

Smernice za rabo plitve geotermalne energije v hladilnicah v kmetijstvu

M7.1 Smernice za rabo plitve geotermalne energije v hladilnicah v kmetijstvu

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, podeželj in naravni viri« vloga št. 031
Evidenčna številka:	631-310_2025
Število izvodov:	3 GeoZS + pdf za MKGP
Projekt:	projekt V1-2213, GeoCOOL FOOD - Hladno skladiščenje hrane z rabo plitve geotermalne energije
Naslov poročila:	Smernice za rabo plitve geotermalne energije v hladilnicah v kmetijstvu
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. doc. dr. Nina Rman, univ. dipl. inž. geol.
Avtorji Institut "Jožef Stefan":	dr. Gašper Stegnar, univ. dipl. inž. grad. dr. Marko Matkovič, univ. dipl. inž. stroj.
Avtorji Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani:	prof. dr. Rajko Vidrih, dipl. ing. živ. tehn.
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, Upravljanje



VSEBINA

1. Namen, cilj in kontekst uporabe	2
2. Metode dela in začetne ugotovitve	2
3. Rezultati – Smernice za rabo plitve geotermalne energije v hladilnicah v kmetijstvu	4
1. Hitra ocena upravičenosti uporabe PGTE	5
2. Energetske potrebe in metodologija izračuna	5
2.1. Modeliranje potreb za ogrevanje in hlajenje	5
2.2. Ključni parametri	5
3. Tehnična zasnova sistema	5
3.1. Integracija sistemov	5
3.2. Poenostavljen model geosonde	5
3.3. Upravljanje z močjo	6
4. Učinkovitost in optimizacija sistema	6
4.1. Modeliranje COP	6
4.2. Simulacije	6
5. Finančna analiza	6
5.1. Investicijska smiselnost	6
5.2. Občutljivostna analiza	6
6. Zaključne smernice za implementacijo	7

KAZALO SLIK

Slika 1: Prikaz tipskih zmogljivosti različnih načinov zajema plitve geotermalne kapacitete – koliko lahko ogrevamo z geosondo, ob prisotnosti podzemne vode in z vodnjakom	3
Slika 2: Prikaz vsebine in posledic predlaganih prednostnih kriterijev	4

1. Namen, cilj in kontekst uporabe

Namen predmetnega dokumenta je izpostaviti ključne usmeritve pri vrednotenju smotrnosti uporabe geotermalne energije za potrebe obratovanja hladilnic in drugih objektov na kmetijskih poslopih. Ugotovitve temeljijo na ogledu in grobi analizi večjega števila kmetij ter na poglobljenih meritvah in analizi poslovanja ter obratovanja dveh vzorčnih kmetij v okviru projekta GeoCOOL FOOD. Izdelane so bile metodologije, simulacije in finančne ocene za implementacijo sistemov geotermalnih toplotnih črpalk na geosondo.

- Primarni cilj je znižanje stroškov energije in emisij CO₂ v kmetijskih objektih s pomočjo **plitve geotermalne energije (PGTE)**.
- Tehnologija se osredotoča na **hladilnice, stanovanjske stavbe na kmetijah**, rastlinjake in druge pomožne objekte.

Tehnični del Smernic predstavljajo minimalne zahteve in pristopi za pripravo projektne dokumentacije (glej dosežek M5_1). Smernice poudarjajo, da ni univerzalnih rešitev, ampak je za vsak projekt ključno dobro načrtovanje, ki upošteva realno porabo energije in štiri kriterije: razvojne cilje in robne pogoje kmetije, načrt režima delovanja in toplotne izmenjave s tlemi glede na naravne danosti ter uravnoteženost kombinacije hlajenja in ogrevanja.

Nove smernice za projektiranje plitvih geotermalnih sistemov za hlajenje izpostavljajo, da je njena uporaba najbolj smiselna v okoljih z: velikimi sezonskimi razlikami v potrebah po toploti in hladu, sočasno rabo ogrevanja in hlajenja (npr. hladilnice + bivalni prostori) in možnostjo povezovanja odpadne toplote in sezonske akumulacije. Za učinkovito izvedbo so ključni: prilagojen sistem strojnih instalacij, ki omogoča integracijo ponorov in izvorov toplote, natančna karakterizacija tal in objekta, večkriterijski izbor tehnologij (energetski, okoljski, ekonomski vidiki) in monitoring porabe s prilagodljivostjo režimov obratovanja.

Ekonomsko uspešno rešitev vidimo v novih hladilnicah, ki obratujejo stalno oziroma tudi v najbolj vročih dneh, pri čemer je nazivna moč hlajenja nižja od toplotne moči geosonde in se slednja uporablja uravnoteženo, tudi za ogrevanje.

2. Metode dela in začetne ugotovitve

Prehod obstoječih hladilnic, ki že uporabljajo nek sistem hlajenja, na rabo plitve geotermalne energije je trenutno manj ekonomičen. Pri trenutnih cenah energije je razlika učinkovitosti obstoječih sistemov zrak-voda proti novim geosondam premajhna in bo prišla do izraza šele, če bo elektrika dražja.

Univerzalnih rešitev ni in za uspeh in dolgoročno učinkovitost takšnega sistema je ključno dobro načrtovanje, ki upošteva realno porabo energije ter uravnoteženo kombinacijo za hlajenje in ogrevanje. Izhodiščne usmeritve smernic za rabo plitve geotermalne energije z geosondami (dosežek M7_1) so, da se lahko pričakuje **ekonomsko uspešna rešitev** le ob zelo specifičnih geoloških in tehničnih pogojih:

- **Nova hladilnica ali obstoječa, že amortizirana, ki zahteva energetsko sanacijo.**
- **Nazivna moč hlajenja je nižja od toplotne moči geosonde.** Ta običajno lahko pokriva povprečno potrebo hladilnic po energiji, zadostno vršno moč pa ima le ob prisotnosti posebnih naravnih pogojev.
- **Hladilnica obratuje stalno in tudi poleti.** V najbolj vročih dneh, ko je zrak najtoplejši, je

prednost rabe geosonde največja.

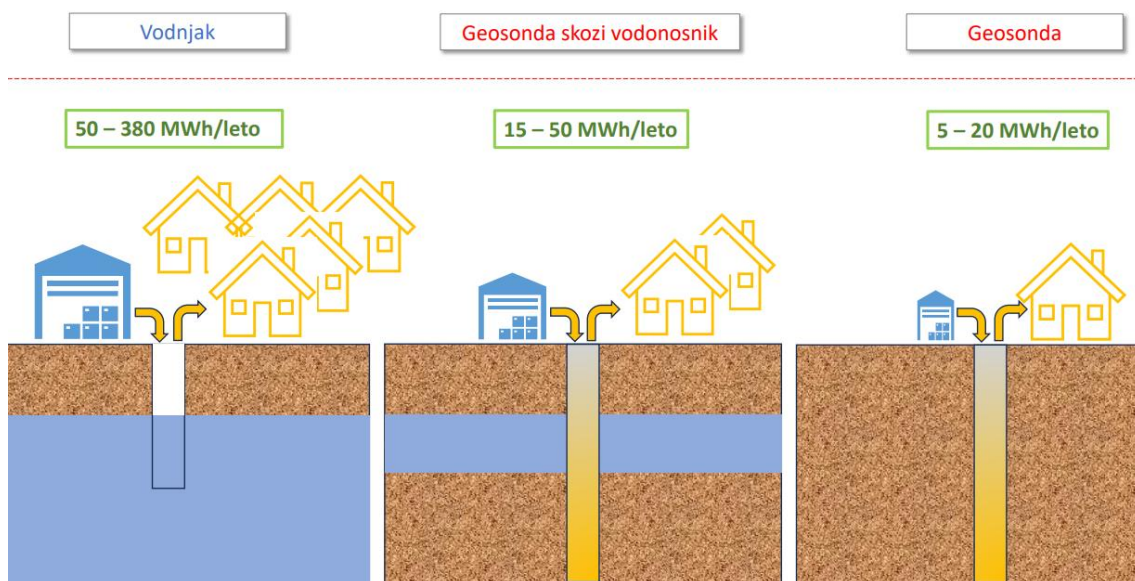
- **Geosonda se uporablja tudi za ogrevanje.** Z uravnoteženo rabo je večji energetski izplen in manjši vpliv na okolje.

Za načrtovanje geosond, ki bi se uporabljale **le za hlajenje objektov**, priporočamo:

- Izvedbo na območjih s pomembnim tokom podzemne vode, s čimer se poveča kapaciteta.
- Globino nad 50 m, da se izognemo vplivom dolgoročnega zviševanja temperature tal zaradi podnebnih sprememb, kar bi pomenilo zmanjšanje kapacitete.
- Načrtovanje več geosond v optimalni razporeditvi, da med njimi ne pride do sovpliva.

Ob tem priporočamo, da se raje **načrtuje dvojno, uravnoteženo rabo geosonde**, tako za hlajenje kot ogrevanje, kar omenjene tri pogoje nekoliko spremeni.

Upoštevati je potrebno tudi, da kapaciteto posamezne naprave za zajem plitve geotermalne energije (gosonde ali vodnjaka) najbolj poveča prisotnost podzemne vode. Na podlagi izračunov ocenjujemo, da lahko ena geosonda v okolju brez pomembnega toka podzemne vode zagotovi le med 5 in 20 MWh na leto (Slika 1), kar zadostuje za eno hišo oziroma manjšo hladilnico. V kolikor je zgrajena na območju z zaznavnim tokom podzemne vode, kapaciteta zadostuje za srednje veliko hladilnico ali par stanovanjskih objektov. Potrebe velikih hladilnic pa lahko ekonomsko krijemo le z vodnjaki (50-380 MWh na leto).



Slika 1: Prikaz tipskih zmogljivosti različnih načinov zajema plitve geotermalne kapacitete – koliko lahko ogrevamo z geosondo, ob prisotnosti podzemne vode in z vodnjakom

Tehnični del smernic, ki vsebuje minimalne zahteve in pristope za pripravo projektne dokumentacije, predstavlja dosežek M5_1 Izbor najustrežnejšega modela kvantifikacije s predlogom robnih pogojev in prednostnim seznamom ključnih parametrov za načrtovanje potrebnih raziskav. Ta opisuje sedem tehničnih kriterijev, ki so podrobneje opisani v poglavju **Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti.** tega poročila, in so:

- 1) Robni pogoji ekonomske uspešnosti investicije

- 2) Pregled dostopnih virov energije in uporabnikov
- 3) Bilanca rabe energije in vršne moči
- 4) Pregled vhodnih geotermičnih podatkov
- 5) Robni pogoji za okoljski vpliv
- 6) Robni pogoji učinkovitosti naprave
- 7) Način sledenja dejanske učinkovitosti za vzdrževanje in izboljšave v času delovanja.

Za spodbujanje investicij v rabo geotermalne energije na kmetiji, v podjetju ali zadrugi je potrebno presoјati o naslednjih ključnih informacijah:

- Pregled nad presežki in primanjkljaji toplotne energije v predinvesticijski analizi
- Pregled nad dinamiko presežkov in primanjkljajev
- Določitev razreda zmogljivosti geosonde ali vodnjaka
- Analizo in načrt možnega uravnoveženja rabe toplote oziroma podtalja kot hranilnika toplote

Kot štiri prednostne kriterije za izbiro projektov za sofinanciranje predlagamo (Slika 2):

1. Jasni razvojni cilji in robni pogoji
2. Načrt režima delovanja je optimalen glede na naravne danosti
3. Načrt načina toplotne izmenjave je optimalen glede na naravne danosti
4. Uporabljajo se rešitve, ki vključujejo ogrevanje in hlajenje

A. Režim rabe toplote	B. Razvojni cilji	C. Naravne danosti
1. Uravnoveženost rabe a) vršna : letna energija b) presežki : primanjkljaji	1. Čim večji delež lastne toplotne energije pridobljen na mestu hladilnice	1. Tok podzemne vode 2. Višja prevodnost tal in nižja gostota Zemljinega toplotnega toka 3. Več plitvejših geosond namesto manj globljih

Slika 2: Prikaz vsebine in posledic predlaganih prednostnih kriterijev

3. Rezultati – Smernice za rabo plitve geotermalne energije v hladilnicah v kmetijstvu

V nadaljevanju so izčrpno in pregledno podani ključni kriteriji in zaporedje presoјanja in sprejemanja odločitev v obliki novih Smernic.

Smernice za rabo plitve geotermalne energije v hladilnicah v kmetijstvu

1. Hitra ocena upravičenosti uporabe PGTE

Upravičenost uporabe geotermalne energije oziroma ponora toplote za potrebe ogrevanja in hlajenja na tipičnem kmetijskem poslopiju lahko s sorazmerno veliko gotovostjo potrdimo ali ovržemo na osnovi odgovorov na naslednja vprašanja:

1. Ali se večina energije za potrebe hlajenja uporabi v najbolj vročih dneh?
2. Ali obstaja možnost sočasnega ogrevanja in hlajenja? Ali sta ogrevanje in hlajenje sklopljena preko sezonskega hranilnika toplote?
3. Ali je hladilna moč geotermalnega hladilnega sistema dovolj velika, da v celoti pokriva dobitke hladilnice v najbolj vročih dneh?
4. Ali je količina prenesene toplote v in iz tal uravnotežena?

Za zanesljivo in natančno oceno upravičenosti uporabe geotermalnega sistema je potrebna poglobljena energijska in finančna analiza vsakega primera posebej. Pri tem naslavljamo naslednje točke.

2. Energetske potrebe in metodologija izračuna

2.1. Modeliranje potreb za ogrevanje in hlajenje

- Temelji na:
 - meteoroloških podatkih (ARSO),
 - karakteristikah stavb (izgube toplote),
 - podatkih rabe energije (računi, meritve),
 - sezonskem urniku obratovanja hladilnic (poslovni model sproščanje pridelkov na trg).

2.2. Ključni parametri

- **Karakteristične izgube** ogrevanih objektov in hladilnic.
- **Dinamično spremljanje rabe elektrike** za ločeno hlajenje (chiller) in ogrevanje (TČ).
- Določitev **letnih potreb po toploti in hladu** glede na vhodno temperaturo in režime delovanja.

3. Tehnična zasnova sistema

3.1. Integracija sistemov

- Priporočena integracija virov in ponorov (**geotermalna energija, zrak**) za večjo prilagodljivost.
- Sistem temelji na **skupnem vmesnem zalogovniku toplote**, ter povežavi toplotne črpalke in chillerja.

3.2. Poenostavljen model geosonde

- Zemljina z geosondo služi kot **sezonski hranilnik toplote**.

- Dinamični model mora omogočati simulacijo akumulacije in vračanja toplote v tla/zrak ob različnih obremenitvah.

3.3. Upravljanje z močjo

- Izračuni upoštevajo robne pogoje: temperature tal, zraka, obremenitve objektov.
- Sistem preklaplja med izvoroma (tla/zrak) glede na COP, razpoložljivo moč in kapaciteto.

4. Učinkovitost in optimizacija sistema

4.1. Modeliranje COP

- COP se izračunava glede na:
 - temperaturo uparjanja (vir toplote),
 - temperaturo kondenzacije (ponor toplote),
 - delno obremenitev (PLF).
- Krmiljenje sistema lahko s **preklapljanjem med razpoložljivim izvorom in ponorom toplote** izvajamo tako da sistem:
 - **v vsakem trenutku obratuje z največjim možnim COP,**
 - dosega največji sezonski COP (SCOP, SEER, SPF - minimalno letno rabo električne energije),
 - zagotavlja minimalne letne emisije CO₂.

4.2. Simulacije

- Optimizacija obratovanja sistema je zaradi večjega števila vplivnih parametrov in kompleksne medsebojne odvisnosti možna predvsem s pomočjo izvedbe računskih simulacij delovanja sistemov pri različnih robnih pogojih.
- Rezultati vključujejo:
 - toplotne profile,
 - letno rabo energije in toplotne izgube sistema,
 - COP toplotne črpalke in chillerja,
 - prispevke posameznih komponent (zračni konvektorji, geosonda).

5. Finančna analiza

5.1. Investicijska smiselnost

- Pozitiven vpliv na upravičenost investicije v izkoriščanje plitve geotermalne energije imajo:
 - celoletna potreba po ogrevanju in hlajenju,
 - uravnotežena raba energije za ogrevanje in hlajenje,
 - dovolj velika toplotna moč geosonde, ki nudi možnost pokrivanja celotnih potreb po ogrevanju in hlajenju z izkoriščanjem PGTE,
 - pomen samooskrbe,
 - visoka cena energentov.
- Kljub morebiti ugotovljeni upravičenosti investicije v izkoriščanje PGTE, gre pri tovrstnih projektih praviloma za sorazmerno nizke vrednosti IRR, NPV oziroma za sorazmerno dolgo vračilno dobo.

5.2. Občutljivostna analiza

- Največji vpliv na donosnost: cena energije, moč geosonde, letna obremenitev.
- Optimizacija je mogoča s **pravilno dimenzioniranim hibridnim sistemom** in učinkovito rabo zalogovnika toplote.

6. Zaključne smernice za implementacijo

Raba plitve geotermalne energije za hlajenje je najbolj smiselna v okoljih z:

- **velikimi sezonskimi razlikami** v potrebah po toploti in hladu,
- **sočasno rabo ogrevanja in hlajenja** (npr. hladilnice + bivalni prostori),
- možnostjo **povezovanja odpadne toplote** in sezone akumulacije.

Za učinkovito izvedbo so ključni:

- **prilagojen sistem strojnih instalacij, ki omogoča integracijo ponorov in izvorov toplote,**
- **natančna karakterizacija tal in objekta,**
- **večkriterijski izbor tehnologij** (energetski, okoljski, ekonomski vidiki),
- **monitoring porabe in prilagodljivost režimov obratovanja.**

Ključno sporočilo smernic:

Za zanesljivo in natančno oceno upravičenosti uporabe geotermalnega sistema je potrebna poglobljena energijska in finančna analiza vsakega primera posebej. Kakorkoli, upravičenost uporabe geotermalne energije oziroma ponora toplote za potrebe ogrevanja in hlajenja na tipičnem kmetijskem poslopiju lahko s sorazmerno veliko gotovostjo potrdimo s pozitivnimi odgovori na naslednja vprašanja:

- Ali se večina energije za potrebe hlajenja uporabi v najbolj vročih dneh oz. ali hladilnica obratuje celo leto? A
- Ali sta ogrevanje in hlajenje sklopljena preko sezonskega hranilnika toplote?
- Ali je hladilna moč geotermalnega hladilnega sistema dovolj velika, da v celoti pokriva dobitke hladilnice v najbolj vročih dneh?
- Ali je količina prenesene toplote v in iz tal uravnotežena?

Kljub morebiti ugotovljeni upravičenosti investicije v izkoriščanje PGTE, gre pri tovrstnih projektih praviloma za sorazmerno nizke vrednosti IRR, NPV oziroma za sorazmerno dolgo vračilno dobo. Največji vpliv na donosnost imajo cena energije, moč geosonde in letna obremenitev.