



B&B
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Elektroenergetika
Modul: Elektroenergetska učinkovitost in električne
inštalacije

**OGREVANJE Z GEOTERMALNO
ENERGIJO – STROŠKOVNA ANALIZA
ZAMENJAVE OGREVANJA V
VEČSTANOVANJSKEM OBJEKTU Z
OGREVANJEM S TOPLOTNO ČRPALKO Z
GEOSONDO**

Mentor: doc. dr. Matej Kranjc, univ. dipl. inž. el. Kandidat: Kristjan Rebec
Lektorica: Nives Mahne Čehovin, univ. dipl. angl. in prof. franc.

Pivka, oktober 2023

ZAHVALA

Za vso podporo in strokovne usmeritve pri pisanju diplomskega dela se zahvaljujem mentorju doc. dr. Mateju Kranjcu, univ. dipl. inž. el.

Hvala tudi podjetju Atlas za njihove podatke in izračune ter literaturo.

Zahvala gre tudi moji družini, ki me je podpirala med študijem in mi pomagala doseči zastavljeni cilj

.

IZJAVA

Študent Kristjan Rebec izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom doc. dr. Mateja Kranjca, univ. dipl. inž. el.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.

Dne _____

Podpis: _____

IZVLEČEK

Obnovljivi viri energije predstavljajo prihodnost v energetiki, saj so čisti in dostopni viri energije. Mednje spada tudi geotermalna energija, ki je neizčrpen vir in jo lahko pridobivamo praktično vsepovsod, ostaja pa še vedno najmanj izkoriščena, predvsem zaradi cene investicije. Ta energija je shranjena okoli 300 metrov pod površjem zemlje. Z geotermalno energijo je možno prostore ogrevati in tudi hladiti, da lahko toploto iz zemlje izkoristimo, pa potrebujemo vrtino z geosondo in toplotno črpalko.

Prvi del diplomskega dela obsega opis geotermalne energije, s poudarkom na plitvi geotermalni energiji in principih njenega izkoriščanja, ter opis delovanja geosonde. V drugem delu pa je v teoriji predstavljen primer zamenjave obstoječega ogrevanja v večstanovanjskem objektu z ogrevanjem na toplotno črpalko z geosondo. Prikazana je stroškovna analiza z izračuni in ostalimi tehničnimi podatki.

KLJUČNE BESEDE

- obnovljivi viri energije
- geotermalna energija
- geosonda
- toplotna črpalka
- stroškovna analiza

ABSTRACT

Renewable energy sources are the future of energy, because they are clean and accessible sources of energy. These include geothermal energy, which is an inexhaustible resource that can be found practically everywhere, but it is still the least used, mainly because of the cost of the investment. This energy is stored about 300 metres below the surface of the earth. Geothermal energy can be used to heat or cool the buildings. To do this, we need a borehole with a geosonde and a heat pump.

In the first part of the diploma work the geothermal energy is described, with the emphasis on shallow geothermal energy, the principles of its use and the description of the operation of the geosonde. The second part presents a theoretical example of the replacement of the existing heating system in a multi-apartment building by a heating system using a geosonde heat pump. It includes a cost analysis based on calculations and other technical data.

KEY WORDS

- renewable energy sources
- geothermal energy
- geosonde
- heat pump
- cost analysis

KAZALO

1	UVOD.....	1
1.1	Oprelitev problema.....	1
1.2	Namen in cilji diplomskega dela.....	3
1.3	Predpostavke in omejitve.....	3
1.4	Metode dela.....	3
2	PLITVA GEOTERMALNA ENERGIJA.....	4
2.1	Toplotne črpalke.....	5
2.2	Sistem izkoriščanja plitve geotermalne energije.....	6
2.2.1	Horizontalni zemeljski kolektorji.....	9
2.2.2	Vertikalni zemeljski kolektorji.....	10
3	PREHOD OGREVANJA VEČSTANOVANJSKEGA OBJEKTA NA OGREVANJE S TOPLOTNO ČRPALKO Z GEOSONDO.....	13
3.1	SWOT analiza.....	20
3.2	Podrobnosti izračuna.....	21
4	ZAKLJUČEK.....	35
5	LITERATURA IN VIRI.....	36

KAZALO SLIK

Slika 1: Princip izkoriščanja geotermalne energije	2
Slika 2: Princip delovanja toplotne črpalke	6
Slika 3: Prikaz odprtega in zaprtega sistema	7
Slika 4: Horizontalni zemeljski kolektorji (serijska in paralelna vezava).....	10
Slika 5: Navpični sistem z geosondo	11
Slika 6: Toplotna črpalka Mega	13
Slika 7: Skupni strošek lastništva v 20 letih pri celoletni porabi energije 20.000 kWh za ogrevanje in vročo vodo	15
Slika 8: Prihranek energije (kWh/leto).....	16
Slika 9: Distribucija energije in zahtevana kapaciteta	16
Slika 10: Distribucija energije in zahtevana kapaciteta	17
Slika 11: Prikaz prihranka energije po mesecih	17
Slika 12: Poraba energije s toplotno črpalco Mega po mesecih (ogrevanje + sanitarna voda)	18
Slika 13: Skupni denarni tok	25
Slika 14: Realni denarni tok.....	27
Slika 15: Cena investicije na posamezno stanovanje	34

KAZALO TABEL

Tabela 1: Prednosti izkoriščanja geotermalne energije.....	5
Tabela 2: Pregled odločanja za način zajemanja plitve geotermalne energije	8
Tabela 3: Pregled načinov zajemanja plitve termalne energije	9
Tabela 4: Podrobnosti izračuna – rezultati.....	19
Tabela 5: Vstopni podatki	21
Tabela 6: Trenutni stroški ogrevanja	22
Tabela 7: Poraba kWh/€ na mesec.....	22
Tabela 8: Skupni prihranek s ponujeno toplotno črpalco	23
Tabela 9: Skupni denarni tok.....	24
Tabela 10: Realni denarni tok.....	26
Tabela 11: Sedanja vrednost projekta	28
Tabela 12: Interna stopnja donosnosti.....	30
Tabela 13: Cena investicije za posamezno stanovanje	34

1 UVOD

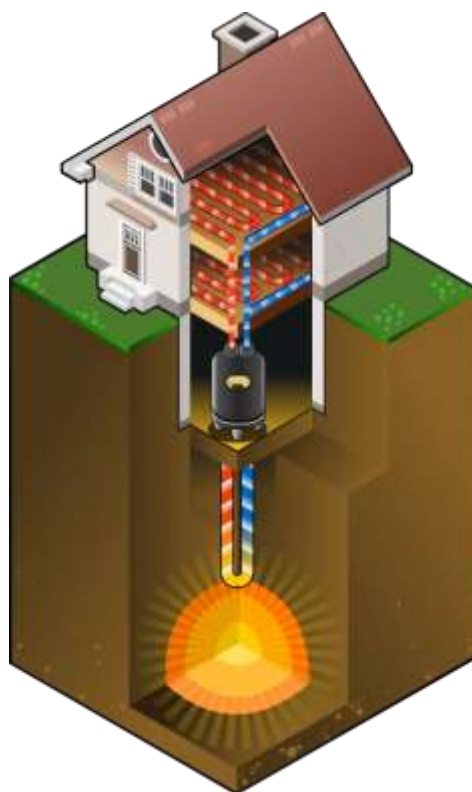
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Dandanes je splošno znano, da je izkoriščanje obnovljivih virov energije naložba v prihodnost. Fosilni energenti puščajo velik ogljični odtis, njihove zaloge se tudi hitro manjšajo, zato jih bo treba zamenjati z bolj trajnostno naravnanimi oblikami energije. Ena izmed teh je tudi geotermalna energija. Njene zaloge so skoraj neizčrpne, dostopna pa nam je 24 ur na dan, kar je v trenutni situaciji, v času energetske krize, izredno pomembno. Geotermalno energijo lahko izkoriščamo tako za potrebe ogrevanja kot tudi za potrebe hlajenja v toplejših mesecih. Glede na nivo temperature toplotnega vira ločimo plitvo in globoko geotermalno energijo. Plitva je shranjena na globini do 300 ali 400 metrov pod površjem zemlje, s temperaturo do približno 25 °C, nanjo pa ne vplivajo letni časi, zato je temperatura stalna. Do nje dostopamo s pomočjo geotermalnih toplotnih črpalk. V diplomskem delu se bom osredotočil na pridobivanje energije iz vertikalnih zemeljskih kolektorjev, tako imenovanih geosond, ki delujejo na način, da medij, ki kroži v sistemu, prenaša toploto. Medij se ogreje pod površjem zemlje in to energijo prenese v toplotno črpalko, ta pa jo posreduje v objekt. V drugem delu diplomskega dela bom na primeru zamenjave ogrevanja večstanovanjske stavbe analiziral možnost priklopa toplotne črpalke z geosondo.

Ahmed et al. (2022) v svojem članku povzemajo podatke Mednarodne agencije za energijo (IEA) (2019), ki kažejo, da ogrevanje predstavlja 40 % svetovnih emisij CO₂. V Evropi je 50 % končne porabe energije neposredno povezane z ogrevanjem in hlajenjem. Po podatkih Eurostata so leta 2019 63 % ogrevanja in hlajenja v Evropi poganjala fosilna goriva, večinoma plin (38 %), premog (22 %) in nafta (3 %), medtem ko je bil delež obnovljivih virov energije samo 30 % ogrevanja in hlajenja. Bistveno je, da EU fosilna goriva z visokimi emisijami toplogrednih plinov, ki se uporabljajo za ogrevanje in hlajenje, nadomesti z viri z nižjo vsebnostjo ogljika, da bi dosegla cilj energetskega prehoda. V tej smeri si je Evropska komisija zastavila cilje 55-odstotnega zmanjšanja toplogrednih plinov do leta 2030 in vsaj 32-odstotnega povečanja obnovljive energije (Ahmed et al., 2022).

Geotermalna energija je pridobljena iz notranjosti zemlje in ponuja neverjeten potencial za način ogrevanja in hlajenja skoraj povsod. Priznana je kot eden glavnih čistih in zanesljivih virov energije. Kombinacija geotermalne energije s toplotnimi črpalkami lahko bistveno prispeva k razogljičenju na področju ogrevanja in hlajenja. V primerjavi s konvencionalnimi gorivi imajo geotermalni sistemi nižje obratovalne stroške, a običajno višje naložbene stroške kot običajni ogrevalni sistemi. Zaradi naraščajočih cen nafte, plina in elektrike se časovni okvir za pozitivno donosnost naložbe skrajšuje. V mnogih primerih je že precej pod povprečno življenjsko dobo opreme (Sanner in Boissavy, 2020).

Temperatura tal je običajno višja od zunanjega zraka pozimi in nižja poleti, zato je indeks energetske učinkovitosti geotermalnih sistemov na splošno višji kot pri toplotnih črpalkah zrak-voda. Dokazano je, da geotermalne toplotne črpalke zmanjšajo porabo energije za 30–70 % v načinu ogrevanja in za 20–50 % v načinu hlajenja v primerjavi s konvencionalnimi rešitvami (Liu et al., 2022).



Slika 1: Princip izkoriščanja geotermalne energije
(Vir: Plistor, 2023)

V grobem izkoriščanje geotermalne energije delimo na neposredno in posredno. Posredna uporaba geotermalne energije temelji na izrabi nizko temperaturnih toplotnih virov. Le-te uporabljamo za ogrevanje hiš, rastlinjakov, odmrzovanje cest in uporabo tople vode, toplota pa se pridobiva s pomočjo toplotnih črpalk. Neposredna uporaba pa temelji na toplotnih virih z visoko temperaturo. Z uporabo parnih turbin in generatorjev v elektrarnah iz nje proizvedejo električno energijo (Dincer, Ozcan, 2018, cit. po Čandič, 2019).

Geotermalna energija je vir energije, ki se ne obnavlja, zato bi jo lahko obravnavali tudi kot primarno energijo, vendar se pojavlja v tolikšnem obsegu, da jo običajno

obravnavamo kot neizčrpen vir. Neizčrpano izkoriščanje energije je možno le z vzdrževanjem ravnotežnega stanja med energijo, odvzeto iz nekega sistema, in prihajajočo energijo. Poznamo plitvo in globoko geotermalno energijo, ki ju ločujemo glede na globino vrtanja. Globoko geotermalno energijo izkoriščamo na globini od 400 metrov pa vse tja do nekaj kilometrov. To lahko pridobivamo brez uporabe toplotnih črpalk, temperatura pa presega 20 °C. Pri plitvi geotermalni energiji je globina vrtanja od 150 metrov do maksimalno 400 metrov. Pri pridobivanju te energije so potrebni zemeljski kolektorji. Ti so lahko horizontalni, vertikalni ali spiralni. Pri tem principu je nujna uporaba toplotnih črpalk, pri čemer pri izkoriščanju toplotne energije temperatura narašča z nizke na visoko (Dincer, Ozcan, 2018, cit. po Čandič, 2019).

1.2 NAMEN IN CILJ DIPLOMSKEGA DELA

Namen diplomskega dela je predstaviti geotermalno energijo kot vir ogrevanja. Podati želim informacije o prednostih in principih njenega izkoriščanja. V raziskovalnem delu diplomskega dela pa sem želel zbrati čim več podatkov o stroških ogrevanja z geotermalno energijo, s ciljem izračuna povrnitve stroškov investicije, ter ugotoviti, ali bi bila primerna kot vir energije za ogrevanje v starejšem bloku, v katerem trenutno živim.

1.3 PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE

Vsa teoretična izhodišča kažejo na pozitivne rezultate pri izkoriščanju geotermalne energije. Tako je bila moja predpostavka, da je ta vir energije za ogrevanje optimalen in praktično nima slabih plati.

Kot omejitev pri pisanju diplomskega dela pa opažam dejstvo, da celotno delo temelji le na teoretični zamenjavi ogrevanja. Za natančnejše izračune in podatke bi bilo treba to izvesti tudi v praksi in bi le tako dobil najzanesljivejše podatke.

1.4 METODE DELA

V prvem delu diplomskega dela je uporabljena deskriptivna metoda dela, in sicer pregled literature na temo geotermalne energije in principov njenega izkoriščanja. Empirični del pa vsebuje stroškovno analizo zamenjave načina ogrevanja s prehodom na ogrevanje z geosondo.

2 PLITVA GEOTERMALNA ENERGIJA

Plitva geotermalna energija se nahaja pod površjem do globine 300–400 metrov. Nizkotemperaturni geotermalni vir se uporablja za izkoriščanje geotermalne energije iz podzemnih voda ali zemlje za hlajenje in ogrevanje prostorov ter za ogrevanje vode. Energija se izkorišča na podlagi dejstva, da je zemlja pozimi toplejša, poleti pa hladnejša v primerjavi z zunanjim zrakom. Na globini 5 metrov se temperatura spreminja le za 2 ali 3 stopinje, 10 metrov pod površjem so spremembe še manjše, pri globini 20 m ali več pa teh nihanj ni. Na globini 400 metrov je temperatura od 20 do 25 °C – razlikuje se glede na lastnosti kamnin in tal. To prednost uporablja geotermalna toplotna črpalka tako, da odvzema toploto iz zemlje ali vode pod površino in jo prenese v objekt pozimi, poleti pa jo vrne iz objekta nazaj pod zemljo. Tla pozimi so torej vir toplote, poleti pa ravno obratno – delujejo kot ponor toplote (Prestor, 2012).

GLAVNE LASTNOSTI	ZNAČILNOSTI
Okoljsko čista	Izkorišča obnovljivo geotermalno energijo, ki je shranjena v obliki toplote pod trdnim zemeljskim površjem – trajen in povsod prisoten vir energije.
	Delovanje je tiho, naprave so nevidne in omogočajo najvišjo stopnjo bivalnega udobja, obratovalni in vzdrževalni stroški so nizki.
	Veliko prispeva k zmanjšanju emisij (CO ₂ , SO _x , NO _x in prašnih delcev) in prihranku primarne energije.
	Omogoča pomembno zmanjšanje odvisnosti od fosilnih goriv in prehod k energetske neodvisnosti.
	Je pri uporabi električne energije iz OVE v kombinaciji s PV ali kogeneracijo na biogoriva, brez emisij toplogrednih plinov.
	Ne potrebuje transporta surovin, prenosnih in razdelilnih vodov ali zalogovnikov goriv.
Varna	Ne predstavlja nevarnosti za požar, eksplozijo ali izgube goriva.
	Je kot kombiniran energetsko učinkovit geotermalni sistem brez tveganj za prekinitev v dobavi energije za ogrevanje in hlajenje stavb, deluje 24 ur na dan vse leto.
	Z 1 kWh vložene energije dobimo 4 kWh energije.
	Omogoča okoli 50-odstotne prihranke na letni ravni obratovanja v toplem in hladnem načinu v primerjavi s konvencionalnim sistemom.

Zelo ekonomsko učinkovita	Je stroškovno učinkovit sistem z dobo vračanja 6–15 let.
	Uporabnik je zaradi visoke učinkovitosti tehnologije manj občutljiv na spremembo cen na energetskem trgu.
	Zelo uporabna je za nove stavbe in za zamenjavo obstoječih energetskih sistemov v stanovanjskih stavbah (enostanovanjskih in večstanovanjskih) ter nestanovanjskih stavbah (industrijskih, kmetijskih, trgovskih, turističnih ...).
	Ponuja možnosti za shranjevanje presežkov energije v tla ali vodonosnik in sezonsko izkoriščanje viškov.
	Ima dolgo življenjsko dobo (> 30 let).

Tabela 1: Prednosti izkoriščanja geotermalne energije

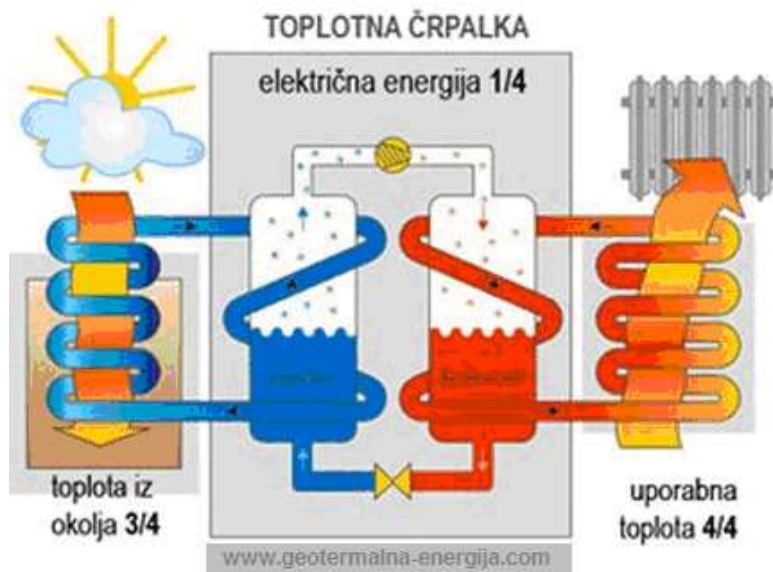
(Vir: Prestor, 2012)

Način izvedbe geotermalnega sistema je odvisen od razmer na terenu, lokacije, geološke strukture ter tudi hidrogeoloških in geotermalnih lastnosti. Pred izvedbo je tako treba narediti geološke preiskave, da se določijo načini zajemanja, upoštevata pa se tudi potrebna velikost objekta in dostopnost za izkop vrtine (Prestor, 2016).

2.1 TOPLOTNE ČRPALKE

Plitva geotermalna energija se običajno izkorišča s pomočjo tehnologije toplotnih črpalk; slednje pridobivajo toploto z enega mesta in ga prenašajo na drugo. Princip delovanja teh naprav je prenašanje toplote s kroženjem snovi, pri čemer prihaja do izhlapevanja in kondenzacije. Kompressor pri tem črpa toploto med dvema tuljavama, ki si izmenjujeta toploto. V enem od njih sredstvo izhlapi pri nizkem tlaku in absorbira toploto iz njene neposredne okolice. Nato se hladilno sredstvo (običajno so to ogljikovodiki, anorganske snovi ali zeotropske snovi) kompresira pri visokem tlaku v drugi tuljavi, kjer se tudi kondenzira. Na tej točki se sprošča toplota, ki se je prej absorbirala. Na tem principu lahko izkoriščamo energijo tako, da pozimi ogrevamo, poleti pa hladimo in razvlažujemo. Zaradi različnih potreb po ogrevanju je tudi globina toplotne črpalke različna (Esteban, 2019).

Da lahko pridobivamo toploto, ki je brezplačna, iz okolice, potrebujemo električno energijo. Ta poganja kompressor toplotne črpalke. Razmerje med pridobljeno energijo in porabljenjo električno energijo imenujemo grelna število. Običajno je to število 1 : 3 oz. pri novejših črpalkah tudi več. Uporabnik torej za 3 kWh toplotne energije plača 1 kWh, razlika pa je brezplačna (Labudovič, 2006, cit. po Ograjenšek, 2016).



Slika 2: Princip delovanja toplotne črpalke
(Vir: Termoshop, 2023)

Poznamo tri različne izvedbe toplotnih črpalk, ki jih ločimo glede na vir pridobivanja toplotne energije. Te so:

- toplotna črpalka zrak-voda: izkorišča toploto zraka,
- toplotna črpalka voda-voda: izkorišča toploto površinskih voda ali podtalnice,
- toplotna črpalka zemlja-voda: izkorišča toploto zemlje.

V tem diplomskem delu se bom osredotočil na slednjo, torej pridobivanje toplote iz zemlje.

2.2 SISTEMI IZKORIŠČANJA PLITVE GEOTERMALNE ENERGIJE

Plitva geotermalna energija se lahko izrablja posredno, in sicer z uporabo geotermalnih toplotnih črpalk, ali pa neposredno, torej brez uporabe toplotnih črpalk. Tako je omogočena izraba toplote za ogrevalne sisteme z visokimi temperaturami (do 70 °C) ali za sisteme hlajenja, kjer je temperatura nižja od 12 °C. Zajem plitve geotermalne energije se kombinira z gradbenimi konstrukcijami, ki služijo kot toplotni izmenjevalci, tj. energetske geostrukture, ki se vgradijo v pilote, temeljne plošče in obloge, ki se namestijo v predore (Prestor, 2016).

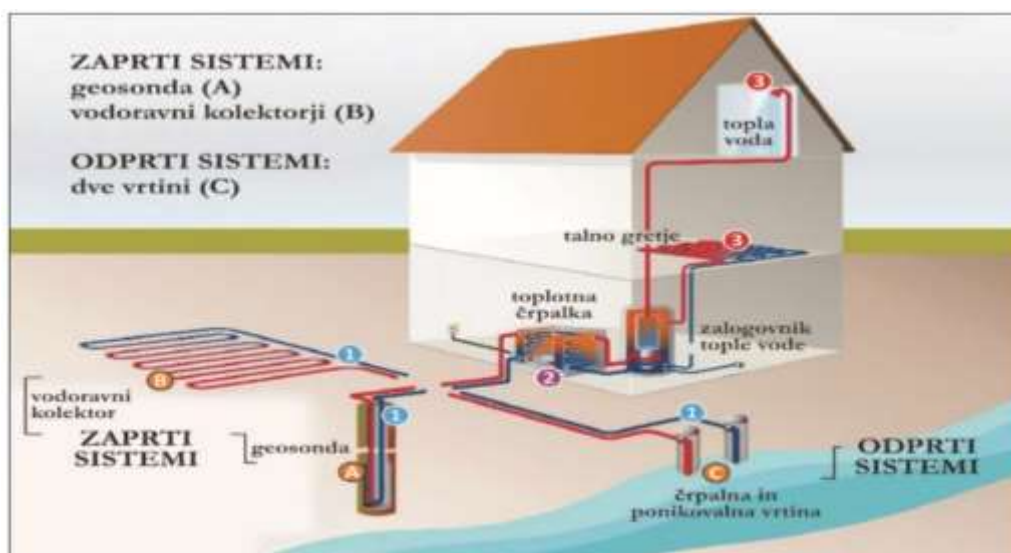
Tehnologije, s katerimi izkoriščamo geotermalno energijo, v grobem delimo na odprte in zaprte geotermalne toplotne sisteme. Geotermalni sistem pa je sestavljen iz treh glavnih delov, in sicer iz toplotne črpalke, katere namen je uravnavanje temperature,

talnega dela, ki sprejema toploto ali jo pošilja nazaj, in stavbnega dela, v katerega prenašamo toploto oziroma hlad (Prestor, 2012).

Odpri geotermalni sistem deluje na principu odvzemanja podzemne vode, pri čemer spreminjamo njeno temperaturo. Temperatura podtalnice ima od 3 do 7 °C, lahko tudi več. Sistem deluje po tako imenovanem dvojnem sistemu, pri katerem ena črpalna vrtina črpa toploto iz podtalne vode, druga, ponikovalna vrtina pa vrača izkoriščeno vodo nazaj v isti vodonosnik. Slabosti tega sistema so velik poseg v vodonosnik in obsežna vzdrževalna dela na sistemu, treba pa je paziti tudi na toplotne in hidravlične vplive (Prestor, 2012).

Pri plitvih vrtinah je za pridobivanje toplote potrebna toplotna črpalka, pri dovolj globokih pa lahko ogrevamo neposredno, torej brez nje. Voda gre iz zajetja v uparjalnik črpalke, ki jo ohladi in ji odvzame toploto, le-ta pa preide na delovni medij, ki se tam stisne na visok tlak in temperaturo. Učinkovitost naprave je odvisna od globine nahajališča, pretoka vode, temperature in kemične sestave vode. Pri tem načinu pridobivanja toplote so potrebna posebna hidrogeološka znanja, ima pa odpri sistem večji izkoristek energije kot zaprti (Grobovšek, 2009).

Toploto iz plitvega podzemlja pridobivajo tako imenovani zaprti geotermalni toplotni sistemi, ki so sestavljeni iz cevi iz jekla, bakra in PEHD. Cevi so napolnjene z delovno tekočino (antrifriz, glikol), ki deluje kot prenosnik toplote. Pri tem načinu pridobivanja toplote so potrebne toplotne črpalke, ki sprejemajo toploto po ceveh, ki so lahko nameščene horizontalno ali vertikalno kot vrtine (geosonde) (Prestor, 2016).



Slika 3: Prikaz odprtega in zaprtega sistema
(Vir: Vukelić Ž, Šporin J, Janc B, 2019)

Ko se odločamo, na kakšen način bomo pridobivali energijo, moramo upoštevati dane razmere, kot so bližina vodnega vira (vodonosnika, jezera, potoka, morja ipd.), dovolj prostora za izkop, dostop za vrtanje vrtine, sestava tal itd. Na odločitev vplivajo tudi višina stroškov, okoljska primernost, varnost, udobje ipd. (Prestor, 2016).

ENERGETSKI VIR	Vir energije za odvzem toplote – prenosnik toplote v razdelilnem sistemu	Odpri sistem	Zaprti sistem	Vodoravni/navpični sistemi
HIDROTERMALNA ENERGIJA	Voda-voda Voda-zrak	Zajetja površinske vode		
GEOTERMALNA ENERGIJA	Zemlja-voda Zemlja-zrak		Izmenjevalci toplote (kolektorji) v izkopih ali ob gradbenih konstrukcijah	Vodoravni sistemi
	Zemlja (podz. voda)-voda Zemlja (podz. voda)-zrak	Vrtine za črpanje podzemne vode (vodnjaki)		Navpični sistemi
	Zemlja-voda Zemlja-zrak		Energetske košare, piloti	
	Zemlja-voda Zemlja-zrak		Vrtine z geosondami	

Tabela 2: Pregled odločanja za način zajemanja plitve geotermalne energije (Vir: Prestor, 2016)

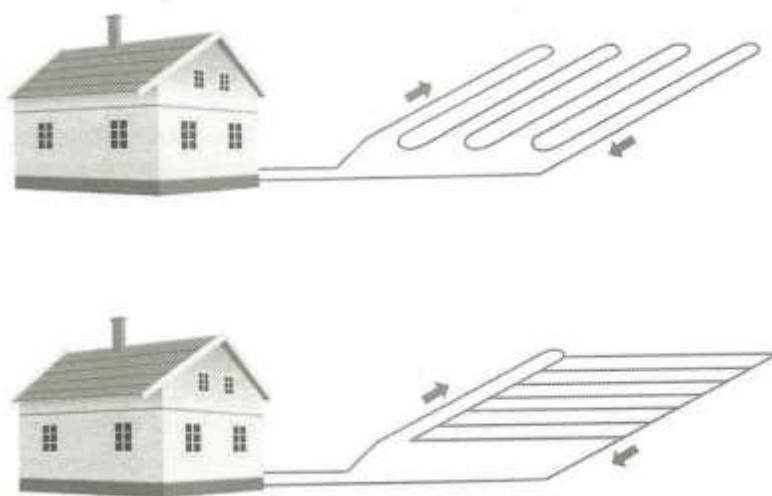
Prednostno od 1 do 5	Način zajetja	Odprti sistem	Zaprti sistem
1	HIDROTERMALNI SISTEMI: Zajetje za izkoriščanje površinske vode	Ali je v bližini potok/ribnik/jezero/morje?	x
2	GEOTERMALNI SISTEMI: Vrtina, vodnjak – zajetje za izkoriščanje podzemne vode	Ali je pod objektom vodonosnik ali so v bližini vodnjaki, ki omogočajo črpanje zelene količine vode s primerno kakovostjo?	x
3	Izkop na globini od 1,2 do 2 m	x	Ali imamo ob objektu dovolj veliko površino (travniki, vrt, igrišče ipd.) in zemljino, ugodno za izkop?
4	Košare globine 5–8 m, piloti globine > 8 m	x	Ali potrebujemo za temeljenje objekta večje izkope/pilote?
5	Vrtine (globine običajno > 50 m) za geosondo	x	Ali imamo prostor in dostop za vrtanje vrtine?

Tabela 3: Pregled načinov zajemanja plitve termalne energije
(Vir: Prestor, 2016)

2.2.1 Horizontalni zemeljski kolektorji

Horizontalni oziroma vodoravni zemeljski kolektorji, ki sodijo med zaprte geotermalne toplotne sisteme, so zgrajeni iz zelo goste mreže cevi v zemljini na globini 2–4 metrov. Cevi so lahko postavljene v ravnih nizih oziroma serijsko ali pa paralelno. Ravne so položene vsaj 1,5 metra narazen, spiralne pa 3–5 metrov narazen. S to razdaljo se zniža medsebojni vpliv toplote (Prestor, 2012). Sistem mora zdržati nizke temperature do $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zaradi preprečevanja zamrznitve in dviga tal zaradi zmrzali se pri polaganju doda 20–30 cm peščenih plasti za dodatno zaščito. V njih kroži fluid, ki

toploto prevzema iz plitvega podzemlja in jo prenaša na površje. Možnost vgrajevanja zemeljskih kolektorjev obsega več načinov: ravne in spiralne. Horizontalni kolektorji delujejo na principu pridobivanja toplote iz solarne cone, na katero vpliva sonce, posledično se tudi temperatura spreminja skozi celo leto. Ker je temperatura tal poleti nižja od temperature zraka, jih uporabljajo tudi za hlajenje. Na globini 1–2 metrov, kjer temperatura niha med -5 in $+15$ °C, je povprečna toplotna moč $15\text{--}40$ W/m². Površina zemeljskih kolektorjev mora biti najmanj enaka površini ogrevanih prostorov ali pa dvakrat večja, seveda pa moramo upoštevati tudi toplotno izgubo prostorov. Nad njimi ne sme biti položen asfalt, tla pa morajo biti dovolj prepustna za odtekanje deževnice (Grobovšek, 2009).



Slika 4: Horizontalni zemeljski kolektorji (serijska in paralelna vezava)
(Vir: Grobovšek, 2009)

2.2.2 Vertikalni zemeljski kolektorji

Z vertikalnimi oziroma navpičnimi zemeljskimi kolektorji potrebujemo manjšo površino vgradnje v primerjavi s horizontalnimi. Obstajata dve možnosti vgradnje: s spiralnimi ali z ravnimi cevmi (Grobovšek, 2009).

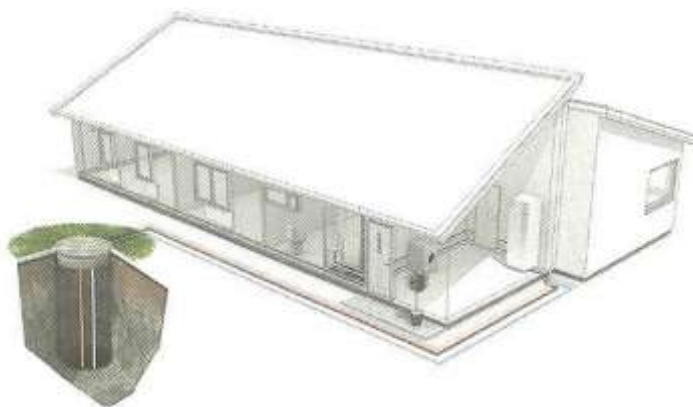
2.2.2.1 Energetske košare

V pripravljen izkop se vgrajujejo sistemi cevi v obliki spiral oziroma košar. Tak zemeljski kolektor prihrani tudi do tri četrtine prostora v primerjavi z vgradnjo horizontalnega kolektorja. Energetske košare so položene v zemljo na globini 5 metrov in 4-metrski razdalji. Količina toplote je odvisna od vrste zemlje, pri čemer je največji odvzem moči v zelo mokrih ilovnatih tleh, in sicer okoli 40 W/m². Za primer:

150 m² veliko hišo bi morali ogrevati s sedmimi energetskeimi košarami (Grobovšek, 2009).

2.2.2.2 Geotermična sonda – geosonda

Za izkoriščanje geotermalne energije z geosondo potrebujemo vrtino in toplotno črpalko. Zaradi majhne površine, ki jo potrebujemo za izvedbo vrtine, je ta način primeren za majhne parcele in v mestih, kjer je gosta naseljenost. Ta sistem deluje na principu izkoriščanja toplote kamnin, pri čemer toploto prenaša medij, npr. voda. Medij se po dovodni cevi spusti v notranjost zemlje, tam se ogreje in se po povratni cevi vrne v toplotno črpalko. Od tam naprej ogreva ali pa tudi hladi prostore, uporaben pa je tudi za sanitarno vodo. Geosonde so cevi iz polietilena, vgrajene do maksimalno 150 metrov, najpogosteje pa med 30 in 60 metrov, s premerom enega metra. Odporne so na vlago, vpliv tlaka in škodljivce, zaradi svoje sestave pa imajo dober prenos toplote (Grobovšek, 2009).



Slika 5: Navpični sistem z geosondo
(Vir: Prestor, 2012)

Kot že omenjeno, so cevi iz polietilena (PE HD, ang. *high density polyethylen* ali polietilen visoke gostote), ki je prožen, lahek, odporen na nizke temperature in sončno svetlobo. Prenaša temperature med –40 in +60 °C. Uporabljajo se enojne in dvojne »U« cevi. Med cevi in steno vrtine se vlije masa iz cementa, betonita ipd., da se zapolni prostor. Kot prenosnik toplote se uporablja tekočina, ki je odporna na mraz, ali pa voda, katere namen je prenos toplote do toplotne črpalke. Ta tekočina mora biti okolju prijazna, zato se v ta namen uporabljajo etilen glikol, etilni alkohol ipd. Skozi PE cevi za vtiskovanje se vtiska polnilna masa. Premer cevi mora biti 32 mm ali več. Distančniki so prav tako izdelani iz PE ali PVC, z njimi pa kakovostno zapolnimo medprostor in centriramo cevi v vrtino (Prestor, 2016).

Za pravilno vgradnjo sonde se upošteva sestava tal in glede na plasti zemlje določi globina vrtine. Znan mora biti tudi odvzem toplote na meter vrtine. Minimalna

oddaljenost med dvema vrtinama je 5–6 metrov, od temeljev zgradbe pa mora biti oddaljena za vsaj 2 metra. Mešanica tekočine za prenos, ki prenese zmrzovanje, je sestavljena iz 70 % vode in 30 % glikola (Grobvšek, 2009).

Koliko toplote pridobimo, je odvisno od sestave tal. Najugodnejša so vlažna tla ob prisotnosti podtalnice, tam lahko pridobimo od 80 do 100 W/m toplote. Če so tla suha in peščena, bo odvzem toplote okoli 20 W/m, pri vlažnih in peščenih tleh 40 W/m, če pa so vlažna in kamnita, je odvzem toplote približno 60 W/m (Grobvšek, 2009).

3 PREHOD OGREVANJA VEČSTANOVANJSKEGA OBJEKTA NA OGREVANJE S TOPLOTNO ČRPALKO Z GEOSONDO

Empirični del diplomskega dela bo temeljil na praktičnem primeru, ki bo idejni projekt za postavitev toplotne črpalke za potrebe ogrevanja večstanovanjske stavbe, v kateri živim. Vse potrebne informacije za izdelavo izračunov so mi zagotovili v podjetju Atlas. Podjetje ima 33-letno tradicijo na področju ogrevanja in hlajenja z obnovljivimi viri energije, posebej pa so specializirani za področje geotermalne energije, torej ogrevanje in hlajenje z geotermalnimi toplotnimi črpalkami tako za hiše kot tudi za večje stavbe.

Za potrebe ogrevanja je bila predlagana toplotna črpalka Thermia mega M 2020 HGW. Odlikujejo jo naslednje lastnosti:

- Toplotna črpalka z zemeljskim virom za napredne načine uporabe z močjo od 33 do 1400 kW.
- Prihranek do 80 % stroškov energije.
- Inverterska tehnologija se natančno prilagaja trenutni potrebi po energiji.
- Nov krmilni sistem in nov barvni prikazovalnik z zaslonom na dotik.
- Kaskadna funkcija za do 16 enot.
- Tehnologija vročega plina za učinkovito proizvodnjo tople vode.
- Ena rešitev zagotavlja ogrevanje, proizvodnjo tople vode in hlajenje.
- Ogrevanje in hlajenje hkrati.
- Spletno upravljanje – uporabnik lahko toplotno črpalko upravlja od koderkoli.
- Pripravljeno za sisteme za upravljanje zgradb (ang. *Building Management System – BMS*) z vmesnikom Modbus (Vir: Atlas trading d.o.o., 2023)



Slika 6: Toplotna črpalka Mega
(Vir: Atlas trading d.o.o., 2023)

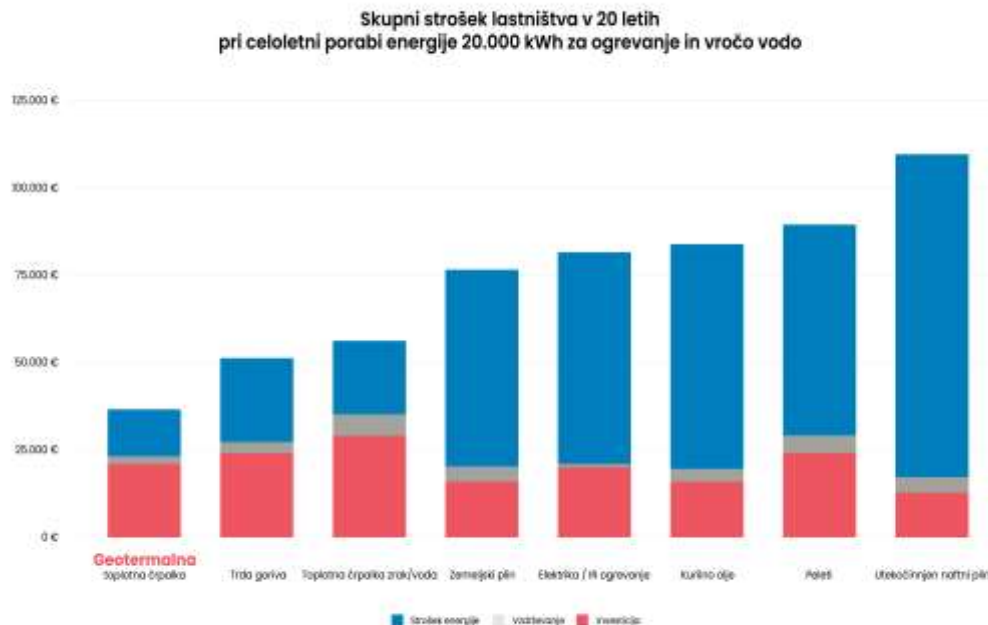
Izbiramo lahko med toplotnimi črpalkami različnih velikosti in moči 10–33 kW, 11–44 kW, 14–59 kW in 21–88 kW. Za povečanje moči (za skupno moč do 1400 kWh) je mogoče povezati do šestnajst naprav, ki se kaskadno vklopijo druga za drugo glede na potrebo po toploti. Zaradi bogate dodatne opreme lahko toplotna črpalka Mega ogreva tudi bazene in deluje s solarnimi kolektorji ter drugimi toplotnimi viri.

Pri hkratnem ogrevanju in hlajenju še dodatno prihranimo stroške obratovanja, saj se med hladne in tople zalogovnike vključijo dodatne toplotne črpalke. Topli zalogovniki so tako povezani z območji za ogrevanje, hladni pa z območji za hlajenje. Toplotna črpalka Mega je zmožna prenesti toploto glede na potrebe zgradbe. Na primer, konferenčno sobo v hotelu je treba ohladiti, od tam odvzeto toploto pa lahko znova uporabimo za proizvodnjo vroče vode za bazen ali spa.

Sestavni del toplotne črpalke je krmilnik, ki koordinira in natančno krmili celoten sistem, hkrati pa se preko vmesnika Modbus lahko poveže in komunicira tudi z drugimi krmilnimi sistemi, kot so sistemi za upravljanje zgradb. Tako imamo lahko skupaj zbrane informacije o alarmih, prezračevanju ipd. Njihov pametni krmilni sistem vsebuje:

- menije in algoritme iz lastnega razvoja podjetja Thermia,
- barvni prikazovalnik z zaslonom na dotik,
- uporabniku prijazen intuitivni meni z ikonami in grafičnimi informacijami,
- popoln pregled nad temperaturami hladilnega tokokroga,
- ogrevalno krivuljo s 7-točkovno nastavitvijo (Atlas trading d.o.o.,2023).

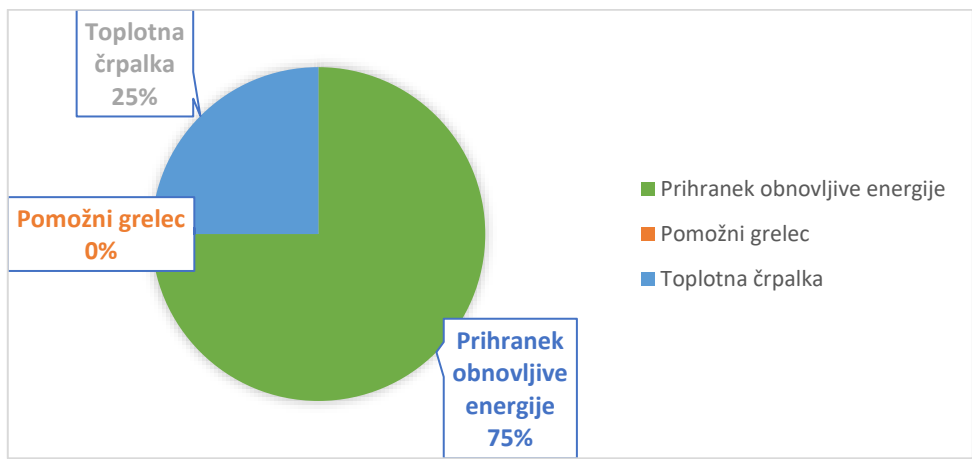
Napredni sistem Thermia Online omogoča daljinsko upravljanje in nadzor toplotne črpalke s pametnim telefonom (Android in iPhone) ali z računalnikom. Sistem zagotavlja tudi diagnostične podatke za inštalaterje.



*Slika 7: Skupni strošek lastništva v 20 letih pri celoletni porabi energije 20.000 kWh za ogrevanje in vročo vodo
(Vir: Atlas trading d.o.o., 2023)*

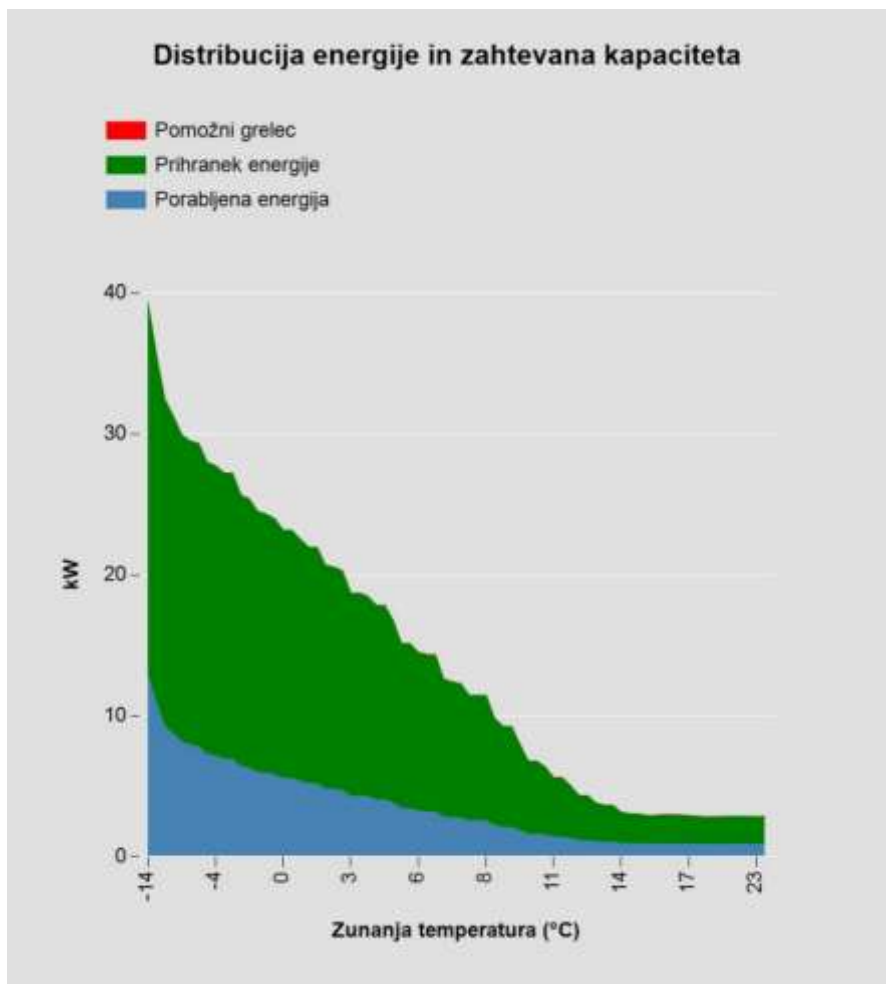
Primerjalni izračun prikazuje letni strošek energije in celotni strošek življenjskega cikla z vključeno investicijo in vzdrževanjem. Primerjava velja za povprečno stanovanjsko hišo z letno potrebo po toploti 20.000 kWh, kar je na primer ekvivalentno 2.200 l olja ali 2.000 m³ zemeljskega plina.

Spodnji diagram prikazuje prihranek energije, pri čemer toplotna črpalka prihrani 25 %, največja zasluga pa gre obnovljivi energiji (75 %). Pomožni grelec naj se ne bi prižigal.



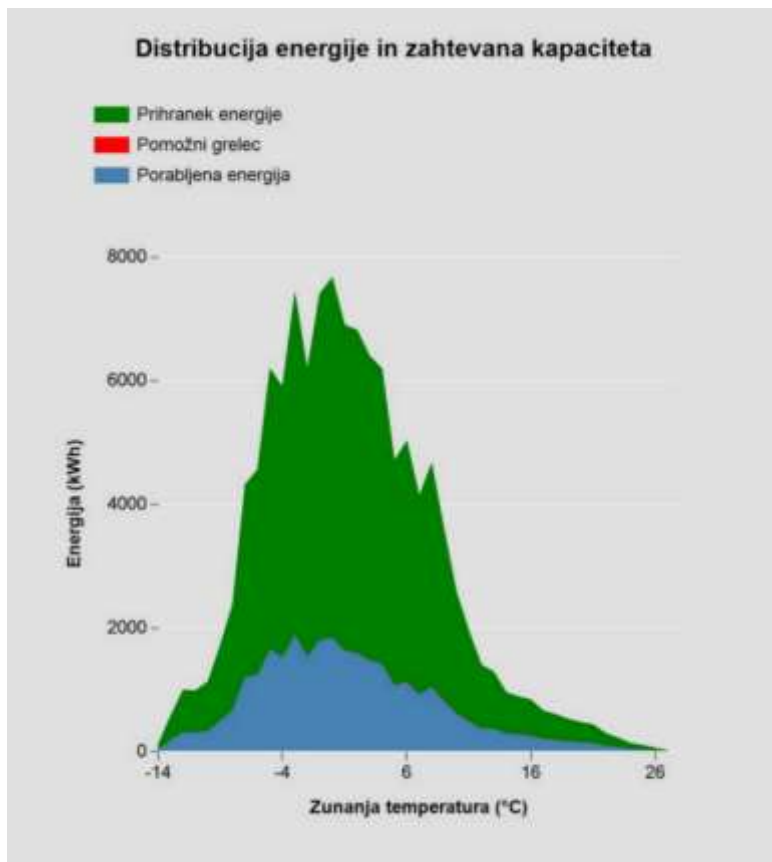
Slika 8: Prihranek energije (kWh/leto)

(Vir: Podjetje Atlas, 2023)

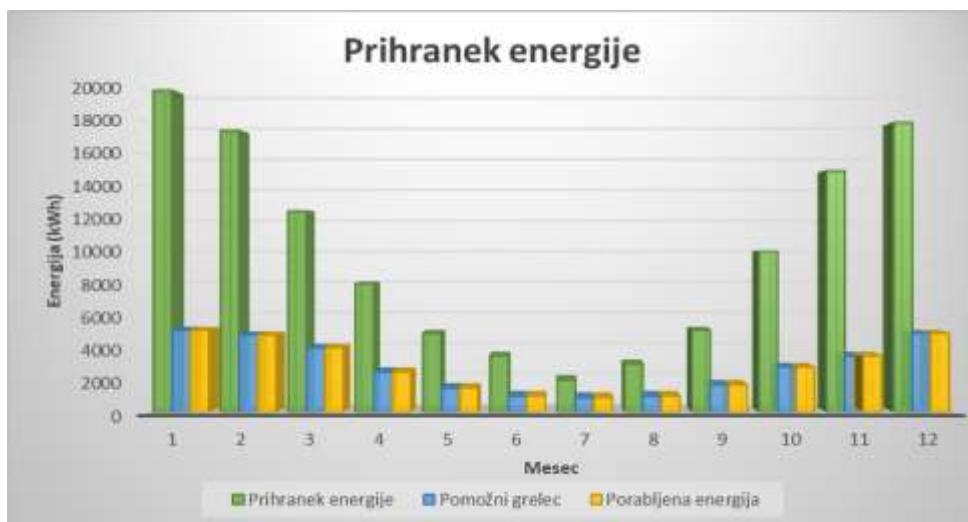


Slika 9: Distribucija energije in zahtevana kapaciteta

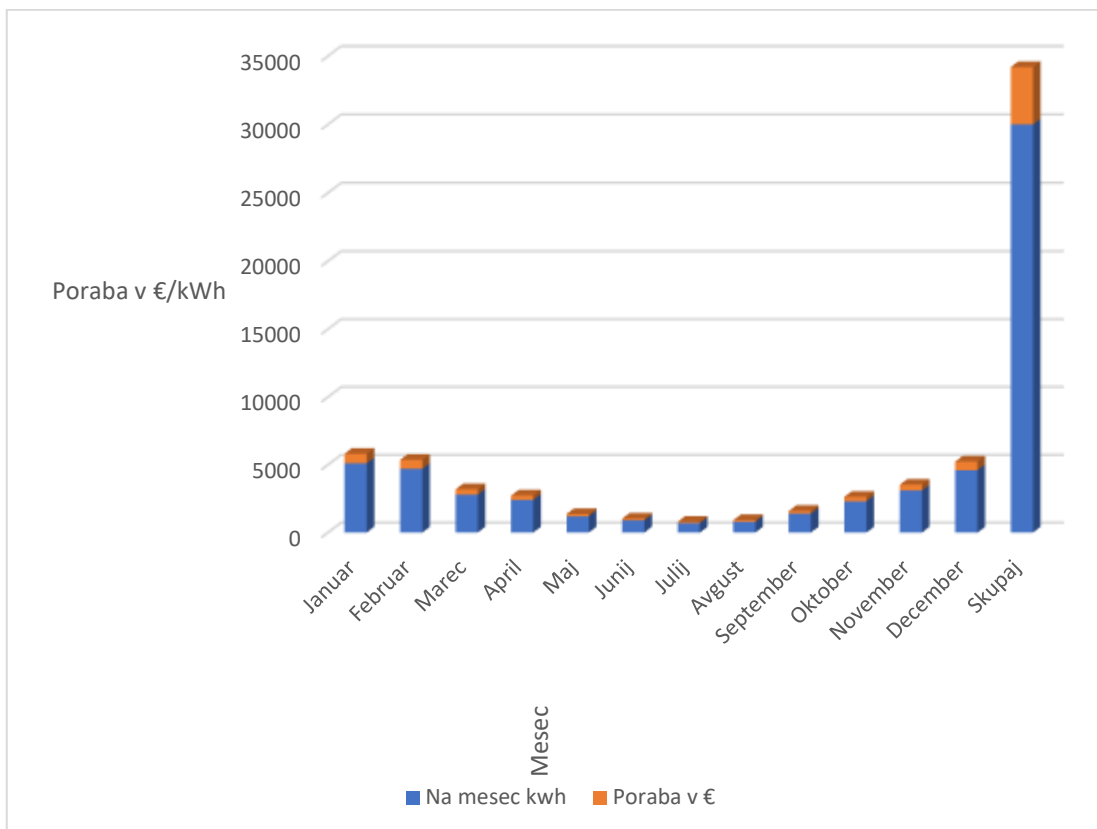
(Vir: Podjetje Atlas, 2023)



Slika 10: Distribucija energije in zahtevana kapaciteta
(Vir: Podjetje Atlas, 2023)



Slika 11: Prikaz prihranka energije po mesecih
(Vir: Podjetje Atlas, 2023)



Slika 12: Poraba energije s toplotno črpalko Mega po mesecih (ogrevanje + sanitarna voda)

(Vir: Podjetje Atlas, 2023)

Ogrevanje in priprava tople vode	Skupna potreba po energiji v objektu 119.500 kWh
Od tega ogrevanje prostorov	94.500 kWh
Od tega topla sanitarna voda	25.000 kWh
Skupna vložena energija vključno s toplo vodo	119.483 kWh
Dobavljena energija s toplotno črpalko	119.364 kWh
Porabljena energija toplotne črpalke	29.878 kWh
Od tega notranje obtočne črpalke	961 kWh
Porabljena energija pomožnega grelca	119 kWh
Integrirano ($\eta = 100\%$)	119 kWh
Skupna porabljena (kupljena) energija	29.997 kWh
Prihranek energije	89.486 kWh
Letno grelno število brez pomožnega grelca	4,0
Letno grelno število	4,0
Zahtevana toplotna moč pri projektni zunanji temperaturi	39,3 kW
Moč toplotne črpalke pri projektni zunanji temperaturi	42,2 kW
Zahtevana moč pomožnega grelca pri projektni zunanji temperaturi	0,0 kW
Pokritje potrebe po toploti	100 %
Pokritje moči pri projektni zunanji temperaturi, samo toplotna črpalka	107 %
Obratovalne ure	5.708 h
Maksimalna temperatura slanice	7,5 °C
Minimalna temperatura slanice	-0,2 °C
Aktivna globina vrtanja	100 m
Število vrtin	10
Specifična moč pri projektni zunanji temperaturi	24 W/m
Specifična energija	90 kWh/m

Tabela 4: Podrobnosti izračuna – rezultati
(Vir: Podjetje Atlas, 2023)

3.1 SWOT ANALIZA

S SWOT analizo, ki je tehnika strateškega načrtovanja in upravljanja, sem želel prikazati prednosti, slabosti, priložnosti in nevarnosti v povezavi z izkoriščanjem geotermalne energije. Namen je bil analizirati smiselnost investiranja v ogrevanje z geosondo. Opazimo lahko, da ima več prednosti kot slabosti, prav tako pa tudi kar nekaj priložnosti.

<p style="text-align: center;">PREDNOSTI</p> <ul style="list-style-type: none"> - čista in varna za okolje, brez škodljivih izpustov toplogrednih plinov - zaloge geotermalne energije so praktično neizčrpne - geotermalne elektrarne zavzamejo razmeroma malo prostora 	<p style="text-align: center;">SLABOSTI</p> <ul style="list-style-type: none"> - možnost izkoriščanja geotermalne energije le na ustreznih lokacijah, kjer je ta vir energije na voljo - visoki investicijski stroški
<p style="text-align: center;">PRILOŽNOSTI</p> <ul style="list-style-type: none"> - možnost subvencije (do 20 % od investicije) - ekonomska učinkovitost brez vplivov cen na trgu 	<p style="text-align: center;">NEVARNOSTI</p> <ul style="list-style-type: none"> - sproščanje določenih snovi in plinov globoko iz zemlje, ki lahko pridejo na površje (npr. vodikov sulfid)

Slika 13: Swot analiza

(Lastni vir)

3.2 PODROBNOSTI IZRAČUNA

Večstanovanjska stavba, zgrajena leta 1925, stoji v Pivki na nadmorski višini 554 m (45,6814 N, 14,1991 E), kjer je povprečna letna temperatura 7,2 °C. Površina, potrebna za ogrevanje, meri 557 m², povprečna notranja temperatura pa znaša 22 °C.

Objekt: Večstanovanjska hiša	Ogrevana površina	534	m ²
Notranja temperatura		22,0	°C
Notranji toplotni dobitki		3,0	°C
Zunanja temperatura za dimenzioniranje		-13	°C
Ogrevalni sistem		Poljubno	
Temperatura dovoda pri projektni zunanji temperaturi		50	°C
Temperatura povratka pri projektni zunanji temperaturi		42	°C
Izračunana poraba energije		94.500	kWh

Tabela 5: Vstopni podatki
(Vir: Podjetje Atlas, 2023)

Spodnja tabela prikazuje trenutne stroške ogrevanja posameznega stanovanja. Všteti so tudi stroški vzdrževanja kurilnih naprav (dimnikar). Štiri stanovanja se ogrevajo na pelete, tri na drva, eno pa z IR paneli. Vsa stanovanja se ogrevajo z radiatorji, razen stanovanja, ki se ogreva z IR paneli. Za računanje sem upošteval letošnje povprečne cene energentov, in sicer:

- Peleti 500 €/t
- Drva 70 €/m³
- Kilovatna ura 0,098 €/kWh

Stanovanja	Kvadratura stanovanj v m ²	Poraba energentov na /leto v € (drva, peleti, elektrika + stroški)
1. stanovanje	82	1.500 €
2. stanovanje	86	1.540 €
3. stanovanje	69	1.250 €
4. stanovanje	60	600 €
5. stanovanje	65	980 €
6. stanovanje	70	1.120 €
7. stanovanje	58	750 €
8. stanovanje	67	1.250 €
Stroški		698 €
Skupaj	557	9.688€

*Tabela 6: Trenutni stroški ogrevanja
(Lastni vir))*

Spodnja tabela nam prikazuje porabo energije večstanovanjskega objekta (vseh osem stanovanj) v kWh in evrih glede na mesec. Vključeno je ogrevanje prostorov, kot tudi ogrevanje sanitarne vode.

Poraba s toplotno črpalko + sanitarna voda kWh/leto	Na mesec kWh	Poraba v €
Januar	5100	714 €
Februar	4700	658 €
Marec	2800	392 €
April	2400	336 €
Maj	1200	168 €
Junij	900	126 €
Julij	700	98 €
Avgust	800	112 €
September	1400	196 €
Oktober	2300	322 €
November	3100	434 €
December	4600	644 €
Skupaj	30000	4.200 €

*Tabela 7: Poraba kWh/€ na mesec
(Lastni vir))*

Skupna potreba po energiji v objektu	Energija	Strošek
Toplota	94.500 kWh/leto	
Topla sanitarna voda	25.000 kWh/leto	
Skupaj	119.500 kWh/leto	
Skupna vložena energija, vključno s toplo vodo	119.483 kWh/leto	
Poraba energije s ponujeno toplotno črpalko		
Toplota	22.286 kWh/leto	3.120 €/leto
Topla sanitarna voda	7.711 kWh/leto	1.080 €/leto
Skupaj	29.997 kWh/leto	4.200 €/leto
Prihranek s ponujeno toplotno črpalko	89.503 kWh/leto	
<i>Letno grelno število sistema* = 3,98</i>		

*Tabela 8: Skupni prihranek s ponujeno toplotno črpalko
(Vir: Podjetje Atlas, 2023)*

Podjetje Atlas ocenjuje vrednost naložbe na 140.000 €. V ceno so vključeni vsi stroški vrtanja vrtin, geosond in toplotne črpalke ter material za vgradnjo. Podjetje zatrjuje, da se predvidoma 50 let po vgradnji ne pričakuje dodatnih stroškov vzdrževanja. Če upoštevamo najvišjo možno višino subvencije Ekosklada, kar je 20 % investicije, bi celotna naložba stala 112.000 €.

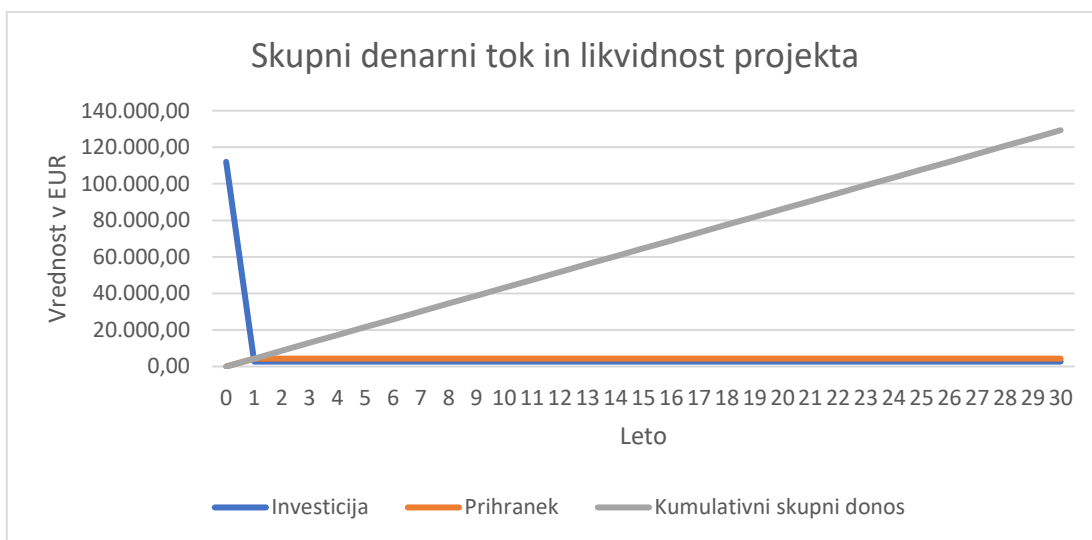
Tabele prikazujejo skupni denarni tok od izgradnje do tridesetega leta.

Stanje	Skupaj	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Leto		2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
I. Skupni donos (1+2+3)	216.988,75	112.000,00	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25
Skupni prihodek razlika cene energenta	104.988,75	0,00	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25
1. Skupna sredstva	112.000,00	112.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2.1. Lastna sredstva	112.000,00	112.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
II. Skupni odhodki	152.331,25	112.000,00	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75
3. Naložbe v osnovna sredstva	112.000,00	112.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4. Električna	40.331,25	0,00	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75
5. Letni stroški vzdrževanja	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
III. Neto skupni donos	64.657,50	0,00	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50
IV. Kumulativni skupni donos		0,00	4.310,50	8.621,00	12.931,50	17.242,00	21.552,50	25.863,00	30.173,50	34.484,00	38.794,50

10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039
6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25
6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50
43.105,00	47.415,50	51.726,00	56.036,50	60.347,00	64.657,50	68.968,00	73.278,50	77.589,00	81.899,50

20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25
6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50
86.210,00	90.520,50	94.831,00	99.141,50	103.452,00	107.762,50	112.073,00	116.383,50	120.694,00	125.004,50	129.315,00

Tabela 9: Skupni denarni tok
(Lastni vir)

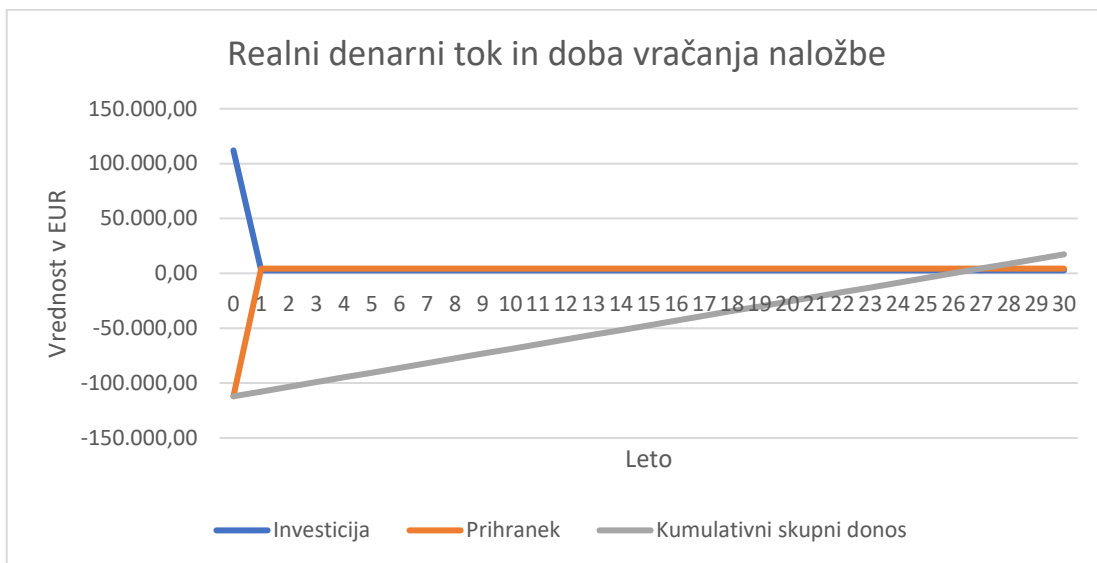


Slika 14: Skupni denarni tok
(Lastni vir))

Stanje	Skupaj	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Leto		2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
I. Skupni donos (1+2)	104.988,75	0,00	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25
1. Skupni prihodek razlika cene	104.988,75	0,00	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25
2. Skupna	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
II. Skupni	152.331,25	112.000,00	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75
3. Naložbe v osnovna sredstva	112.000,00	112.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4. Električna	40.331,25	0,00	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75
5. Letni stroški vzdrževanja	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
III. Neto skupni donos	-47.342,50	-112.000,00	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50
IV. skupni donos		-112.000,00	-107.689,50	-103.379,00	-99.068,50	-94.758,00	-90.447,50	-86.137,00	-81.826,50	-77.516,00

9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039
6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25
6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50
-73.205,50	-68.895,00	-64.584,50	-60.274,00	-55.963,50	-51.653,00	-47.342,50	-43.032,00	-38.721,50	-34.411,00	-30.100,50
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25
6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25	6.999,25
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75	2.688,75
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50	4.310,50
-25.790,00	-21.479,50	-17.169,00	-12.858,50	-8.548,00	-4.237,50	73,00	4.383,50	8.694,00	13.004,50	17.315,00

Tabela 10: Realni denarni tok
(Lastni vir)



Slika 15: Realni denarni tok
(Lastni vir)

Sedanja vrednost projekta		r= 2%					
Časovna obdobja		Skupni donosi Sd brez diskont.	Skupni odhodki So brez diskontiranja	Diskontna stopnja r = 2 %	Diskontni faktor	Skupni donos Sd pri 2 % diskont. faktorju	Skupni odhodki So pri 2 % diskont. faktorju
Tekoči indeksi	Leto			$(1+r)^i$	$\frac{1}{(1+r)^n}$		
0	2022	0,00	112.000,00	1	1	0,00	112.000,00
1	2023	6.999,25	2.688,75	1,02	0,98	6.862,01	2.636,03
2	2024	6.999,25	2.688,75	1,04	0,96	6.727,46	2.584,34
3	2025	6.999,25	2.688,75	1,06	0,94	6.595,55	2.533,67
4	2026	6.999,25	2.688,75	1,08	0,92	6.466,23	2.483,99
5	2027	6.999,25	2.688,75	1,10	0,91	6.339,44	2.435,28
6	2028	6.999,25	2.688,75	1,13	0,89	6.215,13	2.387,53
7	2029	6.999,25	2.688,75	1,15	0,87	6.093,27	2.340,72
8	2030	6.999,25	2.688,75	1,17	0,85	5.973,79	2.294,82
9	2031	6.999,25	2.688,75	1,20	0,84	5.856,66	2.249,83
10	2032	6.999,25	2.688,75	1,22	0,82	5.741,82	2.205,71
11	2033	6.999,25	2.688,75	1,24	0,80	5.629,24	2.162,46
12	2034	6.999,25	2.688,75	1,27	0,79	5.518,86	2.120,06
13	2035	6.999,25	2.688,75	1,29	0,77	5.410,65	2.078,49
14	2036	6.999,25	2.688,75	1,32	0,76	5.304,56	2.037,74
15	2037	6.999,25	2.688,75	1,35	0,74	5.200,55	1.997,78
16	2038	6.999,25	2.688,75	1,37	0,73	5.098,57	1.958,61
17	2039	6.999,25	2.688,75	1,40	0,71	4.998,60	1.920,20
18	2040	6.999,25	2.688,75	1,43	0,70	4.900,59	1.882,55
19	2041	6.999,25	2.688,75	1,46	0,69	4.804,50	1.845,64
20	2042	6.999,25	2.688,75	1,49	0,67	4.710,29	1.809,45
21	2043	6.999,25	2.688,75	1,52	0,66	4.617,94	1.773,97
22	2044	6.999,25	2.688,75	1,55	0,65	4.527,39	1.739,19
23	2045	6.999,25	2.688,75	1,58	0,63	4.438,62	1.705,09
24	2046	6.999,25	2.688,75	1,61	0,62	4.351,58	1.671,65
25	2047	6.999,25	2.688,75	1,64	0,61	4.266,26	1.638,88
26	2048	6.999,25	2.688,75	1,67	0,60	4.182,61	1.606,74
27	2049	6.999,25	2.688,75	1,71	0,59	4.100,59	1.575,24
28	2050	6.999,25	2.688,75	1,74	0,57	4.020,19	1.544,35
29	2051	6.999,25	2.688,75	1,78	0,56	3.941,36	1.514,07
30	2052	6.999,25	2.688,75	1,81	0,55	3.864,08	1.484,38
Skupaj		174.981,25	179.218,75			136.649,55	164.493,69
SV						Sd - So =	-27.844,14

Tabela 11: Sedanja vrednost projekta
(Lastni vir)

$$SV = \sum_{t=1}^{t=n-25} (Sd - So) \cdot \frac{1}{(1+r)^t} = \sum_{t=1}^{t=n-25} Sd \cdot \frac{1}{(1+r)^t} - \sum_{t=1}^{t=n-25} So \cdot \frac{1}{(1+r)^t}$$

$$SV = 27.844,14 > 0$$

Pogoj $Sd > So$ je izpolnjen tako, da je projekt s finančnega vidika sprejemljiv.

Kjer je:

SV – sedanja vrednost

i – časovno obdobje

n – časovno obdobje v življenjski dobi trajanja projekta

Sd – skupni donos projekta

So – skupni odhodki projekta

r – diskontna stopnja

Σ – seštevanje (vsota števil od...do...za, sigma)

		r = 3 %				r = 4 %					
Interna stopnja donosnosti											
Tekoči indeksi	Leto	Skupni donosi Sd brez diskont.	Skupni odhodki So brez diskontiranja	Diskontna stopnja r = 3 %	Diskontni faktor	Skupni donos Sd pri 3 % diskont. faktorju	Skupni odhodki So pri 3 % diskont. faktorju	Diskontna stopnja r = 4 %	Diskontni faktor	Skupni donos Sd pri 4 % diskont. faktorju	Skupni odhodki So pri 4 % diskont. faktorju
				$(1+r)^i$	$\frac{1}{(1+r)^n}$			$(1+r)^i$	$\frac{1}{(1+r)^n}$		
0	2023	0,00	112.000,00	1	1	0,00	112.000,00	1	1	0,00	112.000,00
1	2024	6.999,25	2.688,75	1,03	0,97	6.795,39	2.610,44	1,04	0,96	6.730,05	2.585,34
2	2025	6.999,25	2.688,75	1,06	0,94	6.597,46	2.534,40	1,08	0,92	6.471,20	2.485,90
3	2026	6.999,25	2.688,75	1,09	0,92	6.405,31	2.460,59	1,12	0,89	6.222,31	2.390,29
4	2027	6.999,25	2.688,75	1,13	0,89	6.218,74	2.388,92	1,17	0,85	5.982,99	2.298,35
5	2028	6.999,25	2.688,75	1,16	0,86	6.037,61	2.319,34	1,22	0,82	5.752,87	2.209,96
6	2029	6.999,25	2.688,75	1,19	0,84	5.861,76	2.251,79	1,27	0,79	5.531,61	2.124,96
7	2030	6.999,25	2.688,75	1,23	0,81	5.691,03	2.186,20	1,32	0,76	5.318,85	2.043,23
8	2031	6.999,25	2.688,75	1,27	0,79	5.525,27	2.122,52	1,37	0,73	5.114,28	1.964,64
9	2032	6.999,25	2.688,75	1,30	0,77	5.364,34	2.060,70	1,42	0,70	4.917,58	1.889,08
10	2033	6.999,25	2.688,75	1,34	0,74	5.208,10	2.000,68	1,48	0,68	4.728,44	1.816,42
11	2034	6.999,25	2.688,75	1,38	0,72	5.056,41	1.942,41	1,54	0,65	4.546,58	1.746,56
12	2035	6.999,25	2.688,75	1,43	0,70	4.909,13	1.885,84	1,60	0,62	4.371,71	1.679,39
13	2036	6.999,25	2.688,75	1,47	0,68	4.766,15	1.830,91	1,67	0,60	4.203,57	1.614,79
14	2037	6.999,25	2.688,75	1,51	0,66	4.627,33	1.777,58	1,73	0,58	4.041,89	1.552,69
15	2038	6.999,25	2.688,75	1,56	0,64	4.492,55	1.725,81	1,80	0,56	3.886,44	1.492,97
16	2039	6.999,25	2.688,75	1,60	0,62	4.361,70	1.675,54	1,87	0,53	3.736,96	1.435,55
17	2040	6.999,25	2.688,75	1,65	0,61	4.234,66	1.626,74	1,95	0,51	3.593,23	1.380,33
18	2041	6.999,25	2.688,75	1,70	0,59	4.111,32	1.579,36	2,03	0,49	3.455,03	1.327,24
19	2042	6.999,25	2.688,75	1,75	0,57	3.991,57	1.533,36	2,11	0,47	3.322,14	1.276,19
20	2043	6.999,25	2.688,75	1,81	0,55	3.875,32	1.488,70	2,19	0,46	3.194,37	1.227,11
21	2044	6.999,25	2.688,75	1,86	0,54	3.762,44	1.445,34	2,28	0,44	3.071,51	1.179,91
22	2045	6.999,25	2.688,75	1,92	0,52	3.652,86	1.403,24	2,37	0,42	2.953,37	1.134,53
23	2046	6.999,25	2.688,75	1,97	0,51	3.546,46	1.362,37	2,46	0,41	2.839,78	1.090,90
24	2047	6.999,25	2.688,75	2,03	0,49	3.443,17	1.322,69	2,56	0,39	2.730,56	1.048,94
25	2048	6.999,25	2.688,75	2,09	0,48	3.342,88	1.284,16	2,67	0,38	2.625,54	1.008,60
26	2049	6.999,25	2.688,75	2,16	0,46	3.245,52	1.246,76	2,77	0,36	2.524,55	969,80
27	2050	6.999,25	2.688,75	2,22	0,45	3.150,99	1.210,45	2,88	0,35	2.427,46	932,50
28	2051	6.999,25	2.688,75	2,29	0,44	3.059,21	1.175,19	3,00	0,33	2.334,09	896,64
29	2052	6.999,25	2.688,75	2,36	0,42	2.970,11	1.140,96	3,12	0,32	2.244,32	862,15
30	2053	6.999,25	2.688,75	2,43	0,41	2.883,60	1.107,73	3,24	0,31	2.158,00	828,99
Skupaj		209.977,50	192.662,50			137.188,39	164.700,69			121.031,26	158.493,95
				NSD _p		Sd - So =	-27.512,30	NSD _n		Sd - So =	-37.462,69

Tabela 12: Interna stopnja donosnosti
(Lastni vir)

V nadaljevanju sem želel z izračuni prikazati donosnost investicije. Namen je bil izračunati, v kolikšnem času se investicija povrne in ali se finančno splača.

$$ISD = r_p + (r_p - r_n) * \frac{NSD_p}{NSD_p - NSD_n}$$

kjer je:

ISD – interna stopnja donosnosti

NSD – neto skupni donos (*S_d* – *S_o*)

r_p – diskontna stopnja, pri kateri je *NSD* pozitiven

r_n – diskontna stopnja, pri kateri je *NSD* negativen

NSD_p – *NSD* pri uporabljeni diskontni stopnji *r_p*

NSD_n – *NSD* pri uporabljeni diskontni stopnji *r_n*

N – naložba

S_o – stroški projekta (negativna števila)

S_d – prihodki projekta (pozitivna števila)

<i>r_p</i>	0,9 %
<i>r_n</i>	2 %
<i>NSD_p</i>	886,23 €
	-
<i>NSD_n</i>	15.460,08 €

ISD	0,96 %
------------	---------------

ISD predstavlja obrestno mero, ki jo prejmemo za naložbo, v našem primeru je ta 0,96 %.

IZRAČUN KAZALNIKOV – REALNI DENARNI TOK

Kazalnik gospodarnosti ali ekonomičnosti

$$E = \frac{Sd}{So}$$

$$Sd = 136.649,55 \text{ €}$$

$$So = 164.493,69 \text{ €}$$

$$E = \mathbf{0,831}$$

Poslovanje je pozitivno, kadar je koeficient večji od 1, kar v našem primeru ni. Večji ko je kazalnik ekonomičnosti, bolj ekonomsko učinkovito je preoblikovanje odhodkov v prihodke.

Kazalnik donosnosti naložb

$$D = \frac{Sd - So}{N} \cdot 100(\%)$$

$$Sd = 136.649,55 \text{ €}$$

$$So = 164.493,69 \text{ €}$$

$$N = 112.000,00 \text{ €}$$

$$D = \mathbf{-24,9 \%}$$

Ker je kazalnik manjši od 0, naložba ni donosna.

Kazalnik donosnosti odhodkov

$$Do = \frac{Sd - So}{So} \cdot 100(\%)$$

Sd = 136.649,55 €

So = 164.493,69 €

Do = **-16,9 %**

V našem primeru je vrednost kazalnika negativna, kar kaže na izgubo.

Doba vračanja naložbe

EVS = t = N/(Sd-Sop)

Sdp = 6.862,01 €

Sop = 2.636,03 €

N = 112.000,00 €

EVS = **26,5 let**

Vsi kazalniki so izračunani pri diskontni stopnji 2 %.

N – vložena sredstva, EVS – odplačilna doba v letih, Sd – skupni donos projekta, So – skupni odhodki projekta.

Stroške naložbe sem razdelil glede na površino posameznega stanovanja. Tabela prikazuje ceno, ki bi jo moralo plačati vsako stanovanje posebej (20 % naložbe sofinancira Ekosklad).

Stanovanja	Površina stanovanj v m ²	Letni strošek z geotermalno sondo/na stanovanje	Investicija geotermalne sonde in vsi stroški dela/cca na stanovanje
1. stanovanje	82	459 €	16.488 €
2. stanovanje	86	482 €	17.293 €
3. stanovanje	69	386 €	13.874 €
4. stanovanje	60	336 €	12.065 €
5. stanovanje	65	364 €	13.071 €
6. stanovanje	70	392 €	14.075 €
7. stanovanje	58	326 €	11.662 €
8. stanovanje	67	375 €	13.472 €
Skupaj	557	3120 €	112.000 €

Tabela 13: Cena investicije za posamezno stanovanje
(Lastni vir)



Slika 16: Cena investicije na posamezno stanovanje
(Lastni vir)

4 ZAKLJUČEK

Geotermalna energija ponuja precej nižje obratovalne stroške, vendar so stroški naložbe zelo visoki. V primeru, predstavljenem v diplomskem delu, vsi izračuni kažejo, da se ta investicija ne izplača. Glede na izračune bi se celotna investicija povrnila šele v 26,5 leta. Stavba je stara in neustrezno toplotno izolirana, zato so toplotne izgube velike. Za optimizacijo stroškov bi bila potrebna naložba v izolacijo objekta in zamenjavo vseh oken. Pri tem velja upoštevati, da je stavba spomeniško zaščiten, kar otežuje investicijo in jo tudi podraži. Večina stanujočih je upokojencev in je zanje predvidena doba za povračilo stroškov naložbe predolga. Še dodaten strošek pa bi predstavljal kredit oziroma njegove obresti, saj lastnih sredstev iz rezervnega sklada ni dovolj. Rešitev vidimo v večjem subvencioniranju tovrstnega načina ogrevanja s strani države, saj bi se tako stroški investicije zmanjšali.

Tovrsten način ogrevanja je zelo dober za mlade in mlade družine, ki živijo v novogradnji, saj se jim naložba izplača. Način ogrevanja je čist ter brez truda in dodatnega dela, poleg tega pa v poletnih mesecih prostore tudi prijetno hladi. Pričakovati je, da se bo cena investicije v prihodnosti znižala, saj je to največja ovira in obenem razlog, da geotermalna energija ostaja slabo izkoriščena.

5 LITERATURA IN VIRI

Ahmed et al. (2022). *A Critical Review on the Use of Shallow Geothermal Energy Systems for Heating and Cooling Purposes*. Pridobljeno 22. 1. 2023 z naslova <https://doi.org/10.3390/en15124281>.

Atlas trading d.o.o. (2023). *Thermia Mega*. Pridobljeno 22. 1. 2023 z naslova <https://geotermalna.si/toplotne-crpalko-zemlja-voda-in-voda-voda/mega>.

Čandič K. (2019). *Ocena potenciala plitve geotermalne energije na območju gradnje zasebne hiše*. Diplomsko delo, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Naravoslovno tehniška fakulteta.

Esteban, R. (2019). *Shallow geothermal energy. Geological energy for the ecological transition and its inclusion in European and national energy policies*. *European Geologist Journal* no. 47. Pridobljeno 28. 1. 2023 z naslova https://www.academia.edu/39010722/Shallow_geothermal_energy_Geological_energy_for_the_ecological_transition_and_its_inclusion_in_European_and_national_energy_policies?auto=download.

Grobovšek, B. (2009). *Praktična uporaba toplotnih črpalk*. Ljubljana: Energetika marketing.

Ograjenšek A. (2016). *Izkoriščanje geotermalne energije za ogrevanje stavb na območju občine Polzela*. Magistrsko delo. Fakulteta za energetiko, UM. Pridobljeno 22. 1. 2023 z naslova <https://dk.um.si/Dokument.php?id=96712&lang=slv>.

Plistor d.o.o. (2023). *Kako deluje sistem uporabe Geotermalne energije?* Pridobljeno 22. 1. 2023 z naslova <https://plistor.si/geotermalna-energija/>.

Prestor, J. (2012). *Nizkotemperaturna geotermalna energija: Neizčrpen vir energije neposredno pod našo hišo*. Pridobljeno 22. 1. 2023 z naslova https://issuu.com/visart.studio/docs/prirocnikgeo.power_a4_2012-11_ebook.

Prestor, J. (2016). *Smernice za vrtanje v plitvi geotermiji do globine 300 m*. Ljubljana: Ministrstvo za infrastrukturo. Pridobljeno 22.1.2023 z naslova <https://www.energetika-portal.si/podrocja/rudarstvo/plitvageotermalna-energija/>.

Sanner B. in Boissavy .C (2020). *Geothermal Energy for heating and cooling – a roadmap to 2020 (EU-project K4RES-H)*. EGEC asbl, Renewable Energy House, Rue d'Arlon 63-65, B-1040 Brussels, Belgium. Pridobljeno 22. 1. 2023 z naslova [http://sanner-online.de/media/final\\$20paper\\$20K4RES-H.pdf](http://sanner-online.de/media/final$20paper$20K4RES-H.pdf).

Termoshop (2023). O toplotnih črpalkah. Pridobljeno 28. 1. 2023 z naslova <https://www.termoshop.si/o-toplotnih-crpalkah/>.

Vukelić Ž., Šporin J., Janc B. (2019). Dimenzioniranje geosonde (in toplotni vplivni radij) za postavitev toplotnega ogrevalnega sistema toplotno črpalko – primer iz Škofje Loke, 68, 86 - 94. Pridobljeno 22. 1. 2023 z naslova <http://arhiv.izs.si/fileadmin/dokumenti/msg/Gradbeni-vestnik-avgust-2019.pdf>.

Zhengxuan Liu et al. (2022). *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1085 012026. Pridobljeno 22. 1. 2023 z naslova <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1085/1/012026>