učinkovitosti naprave se izvaja s primerjavo načrtovanega računskega obnavljanja toplote in dejanskega izmerjenega obnavljanja.

Pri načrtovanem računskem obnavljanju toplote modeliramo gibanje temperature prenosnika toplote (delovne tekočine) na vstopu in izstopu iz vrtine pri načrtovani rabi energije. Modelne izračune izvedemo za 30 ali 50 let.

Med obratovanjem merimo dejansko porabljeno električno energijo za delovanje naprave ter pretok delovne tekočine in temperaturo na vstopni in izstopni strani vrtine. Hkrati merimo notranje temperature ogrevanih in hlajenih prostorov ter spremljamo zunanjo temperaturo.

Morebitna odstopanja med načrtovanim in dejanskim obnavljanjem toplote se pokažejo vsaj po treh letih delovanja. Po ugotovitvi vzrokov ugotovljenih odstopanj se izvede morebitne potrebne prilagoditve.



Slika 1. Primer načrtovanega obnavljanja toplote glede na predvideno rabo energije.

2. Geotermično modeliranje

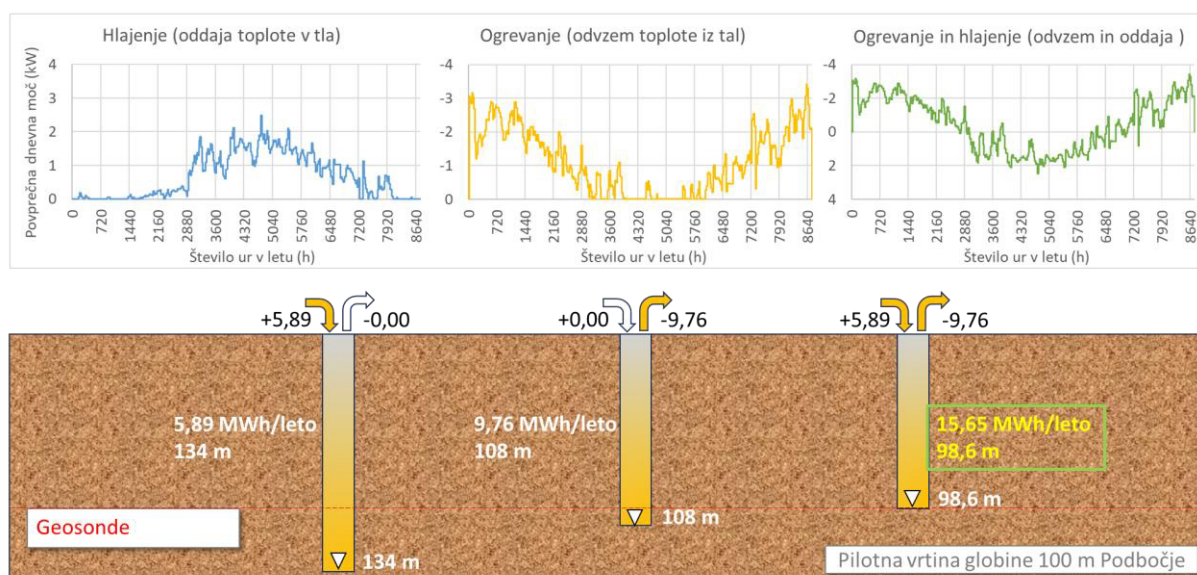
2.1. Vrednotenje dveh inovativnih geotermalnih načinov sezonskega skladiščenja energije

Primer Podbočje predstavlja možnost načrtovanja učinkovite rabe energije. Z enim virom plitve geotermalne energije je možno zagotoviti ogrevanje in hlajenje.

V primeru Podbočje je za izračun uporabljen dejanski režim ogrevanja stanovanjske hiše in hlajenja hladilnic. Količina in moč rabe pa sta prilagojena zmogljivosti ene geosonde globine 100 m, ki je tudi dejansko izvedena za pilotni primer, preiskave in meritve.

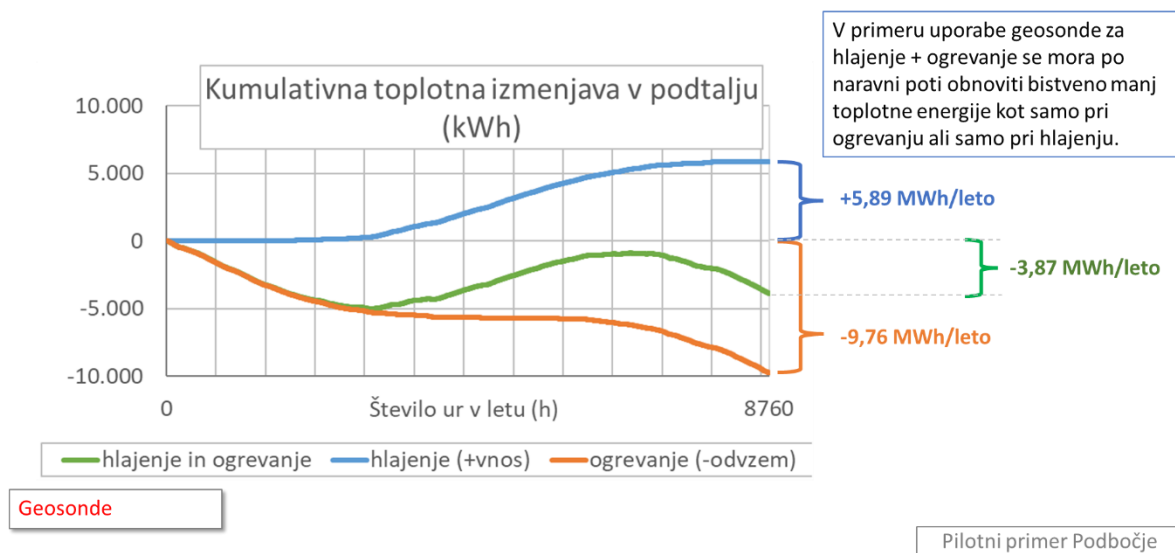
Zmogljivost 100 m globoke geosonde je odzjem 9,8 MWh/leto toplote za ogrevanje in oddaja 5,9 MWh/leto toplote za hlajenje. Potrebna globina geosonde je 98,6 m. V primeru, da bi bila geosonda namenjena samo hlajenju z zmogljivostjo 5,9 MWh/leto, bi morala biti globoka 134 m (Priloga 1, Slika 3). Če bi bila namenjena samo ogrevanju, bi morala biti za zmogljivost 9,8 MWh/leto globoka 108 m (Priloga 1, Slika 2). V kombinaciji rabe za ogrevanje in hlajenje v danem režimu je zmogljivost plitvejša geosonde, globoke 98,6 m, bistveno večja, to je 15,7 MWh/leto (Priloga 1, Slika 4).

Uravnotežanje rabe toplote oziroma rabe podtalja za hranilnik toplote

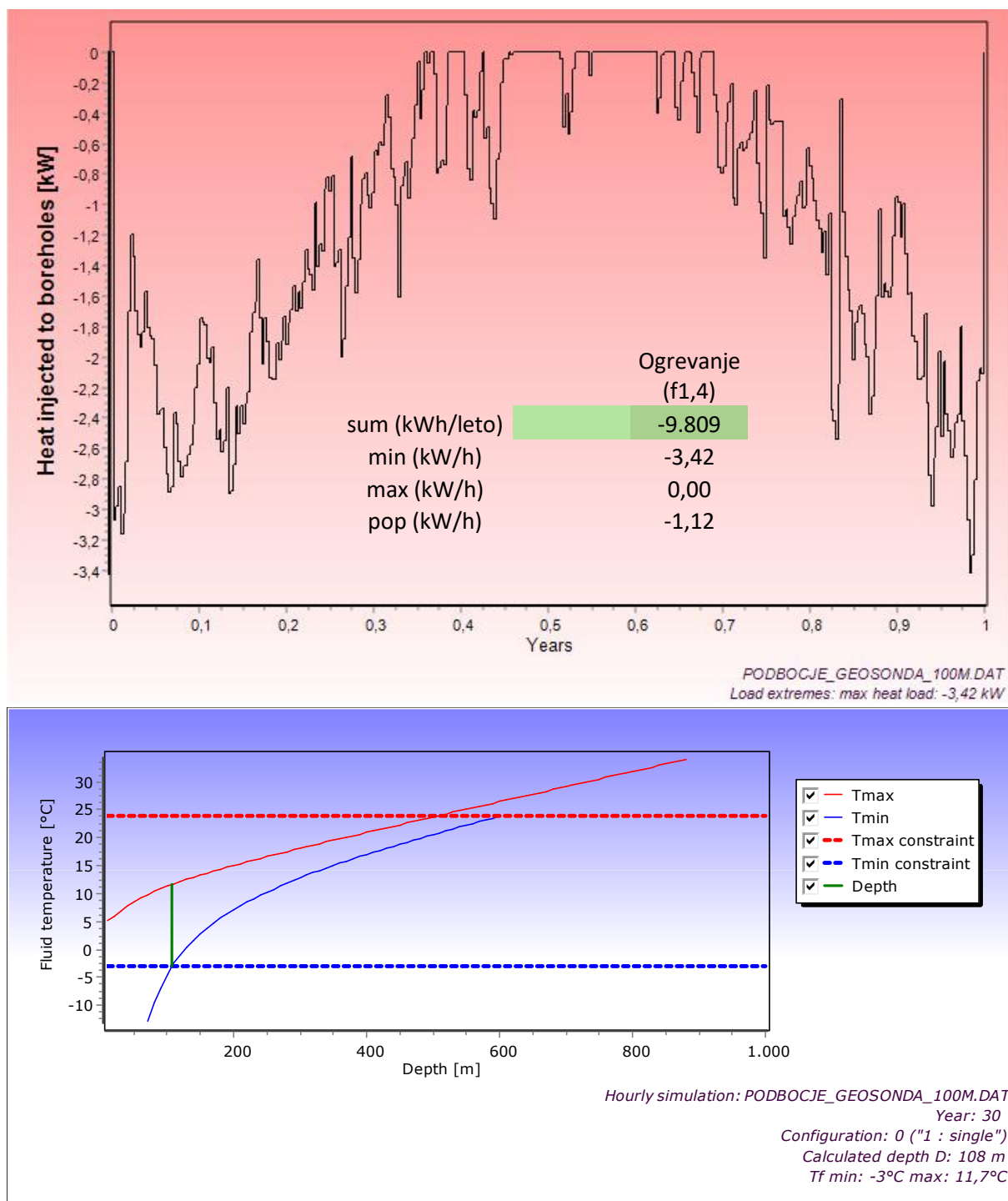


2.2. Učinkovitost sezonskega skladiščenja

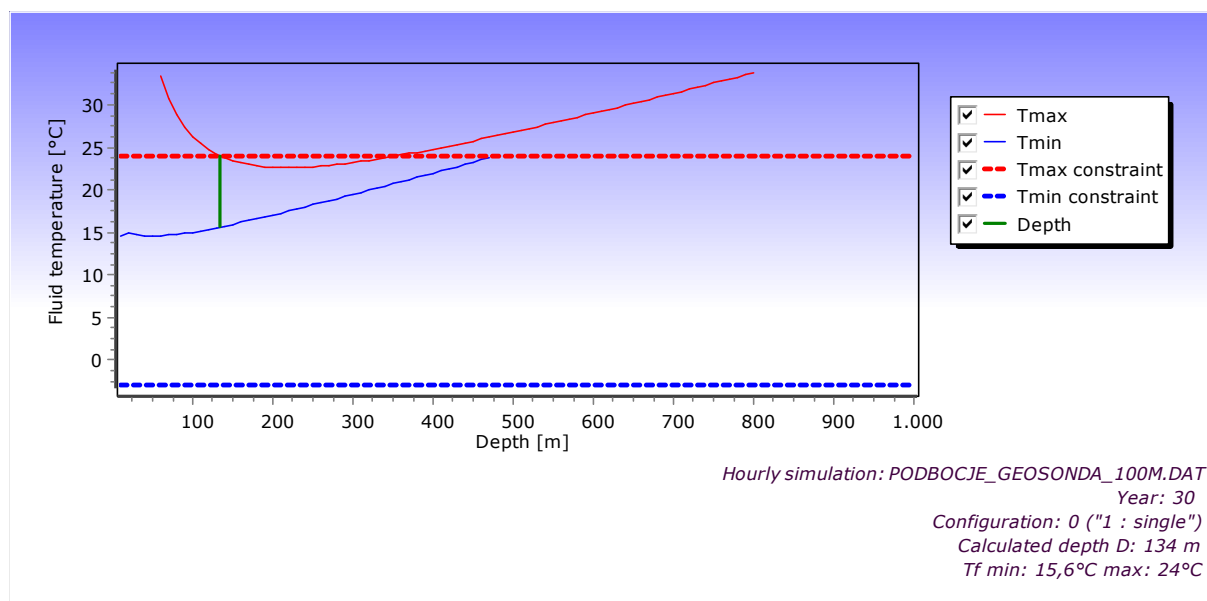
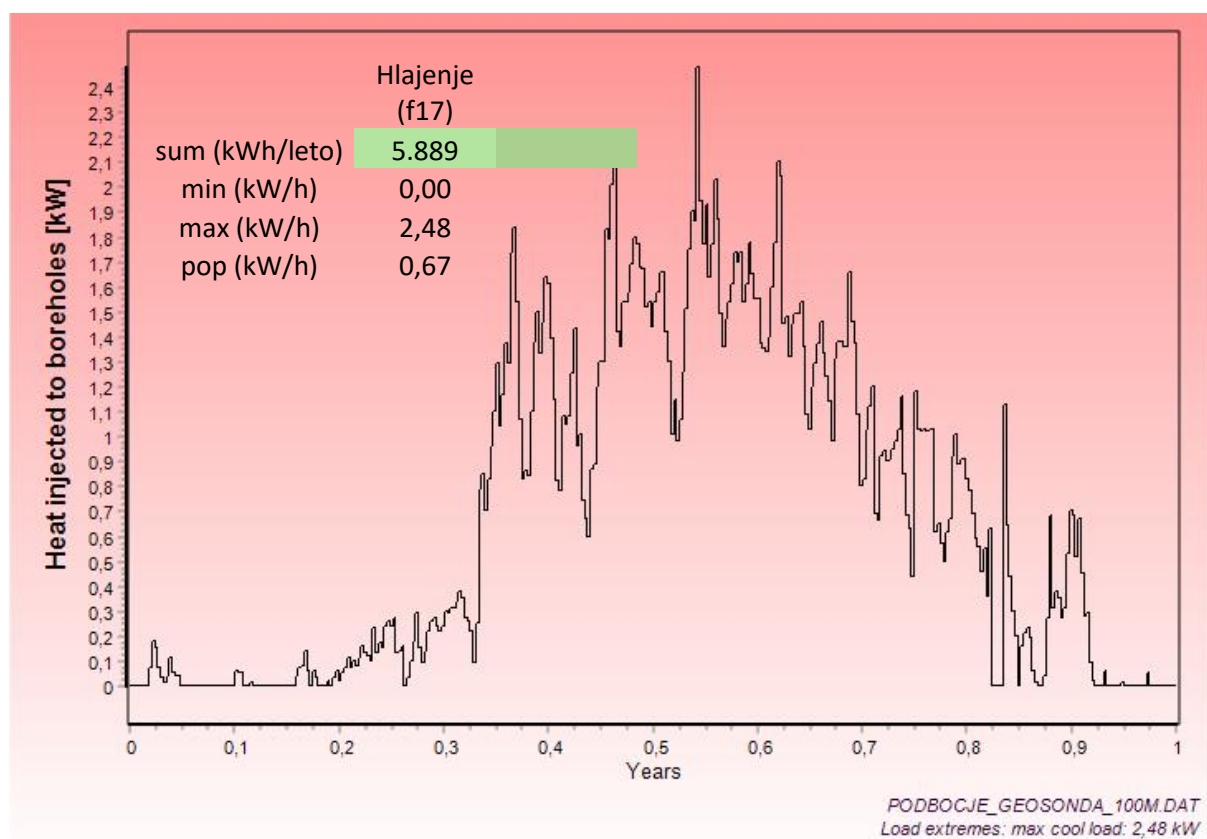
Pregled nad dinamiko presežkov in primanjkljajev



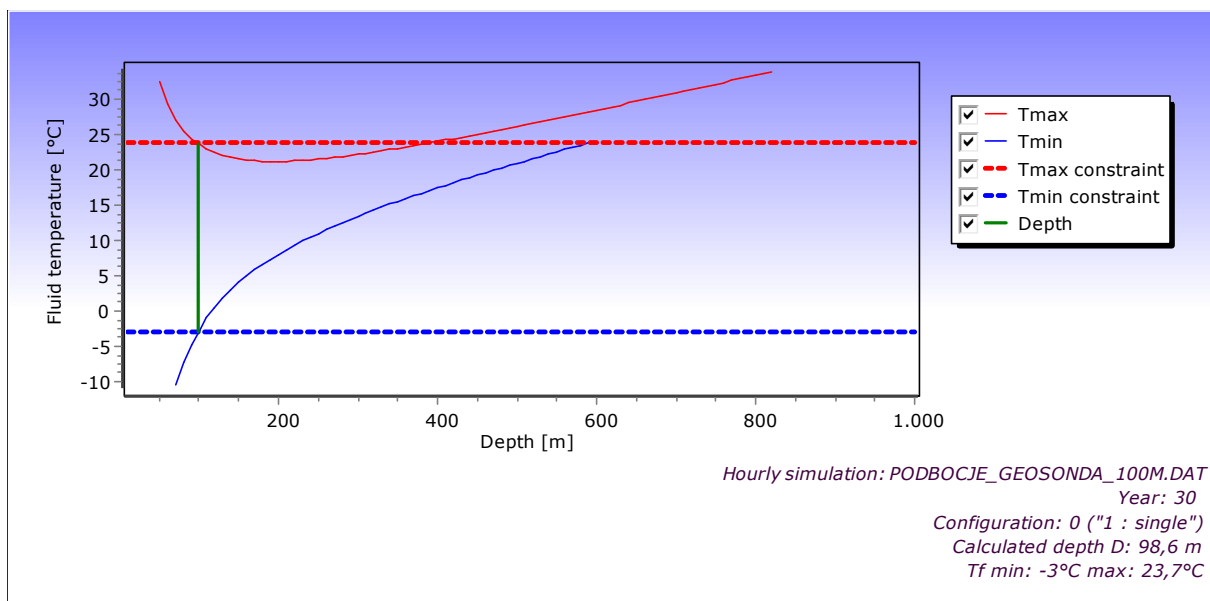
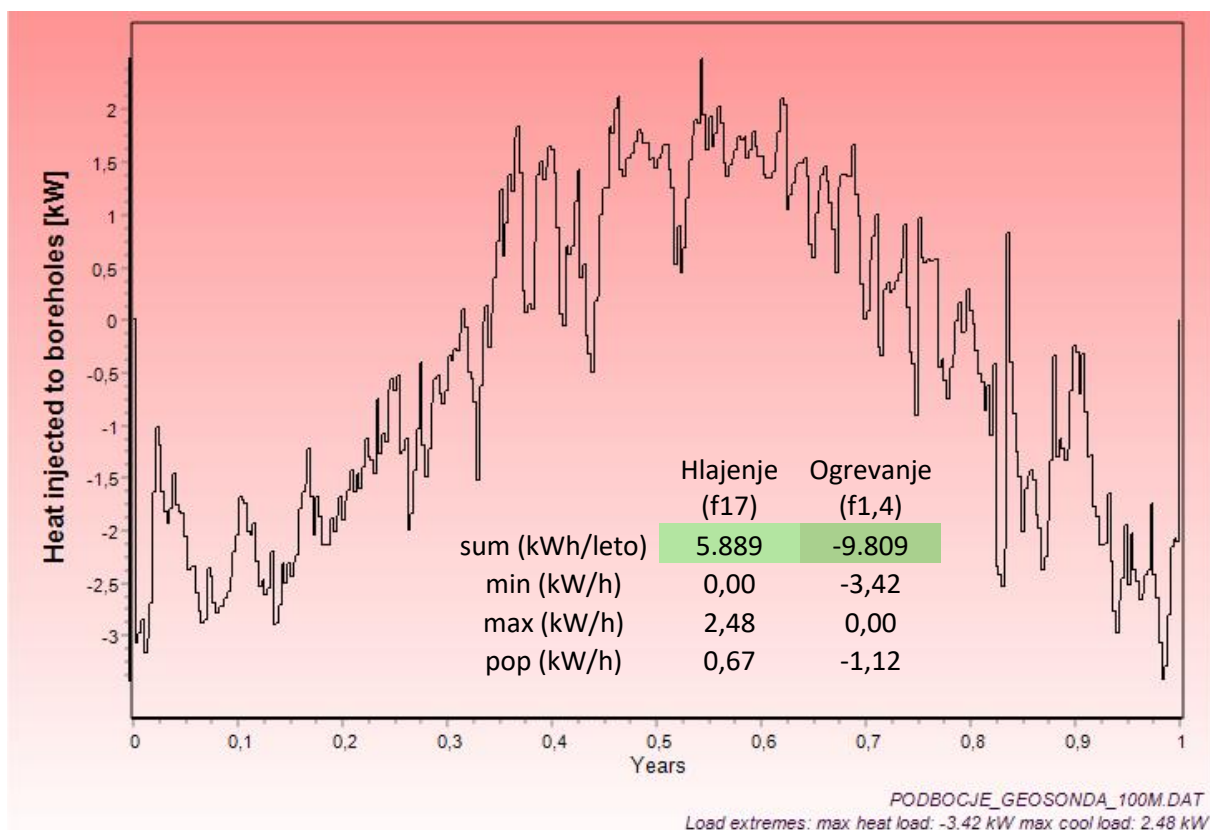
Priloga 1. Primer Podbočje - vrednotenja učinka shranjevanja toplotne energije z geosondo.



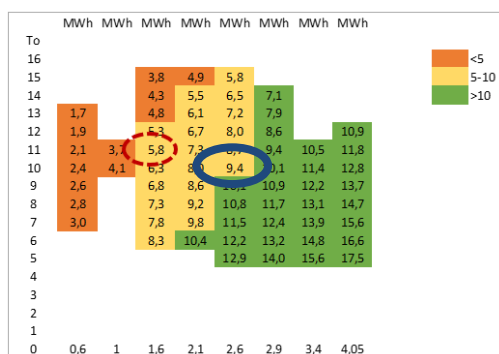
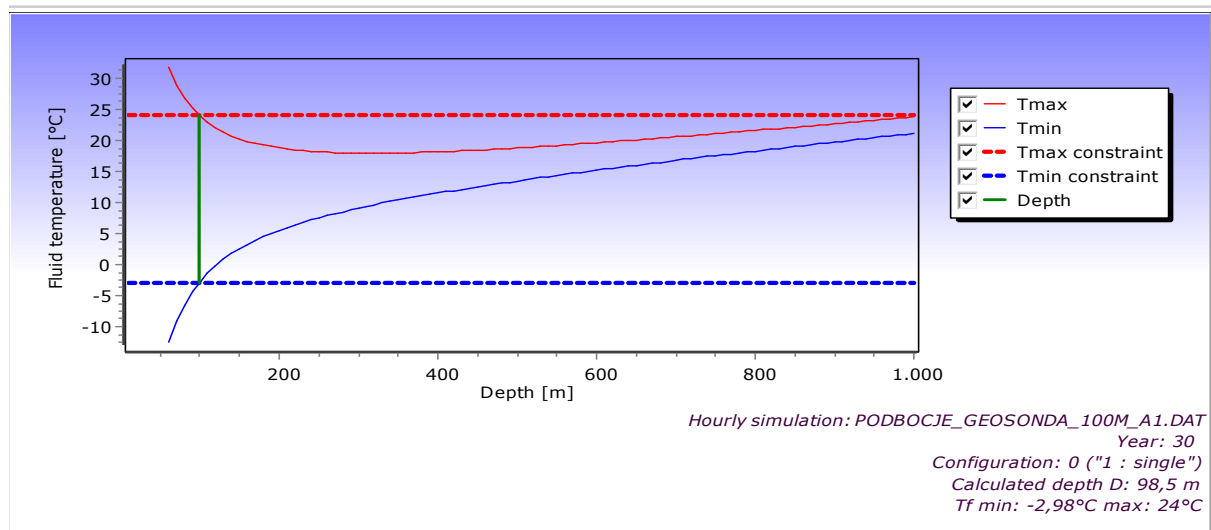
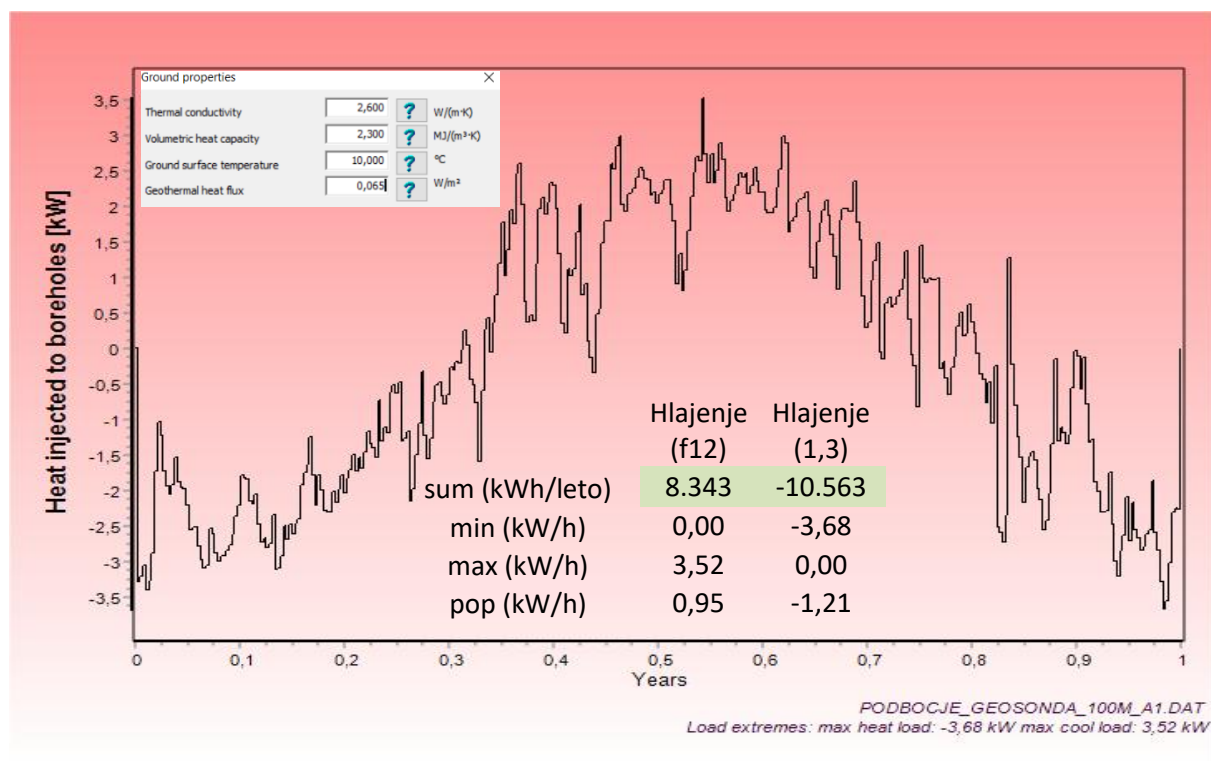
Slika 2. Podbočje - odvzem toplote 9,8 MWh/leto za ogrevanje: potrebna globina geosonde 108 m.



Slika 3. Podbočje - oddaja toplote 5,9 MWh/leto za hlajenje: potrebna globina geosonde 134 m.



Slika 4. Podbočje - odvzem 9,8 MWh/leto za ogrevanje in oddaja 5.9 MWh/leto toplote za hlajenje: potrebna globina geosonde 98,6 m.



Slika 5. Boljši geotermični pogoji - odvzem 10,6 MWh/leto za ogrevanje in oddaja 8,3 MWh/leto toplote za hlajenje: potrebna globina geosonde 98,5 m.