



B&B
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Elektroenergetika
Modul: Zaščita in učinkovitost

SAMOOSKRBNA ENERGIJA IZ SONČNE ELEKTRARNE S HRANILNIKOM IN GEOTERMALNI SISTEM Z GEOSONDO

Mentor: dr. Viktor Lovrenčič,
univ. dipl. inž. el.
Lektorica: Irena Starič, prof. slovenščine

Kandidat: Robert Avsec

Dešen, september 2025

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju dr., Viktor Lovrenčič, univ. dipl. inž. el..

Zahvaljujem se tudi lektorici Irena Starič, ki je mojo diplomsko nalogo jezikovno in slovnično pregledala.

Največja zahvala gre moji družini, ki me je spodbujala, prenašala in mi vlivala upanje pri uspešni izdelavi diplomskega dela.

IZJAVA

Študent Robert Avsec izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom dr. Viktor Lovrenčič, 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:

POVZETEK

Diplomska naloga obravnava sistem ogrevanja stanovanjskega objekta z uporabo obnovljivih virov energije, pri čemer se združujeta geotermalna energija, pridobljena z geosondo, in električna energija, pridobljena iz sončne elektrarne s hranilnikom. Geotermalni sistem, ki je bil vzpostavljen že predhodno, zagotavlja osnovno ogrevanje s pomočjo toplotne črpalke, medtem ko sončna elektrarna z baterijskim hranilnikom zagotavlja preostalo električno energijo, potrebno za delovanje toplotne črpalke in dogrevanje na želeno temperaturo.

Namen naloge je analizirati učinkovitost in trajnost kombiniranega sistema za doseganje energetske neodvisnosti objekta pri ogrevanju. V okviru naloge so obravnavane metode dimenzioniranja sončne elektrarne in izbire ustreznega baterijskega hranilnika ter izvedena ocena sezone porazdelitve proizvodnje in porabe energije. Poseben poudarek je namenjen optimizaciji delovanja sistema v različnih letnih časih z namenom zagotoviti zanesljivo in trajnostno delovanje tako geotermalnega kot solarnega dela sistema.

Kombinacija geotermalnega sistema in sončne elektrarne z baterijskim hranilnikom predstavlja stroškovno učinkovito, okolju prijazno in tehnološko napredno rešitev. Takšen integrirani sistem omogoča znatno zmanjšanje odvisnosti od zunanjih energetskih virov, prispeva k trajnostni rabi obnovljivih virov energije ter zagotavlja stabilno oskrbo z energijo za potrebe ogrevanja skozi vse leto.

KLJUČNE BESEDE

- Geotermalni sistem,
- Sončna elektrarna,
- Hranilnik energije,
- Energetska samooskrba,
- Obnovljivi viri energije.

ABSTRACT

The thesis deals with a heating system for a residential building using renewable energy sources, combining geothermal energy obtained from a geoprobe and electricity obtained from a solar power plant with a storage tank. The geothermal system, which has already been pre-established, provides the basic heating by means of a heat pump, while the solar power plant with battery storage provides the residual electricity needed to run the heat pump, which converts it to heat up to the desired heating temperature.

The aim of the thesis is to analyse the efficiency and sustainability of the combined system to achieve energy independence of the building in terms of heating. The thesis discusses the methods of sizing the solar power plant and the selection of the appropriate battery storage, and assesses the seasonal distribution of energy production and consumption. Particular emphasis is given to the optimisation of the system operation in different seasons, with the aim of ensuring reliable and sustainable operation of both the geothermal and the solar part of the system.

The combination of the geothermal system, and the addition of a solar power plant with battery energy storage, represents a cost-effective, environmentally friendly and technologically advanced solution. Such an integrated system allows a significant reduction in dependency on external energy sources, contributes to the sustainable use of renewable energy sources, and ensures a stable supply of energy for heating needs throughout the year.

KEYWORDS

- Geothermal systems,
- Solar power plant,
- Energy storage system,
- Energy self-sufficiency,
- Renewable energy sources.

KAZALO

1	UVOD	1
1.1	Opredelitev problema in teoretičnih izhodišč	2
1.2	Predpostavke in omejitve	3
1.3	Metoda dela in podatki	3
1.3.1	Metodologija	3
1.3.2	Podatki ogrevalnega sistema z geotermalnim sistemom	4
1.3.3	Pridobivanje električne energije iz sončne elektrarne	4
1.3.4	Energetsko knjigovodstvo	4
1.3.5	Upravičenost investicije	4
1.3.6	Razumevanje integriranega sistema	5
2	PREGLED LITERATURE	6
2.1	Nacionalni energetski in podnebni načrt (NEPN)	6
2.1.1	Geotermalni sistem in (PV) sistem cilji (NEPN)	6
2.2	Zakonski predpisi geotermalnega sistema z geosondo	7
2.2.1	Dovoljenje za vgradnjo vrtine na vodovarstvenem območju	8
2.3	Zakonski predpisi vgradnje sončne elektrarne s hranilnikom	9
2.4	Načrt izvedbe integriranega projekta	11
2.5	Integriran pogled	11
2.5.1	Geotermalni sistem z geosondo in napravo (TČ) tip zemlja/voda	12
2.5.2	Sončna elektrarna s hranilnikom energije	12
3	GEOTERMALNI SISTEM Z GEOSONDO IN (TČ) ZEMLJA/VODA	14
3.1	Princip delovanja geotermalnega sistema	14
3.1.1	Tehnični izračuni za zemeljsko sondo	16
3.1.2	Odvzem toplotne energije iz kamnin	17
3.1.3	Inicialni črpalni preizkus	18
3.1.4	Delovni fluid	20
3.1.5	Hlajenje z geotermalnim sistemom	22
3.1.5.1	Hladilno sredstvo	23
3.1.5.2	Okoljski vpliv hladilnega sredstva (HFCs)	23
3.2	Princip delovanja toplotne črpalke	24
3.2.1	Zakaj imajo svetlo prihodnost?	25
3.2.2	Delovanje toplotne črpalke tip zemlja/voda	26
3.2.3	Princip delovanja ogrevalne naprave (TČ) tip zemlja/voda	27
3.2.4	Koeficient učinkovitosti naprave (TČ)	28
3.2.5	Koeficient učinkovitosti različnih tipov naprave (TČ)	28
3.3	Prednosti in slabosti geotermalnega ogrevalnega sistema	29
4	SONČNA ELKTRARNA S HRANILNIKOM ENERGIJE	31
4.1	Princip sončne energije	31
4.2.	Sončna celica	32
4.2.1	Delovanja sončne celice	33
4.2.2	Senčenje sončnih celic	34

4.3	Fotonapetostni modul	35
4.3.1	Sestava (PV) modula	35
4.4	Hranilnik energije.....	36
4.4.1	Tehnične značilnosti hranilnika energije	37
4.5	Razsmernik.....	39
4.6	Optimizator.....	39
4.7	Fotonapetostni sistem.....	40
4.7.1	Omrežni sistem	41
4.7.2	Samostojni sistem	41
4.8	Novi sistem obračunavanja.....	41
5	SAMOOSKRBA OBJEKTA Z GEOTERMALNO IN SONČNO ENERGIJO ..	43
5.1	Tehnični opis obstoječega geotermalnega sistema.....	43
5.1.1	Izračun tehničnih podatkov geotermalnega sistema	44
5.1.2	Investicija v geotermalni sistem z geosondo	48
5.1.3	Donos geotermalnega sistema.....	48
5.2	Integracija energije geotermalnega in fotonapetosnega sistema.....	49
5.3	Tehnični opis sončne elektrarne s hranilnikom.....	49
5.3.1	Tehnični podatki komponent (PV) sistema	50
5.3.1.1	Fotovoltaični (PV) modul	50
5.3.1.2	Optimizator (PV) modula	51
5.2.2.3	Razsmernik (PV) sistema	51
5.2.2.4	Hranilnik energije	52
5.3.2	Pretvarjanje sončne energije v električno energijo	53
5.4	Investicija v (PV) sistem s hranilnikom	56
5.5	Sredstva naložbe geotermalnega in (PV) sistema	57
5.5.1	Amortizacijska stopnja geotermalnega in (PV) sistema	57
5.5.2	Izračun amortizacije geotermalnega in (PV) sistema.....	57
5.5.3	Individualna diskontna stopnja geotermalnega in (PV) sistema	58
5.6	Denarni tok.....	59
5.6.1	Skupni denarni tok	59
5.5.2	Realni denarni tok	60
6	Ekonomске metode	63
6.1	Metoda sedanje vrednosti naložbe (NSV)	63
6.2	Metoda interne stopnje donosnosti.....	64
6.2.1	Interna stopnja donosa naložbe geotermalnega sistema (ISD)	64
6.2.2	Interna stopnja donosa naložbe (PV) sistema (ISD).....	65
6.3	Upravičenost naložbe geotermalnega in (PV) sistema.....	65
6.3.1	Enostavna doba vračanja naložbe (EVS).....	65
6.3.1.1	Doba vračanja naložbe geotermalnega sistema	65
6.3.1.2	Doba vračanja naložbe (PV) sistema.....	66
6.3.2	Kazalnik učinkovitosti in uspešnosti naložbe (E)	66
6.3.2.1	Kazalnik ekonomičnosti naložbe geotermalnega sistema	66
6.3.2.2	Kazalnik ekonomičnosti naložbe (PV) sistema	67

6.3.3	Kazalnik donosnosti in rentabilnosti naložbe (D)	67
6.3.3.1	Kazalnik donosnosti naložbe geotermalnega sistema	67
6.3.3.2	Kazalnik donosnosti naložbe (PV) sistema	68
6.3.4	Kazalnik donosnosti odhodkov naložbe (Do)	68
6.3.4.1	Kazalnik donosnosti odhodkov naložbe geotermalnega sistema	68
6.3.4.2	Kazalnik donosnosti odhodkov naložbe (PV) sistema	69
6.4	Ocena tveganja in negotovosti (PV) sistema	69
6.4.1	Povečani stroški za 10 % naložbe (PV) sistema	69
6.4.2	Zmanjšani prihodki za 10 % naložbe (PV) sistema	69
6.5	Pokazatelji uspešnosti pri povečanih 10 % stroških (PV) sistema	70
6.5.1	Enostavna doba vračanja naložbe (PV) sistema	70
6.5.2	Kazalnik ekonomičnosti naložbe (PV) sistema	70
6.5.3	Kazalnik donosnosti naložbe (PV) sistema	70
6.5.4	Kazalnik donosnosti odhodkov naložbe (PV) sistema	70
6.6	Pokazatelji uspešnosti pri zmanjšanih 10 % prihodkih (PV) sistema	71
6.6.1	Enostavna doba vračanja naložbe (PV) sistema	71
6.6.2	Kazalnik ekonomičnosti naložbe (PV) sistema	71
6.6.3	Kazalnik donosnosti naložbe (PV) sistema	71
6.6.4	Kazalnik donosnosti odhodkov naložbe (PV) sistema	71
6.7	Geotermalni sistem brez integracije z (PV) sistemom	71
6.7.1	Naložba geotermalnega sistema z geosondo	71
6.8	Pokazatelji geotermalnega sistema brez sinergije (PV) sistema	72
6.8.1	Enostavna doba vračanja geotermalnega sistema	72
6.8.2	Kazalnik ekonomičnosti naložbe geotermalnega sistema	72
6.8.3	Kazalnik donosnosti naložbe geotermalnega sistema	72
6.8.4	Kazalnik donosnosti odhodkov naložbe geotermalnega sistema	73
6.9	Primerjalna analiza naložbe geotermalnega in (PV) sistema	73
7	RAZPRAVA O REZULTATIH	75
7.1	Okoljski vpliv delovanja geotermalnega in (PV) sistema	75
7.1.1	Ogrevanje z geotermalnim sistemom z geosondo	75
7.1.2	Pridobivanje in shranjevanje energije z (PV) sistemom	75
7.2	Ogljični odtis geotermalnega in (PV) sistema	76
7.2.1	Geotermalni sistem z geosondo in (TČ) zemlja/voda	76
7.2.2	Fotovoltaični (PV) sistem s hranilnikom energije	76
7.2.3	Primerjava ogljičnega odtisa brez in z (PV) sistemom	76
7.3	Učinkovitost geotermalnega in (PV) sistema	78
8	ZAKLJUČEK	80
8.1	Korist družbi (benefit)	81
9	LITERATURA IN VIRI	82
PRILOGE		85

KAZALO SLIK

Slika 1: Integracija geotermalnega sistema in sončne elektrarne.....	11
Slika 2: Geosonda na 100,00 m, kjer je konstantna temperatura 12,00 °C.....	14
Slika 3: Prečni prikaz različnih tipov izvedb geosond prirejeno po (Sass 2016).	16
Slika 4: Splošni potek delovanje (TČ) s tremi pridobljenimi viri toplote.....	26
Slika 5: Prikaže faktor zračnih mas, za različni točki na Zemlji.....	32
Slika 6: Prečni prerez sestave splošnega (PV) modula.	36
Slika 7: Potek proizvodnje, raba in oddajanje sončne energije.	40
Slika 8: Fotovoltaični (PV) modul oznaka (LG NeON 2 – 400W).....	50
Slika 9: Optimizator oznaka (Solar Edge P485).....	51
Slika 10: Razsmernik DC/AC oznaka (Solar Edge SE8K).....	52
Slika 11: Hranilnik energije oznaka (LG Chem RESU16H).	53
Slika 12: Primerjava proizvodnje (PV) sistema in količina električne energije.	55
Slika 13: Primerjava gostote moči sončnega obsevanja od 2024 do 2025.....	55
Slika 14: Skupni denarni tok geotermalnega sistema in likvidnost projekta.....	59
Slika 15: Skupni denarni tok (PV) sistema in likvidnost projekta.	60
Slika 16: Realni denarni tok geotermalnega sistema in dobo vračanja.	61
Slika 17: Realni denarni tok (PV) sistema in dobo vračanja.....	61
Slika 18: Primerjava nastanka ogljičnega odtisa med različnimi oblikami.	77

KAZALO TABEL

Tabela 1: Sestava različnih delovnih fluidov, ter njihove prednosti in pomenljivosti.	21
Tabela 2: Grelno število (COP) posameznih tipov naprav (TČ).	29
Tabela 3: Količina sončne energije za (PV) sistema od maja 2024 do aprila 2025.	54
Tabela 4: Primerjava gostote moči sončnega obsevanja od 2024 do 2025.	58
Tabela 5: Primerjalna analiza kazalnikov geotermalnega in (PV) sistema.	74
Tabela 6: Skupni denarni tok geotermalnega in (PV) sistema.	85
Tabela 7: Skupni denarni tok geotermalnega in (PV) sistema nadaljevanje.....	85
Tabela 8: Realni denarni tok geotermalnega in (PV) sistema.	86
Tabela 9: Realni denarni tok geotermalnega in (PV) sistema nadaljevanje.	86
Tabela 10: Metoda sedanje vrednosti naložbe geotermalnega sistema.....	87
Tabela 11: Metoda sedanje vrednosti naložbe (PV) sistema.	87
Tabela 12: Neto skupni donos geotermalnega sistema ($r_p = 10,00\%$).....	88
Tabela 13: Neto skupni donos geotermalnega sistema ($r_n = 13,00\%$).....	88
Tabela 14: Neto skupni donos (PV) sistema ($r_p = 8,00\%$).	89
Tabela 15: Neto skupni donos (PV) sistema ($r_n = 10,00\%$).	89
Tabela 16: Povečani stroški za 10,00 % naložbe pri ($r_p = 7,00\%$).	90
Tabela 17: Povečani stroški za 10,00 % naložbe pri ($r_p = 8,00\%$).	90
Tabela 18: Zmanjšani prihodki za 10,00 % naložbe pri ($r_p = 3,00\%$).	91
Tabela 19: Zmanjšani prihodki za 10,00 % naložbe pri ($r_n = 4,00\%$).	91
Tabela 20: Geotermalni sistem, brez oskrbe iz (PV) sistema, pri ($r_p = 7,00\%$).	92

Tabela 21: Geotermalni sistem, brez oskrbe iz (PV) sistema, pri ($r_n = 8,00\%$).	92
Tabela 22: Primerjava nastanka ogljičnega odtisa med različnimi oblikami.	93

KRATICE IN AKRONIMI

ZDA/U.S.:	Združene Države Amerike
RS:	Republika Slovenije
TČ:	Ogrevalna električna naprava ali toplotna črpalka
COP:	Koeficient učinkovitosti ali grelna število naprave (TČ)
CO ₂ :	Emisije toplogrednih plinov
NEPN:	Nacionalni energetske in podnebne načrt Slovenije
EKO sklad:	Evropska ali slovenska finančna spodbuda javnih sredstev
EUR:	Uradna valuta evra območja v Evropski uniji
PV:	Fotovoltaični sistem z uporabo fotovoltaičnih celic
ARSO:	Agencija (RS) za okolje, meteorologijo in hidrologijo
GWP:	Segrevano moč imenovano Global Warming Potential
NET Metering:	Sistem obračunavanja proizvodne in rabe električne energije
GEN – I Sonce:	Podjetje za storitve, vgradnje različnih sončnih elektrarn
DC:	Energija enosmernega toka
AC:	Energija izmeničnega toka
MPPT:	Nadzor optimizatorja sledenje točki maksimalne moči
ZRud – 1:	Zakon o rudarstvu za Slovenijo
ZVO – 1:	Zakon o varstvu okolja za Slovenijo
ZGO – 1:	Zakon o graditvi objektov za Slovenijo
GWP:	Hladilno sredstvo z visokim potencialom globalnega segrevanja
HFCs:	Organska spojina sestavljene iz ogljika, vodika in fluora
grid – tied:	Presežek električne energije oddati v distribucijsko omrežje
EU:	Politična in gospodarska zveza 27 evropskih držav
Benefit:	prinaša korist družbi, manjše onesnaževanje okolja

SEZNAM UPORABLJENIH SIMBOLOV

Veličina/oznaka	Simbol	Enota	Simbol
Dolžina vrtine	L	meter	m
Prenesena toplota	Q	Watt na meter	W/m
Toplotna prevodnost	k	Watt na meter Kelvin	W/m×K
Temperatura zemlje	T_z	Kelvin	K
Temperatura površja	T_0	Kelvin	K
Polmer zunanje cevi	r_0	meter	m
Polmer izvrtane vrtine	r_b	meter	m
Število vgradenj vrtin	n		
Toplotna izguba	Q_N	Watt na kvadratni meter	W/m ²
Stroški električne energije	$Se_{T\check{C}}$	EUR na kilovat uro	EURO/kWh
Dejanska toplotna moč	Q	kilovat	kW
Specifi. električna moč	$Pe_{ST\check{C}}$	kilovat	kW
Energija fotona	E_{ph}	Joule	J
Temperatura	T	Kelvin, Celzija	K, C°
Delež, odstotek	%		
Stopinja, naklon	°		
Faktor zračne mase	AM		
Planckova konstanta	h	Joule sekunda	Js
Hitrost svetlobe	c	meter na sekundo	m/s
Valovna dolžina	λ	meter	m
Gostota sončnega obse.	G	Watt na kvadratni meter	W/m ²
Količina sončnega obse.	H	Watt na kvadratni meter ura	W/m ² h
Površina	A	kvadratni meter	m ²
Cena enega litra		EURO na liter	EURO/liter
Stroški na leto		EURO na leto	EURO/leto
Raba električne energije	E	kilovatna ura	kWh
Čas, leto, dan	T	ura, leto, dan	h, leto, dan
Nazivna moč (PV) sistema	P_n	nazivna moč	kWp
Električna napetost	U	Volt	V
Količina ogljičnega odtisa	CO ₂	emisij kilogramov na leto	kgCO ₂ /leto
Električni tok	I	Amper	A

1 UVOD

V današnjem času se trajnostne rešitve za proizvodnjo in oskrbo z energijo vse bolj uveljavljajo, saj si prizadevamo zmanjšati vpliv na okolje ter povečati energetske učinkovitost. Geotermalni sistemi predstavljajo eno izmed inovativnih možnosti za pridobivanje toplote iz obnovljivih virov. Geosonda omogoča izrabo konstantne toplote iz zemeljske notranjosti, vendar je pogosto potrebno dogrevanje, da bi zagotovili optimalno temperaturo za uporabo v gospodinjstvu ali industrijskih procesih. V nalogi bodo predstavljena teoretična izhodišča, na podlagi katerih so bili določeni namen in cilji raziskave. Prav tako bodo opisane uporabljene metode, predpostavke in omejitve, s katerimi smo se srečevali med pripravo diplomskega dela. Na koncu bodo podane ugotovitve in priporočila.

Diplomska naloga temelji na analizi ustreznosti dimenzioniranja sončne elektrarne in hranilnika energije za podporo geotermalnemu sistemu ter na proučevanju možnosti samooskrbe. Izvedena bo ocena ekonomskih in tehničnih vidikov sistema z namenom optimizacije celotnega sistema za dolgoročno energetske neodvisnost ter maksimalno izrabo obnovljivih virov energije.

Geotermalni sistemi z geosondo predstavljajo eno najhitreje rastočih tehnologij obnovljivih virov energije v svetu. Trenutna kapaciteta vgrajenih geosond je ocenjena na 9.500 MWh, letna dejanska proizvodnja pa znaša 52.000,00 TJ oziroma 14.400,00 GWh. Število vgrajenih geosond se ocenjuje na približno 800.000. V Združenih državah Amerike (ZDA) njihovo število narašča s povprečno letno rastjo 12 %, večinoma v srednjehozahodnih in vzhodnih državah od Severne Dakote do Floride. Letno se vgradi približno 50.000 enot, od tega 46 % vertikalnih, 38 % horizontalnih in 15 % odprtih sistemov, ki izrabljajo podtalnico. Trenutno je v obratovanju več kot 25.000 geosond. Pojavljajo se trije osnovni tipi sistemov za pridobivanje toplote iz zemlje:

- plitvi vodoravni geotermalni sistem (horizontalni), predstavlja 5 %,
- vertikalni geotermalni sistem od 30 do 400 m globine, predstavlja 65 %,
- vertikalni geotermalni sistem, ki izkoriščajo toploto iz podtalnic (črpanje in vračanje vode v zemljo), predstavlja 30 %.

Glede na to, da toplotna črpalka (TČ) letno porabi določeno količino električne energije, poleg tega pa je prisotna še poraba gospodinjstva, je smiselno postaviti sončno elektrarno s hranilnikom, ki pokrije skupne potrebe. Slovenski ponudnik GEN – I Sonce poskrbi za dimenzioniranje elektrarne glede na specifične zahteve uporabnika. V našem primeru bi bilo ustrezno namestiti sistem z nazivno močjo nekaj kWp (kilovat-peak), kar predstavlja nazivno moč fotovoltaičnih modulov. Dnevni viški proizvedene energije se shranjujejo v hranilniku, ki ima nominalno in uporabno kapaciteto ter visok izkoristek. V optimalnem primeru bo hranilnik zagotovil pokritje

porabe električne energije naprave toplotne črpalke (TČ). Pri večjih sistemih je možno zmogljivost povečati s povezovanjem več enot. Tako se doseže večja skupna kapaciteta, učinkovito shranjevanje dnevnih viškov in optimalna raba električne energije.

1.1 Opredelitev problema in teoretičnih izhodišč

V okviru diplomske naloge je obravnavana zasnova samooskrbnega sistema ogrevanja stanovanjskega objekta s površino 180,00 m², ki združuje geotermalni vir toplote prek geosonde in toplotne črpalke (TČ) tip zemlja/voda z nazivno močjo 8,00 kW, ter sončno elektrarno s hranilnikom za neodvisno oskrbo objekta z električno in toplotno energijo. Cilj je zagotoviti električno energijo za delovanje toplotne črpalke z uporabo sončne elektrarne in hranilnika ter pokriti tudi ostalo porabo gospodinjstva. Sončna elektrarna mora letno proizvesti dovolj električne energije, da zadosti potrebam naprave (TČ), ki dogreva toploto, pridobljeno iz geosonde, na želeno temperaturo ogrevanja bivalnih prostorov in sanitarne vode, ter hkrati pokriti porabo električne energije v gospodinjstvu, da objekt postane energijsko samozadosten.

Objekt s površino 180,00 m² se že ogreva z geotermalnim sistemom z geosondo in napravo (TČ) tip zemlja/voda, kataloško imenovano Thermia Diplomat Optimum G3 8,00 kW, proizvajalca Atlas Trading, ki je izvedel vgradnjo geosonde in naprave (TČ). V nadaljevanju je predstavljen izbrani geotermalni sistem, njegovo delovanje, potrebna dovoljenja, dobre in slabe lastnosti, finančna sredstva, načrt stroškov investicije ter primerjava z drugimi ogrevalnimi sistemi, skupaj z razlogi za izbor geotermalne naložbe. Posebnost takšnega sistema je, da deluje ne glede na zunanje vremenske pogoje, saj je temperatura, pridobljena iz geosonde, konstantna skozi vse leto, hkrati pa sistem ne obremenjuje električnega omrežja. Ker pa geotermalni sistem zahteva vrtine različnih globin, je njegova izvedba zakonsko regulirana. Pogosta teza, da je namestitev geotermalnega sistema z geosondo draga zaradi visokih začetnih stroškov, izhaja iz dejstva, da vsak dodatni meter vrtine zviša skupni strošek naložbe. Ogrevanje z geotermalno energijo, pridobljeno iz globin tal, pa kljub temu predstavlja eno najboljših rešitev za zmanjševanje emisij toplogrednih plinov (CO₂) ter omejevanje negativnih vplivov na naravno okolje.

Podjetje GEN – I Sonce ponuja celovite rešitve sončnih elektrarn s hranilniki električne energije, ki omogočajo večjo energetske neodvisnosti in zmanjšujejo stroške porabe. Sistem združuje visoko učinkovite fotovoltaične module in napreden baterijski hranilnik, kar omogoča shranjevanje presežkov proizvedene električne energije ter njihovo uporabo v obdobjih, ko proizvodnja ni zadostna. Tako se zmanjša odvisnost od omrežja in hkrati optimizira poraba električne energije, kar pozitivno vpliva na okolje z zmanjšanimi emisijami toplogrednih plinov (CO₂). Poleg tega ponudba podjetja vključuje možnost pridobitve subvencij in nadzor sistema prek mobilnih

aplikacij, kar omogoča pregledno in prilagojeno upravljanje energetske samooskrbe (spletna stran, GEN – I Sonce, Vse o samooskrbi, 2025).

1.2 Predpostavke in omejitve

Diplomska naloga temelji na analizi hibridnega sistema za samooskrbo gospodinjstva, ki združuje ogrevanje s pomočjo geotermalne energije ter pridobivanje električne energije iz sončne elektrarne s hranilnikom. Predpostavki izhajata iz praktičnih izkušenj in podatkov o učinkovitosti toplotnih črpalk ter sončnih elektrarn na območju Slovenije. Ključna predpostavka je, da sistem omogoča zadostno proizvodnjo energije za pokrivanje potreb po ogrevanju in rabi električne energije v gospodinjstvu skozi vse leto.

Analize temeljijo na dostopu do podatkov o lokalnih vremenskih razmerah, geografskih značilnostih in ekonomskih dejavnikih. Vremenski vplivi, kot so dolga zimska obdobja ali oblačni dnevi, lahko bistveno zmanjšajo proizvodnjo električne energije iz sončne elektrarne. Analiza bo te predpostavke in hipoteze preverjala s simulacijami delovanja sistema ter proučevanjem tehničnih in ekonomskih vidikov obeh virov energije. Pojavljajo se vprašanja, povezana z učinkovitostjo geotermalnega sistema z geosondo in sončne elektrarne z baterijskim hranilnikom pri ekstremnih obremenitvah. Raziskovalna vprašanja so:

- Ali lahko hibridni sistem zagotovi energetsko neodvisnost gospodinjstva?
- Kakšna je optimalna kapaciteta hranilnika energije za pokrivanje viškov in primanjkljajev proizvodnje?
- Ali ogrevalni sistem z geosondo ob ekstremnih vremenskih razmerah deluje nemoteno?

Hipoteze, postavljene v diplomski nalogi, so:

- H1 – sistem bo sposoben doseči samooskrbo s kombinacijo ogrevanja, iz geotermalne energije in električne energije iz sončne elektrarne.
- H2 – baterijski hranilnik bo omogočil učinkovito shranjevanje presežne energije, za obdobja večje porabe, ter neodvisnosti od distribucijskega omrežja.

1.3 Metoda dela in podatki

1.3.1 Metodologija

V diplomski nalogi je bila uporabljena kombinacija teoretičnih in empiričnih raziskovalnih metod za analizo učinkovitosti geotermalnega sistema z geosondo in napravo (TČ) tip zemlja/voda ter pridobivanja električne energije iz sončne elektrarne s hranilnikom za napajanje toplotne črpalke in gospodinjstva. Pregled literature je zajemal strokovne članke, tehnična poročila, zakonodajo ter podatke geoloških

inštitutov in univerzitetnih raziskav. Za praktične analize so bile uporabljene simulacijske metode, ki vključujejo slike in tabele podatkov o delovanju sistema ter osvetljujejo ključne ugotovitve.

1.3.2 Podatki ogrevalnega sistema z geotermalnim sistemom

Analiza temelji na tehnični izvedbi vrtin za geosondo, različnih vrstah geosond (U-cev, dvojna U-cev, koaksialna izvedba) ter na izračunu toplotnega izkoristka sistema. V okviru študije so bili analizirani termični učinki okolice na delovanje sistema, vpliv globine vrtine na stabilnost pridobljene toplote ter zahteve za pridobitev rudarskega dovoljenja. Poseben poudarek je bil namenjen koeficientu učinkovitosti oziroma grelnemu številu (COP) naprave (TČ) tip zemlja/voda, ki znaša med 4,00 in 5,00. To pomeni, da sistem za vsako porabljeno kilovatno uro (kWh) električne energije proizvede več kot štiri kilovatne ure toplotne energije.

1.3.3 Pridobivanje električne energije iz sončne elektrarne

Za zagotovitev napajanja izbrane naprave (TČ) zemlja/voda, smo analizirali zasnovo sončne elektrarne s hranilnikom energije. Letna poraba električne energije ogrevalne naprave (TČ), ter ostala raba gospodinjstva, zato mora fotonapetostni sistem proizvesti zadostno količino električne energije. Pri izračunu smo upoštevali:

- nazivno moč sončne elektrarne,
- sezonska sprememba proizvodnje,
- učinkovitost baterijskega hranilnika (uporabna kapaciteta energije).

1.3.4 Energetsko knjigovodstvo

Energetska analiza vključuje beleženje porabe električne energije, količine pridobljene toplote in emisij toplogrednih plinov (CO₂). Izračuni kažejo, da sistem prispeva k zmanjšanju emisij CO₂ za več kot 70 % v primerjavi s konvencionalnimi ogrevalnimi sistemi na fosilna goriva. V oceni dinamične ekonomičnosti so bile upoštevane diskontna stopnja, amortizacija sredstev, neto sedanja vrednost investicije ter obdobje vračanja naložbe.

1.3.5 Upravičenost investicije

Geotermalni sistem z geosondo in naprave (TČ) tip zemlja/voda v kombinaciji s sončno elektrarno s hranilnikom se je izkazal kot trajnostna in ekonomsko upravičena rešitev. Življenjska doba geosonde znaša približno 50 let, življenjska doba toplotne črpalke od 15 do 30 let, medtem ko sončna elektrarna z ustreznimi komponentami omogoča obratovanje od 10 do 25 let ter zagotavlja energetsko neodvisnost. Groba analiza vračilne dobe kaže, da se naložba v geotermalni sistem povrne v 4 do 7 letih, naložba v sončno elektrarno pa v 4 do 8 letih.

1.3.6 Razumevanje integriranega sistema

Pri pripravi diplomske naloge je bil uporabljen celovit raziskovalni pristop, ki združuje različne metode, usklajene s cilji naloge. Za doseg poglobljenega razumevanja integriranega sistema, ki združuje geotermalno energijo z geosondo in naprave (TČ) tip zemlja/voda ter sončno elektrarno s hranilnikom, je bil izbran naslednji način raziskovanja:

- v teoretičnem delu smo uporabili opisno metodo, za prikaz obstoječega tehnološkega stanja, zato metoda omogoča natančen pregled obstoječe ogrevalne naprave in osnovni princip delovanja fotovoltaičnega sistema, mehanizmov pretvorbe sončne energije in vpliva lokalnih podnebnih pogojev,
- v praktičnem delu naloge smo izvedli analitično metodo, katere s pomočjo matematičnih modelov in enačb, za izračun proizvodne moči, ter model fotonapetostnega učinka, razčlenili delovanje posameznih gradnikov integriranega sistema, kako presežek električne energije, generiran s strani (PV) modulov, optimalno napaja hranilnik, ki podpira ogrevalni sistem,
- v teoretičnem delu smo združili primere iz literature, raziskovalne rezultate različnih avtorjev in vire, da smo oblikovali celovito sliko o aktualnih trendih in standardih na področju obnovljivih virov energije,
- v zaključnem delu smo s sintezo rezultatov iz opisanih metod oblikovali celovite zaključke in priporočila za izboljšanje integriranega sistema.

2 PREGLED LITERATURE

2.1 Nacionalni energetske in podnebni načrt (NEPN)

Nacionalni energetske in podnebni načrt Slovenije (NEPN) je strateški dokument, ki določa cilje in ukrepe za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov (CO₂), povečanje energetske učinkovitosti ter rast deleža obnovljivih virov energije. Med glavnimi cilji so:

- zmanjšanje emisij (CO₂), je potrebno doseči vsaj 40 % zmanjšanje emisij do leta 2030, glede na leto 1990,
- povečanje deleža obnovljivih virov, do leta 2030 naj obnovljivi viri predstavljajo vsaj 27 % končne porabe energije,
- izboljšanje energetske učinkovitosti porabe končne energije mora biti zmanjšana, za približno 32 % do leta 2030.

Ti cilji se neposredno podpirajo z uvajanjem dveh tehnologij: geotermalnega sistema z geosondo in toplotno črpalko ter sončne elektrarne s hranilnikom električne energije (spletni portal GOV.SI, Nacionalni energetske in podnebni načrt, 2018).

2.1.1 Geotermalni sistem in (PV) sistem cilji (NEPN)

Uporabnost geotermalnega sistema z geosondo:

- finančne državne spodbude in lokalni programi, kot so subvencije iz EKO sklada, ki podpirajo projekte, ter z izkoriščanjem stabilne podzemne temperature zagotavljajo učinkovito ogrevanje in hlajenje stavb,
- raziskave in razvoj, za podporo na področju geotermalne energije se izboljšuje učinkovitost, ter znižujejo stroški namestitve geotermalnih sistemov,
- izobraževanje, ter ozaveščanje kampanje in usposabljanja strokovnjakov povečujejo ozaveščenost o prednostih izkoriščanja geotermalne energije, kar prispeva k širši uporabi in pravilnemu načrtovanju sistemov.

Uporabnost sončne elektrarne s hranilnikom električne energije:

- finančne spodbude, ki poleg subvencij za geotermalne sisteme (NEPN) spodbuja tudi namestitev sončnih panelov in hranilnikov energije, kar omogoča zmanjšanje stroškov in emisij ter prispeva k samooskrbi s čisto električno energijo,
- raziskave in razvoj pomagajo, za nenehne inovacije na področju fotovoltaične tehnologije in shranjevanja energije izboljšujejo učinkovitost, ter znižujejo investicijske stroške sončnih sistemov,
- izobraževanje in ozaveščanje, so koraki za ozaveščanje, ter usposabljanje vodijo do večje sprejetosti sončnih elektrarn, kar omogoča lastnikom objektov,

da sami proizvajajo elektriko in s tem zmanjšajo svojo odvisnost od fosilnih virov energije.

Ukrepi, ki jih predvideva (NEPN), vključujejo:

- spodbujanje obnovljivih virov energije z zagotavljanjem finančnih spodbud in poenostavitvijo postopkov pridobivanja dovoljenj za namestitev sistemov (npr. geotermalnih sistemov, sončnih panelov in vetrnih turbin),
- izboljšanje energetske učinkovitosti stavb z uvedbo subvencij, za sanacijo stavb, izboljšanje izolacije in zamenjavo oken, obenem pa s spodbujanjem uporabe pametnih energetskih sistemov za upravljanje porabe,
- spodbujanje trajnostne mobilnosti in razvoj pametnih omrežij, kar pripomore k učinkovitejši distribuciji in upravljanju energije, ter integraciji različnih obnovljivih virov v obstoječe energetske sisteme.

S praktično uporabo geotermalnega sistema z geosondo in sončne elektrarne s hranilnikom energije se doseže sinergija med stabilnim in neodvisnim virom toplote ter obnovljivo proizvodnjo električne energije. Takšna kombinacija omogoča ne le učinkovito ogrevanje in hlajenje objektov, temveč tudi zmanjšanje emisij toplogrednih plinov, kar je skladno s cilji (NEPN).

2.2 Zakonski predpisi geotermalnega sistema z geosondo

Za izvedbo geotermalnega sistema z geosondo je potrebno pridobiti ustrezno rudarsko dovoljenje, saj vgradnja geosond, ki se običajno vgrajujejo na globino med 30 in 200 m, predstavlja rudarsko delo. V skladu z Zakonom o rudarstvu (Uradni list RS, št. 56/99) je geotermični energetski vir opredeljen v 3. členu, medtem ko 4. člen določa, da se med rudarska dela šteje tudi vrtanje vrtin globljih od 30 m. Za vrtine, globlje od 50 m, je treba pridobiti rudarski načrt za izvajanje del. Vgradnja geosonde, vključno z injektiranjem stabilizacijskega materiala in izdelavo povezave med geosondo ter napravo (TČ), mora imeti ustrezno dovoljenje, kot ga zahtevata 50. in 51. člen zakona.

Zakon o graditvi objektov (Uradni list RS, št. 47/04) v svojem podzakonskem aktu (Pravilnik o manj zahtevnih objektih, Uradni list RS, št. 114/03) določa, da za vgradnjo naprav (TČ) z nazivno močjo do 50 kW ni potrebno gradbeno dovoljenje. Za naprave z močjo nad 50 kW pa je pridobitev gradbenega dovoljenja obvezna. Če je za posamezni objekt že izdano gradbeno dovoljenje, je treba poiskati ustrezno dopolnitev ali spremembo.

Zakon o varstvu okolja (Uradni list RS, št. 41/04) posebej ne definira rabe geotermičnega energetskega vira kot naravnega vira. Za izrabo podtalnice mora uporabnik zaprositi za ustrezno dovoljenje za koriščenje toplotne energije podtalnice oziroma pridobiti koncesijo. Postopek vključuje:

- pridobitev lokacijske informacije, s katero investitor pred vložitvijo vloge zagotovi natančne podatke o območju izvedbe vrtine (geodetski podatki, zemljiškoknjižni izpis, načrt parcele),
- pripravo geološke prognoze z energetskega izračunom, ki temelji na dostopnih geoloških in termičnih podatkih ter določa potencial tal za prenos toplote (npr. toplotni odvzem kamnin na globini vrtine z geosondo znaša od 10,00 do 100,00 W/m), kar omogoča oceno potrebnega števila geosond,
- izdelavo rudarskega projekta, ki vsebuje podrobno tehnološko zasnovo vrtine, opis načrtovanih del (vrtanje, vgradnja geosond, injektiranje stabilizacijskega materiala) in varnostne ukrepe; projekt mora biti strokovno utemeljen in skladno opredeljen,
- revizijo rudarskega projekta, ki jo pred vložitvijo vloge izvede pristojno telo; ta preveri tehnično in administrativno popolnost dokumentacije ter skladnost z zakonodajo,
- vložitev vloge pri Ministrstvu za naravne vire in prostor, Direkciji RS za vode, skupaj z lokacijsko informacijo, geološko prognozo, rudarskim projektom in dokazili o skladnosti s predpisi; postopek traja od 45 do 60 dni, odvisno od kompleksnosti projekta in popolnosti dokumentacije,
- izpolnjevanje pogojev za izdajo dovoljenja, ki vključujejo vse potrebne dokumente; za vrtine globlje od 30 m je obvezno dovoljenje za raziskavo podzemnih voda,
- za vrtine globlje od 50 m pa je potrebno tudi pridobiti rudarski načrt za izvajanje del,
- če se območje nahaja na vodovarstvenem režimu, je treba pridobiti dodatna dovoljenja Direkcije RS za vode ter dovoljenje za rabo podzemnih voda oziroma za obratovanje naprave (TČ), saj bi poseg lahko vplival na kakovost in razpoložljivost podtalnice.

2.2.1 Dovoljenje za vgradnjo vrtine na vodovarstvenem območju

Dogovoriti se je treba z izvajalcem, ki je zadolžen za vgradnjo vrtine, da priskrbi vsa dovoljenja, smernice in potrebno dokumentacijo Ministrstva za okolje, prostor in energijo, kjer se izdaja rudarsko dovoljenje (ZRud – 1), ter skladnost z Zakonom o varstvu okolja (ZVO – 1). Dovoljenje za vrtanje in rabo vode za obratovanje naprav (TČ) izdaja Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO). Pri izkoriščanju toplotne energije podtalnice za delovanje geotermalnega sistema, kjer se voda črpa in vrača nazaj v tla, je treba pridobiti naslednja uradna dovoljenja:

- dovoljenje za raziskavo podzemnih voda, ki vključuje lokacijsko informacijo občine, kopijo načrta parcele z vrisanimi objekti, hidrogeološko raziskavo za izdelavo vrtine ter mnenje pristojnega izvajalca, ki opravlja dejavnost vodooskrbe,

- dovoljenje za vgradnjo vrtine na vodovarstvenem območju s podtalnico, pri čemer je projekt vrtine pripravljen skladno z Zakonom o rudarstvu (ZRud – 1) in Zakonom o varstvu okolja (ZVO – 1),
- dovoljenje za vrtanje in rabo vode za obratovanje toplotnih črpalk, ki vključuje dovoljenje za raziskavo podzemnih voda, hidrogeološko ali hidrološko poročilo o vodnem viru v profilu odvzemnega objekta; dovoljenje izda ARSO,
- potrdilo o plačilu pristojbine, ki zajema stroške postopka, vključno z upravno takso in stroški revizije projekta.

2.3 Zakonski predpisi vgradnje sončne elektrarne s hranilnikom

Za postavitev male sončne elektrarne z baterijskim hranilnikom je treba upoštevati zakonske, gradbene in elektroenergetske zahteve. Medtem ko geotermalni sistemi z geosondo zahtevajo pridobitev rudarskega dovoljenja, se postavitev sončne elektrarne običajno uvršča med manj zahtevne gradbene postopke. Kljub temu vključuje pridobitev soglasij za priključitev na distribucijsko omrežje in spoštovanje standardov za varno ter učinkovito delovanje obnovljivih virov električne energije.

Gradbeni in urbanistični predpisi:

- gradbena dovoljenja, so v večini primerov namestitve sončnih panelov na streho ali na prostem zemljišču obravnava, kot manj zahtevna gradbena aktivnost, ko instalacija preseže določene meje (na primer skupna moč ali velikost sistema), je potrebno pridobiti gradbeno dovoljenje, v lokalnih urbanističnih predpisih, so določene minimalne razdalje, estetske zahteve in omejitve, ki vplivajo na postavitev fotovoltaičnih modulov,
- soglasje za priključitev na distribucijsko omrežje je potrebno pridobiti, če je sončna elektrarna priključena na elektroenergetsko omrežje, mora investitor skleniti pogodbo o priključitvi z lokalnim Elektro operaterjem, zato ta postopek vključuje pregled tehničnih specifikacij sistema, preverjanje varnosti priključitve in zagotavljanje skladnosti z zakonsko določenimi standardi (npr. Uredba o samooskrbi z električno energijo iz obnovljivih virov),
- v primeru, da postavimo sončno elektrarno s hranilnikom energije, v distribucijskem omrežju, kjer nam distributer zavrne vlogo, soglasje za priključitev na distribucijsko omrežje, lahko postavimo sončno elektrarno s hranilnikom, nekega ponudnika, ter samo obvestimo Elektro operaterja, da bomo postavili in priključili omenjen (PV) sistem.

Specifični dovolilni postopki za sončne elektrarne s hranilniki:

- dovoljenje za nadgradnjo s hranilnikom energije, ko obstoječo sončno elektrarno nadgrajujemo z baterijskim hranilnikom, je potrebno preveriti skladnost opreme s predpisi, za shranjevanje električne energije, to vključuje naslednje varnostne predpise:

- zagotavljanje, da je baterijski sistem certificiran v skladu z mednarodnimi standardi (IEC 62619 Li – ion baterija),
 - pridobitev soglasja za priključitev in integracijo hranilnika, na obstoječi fotovoltaični sistem, kar običajno urejajo lokalni Elektro operater in ustrezni varnostni predpisi,
 - preverjanje, da namestitev hranilnika preprečuje negativne vplive na distribucijsko omrežje, kot so nihanja napetosti in zagotavlja ustrezno prezračevanje, ter temperaturno stabilnost prostora, kjer je hranilnik nameščen,
- administrativne in finančne postopke, mora investitor ob vložitvi vloge, soglasje za priključitev na distribucijsko omrežje oddati tudi, dokumentacijo o uporabljenih tehnologijah, načrt postavitve sistema in meritve, ki dokazujejo, da je električna proizvodnja sistematično usklajena s potrebami gospodinjstva, ter vključuje, še del postopka prijava na finančne spodbude, kot so subvencije EKO sklada ali drugi programi, ki podpirajo projekte za samooskrbo z električno energijo.

Zakonski okvir in standardi:

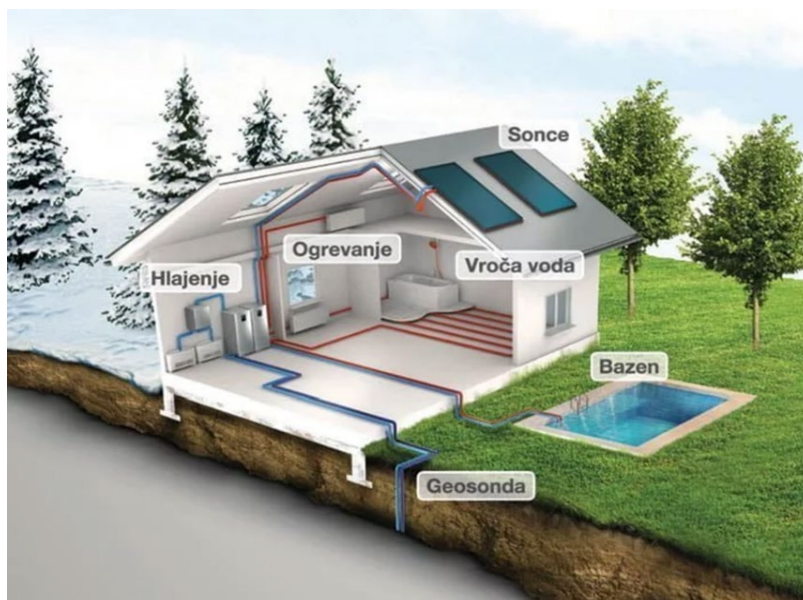
- uredba o samooskrbi z električno energijo iz obnovljivih virov, ureja postopke obračunavanja električne energije, ki jo proizvede sončna elektrarna, ter pogoje za uvajanje sistemi, ki omogočajo tudi nadomestno shranjevanje viškov električne energije, zato predpisi določajo, da se presežki električne energije oddajajo v omrežje (neto obračunavanje), pri čemer nove uredbe (v veljavi od 2024) preoblikujejo način obračunavanja, ki vključuje plačila za oddano in prevzeto električno energijo,
- inštalacijo po standardnih, ter varnost izbrane sončne elektrarne z baterijskim hranilnikom, mora biti v skladu z mednarodnimi standardi, ki zagotavljajo, da sistem doseže predvideno življenjsko dobo nad 20 let za (PV) module, približno 15 let za hranilne enote, ter razsmernik in da električna in gradbena varnost nista ogroženi.

Specifični podatki ključni za izbrano sončno elektrarno s hranilnikom energije:

- produkcijski podatki, so na podlagi podatkov (ARSO) in aplikacije (mySolarEdge), kjer so analizirani letni podatki o gostoti moči sončnega sevanja ter proizvedeni električni energiji, kako se giblje med zimskim obdobju in v poletnem obdobju,
- prehod na nove sisteme obračunavanja, ki se izvajajo na mesečni ali celo 15 minutni ravni, omogoča natančnejše spremljanje proizvodnje in rabe električne energije, kar pa vpliva tudi na pripravo in dimenzioniranje hranilnika energije,
- dimenzioniranje hranilnika, določimo z analizo faznega polnjenja in praznjenja baterijskega hranilnika, se določi potrebna skupna kapaciteta, ki mora ustrezati viškom proizvedene električne energije.

2.4 Načrt izvedbe integriranega projekta

Pri izvedbi celovitega projekta je treba zagotoviti natančno pripravo, ki zajema vse faze – od zbiranja podatkov in izdelave tehničnega projekta, prek pridobivanja dovoljenj, do montaže in integracije opreme. V nadaljevanju so predstavljene posamezne faze ločeno za načrtovani geotermalni sistem z geosondo in naprave (TČ) tip zemlja/voda ter za izvedbo sončne elektrarne s hranilnikom energije, ki bo zagotavljala obnovljivo električno energijo za delovanje TČ. Integrirani sistem z združitvijo obeh tehnologij doseže sinergijo (slika 1): geotermalni sistem zagotavlja konstanten in zanesljiv vir toplote, medtem ko sončna elektrarna oskrbuje napravo (TČ) z obnovljivo električno energijo. Takšna kombinacija omogoča zmanjšanje obratovalnih stroškov, nižje emisije CO₂ in večjo energetske neodvisnosti ter učinkovito delovanje v ogrevalnem in hladilnem režimu. Pregled literature predstavlja tehnično in analitično podlago za nadaljnje raziskave v diplomski nalogi.



Slika 1: Integracija geotermalnega sistema in sončne elektrarne.
(Vir: Spletna stran, Varčujem z Energijo, 2023)

2.5 Integriran pogled

Integrirana rešitev, ki združuje geotermalni sistem z geosondo in naprave (TČ) tip zemlja/voda s sončno elektrarno in hranilnikom energije, prinaša več ključnih prednosti, a ima tudi določene slabosti. Pri takšnih sistemih gre za združevanje več tehnologij, kot sta fotonapetostna in geotermalna, pri čemer sta natančno načrtovanje in strokovno svetovanje ključnega pomena – podobno kot je poudarjeno v raziskavah o investicijah v sončne elektrarne. Pomemben je celovit vpogled v prednosti, slabosti in možnosti pridobitve subvencij EKO sklada, saj to zagotavlja pregledno, okolju

prijazno in energetsko učinkovito rešitev za ogrevanje stanovanjskega objekta in pokrivanje rabe električne energije.

2.5.1 Geotermalni sistem z geosondo in napravo (TČ) tip zemlja/voda

Prednosti:

- stabilnost vira toplote, pomeni, da je temperatura zemlje konstantna (npr. približno od 10 do 15 °C, na globinah med 50 in 150 m), kar omogoča zanesljivo in učinkovito ogrevanje ter hlajenje,
- visoka učinkovitost naprav (TČ) tip zemlja/voda dosežejo (COP) med 4 in 5, kar pomeni, da se na vsako porabljeno enoto električne energije pridobi več enot toplotne energije,
- dolga življenjska doba, ki velja za geosonde lahko trajajo med 50 in 100 let, naprave (TČ) od 20 do 30 let, kar zagotavlja dolgoročno vzdržnost sistema,
- možnost kombiniranega ogrevanja in hlajenja, sistem ponuja zlahka preklopi med režimom ogrevanja in hlajenja.

Slabosti:

- višji začetni stroški, zaradi vgradnje vrtnine, geološkega pregleda in kompleksno inženirsko načrtovanje,
- kompleksen postopek pridobivanja dovoljenj, lahko traja več tednov in zahteva natančno dokumentacijo.

Subvencije:

- prva vgradnja ogrevalnega sistema z geosondo in napravo (TČ) tip voda/voda, zemlja/voda, je priznanih stroškov do 20,00 %, do 3.000,00 EUR,
- zamenjava stare kurilne naprave z geotermalnim sistemom z geosondo in napravo (TČ) tip voda/voda, zemlja/voda, je priznanih stroškov do 40 %, do 6.000,00 EUR.

Dodatne subvencije občin:

- nadgradnja obstoječega sistema z geotermalnim sistemom in napravo (TČ) v občinah (npr. Kranj, Celje, Maribor, Hrastnik, Zagorje), je sprejet odlok, ki pokrije del stroškov naložbe, pomeni subvencija v vrednosti do 5.000,00 EUR.

2.5.2 Sončna elektrarna s hranilnikom energije

Prednosti:

- obnovljiv vir energije, zaradi proizvodne električne energije iz sonca zmanjšuje odvisnost od fosilnih goriv in podpira trajnostno oskrbo,
- shranjevanje presežkov energije, omogoča uporabo sončne energije tudi ob zmanjšani dnevni svetlobi, s čimer se zagotovi stabilnost rabe napajanja naprave (TČ) in ostalega gospodinjstva,

- znižanje operativnih stroškov, vključuje učinkovita proizvodnja in shranjevanje električne energije, da zmanjšuje mesečne račune za rabo elektrike.

Slabosti:

- proizvodnja je odvisna od vremenskih pogojev in letnih obdobij, zato je treba natančno dimenzionirati sistem,
- višji začetni stroški, so Investicijski stroški za sončne panele in hranilnike energije, ki so lahko precejšnji, pri čemer je življenjska doba hranilnikov običajno okoli 10 let, velja kot garancija.

Subvencije:

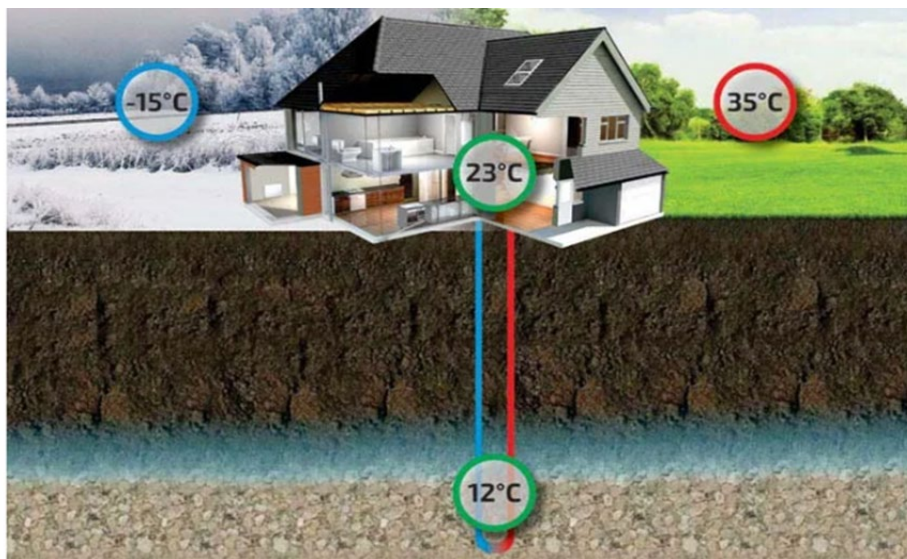
- na voljo subvencija za sončno elektrarno po sistemu (NET Metering), ki podpirajo investicije v sončne sisteme s hranilnikom energije 500,00 EUR za 1,00 kW nazivne električne moči, kar lahko zniža skupno investicijo in s tem pospeši povračilni čas projekta, vendar ne več kot 25 % skupnih stroškov naložbe,
- za sončno elektrarno po sistemu (NET Metering), brez hranilnika energije znaša 50,00 EUR na 1,00 kW nazivne moči, vendar ne več kot 25 % skupnih stroškov naložbe,
- na voljo subvencija za sončno elektrarno brez (NET Metering) od leta 2024, ki podpirajo investicije v sončne sisteme s hranilnikom energije 675,00 EUR na 1,00 kW nazivne moči, vendar ne več kot 40 % skupnih stroškov naložbe,
- za sončne elektrarne brez (NET Metering), ter brez hranilnika energije znaša 250,00 EUR na 1,00 kW nazivne moči, vendar ne več kot 25 % skupnih stroškov naložbe.

Dodeljevanje subvencij za samooskrbo z električno energijo s sončno elektrarno, z ali brez hranilnika energije ter po sistemu neto meritev (NET Metering) ali brez njega, od leta 2024 izvaja družba Borzen (spletna stran BORZEN, Podpora za zelene investicije, 01.01.2024).

3 GEOTERMALNI SISTEM Z GEOSONDO IN (TČ) ZEMLJA/VODA

3.1 Princip delovanja geotermalnega sistema

Geotermalni sistem z geosondo za delovanje potrebuje toplotno črpalko (TČ), ki zaradi stabilne temperature tal porabi manj električne energije za dogrevanje ali ohlajanje na želeno temperaturo v stanovanjskem objektu. Geotermalne meritve kažejo, da se temperatura v prvih 10 do 20 m pod površjem zaradi atmosferskih vplivov le malo spreminja. V globljih plasteh je temperatura konstantna, pri čemer se vsakih 33 m v globino poveča za približno 1 °C, kar pomeni, da se na 100 m poveča za približno 3 °C. To povečuje razpoložljivost toplotne energije. Geotermalni sistem z geosondo in napravo (TČ) tip zemlja/voda po izkušnjah uporabnikov in proizvajalca *Thermia*, ki jih proizvaja že več kot pol stoletja, brez težav deluje vsaj 20 let, pogosto tudi do 30 let. Princip delovanja (slika 2) pojasnjuje, zakaj je sistem učinkovit ne glede na zunanje vremenske pogoje. Geosonda, vgrajena v tla ob hiši, ima življenjsko dobo 50 do 100 let, zato jo lahko štejemo za praktično trajno. Celoten ogrevalni sistem ima ocenjeno življenjsko dobo približno 25 let. V praksi se uporabljajo vrtine globoke od 30 do 150 m, kar omogoča trajen dostop do toplote s konstantno temperaturo med 10 in 15 °C.



Slika 2: Geosonda na 100,00 m, kjer je konstantna temperatura 12,00 °C.
(Vir: Spletna stran, Varčujem z Energijo, 2023)

Za izrabo trajnih zemeljskih toplotnih virov se vgrajujejo geosonde v vrtine globine od 30 do 300 m. Pri globinah od 30 do 250 m se uporabljajo izvedbe z enojno U – cevjo, dvojno U – cevjo ali koaksialno izvedbo vrtine kot različne izvedbe toplotnih

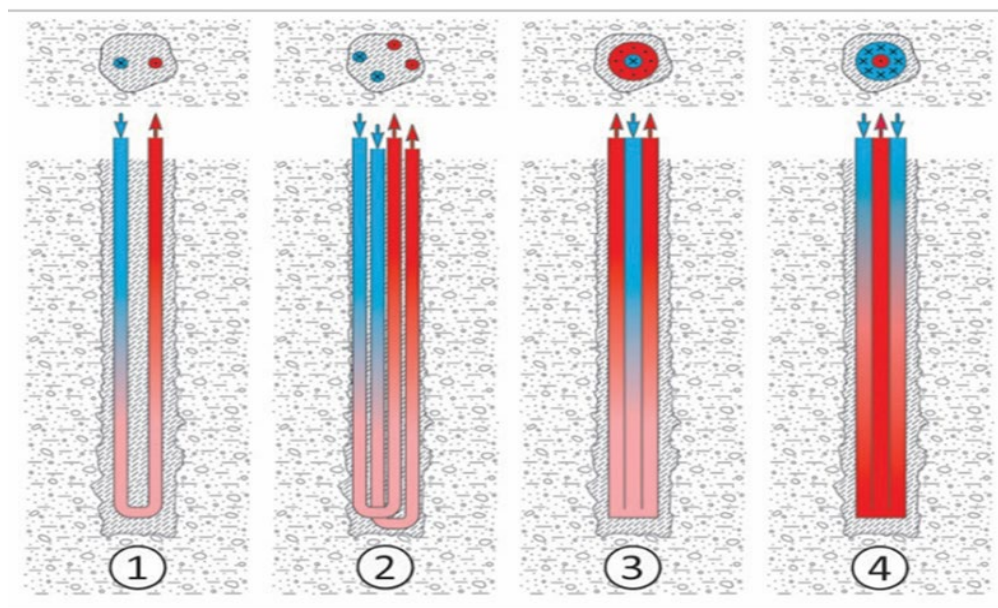
izmenjevalcev. Manj pogosta je izvedba geosonde z dvojno U-cevjo, ki se uporablja pri globinah od 250 do 400 m.

Skupaj s cevmi so v vrtino vgrajeni tudi notranji in zunanji distančniki, ki omogočajo centričnost cevi. Notranji distančniki zmanjšujejo toplotni vpliv med posameznimi cevmi, zunanji pa preprečujejo stik med cevjo in ostenjem vrtine ter zagotavljajo popolno oblitje cevi z injekcijsko maso. Na primer: v izvrtino s premerom 100 mm se vstavi dve polietilenski (PE) cevi. Polietilen zagotavlja dobro toplotno prevodnost ter odpornost na vlago, tlak, glodalce, mikroorganizme in kemične vplive. Prazen prostor med izvrtino in cevjo se zapolni z maso, ki ima dobro toplotno prevodnost. Najpogosteje se uporablja suspenzija bentonita ali druge termoaktivne injekcijske mase, ki zagotavljajo prevodnost in stabilnost vrtine.

Izkušnje kažejo, da je toplotni odvzem kamnin različen glede na sestavo tal ali prisotnost podtalnice ter se giblje od 10,00 do 100,00 W/m. Večji toplotni izkoristek geosonde zmanjšuje obremenitev naprave (TČ). Ko sistem deluje, delovni medij za prenos toplote kroži v zaprtem krogu geosonde. Ta medij lahko absorbira toploto iz kamnine (ogrevanje) ali vanjo odvaja toploto (hlajenje). Gre za mešanico vode in glikola, ki kroži po sistemu s pomočjo črpalke. Vertikalna sonda je zaprt sistem, v katerem mora mešanica vzdržati temperature do $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Geosonda globine do 100 m zagotavlja približno 4,00 do 8,00 kW toplotne moči, odvisno od geotermičnega potenciala območja.

Toplotna črpalka nato dvigne temperaturo na želeno raven, običajno med 55 in 60 $^{\circ}\text{C}$, poleti pa omogoča hlajenje prostorov. Najboljši izkoristek ima sistem v kombinaciji z nizkotemperaturnim ogrevanjem, kot sta talno ali stensko ogrevanje. V praksi se uporabljajo različne izvedbe geosond (slika 3), ki omogočajo globine od 30 do 400 m:

- 1. shema enojna (U) cev geosonda, ki skozi en krak vstopi ohlajen delovni medij, ki se po poti navzdol segreva in nato ogreti medij skozi drugi krak potuje navzgor in vrača v napravo (TČ),
- 2. shema dvojna (U) cev geosonda, sistem je podoben kot enojne (U) cev samo, da so spiralno zvite dve enoji (U) cevi, kar pripomore pri procesu,
- 3. shema koaksialna izvedba geosonde s cevjo, ki je notranja povratna,
- 4. shema koaksialna izvedba geosonde, je sestavljena iz treh cevi, notranja in dve zunanji. Skozi zunanje cevi vstopa ohlajen medij, nato po notranji cevi se vrača ogreti medij v napravo (TČ).



*Slika 3: Prečni prikaz različnih tipov izvedb geosond prirejeno po (Sass 2016).
(Vir: Spletna stran, Gradbeni vestnik, spletna izdaja ISSN 2536-4332, 2019)*

Osnovna značilnost vgradnje vrtine za geosondo je, da ne potrebuje veliko prostora – približno 1,00 do 2,00 m² zunanje površine. Vedno se vgradi tudi jašek, ne glede na število vrtin. Najpomembnejša prednost sistema je, da zagotavlja celoletno stabilno temperaturo vira. Pri vgradnji vrtine za geosondo je treba upoštevati naslednja pravila:

- najmanjša razdalja med izvrtinam je od 5 do 6 m,
- najmanjša oddaljenost od temeljev stavbe je 2 m,
- upoštevati moremo kvaliteto oziroma vrsto tal,
- globina izvrtine je odvisna tudi struktura kakovosti zemeljskih tal,
- izbrati ustrezno mešanico delovnega fluida glikol/voda.

3.1.1 Tehnični izračuni za zemeljsko sondo

Grelno število (COP) naprave (TČ) tip zemlja/voda znaša med 4 in 5. To pomeni, da za 1,00 kW porabljene električne energije pridobimo 4,00 do 5,00 kW toplotne energije. Potrebna globina vrtine za geosondo (enačba 1), s katero izračunamo končno globino v metrih, določa tudi, koliko vrtin bo treba vgraditi. Točna globina vrtine se določi med samim vrtanjem, ko se ugotovi struktura zemeljskih kamnin. Izračune o potrebni globini in številu vrtin pripravijo strokovnjaki podjetja, ki je specializirano za tovrstna dela.

Pri izvedbi vertikalne vrtine je ključno, da je globina geosonde pravilno dimenzionirana glede na hladilno moč naprave (TČ), ter da se pri večjem številu vrtin upoštevajo minimalni razmiki med njimi. Odvzem toplote iz kamnin poteka v slojih od 30 do 400 m, od začetka do končne globine vrtine. Zunanja površina, kjer je nameščen jašek z

geosondo, je lahko asfaltirana, pozidana ali poraščena s travo, za razliko od horizontalnega kolektorja. Vertikalna geosonda namreč izkorišča toploto iz zemlje in kamnin že pod globino dveh metrov, kjer so temperature konstantne in skoraj neodvisne od površinskih pogojev.

$$L = \frac{Q_G \times \ln\left(\frac{r_0}{r_b}\right)}{2\pi k \times (T_z - T_0)} \text{ (m)} \quad (1)$$

Kjer je:

- L – dolžina geosonde, pomeni globina vrtine v metrih v (m),
- Q_G – prenesena toplota, količine toplote prenesene iz zemlje v geosondo v (W/m),
- k – toplotna prevodnost, lastnost zemlje prenosa toplote v geosondo v (W/m×K),
- $\ln$ – naravni logaritem število 1 je 0, ker $e^0=1$,
- T_z – temperatura zemlje v kelvinih, kjer je nameščena geosonda v (K),
- T_0 – temperatura na površju zemlje v kelvinih v (K),
- r_0 – polmer zunanje cevi, skozi katero kroži hladilno sredstvo v metrih v (m),
- r_b – polmer izvrtane vrtine, kjer je nameščena geosonda v metrih v (m).

Za določitev števila potrebnih vrtin geosond (enačba 2) za geotermalni sistem je treba upoštevati več dejavnikov, kot so energetske potrebe objekta, geološke značilnosti lokacije, globina vrtin in toplotna prevodnost tal (toplotni odvzem iz kamnin). Če poznamo toplotne izgube objekta in toplotni odvzem iz tal, lahko izračunamo potrebno število vrtin. Ena vrtina lahko v določenih primerih zadostuje potrebam objekta, v drugih pa je smiselno vgraditi več vrtin, s čimer se doseže večja učinkovitost geotermalnega sistema.

$$n = \frac{Q_N}{L \times Q_G} \quad (2)$$

Kjer je:

- n – število vgradenj vrtin,
- Q_N – toplotna izguba objekta v (W/m²),
- L – globina vgradnje vrtine (m),
- Q_G – toplotni odvzem kamnin na meter globine (W/m).

3.1.2 Odvzem toplotne energije iz kamnin

Učinkovitost vrtine geotermalnega sistema je v veliki meri odvisna od strukture tal, saj se toplota iz kamnin na tekoči meter prenese pri vrednostih od približno 10,00 do 100,00 W/m. Ta parameter je ključen pri načrtovanju geotermalnih sistemov z geosondo, saj določa količino toplote, ki jo lahko ena vrtina prenese iz globine zemlje. Izkoristek (W/m) se meri kot količina toplote, ki jo zemeljski material odda na en meter

dolžine vrtine, in je nepogrešljiv podatek za oceno zmogljivosti celotnega sistema. Podatki o odvzemu toplote iz različnih struktur tal so stabilni skozi vse leto, saj temperatura tal ni odvisna od zunanjih podnebnih dejavnikov.

Odvzem toplote kamnin glede na različne strukture tal:

- suha tla – tla, ki so sestavljena iz kremenca, mineralov, peska ali prod, običajno oddajajo med 10,00 in 20,00 W/m,
- vlažna tla – tla s sestavo gline in ilovice imajo višji toplotni odvzem, ki se giblje med 30,00 in 40,00 W/m,
- magmatit, bazalt in sedimentne plasti – te vrste materialov zagotavljajo toplotni odvzem v razponu med 35,00 in 55,00 W/m,
- območja z vlažno glino, masivnim apnencem in sedimentno kamninami – izkoristek se povečuje, od 45,00 do 60,00 W/m,
- kisli magmatit, granit in granodiorit – pri teh materialih je toplotni odvzem običajno med 55,00 in 65,00 W/m,
- tla z nasičenim prodom in močnimi vodnimi tokovi skozi gramoz – tovrstna tla, zlasti tista s prisotnostjo podtalnice, lahko dosežejo vrednosti med 80,00 in 100,00 W/m, saj voda znatno izboljša toplotno prevodnost.

Porazdelitev teh vrednosti je odvisna od vlage, poroznosti in mineralne sestave tal; večja prisotnost vode in višja poroznost povečata toplotni odvzem. Ta parameter je bistven, saj omogoča oceno, koliko toplote je mogoče optimalno pridobiti iz posamezne vrtine, ne glede na sezonske spremembe, ker podzemna temperatura ostaja konstantna. Dodatni analitični vidiki in primeri:

- pri načrtovanju geotermalnih sistemov je priporočljivo izvesti natančne terenske meritve med vrtanjem, kjer se v realnem času določijo dejanske vrednosti toplotni odvzem kamnin na meter v enoti (W/m), meritve so ključne, za določitev števila potrebnih vrtin,
- na primer, v območjih z vlažno glino in sedimentnimi kamninami, kjer je ocenjen na približno 50,00 W/m, bo ena vrtina globine 100,00 m prispevala približno 5,00 kW toplotne energije. če objekt potrebuje 20,00 kW ogrevanja, bo potrebnih 4 vrtine,
- območja z močnimi vodnimi tokovi in visokim nivojem podtalnice lahko dosežejo vrednosti do od 80,00 do 100,00 W/m, kar zmanjšuje število potrebnih vrtin in globine vrtine, za enak toplotni izkoristek.

3.1.3 Inicialni črpalni preizkus

Inicialni črpalni preizkus oziroma prvo poskusno črpanje vode iz vgrajene vrtine se izvaja z namenom potrditve delovanja in učinkovitosti vrtine pred integracijo geosonde v geotermalni sistem. Test se lahko izvede na dva načina: z naravnim izlivanjem vode iz vrtine ali s pomočjo globinske črpalke, ki zagotavlja stalni pretok vode. Namen preizkusa je pridobitev ključnih podatkov – količine črpane vode, tlaka, temperature

in kemične sestave vode, s čimer se oceni proizvodna zmogljivost vrtine ter preveri njena primernost za dolgoročno izkoriščanje toplote. Oceno sestavljajo trije elementi: postopek preizkusa, cilji preizkusa in analiza rezultatov.

Postopek preizkusa zajema tri ključne dejavnike:

- Izbira metode črpanja:
 - preizkus naravnega izlivanja, ki se lahko izvede s slednjo metodo, kjer se voda iz vrtine izlivno črpa ob dovolj visoki naravni hidravlični glavi, zato metoda omogoča oceno naravnega toka vode brez uporabe dodatne naprave, vendar je primerna le, če tlak v vrtini zadostuje za stabilen izliv,
 - uporaba globinske črpalke v primerih, ko naravni izliv ni mogoč ali pa ni dovolj stabilen, se uporablja globinska črpalka, ki omogoča nadzorovan in konstanten pretok, kar je pomembno pri meritvi parametrov, kot so črpalni tok, tlak in temperaturne spremembe.
- Merjenje ključnih parametrov:
 - meritve količine črpane vode (pretok), se izvajajo s pomočjo merilnika pretoka (npr. centrifugalni ali elektromagnetni merilnik), ki omogoča natančno spremljanje količine vode v litrih ali kubični meter na uro (m^3/h),
 - za tlak vode se uporablja manometer ali digitalni tlakomer, ki meri tlak med črpanjem, zato redni vzorci meritev lahko pokažejo stabilnost in variabilnost tlaka, kar pa je pomembno za oceno učinkovitosti vrtine,
 - meritve temperature vode, se izvajajo s termometri na izhodu in vhodu vrtine, saj se s tem določi začetna toplotna vrednost, ter morebitne izgube med prenosom,
 - analiza kemične sestave (npr. pH, koncentracija mineralov, vsebnost železa, mangana ipd.), je ključna, da se preveri morebitna korozija ali zamašitev cevi sistema, ki nam laboratorijska analiza omogoča določitve, ali so prisotni nevarni priključki, ki bi lahko vplivali na dolgotrajno zmogljivost sistema.
- Zapis in analiza podatkov:
 - pridobljeni podatki (pretok, tlak, temperatura in kemična analiza) se natančno beležijo in analizirajo s pomočjo ustreznih programskih orodij (npr. Excel, MATLAB), Analiza nam omogoča izračun proizvodnih zmogljivosti vrtine, ter primerjavo z načrtovanimi potrebami ogrevalnega sistema. Poseben poudarek je na identifikaciji morebitnih nihanj tlaka in temperaturnih sprememb, ki bi lahko vplivale na dolgoletno učinkovitost.

Cilji preizkusa so:

- določitev maksimalne količine vode, ki jo lahko vrtina zagotavlja brez prekomernega obremenjevanja okolja, ki je ključnega pomena, ker previsok

pretok lahko povzroči prekomerno izčrpavanje podtalnice in negativno vpliva na okolje,

- preverjanje kemične sestave vode, da se izključi možnost korozije ali zamašitev cevi, ki je nujna za ugotavljanje ali bo voda, ki jo črpamo, povzročila škodo v notranji opremi ali pa vplivala na dolgoročno učinkovitost sistema,
- ocena stabilnosti tlaka in temperature, kar zagotavlja, da vrtina ustreza tehničnim in okoljevarstvenim zahtevam, ter dolgoročna stabilnost in enakomeren tlak sta indicirala, da je vrtina pripravljena za nadgradnjo v geotermalni sistem.

Analiza rezultatov, na osnovi pridobljenih podatkov se izvede analiza, ki vključuje:

- preverjanje zmogljivosti vrtine, dejanske proizvodne zmogljivosti s predvidenimi energetske potrebe objekta,
- identifikacijo morebitnih težav, če se med preizkusom pojavijo nihanja tlaka, temperature ali prisotnost neustreznih kemičnih spojin, se predvidevajo potrebna ukrepa (na primer izboljšanje izolacije vrtine ali prilagoditev črpalnega sistema),
- podatki optimalizacijo črpalnega sistema, omogočajo prilagoditev izbire med naravnim izlivanjem in uporabo globinske črpalke, kar vpliva na nadaljnjo obratovalno učinkovitost celotnega sistema.

Dodatne značilnosti preizkusa:

- preizkus mora trajati vsaj nekaj ur, da se meritve stabilizirajo; priporočljivo je izvajanje meritev ob različnih delih dneva,
- uporaba kakovostnih merilnih instrumentov (digitalni manometri, termometri, merilniki pretoka) zagotavlja natančnost rezultatov,
- rezultate je smiselno primerjati s teoretičnimi modeli in izračuni za dimenzioniranje sistema, da se potrdi ustreznost načrtovanja za dolgoročno delovanje.

3.1.4 Delovni fluid

Pomemben element geotermalnega sistema z geosondo je delovni fluid, ki se uporablja v pretočnem sistemu naprave (TČ). Njegova ključna naloga je kroženje znotraj geotermalnega sistema, kjer prenaša toploto med zemeljskim medijem in napravo (TČ). Absorbirano toploto fluid prenese do naprave, kjer se ta odda ogrevalnemu sistemu stavbe za ogrevanje prostorov ali pripravo sanitarne tople vode. Po oddaji toplote se fluid ohladi in vrne nazaj v geosondo, kjer ponovno absorbira toploto iz zemlje. Ta ciklični proces omogoča učinkovito izkoriščanje podzemne energije skozi vse leto.

V hladilnem režimu delovanja se termodinamični cikel obrne: delovni fluid prevzame toploto iz notranjosti objekta in jo preko geosonde odda v zemljo, kjer je temperatura nižja. Na ta način je omogočeno hlajenje prostorov brez uporabe klasičnih klimatskih

naprav. Delovni fluid torej omogoča neprekinjen in učinkovit prenos toplote med zemeljskim virom in notranjostjo objekta, kar je ključno za delovanje geotermalnih sistemov z napravo (TČ) tip zemlja/voda.

Sestava delovnega fluida (tabela 1) ima svoje prednosti in slabosti. Termične značilnosti tal se lahko določijo vizualno ali z laboratorijskimi raziskavami (npr. geološkimi kartami določenih območij). Pri tem je potrebna previdnost, saj so toplotna nihanja zemljine okoli vrtine na različnih globinah odvisna od poroznosti in vlažnosti tal. Mešanica fluida povzroča relativni padec tlaka v sistemu, ki je odvisen od temperature in koncentracije. Z nižanjem temperature in povečevanjem deleža glikola padec tlaka narašča.

Glikol je organska spojina, ki se v geotermalnih sistemih uporablja kot sredstvo proti zmrzovanju. Najpogostejši vrsti glikola sta:

- etilenglikol – pogosto uporabljen v avtomobilskih hladilnih tekočinah in industrijskih sistemih; je strupen, zato je pri ravnanju potrebna posebna previdnost,
- propilenglikol – uporablja se v prehrabni industriji, farmaciji in kozmetiki; je manj strupen in okolju prijaznejši.

Tabela 1 prednosti in pomanjkljivosti različnih sestav delovnih fluidov, ki se uporabljajo v cevnih izmenjalcih iz zemlje, kot izvor toplote ali prenos toplote.

Delovni fluid	Prednosti	Pomankljivosti
Voda	nizka viskoznost, nizka cena, visoka toplotna prevodnost, netoksičnost	visoka korozivnost, prisotnost nečistoč, širjenje pri zmrzovanje, visoka temperatura zmrzovanja
Metanol - voda	nizka cena, nizka korozivnost, visoka toplotna prevodnost	hlapnost, vnetljivost, visoka cena
Etanol - voda	nizka hlapnost, nizka cena	vnetljivost, toksičnost, nizka prevodnost
Etilenglikol - voda	nekorozivnost, nizka hlapnost, nizka vnetljivost	vnetljivost, toksičnost, nizka prevodnost
Propilenglikol - voda	nekorozivnost, nizka hlapnost, nizka vnetljivost, nizka toksičnost	visoka cena
CaCl ₂ - voda	nizka točka zmrzovanja, slabost hlapnost, nevnetljivost, nizka viskoznost, netoksičnost	visoka korozivnost, zahteva posebno vzdrževanje, visoka cena
NaCl - voda	nizka viskoznost, netoksičnost, slaba hlapnost, nevnetljivost, nizka cena	visoka korozivnost, visoka temperatura zmrzovanja, zahteva posebno vzdrževanje

Tabela 1: Sestava različnih delovnih fluidov, ter njihove prednosti in pomenljivosti.
(Vir: Jože Turinek diplomsko delo, marec 2009)

Pri sistemu z geosondo je treba biti previden pri ravnanju z delovnim fluidom, zato je potrebno upoštevati pravilno zaporedje polnjenja:

- mešanico pripravimo v večji posodi in ne z dodajanjem glikola neposredno v sistem,
- priprava mešanice mora biti pravilno kontrolirana, da je zagotovljena odpornost proti zmrzovanju,
- mešanico delovnega fluida polnimo v sistem pri minimalnem tlaku 2,00 bar in maksimalnem tlaku 2,50 bar,
- sistem mora imeti vgrajen odzračevalni sistem, in sicer trajni odzračevalni ventil.

3.1.5 Hlajenje z geotermalnim sistemom

Geotermalni sistem z geosondo omogoča tako ogrevanje kot tudi hlajenje prostorov. Poleti sistem deluje v obratnem režimu kot pozimi, saj je zemlja hladnejša od zraka. Odvečna toplota se preko cevi odvaja iz objekta in vrača v zemljo do globine geosonde. Na ta način lahko sistem hladi prostore, pri čemer v ceveh kroži hladnejši medij namesto tople vode. Tako ni potrebna uporaba klasičnih klimatskih naprav, kar zmanjšuje stroške. Vendar sistem ni brez slabosti: pri prenovi starejših objektov je pogosto potrebna prilagoditev na nizkotemperaturni način ogrevanja, kot je talno, stensko ali konvektorsko ogrevanje oziroma nizkotemperaturni radiatorji. Kljub temu je prednost v tem, da nizkotemperaturni sistem zmanjšuje porabo energije, saj omogoča hkrati učinkovit vir ogrevanja in hlajenja. Takšno hlajenje se imenuje neposredno hlajenje (Direct Cooling).

Pri projektiranju ogrevanja je pomembno izbrati nizkotemperaturni sistem, saj je grelni koeficient (COP) toplotne črpalke večje pri nižjih potrebnih temperaturah. Pri hlajenju pa moramo upoštevati, da temperatura vode v sistemu ne more biti nižja od temperature, pridobljene iz tal, ki se običajno giblje med 10 in 15 °C. Zato je najbolj primerno uporabiti talno ali stensko ogrevanje/hlajenje, saj lahko isti sistem služi obema funkcijama.

Obratni termodinamični cikel:

- v hladilnem režimu toplotna črpalka deluje obratno kot pri ogrevanju; hladen delovni medij (mešanica vode in glikola), ki kroži v zaprtem sistemu geosond, ne absorbira toplote iz zemlje, temveč vanjo oddaja toploto iz objekta; tla s temperaturo med 10 in 15 °C omogočajo hlajenje zraka v prostoru.

Nizkotemperaturni sistem oskrbe:

- za optimalno hlajenje je priporočljivo uporabljati nizkotemperaturne sisteme (talno ali stensko hlajenje), ki delujejo pri nižjih temperaturnih razlikah in zagotavljajo višji COP tudi v hladilnem režimu, s čimer se zmanjša poraba električne energije v primerjavi s klasičnimi klimatskimi napravami.

Energetska učinkovitost:

- ker sistem izkorišča stabilno temperaturo tal, je poraba električne energije za hlajenje precej manjša, viški toplote pa se vračajo v zemljo,
- zmanjšani so operativni stroški, saj hlajenje z geotermalnim sistemom ne zahteva dodatnih kompresorjev, kot jih potrebujejo klasične klimatske naprave,
- sistem je okolju prijazen, ker ne uporablja hladilnih sredstev z visokim potencialom globalnega segrevanja *Global Warming Potential* (GWP); toplota se neposredno odvaja v zemljo, kar zmanjšuje emisije CO₂ in druge škodljive vplive.

Tehnične zahteve in integracija:

- pri dimenzioniranju je treba zagotoviti, da je vrtina ustrezno načrtovana ne le za ogrevanje, temveč tudi za hlajenje; to pomeni pravilen pretok medija in zadostno globino vrtnice, kjer so temperature stabilne in nizke,
- sistem omogoča enostavno preklapljanje med ogrevanjem in hlajenjem z minimalnimi spremembami v upravljanju, kar je posebej ugodno pri obnovah starejših objektov, kjer je že vgrajen nizkotemperaturni sistem.

Praktični primeri in izkušnje: Podjetje *Thermia*, proizvajalec toplotnih črpalk, potrjuje, da sistemi z geosondo in napravo (TČ) tip zemlja/voda omogočajo učinkovito hlajenje prostorov poleti, če je vrtina pravilno izvedena. Ti sistemi ne le odvajajo toploto iz objekta, temveč s stabilnim in zanesljivim prenosom toplote zagotavljajo prijetne bivalne pogoje brez potrebe po klasičnih klimatskih napravah.

3.1.5.1 Hladilno sredstvo

Geotermalni sistem z geosondo in napravo (TČ) tip zemlja/voda se lahko uporablja tudi za hlajenje objekta, torej v obratni funkciji od ogrevanja. Hladilno sredstvo, ki kroži v termodinamičnem procesu TČ, je lahko različnih vrst. V uparjalniku s sprejemanjem toplote spremeni svoje agregatno stanje, nato pa pod pritiskom v kondenzatorju odda toploto pri višji temperaturi. Kot hladilna sredstva se uporabljajo posamezne snovi ali zmesi, najpogosteje fluorirani ogljikovodiki (HFCs), čisti ogljikovodiki (tekoči plini, kot sta butan in propan) ter ogljikov dioksid (CO₂). Zaradi tveganja poškodb in s tem morebitnega izpusta plinov v okolje pa se ne sme uporabljati hladilnih sredstev, ki močno vplivajo na učinek tople grede ali imajo druge negativne vplive na okolje.

3.1.5.2 Okoljski vpliv hladilnega sredstva (HFCs)

Fluorirani ogljikovodiki, kot so hidrofluorogljikovodiki (HFCs), so sintetične organske spojine, sestavljene iz ogljika, vodika in fluora, ki močno prispevajo k učinku tople grede in globalnemu segrevanju. Ti toplogredni plini imajo visoko segrevalno moč, imenovano *Global Warming Potential* (GWP). Spojina plina iz (HFCs) se pogosto

uporabljajo v hladilnih sistemih, klimatskih napravah in aerosolih. V ozračju se zadržujejo več desetletij, kjer zadržujejo toploto in prispevajo k dvigu povprečnih globalnih temperatur. Zaradi teh lastnosti so postali predmet mednarodnih sporazumov, kot je Montrealski protokol s Kigali amandmajem, ki si prizadeva zmanjšati njihovo uporabo in spodbujati okolju prijaznejše alternative.

3.2 Princip delovanja toplotne črpalke

Toplotne črpalke (TČ) so ekološko najbolj prijazen in energetsko najučinkovitejši način ogrevanja prostorov in sanitarne vode. Toplotna črpalka toploto pridobi iz okolice (zrak, voda ali zemlja) ter jo z dodatno rabo električne energije dvigne na želeno temperaturo ogrevalnega medija, običajno med 50 in 60 °C. Naprava tip zrak/voda ima povprečno življenjsko dobo 15 do 20 let, tip zemlja/voda pa zaradi stabilnosti zemeljskega vira toplote doseže 20 do 25 let. Enako življenjsko dobo ima naprava tip voda/voda, ki kot vir toplote uporablja podtalnico. Da bi dosegli takšno življenjsko dobo, morajo biti naprave pravilno vzdrževane in redno servisirane pri pooblaščenih serviserjih.

Za delovanje kompresorja in ventilatorja je potrebnih približno 20 do 30 % električne energije, medtem ko se 70 do 80 % energije pridobi iz okolice. Razmerje med vloženo električno energijo in pridobljeno toplotno energijo se imenuje grelna število (COP). Višje kot je, bolj je sistem učinkovit. Za ogrevanje s TČ so zato najprimernejši nizkotemperaturni sistemi, kot so talno, stensko ali konvektorsko ogrevanje. Pri ogrevanju z radiatorji morajo biti ti dimenzionirani na ustrezen temperaturni režim, pogosto tudi do dvakrat večji od običajnih.

Glede na način obratovanja ločimo štiri tipe delovanja naprave (TČ).

Monovalentno obratovanje:

- TČ deluje samostojno in pokriva celotno potrebo po ogrevanju objekta. Geotermalni sistem lahko popolnoma pokrije ogrevalno obremenitev,

Bivalentno alternativno obratovanje:

- TČ pokriva potrebe do določene zunanje temperature (npr. –5 °C), pri nižjih temperaturah pa se izklopi in vklopijo dodatni električni grelci.

Bivalentno vzporedno obratovanje:

- TČ deluje neprekinjeno; pri nižjih temperaturah, ko ne zadošča več, se vključi dodatni vir toplote (vgrajeni električni grelci).

Bivalentno delno vzporedno obratovanje:

- S pomočjo regulacije lahko izbiramo poljubno delovanje pri določenih zunanjih temperaturah.

Sodobni sistemi TČ so opremljeni z integriranimi nadzornimi enotami, ki omogočajo stalen nadzor nad temperaturo pretoka in povratka, tlakom ter učinkovitostjo sistema. Senzorji in merilniki omogočajo spremljanje delovanja v realnem času in samodejno prilagoditev glede na trenutne potrebe ter zunanje pogoje. Takšna integracija, imenovana *Internet of Things* (IoT), optimizira delovanje sistema in lahko podaljša življenjsko dobo naprave.

3.2.1 Zakaj imajo svetlo prihodnost?

Toplotne črpalke (TČ) dosegajo visoke vrednosti koeficienta učinkovitosti (COP), kar pomeni, da za vloženo električno energijo proizvedejo večkratno količino toplotne energije. Sistem je primeren za različne aplikacije – ogrevanje in hlajenje prostorov – ter se lahko integrira v nizkotemperaturne sisteme, kot so talno, stensko ali konvektorsko ogrevanje, kar omogoča celostno energijsko rešitev. Naprave iz okolja pridobijo približno 70 do 80% potrebne energije, s čimer zmanjšujejo odvisnost od fosilnih goriv in prispevajo k trajnostni rabi energije. Stroški ogrevanja se lahko znižajo za 35 do 60 %, kar dolgoročno opazno zmanjša obratovalne stroške objekta.

Z uporabo naprave (TČ) se emisije CO₂ zmanjšajo za 31 do 59 %, kar pomembno prispeva k zmanjšanju ogljičnega odtisa. Poleg tega naprave ne zavzamejo veliko prostora v kurilnici oziroma namestitveni enoti, kar je posebej koristno pri omejenih prostorskih možnostih. Zaradi napredne zasnove delujejo zelo tiho, kar povečuje bivalno udobje in zmanjšuje vpliv na okolico. Poleti sistem ne zagotavlja le ogrevanja, temveč tudi hlajenje, saj zemlja s svojimi nižjimi temperaturami omogoča učinkovito zniževanje temperature v prostorih in zmanjšuje potrebo po klasičnih klimatskih napravah. Ker naprava za delovanje in dogrevanje uporablja električno energijo, je mogoče sistem nadgraditi z dodatnimi senzorji, samodejnimi nadzornimi sistemi ali povezavo z drugimi obnovljivimi viri, kar omogoča optimizacijo celotnega sistema.

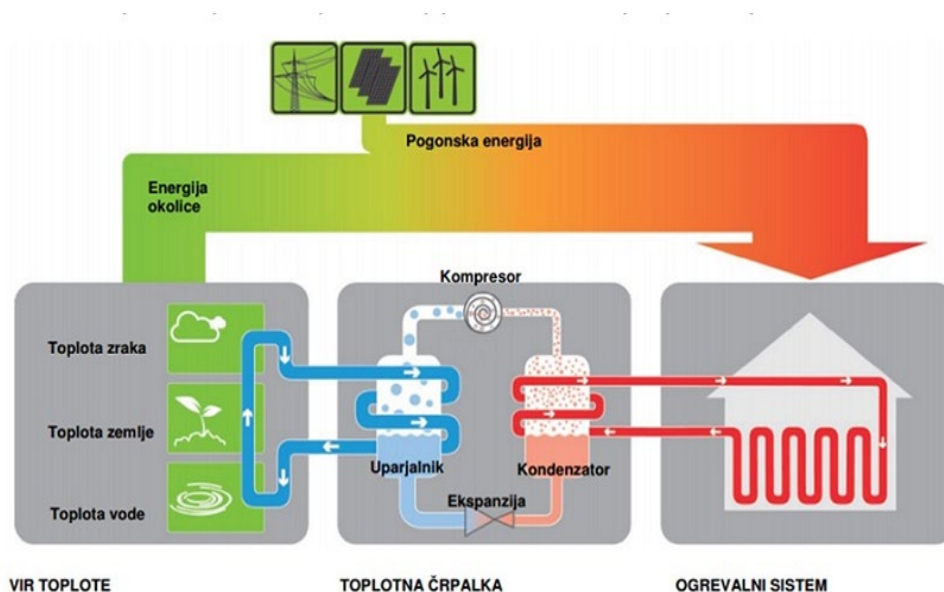
Prednosti uporabe toplotne črpalke (TČ):

- ogrevalni sistem predstavlja prihodnost,
- iz okolja pridobi približno 75 % potrebne energije,
- znižanje stroškov ogrevanja znaša 35 do 60 %,
- emisije CO₂ se zmanjšajo za 31 do 59 %,
- potreben je minimalen prostor za kurilnico,
- delovanje je zelo tiho,
- poleti omogoča učinkovito hlajenje prostorov,
- za delovanje in dogrevanje uporablja električno energijo.

Te lastnosti dodatno potrjujejo, da naprava (TČ) predstavlja tehnološko napredno in okoljsko trajnostno rešitev za ogrevanje in hlajenje sodobnih objektov.

3.2.2 Delovanje toplotne črpalke tip zemlja/voda

Pri delovanju naprave (TČ) tip zemlja/voda gre za odvzem toplote iz zemlje, v tem primeru preko geotermalnega sistema z geosondo. Odvzem toplote je odvisen od toplotne prevodnosti tal, njihove gostote in specifične toplotne kapacitete. Sistem uporablja hladiva, snovi z nizkim temperaturnim uparjanjem. V uparjalniku hladivo pod vplivom toplote, pridobljene iz geosonde, prehaja iz tekočega v plinasto stanje. V kompresorju se plin stisne in preide v tekočino z višjo temperaturo. Nato v kondenzatorju odda toploto v hladnejšo okolico ogrevalnega sistema. Sledi ekspanzija, pri kateri se snov zaradi zmanjšane tlaka ohladi, nato pa ponovno vstopi v uparjalnik, kjer se cikel ponovi. Nazoren prikaz delovanja (slika 4) prikazuje kroženje delovnega fluida. Delovni fluid je mešanica vode in glikola, ki ga toplota iz geosonde segreje za nekaj stopinj Celzija. Vertikalne izvedbe geosond dosegajo toplotni odvzem od 10 do 100 W/m, pri temperaturah vira med 10 in 15 °C. Če je geosonda vgrajena na vodovarstvenem območju s prisotno podtalnico, je toplotni odvzem višji, med 80 in 100 W/m.



Slika 4: Splošni potek delovanja (TČ) s tremi pridobljenimi viri toplote.

(Vir: Spletna stran, Enoma – ogrevanje.si, 2016)

Njena učinkovitost je predvsem posledica konstantnih podzemnih temperatur, kar omogoča visok koeficient učinkovitosti oziroma grelno število (COP).

3.2.3 Princip delovanja ogrevalne naprave (TČ) tip zemlja/voda

Pridobljena toplota iz zemeljske sonde:

- sistem je povezan z geosondo ali vrtino, v kateri sta nameščeni dve cevi, med katerima kroži prenosni fluid, zmes mešanica vode in glikola, ker je temperatura tal na določeni globini običajno med 10 in 15 °C, delovni fluid v geosondi absorbira toploto zelo učinkovito in jo prenese do naprave (TČ).

Prenos toplote skozi toplotno črpalko:

- v kompresijskem ciklu delovni fluid, obogaten s toploto, vstopi v kompresor, kjer se tlak in temperatura povečata; tako se toplota, pridobljena iz zemlje, dvigne na višjo raven, primerno za ogrevanje objekta in sanitarne vode,
- v kondenzatorju se toplota prenese na ogrevalni medij (vodo), ki kroži po sistemu objekta; pri kondenzaciji hladilno sredstvo odda toploto in se utekočini,
- v ekspanzijskem ciklu hladilno sredstvo skozi ekspanzijski ventil pade na nižji tlak, kar omogoča, da se ohlajeno vrne v uparjalnik in tam ponovno absorbira toploto iz geosonde.

Obratni cikel za hlajenje:

- naprava (TČ) tip zemlja/voda lahko deluje tudi kot hladilni sistem; v tem primeru delovni fluid prevzema toploto iz notranjosti objekta in jo preko geosonde oddaja nazaj v zemljo, kjer so temperature nižje, s čimer se zagotovi učinkovito hlajenje.

Tehnična optimizacija in nadzor ogrevalne naprave (TČ) tip zemlja/voda:

- zaradi stabilnosti podzemnega vira toplote dosega naprava običajno COP med 4 in 5; to pomeni, da za vsak 1,00 kWh vložene električne energije zagotovi 4,00 do 5,00 kWh uporabne toplotne energije,
- sodobne naprave so opremljene z naprednimi regulatorji, ki spremljajo pretok fluida, tlak, temperature na vhodu in izstopu ter delovanje kompresorja; sistemi se samodejno prilagajajo, kar optimizira učinkovitost,
- redni servis (npr. čiščenje filtrov, pregled kompresorja, preverjanje meritev) je ključen za dolgo življenjsko dobo sistema, ki pri napravi (TČ) tip zemlja/voda znaša 20 do 25 let.

Energetski, okoljski in ekonomski vidiki naprave (TČ):

- **energetska učinkovitost** – zaradi stabilnih podzemnih temperatur se 70 do 80 % toplote pridobi iz okolja, le 20 do 30 % električne energije pa je potrebne za pogon kompresorja in ventilatorjev,
- **okoljska prijaznost** – sistem minimalno vpliva na okolje, saj bistveno zmanjša emisije toplogrednih plinov v primerjavi s tradicionalnimi načini ogrevanja,

- **dolgoročni prihranki** – zaradi nižjih stroškov električne energije se investicija v sistem hitro povrne, obratovanje pa dolgoročno prinaša pomembne prihranke pri ogrevanju in hlajenju.

3.2.4 Koeficient učinkovitosti naprave (TČ)

Koeficient učinkovitosti ali grelno število (COP – Coefficient of Performance) označuje učinkovitost naprav (TČ). Predstavlja razmerje med pridobljeno toplotno energijo in količino električne energije, ki jo naprava porabi za svoje delovanje. Višja kot je vrednost COP, manj električne energije je potrebne za enako količino oddane toplote. Na primer: če je (COP 4), to pomeni, da za 1,00 kWh električne energije naprava zagotovi 4,00 kWh toplotne energije. Vrednost (COP) je odvisna od temperature vira toplote in zahtevane temperature v ogrevalnem sistemu. Toplota, ki jo pridobimo iz okolja, je v osnovi brezplačna energija – v tem primeru toplota iz zemlje. Toplota se naravno prenaša iz toplejšega telesa na hladnejše. S toplotno črpalko pa ta proces obrnemo: iz nizkotemperaturnega nivoja dvignemo toploto na višji temperaturni nivo. To omogoča naprava (TČ) s pomočjo električne energije, ki poganja kompresor in ventilator.

Vrednost (COP) naprave (TČ) (enačba 3) določimo kot razmerje med toploto, pridobljeno iz geosonde, in vloženo električno energijo, upoštevano skozi celotno leto.

$$COP = \frac{Q}{Pe_{TČ}} \quad (3)$$

Kjer je:

- COP – grelno število ogrevalne naprave (TČ),
- Q – dejanska toplotna moč (TČ) v (kW),
- $Pe_{STČ}$ – specifikacija električna moč naprave (TČ) v (kW).

Za napravo (TČ) tip zemlja/voda velja, da večja kot je vrednost (COP), bolj učinkovitejša je naprava, saj za manjši vložek električne energije pridobimo več toplotne energije.

3.2.5 Koeficient učinkovitosti različnih tipov naprave (TČ)

Navedeni so trije primeri naprav (TČ), prikazani v (tabeli 2). Najvišje grelno število (COP) dosega naprave (TČ) tip voda/voda, ki izkoriščajo toploto iz podtalnice in jo oddajajo v ogrevalni medij. Naprave (TČ) tip zemlja/voda, ki toploto pridobivajo iz zemlje preko geosonde, imajo nekoliko nižji COP. Najmanj učinkovite so naprave (TČ) tip zrak/voda, ki izkoriščajo toploto iz okoliškega zraka. Njihova učinkovitost je močno odvisna od vremenskih pogojev, saj zunanja temperatura bistveno vpliva na količino razpoložljive toplote.

Tabela 2 grelna število (COP), najpogostejših treh tipov naprav (TČ), ki se uporabljajo za pridobljeno toplotno energijo, vložena električna energija ogrevalne naprave (TČ), napravi koeficient toplotne energije.

Tip posameznih (TČ)	Grelna število (COP)
TČ voda/voda	5,50 - 6,40
TČ zemlja/voda	4,00 - 5,00
TČ zrak/voda	3,20 - 4,20

Tabela 2: Grelna število (COP) posameznih tipov naprav (TČ).
(Vir: Spletna stran, Primerjam.si, 2024)

3.3 Prednosti in slabosti geotermalnega ogrevalnega sistema

Pri vsaki rabi energiji se srečamo s pozitivnimi in negativnimi vplivi na okolje in ljudi. Tudi geotermalna energija ima določene prednosti in slabosti.

Prednosti:

- geosonde izkoriščajo stalno temperaturo tal, kar zagotavlja učinkovito delovanje sistema skozi celo leto, neodvisno od sezonskih sprememb,
- medtem ko geosonde zdržijo do 50 let ali več, ima toplotna črpalka življenjsko dobo med 20 in 30 let, kar omogoča dolgotrajno investicijo,
- geotermalni sistem znižuje odvisnost od tradicionalnih virov energije, kar prispeva k večji energetske neodvisnosti,
- po začetni investiciji sistem zahteva relativno malo energije za svoje delovanje, kar se odraža v nižjih stroških skozi čas,
- zmanjšanje emisij (CO₂), zaradi uporabe obnovljivega vira energije,
- sistem omogoča tako ogrevanje kot hlajenje, kar je še posebej ugodno v podnebjih z vročimi poletji in mrzlimi zimami,
- investitorji pogosto prejemajo finančne spodbude, kot so subvencije, krediti ali davčne ugodnosti za uporabo okolju prijaznih tehnologij ogrevanja,
- sistem se lahko prilagodi tako novim kot obstoječim zgradbam, če je pravilno zasnovan,
- uporabljen minimalni prostor postavitvi ogrevalne naprave (TČ) v objektu, zato ker rabi zelo malo prostora v kotlovnici,
- povračilo naložb geotermalnega sistema z geosondo, znaša od 4 do 7 let.

Slabosti:

- geotermalni sistem z geosondo zahteva visoke začetne stroške zaradi stroškov vrtanja, rudarskega dovoljenja in montaže, ki znašajo od 15.000,00 do 20.000,00 EUR,

- geološke značilnosti tal (npr. struktura kamnin, prisotnost podtalnice), lahko omejujejo izvedljivost sistema na nekaterih območjih,
- če sistem ni pravilno zasnovan, lahko povzročimo toplotno onesnaženje podtalnice ali okolja zaradi zavržene termalne vode,
- usedanje tal, ki nastane pri praznjenju vodonosnikov, ki lahko preprečimo z reinjektiranjem,
- če hočemo zavrtati vrtino, moramo oddati vlogo, ki jo Ministerstvo za okolje in prostor odobri, Direkcija (RS), pomeni da potrebujemo rudarsko dovoljenje (ZRud – 1) in Agencija Republike Slovenije za okolje izda vlogo (ZV – 1),
- pri globokih vrtinah lahko pride do zapletov, kot so usedanje tal, poškodbe cevi ali nezadostno vračanje termalne vode v podtalnico, kar zahteva dodatne ukrepe,
- čeprav so stroški delovanja nizki, je vzdrževanje ključnih komponent, kot so geosonde ali naprava (TČ), nujno, za dolgo življenjsko dobo sistema, kar lahko povzroči občasne stroške, enkrat letni pregled ogrevalne naprave (TČ).

4 SONČNA ELKTRARNA S HRANILNIKOM ENERGIJE

4.1 Princip sončne energije

Sonce je osnovni naravni vir svetlobne in toplotne energije, ki se zaradi svoje kroglaste oblike širi v vse smeri. Svetlobno sevanje je elektromagnetno valovanje z valovnimi dolžinami od približno 0,10 μm (ultravijolična svetloba) do 3,00 μm (infrardeča svetloba). Pri delovanju fotonapetostnih (fotovoltaičnih) sistemov so ključnega pomena predvsem vidna svetloba in del infrardeče svetlobe, ki se pretvarjata v električno energijo.

Vsa sončna energija, ki jo oddaja Sonce, ne doseže Zemljine površine, saj jo med prehodom skozi atmosfero delno razpršijo in absorbirajo plini, kot so vodna para, ozon in ogljikov dioksid. Poleg absorpcije pride tudi do odbijanja zaradi različnih lomnih količnikov ter senčenja, tako na molekulah zraka kot ob stiku s površjem. Globalno sončno sevanje sestavljata dve glavni komponenti:

- direktno sevanje – sončni žarki, ki dosežejo površino Zemlje brez ovir,
- difuzno sevanje – sončna svetloba, ki se med prehodom skozi atmosfero razprši in doseže površino pod različnimi koti.

Prednosti sončne energije:

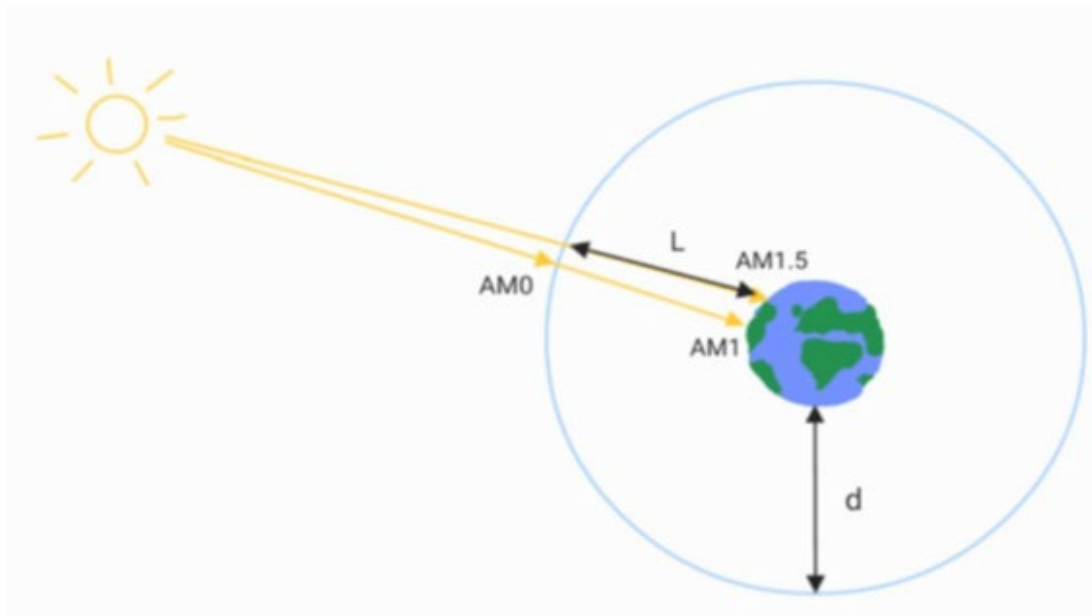
- obnovljivost sonca, je praktično neizčrpen vir energije, kar pomeni, da se energija vsako leto neizmerno ponovi,
- izkoriščanje čiste sončne energije med delovanjem ne povzroča neposrednih emisij toplogrednih plinov (CO_2), kar prispeva k čistemu okolju,
- razpoložljivost sončne energije lahko zajamemo povsod, kje je lokacija obsijana s sončnimi žarki, bodisi na strehah gospodinjstskih objektov ali samostojnih sončnih elektrarnah.

Po podatkih iz virov, kot sta *Encyclopaedia Britannica* in *U.S. Department of Energy*, je celoten tok sončne energije, ki ga prejme Zemlja, večji od trenutnih in predvidenih energetskega potreb človeštva, če bi jo znali optimalno izkoristiti.

Pri pretvorbi sončne energije je pomemben tudi faktor zračne mase (AM), ki označuje navidezno pot sončne svetlobe skozi atmosfero. V vesolju ima sončna svetloba največjo gostoto (AM 0), medtem ko standardni pogoji v srednji Evropi ustrezajo AM 1,5. Ta parameter prikazuje, kako se pot svetlobe podaljša z večjo debelino atmosfere, kar vpliva na količino energije, ki doseže Zemljino površino.

Zaradi sprememb v položaju Sonca skozi leto se spreminja tudi dolžina dneva. Poleti sonce vzhaja okoli 5. ure in zahaja malo pred 21. uro, pozimi pa je dan krajši, od

približno 8. do 17. ure. Na sliki 5 so prikazane vrednosti faktorja zračne mase (AM) z oznako L (dolžina poti svetlobe na Zemlji) ter d (debelina atmosfere).



Slika 5: Prikazuje faktor zračnih mas, za različni točki na Zemlji.

(Vir: Špela Krnc diplomsko delo, avgust 2024)

Gostota sončnega sevanja, izražena v W/m^2 , predstavlja jakost sončnega valovanja na določeni površini, medtem ko se količina energije, ki jo površina prejme v določenem časovnem intervalu, izraža v Wh/m^2 in pomeni časovno obsevanje. V praksi je optimalen izkoristek dosežen, kadar so sončni paneli nameščeni z naklonom med 30° in 40° , saj to omogoča, da sončni žarki padajo čim bližje pravokotno na njihovo površino.

Standardni testni pogoji (STC) omogočajo primerjavo različnih fotonapetostnih (PV) modulov. Test se izvaja pri osvetljenosti 1.000 W/m^2 , temperaturi 25°C in faktorju zračne mase AM 1,5. Sezonska dinamika sončnega sevanja neposredno vpliva na proizvodnjo električne energije v (PV) sistemih, kjer so kakovost, količina in intenziteta sončnega obsevanja ključni dejavniki.

4.2. Sončna celica

Sončne celice so najpogostejše izdelane iz silicija, ki se uporablja v obliki rezin iz monokristalnega ali polikristalnega silicija. Poleg tega obstajajo tudi tankoplastne strukture celic, na primer iz spojine kadmij – telurid (CdTe), ter iz zmesi baker – indij – galij – selen (CIGS).

Proizvedena električna energija je enosmerna (DC). Lahko se neposredno uporablja v sistemih za samooskrbo ali pa se s pomočjo razsmernika pretvori v izmenično energijo (AC), ki je primerna za uporabo v distribucijskem omrežju.

Glede na učinkovitost ločimo tri glavne vrste modulov:

- monokristalni moduli – imajo urejeno strukturo brez nepravilnosti, v kateri se vsak silicijev atom povezuje s štirimi sosednjimi; njihova učinkovitost znaša od 20 do 22 %, življenjska doba pa 20 do 25 let,
- polkristalni moduli – imajo delno urejeno strukturo; atomi so urejeni znotraj manjših območij, ki se razlikujejo po velikosti in usmeritvi; moduli so cenejši, vendar manj učinkoviti, z izkoristkom od 15 do 18 %,
- tankoplastni moduli – izdelani so iz materialov, kot sta (CdTe) ali (CIGS); imajo amorfno, neurejeno strukturo, pogosto z dodatkom vodika za zmanjšanje napak v materialu; njihova učinkovitost znaša od 10 do 13 %, prednost pa je, da so lažji in prilagodljivi.

4.2.1 Delovanja sončne celice

Fotovoltaika (PV) predstavlja neposredno pretvorbo sončne energije v električno energijo. Glavni proces temelji na absorpciji fotonov v sončnih celicah, ki so običajno izdelane iz polprevodniškega materiala, najpogosteje silicija. Ko sončna svetloba z valovnimi dolžinami med 0,10 μm in 3,00 μm zadene sončno celico, fotonapetostni učinek v polprevodniškem materialu povzroči nastanek para elektron – vrzel (pozitivno nabiti nosilec).

V silicijevi rezini je ustvarjen (PN – spoj), sestavljen iz plasti p – tip (s presežkom vrzeli) in n – tip (presežek elektronov). Električno polje na spoju učinkovito ločuje fotogenerirane elektrone in vrzeli ter omogoča pretvorbo svetlobne energije v električno. Monokristalne sončne celice imajo pri tem običajno višji izkoristek kot polikristalne.

Sestava sončne celice vključuje dve osnovni plasti:

- n – tip, ki vsebuje presežek negativnih elektronov,
- p – tip, ki vsebuje presežek pozitivnih vrzeli.

Ko sončna svetloba zadene fotovoltaično celico, se sprožijo elektroni, ki ustvarijo električno energijo. V sončni celici se ustvari (PN – spoj), absorbirana svetloba fotoni z energijo (E_{ph}). Vrednost energije fotona (enačba 4) je sorazmerna s Planckovo konstanto (h) in hitrostjo svetlobe (c) ter obratno sorazmerna z valovno dolžino (λ). Fotoni z daljšo valovno dolžino (rdeča svetloba) imajo manjšo energijo od tistih s krajšo valovno dolžino (modra svetloba).

Če ima foton dovolj energije, vzbudi elektron iz valenčnega pasu v prevodni pas, pri čemer nastane vrzel. Na območju (PN – spoja) se vzpostavi notranje električno polje, ki s pomočjo difuzije ločuje elektrone in vrzeli ter ustvarja električni potencial napetost. Če je zunanje vezje zaprto, se elektroni usmerjajo skozi zunanji krog in ustvarijo električni tok.

$$E_{ph} = \frac{h \times c}{\lambda} \text{ (J)} \quad (4)$$

Kjer je:

- E_{ph} – energija fotona v joulih (J),
- h – Planckova konstanta v (Js),
- c – hitrost svetlobe v (m/s),
- λ – valovna dolžina lambda v (m).

Silicijeva rezina proizvede 35, mA/cm², na vsak (cm²) silicijeva rezine pod optimalnimi pogoji 1.000,00 W/m² in pri 25,00 °C, ustvari tok gostote 35,00 mA. Pomeni, da silicijeva rezina z površino 1,00 cm², pod idealnimi pogoji skozi teče tok 35,00 mA. Napetost 0,65 V, pomeni odprta vezno napetost (Voc), da je najvišja napetost, ki jo lahko silicijeva celica ustvari, ko ni priključen noben porabnik, obremenitev. To nastane zaradi notranjega električnega polja, zaradi (PN – spoj).

4.2.2 Senčenje sončnih celic

Sončne celice so v fotonapetostnih modulih povezane v niz. Pri zaporedni vezavi se napetost sistema poveča z vsako dodatno celico, medtem ko skozi celoten niz teče enak tok. Ključna slabost take vezave se pojavi, kadar je ena od celic zasenčena – v tem primeru se zmanjša tok celotnega niza, kar povzroči padec izhodne moči. Poleg tega se zasenčene celice zaradi povečane absorpcije toplote lahko pregrejejo, kar vodi v hitrejšo degradacijo in nižji izkoristek. Na učinkovitost (PV – sistema) močno vplivajo lokacija, pravilna postavitvev modulov ter sence, ki jih povzročajo sosednje zgradbe, drevesa ali drogovi. Predhodna analiza sončne poti je zato ključna, saj omogoča optimalno razporeditev modulov in ustrezno prezračevanje, kar preprečuje pregrevanje celic in posledično zmanjšanje njihove učinkovitosti. Priporočila pri načrtovanju sončne elektrarne:

- izogniti se je treba senčenju s premišljeno postavitvijo modulov in ustreznimi razmiki,
- že v zgodnji fazi predvideti lastno senčenje zaradi geometrije sistema, kjer je treba najti kompromis med čim večjo pokritostjo in minimalno zasenčenostjo,
- upoštevati vpliv infrastrukture (npr. drogovi, snegobrani, sosednje stavbe), ki lahko povzročajo dnevne sence,
- uporabiti premostitvene diode, ki razbremenijo tok zasenčenih celic in zmanjšajo negativne učinke senčenja,

- redno odstranjevati sneg, listje in prah, saj tudi ti povzročajo delno senčenje in zmanjšujejo učinkovitost sistema.

4.3 Fotonapetostni modul

Fotonapetostni modul je sestavljen iz več sončnih celic iz kristalnega silicija in predstavlja osnovni gradnik sončne elektrarne. Celice so med seboj povezane s trakastimi vodniki, po katerih teče električni tok. Dimenzija vodnika mora biti dovolj velika, da omogoča ustrezen pretok toka, hkrati pa mora biti zasnovana tako, da čim manj zasenči površino celice. Pri zaporedni vezavi se napetosti posameznih celic seštevajo, pri vzporedni vezavi pa se povečuje tok. Ključni parametri, s katerimi so moduli označeni, so: maksimalna moč (P_{MPP}), napetost pri maksimalni moči (U_{MPP}), tok (I_{MPP}), kratkostični tok (I_{SC}) in napetost odprtih sponk (U_{OC}). Sistemska učinkovitost fotovoltaičnih (PV) modulov treh različnih tipov monokristalni modul, polkristalni modul in tankoplastni modul.

Fotonapetostni moduli vsebujejo od 36 do 72 celic, njihova pričakovana življenjska doba je od 20 do 25 let. Montaža panelov je najpogostejše izvedena na strehe različnih oblik, lahko pa se integrirajo tudi v fasade, balkon-ske ograje ali samostojne konstrukcije na tleh. Optimalni naklon modulov je odvisen od geografske lokacije in letnega obsevanja. V Sloveniji se kot za fiksne sisteme običajno giblje med 30 in 40°, saj omogoča najboljši izkoristek sončne energije skozi vse leto.

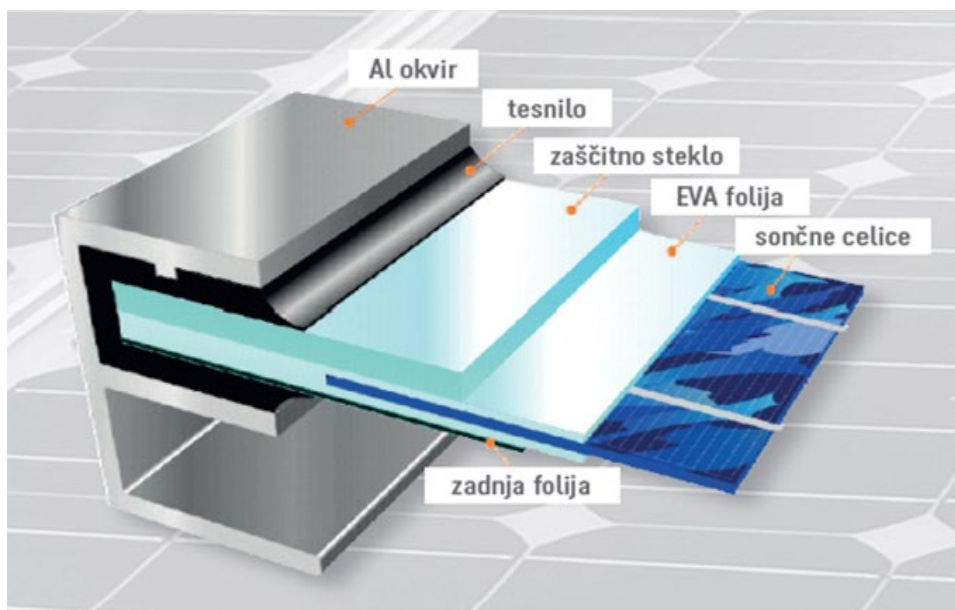
Za še večjo učinkovitost se uporabljajo dinamične rešitve – sledilniki soncu, ki samodejno prilagajajo orientacijo in nagib panelov. Na ta način se vzdržuje skoraj idealen kot vpadanja žarkov čez dan, sistemi pa se lahko deloma prilagajajo tudi vremenskim razmeram.

4.3.1 Sestava (PV) modula

Sestava tipičnega fotonapetostnega (PV) modula vključuje več ključnih elementov (slika 6), ki so posamezno opisani:

- aluminijast okvir, ki olajša montažo in trdnost modula,
- prozorno kaljeno steklo, ki omogoča prehod sončnih žarkov in ščiti pred različnimi vremenskimi pojavi,
- EVA film (etilen-vinilni acetat) – zagotavlja fizično in kemijsko zaščito celic pred vlago, UV – svetlobo, temperaturnimi spremembami in mehanskimi obremenitvami; s tem podaljšuje življenjsko dobo in stabilnost delovanja,
- lepilni sloj EVA – omogoča enakomerno porazdelitev toplote v notranjosti modula, zmanjšuje tveganje lokalnega pregrevanja in posledične degradacije celic,

- osrednji del – silicijeva podlaga s (PN – spoj), sestavljena je iz plasti n – tip in p – tip polprevodnika; na stiku nastane (PN – spoj), kjer absorpcija svetlobe sproži ločevanje parov elektron – vrzel, kar ustvari električni tok,
- zadnja kontaktna plast (back sheet) – običajno kovinski stik na zadnji strani celice, ki omogoča prevodnost električnega toka, hkrati pa nudi mehansko stabilnost in odpornost na vremenske vplive.



Slika 6: Prečni prerez sestave splošnega (PV) modula.
(Vir: Spletna stran, Energetska Izkaznica stavb, 2020)

Zaradi učinkovite absorpcije svetlobe morajo biti sončne celice čim tanjše, da kar največ svetlobe prodre do (PN – spoja), kjer poteka pretvorba svetlobe v električno energijo. Posamezne celice, ki sestavljajo (PV) modul, je treba ustrezno zaščititi, zato so moduli sestavljeni iz več plasti z različnimi funkcijami. Zgornja plast je kaljeno steklo, ki omogoča prehod sončnih žarkov do celic in hkrati ščiti modul pred vremenskimi vplivi. V osrednjem sloju so nizi sončnih celic, obdani z (EVA – filmom), ki se pri povišani temperaturi stopi in celice hermetično zapre. Tako so zaščitene pred vlago in mehanskimi poškodbami, hkrati pa se zaradi odvzema kisika zmanjša tveganje za požar. Spodnja plast je teflonska folija, ki ne prepušča svetlobe in dodatno varuje celice. Celotno konstrukcijo dopolnjuje aluminijast okvir, ki zagotavlja trdnost, stabilnost in enostavno montažo modula.

4.4 Hranilnik energije

Pri fotovoltaičnih sistemih, kjer proizvodnja električne energije ni neposredno usklajena s porabo, je ključnega pomena uporaba hranilnika energije. Ta zagotavlja zanesljivo oskrbo v obdobjih, ko je proizvodnja zaradi vremenskih razmer, senčenja,

noči ali letnega časa nezadostna. Na ta način se zmanjšuje odvisnost od distribucijskega omrežja, povečuje energetska neodvisnost in optimizira ekonomičnost celotnega sistema. Hranilniki učinkovito shranjujejo električno energijo, njihova robustna zasnova pa zagotavlja zanesljivo podporo obnovljivim virom energije. Sodobni sistemi omogočajo integracijo z daljinskim nadzorom in razširljivostjo. Hranilniki so zasnovani za enofazne ali trifazne PV-sisteme ter so združljivi z razsmerniki podobnih specifikacij. Priklučitev na omrežje je odvisna od soglasja za mesto priključka, ki ga odobri upravljavec distribucijskega omrežja, ter od kompatibilnosti z izbranim razsmernikom. Običajna življenjska doba hranilnikov energije je od 10 do 15 let, proizvajalci pa običajno nudijo desetletno garancijo.

4.4.1 Tehnične značilnosti hranilnika energije

Nominalna moč energije hranilnika (kWh/dan):

- predstavlja največjo količino električne energije, ki jo lahko hranilnik shrani v našem primeru nominalna moč energije znaša 16.45 kWh/dan, ter dejanske uporabne moč energije znaša 16,00 kWh/dan.

Globina praznjenja (DoD – Depth of Discharge):

- zaradi zaščite baterij in podaljšanja njihove življenjske dobe, se baterije lahko uporabljajo do 100,00 % praznjenja, globina praznjenja (DoD) predstavlja delež, ki se lahko varno izprazni v našem primeru 16,00 kWh/dan,
- običajno se pri (Li – ion) baterijah pogosto uporablja (DoD) okoli 80 %,

Enosmerno napetostno območje (Vdc):

- kar pomeni, dejanska delovna napetost, ki jo baterija vzdržuje med polnjenjem in praznjenjem, združljivost z razsmernikom na strani, kjer pretvarja (DC),
- v našem primeru enosmerna napetost pri polnjenju znaša od 420,00 do 450,00 Vdc, pri praznjenju znaša od 350,00 do 410,00 Vdc.

Stanje napolnjenosti (SOC – State of Charge):

- (SOC) prikazuje trenutni delež napolnjenosti baterije, ki je izražen v odstotkih,
- (SOC) je 100,00 % pomeni popolno napolnjen hranilnik, medtem ko (SOC) znaša nič odstotkov pomeni, da se je popolnoma izpraznil,

Življenjska doba ali cikli polnjenja:

- življenjska doba baterijskega hranilnika se meri v številu polnih ali delnih ciklov polnjenja in praznjenja,
- višje število ciklov, pomeni daljšo uporabo brez bistvene degradacije baterije, približno 6.000 ciklov ali več, pomeni, da naredi en cikel na dan,

Tehnologija (Li – ion) baterijskih celic:

- velika gostota shranjene energije od 150,00 do 250,00 Wh/kg in možnost ponovnega polnjenja (Li – ion) baterije shranijo do petkrat več energije na enoto mase, kot svinčeni akumulatorji,
- predvidena življenjska doba od 10 do 15 let, garancija 10 let,
- prednost visoke globine praznjenja (DoD) do 100,00 %, pomeni da se uporabljajo bolj intenzivno, ampak priporočeno delovanje med 20 do 80 % skupne kapacitete, zato baterija ohranja 70 % prvotne kapacitete,
- slabost (Li – ion) baterij visoka cena, toplotna izguba zaradi notranje upornosti in tveganje segrevanja, kar lahko v skrajnem primeru pride do vžiga same baterije.

Naravna konvekcija:

- hlajenje brez ventilatorjev, kar podaljša življenjsko dobo.

Polnilna in praznilna moč:

- maksimalna in minimalna moč, s katero se lahko polni in prazni, mora biti vrednost usklajena s proizvodnjo sončne elektrarne in porabe, saj hitrejša polnjenje ali praznjenje vpliva na življenjsko dobo,
- maksimalna moč praznjenja in polnjenja znaša 7,00 kW,
- maksimalna izhodna moč znaša 11,00 kW za 10,00 sekund.

Učinkovitost in izgube:

- (round – trip) učinkovitost polnjenje ali praznjenje meri delež energije, ki se po shranjevanju in nato porabi, pri sodobnih (Li – ion) sistemih je to običajno nad 90 %, kar pomeni, da se izgubi manj kot 10 % energije med ciklom,
- za naš primer hranilnika velja (round – trip) več kot 90 %.

Komunikacijski protokol (RS485) in (CAN bus):

- v sodobnih sistemih se uporablja komunikacija preko (RS485/CAN bus), ki omogoča natančno spremljanje, sledenje stanja baterije, nadzor nad polnjenjem in praznjenjem, ter integracijo z ostalimi komponentami, kot so optimizatorji, do razsmernika, nato v hranilnik in še v merilk energije, celotni (PV) sistem,
- (RS485/CAN bus) je protokol med komunikacijam optimizator, razsmernik, hranilnikom, ter merilnikom energije.

Okoljski pogoji in temperatura stabilnost:

- temperatura vpliva na delovanje baterijskih celic, zato se pri nizkih temperatura poveča ionska upornost in se zmanjša učinkovitost, medtem ko lahko visoke temperature pospešijo degradacijo,

- sistemi pogosto vključujejo mehanizme za toplotno uravnavanje, ki so nameščeni v zaščitnih prostorih, da zagotavljajo stabilno delovanje.

Zaščitna funkcija:

- vgrajene zanke za zaščito pred prekoračitvijo toka, napetosti, kratkim stikom in napačno polariteto so ključne za varno in zanesljivo delovanje,
- stopnja zaščite (IP55), pomeni odporno proti prahu in poškopljeni vodi.

Združljivost:

- so konstruirani za kompatibilnost z razsmernikom, če je enofazni ali trifazni, v našem primeru podpira trifazni razsmernik.

4.5 Razsmernik

Vloga razsmernika je pretvorba enosmerne energije (DC), pridobljene v fotonapetostnem procesu, v izmenično energijo (AC), ki je sinhronizirana z omrežjem in ustreza standardom 230/400 V ter 50 Hz. Ker je tudi v akumulatorjih shranjena enosmerna energija, je razsmernik umeščen v sistem tik pred priključnim mestom na distribucijsko omrežje. Deluje v območju med 80 % in 115 % maksimalne moči (PV – sistema), pri čemer skozi vse leto zaradi vremenskih razmer in letnih časov natančno sledi točki maksimalne moči (MPPT). Razsmerniki so lahko enofazni ali trifazni, pri čemer trifazni zagotavljajo enakomerno porazdelitev moči med vse tri faze. Poleg centralnega (MPPT) omogočajo tudi komunikacijo med optimizatorji, hranilnikom in razsmernikom, kar zagotavlja optimalno delovanje sistema tudi ob spremenljivih svetlobnih pogojih. Vgrajeni imajo različne zaščitne mehanizme, kot so zaščita pred prenapetostjo, pregrevanjem in preobremenitvijo, hkrati pa omogočajo natančen nadzor nad delovanjem sistema prek komunikacijskih vmesnikov (RS485, CAN bus). V primeru, da se sončna elektrarna izključi iz omrežja, razsmernik pošlje signal do posameznih modulov z optimizatorji, ki kratko sklenejo (PV) modul, kar prepreči nastanek nevarne napetosti ob neposrednem dotiku. Običajna življenjska doba razsmernikov je od 10 do 15 let, proizvajalci pa pogosto ponujajo možnost podaljšane garancije do 20 ali 25 let.

4.6 Optimizator

Optimizator je elektronska naprava, nameščena neposredno na zadnjo stran posameznega fotonapetostnega (PV) modula. Njegova glavna naloga je spremljanje in prilagajanje delovanja modula tako, da ta ves čas deluje pri svoji točki maksimalne moči (MPPT). Na ta način optimizira napetost in tok, ki ju ustvari posamezni modul, ter zagotavlja čim učinkovitejši izkoristek sončne energije, tudi v primerih delnega senčenja, neenakomerne osvetlitve ali razlik med moduli. Ker vsak modul deluje optimalno samostojno, slabša zmogljivost enega modula ne vpliva negativno na delovanje celotnega niza. Optimizator tako povečuje skupni izkoristek sistema in je

še posebej pomemben pri namestitvah, kjer se pojavlja delno senčenje ali pa imajo moduli različne nagibe. Poleg tega omogoča natančno spremljanje delovanja vsakega modula, kar olajša diagnostiko in pospeši odpravljanje morebitnih napak.

4.7 Fotonapetostni sistem

Fotonapetostni sistem (PV) nastane, ko se več fotonapetostnih modulov poveže v celovito napravo za neposredno pretvorbo sončne energije v električno energijo. Paneli se običajno povežejo v nize, s čimer se doseže potreben napetostni nivo za delovanje sistema. Več serijsko vezanih nizov se nato poveže vzporedno, kar omogoča združevanje napetosti in toka ter oblikovanje želene nazivne moči (PV – sistema). Proizvedena izmenična energija (AC) je sinhronizirana z distribucijskim omrežjem, saj mora ustrezati njegovim standardom. Presežek električne energije se lahko brez težav odda nazaj v omrežje, kar omogoča t. i. mrežno povezavo oziroma *grid – tied* delovanja. Takšen pristop omogoča, da sistem deluje kot del širšega omrežja in hkrati predstavlja osnovo za hibridne ali mikroomrežne rešitve (slika 7).



Slika 7: Potek proizvodnje, raba in oddajanje sončne energije.

(Vir: Spletna stran, Europe – SolarStore.com, 2024)

Z vidika zasnove se fotonapetostni sistemi prilagodijo svoji namembnosti. V našem primeru, kjer za preskrbo z električno energijo skrbi distribucijsko podjetje Elektro Ljubljana d. d., je možno presežke proizvedene električne energije oddajati v distribucijsko omrežje. Zato uporabljamo omrežni oziroma *grid – tied* sistem.

4.7.1 Omrežni sistem

Omrežni (PV) sistem, oziroma (grid – tied) so zasnovani takole, da so priključeni na javno distribucijsko omrežje, kaj je posebnost takšnega sistema.

Oddaja presežka energije:

- proizvedena električna energija, ki presega trenutne potrebe, se neposredno injicira v omrežje, ko v obdobjih nižje proizvodnje energija, lahko črpa iz omrežja, kar omogoča racionalno uravnoteženje ponudbe in povpraševanja.

Merilni in obračunski sistemi:

- sestavni del omrežnih sistemov so merilniki, števcji in zaščitni elementi, ki omogočajo obračun oddane in porabljene električne energije, sistem (NET Metering).

Razporeditev glede na velikost:

- omrežni sistemi se delijo na razpršene manjše sončne elektrarne, običajno za oskrbo posameznih gospodinjstev in centralne sisteme večje komercialne sončne elektrarne, ki so zasnovane za vrsto masovne proizvodnje, kjer so ti elementi optimizirani za učinkovito integracijo s tržnimi mehanizmi.

4.7.2 Samostojni sistem

Samostojni fotonapetostni (PV) sistemi so primerni za oskrbo porabnikov z električno energijo na nedostopnih ali težje dostopnih območjih ter v manj razvitih predelih Slovenije. Takšni sistemi omogočajo napajanje porabnikov znotraj lokalnega omrežja s pomočjo hranilnika energije ali v hibridni kombinaciji z drugimi agregati. Lokalno omrežje je lahko enosmerno, kar je primerno za enosmerne porabnike ali izmenično, če gre za porabnike, ki potrebujejo izmenični tok. Ker samostojni (PV – sistem) ni priključen na distribucijsko omrežje, se viški proizvedene električne energije shranjujejo v hranilniku in porabljajo v času, ko proizvodnje ni.

4.8 Novi sistem obračunavanja

Neto meritve ali model samooskrbe, imenovan *net metering*, predstavljajo sistem obračunavanja proizvedene in porabljene električne energije iz mikro sončnih elektrarn. Podnevi, ko je proizvodnja višja od porabe, se viški električne energije oddajajo v omrežje, ponoči pa, ko proizvodnje ni, gospodinjstvo energijo pridobiva iz distribucijskega omrežja. Ker je proizvodnja sončne elektrarne spremenljiva, se količina energije, ki jo oddajamo v omrežje ali porabljamo iz njega, spreminja dnevno in je močno odvisna od letnega časa. Poleti je proizvodnja bistveno večja zaradi daljših dni in več sončnih ur, pozimi pa je manjša, saj so dnevi krajši, dodatno pa jo zmanjšuje sneg na modulih, ki preprečuje dostop sončne svetlobe. Na letni ravni naj

bi bila proizvedena količina električne energije približno enaka letni porabi gospodinjstva. Če je poraba večja, razliko doplačamo, če pa je proizvodnja večja, se presežek odda v omrežje brez finančnega nadomestila.

Od 1. januarja 2024 se je net metering v Sloveniji preoblikoval v mesečno obračunavanje. To pomeni, da se v vsakem mesecu posebej evidentira količina električne energije, ki jo sončna elektrarna odda v omrežje, in količina, ki jo lastnik prevzame iz njega. Presežek iz enega meseca se tako ne more več prenesti v naslednji mesec, temveč se upošteva zgolj znotraj posameznega obračunskega obdobja.

Novi model obračunavanja omogoča:

- hitrejši in preglednejši vpogled v razmerje med proizvodnjo in porabo ter s tem takojšen finančni pregled,
- dvosmeren obračun, kjer se natančno izračuna, koliko energije je bilo oddane in koliko prevzete iz omrežja, obračun pa se izvede po veljavnih maloprodajnih cenah in pogojih uvoza,
- možnost neto porabe, pri kateri se proizvedena in porabljena energija združita v en obračun, presežek pa se uporablja za izravnavo primanjkljajev (obračun lahko poteka letno ali mesečno, odvisno od regulative),
- model samooskrbe, ki ločeno evidentira proizvodnjo in porabo ter spodbuja optimizacijo lastne rabe energije, predvsem v kombinaciji s hranilniki in dinamičnim obračunavanjem po tarifah.

5 SAMOOSKRBA OBJEKTA Z GEOTERMALNO IN SONČNO ENERGIJO

5.1 Tehnični opis obstoječega geotermalnega sistema

Obstoječi geotermalni sistem z geosondo in naprave (TČ) tip zemlja/voda, kataloške oznake *Thermia Diplomat Optimum G3 8*, je vgrajen v objekt s površino 180,00 m², v katerem živijo štirje družinski člani. Hiša je nizkoenergijske gradnje, stara osem let, z dobro izolacijo in toplotno izgubo 40,00 W/m². Življenjska doba sistema je predvidena 20 let, ob rednem vzdrževanju pa lahko doseže več kot 25 let.

Toplotna črpalka deluje s povprečnim letnim grelnim številom (COP) od 4,00 do 5,00 in je priključena na trifazno omrežje (AC) 230,00/400,00 V, 50,00 Hz, preko varovalk 3 × 20,00 A. Specifična električna poraba naprave znaša 2,00 kW, medtem ko je toplotna moč 7,50 kW, kar zadostuje za učinkovito delovanje ogrevalnega sistema. Kot hladivo se uporablja (R410A), ki je energetsko učinkovito in primerno za prenos toplote. Naprava vključuje integriran 200,00-litrski grelnik sanitarne vode, kar omogoča kompaktno izvedbo in majhno prostorsko zahtevnost. Tehnologija *Tap Water Stratification* (TWS) omogoča hitrejšo segrevanje sanitarne vode, dodatno pa sistem podpira daljinsko upravljanje (Thermia Online). Nakupna cena naprave (TČ) je znašala 8.807,96 EUR.

Ključni del sistema je geosonda, s katero se pridobiva toplota iz tal. Temperatura pridobljene toplote znaša 13 °C, toplotni odzem iz kamnin pa 65,00 W/m. Za prenos toplote se uporablja delovni fluid – mešanica 30,00 % glikola (etilenglikol) in vode, v skupni količini 170,40 litrov (52,00 litrov glikola in 118,40 litra vode). Cena glikola je bila 3,00 EUR/liter, skupni strošek pa 156,00 EUR, medtem ko voda ni povzročila dodatnih stroškov.

Ker sistem zahteva vrtino za vgradnjo geosonde, je bilo potrebno pridobiti rudarsko dovoljenje v skladu z Zakonom o rudarstvu (ZRud – 1), kar je stalo 550,00 EUR. Vrtina s končno globino 121,85 m je imela ceno 65,28 EUR/m, kar skupaj s stroški vgradnje znaša 10.985,91 EUR. Izvajalec del je bilo podjetje *Atlas Trading*.

Celotna naložba v geotermalni sistem z geosondo in napravo (TČ) je znašala 19.793,87 EUR. Ker gre za prvo vgradnjo, je bilo možno pridobiti nepovratna sredstva EKO sklada v višini 20,00 % oziroma 3.958,77 EUR. Po odštetju subvencije so končni stroški investicije znašali 15.835,10 EUR.

5.1.1 Izračun tehničnih podatkov geotermalnega sistema

Vrednost izračuna (enačba 5) skupna toplotna izguba objekta je rezultat, med specifično podano toplotno izgubo objekta $40,00 \text{ W/m}^2$ ter površino objekta $180,00 \text{ m}^2$:

$$Q_N = \frac{Q_S \times A}{1.000,00} = \frac{40,00 \times 150,00}{1.000,00} = 7,20 \text{ kW} \quad (5)$$

Kjer je:

Q_N – dejanska skupna toplotna izguba objekta v (kW),

Q_S – specifična toplotna izguba objekta v (W/m^2),

A – površina objekta v (m^2).

Potrebna toplotna moč naprave (TČ), je potrebno $10,00 \%$ povečati, vrednost faktorja $1,1$ ekvivalent povečanja, zaradi izgube pri prenosu toplotnega medija do ogrevalnega medija (enačba 6):

$$P_{T\check{c}} = Q_N \times (1 + \text{ekvivalent } 0,1) = 7,20 \times (1 + 0,1) = 7,92 \text{ kW} \quad (6)$$

Kjer je:

$P_{T\check{c}}$ – optimalna toplotna moč (TČ) v (kW),

Q_N – dejanska skupna toplotna izguba objekta v (kW),

$1,1$ – ekvivalent vrednost faktorja za $10,00 \%$ povečan.

Končna globina vgradnje geosonde (enačba 7), uporabimo vrednost odvzema toplote iz kamnin $65,00 \text{ W/m}$, podatek je podal podjetje (Atlas Trading) izvajalec vgradnje vrtine, za optimalno delovanje geotermalnega sistema, ki je potrebna optimalna električna moč naprave (TČ), ter vrednost odvzema toplote kamnin:

$$L = \frac{P_{T\check{c}}}{Q_G} = \frac{7.920,00}{65,00} = 121,85 \text{ m} \quad (7)$$

Kjer je:

L – končna globina vgradnja vrtine za geosondo v (m),

$P_{T\check{c}}$ – optimalna toplotna moč (TČ) v (W),

Q_G – toplotni odvzem iz kamnin v (W/m).

Potrebno je vedeti, kakšno bomo imeli temperaturo ogrevanja bivalnih prostorov $23,00 \text{ }^\circ\text{C}$. Povprečna najnižja zunanja temperatura okolice objekta, glede na lokalno podnebne pogoje za Slovenijo, odvisno od regije, kjer stoji objekt v našem primeru – $10,00 \text{ }^\circ\text{C}$. Vrednost pridobljene temperature iz geosonde je $13,00 \text{ }^\circ\text{C}$. Projektna temperaturna razlika (enačba 8) sestavlja, razmerje, med notranjo želeno temperaturo in zunanjo izmerjeno temperaturo:

$$\Delta T_O = T_N - T_Z = 23,00 - (-10,00) = 33,00 \text{ }^\circ\text{C} \quad (8)$$

Kjer je:

ΔT_O – projektna temperaturna razlika objekta v (°C),

T_N – notranja temperatura bivalnih prostorov v (°C),

T_Z – najnižja zunanja temperatura okolice hiše v (°C).

Dejanska letna potreba po toplotni energiji objekta 180,00 m² (enačba 9), kjer ogrevamo bivalne prostore na zeleno temperaturo 23,00 °C, vrednost temperaturnega primanjkljaja lokacije objekta posredoval izvajalec geotermalnega sistema znaša 3.160,00 K/dni, skozi leto:

$$Q_{BP} = \frac{P_{T\check{C}} \times 24h \times TP}{1.000,00 \times \Delta T_O} = \frac{7.920,00 \times 24h \times 3.160,00}{1.000,00 \times 33,00} = 18.201,60 \text{ kWh/leto (9)}$$

Kjer je:

Q_{BP} – dejanska toplotna energija za ogrevanje bivalnih prostorov v (kWh/leto) skozi leto,

$P_{T\check{C}}$ – optimalno toplotno moč (TČ) iz (kW) pretvorimo v (W),

TP – temperaturni primanjkljaj lokacije objekta skozi leto v (3.160,00 K/dni),

ΔT_O – projektna temperaturna razlika objekta v (°C).

Potrebna vrednost, kakšno bomo imeli optimalno nastavljeno temperaturo segrevanja sanitarne vode, v grelni napravi (TČ) tip zemlja/voda. V našem primeru je optimalna nastavljena temperatura sanitarne vode 55,00 °C, ter temperatura pridobljena iz geosonde znaša 13,00 °C. Vrednost projektna temperaturna razlika (enačba 10), za nastavljeno temperaturo sanitarne vode:

$$\Delta T_{SV} = T_{SV} - T_G = 55,00 - 13,00 = 42,00 \text{ °C (10)}$$

Kjer je:

ΔT_{SV} – projektna temperaturna razlika sanitarne vode v (°C),

T_G – pridobljena toplota iz geosonde v (°C),

T_{SV} – optimalna nastavljena temperatura za sanitarno vodo v (°C).

Predpostavimo, da oseba dnevno porabi 50,00 litrov vode, ker so v hiši štirje porabniki tople vode. Temperatura vstopnega medija znaša 13,00 °C, nato naprava (TČ) dogreje razliko, do ogrete nastavljene temperature 55,00 °C, za sanitarno vodo. Letna količina uporabljene sanitarne vode (enačba 11), za štiri člansko družino:

$$m = \text{število dni/leto} \times m_s = 365 \times 200,00 \text{ l} = 73.000,00 \text{ l/leto (11)}$$

Kjer je:

m – vrednost letne količine porabe tople vode v (l/leto),

m_s – dnevna poraba sanitarne voda za štiri člansko družino v (l).

Dejanski izračun (enačba 12), letno potrebna toplotna energija za ogrevanje sanitarne vode. To napravimo, tako da, projektna temperaturna, za sanitarno vodo znaša 42,00

°C, specifična toplota vode, nato razmerje faktorja 3.600,00 s/h, dobimo vrednost izračunana letne količine toplotne energije, za sanitarno vodo:

$$Q_{SV} = \frac{c \times m \times \Delta T_{SV}}{3.600,00} = \frac{4,20 \times 73.000,00 \times 42,00}{3.600,00} = 3.577,00 \text{ kWh/leto} \quad (12)$$

Kjer je:

Q_{SV} – dejanska toplotna energija za ogrevanja sanitarne vode v (kWh/leto) skozi leto,

c – specifična toplota vode znaša 4,186 kJ/kg*K $\approx$ (4,20 kJ/kg*K),

m – vrednost letne količine porabe tople vode v (l/leto),

ΔT_{SV} – projektna temperaturna razlika sanitarne vode v (°C).

Skupna letna toplotna energija objekta, za ogrevanje bivalnih prostorov in sanitarne vode (enačba 13) skozi leto, dobimo količino toplotne energije celotnega objekta skozi leto:

$$Q_{cel} = Q_{BP} + Q_{SV} = 18.201,60 + 3.577,00 = 21.778,60 \text{ kWh/leto} \quad (13)$$

Kjer je:

Q_{cel} – dejanska skupna letna toplotna energija objekta v (kWh/leto),

Q_{BP} – dejanska toplota energija za ogrevanje bivalnih prostorov v (kWh/leto),

Q_{SV} – dejanska toplotna energija za ogrevanje sanitarne vode v (kWh/leto).

Količina časa (enačba 14) mirovanje naprave (TČ) skozi dan, napravimo, tako da, (TČ) predimenzioniramo na faktor (f), ki pomeni, koliko časa (ur) na dan bo v mirovanju, v našem primeru naprava (TČ) miruje 4 ure:

$$f = \frac{24h}{24h - \text{čas ustavitve}} = \frac{24}{24 - 4} = 1,20 \quad (14)$$

Kjer je:

f – vrednost faktorja predimenzioniranosti naprave (TČ),

$24h$ – celotno dnevno delovanje v (h),

4 – koliko časa bo dnevno naprava (TČ) mirovala v (h).

Moč toplotne energije ogrevalne naprave (TČ), upoštevanje (DIN 12831) znaša 0,25 kW po osebi, ter izračun skupne toplotne izgube moči objekta 7,20 kW. Ogrevalna naprava (TČ), bo delovala v monovalentnem načinu obratovanja, ki obratuje naprava (TČ) integrirano z geotermalnim sistemom, ter bo pridobljena toplota iz geosonde večinoma skoraj pokrila ogrevalno obremenitev (enačba 15), upoštevan so štirje družinski člani, ki na osebo porabijo toplotne moči 0,25 kW:

$$Q_{TČ} = f \times (Q_N + Q_{Oseba}) = 1,20 \times (7,20 + 4 \times 0,25) = 9,84 \text{ kW} \quad (15)$$

Kjer je:

$Q_{TČ}$ – dejanska moč toplotne črpalke v (kW),

Q_N – dejanska skupna toplotna izguba objekta v (kW),
 f – vrednost faktorja predimenzioniranosti naprave (TČ),
 Q_{oseba} – ocena toplotne moči sanitarne vode na osebo vrednost 0,25 kW.

Grelno/hladilno moč naprave (TČ) tip zemlja/voda (enačba 16), za grelno/hladilno moč (TČ), je potrebno dimenzionirati geosondo, oziroma glede na odvzeto toploto:

$$Q_{GH} = Q_{TČ} - Pe_{STČ} = 9,84 - 2,00 = 7,84 \text{ kW} \quad (16)$$

Kjer je:

Q_{GH} – vrednost grelno/hladilno moč toplotne energije (TČ) v (kW),
 $Q_{TČ}$ – dejanska moč toplotne črpalke v (kW),
 $Pe_{STČ}$ – specifikirana električna moč naprave (TČ) v (kW).

Vrednost grelnega števila (enačba 17), to napravimo, tako da, razmerje med toplotno močjo in specifikirano električno moč naprave (TČ), nato dobimo vrednost (COP) skozi leto:

$$COP = \frac{Q_{TČ}}{Pe_{TČ}} = \frac{9,84}{2,00} = 4,92 \quad (17)$$

Kjer je:

COP – grelno število skozi leto za (TČ),
 $Q_{TČ}$ – dejanska toplotna moč črpalke v (kW),
 $Pe_{STČ}$ – specifikirana električna moč naprave (TČ) v (kW).

Količina skupne letne toplotne energije objekta, za ogrevanje prostorov in sanitarne vode znaša 21.778,60 kWh/leto, je potrebno izračunati (enačba 18), kolikšna je letna količina rabe električne energije ogrevalne naprave (TČ) skozi leto, ter uporabiti zmogljivost naprave (TČ) vrednost 4,92 (COP):

$$E_{TČ} = \frac{Q_{cel}}{COP} = \frac{21.778,60}{4,92} = 4.426,54 \text{ kWh/leto} \quad (18)$$

Kjer je:

$E_{TČ}$ – količina rabe električne energije ogrevalne naprave (TČ), za skupno ogrevanje objekta v (kWh/leto),
 Q_{cel} – dejanska skupna letna toplotna energija objekta v (kWh/leto),
 COP – grelno število skozi leto naprave (TČ).

Letni stroški rabe električne energije naprave (TČ). Cena porabljene (kWh) električne energije znaša 0,23 EUR, pomeni, trenutni naključni cenik 0,15 EUR/kWh, ter prišteli zvišan ravno toliko, kolikor je vlada (RS) zvišala ceno zamejitvijo 0,00769 EUR/kWh, pridobljeno dne 22.02.2025 (spletna stran Varčujem z energijo, 2025), ter vstavljeno v izračun (enačba 19) :

$$Se_{T\check{c}} = E_{T\check{c}} \times 0,23 = 4.426,54 \times 0,2308 = 1.021,65 \text{ EUR/kWh/leto} \quad (19)$$

Kjer je:

$S_{T\check{c}}$ – letni stroški rabe električne energije ogrevalnega sistema naprave (TČ) v (EUR/kWh/leto),

$E_{T\check{c}}$ – količina rabe električne energije ogrevalne naprave (TČ) za ogrevanje objekta in sanitarne vode v (kWh/leto),

0,23 – cena porabljene kilovatne ure električne energije v (EUR/kWh).

Specificirana električna moč naprave (TČ) tip zemlja/voda znaša 2,00 kW, za izračun količine obratovalnega časa na leto (enačba 20), uporabimo letno količino rabe električne energije naprave (TČ) skozi leto:

$$T_{T\check{c}} = \frac{E_{T\check{c}}}{Pe_{ST\check{c}}} = \frac{4.426,54}{2,00} = 2.213,27 \text{ h/leto} \quad (20)$$

Kjer je:

$T_{T\check{c}}$ – čas obratovanja skozi leto naprave (TČ) v (h/leto),

$E_{T\check{c}}$ – količina rabe električne energije ogrevalne naprave (TČ) za ogrevanje objekta in sanitarne vode v (kWh/leto),

$Pe_{ST\check{c}}$ – specificirana električna moč naprave (TČ) v (kW).

Dvig temperature določi (COP), v našem primeru 4,92 (COP) V vseh primerih je grelna število odvisno od temperaturne razlike med virom in porabniki toplote. Nižji, kot je zahtevani temperaturni dvig, bolj ekonomično bo naprava (TČ) delovala. Vrednost časa obratovanja ogrevalne naprave (TČ) tip zemlja/voda, bo skozi leto obratovala 2.213,27 h/leto.

5.1.2 Investicija v geotermalni sistem z geosondo

Investicija v geotermalni sistem je znašala 19.793,87 EUR, pridobljena subvencija EKO sklada v višini 3.958,77 EUR pa je nabavno ceno zmanjšala na 15.835,10 EUR. Cena ogrevalne naprave tip zemlja/voda (TČ) je znašala 8.807,96 EUR, stroški vgradnje vrtine za geosondo pa 10.985,91 EUR. Izvajalec je bil *Atlas Trading*. Redni letni stroški vzdrževanja geotermalnega sistema znašajo 300,00 EUR, stroški dopolnilnega zavarovanja nepremičnine za geotermalni sistem pa 100,00 EUR na leto.

5.1.3 Donos geotermalnega sistema

Nadgradnja integriranega sistema je zasnovana tako, da presežek električne energije, ki ga v sončnih dneh proizvede fotonapetostni (PV) sistem, preusmeri v hranilnik energije. Shranjena energija se nato uporabi kot dodatni vir za napajanje ogrevalne naprave (TČ), katere poraba znaša 12,13 kWh na dan oziroma 4.426,54 kWh na leto, s čimer se dopolni obstoječi geotermalni sistem. Takšna sinergija

omogoča, da hiša s površino 180,00 m², ki ima dejansko skupno letno toplotno izgubo 21.778,60 kWh, doseže stabilno, učinkovito in neprekinjeno oskrbo. Letna raba električne energije za celotni geotermalni sistem znaša 4.426,54 kWh, letni prihranek zaradi samooskrbe s fotonapetostnim (PV) sistemom s hranilnikom energije pa 1.021,65 EUR.

5.2 Integracija energije geotermalnega in fotonapetosnega sistema

Rešitev zajema sončno elektrarno z energijskim hranilnikom, ki zagotavlja električno neodvisnost celotnega objekta. V slovenskih razmerah se predvideva, da 1,00 kWp nazivne moči fotonapetostnega (PV) sistema v dobrih pogojih proizvede približno 1.000,00 kWh električne energije na leto. Letna poraba električne energije objekta znaša 6.121,23 kWh oziroma 16,77 kWh na dan.

Sončna elektrarna nazivne moči 7,20 kWp je bila vgrajena maja 2024 na streho gospodinjstega objekta z namenom zmanjšanja odvisnosti od distribucijskega omrežja in zagotavljanja energetske varčnosti objekta. Namestilo jo je podjetje GEN – I Sonce. Streha je obrnjena proti jugu, na nadmorski višini 540 m, naklon (PV) modulov znaša 35 °. Integracija z geotermalnim sistemom in napravo (TČ) tip zemlja/voda, ki za dogrevanje letno porabi 4.426,54 kWh električne energije, ter preostala raba gospodinjstva v višini 1.694,69 kWh na leto, skupaj predstavlja skupno letno porabo objekta v višini 6.121,23 kWh. Sistem je zasnovan tako, da proizvedena in shranjena električna energija omogoča neodvisno in samooskrbno napajanje objekta. Dnevno delovanje vključuje podporo geotermalnemu sistemu z napravo (TČ), ki porabi 12,13 kWh, ter oskrbo preostale rabe gospodinjstva v višini 4,64 kWh, kar skupaj znaša 16,77 kWh na dan.

5.3 Tehnični opis sončne elektrarne s hranilnikom

V obdobju naraščajočih cen energentov in vse večje ozaveščenosti o okoljskih izzivih so obnovljivi viri energije postali ključni steber trajnostnega razvoja. V ta namen smo v okviru projekta samooskrbe z električno energijo v sodelovanju s podjetjem (GEN – I Sonce) izvedli nadgradnjo obstoječega ogrevalnega sistema z integracijo sončne elektrarne s hranilnikom energije. Ta novost je del širšega integriranega sistema, ki združuje geotermalno ogrevanje z geosondo in napravo (TČ) tip zemlja/voda ter sodobno fotonapetostno tehnologijo. S sončno elektrarno bo gospodinjstvo letno pridobilo 6.121,23 kWh električne energije, kar omogoča visoko stopnjo samooskrbe. Hibridni sistem, ki ga nadgrajujejo dodatki za optimizacijo polnjenja in praznjenja baterij, omogoča shranjevanje viškov električne energije, proizvedene v času močnega sončnega obsevanja, ter njihovo uporabo v obdobjih nizke proizvodnje. Tako se gospodinjstvo s toplotno izgubo 40,00 W/m² lahko učinkovito ogreva v

zimskem času ter zagotavlja stabilno oskrbo z električno energijo skozi vse leto. Integracija sončne elektrarne z obstoječim geotermalnim sistemom omogoča sinergijo med dvema obnovljivima viroma, s čimer se optimizira energetska neodvisnost objekta. Namen tega dela je analizirati proizvodnjo in rabo električne energije, oceniti ustreznost nadgradnje sistema s hranilnikom ter predlagati možnosti za še večjo energetske učinkovitost in zanesljivost oskrbe gospodinjstva z obnovljivimi viri energije.

5.3.1 Tehnični podatki komponent (PV) sistema

5.3.1.1 Fotovoltaični (PV) modul

V našem primeru fotonapetostni (PV) sistem optimalno letno proizvede 6.121,23 kWh električne energije, zato je bila izbrana sončna elektrarna nazivne moči 7,20 kWp. Sistem je sestavljen iz posameznih PV modulov (slika 8), pri čemer je vsak modul sestavljen iz 72 monokristalnih silicijevih sončnih celic. Površina enega modula znaša 2,11 m², skupna površina 18 PV modulov pa 37,98 m², pri čemer je njihov naklon 35,00°. Posamezne sončne celice v PV modulu so med seboj povezane zaporedno in vzporedno, da dosežejo nazivno moč 400,00 W na modul. Če je zadnja stran modula osvetljena zaradi odboja svetlobe od tal, se skupna proizvedena moč lahko poveča do približno 520,00 W. Maksimalna napetost znaša 41,50 V, maksimalni tok pa od 9,65 do 12,51 A. Napetost odprtih sponk znaša 49,70 V, kar pomeni, da PV modul doseže največjo napetost, kadar na njegovih priključkih ne teče tok (ni priključene obremenitve). Tok kratkega stika znaša približno 10,50 A. Izbrani PV moduli, sestavljeni iz monokristalnega silicija, imajo visok izkoristek, ki znaša od 18,90 do 24,60 %, zagotavljajo visoko zmogljivost in dolgoročno stabilnost, njihova življenjska doba pa je ocenjena na 20 do 25 let. Skupna cena 18 PV modulov znaša 4.752,00 EUR, cena posameznega modula pa 264,00 EUR.



*Slika 8: Fotovoltaični (PV) modul oznaka (LG NeON 2 – 400W).
(Vir: Spletna stran, Europe – SolarStore.com, 2024)*

5.3.1.2 Optimizator (PV) modula

Optimizator (slika 9), imenovan (SolarEdge P485), je vgrajen na vsakem fotonapetostnem (PV) modulu, da je razsmernik popolnoma povezan s (PV) sistemom prek standardnih komunikacijskih protokolov (RS485/CAN bus). To omogoča natančen nadzor celotnega sistema in diagnostiko. Optimizator je specifično zasnovan za visokonapetostne PV module, saj omogoča maksimalni izkoristek sončne energije z aktivnim spremljanjem in sledenjem točki maksimalne moči (MPPT) na ravni posameznega modula v razponu od 8,00 do 80,00 V DC. Sledenje točki maksimalne moči omogoča učinkovito prilagajanje spremembam osvetlitvenih in temperaturnih pogojev. Zmanjševanje učinkov delnega senčenja, nadzor temperature in diagnostične funkcije so razlogi, da je priporočljivo vsak PV modul opremiti z zunanjim optimizatorjem, saj to lahko poveča izkoristek za do 25 %. Integrirana funkcija izklopa napetosti na ravni modula prispeva k večji varnosti električarjev in gasilcev. Optimizator sprejme do 485,00 W vhodne nazivne moči, kar ustreza zmogljivosti PV modula. Ker je nameščen na prostem, ima stopnjo zaščite IP68, kar pomeni odpornost proti vdoru prahu in vode. Skupna cena 18 optimizatorjev znaša 1.350,00 EUR, cena posameznega optimizatorja pa 75,00 EUR.



Slika 9: Optimizator oznaka (Solar Edge P485).
(Vir: Spletna stran, Europe – SolarStore.com, 2024)

5.2.2.3 Razsmernik (PV) sistema

Moderni razsmernik (slika 10) v našem primeru, (SolarEdge SE8K Three Phase Inverter), dosega učinkovitost pretvorbe od 97,00 do 98,00 %, kar pomeni minimalne izgube pri pretvorbi enosmerne energije (DC) v izmenično energijo (AC). Maksimalna vhodna napetost znaša 900,00 V DC, vhodna nazivna moč 7,20 kW pa je skladna z izbranim fotonapetostnim (PV) sistemom. Izhodna nazivna moč razsmernika znaša 10,80 kW, naprava pa je zasnovana za trifazno omrežje. Priključen je na distribucijsko trifazno omrežje izmeničnega toka (230,00/400,00 V, 50,00 Hz) prek varovalk 3 × 20,00 A, medtem ko priključna moč objekta po elektro soglasju znaša 13,86 kW. Nominalna vhodna enosmerna napetost razsmernika je 750,00 V DC. Razsmernik deluje znotraj napetostnega obsega, ki se na strani (AC) giblje od 184,00 do 264,50 V. Na fazo steče izhodni maksimalni tok 13,00 A, vhodni maksimalni tok pa znaša 13,50 A. Razsmernik je zasnovan z več zankami za sledenje točki maksimalne moči

(MPPT), kar je optimalno pri uporabi optimizatorjev na ravni posameznega (PV) modula. Trifazni razsmernik (SolarEdge SE8K) ima komunikacijske vmesnike (RS485/CAN bus), ki omogočajo natančen nadzor celotnega sistema in diagnostiko. Poleg teh protokolov omogoča tudi enostavno konfiguracijo prek naprednih vmesnikov (Ethernet, Wi – Fi), odvisno od uporabljenih komponent, kar omogoča hitro in intuitivno vključitev, nadzor in spremljanje sistema. Hlajenje razsmernika poteka aktivno z ventilatorjem, ki samodejno nadzoruje notranjo temperaturo naprave. Čas, ko ni vhodne energije, predvsem ponoči, razsmernik uporablja za osnovno delovanje sistema (Nighttime Power Consumption < 2,50 W), kar pomeni, da za spremljanje, komunikacijo in samodejni zagon potrebuje manj kot 2,50 W moči. Razsmernik vključuje funkcije zaščite pred napačno polarizacijo in zaznavanje ozemljitvenih napak, kar povečuje zanesljivost in varno delovanje v omrežju. Garancija znaša 12 let, predvidena življenjska doba pa je od 20 do 25 let. Cena razsmernika znaša 1.690,00 EUR.

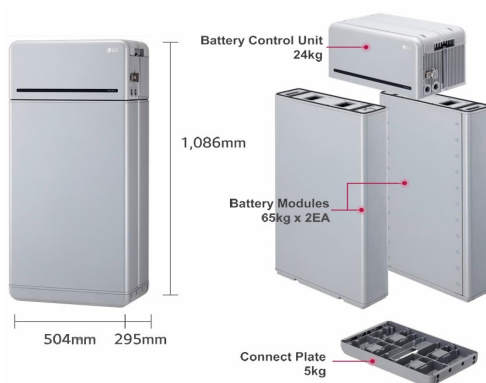


Slika 10: Razsmernik DC/AC oznaka (Solar Edge SE8K).
(Vir: Spletna stran, Europe – SolarStore.com, 2024)

5.2.2.4 Hranilnik energije

Integrirani trifazni hranilnik energije (LG Chem RESU16H) zagotavlja kapaciteto uporabne dnevne rabe energije za shranjevanje presežkov (slika 11). Nominalna skupna kapaciteta znaša 16,45 kWh na dan, uporabna kapaciteta pa 16,00 kWh, kar ustreza potrebam ene enote pri dnevni porabi 16,88 kWh. Sistem je konfiguriran z eno enoto, katere cena znaša 8.987,00 EUR, omogoča pa razširitev na dve enoti enakih lastnosti, s čimer se skupna kapaciteta poveča na 32,00 kWh na dan. Baterije so litij – ionske (Li – ion) in omogočajo praznjenje do 100 %, vendar se zaradi podaljšanja življenjske dobe uporablja globina praznjenja (DoD) 97,50 % pri okoljski temperaturi 25,00 °C. Enosmerna napetost pri polnjenju znaša od 420,00 do 450,00 V DC, pri praznjenju pa od 350,00 do 410,00 V DC. To napetostno območje zagotavlja optimalno učinkovitost pretvorbe in združljivost z razsmernikom na (DC) strani. Izbrani hranilnik dosega vodilno zmogljivost neprekinjene moči z 95 – odstotno učinkovitostjo vračanja enosmerne energije (round – trip). To pomeni, da lahko baterije neprekinjeno oddajajo moč 7,00 kW ob zelo visokem izkoristku pri pretvorbi in shranjevanju električne energije. Optimalna polnilna in praznilna moč znaša 7,00 kW, največja

kratkotrajna obremenitev pa doseže 11,00 kW za obdobje do 10 sekund. S postopki laminacije in skladanja so baterije zasnovane tako, da po 10 letih ohranijo vsaj 80 % prvotne shranjevalne zmogljivosti, kar zagotavlja dolgotrajno delovanje in zanesljivost. Načrtovane so za več kot 6.000 ciklov polnjenja in praznjenja pri določeni globini praznjenja (DoD). Hlajenje hranilnika je naravno, brez dodatnih stroškov. Vgrajeni komunikacijski vmesniki (RS485/CAN bus) omogočajo integracijo z nadzornim sistemom, kar zagotavlja spremljanje stanja hranilnika in povezljivost z razsmernikom. Življenjska doba znaša od 10 do 15 let, garancija pa 10 let. Cena ene enote hranilnika je 8.987,00 EUR.



Slika 11: Hranilnik energije oznaka (LG Chem RESU16H).

(Vir: Spletna stran, LG Energy Solution, 2024)

5.3.2 Pretvarjanje sončne energije v električno energijo

Sončna elektrarna nazivne moči 7,20 kWp je bila vgrajena na streho stanovanjskega objekta maja 2024. Površina strehe znaša 37,98 m² in jo pokriva 18 fotonapetostnih (PV) modulov. Podatki od maja 2024 do aprila 2025 predstavljajo enoletno obratovanje PV sistema. Prikazan je primerjalni pregled gostote moči sončnega obsevanja med neposrednim in difuznim sončnim obsevanjem ter zgolj neposrednim sončnim obsevanjem. Neposredna in difuzna gostota obsevanja pomenita skupno količino sončne energije na horizontalni površini, merjeno na ravni površini. V našem primeru prevladuje sončna energija v spomladanskem in zgodnje poletnem času. Neposredna gostota obsevanja označuje količino sončne energije, ko sončni žarki padajo pravokotno na površino, kar pomeni, da se energija Sonca povečuje v poletnem času in traja do jeseni, kar je posledica kota in oddaljenosti Sonca ter Zemlje glej (tabelo 3). Izračun proizvedene električne moči PV modulov temelji na enačbi 21, kjer moč sončnega obsevanja označimo z (G), površino PV modulov z (A), izkoristek (η) znaša 24,00 %, sistemski faktor izgube (PV) sistema pa 0,80 (spletni portal ARSO, 2025).

$$P_{PV} = G \times A \times \eta \times PR \quad (21)$$

Kjer je:

P_{PV} – količina proizvedene električne energije v (kWh),

G – gostota moči sončnega sevanja v (W/m^2),

A – površina vgrajenih (PV) modulov v (m^2),

η – izkoristek pretvorbe (PV) sistema, potrebno upoštevati faktor (0,22),

PR – sistemski faktor izgube za (PV) sistem, upoštevati (0,80).

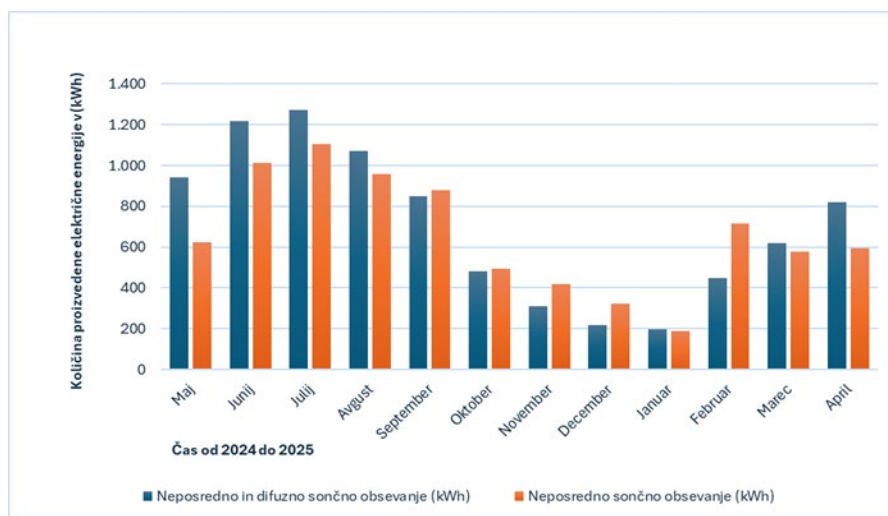
Tabela 3 podatki, koliko električne energije se je proizvedlo z (PV) sistemom, v času od meseca maja 2024 do aprila 2025, skozi celo leto.

Mesec	Leto	Neposredno in difuzno sončno obsevanje (kWh/m^2)	Neposredno sončno obsevanje (kWh/m^2)	Neposredna in difuzna gostota obsevanja (W/m^2)	Neposredna gostota obsevanja (W/m^2)	Neposredno in difuzno sončno obsevanje (kWh)	Neposredno sončno obsevanje (kWh)
Maj	2024	141	93	5.865	3.893	941	625
Junij	2024	182	152	7.590	6.316	1.218	1.013
Julij	2024	190	165	7.935	6.875	1.273	1.103
Avgust	2024	160	143	6.672	5.963	1.070	957
September	2024	127	131	5.294	5.470	849	878
Oktober	2024	72	74	3.005	3.090	482	496
November	2024	46	63	1.929	2.621	309	421
December	2024	32	48	1.351	2.001	217	321
Januar	2025	29	28	1.219	1.180	196	189
Februar	2025	67	107	2.782	4.464	446	716
Marec	2025	93	87	3.863	3.609	620	579
April	2025	123	89	5.120	3.706	821	595
Skupaj		1.263	1.181	52.625	49.189	8.443	7.891
PV sistem (n) v (%)	22,00	Mesec		Sončna ura (h)	Povprečno število sončnih ur na dan (h)		
PV sistem (A) v (m^2)	37,98	Maj		121	4		
PV faktor izgube	0,80	Junij		291	10		
		Julij		300	10		
		Avgust		239	8		
		September		189	6		
		Oktober		153	5		
		November		55	2		
		December		42	1		
		Januar		75	2		
		Februar		150	5		
		Marec		164	5		
		April		199	7		
		Skupaj (h)		1.978	65		

Tabela 3: Količina sončne energije za (PV) sistema od maja 2024 do aprila 2025.

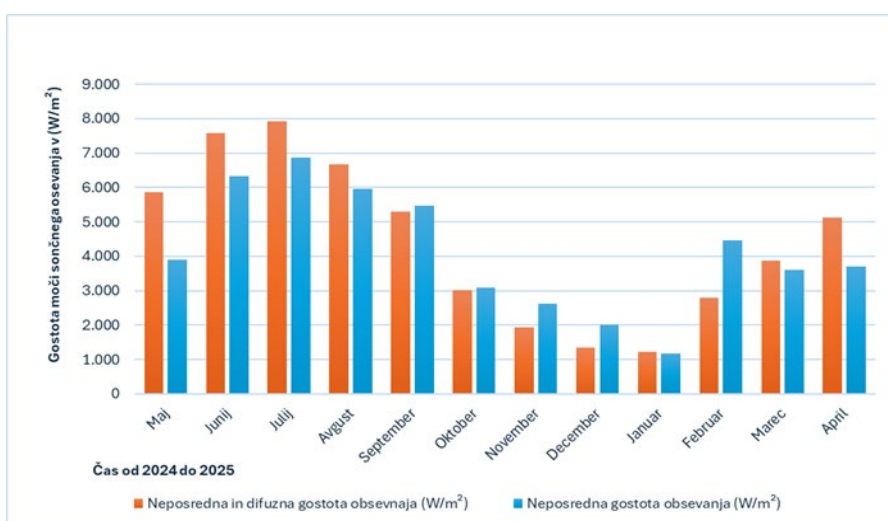
(Vir: Spletna stran, ARSO.GOV.SI, 2025)

Izbrani (PV) sistem, ki je bil vzpostavljen maja 2024, je do aprila 2025 (tabela 3) proizvedel 8.442,57 kWh električne energije na leto. Če odštejemo letno porabo objekta v višini 6.121,23 kWh, znaša presežek 2.321,34 kWh. Ti podatki vključujejo neposredno in difuzno sončno obsevanje. V primeru upoštevanja podatka o proizvedeni količini 7.891,23 kWh na leto ter ob enaki letni porabi objekta 6.121,23 kWh znaša presežek 1.770,00 kWh.



Slika 12: Primerjava proizvodnje (PV) sistema in količina električne energije.
(Lastni vir)

Potek proizvodnje (slika 12), kjer so vrednosti proizvodnje od spomladi, ter čez poletje visoko, nato v jesenskem in zimskem času, veliko oblačnih dni, nizka proizvodnja električne energije.



Slika 13: Primerjava gostote moči sončnega obsevanja od 2024 do 2025.
(Lastni vir)

Podatki kažejo razlike v proizvodnji električne energije glede na sončno obsevanje skozi letne čase. Spomladi in poleti nastajajo viški električne energije, medtem ko ob oblačnem vremenu in v obdobjih krajših dni proizvodnja upade. Izračuni količine proizvedene električne energije ob upoštevanju vseh parametrov (enačba 21)

omogočajo primerjavo podatkov (slika 13) med neposrednim in difuznim sončnim obsevanjem ter zgolj neposrednim sončnim obsevanjem.

5.4 Investicija v (PV) sistem s hranilnikom

Investicija v nadgradnjo neodvisne, samooskrbne oskrbe z električno energijo vključuje vgradnjo sončne elektrarne s hranilnikom energije, inštalirane nazivne moči 7,20 kWp. Cena komponent fotonapetostnega (PV) sistema je znašala 16.779,00 EUR, cena montaže pa 2.620,00 EUR, kar skupaj znaša 19.399,00 EUR. Redni letni stroški vzdrževanja (PV) sistema znašajo 550,00 EUR in vključujejo čiščenje, servis, administrativne stroške ter monitoring. V investicijo je vštet nakup ene enote hranilnika energije, ki omogoča shranjevanje in porabo dnevne kapacitete približno 16,45 kWh, kar pokrije rabo ogrevalne naprave (TČ) in gospodinjstva. Skupna dnevna poraba električne energije objekta znaša 16,77 kWh.

V investicijo (PV) sistema niso vključeni stroški priključitve dvosmernega merilnika ter montaže na glavne varovalke 3 × 20,00 A, kar pomeni dodatne stroške registracije in priključitve na omrežje, soglasje za priključitev sončne elektrarne s hranilnikom na distribucijsko omrežje pri distributerju Elektro Ljubljana d. d., pripravo tehnične risbe sistema, opredelitev merilnega mesta in sheme zaporedja merjenja ter tehnični pregled, certificiran s strani pooblaščen osebe. Začetni stroški v višini 1.612,25 EUR so vključevali administracijo, kalibracijo, tehnični pregled in priključitev na omrežje. Te stroške smo prišteli k investiciji (PV) sistema, ki je tako skupaj znašala 21.011,25 EUR.

Nepovratna sredstva EKO sklada v višini 500,00 EUR na 1,00 kW nazivne moči (7,20 kWp) so znašala 3.600,00 EUR, vendar ne smejo presegati 25,00 % celotne naložbe (21.011,25 EUR), zato je bilo pridobljenih 5.252,81 EUR. Nabavna cena naložbe (PV) sistema je tako znašala 15.758,44 EUR. Letni stroški vzdrževanja (PV) sistema znašajo 550,00 EUR, letno zavarovanje objekta pa 100,00 EUR. V zavarovalno polico objekta pri Zavarovalnici Triglav smo vključili tudi (PV) sistem ter jo obnovili in dopolnili tako, da krije naravne nesreče, vandalizem, krajo, tehnične okvare (PV) sistema ter odgovornost za škodo tretjim osebam.

5.4.1 Donos (PV) sistema s hranilnikom energije

Neposredno se s fotonapetostnim (PV) sistemom pokriva raba električne energije za ogrevanje objekta, pri čemer dnevna poraba naprave (TČ) znaša 12,13 kWh oziroma 4.426,54 kWh na leto, ostala raba gospodinjstva pa 4,64 kWh na dan oziroma 1.694,69 kWh na leto. Skupna dnevna poraba tako znaša 16,77 kWh. Proizvedena električna energija se shranjuje v hranilniku z nominalno dnevno kapaciteto 16,45 kWh, ki pokrije rabo električne energije za ogrevanje in gospodinjstvo skozi dan. Letna poraba električne energije objekta znaša 6.121,23 kWh, medtem ko (PV) sistem letno

proizvede 7.891,23 kWh. Presežek v višini 1.770,00 kWh se odda v omrežje, letni prihranek od prodaje presežne električne energije pa znaša 407,10 EUR po tarifi 0,23 EUR/kWh (cena energenta, pridobljena 22.03.2025).

5.5 Sredstva naložbe geotermalnega in (PV) sistema

5.5.1 Amortizacijska stopnja geotermalnega in (PV) sistema

Investicija fotovoltaičnega (PV) sistema za investitorja predstavlja osnovno sredstvo, zato predpostavljamo, da se bo uporabljal 20 let. Vrednost letne stopnje amortizacije je treba izračunati glede na življenjsko dobo 20 let, da se določi letni odstotek zmanjšanja vrednosti sredstva.

$$Sta = \frac{100,00 \%}{Za} = \frac{100,00 \%}{20 \text{ let}} = 5,00 \% / \text{leto}$$

Amortizacijska stopnja fotonapetostnega (PV) sistema znaša 5,00 % na leto. Investicija v geotermalni sistem za investitorja predstavlja osnovno sredstvo, pri čemer predpostavljamo, da se bo uporabljal najmanj 20 let.

$$Sta = \frac{100,00 \%}{Za} = \frac{100,00 \%}{20 \text{ let}} = 5,00 \% / \text{leto}$$

Kjer je:

Sta – stopnja amortizacije v (%/leto),

Za – življenjska doba investicije (leto),

100,00 % – celotni delež v odstotkih (%).

Iz tega sledi, da je amortizacijska stopnja za celotni geotermalni sistem znašala 5,00 % na leto (interni dokument, dr. Drago Papler, *Metodologija za ekonomsko upravičenost ovrednotenja naložbe*).

5.5.2 Izračun amortizacije geotermalnega in (PV) sistema

Stopnja amortizacije izraža delež (PV) sistema, za 5,00 %/leto amortizira glede na življenjsko dobo investicije, ki znaša 20 let. Amortizacija sredstev, se odraža z nabavno vrednost naložbe 15.758,44 EUR, ter življenjsko dobo investicije 20 let.

$$Am = \frac{Nv}{Pp} = \frac{15.758,44}{20 \text{ let}} = 787,92 \text{ EUR / leto}$$

Na podlagi vrednosti nabave naložbe (PV) sistema in življenjske dobe 20 let, znaša amortizacija 787,92 EUR/leto na letni ravni. Izračun stopnje amortizacije

geotermalnega sistema, iz nabavne vrednosti naložbe 15.835,77 EUR in življenjske dobe 20 let.

$$Am = \frac{Nv}{Pp} = \frac{15.835,77}{20 \text{ let}} = 791,79 \text{ EUR/leto}$$

Kjer je:

Am – amortizacija sredstev v (EUR/leto),

Nv – nabavna vrednost naložbe v (EUR),

Pp – predvidena življenjska doba (leto).

Amortizacija sredstev geotermalnega sistema znaša 791,79 EUR/leto na letni ravni (interni dokument, dr. Drago Papler, *Metodologija za ekonomsko upravičenost ovrednotenje naložbe*).

5.5.3 Individualna diskontna stopnja geotermalnega in (PV) sistema

Vrednost individualne diskontne stopnje se določa, kadar se naložba financira iz nepovratnih sredstev EKO sklada ter z bančnim kreditom EKO sklada in OTP banke (tabela 4). Za investicijo v geotermalni sistem je bil najet kredit pri EKO skladu za skupno naložbo v višini 19.793,87 EUR. Poleg tega je bila pridobljena subvencija EKO sklada v višini 3.958,77 EUR, zato je vrednost kredita znašala 15.835,10 EUR z letno obrestno mero 1,80 %. Nadgradnja z integracijo fotonapetostnega (PV) sistema je znašala 21.011,25 EUR, subvencija EKO sklada zaradi hranilnika energije pa 5.252,81 EUR. Najem kredita pri OTP banki je znašal 15.758,44 EUR z letno fiksno obrestno mero 3,10 % (interni dokument, dr. Drago Papler, *Metodologija za ekonomsko upravičenost ovrednotenje naložbe*).

Tabela 4 individualna diskontna stopnja investicij, izražena donosnost oziroma stroški financiranja in subvencija geotermalnega sistema iz EKO sklada, ter financiranje (PV) sistema kredit OPT Banka in subvencije EKO sklada.

Vrsta finančnega vira geotermalni sistem	Znesek v (EUR)	Delež vira	Realna cena vira (obr. mera)	Ponderirana vrednost (pond.obr. mera)
1	2	3	4	5 = 3 x 4
Subvencija EKO sklad	3.958,77	20,00%	0,00%	0,00%
Kredit EKO sklad	15.835,10	80,00%	1,80%	1,44%
Skupaj	19.793,87	100,00%		1,44%
Vrsta finančnega vira PV sistema	Znesek v (EUR)	Delež vira	Realna cena vira (obr. mera)	Ponderirana vrednost (pond.obr. mera)
1	2	3	4	5 = 3 x 4
Subvencija EKO sklad	5.252,81	25,00%	0,00%	0,00%
Kredit OTP Banka	15.758,44	75,00%	3,10%	2,33%
Skupaj	21.011,25	100,00%		2,33%

Tabela 4: Primerjava gostote moči sončnega obsevanja od 2024 do 2025.

(Lastni vir)

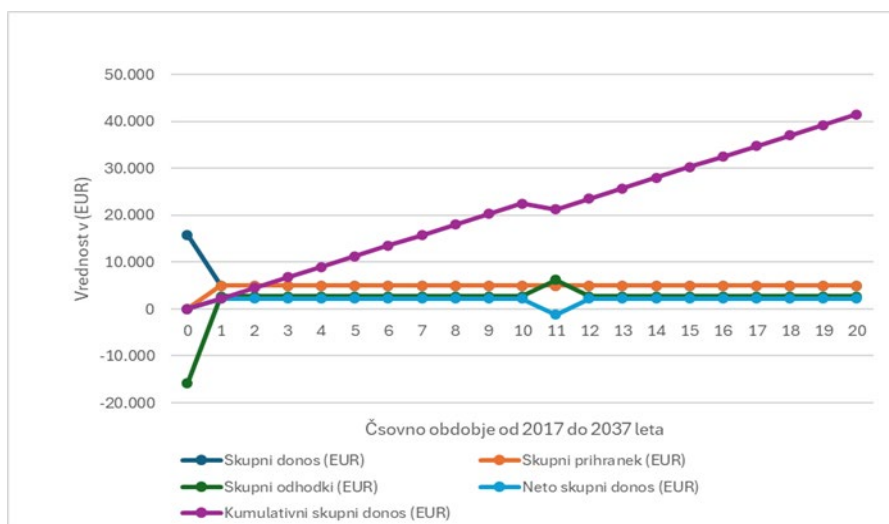
Izračunana individualna diskontna stopnja za geotermalni sistem je znašala 1,23 %, za fotonapetostni (PV) sistem pa 2,38 % (interni dokument, dr. Drago Papler, *Metodologija za ekonomsko upravičenost ovrednotenje naložbe*).

5.6 Denarni tok

5.6.1 Skupni denarni tok

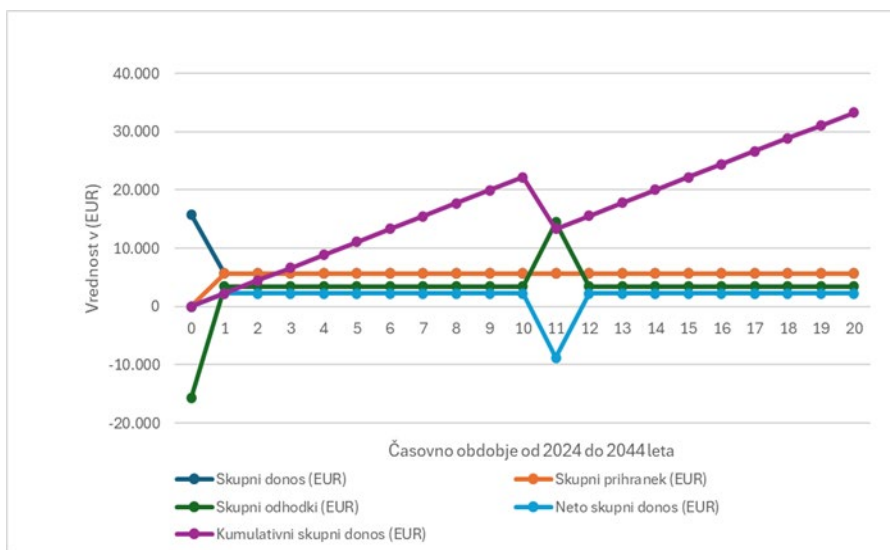
Denarni tok je sestavljen iz skupnega denarnega toka, ki zajema donose in odhodke ter tuja sredstva v življenjski dobi projekta. Za zagotavljanje likvidnosti projekta mora biti vsota donosov in odhodkov pozitivna. Skupni denarni tok je prikazan za obe naložbi, pri čemer so podatki črpani iz tabel za geotermalni sistem in fotonapetostni (PV) sistem (priloga 1, priloga 2), ter ločeno grafično za geotermalni sistem (slika 14) in (PV) sistem (slika 15) (interni dokument, dr. Drago Papler, *Metodologija za ekonomsko upravičenost ovrednotenje naložbe*).

Investicija v geotermalni sistem (slika 14), kljub začetnim negativnim odlivom sčasoma postane donosna in ustvarja pomemben pozitiven denarni tok, kar je ključni indikator finančne upravičenosti projekta. V enajstem letu se predvidoma povečajo stroški za 3.500,00 EUR zaradi vzdrževanja in popravila različnih komponent geotermalnega sistema, kot so obtočna črpalka, zamenjava inverterja ali servis geosonde. Podatki in vrednosti za skupni denarni tok naložbe geotermalnega sistema so prikazani v tabeli (priloga 1, priloga 2), pri čemer je življenjska doba ocenjena na 20 let. Skupni denarni tok za naložbo geotermalnega sistema je prikazan za obdobje od začetka naložbe leta 2017 do leta 2037 (slika 14).



Slika 14: Skupni denarni tok geotermalnega sistema in likvidnost projekta.
(Lastni vir)

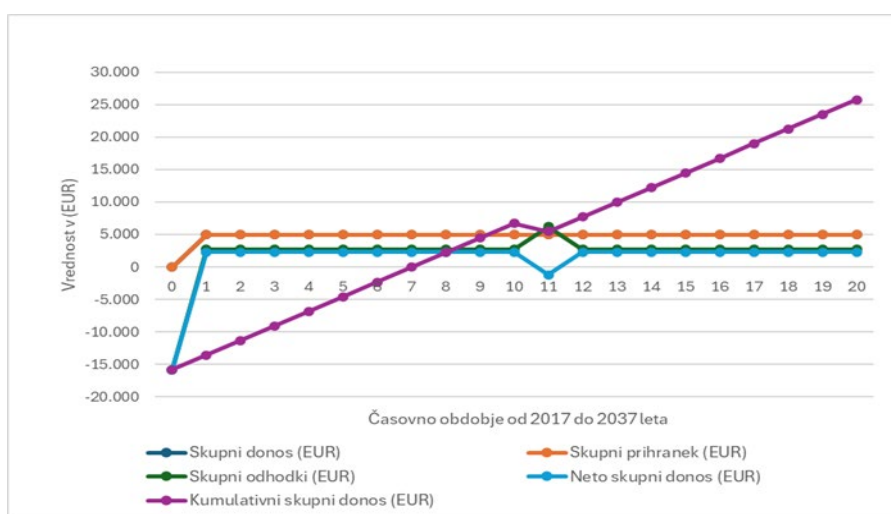
Na začetku investicije v fotonapetostni (PV) sistem s hranilnikom (slika 15) je prikazan skupni denarni tok naložbe za obdobje od leta 2024 do 2032, ko so stroški visoki in je kumulativni denarni tok negativen. Sčasoma skupni donosi in prihranki presežejo skupne odhodke, kumulativni denarni tok pa začne naraščati in postane pozitiven. V enajstem letu se predvidoma povečajo stroški v višini 11.000,00 EUR zaradi vzdrževanja, popravila ali zamenjave baterije hranilnika energije in razsmernika, katerih predvidena življenjska doba je od 10 do 15 let. Podatki in vrednosti za skupni denarni tok naložbe (PV) sistema so prikazani v tabeli (priloga 1, priloga 2), pri čemer je življenjska doba ocenjena na 20 let.



Slika 15: Skupni denarni tok (PV) sistema in likvidnost projekta.
(Lastni vir)

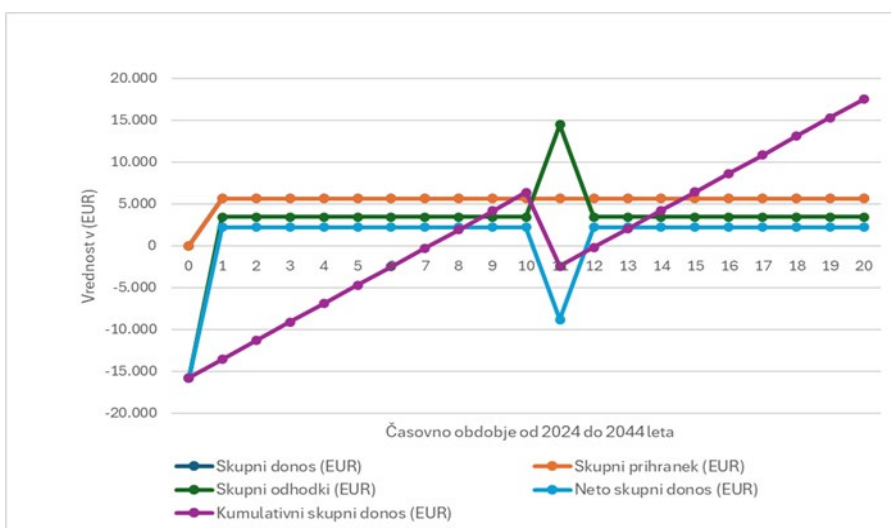
5.5.2 Realni denarni tok

Realni denarni tok je denarni tok, prilagojen za vpliv inflacije. Združuje vse denarne prilive in odlive skozi celotno obdobje, v našem primeru 20 let, ter omogoča oceno vrednosti projekta skozi čas. Realni denarni tok je prikazan za obe naložbi, pri čemer so podatki črpani iz tabel za geotermalni sistem in fotonapetostni (PV) sistem (priloga 3, priloga 4), ter ločeno grafično (interni dokument, dr. Drago Papler, *Metodologija za ekonomsko upravičenost ovrednotenje naložbe*).



Slika 16: Realni denarni tok geotermalnega sistema in dobo vračanja.
(Lastni vir)

Pri geotermalnem sistemu (slika 16) zaradi nižje neto investicije in nižje obrestne mere pride do povračila investicije po sedmih letih, ko kumulativni realni denarni tok doseže pozitiven rezultat, čeprav so letni realni tokovi lahko nižji. V enajstem letu se predvidoma povečajo stroški za 3.500,00 EUR zaradi vzdrževanja in popravila različnih komponent geotermalnega sistema, kot so obtočna črpalka, zamenjava inverterja ali servis geosonde. Podatki in vrednosti za realni denarni tok naložbe geotermalnega sistema so prikazani v tabelah (priloga 3, priloga 4) za obdobje od začetka naložbe leta 2017 do leta 2037, pri čemer je življenjska doba ocenjena na 20 let.



Slika 17: Realni denarni tok (PV) sistema in dobo vračanja.
(Lastni vir)

Pri (PV) sistemu (slika 17) se zaradi višje investicije, višjih finančnih stroškov in višje obrestne mere realni denarni tokovi nekoliko podaljšajo, vendar običajno prinesejo višje letne prihranke zaradi večje proizvodnje. Kumulativni realni denarni tok doseže pozitiven rezultat po sedmih letih. V enajstem letu se predvidoma povečajo stroški v višini 11.000,00 EUR zaradi vzdrževanja, popravila ali zamenjave baterije hranilnika energije in razsmernika, katerih predvidena življenjska doba je od 10 do 15 let. Podatki o poteku realnega denarnega toka naložbe (PV) sistema so prikazani v tabelah (priloga 3, priloga 4), Realni denarni tok naložbe PV sistema je prikazan za obdobje od leta 2023 do leta 2044, pri čemer je življenjska doba ocenjena na 20 let.

6 Ekonomske metode

6.1 Metoda sedanje vrednosti naložbe (NSV)

Za izračun sedanje vrednosti naložbe uporabimo metodo sedanje vrednosti naložbe. Ta metoda je pokazatelj spremenljivosti naložbe v projekt in mora izpolnjevati pogoj ($SV \geq 0$), kar pomeni, da morajo biti diskontirane vrednosti skupnih donosov večje od vrednosti skupnih odhodkov (interni dokument, dr. Drago Papler, *Metodologija za ekonomsko upravičenost ovrednotenje naložbe*).

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

Kjer je:

- SV – sedanja vrednost projekta,
- Sd – skupni prihodki za v (EUR),
- So – skupni odhodki v (EUR),
- i – tekoči indeks časovnega obdobja enega leta,
- r – diskontna stopnja, določena vnaprej,
- n – časovna razdalja v življenjski dobi trajanja projekta v letih.

Geotermalni sistem z geosondo zagotavlja konstantno učinkovitost pri ogrevanju. Sklenjen je bil fiksni kredit Eko sklada z obrestno mero 1,80 % v višini 15.835,10 EUR, odplačilna doba pa znaša 20 let. Podatki (priloga 5) kažejo, da se investicija ob diskontnem faktorju 1,44 % povrne v sedmih letih zaradi pozitivne neto sedanje vrednosti (NSDp) ter na dolgi rok ustvarja dobiček. V enajstem letu se predvidoma povečajo stroški v višini 3.500,00 EUR zaradi vzdrževanja in popravila različnih komponent geotermalnega sistema, kot so obtočna črpalka, zamenjava inverterja ali servis geosonde.

Naložba v (PV) sistem s hranilnikom energije zmanjšuje stroške nakupa električne energije, medtem ko geotermalni sistem omogoča stabilno in energetske učinkovito ogrevanje. Skupni denarni tok (priloga 6) skozi čas postane pozitiven, kar pomeni, da se investicija povrne v sedmih letih in nato začne ustvarjati donos. Čeprav je začetna investicija višja, analiza kumulativnega denarnega toka dokazuje, da je projekt finančno vzdržen in prinaša dolgoročne prihranke. Izračunana vrednost diskontnega faktorja je 2,33 %, fiksna obrestna mera posojila pri OTP banki pa znaša 3,10 %. Na koncu se diskontirani prihodki in odhodki seštejejo ter med seboj odštejejo, kar da pozitivno neto sedanjo vrednost (NSDp), kar pomeni, da investicija ustvarja dodatno vrednost. V enajstem letu se predvidoma povečajo stroški v višini 11.000,00 EUR zaradi vzdrževanja, popravila ali zamenjave baterije hranilnika energije in razsmernika, katerih predvidena življenjska doba je od 10 do 15 let.

6.2 Metoda interne stopnje donosnosti

Interno stopnjo donosnosti definiramo kot diskontno obrestno mero, ki izenači sedanjo vrednost pričakovanih prihodnjih denarnih tokov s sedanjo vrednostjo investicijskih izdatkov. Pri tej metodi je diskontna stopnja neznana in jo je treba določiti. Gre za diskontno stopnjo, pri kateri je neto sedanja vrednost enaka nič (interni dokument, dr. Drago Papler, *Metodologija za ekonomsko upravičenost ovrednotenje naložbe*).

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{(Sd - So)^t}{(1 + r)^t}$$

Kjer je:

- Sd – skupni prihodki v letu v (EUR),
- So – skupni odhodki v letu v (EUR),
- $1/(1+r)$ – diskontni faktor, pri katerem je izpolnjen pogoj (NSV = 0),
- i – tekoči indeks časovnega obdobja enega leta ($i = 1$ do n),
- $r = ISD$ – diskontna stopnja znaša,
- n – časovna razdalja v življenjski dobi trajanja projekta v letih.

6.2.1 Interna stopnja donosa naložbe geotermalnega sistema (ISD)

Podatek za neto sedanjo vrednost donosov znaša 2.123,06 EUR pri pozitivni diskontni stopnji (NSD_p) 10,00 % (priloga 7), medtem ko neto sedanja vrednost donosov pri negativni diskontni stopnji (NSD_n) 13,00 % znaša –917,62 EUR (priloga 8). Na podlagi dobljenih vrednosti je bila nato izračunana interna stopnja donosnosti za življenjsko dobo 20 let naložbe geotermalnega sistema. V enajstem letu se predvidoma povečajo stroški v višini 3.500,00 EUR zaradi vzdrževanja in popravila različnih komponent geotermalnega sistema, kot so obtočna črpalka, zamenjava inverterja ali servis geosonde.

$$ISD = r_p + (r_n - r_p) \times \frac{NSD_p}{NSD_p - NSD_n} = 10 + (13 - 10) \times \frac{2.123,06}{3.040,68} = 12,09 \%$$

Kjer je:

- ISD – interna stopnja donosnosti v (%),
- r_p – diskontna stopnja, pri kateri je (NSD_p) pozitiven,
- r_n – diskontna stopnja, pri kateri je (NSD_n) negativen,
- NSD – neto skupni donos ($Sd - So$) v (EUR),
- NSD_p – pri uporabljeni pozitivni diskontni stopnji v (EUR),
- NSD_n – pri uporabljeni negativni diskontni stopnji v (EUR).

Izračunana interna stopnja donosa za življenjsko dobo 20 let naložbe geotermalnega sistema znaša 12,09 %. Ker je višja od individualne stopnje 1,44 % in obrestne mere bančnega kredita 1,80 %, je naložba v geotermalni sistem upravičena.

6.2.2 Interna stopnja donosa naložbe (PV) sistema (ISD)

Podatek za neto sedanjo vrednost donosov znaša 1.251,80 EUR pri pozitivni diskontni stopnji (NSD_p) 8,00 % (priloga 8), medtem ko pri negativni diskontni stopnji (NSD_n) 10,00 % znaša –773,02 EUR (priloga 9). Na podlagi dobljenih vrednosti je bila nato izračunana interna stopnja donosnosti za življenjsko dobo 20 let naložbe fotonapetostnega (PV) sistema. V enajstem letu se predvidoma povečajo stroški v višini 11.000,00 EUR zaradi vzdrževanja, popravila ali zamenjave baterije hranilnika energije in razsmernika, katerih predvidena življenjska doba znaša od 10 do 15 let.

$$ISD = r_p + (r_n - r_p) \times \frac{NSD_p}{NSD_p - NSD_n} = 8 + (10 - 8) \times \frac{1.251,80}{2.024,02} = 9,24 \% \%$$

Izračunana interna stopnja donosa za življenjsko dobo 20 let naložbe fotonapetostnega (PV) sistema znaša 9,24 %. Ker je višja od individualne stopnje 3,10 % in obrestne mere bančnega kredita 2,33 %, je naložba v (PV) sistem upravičena.

6.3 Upravičenost naložbe geotermalnega in (PV) sistema

6.3.1 Enostavna doba vračanja naložbe (EVS)

Uporaba izračuna dobe vračanja investicije pokaže, v kolikšnem času se začetni investicijski izdatek povrne z neto denarnimi tokovi oziroma koliko let je potrebnih za povrnitev začetnega vložka v geotermalni sistem in (PV) sistem (interni dokument, dr. Drago Papler, *Metodologija za ekonomsko upravičenost ovrednotenje naložbe*).

$$EVS = t = \frac{N}{d} = \frac{N}{Sd - So}$$

Kjer je:

$EVS = t$ – odplačilna doba v letih,

N – vrednost nabavne cene naložbe v (EUR),

$d = (Sd - So)$ – povprečna vrednost, neto skupni letni donos v (EUR).

6.3.1.1 Doba vračanja naložbe geotermalnega sistema

Nabavna cena geotermalnega sistema znaša 15.835,10 EUR, vrednost kumulativni realni denarni tok (priloga 5), preide v pozitiven rezultat po 7 letih.

$$EVS = \frac{N}{d = (Sd - So)} = \frac{15.835,10}{4.980,42 - 2.726,97} = 7,02 \text{ let}$$

Investicija v geotermalni sistem z geosondo in naprave (TČ) tip zemlja/voda, se nam bo povrnila v 7,02 let ali približno v 84,24 mesecev.

6.3.1.2 Doba vračanja naložbe (PV) sistema

Nabavna cena (PV) sistema znaša 15.758,44 EUR, vrednost kumulativni realni denarni tok (priloga 6), preide v pozitivni rezultat po 7 letih.

$$EVS = \frac{N}{d = (Sd - So)} = \frac{15.758,44}{5.659,91 - 3.446,87} = 7,12 \text{ let}$$

Investicija v (PV) sistem s hranilnikom energije, se nam bo povrnila v 7,12 let ali približno v 85,44 mesecev.

6.3.2 Kazalnik učinkovitosti in uspešnosti naložbe (E)

Kazalnik učinkovitosti in uspešnosti meri razmerje med skupnimi donosi (Sd) in skupnimi odhodki (So) investicije v geotermalni sistem in fotonapetostni (PV) sistem. Uporablja se pri poslovni analizi za oceno učinkovitosti projekta in pogosto temelji na fiksnih cenah, kar omogoča časovno primerjavo kazalnikov (interni dokument, dr. Drago Papler, *Metodologija za ekonomsko upravičenost ovrednotenje naložbe*).

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

Kjer je:

E – kazalnik gospodarnosti in ekonomičnosti,

Sd – skupni donosi naložbe v (EUR),

So – skupni odhodki naložbe v (EUR).

6.3.2.1 Kazalnik ekonomičnosti naložbe geotermalnega sistema

Diskontni faktor (*r*= 1,44 %), znašajo skupni donosi 98.120,99 EUR, ter skupni odhodki 37.764,37 EUR, podatki iz (priloga 5) naložba v geotermalni sistem, vstavljeno v izračun kazalnik ekonomičnosti.

$$E = \frac{Sd}{So} = \frac{99.608,40}{73.874,50} = 1,35$$

Rezultat kazalnika ekonomičnosti je 1,35 in znaša več od 1,00, zato je naložba smiselna.

6.3.2.2 Kazalnik ekonomičnosti naložbe (PV) sistema

Diskontni faktor ($r = 2,33 \%$), znašajo skupni donosi 113.198,20 EUR, ter skupni odhodki 95.695,84 EUR, podatki iz (priloga 6) naložba v (PV) sistem, ter vstavljeno v izračun kazalnika ekonomičnosti.

$$E = \frac{Sd}{So} = \frac{113.198,20}{95.695,84} = 1,18$$

Rezultat kazalnika ekonomičnosti znaša 1,18 in znaša več od ena, zato je naložba smiselna.

6.3.3 Kazalnik donosnosti in rentabilnosti naložbe (D)

Kazalnik donosnosti oziroma rentabilnosti naložbe meri finančno uspešnost investicije. Izračuna se kot razmerje med neto donosom, torej razliko med skupnimi donosi (Sd) in skupnimi odhodki (So), ter nabavno ceno naložbe, nato pa se izrazi v odstotkih (interni dokument, dr. Drago Papler, *Metodologija za ekonomsko upravičenost ovrednotenje naložbe*).

$$D = \frac{Sd - So}{N} \times 100,00 \%$$

Kjer je:

- D – kazalnik donosnosti ali rentabilnosti naložbe v (%),
- N – vrednost nabavne cene naložbe v (EUR),
- Sd – skupni donosi naložbe v (EUR),
- So – skupni odhodki naložbe v (EUR),
- 100,00 % – vzeta vrednost deleža v odstotkih (%).

6.3.3.1 Kazalnik donosnosti naložbe geotermalnega sistema

Diskontni faktor ($r = 1,44 \%$), znašajo skupni donosi 99.608,40 EUR, ter skupni odhodki 73.874,50 EUR, ter razmerje med nabavno ceno 15.835,10 EUR, podatki iz (priloga 5) naložba v geotermalni sistem, vstavljeno v izračun kazalnik ekonomičnosti.

$$D = \frac{Sd - So}{N} \times 100,00\% = \frac{99.608,40 - 73.874,50}{15.835,10} \times 100,00\% = 162,51\%$$

Rezultat kazalnik donosnosti naložbe znaša 126,51 %, pomeni, koliko dobička prinaša naložba skozi leto.

6.3.3.2 Kazalnik donosnosti naložbe (PV) sistema

Diskontni faktor ($r = 2,33 \%$), znašajo skupni donosi 113.198,20 EUR, ter skupni odhodki 95.695,84 EUR, ter razmerje med nabavno ceno 15.758,44 EUR, podatki iz (priloga 6) naložba v geotermalni sistem, vstavljeno v izračun kazalnik ekonomičnosti.

$$D = \frac{Sd - So}{N} \times 100,00\% = \frac{113.198,20 - 95.695,84}{15.758,44} \times 100,00\% = 110,88 \%$$

Rezultat kazalnik donosnosti naložbe znaša 110,88 %, pomeni, koliko dobička prinaša naložba skozi leto.

6.3.4 Kazalnik donosnosti odhodkov naložbe (Do)

Kazalnik donosnosti odhodkov meri, koliko donosa projekt ustvari glede na skupne odhodke. Če je kazalnik večji od 0, to pomeni, da je naložba rentabilna (interni dokument, dr. Drago Papler, *Metodologija za ekonomsko upravičenost ovrednotenje naložbe*).

$$Do = \frac{Sd - So}{So} \times 100,00 \%$$

Kjer je:

- Do – kazalnik donosnosti odhodkov,
- Sd – skupni donosi naložbe v (EUR),
- So – skupni odhodki naložbe v (EUR),
- 100,00 % – vzeta vrednost deleža v odstotkih (%).

6.3.4.1 Kazalnik donosnosti odhodkov naložbe geotermalnega sistema

Diskontni faktor ($r = 1,44 \%$), znašajo skupni donosi 99.608,40 EUR, ter skupni odhodki 73.874,50 EUR, ter razmerje med skupnimi odhodki 73.874,50 EUR, podatki iz (priloga 5) naložba v geotermalni sistem, vstavljeno v izračun kazalnik donosnosti odhodkov.

$$Do = \frac{Sd - So}{So} \times 100,00\% = \frac{99.608,40 - 73.874,50}{73.874,50} \times 100,00\% = 34,83 \%$$

Rezultat kazalnik donosnosti odhodkov naložbe znaša 34,83 %, ki je večji od 0,00; zato je naložba rentabilna.

6.3.4.2 Kazalnik donosnosti odhodkov naložbe (PV) sistema

Diskontni faktor ($r = 2,33 \%$), znašajo skupni donosi 113.198,20 EUR, ter skupni odhodki 95.695,84 EUR, ter razmerje med skupnimi odhodki 95.695,84 EUR, podatki iz (priloga 6) naložba v geotermalni sistem, vstavljeno v izračun kazalnik donosnosti odhodkov.

$$Do = \frac{Sd - So}{So} \times 100,00\% = \frac{113.198,20 - 95.695,84}{95.695,84} \times 100,00\% = 18,29 \%$$

Rezultat kazalnik donosnosti odhodkov naložbe znaša 18,29 %, ki je večji od 0,00; zato je naložba rentabilna.

6.4 Ocena tveganja in negotovosti (PV) sistema

6.4.1 Povečani stroški za 10 % naložbe (PV) sistema

Neto sedanja vrednost donosov znaša 884,68 EUR pri pozitivni diskontni stopnji (NSDp) 7,00 % (priloga 11), medtem ko pri negativni diskontni stopnji (NSDn) 8,00 % (priloga 12) znaša -324,04 EUR. Na podlagi dobljenih vrednosti je bila nato izračunana interna stopnja donosnosti za življenjsko dobo 20 let naložbe fotonapetostnega (PV) sistema. V enajstem letu se predvidoma povečajo stroški v višini 11.000,00 EUR zaradi vzdrževanja, popravila ali zamenjave baterije hranilnika energije in razsmernika, katerih predvidena življenjska doba znaša od 10 do 15 let.

$$ISD = r_p + (r_n - r_p) \times \frac{NSD_p}{NSD_p - NSD_n} = 7 + (8 - 7) \times \frac{884,68}{1.208,72} = 7,73 \%$$

Izračunana interna stopnja donosa za življenjsko dobo 20 let naložbe fotonapetostnega (PV) sistema znaša 7,73 %. Ker je višja od individualne stopnje 2,33 % in obrestne mere bančnega kredita 3,10 %, ob upoštevanju 10,00 % povečanih stroškov v višini 1.575,84 EUR naložba v (PV) sistem še vedno prinaša prihodek.

6.4.2 Zmanjšani prihodki za 10 % naložbe (PV) sistema

Neto sedanja vrednost donosov znaša 798,87 EUR pri pozitivni diskontni stopnji (NSDp) 3,00 % (priloga 13), medtem ko pri negativni diskontni stopnji (NSDn) 4,00 % (priloga 14), znaša -519,88 EUR. Na podlagi dobljenih vrednosti je bila nato izračunana interna stopnja donosnosti za življenjsko dobo 20 let naložbe fotonapetostnega (PV) sistema. V enajstem letu se predvidoma povečajo stroški v višini 11.000,00 EUR zaradi vzdrževanja, popravila ali zamenjave baterije hranilnika energije in razsmernika, katerih predvidena življenjska doba znaša od 10 do 15 let.

$$ISD = r_p + (r_n - r_p) \times \frac{NSD_p}{NSD_p - NSD_n} = 4 + (5 - 4) \times \frac{798,87}{1.318,75} = 4,61 \%$$

Izračunana interna stopnja donosa za življenjsko dobo 20 let naložbe fotonapetostnega (PV) sistema znaša 4,61 %. Ker je višja od individualne stopnje 2,33 % in obrestne mere bančnega kredita 3,10 %, naložba v (PV) sistem ob upoštevanju 10,00 % zmanjšanja prihodkov v višini 565,99 EUR še vedno prinaša prihodek.

6.5 Pokazatelji uspešnosti pri povečanih 10 % stroških (PV) sistema

6.5.1 Enostavna doba vračanja naložbe (PV) sistema

$$EVS = \frac{N}{d = (Sd - So)} = \frac{17.334,28}{5.659,91 - 3.446,87} = 7,83 \text{ let}$$

Podatki so pridobljeni (Tabela 16: Povečani stroški za 10,00 % naložbe pri ($r_p = 7,00$ %), lastni vir (priloga 11).

6.5.2 Kazalnik ekonomičnosti naložbe (PV) sistema

$$E = \frac{Sd}{So} = \frac{113.198,20}{97.271,52} = 1,16 \text{ (odstotnih točk)}$$

Podatki so pridobljeni (Tabela 16: Povečani stroški za 10,00 % naložbe pri ($r_p = 7,00$ %), lastni vir (priloga 11).

6.5.3 Kazalnik donosnosti naložbe (PV) sistema

$$D = \frac{Sd - So}{N} \times 100,00\% = \frac{113.198,20 - 97.271,68}{17.334,28} \times 100,00\% = 91,88 \%$$

Podatki so pridobljeni (Tabela 16: Povečani stroški za 10,00 % naložbe pri ($r_p = 7,00$ %), lastni vir (priloga 11).

6.5.4 Kazalnik donosnosti odhodkov naložbe (PV) sistema

$$Do = \frac{Sd - So}{So} \times 100,00\% = \frac{113.198,20 - 97.271,68}{97.271,68} \times 100,00\% = 16,37 \%$$

Podatki so pridobljeni (Tabela 16: Povečani stroški za 10,00 % naložbe pri ($r_p = 7,00$ %), lastni vir (priloga 11).

6.6 Pokazatelji uspešnosti pri zmanjšanih 10 % prihodkih (PV) sistema

6.6.1 Enostavna doba vračanja naložbe (PV) sistema

$$EVS = \frac{N}{S_d - S_o} = \frac{15.758,44}{5.093,92 - 3.446,87} = 9,57 \text{ let}$$

Podatki so pridobljeni (Tabela 18: Zmanjšani prihodki za 10,00 % naložbe pri ($r_p = 3,00\%$), lastni vira (priloga 13).

6.6.2 Kazalnik ekonomičnosti naložbe (PV) sistema

$$E = \frac{S_d}{S_o} = \frac{101.878,40}{95.695,84} = 1,06 \text{ (odstotnih točk)}$$

Podatki so pridobljeni (Tabela 18: Zmanjšani prihodki za 10,00 % naložbe pri ($r_p = 3,00\%$), lastni vira (priloga 13).

6.6.3 Kazalnik donosnosti naložbe (PV) sistema

$$D = \frac{S_d - S_o}{N} \times 100,00\% = \frac{6.182,56}{15.758,44} \times 100,00\% = 39,23\%$$

Podatki so pridobljeni (Tabela 18: Zmanjšani prihodki za 10,00 % naložbe pri ($r_p = 3,00\%$), lastni vira (priloga 13).

6.6.4 Kazalnik donosnosti odhodkov naložbe (PV) sistema

$$D_o = \frac{S_d - S_o}{S_o} \times 100,00\% = \frac{101.878,40 - 95.695,84}{95.695,84} \times 100,00\% = 6,46\%$$

Podatki so pridobljeni (Tabela 18: Zmanjšani prihodki za 10,00 % naložbe pri ($r_p = 3,00\%$), lastni vir (priloga 13).

6.7 Geotermalni sistem brez integracije z (PV) sistemom

6.7.1 Naložba geotermalnega sistema z geosondo

Prikazane so vrednosti objekta, kjer geotermalni sistem z geosondo uporablja električno energijo za napravo (TČ) tip zemlja/voda iz distribucijskega omrežja. Samo za ogrevanje porabi letno 4.426,54 kWh, kar znaša 1.021,65 EUR po ceni tarife 0,23

EUR/kWh. Raba električne energije za ostalo gospodinjstvo znaša 1.694,69 kWh na leto oziroma 389,78 EUR. Skupna letna poraba električne energije objekta iz distribucijskega omrežja tako znaša 6.121,23 kWh oziroma 1.411,43 EUR (cena energenta, pridobljena 22. 4. 2025). Neto sedanja vrednost donosov znaša – 19.400,93 EUR pri pozitivni diskontni stopnji (NSD_p) 7,00 % (priloga 15), medtem ko pri negativni diskontni stopnji (NSD_n) 8,00 % (priloga 16), znaša –19.176,80 EUR. Na podlagi dobljenih vrednosti je bila nato izračunana interna stopnja donosnosti za življenjsko dobo 20 let naložbe fotonapetostnega (PV) sistema. V enajstem letu se predvidoma povečajo stroški v višini 3.500,00 EUR zaradi vzdrževanja in popravila različnih komponent geotermalnega sistema, kot so obtočna črpalka, zamenjava inverterja ali servis geosonde.

$$ISD = r_p + (r_n - r_p) \times \frac{NSD_p}{NSD_p - NSD_n} = 7 + (8 - 7) \times \frac{-15.271,59}{-30.621,47} = 7,50 \%$$

Izračunana interna stopnja donosa, za življenjsko dobo 20 let naložbe (PV) sistema znaša 7,50 %, ker je diskontirana neto sedanja vrednost negativna, ne more zagotavljati ekonomskega smisla.

6.8 Pokazatelji geotermalnega sistema brez sinergije (PV) sistema

6.8.1 Enostavna doba vračanja geotermalnega sistema

$$EVS = \frac{N}{Sd - So} = \frac{15.835,10}{3.958,77 - 3.748,62} = 75,35 \text{ let}$$

Podatki so pridobljeni (Tabela 20: Geotermalni sistem, brez oskrbe iz (PV) sistema, pri (r_p = 7,00 %), lastni vir (priloga 15).

6.8.2 Kazalnik ekonomičnosti naložbe geotermalnega sistema

$$E = \frac{Sd}{So} = \frac{79.175,40}{94.307,50} = 0,84 \text{ (odstotnih točk)}$$

Podatki so pridobljeni (Tabela 20: Geotermalni sistem, brez oskrbe iz (PV) sistema, pri (r_p = 7,00 %), lastni vir (priloga 15).

6.8.3 Kazalnik donosnosti naložbe geotermalnega sistema

$$D = \frac{Sd - So}{N} \times 100,00\% = \frac{-15.132,10}{15.835,10} \times 100,00\% = -95,56 \%$$

Podatki so pridobljeni (Tabela 20: Geotermalni sistem, brez oskrbe iz (PV) sistema, pri (rp = 7,00 %), lastni vir (priloga 15).

6.8.4 Kazalnik donosnosti odhodkov naložbe geotermalnega sistema

$$Do = \frac{Sd - So}{So} \times 100,00\% = \frac{-15.132,10}{94.307,50} \times 100,00\% = -16,05 \%$$

Podatki so pridobljeni (Tabela 20: Geotermalni sistem, brez oskrbe iz (PV) sistema, pri (rp = 7,00 %), lastni vir (priloga 15).

6.9 Primerjalna analiza naložbe geotermalnega in (PV) sistema

Formula temelji na skupnih donosih projekta in stroških, ob upoštevanju ekonomske dobe trajanja projekta, letne vrednosti prihodkov in diskontne stopnje. Cilj analize je ugotoviti, ali je projekt družbeno upravičen in ne zgolj ekonomsko donosna naložba. Primerjava izračunov posameznih metod in kazalnikov omogoča ugotavljanje razlik v različnih pogojih naložb geotermalnega in fotonapetostnega (PV) sistema (tabela 5).

Naložba v integracijo geotermalnega in (PV) sistema ima najvišjo sedanjo vrednost: geotermalni sistem 20.092,72 EUR. Samostojna naložba v geotermalni sistem znaša –15.271,59 EUR, kar pomeni negativni izid oziroma izgubo. Interna stopnja donosnosti je najvišja pri geotermalnem sistemu (12,09 %), najnižja pa pri (PV) sistemu z zmanjšanimi prihodki za 10,00 %, kjer znaša (7,50 %). Doba vračanja naložbe je najkrajša pri geotermalnem sistemu (7,02) leta in najdaljša pri metodi samostojnega geotermalnega sistema (75,53 let). Razmerje med koristmi in stroški je pri vseh variantah (PV) sistemov pod vrednostjo (1,00), kar pomeni manjšo učinkovitost. Pri samostojnem geotermalnem sistemu je vrednost celo negativna (–95,56 odstotnih točk). Največji dobiček glede na vložek ustvari naložba v geotermalni sistem (162,51 %), najmanjšega pa samostojni geotermalni sistem (23,38 %). Kazalnik donosov je prav tako najvišji pri geotermalnem sistemu (34,38 % na vsak evro stroškov), najnižji pa pri (PV) sistemu z zmanjšanimi prihodki za 10,00 %, kjer znaša (16,50 %). Skupni prihodki so najvišji pri (PV) sistemu (98.686,84 EUR), najnižji pa pri samostojnem geotermalnem sistemu (41.939,27 EUR).

Tabela 5 primerjalna analiza naložbe geotermalnega sistema in (PV) sistema, izračuni posameznih metod in kazalnikov.

Ogrevalni sistem naložbe	Geotermalni sistem (r=1,44%)	(PV) sistem (r=2,33%)			Samostojna naložba geotermalnega sistema (rp=7,00% in rn=8,00%)
Pogoji naložbe	Normalni	Normalni	Povečani stroški naložbe 10%	Zmanjšani prihodki naložbe 10%	Brez sinergije z (PV) sistemom
Metoda sedanje vrednosti v (EUR)	20.092,72	10.763,46	884,68	798,87	-15.271,59
Metoda interne stopnje donosnosti v (%)	12,09	9,24	7,73	4,61	7,50
Enostavna doba vračanja (leto)	7,02	7,12	7,83	9,57	75,35
Kazalnik učinkovitosti ali uspešnosti (odstotne točke)	1,35	1,18	1,16	1,06	0,84
Kazalnik donosnosti ali rentabilnosti v (%)	162,51	110,88	91,88	93,23	-95,56
Kazalnik donosnosti odhodkov v (%)	34,83	18,29	16,37	6,46	-16,05
Skupni donosi v (EUR)	86.014,93	98.666,84	59.961,17	75.784,67	41.939,27

Tabela 5: Primerjalna analiza kazalnikov geotermalnega in (PV) sistema.
(Lastni vir)

Iz podatkov (tabela 5) izhaja, da naložba v geotermalni sistem učinkoviteje pretvarja vložena sredstva v dobiček. To pomeni, da je geotermalni sistem uspešnejši, saj ima višji kazalnik učinkovitosti (E), krajšo dobo vračanja investicije in višjo sedanjo vrednost. Integracija s fotonapetostnim (PV) sistemom pa zagotavlja večjo energetska neodvisnost in dolgoročne prihranke pri rabi električne energije, zato je (PV) sistem kljub temu dobra izbira.

7 RAZPRAVA O REZULTATIH

7.1 Okoljski vpliv delovanja geotermalnega in (PV) sistema

7.1.1 Ogrevanje z geotermalnim sistemom z geosondo

Geosonda zagotavlja stalno toploto iz globin zemlje, medtem ko naprava (TČ) tip zemlja/voda dogreva pridobljeno toploto z rabo električne energije. Skupaj zagotavljata optimalno delovanje v vseh vremenskih razmerah. Geotermalne naprave (TČ) so do petkrat učinkovitejše od konvencionalnih sistemov ogrevanja, saj za vsako enoto vložene električne energije proizvedejo več enot toplotne energije. Geosonde imajo dolgo življenjsko dobo, od 50 do 100 let, življenjska doba ogrevalne naprave (TČ) tip zemlja/voda pa znaša od 20 do 30 let. Obe tehnologiji zahtevata minimalno vzdrževanje, kar zmanjšuje dolgoročne stroške in vpliv na okolje. S kombinacijo teh dveh tehnologij se popolnoma odpravi potreba po fosilnih gorivih, zmanjšajo se emisije toplogrednih plinov (CO₂) in izboljša kakovost naravnega okolja. Poleg tega kombinacija omogoča tudi hlajenje prostorov v poletnih mesecih, kar predstavlja veliko dodano vrednost. Toplotna črpalka sicer potrebuje električno energijo za delovanje, zato je njen ogljični odtis odvisen od vira električne energije – ali gre za obnovljiv ali neobnovljiv vir. Obe tehnologiji imata številne prednosti, vendar geotermalno ogrevanje z geosondo pogosto velja za okolju prijaznejšo in trajnostnejšo rešitev zaradi stabilne globinske temperature in manjšega dolgoročnega vpliva na okolje.

7.1.2 Pridobivanje in shranjevanje energije z (PV) sistemom

Sončna elektrarna ne proizvaja emisij CO₂, saj energijo pridobiva neposredno iz sonca. Shranjevanje presežne energije v hranilniku zmanjšuje potrebo po energiji iz fosilnih virov, kar dodatno znižuje emisije toplogrednih plinov. Hranilnik omogoča, da se presežna energija, proizvedena ob sončnih dnevih, uporabi v obdobjih nizke proizvodnje – pozimi, ob oblačnih dneh in ponoči. Izziv ostaja življenjska doba hranilnika in razsmernika, ki znaša od 10 do 15 let, ob običajni garanciji 10 let. Sistem izboljšuje energetske samooskrbo in zmanjšuje odvisnost od omrežja, saj električno energijo proizvajamo iz obnovljivega vira – sončne energije. Zahteva minimalno vzdrževanje, kar pomeni manjšo obremenitev okolja skozi življenjsko dobo sistema, ocenjena na 20 do 25 let. Celoten sistem sončne elektrarne s hranilnikom tako prispeva k zmanjševanju podnebnih sprememb in podpira razvoj trajnostne energetske neodvisnosti.

7.2 Ogljični odtis geotermalnega in (PV) sistema

7.2.1 Geotermalni sistem z geosondo in (TČ) zemlja/voda

zračunali smo, da izbrani ogrevalni sistem letno porabi 4.426,54 kWh električne energije. Emisijski faktor za električno energijo v Sloveniji znaša 0,25 kg CO₂/kWh. Geotermalni sistem s toplotno črpalko (TČ) zato letno proizvede 1.106,64 kg CO₂, kar pomeni približno 1,10 tone emisij CO₂. Sklepamo lahko, da gre za zelo nizek ogljični odtis, kar je značilno za tak integrirani sistem, ki izkorišča obnovljive vire električne energije, pridobljene s (PV) sistemom.

7.2.2 Fotovoltaični (PV) sistem s hranilnikom energije

Če bi celotno rabo električne energije objekta, ki znaša 6.121,23 kWh na leto, pokrivali iz distribucijskega omrežja, bi zaradi proizvodnje električne energije iz fosilnih virov nastale emisije v višini 1.530,31 kg CO₂ na leto oziroma približno 1,60 tone CO₂. Emisijski faktor za električno energijo v Sloveniji znaša 0,25 kg CO₂/kWh. Takšne emisije predstavljajo scenarij, če bi enako količino električne energije proizvedli izključno z uporabo fosilnih goriv. Ker sončne elektrarne med obratovanjem ne proizvajajo emisij, ta vrednost pomeni prihranek oziroma izognjene emisije CO₂, ki bi sicer nastale.

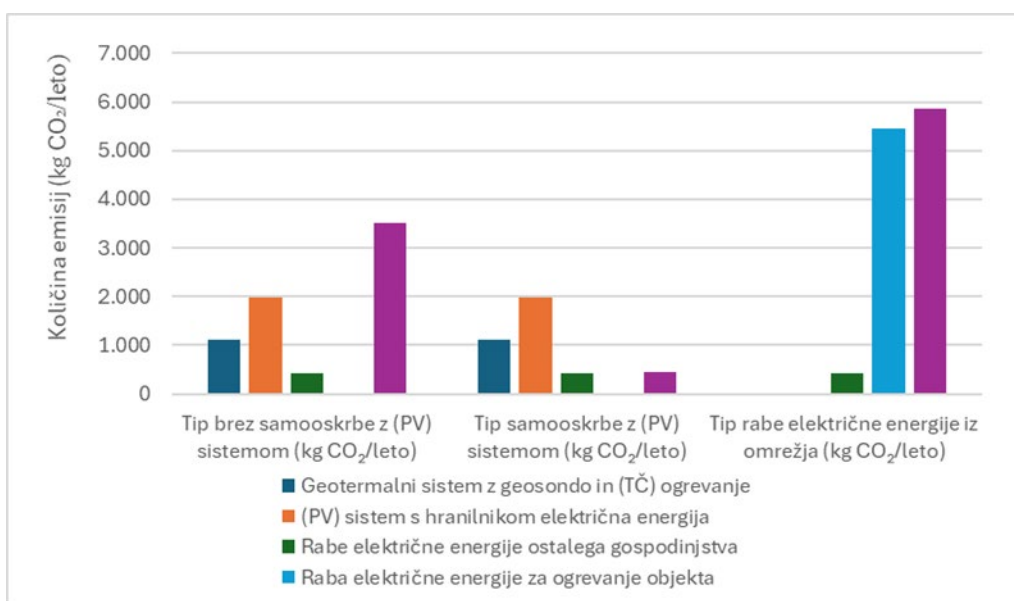
Pri upoštevanju neposrednega in difuznega sončnega obsevanja znaša letna proizvodnja (PV) sistema 8.442,57 kWh, kar bi ob enaki količini iz fosilnih virov pomenilo približno 2.110,64 kg CO₂ na leto oziroma 2,11 tone. Če pa upoštevamo samo proizvodnjo iz neposrednega sončnega obsevanja, znaša ta 7.891,23 kWh na leto, kar ustreza približno 1.972,81 kg CO₂ oziroma 2,00 tonam emisij CO₂.

Sklepamo lahko, da (PV) sistem z vgrajenim hranilnikom energije pomembno prispeva k zmanjšanju emisij toplogrednih plinov (CO₂) in tako predstavlja pomemben ekološki prihranek. Ogljični odtis rabe električne energije celotnega objekta je zato praktično 0,00 ton CO₂ na leto.

7.2.3 Primerjava ogljičnega odtisa brez in z (PV) sistemom

Geotermalni sistem z geosondo in napravo (TČ) tip zemlja/voda letno porabi 4.426,54 kWh električne energije za delovanje, pri čemer nastane približno 1.106,64 kg CO₂ oziroma 1,10 tone CO₂. Ostala raba gospodinjstva znaša 1.694,69 kWh na leto, kar pomeni okoli 423,67 kg CO₂ oziroma 0,43 tone CO₂. Skupaj bi torej brez obratovanja fotonapetostnega (PV) sistema, ob letni porabi objekta 6.121,23 kWh, nastalo približno 1.530,31 kg CO₂ oziroma 1,54 tone CO₂ na leto.

Ogrevalni sistem je integriran s (PV) sistemom s hranilnikom, ki objekt samooskrbno napaja z električno energijo iz obnovljivega vira. Letna raba objekta znaša 6.121,23 kWh, (PV) sistem pa proizvede približno 7.891,23 kWh električne energije. Če bi bila ta količina proizvedena iz fosilnih virov, bi nastalo okoli 1.972,80 kg CO₂ na leto. To pomeni, da (PV) sistem z obratovanjem prepreči nastanek teh emisij. Ker (PV) sistem med delovanjem ne proizvaja neposrednih emisij CO₂, pomembno prispeva k zmanjšanju ogljičnega odtisa. Skupni ogljični odtis rabe električne energije objekta je zato zaradi uporabe (PV) sistema praktično 0,00 ton CO₂ na leto. Na sliki 18 je prikazana primerjava med scenarijem brez (PV) sistema (uporaba električne energije iz omrežja) in scenarijem s (PV) sistemom. Podatki so preračunani in prikazani v prilogi (priloga 17).



Slika 18: Primerjava nastanka ogljičnega odtisa med različnimi oblikami.
(Lastni vir)

Od maja 2024 je vgrajen fotonapetostni (PV) sistem, integriran z geotermalnim sistemom, ki je letno povzročil ogljični odtis 442,50 kg CO₂ oziroma 0,45 tone CO₂, saj velik del potreb pokrije lastna sončna elektrarna. Povprečne emisije pri delovanju geotermalnega sistema brez podpore (PV) sistema znašajo 3.503,11 kg CO₂ na leto, ker je ogrevanje sicer učinkovito, vendar se vsa električna energija pridobiva iz omrežja. Največ emisij, 5.868,32 kg CO₂ na leto, nastane v primeru, ko se za ogrevanje in gospodinjstvo v celoti uporablja električna energija iz omrežja. Ker pa (PV) sistem obratuje skoraj brez nastanka toplogrednih plinov, saj električno energijo proizvaja iz obnovljivega vira – sončne energije, je končni ogljični odtis objekta praktično 0,00 kg CO₂ na leto.

7.3 Učinkovitost geotermalnega in (PV) sistema

Pri primerjavi med geotermalnim sistemom in (PV) sistemom izstopajo predvsem naslednji vidiki: učinkovitost, stroški, vpliv na okolje in življenjska doba.

Učinkovitost:

- H1 – Geotermalni sistem: Geosonda in naprava (TČ) tip zemlja/voda delujeta s koeficientom učinkovitosti (COP) 4,92, kar pomeni, da za vsak porabljen kWh električne energije proizvedeta 4,92 kWh toplote. Sistem zato potrebuje bistveno manj električne energije za enako količino toplote. Temperatura na globini 121,85 m geosonde znaša 13 °C, kar omogoča stabilno delovanje skozi vse leto. Sistem se prilagaja lokalnim podnebnim razmeram: notranja temperatura objekta je 23 °C, najnižja zunanja temperatura pa –10 °C. Napajanje (TČ) znaša 12,13 kWh na dan oziroma 4.426,54 kWh na leto. Tako lahko hiša s površino 180,00 m², ki ima letno toplotno izgubo 21.758,60 kWh, doseže stabilno, učinkovito in neprekinjeno ogrevanje z letno rabo električne energije 4.426,54 kWh. Letni prihranek zaradi samooskrbe s PV sistemom s hranilnikom znaša 1.021,65 EUR.
- H2 – Fotonapetostni (PV) sistem: Sončna elektrarna ima nazivno moč 7,20 kWp in je sestavljena iz 18 monokristalnih modulov. Letno proizvede 7.891,23 kWh električne energije. Hranilnik s kapaciteto 16,45 kWh na dan zagotavlja energetska neodvisnost objekta, saj omogoča shranjevanje presežka 1.770,00 kWh na leto za uporabo v obdobjih nizke proizvodnje – ponoči, ob oblačnih dneh in v zimskem času. Presežek se odda v omrežje, kar prinese 407,10 EUR letnega prihranka.

Stroški:

- Geotermalni sistem: Zahteva višjo začetno investicijo, saj vrtanje geosonde stane 8.110,37 EUR, nakup naprave (TČ) znaša 8.807,96 EUR. Skupna cena sistema je 19.793,87 EUR. Za zmanjšanje začetnih stroškov so bila pridobljena nepovratna sredstva Eko sklada v višini 3.958,77 EUR. Letni stroški ogrevanja z geotermalnim sistemom znašajo 881,18 EUR. Investicija je financirana s posojilom Eko sklada z obrestno mero 1,44 %, letni stroški kredita pa znašajo 954,00 EUR. Dodatno je treba upoštevati še stroške zavarovanja objekta (100,00 EUR na leto). Letni prihranek električne energije znaša 1.021,65 EUR. Po 10 letih so predvideni stroški vzdrževanja v višini 3.500,00 EUR (pregled naprave (TČ), menjava glikola in pregled geosonde).
- PV sistem: Pred subvencijo je investicija znašala 20.849,00 EUR, vključno s komponentami, montažo in priključitvijo na omrežje. Letni stroški vzdrževanja znašajo 550,00 EUR, dodatni stroški pa 946,95 EUR na leto. Prihranek zaradi oddaje presežka električne energije v distribucijsko omrežje znaša 407,10 EUR, saj se 1.770,00 kWh na leto odda v omrežje. Po 10 letih so predvideni

stroški v višini 11.000,00 EUR zaradi pregleda in popravila elektronskih komponent ter morebitne zamenjave baterije hranilnika in razsmernika.

Vpliv na okolje:

- Geotermalni sistem: Zmanjšuje porabo fosilnih goriv in ne proizvaja neposrednih emisij CO₂. Življenjska doba geosonde znaša od 50 do 100 let, kar pomeni minimalen vpliv na okolje. Celoten ogljični odtis sistema je približno 1,10 tone CO₂ na leto, kar je izjemno nizko v primerjavi z drugimi ogrevalnimi sistemi, zato gre za okolju prijazen sistem.
- Sončna elektrarna: Proizvaja čisto električno energijo iz obnovljivega vira in zmanjšuje odvisnost od distribucijskega omrežja. Ogljični odtis sistema je praktično 0,00 ton CO₂ na leto, saj med obratovanjem ne nastajajo toplogredni plini. Prihranek emisij znaša 1.972,81 kg CO₂ na leto za proizvedenih 7.891,23 kWh električne energije. Integracija obeh sistemov prinaša največje prihranke, visoko trajnostno energetska učinkovitost in zmanjšan vpliv na okolje.

Življenjska doba:

- Geotermalni sistem: Geosonda ima zelo dolgo življenjsko dobo, od 50 do 100 let. Nameščena je pod zemljo in nima mehanskih gibljivih delov, praktično ne potrebuje vzdrževanja. Naprava (TČ) tip zemlja/voda ima predvideno življenjsko dobo od 20 do 30 let, ob rednem vzdrževanju. Ključni dejavniki za dolgo življenjsko dobo so redni servisi, optimalna obremenitev sistema in kakovostna vgradnja. Cevi in izmenjevalniki toplote so izdelani iz materialov, odpornih na temperaturne spremembe in korozijo, zato imajo dolgo trajnost. V tem primeru je življenjska doba sistema ocenjena na 20 let.
- Fotovoltaični (PV) sistem: Moduli imajo življenjsko dobo od 20 do 25 let, pri čemer se njihova učinkovitost postopoma zmanjšuje za približno 0,50 % na leto. Po 25 letih še vedno delujejo, vendar na približno 80,00 % začetne zmogljivosti. Hranilnik energije in razsmernik imata najkrajšo življenjsko dobo, od 10 do 15 let, odvisno od globine praznjenja (DoD), frekvence ciklov in temperature okolja. Po 10 letih baterije običajno ohranijo 80,00 % svoje kapacitete. Električne povezave in nadzorni sistemi imajo dolgo življenjsko dobo, lahko pa pride do občasnih okvar zaradi vremenskih vplivov ali obrabe komponent.

8 ZAKLJUČEK

Raba končne energije v Evropski Uniji v stanovanjskem in terciarnem sektorju predstavlja že več kot 40 %. Če se omejimo le na rabo končne energije za ogrevanje in pripravo tople vode, ta v stanovanjskem sektorju znaša približno 60 % za ogrevanje in 25 % za pripravo tople sanitarne vode. EU postaja vse bolj odvisna od uvoza energije, bi se po sedanjih napovedih brez sprejetih ukrepov, uvozna odvisnost s sedanjih nekaj več kot 50,00 % povečala na 70,00 % do leta 2030. Zato je potrebno s strani porabnikov energije, predvsem na področju učinkovite rabe v stavbnem sektorju povečati učinkovitejšo rabo. Osnovni cilj je povečati učinkovitost rabe končne energije, predvsem na področju ogrevanja, saj so možnosti za dvig energijske učinkovitosti pri proizvodnji in distribuciji energije majhne in delno omejene. Ocenjeni potencial prihrankov v stanovanjskem sektorju znaša 30,00 %. V primerjavi s kurilnim oljem ali plinom se lahko stroški ogrevanja zmanjšajo do 66,00 %, stroški hlajenja pa tudi do 80,00 %. Nastanek emisij CO₂ je mogoče zmanjšati do 75,00 %, saj emisije pri kurilnem olju znašajo 2,68 kg CO₂/kWh pri 80 – odstotnem izkoristku kurilne naprave, kar pomeni približno 0,35 kg CO₂/kWh. Če vgradimo naprave (TČ), emisije CO₂ znašajo le še 0,25 kg CO₂/kWh (emisijski faktor za električno energijo v Sloveniji).

Energija je osnova gospodarskega razvoja in kakovosti življenja. Slovenija nima bogatih zalog neobnovljivih virov energije, je toliko pomembnejše izkoriščanje obnovljivih virov. Eden od njih je geotermalna energija. Slovenija sicer nima enakih možnosti za njeno izrabo kot nekatere druge, predvsem skandinavske države, zato je trenutno najboljša rešitev sinergija geotermalne in sončne energije. V Prekmurju in nekaterih drugih delih Slovenije se geotermalna energija uporablja predvsem v zdraviliške namene, na primer z izkoriščanjem vroče vode iz tal ali izvirov tople vode. Najpogosteje pa se uporablja za posredno ogrevanje stavb. V Sloveniji imamo že več kot 350 vrtin za izrabo geotermalne energije. Njena uporaba je še vedno premajhna, vendar počasi in vztrajno narašča, približno za 10,00 % letno. K temu nedvomno prispevajo državne subvencije, Eko sklad ter predvsem cenovna dostopnost geotermalne energije.

Sončne elektrarne predstavljajo zanesljiv obnovljiv vir energije, ki zagotavlja neodvisnost od omrežja in minimalne obratovalne stroške. Z energijskim hranilnikom z nominalno kapaciteto 16,45 kWh na dan se odpravi nestabilnost proizvodnje, kar omogoča stalno oskrbo objekta tudi ob slabšem pretvarjanju energije. Življenjska doba fotonapetostnih (PV) modulov je od 20 do 25 let, hranilniki in razsmernik pa imajo predvideno življenjsko dobo od 10 do 15 let, ter običajno 10 – letno garancijo oziroma možnost zamenjave, servisa in popravila baterij za optimalno delovanje. Čeprav ima proizvodnja fotonapetostnih komponent okoljske izzive, jih EU naslavlja z obveznim recikliranjem po koncu življenjske dobe. Začetna investicija (PV) sistema se povrne v 7 do 10 letih. Lastnik po tem obdobju ne bo imel dodatnih stroškov z rabo

električne energije, temveč bo ustvarjal celo donos v višini 1.770,00 kWh na leto in alternativno obliko prihranka. To je velika spodbuda, saj so trenutne cene električne energije povišane, kljub začasno zamrznjenim cenam za gospodinjstva. Pravnim osebam so se cene električne energije v tem času zvišale za 350,00 %, zato je raba obnovljivih virov s pomočjo sončne elektrarne še toliko bolj potrebna.

Kot vsak sistem imata tudi geotermalna in sončna energija poleg pozitivnih lastnosti nekatere slabosti, ki pa jih ob zmerni in racionalni uporabi lahko zmanjšamo na minimum. Obnovljivi viri energije vsekakor veljajo za energetske vire prihodnosti. Njihova uporaba je povezana z zmanjševanjem onesnaževanja okolja, kar je hkrati naša obljuba in zaveza, da zanamcem zapustimo čim bolj čisto naravo. V diplomski nalogi je prikazan primer sinergije geotermalnega in (PV) sistema, ki pokriva potrebe celotnega stanovanjskega objekta štiričlanske družine, vključno z ogrevanjem objekta, pripravo sanitarne vode in rabo električne energije. Pri tem pa moramo upoštevati distribucijsko omrežje, ki mora v zimskem času zagotavljati dodatno rabo električne energije za ogrevanje objekta. V prihodnje se bo v vedno večji meri uporabljalo lastno shranjevanje energije v hranilnikih, ki bodo zagotavljali zadostne količine v obdobjih večje porabe – v hladnih dneh, ob oblačnem vremenu in ponoči, ko (PV) sistem ne obratuje.

8.1 Korist družbi (benefit)

Diplomska naloga obravnava sistem ogrevanja stanovanjskega objekta z uporabo obnovljivih virov energije, pri čemer se združujeta geotermalna energija, pridobljena z geosondo, in električna energija, pridobljena iz sončne elektrarne s hranilnikom. Takšen integrirani sistem omogoča znatno zmanjšanje odvisnosti od zunanjih energetskih virov, prispeva k trajnostni rabi obnovljivih virov energije ter zagotavlja stabilno oskrbo z energijo za celotne potrebe objekta skozi vse leto.

Analiza prikazuje porabo električne energije, količino pridobljene toplote in emisije toplogrednih plinov (CO₂). Izračuni kažejo, da sistem prispeva k zmanjšanju emisij CO₂ za več kot 70,00 % v primerjavi s konvencionalnimi ogrevalnimi sistemi na fosilna goriva. Poleg tega celovita ponudba podjetja (GEN – I Sonce) vključuje možnost pridobitve subvencije in nadzor sistema prek mobilne aplikacije, kar omogoča prilagojeno in pregledno upravljanje energetske samooskrbe:

- geotermalni sistem, ki izkorišča toploto iz zemlje za ogrevanje,
- sončna elektrarna, ki pretvarja električno energijo iz sončne svetlobe,
- hranilnik energije, ki shranjuje presežke proizvedene električne energije,
- energetski samooskrbni sistem, ki omogoča neodvisno proizvodnjo in porabo energije,
- obnovljivi viri energije, ki se naravno obnavljajo in sta okolju prijazni.

9 LITERATURA IN VIRI

Bajt Barbara, (2016). *Analiza geosonde za izkoriščanje geotermalne energije v stanovanjskem objektu*. Diplomsko delo, Nova Gorica: Politehnika Nova Gorica, Poslovno – Tehniška šola.

Babić Dragan, (2024). *Analiza obratovanja in ekonomske učinkovitosti sončne elektrarne logistični center BTC*. Diplomsko delo, Ljubljana: Visoka strokovna šola Ljubljana.

Beržan Sara, (2024). *Sončne elektrarne v Sloveniji*. Zaključna projektna naloga, Koper: Univerza na Primorskem.

BORZEN, (2024). *Podpora za zeleno investicijo*. Pridobljeno 12.02.2025 z naslova <https://borzen.si/sl-si/podpore-za-zelene-investicije>

Domen Kanduti, 1.A (2008). *Izbira obnovljivega vira za ogrevanje stanovanjskega objekta*. Zaključna projektna naloga, Celje: Gimnazija v Celju, 1. letnik.

Dr. Drago Papler, (2024). *Metodologija za ekonomsko ovrednotenje upravičenost naložbe*.

Delo in dom, (2021). *Toplotna črpalka z geosondo: Zakaj je pretehtala geotermalna energija?* Pridobljeno 23.02.2025 z naslova <https://deloindom.delo.si/energija-in-okolje/ogrevanje-in-hlajenje/toplotna-crpalka-z-geosondo-zakaj-je-pretehtala-geotermalna-energija>

EKO sklad. *Aktualne spodbude za prebivalstvo*. Pridobljeno 10.02.2025 z naslova https://www.ekosklad.si/prebivalstvo/pridobite-spodbudo/seznam-spodbud?_s=s&ukrep%5B%5D=ogrevanje-in-prezracevanje&ukrep%5B%5D=nakup-gradnja-celovita-obnova-stanovanjske-stavbe&financiranje%5B%5D=kredit

Enoma d.o.o., (2020). *Geotermalna energija kot vir toplote*. Pridobljeno 20.03.2025 z naslova <https://enoma-ogrevanje.si/blog-toplotne-crpalk/kako-deluje-toplotna-crpalka>

Energetska izkaznica stavbe, (2013). *Fotovoltaika*. Pridobljeno 15.03.2025 z naslova <https://energetskaizkaznica.si/nasveti/fotovoltaika/>

Europa – solar store.com. *Worldwide Delivery Service – Europe*. Pridobljeno 03.03.2024 z naslova <https://www.europe-solarstore.com/>

GeoZS – Geološki zavod Slovenije končno poročilo, (2018). *Analiza potenciala plitve geotermalne energije v Sloveniji do leta 2050 – projekt LIFE ClimatePath2050*. Pridobljeno 18.03.2025 z naslova https://podnebnapot2050.si/wp-content/uploads/2022/05/Final_signed.pdf

GeoTim – energija zemlje, (2022). *Geotermalni sistemi*. Pridobljeno 24.02.2025 z naslova <https://vrtine-geotim.si/storitve/geotermalni-sistemi/>

Geoportal ARSO, (2023). *Atlas okolja Slovenije*. Pridobljeno 01.03.2025 z naslova gis.arso.gov.si/geoportal/

GEN-I Sonce, (2017). *Podpora – Vse o samooskrbi*. Pridobljeno 12.04.2025 z naslova <https://gen-isonce.si/podpora/vse-o-samooskrbi/>

Goran Volk, (2015). *Tehnična analiza izkoriščanja geotermalne energije iz geosond za ogrevanje in hlajenje stavb Univerza*. Pridobljeno 10.03.2025 z naslova <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=72008&lang=slv>

Doc. dr. Željko Vukelić, dr. Jurij Šporin, Blaž Janc, (01.08.2019), Dimenzioniranje geosonde (in toplotni vplivi radij) za postavitev toplotnega ogrevalnega sistema s toplotno črpalko – primer iz Škofje Loke. *Gradbeni vestnik*, stran. 186. Pridobljeno 25.02.2025 z naslova <http://arhiv.izs.si/fileadmin/dokumenti/msg/Gradbeni-vestnik-avgust-2019.pdf>

Gradnja in obnova, (2023). *Najbolj varčen sistem ogrevanja*. Pridobljeno 24.02.2025 z naslova <https://gradnjainobnova.si/2024/03/01/vgradnja-geosonde-najbolj-varcen-sistem-ogrevanja/>

Hauptman Jernej, (2023). *Energetska, gospodarna in ekološka izraba energije iz sončne elektrarne za gospodinjstvo in polnilnico za električna vozila*. Diplomsko delo, Maribor: Visoka strokovna šola Maribor.

Kepic Nastja, (2010). *Možnost izrabe suhe geotermalne energije*. Seminarska naloga, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Pedagoška fakulteta.

Klimaterem.si. *Energija zemlje v stavbah*. Pridobljeno 26.02.2025 z naslova [ENERGIJA-ZEMLJE-V-STAVBAH.pdf](#)

Krnc Špela, (2024). *Samooskrbna s sončno elektrarno in hranilnikom energije*. Diplomsko delo, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Univerzitetni študijski program.

Leon Markl, (2011). *Primerjava sistemov ogrevanja stanovanjske hiše*. Diplomsko delo, Maribor: Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo.

LG Energy Solution, (2021). *ESS Battery Division*. Pridobljeno 15.03.2025 z naslova <https://www.lghomebattery.com.au/resu16hprime>

Mojmojster, Toplotna črpalka zemlja – voda, *Moj Mojster Magazin*. Pridobljeno 23.02.2025 z naslova [https://www.mojmojster.net/clanek/1728/toplotna_crpalka_zemlja-voda - mcetoc_1fvtgfpvdc1](https://www.mojmojster.net/clanek/1728/toplotna_crpalka_zemlja-voda-mcetoc_1fvtgfpvdc1)

Miklavec Tomi, (2020). *Samooskrba stanovanjskih hiš z električno energijo: primer MFE Strouhal*. Diplomsko delo, Celje: Višješolskega Strokovnega Študija.

OTP Banka, (2024). *Trajnostno financiranje*. Pridobljeno 25.03.2025 z naslova Trajnostno financiranje | OTP banka)

Portal GOV.SI, (2018). *Ministerstvo za okolje, podnebje in energijo, dr. Danijel Crnčec*. Pridobljeno 08.03.2025 z naslova Nacionalni energetski in podnebni načrt | GOV.SI

Strojanšek Tadej, (2015). *Izrabe geotermalne energije za proizvodnjo električne energije*. Diplomsko delo, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta.

S.Novice, (2025). *Izračunali smo, zakaj se sočna elektrarna na izplača več*. Pridobljeno 10.03.2025 z naslova Izračunali smo, zakaj se sončna elektrarna ne izplača več - siol.net

Turinek Jože, (2009). *Toplotna črpalka z geosondo za ogrevanje enostanovanjske hiše*. Diplomsko delo, Maribor: Univerza v Mariboru, Fakulteta za Strojništvo.

Primerjam.si. *Kaj je grelno število ali COP toplotne črpalke?*. Pridobljeno 19.03.2025 z naslova Kaj je grelno število ali COP toplotne črpalke? - Primerjam.si

Varčujem z energijo, (2023). *Geosonda je dolgoročno najcenejša rešitev ogrevanja*. Pridobljeno 24.02.2025 z naslova <https://www.varcevanje-energije.si/toplotne-crpalka/geosonda-je-dolgorocno-najcenejsa-resitev-ogrevanja-vasega-novega-doma/>

PRILOGE

Priloga 1: Skupni denarni tok investicije, za geotermalni sistem od začetka 2017 do 2027 leta in (PV) sistema s hranilnikom od 2024 do 2034 leta.

Stanje geotermalnega sistema	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Leto	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Skupni donos (EUR)	15.835,10	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42
Skupni prihranek (EUR)	0,00	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42
Skupni odhodki (EUR)	- 15.835,10	2.726,97	2.726,97	2.726,97	2.726,97	2.726,97	2.726,97	2.726,97	2.726,97	2.726,97	2.726,97
Neto skupni donos (EUR)	0,00	2.253,45	2.253,45	2.253,45	2.253,45	2.253,45	2.253,45	2.253,45	2.253,45	2.253,45	2.253,45
Kumulativni skupni donos (EUR)	0,00	2.253,45	4.506,90	6.760,35	9.013,80	11.267,25	13.520,70	15.774,15	18.027,60	20.281,05	22.534,50

Geotermalni sistem (EUR)	15.835,10	Prihranek (TČ)	1.021,65	EKO sklad	3.958,77	Obresti kredita	954,00	AM sredstev	791,79	Vzdrževanje	300,00
PV sistem (EUR)	15.758,44	Prihranek (PV)	407,10	EKO sklad	5.252,81	Obresti kredita	1.062,00	AM sredstev	787,92	Vzdrževanje	550,00
Skupaj (EUR)	31.593,54		1.428,75		9.211,58		2.016,00		1.579,71		850,00

Stanje (PV) sistema	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Leto	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Skupni donos (EUR)	15.758,44	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91
Skupni prihranek (EUR)	0,00	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91
Skupni odhodki (EUR)	- 15.758,44	3.446,87	3.446,87	3.446,87	3.446,87	3.446,87	3.446,87	3.446,87	3.446,87	3.446,87	3.446,87
Neto skupni donos (EUR)	0,00	2.213,04	2.213,04	2.213,04	2.213,04	2.213,04	2.213,04	2.213,04	2.213,04	2.213,04	2.213,04
Kumulativni skupni donos (EUR)	0,00	2.213,04	4.426,08	6.639,12	8.852,16	11.065,20	13.278,24	15.491,28	17.704,32	19.917,36	22.130,40

Tabela 6: Skupni denarni tok geotermalnega in (PV) sistema.
(Lastni vir)

Priloga 2: Nadaljevanje skupnega denarnega toka naložbe geotermalnega sistema od 2028 do 2037 leta in (PV) sistema od 2035 do 2044 leta, do izteka dobe 20 let obeh investicij.

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42
4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42
6.226,97	2.726,97	2.726,97	2.726,97	2.726,97	2.726,97	2.726,97	2.726,97	2.726,97	2.726,97
1.246,55	2.253,45	2.253,45	2.253,45	2.253,45	2.253,45	2.253,45	2.253,45	2.253,45	2.253,45
21.287,95	23.541,40	25.794,85	28.048,30	30.301,75	32.555,20	34.808,65	37.062,10	39.315,55	41.569,00

Zavarovanje	100,00	Stroški po 10 letih	3.500,00	Dodatni stroški	581,18
Zavarovanje	100,00	Stroški po 10 letih	11.000,00	Dodatni stroški	946,95
	200,00		14.500,00		

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044
5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91
5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91
14.446,87	3.446,87	3.446,87	3.446,87	3.446,87	3.446,87	3.446,87	3.446,87	3.446,87	3.446,87
8.786,96	2.213,04	2.213,04	2.213,04	2.213,04	2.213,04	2.213,04	2.213,04	2.213,04	2.213,04
13.343,44	15.556,48	17.769,52	19.982,56	22.195,60	24.408,64	26.621,68	28.834,72	31.047,76	33.260,80

Tabela 7: Skupni denarni tok geotermalnega in (PV) sistema nadaljevanje.
(Lastni vir)

Priloga 3: Realni denarni tok investicije, za geotermalni sistem od 2017 do 2027 leta in (PV) sistema od 2024 do 2034 leta.

Stanje geotermalnega sistema	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Leto	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
kupni donos (EUR)	0,00	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42
kupni prihranek (EUR)	0,00	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42
kupni odhodki (EUR)	-15.835,10	2.726,97	2.726,97	2.726,97	2.726,97	2.726,97	2.726,97	2.726,97	2.726,97	2.726,97	2.726,97
eto skupni donos (EUR)	- 15.835,10	2.253,45	2.253,45	2.253,45	2.253,45	2.253,45	2.253,45	2.253,45	2.253,45	2.253,45	2.253,45
Kumulativni skupni donos (EUR)	- 15.835,10	-13.581,65	-11.328,20	-9.074,75	-6.821,30	-4.567,85	-2.314,40	-60,95	2.192,50	4.445,95	6.699,40
Geotermalni sistem (EUR)	15.835,10	Prihranek (TČ)	1.021,65	EKO sklad	3.958,77	Obresti kredita	954,00	AM sredstev	791,79	Vzdrževanje	300,00
PV sistem (EUR)	15.758,44	Prihranek (PV)	407,10	EKO sklad	5.252,81	Obresti kredita	1.062,00	AM sredstev	787,92	Vzdrževanje	550,00
Skupaj (EUR)	31.593,54		1.428,75		9.211,58		2.016,00		1.579,71		850,00
Stanje (PV) sistema	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Leto	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
kupni donos (EUR)	0,00	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91
kupni prihranek (EUR)	0,00	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91
kupni odhodki (EUR)	-15.758,44	3.446,87	3.446,87	3.446,87	3.446,87	3.446,87	3.446,87	3.446,87	3.446,87	3.446,87	3.446,87
eto skupni donos (EUR)	- 15.758,44	2.213,04	2.213,04	2.213,04	2.213,04	2.213,04	2.213,04	2.213,04	2.213,04	2.213,04	2.213,04
Kumulativni skupni donos (EUR)	- 15.758,44	-13.545,40	-11.332,36	-9.119,32	-6.906,28	-4.693,24	-2.480,20	-267,16	1.945,88	4.158,92	6.371,96

Tabela 8: Realni denarni tok geotermalnega in (PV) sistema.
(Lastni vir)

Priloga 4: Nadaljevanje realnega denarnega toka investicije, za geotermalni sistem od 2028 do 2037 leta in (PV) sistema od 2035 do 2044 leta, do izteka dobe 20 let obeh investicij.

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42
4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42	4.980,42
6.226,97	2.726,97	2.726,97	2.726,97	2.726,97	2.726,97	2.726,97	2.726,97	2.726,97	2.726,97
- 1.246,55	2.253,45	2.253,45	2.253,45	2.253,45	2.253,45	2.253,45	2.253,45	2.253,45	2.253,45
5.452,85	7.706,30	9.959,75	12.213,20	14.466,65	16.720,10	18.973,55	21.227,00	23.480,45	25.733,90
Zavarovanje	100,00	Stroški po 10 letih	3.500,00	Dodatni stroški	581,18				
Zavarovanje	100,00	Stroški po 10 letih	11.000,00	Dodatni stroški	946,95				
	200,00		14.500,00						
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044
5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91
5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91	5.659,91
14.446,87	3.446,87	3.446,87	3.446,87	3.446,87	3.446,87	3.446,87	3.446,87	3.446,87	3.446,87
- 8.786,96	2.213,04	2.213,04	2.213,04	2.213,04	2.213,04	2.213,04	2.213,04	2.213,04	2.213,04
-2.415,00	-201,96	2.011,08	4.224,12	6.437,16	8.650,20	10.863,24	13.076,28	15.289,32	17.502,36

Tabela 9: Realni denarni tok geotermalnega in (PV) sistema nadaljevanje.
(Lastni vir)

Priloga 5: Metoda sedanje vrednosti naložbe pri individualni diskontni stopnji 1,44 %, za geotermalni sistem, vzeto za življenjsko dobo 20 let.

Leto	Časovno obdobje (t)	Prihodki (Sd) v (EUR)	Odhodki (So) v (EUR)	Diskontni faktor $r=1,44\%$ $1/(1+r)^t$ v (%)	Diskontna stopnja $r=1,44\%$ $(1+r)^t$ v (%)	Diskontirani (Sd) v (EUR) $r=1,44\%$	Diskontirani (So) v (EUR) $r=1,44\%$
2017	0	0,00	15.835,10	1,00	1,00	0,00	15.835,10
2018	1	4.980,42	2.726,97	0,986	1,014	4.909,72	2.688,26
2019	2	4.980,42	2.726,97	0,972	1,029	4.840,02	2.650,10
2020	3	4.980,42	2.726,97	0,958	1,044	4.771,32	2.612,48
2021	4	4.980,42	2.726,97	0,944	1,059	4.703,59	2.575,39
2022	5	4.980,42	2.726,97	0,931	1,074	4.636,81	2.538,83
2023	6	4.980,42	2.726,97	0,918	1,090	4.570,99	2.502,79
2024	7	4.980,42	2.726,97	0,905	1,105	4.506,10	2.467,26
2025	8	4.980,42	2.726,97	0,892	1,121	4.442,14	2.432,24
2026	9	4.980,42	2.726,97	0,879	1,137	4.379,08	2.397,71
2027	10	4.980,42	2.726,97	0,867	1,154	4.316,92	2.363,68
2028	11	4.980,42	2.726,97	0,854	1,170	4.255,63	2.329,78
2029	12	4.980,42	2.726,97	0,842	1,187	4.195,22	2.297,04
2030	13	4.980,42	2.726,97	0,830	1,204	4.135,67	2.264,44
2031	14	4.980,42	2.726,97	0,819	1,222	4.076,96	2.232,29
2032	15	4.980,42	2.726,97	0,807	1,239	4.019,09	2.200,60
2033	16	4.980,42	2.726,97	0,796	1,257	3.962,03	2.169,36
2034	17	4.980,42	2.726,97	0,784	1,275	3.905,79	2.138,57
2035	18	4.980,42	2.726,97	0,773	1,293	3.850,34	2.108,21
2036	19	4.980,42	2.726,97	0,762	1,312	3.795,69	2.078,28
2037	20	4.980,42	2.726,97	0,751	1,331	3.741,81	2.048,78
	Skupaj (EUR)	99.608,40	73.874,50			86.014,93	65.922,21
	SV (EUR)	Sd - So =	25.733,90		NSDp (EUR)	Sd - So =	20.092,72

Tabela 10: Metoda sedanje vrednosti naložbe geotermalnega sistema.

(Lastni vir)

Priloga 6: Metoda sedanje vrednosti naložbe pri individualni diskontni stopnji 2,33 %, za (PV) sistem, vzeta za življenjsko dobo 20 let.

Leto	Časovno obdobje (t)	Prihodki (Sd) v (EUR)	Odhodki (So) v (EUR)	Diskontni faktor $r=2,33\%$ $1/(1+r)^t$ v (%)	Diskontna stopnja $r=2,33\%$ $(1+r)^t$ v (%)	Diskontirani (Sd) v (EUR) $r=2,33\%$	Diskontirani (So) v (EUR) $r=2,33\%$
2024	0	0,00	15.758,44	1,00	1,00	0,00	15.758,44
2025	1	5.659,91	3.446,87	0,977	1,023	5.531,04	3.368,39
2026	2	5.659,91	3.446,87	0,955	1,047	5.405,10	3.291,69
2027	3	5.659,91	3.446,87	0,933	1,072	5.282,03	3.216,74
2028	4	5.659,91	3.446,87	0,912	1,097	5.161,76	3.143,50
2029	5	5.659,91	3.446,87	0,891	1,122	5.044,23	3.071,92
2030	6	5.659,91	3.446,87	0,871	1,148	4.929,37	3.001,97
2031	7	5.659,91	3.446,87	0,851	1,175	4.817,13	2.933,62
2032	8	5.659,91	3.446,87	0,832	1,202	4.707,45	2.866,82
2033	9	5.659,91	3.446,87	0,813	1,230	4.600,26	2.801,55
2034	10	5.659,91	3.446,87	0,794	1,259	4.495,52	2.737,76
2035	11	5.659,91	14.446,87	0,776	1,288	4.393,16	11.213,50
2036	12	5.659,91	3.446,87	0,759	1,318	4.293,13	2.614,50
2037	13	5.659,91	3.446,87	0,741	1,349	4.195,38	2.554,97
2038	14	5.659,91	3.446,87	0,724	1,381	4.099,85	2.496,80
2039	15	5.659,91	3.446,87	0,708	1,413	4.006,50	2.439,95
2040	16	5.659,91	3.446,87	0,692	1,446	3.915,27	2.384,39
2041	17	5.659,91	3.446,87	0,676	1,479	3.826,12	2.330,10
2042	18	5.659,91	3.446,87	0,661	1,514	3.739,00	2.277,04
2043	19	5.659,91	3.446,87	0,646	1,549	3.653,87	2.225,20
2044	20	5.659,91	3.446,87	0,631	1,585	3.570,67	2.174,53
	Skupaj (EUR)	113.198,20	95.695,84			89.666,84	78.903,38
	SV (EUR)	Sd - So =	17.502,36		NSDp (EUR)	Sd - So =	10.763,46

Tabela 11: Metoda sedanje vrednosti naložbe (PV) sistema.

(Lastni vir)

Priloga 7: Interna stopnja donosnosti, kjer je neto skupni donos pri pozitivni diskontni stopnji 10,00 %, za naložbo v geotermalni sistem, vzeto za iztek dobe 20 let.

Leto	Časovno obdobje (t)	Prihodki (Sd) v (EUR)	Odhodki (So) v (EUR)	Diskontni faktor $r=10,00\%$ $1/(1+r)^t$ v (%)	Diskontna stopnja $r=10,00\%$ $(1+r)^t$ v (%)	Diskontirani (Sd) v (EUR)	Diskontirani (So) v (EUR)
2017	0	0,00	15.835,10	1,00	1,00	0,00	15.835,10
2018	1	4.980,42	2.726,97	0,909	1,100	4.527,65	2.479,06
2019	2	4.980,42	2.726,97	0,826	1,210	4.116,05	2.253,69
2020	3	4.980,42	2.726,97	0,751	1,331	3.741,86	2.048,81
2021	4	4.980,42	2.726,97	0,683	1,464	3.401,69	1.862,56
2022	5	4.980,42	2.726,97	0,621	1,611	3.092,45	1.693,23
2023	6	4.980,42	2.726,97	0,564	1,772	2.811,32	1.539,30
2024	7	4.980,42	2.726,97	0,513	1,949	2.555,74	1.399,37
2025	8	4.980,42	2.726,97	0,467	2,144	2.323,40	1.272,15
2026	9	4.980,42	2.726,97	0,424	2,358	2.112,18	1.156,50
2027	10	4.980,42	2.726,97	0,386	2,594	1.920,17	1.051,36
2028	11	4.980,42	2.726,97	0,350	2,853	1.745,61	948,81
2029	12	4.980,42	2.726,97	0,319	3,138	1.586,92	868,90
2030	13	4.980,42	2.726,97	0,290	3,452	1.442,65	789,91
2031	14	4.980,42	2.726,97	0,263	3,797	1.311,50	718,10
2032	15	4.980,42	2.726,97	0,239	4,177	1.192,27	652,81
2033	16	4.980,42	2.726,97	0,218	4,595	1.083,88	593,47
2034	17	4.980,42	2.726,97	0,198	5,054	985,35	539,52
2035	18	4.980,42	2.726,97	0,180	5,560	895,77	490,47
2036	19	4.980,42	2.726,97	0,164	6,116	814,34	445,88
2037	20	4.980,42	2.726,97	0,149	6,727	740,31	405,35
Skupaj (EUR)		99.608,40	73.874,50			42.401,12	40.278,06
SV (EUR)		Sd - So =	25.733,90		NSDp (EUR)	Sd - So =	2.123,06

Tabela 12: Neto skupni donos geotermalnega sistema ($r_p = 10,00\%$).
(Lastni vir)

Priloga 8: Interna stopnja donosnosti, kjer je neto skupni donos pri negativni diskontni stopnji 13,00 %, za naložbo v geotermalni sistem, vzeto za iztek dobe 20 let.

Leto	Časovno obdobje (t)	Prihodki (Sd) v (EUR)	Odhodki (So) v (EUR)	Diskontni faktor $r=13,00\%$ $1/(1+r)^t$ v (%)	Diskontna stopnja $r=13,00\%$ $(1+r)^t$ v (%)	Diskontirani (Sd) v (EUR)	Diskontirani (So) v (EUR)
2017	0	0,00	15.835,10	1,00	1,00	0,00	15.835,10
2018	1	4.980,42	2.726,97	0,885	1,130	4.407,45	2.413,25
2019	2	4.980,42	2.726,97	0,783	1,277	3.900,40	2.135,62
2020	3	4.980,42	2.726,97	0,693	1,443	3.451,68	1.889,93
2021	4	4.980,42	2.726,97	0,613	1,630	3.054,58	1.672,50
2022	5	4.980,42	2.726,97	0,543	1,842	2.703,17	1.480,09
2023	6	4.980,42	2.726,97	0,480	2,082	2.392,19	1.309,81
2024	7	4.980,42	2.726,97	0,425	2,353	2.116,98	1.159,13
2025	8	4.980,42	2.726,97	0,376	2,658	1.873,43	1.025,78
2026	9	4.980,42	2.726,97	0,333	3,004	1.657,91	907,77
2027	10	4.980,42	2.726,97	0,295	3,395	1.467,17	803,33
2028	11	4.980,42	2.726,97	0,261	3,836	1.298,38	712,36
2029	12	4.980,42	2.726,97	0,231	4,335	1.149,01	629,13
2030	13	4.980,42	2.726,97	0,204	4,898	1.016,82	556,75
2031	14	4.980,42	2.726,97	0,181	5,535	899,85	492,70
2032	15	4.980,42	2.726,97	0,160	6,254	796,32	436,02
2033	16	4.980,42	2.726,97	0,141	7,067	704,71	385,86
2034	17	4.980,42	2.726,97	0,125	7,986	623,64	341,47
2035	18	4.980,42	2.726,97	0,111	9,024	551,89	302,18
2036	19	4.980,42	2.726,97	0,098	10,197	488,40	267,42
2037	20	4.980,42	2.726,97	0,087	11,523	432,21	236,65
Skupaj (EUR)		99.608,40	73.874,50			34.986,21	35.903,83
SV (EUR)		Sd - So =	25.733,90		NSDn (EUR)	Sd - So =	-917,62

Tabela 13: Neto skupni donos geotermalnega sistema ($r_n = 13,00\%$).
(Lastni vir)

Priloga 9: Interna stopnja donosnosti, kjer je neto skupni donos pri pozitivni diskontni stopnji 8,00 %, za naložbo v (PV) sistem, vzeto za iztek dobe 20 let.

Leto	Časovno obdobje (t)	Prihodki (Sd) v (EUR)	Odhodki (So) v (EUR)	Diskontni faktor $r=8,00\%$ $1/(1+r)^t$ v (%)	Diskontna stopnja $r=8,00\%$ $(1+r)^t$ v (%)	Diskontirani (Sd) v (EUR)	Diskontirani (So) v (EUR)
2024	0	0,00	15.758,44	1,00	1,00	0,00	15.758,44
2025	1	5.659,91	3.446,87	0,926	1,080	5.240,66	3.191,55
2026	2	5.659,91	3.446,87	0,857	1,166	4.852,46	2.955,14
2027	3	5.659,91	3.446,87	0,794	1,260	4.493,02	2.736,24
2028	4	5.659,91	3.446,87	0,735	1,360	4.160,20	2.533,55
2029	5	5.659,91	3.446,87	0,681	1,469	3.852,04	2.345,88
2030	6	5.659,91	3.446,87	0,630	1,587	3.566,70	2.172,11
2031	7	5.659,91	3.446,87	0,583	1,714	3.302,50	2.011,22
2032	8	5.659,91	3.446,87	0,540	1,851	3.057,87	1.862,24
2033	9	5.659,91	3.446,87	0,500	1,999	2.831,36	1.724,29
2034	10	5.659,91	3.446,87	0,463	2,159	2.621,63	1.596,57
2035	11	5.659,91	14.446,87	0,429	2,332	2.427,44	6.196,01
2036	12	5.659,91	3.446,87	0,397	2,518	2.247,63	1.368,80
2037	13	5.659,91	3.446,87	0,368	2,720	2.081,14	1.267,41
2038	14	5.659,91	3.446,87	0,340	2,937	1.926,98	1.173,52
2039	15	5.659,91	3.446,87	0,315	3,172	1.784,24	1.086,60
2040	16	5.659,91	3.446,87	0,292	3,426	1.652,07	1.006,11
2041	17	5.659,91	3.446,87	0,270	3,700	1.529,70	931,58
2042	18	5.659,91	3.446,87	0,250	3,996	1.416,39	862,58
2043	19	5.659,91	3.446,87	0,232	4,316	1.311,47	798,68
2044	20	5.659,91	3.446,87	0,215	4,661	1.214,32	739,52
	Skupaj (EUR)	113.198,20	95.695,84			55.569,83	54.318,03
	SV (EUR)	Sd - So =	17.502,36		NSDp (EUR)	Sd - So =	1.251,80

Tabela 14: Neto skupni donos (PV) sistema ($r_p = 8,00\%$).

(Lasti vir)

Priloga 10: Interna stopnja donosnosti, kjer je neto skupni donos pri negativni diskontni stopnji 10,00 %, za naložbo v (PV) sistem, vzeto za iztek dobe 20 let.

Leto	Časovno obdobje (t)	Prihodki (Sd) v (EUR)	Odhodki (So) v (EUR)	Diskontni faktor $r=10,00\%$ $1/(1+r)^t$ v (%)	Diskontna stopnja $r=10,00\%$ $(1+r)^t$ v (%)	Diskontirani (Sd) v (EUR)	Diskontirani (So) v (EUR)
2024	0	0,00	15.758,44	1,00	1,00	0,00	15.758,44
2025	1	5.659,91	3.446,87	0,909	1,100	5.145,37	3.133,52
2026	2	5.659,91	3.446,87	0,826	1,210	4.677,61	2.848,65
2027	3	5.659,91	3.446,87	0,751	1,331	4.252,37	2.589,68
2028	4	5.659,91	3.446,87	0,683	1,464	3.865,79	2.354,26
2029	5	5.659,91	3.446,87	0,621	1,611	3.514,36	2.140,24
2030	6	5.659,91	3.446,87	0,564	1,772	3.194,87	1.945,67
2031	7	5.659,91	3.446,87	0,513	1,949	2.904,43	1.768,79
2032	8	5.659,91	3.446,87	0,467	2,144	2.640,39	1.607,99
2033	9	5.659,91	3.446,87	0,424	2,358	2.400,35	1.461,81
2034	10	5.659,91	3.446,87	0,386	2,594	2.182,14	1.328,92
2035	11	5.659,91	14.446,87	0,350	2,853	1.983,76	5.063,54
2036	12	5.659,91	3.446,87	0,319	3,138	1.803,42	1.098,28
2037	13	5.659,91	3.446,87	0,290	3,452	1.639,47	998,44
2038	14	5.659,91	3.446,87	0,263	3,797	1.490,43	907,67
2039	15	5.659,91	3.446,87	0,239	4,177	1.354,94	825,15
2040	16	5.659,91	3.446,87	0,218	4,595	1.231,76	750,14
2041	17	5.659,91	3.446,87	0,198	5,054	1.119,78	681,94
2042	18	5.659,91	3.446,87	0,180	5,560	1.017,98	619,95
2043	19	5.659,91	3.446,87	0,164	6,116	925,44	563,59
2044	20	5.659,91	3.446,87	0,149	6,727	841,31	512,36
	Skupaj (EUR)	113.198,20	95.695,84			48.186,00	48.959,02
	SV (EUR)	Sd - So =	17.502,36		NSDn (EUR)	Sd - So =	-773,02

Tabela 15: Neto skupni donos (PV) sistema ($r_n = 10,00\%$).

(Lastni vir)

Priloga 11: Neto skupni donos naložbe (PV) sistema pri pozitivni diskontni stopnji 7,00 %, ko so povečani stroški naložbe za 10,00 %.

Leto	Časovno obdobje (t)	Prihodki (Sd) v (EUR)	Odhodki (So) v (EUR)	Diskontni faktor $r=7,00\%$ $1/(1+r)^t$ v (%)	Diskontna stopnja $r=7,00\%$ $(1+r)^t$ v (%)	Diskontirani (Sd) v (EUR) $r=7,00\%$	Diskontirani (So) v (EUR) $r=7,00\%$
2024	0	0,00	17.334,28	1,00	1,00	0,00	17.334,28
2025	1	5.659,91	3.446,87	0,935	1,070	5.289,64	3.221,37
2026	2	5.659,91	3.446,87	0,873	1,145	4.943,58	3.010,63
2027	3	5.659,91	3.446,87	0,816	1,225	4.620,17	2.813,67
2028	4	5.659,91	3.446,87	0,763	1,311	4.317,92	2.629,60
2029	5	5.659,91	3.446,87	0,713	1,403	4.035,44	2.457,57
2030	6	5.659,91	3.446,87	0,666	1,501	3.771,44	2.296,80
2031	7	5.659,91	3.446,87	0,623	1,606	3.524,71	2.146,54
2032	8	5.659,91	3.446,87	0,582	1,718	3.294,12	2.006,11
2033	9	5.659,91	3.446,87	0,544	1,838	3.078,62	1.874,87
2034	10	5.659,91	3.446,87	0,508	1,967	2.877,21	1.752,21
2035	11	5.659,91	14.446,87	0,475	2,105	2.688,98	6.863,60
2036	12	5.659,91	3.446,87	0,444	2,252	2.513,07	1.530,45
2037	13	5.659,91	3.446,87	0,415	2,410	2.348,66	1.430,33
2038	14	5.659,91	3.446,87	0,388	2,579	2.195,01	1.336,76
2039	15	5.659,91	3.446,87	0,362	2,759	2.051,41	1.249,30
2040	16	5.659,91	3.446,87	0,339	2,952	1.917,21	1.167,57
2041	17	5.659,91	3.446,87	0,317	3,159	1.791,78	1.091,19
2042	18	5.659,91	3.446,87	0,296	3,380	1.674,56	1.019,80
2043	19	5.659,91	3.446,87	0,277	3,617	1.565,01	953,09
2044	20	5.659,91	3.446,87	0,258	3,870	1.462,63	890,74
	Skupaj (EUR)	113.198,20	97.271,68			59.961,17	59.076,49
	SV (EUR)	Sd - So =	15.926,52		NSDp (EUR)	Sd - So =	884,68

Tabela 16: Povečani stroški za 10,00 % naložbe pri ($r_p = 7,00\%$).
(Lastni vir)

Priloga 12: Neto skupni donos naložbe (PV) sistema pri negativni diskontni stopnji 8,00 %, ko so povečani stroški naložbe za 10,00 %.

Leto	Časovno obdobje (t)	Prihodki (Sd) v (EUR)	Odhodki (So) v (EUR)	Diskontni faktor $r=8,00\%$ $1/(1+r)^t$ v (%)	Diskontna stopnja $r=8,00\%$ $(1+r)^t$ v (%)	Diskontirani (Sd) v (EUR) $r=8,00\%$	Diskontirani (So) v (EUR) $r=8,00\%$
2024	0	0,00	17.334,28	1,00	1,00	0,00	17.334,28
2025	1	5.659,91	3.446,87	0,926	1,080	5.240,66	3.191,55
2026	2	5.659,91	3.446,87	0,857	1,166	4.852,46	2.955,14
2027	3	5.659,91	3.446,87	0,794	1,260	4.493,02	2.736,24
2028	4	5.659,91	3.446,87	0,735	1,360	4.160,20	2.533,55
2029	5	5.659,91	3.446,87	0,681	1,469	3.852,04	2.345,88
2030	6	5.659,91	3.446,87	0,630	1,587	3.566,70	2.172,11
2031	7	5.659,91	3.446,87	0,583	1,714	3.302,50	2.011,22
2032	8	5.659,91	3.446,87	0,540	1,851	3.057,87	1.862,24
2033	9	5.659,91	3.446,87	0,500	1,999	2.831,36	1.724,29
2034	10	5.659,91	3.446,87	0,463	2,159	2.621,63	1.596,57
2035	11	5.659,91	14.446,87	0,429	2,332	2.427,44	6.196,01
2036	12	5.659,91	3.446,87	0,397	2,518	2.247,63	1.368,80
2037	13	5.659,91	3.446,87	0,368	2,720	2.081,14	1.267,41
2038	14	5.659,91	3.446,87	0,340	2,937	1.926,98	1.173,52
2039	15	5.659,91	3.446,87	0,315	3,172	1.784,24	1.086,60
2040	16	5.659,91	3.446,87	0,292	3,426	1.652,07	1.006,11
2041	17	5.659,91	3.446,87	0,270	3,700	1.529,70	931,58
2042	18	5.659,91	3.446,87	0,250	3,996	1.416,39	862,58
2043	19	5.659,91	3.446,87	0,232	4,316	1.311,47	798,68
2044	20	5.659,91	3.446,87	0,215	4,661	1.214,32	739,52
	Skupaj (EUR)	113.198,20	97.271,68			55.569,83	55.893,87
	SV (EUR)	Sd - So =	15.926,52		NSDn (EUR)	Sd - So =	-324,04

Tabela 17: Povečani stroški za 10,00 % naložbe pri ($r_p = 8,00\%$).
(Lastni vir)

Priloga 13: Neto skupni donos naložbe (PV) sistema pri pozitivni diskontni stopnji 3,00 %, ko so zmanjšani prihodki naložbe za 10,00 %.

Leto	Časovno obdobje (t)	Prihodki (Sd) v (EUR)	Odhodki (So) v (EUR)	Diskontni faktor $r=3,00\%$ $1/(1+r)^t$ v (%)	Diskontna stopnja $r=3,00\%$ $(1+r)^t$ v (%)	Diskontirani (Sd) v (EUR) $r=3,00\%$	Diskontirani (So) v (EUR) $r=3,00\%$
2024	0	0,00	15.758,44	1,00	1,00	0,00	15.758,44
2025	1	5.093,92	3.446,87	0,971	1,030	4.945,55	3.346,48
2026	2	5.093,92	3.446,87	0,943	1,061	4.801,51	3.249,01
2027	3	5.093,92	3.446,87	0,915	1,093	4.661,66	3.154,37
2028	4	5.093,92	3.446,87	0,888	1,126	4.525,88	3.062,50
2029	5	5.093,92	3.446,87	0,863	1,159	4.394,06	2.973,30
2030	6	5.093,92	3.446,87	0,837	1,194	4.266,08	2.886,70
2031	7	5.093,92	3.446,87	0,813	1,230	4.141,82	2.802,62
2032	8	5.093,92	3.446,87	0,789	1,267	4.021,19	2.720,99
2033	9	5.093,92	3.446,87	0,766	1,305	3.904,07	2.641,74
2034	10	5.093,92	3.446,87	0,744	1,344	3.790,35	2.564,79
2035	11	5.093,92	14.446,87	0,722	1,384	3.679,96	10.436,73
2036	12	5.093,92	3.446,87	0,701	1,426	3.572,77	2.417,57
2037	13	5.093,92	3.446,87	0,681	1,469	3.468,71	2.347,15
2038	14	5.093,92	3.446,87	0,661	1,513	3.367,68	2.278,79
2039	15	5.093,92	3.446,87	0,642	1,558	3.269,59	2.212,41
2040	16	5.093,92	3.446,87	0,623	1,605	3.174,36	2.147,98
2041	17	5.093,92	3.446,87	0,605	1,653	3.081,91	2.085,41
2042	18	5.093,92	3.446,87	0,587	1,702	2.992,14	2.024,67
2043	19	5.093,92	3.446,87	0,570	1,754	2.904,99	1.965,70
2044	20	5.093,92	3.446,87	0,554	1,806	2.820,38	1.908,45
	Skupaj (EUR)	101.878,40	95.695,84			75.784,67	74.985,80
	SV (EUR)	Sd - So =	6.182,56		NSDp (EUR)	Sd - So =	798,87

Tabela 18: Zmanjšani prihodki za 10,00 % naložbe pri ($r_p = 3,00\%$).

(Lastni vir)

Priloga 14: Neto skupni donos naložbe (PV) sistema pri negativni diskontni stopnji 4,00 %, ko so zmanjšani prihodki naložbe za 10,00 %.

Leto	Časovno obdobje (t)	Prihodki (Sd) v (EUR)	Odhodki (So) v (EUR)	Diskontni faktor $r=4,00\%$ $1/(1+r)^t$ v (%)	Diskontna stopnja $r=4,00\%$ $(1+r)^t$ v (%)	Diskontirani (Sd) v (EUR) $r=4,00\%$	Diskontirani (So) v (EUR) $r=4,00\%$
2024	0	0,00	15.758,44	1,00	1,00	0,00	15.758,44
2025	1	5.093,92	3.446,87	0,962	1,040	4.898,00	3.314,30
2026	2	5.093,92	3.446,87	0,925	1,082	4.709,62	3.186,83
2027	3	5.093,92	3.446,87	0,889	1,125	4.528,48	3.064,25
2028	4	5.093,92	3.446,87	0,855	1,170	4.354,30	2.946,40
2029	5	5.093,92	3.446,87	0,822	1,217	4.186,83	2.833,08
2030	6	5.093,92	3.446,87	0,790	1,265	4.025,80	2.724,11
2031	7	5.093,92	3.446,87	0,760	1,316	3.870,96	2.619,34
2032	8	5.093,92	3.446,87	0,731	1,369	3.722,08	2.518,59
2033	9	5.093,92	3.446,87	0,703	1,423	3.578,92	2.421,73
2034	10	5.093,92	3.446,87	0,676	1,480	3.441,27	2.328,58
2035	11	5.093,92	14.446,87	0,650	1,539	3.308,91	9.384,41
2036	12	5.093,92	3.446,87	0,625	1,601	3.181,65	2.152,90
2037	13	5.093,92	3.446,87	0,601	1,665	3.059,28	2.070,10
2038	14	5.093,92	3.446,87	0,577	1,732	2.941,61	1.990,48
2039	15	5.093,92	3.446,87	0,555	1,801	2.828,47	1.913,92
2040	16	5.093,92	3.446,87	0,534	1,873	2.719,69	1.840,31
2041	17	5.093,92	3.446,87	0,513	1,948	2.615,08	1.769,53
2042	18	5.093,92	3.446,87	0,494	2,026	2.514,50	1.701,47
2043	19	5.093,92	3.446,87	0,475	2,107	2.417,79	1.636,03
2044	20	5.093,92	3.446,87	0,456	2,191	2.324,80	1.573,11
	Skupaj (EUR)	101.878,40	95.695,84			69.228,04	69.747,92
	SV (EUR)	Sd - So =	6.182,56		NSDn (EUR)	Sd - So =	-519,88

Tabela 19: Zmanjšani prihodki za 10,00 % naložbe pri ($r_n = 4,00\%$).

(Lastni vir)

Priloga 15: Neto skupni donos naložbe geotermalnega sistema pri pozitivni diskontni stopnji 7,00 %, brez oskrbe z električno energijo iz (PV) sistema.

Leto	Časovno obdobje (t)	Prihodki (Sd) v (EUR)	Odhodki (So) v (EUR)	Diskontni faktor $r=7,00\%$ $1/(1+r)^t$ v (%)	Diskontna stopnja $r=7,00\%$ $(1+r)^t$ v (%)	Diskontirani (Sd) v (EUR) $r=7,00\%$	Diskontirani (So) v (EUR) $r=7,00\%$
2017	0	0,00	15.835,10	1,00	1,00	0,00	15.835,10
2018	1	3.958,77	4.138,40	0,935	1,070	3.699,79	3.867,66
2019	2	3.958,77	4.138,40	0,873	1,145	3.457,74	3.614,64
2020	3	3.958,77	4.138,40	0,816	1,225	3.231,54	3.378,17
2021	4	3.958,77	4.138,40	0,763	1,311	3.020,13	3.157,17
2022	5	3.958,77	4.138,40	0,713	1,403	2.822,55	2.950,62
2023	6	3.958,77	4.138,40	0,666	1,501	2.637,90	2.757,59
2024	7	3.958,77	4.138,40	0,623	1,606	2.465,32	2.577,19
2025	8	3.958,77	4.138,40	0,582	1,718	2.304,04	2.408,59
2026	9	3.958,77	4.138,40	0,544	1,838	2.153,31	2.251,02
2027	10	3.958,77	4.138,40	0,508	1,967	2.012,44	2.103,75
2028	11	3.958,77	7.638,40	0,475	2,105	1.880,78	3.628,95
2029	12	3.958,77	4.138,40	0,444	2,252	1.757,74	3.677,50
2030	13	3.958,77	4.138,40	0,415	2,410	1.642,75	3.717,29
2031	14	3.958,77	4.138,40	0,388	2,579	1.535,28	3.604,94
2032	15	3.958,77	4.138,40	0,362	2,759	1.434,84	3.499,95
2033	16	3.958,77	4.138,40	0,339	2,952	1.340,97	3.401,82
2034	17	3.958,77	4.138,40	0,317	3,159	1.253,25	3.310,11
2035	18	3.958,77	4.138,40	0,296	3,380	1.171,26	3.224,40
2036	19	3.958,77	4.138,40	0,277	3,617	1.094,63	3.144,30
2037	20	3.958,77	4.138,40	0,258	3,870	1.023,02	3.069,44
	Skupaj (EUR)	79.175,40	102.103,10			41.939,27	61.340,19
	SV (EUR)	Sd - So =	-22.927,70		NSDp (EUR)	Sd - So =	-19.400,93

Tabela 20: Geotermalni sistem, brez oskrbe iz (PV) sistema, pri ($r_p = 7,00\%$).
(Lastni vir)

Priloga 16: Neto skupni donos naložbe geotermalnega sistema pri negativni diskontni stopnji 8,00 %, brez oskrbe z električno energijo iz (PV) sistema.

Leto	Časovno obdobje (t)	Prihodki (Sd) v (EUR)	Odhodki (So) v (EUR)	Diskontni faktor $r=8,00\%$ $1/(1+r)^t$ v (%)	Diskontna stopnja $r=8,00\%$ $(1+r)^t$ v (%)	Diskontirani (Sd) v (EUR) $r=8,00\%$	Diskontirani (So) v (EUR) $r=8,00\%$
2017	0	0,00	15.835,10	1,00	1,00	0,00	15.835,10
2018	1	3.958,77	4.138,40	0,926	1,080	3.665,53	3.831,85
2019	2	3.958,77	4.138,40	0,857	1,166	3.394,01	3.548,01
2020	3	3.958,77	4.138,40	0,794	1,260	3.142,60	3.285,20
2021	4	3.958,77	4.138,40	0,735	1,360	2.909,81	3.041,85
2022	5	3.958,77	4.138,40	0,681	1,469	2.694,27	2.816,53
2023	6	3.958,77	4.138,40	0,630	1,587	2.494,70	2.607,89
2024	7	3.958,77	4.138,40	0,583	1,714	2.309,90	2.414,72
2025	8	3.958,77	4.138,40	0,540	1,851	2.138,80	2.235,85
2026	9	3.958,77	4.138,40	0,500	1,999	1.980,37	2.070,23
2027	10	3.958,77	4.138,40	0,463	2,159	1.833,68	1.916,88
2028	11	3.958,77	7.638,40	0,429	2,332	1.697,85	3.275,98
2029	12	3.958,77	4.138,40	0,397	2,518	1.572,08	3.164,42
2030	13	3.958,77	4.138,40	0,368	2,720	1.455,63	3.152,18
2031	14	3.958,77	4.138,40	0,340	2,937	1.347,81	3.1408,96
2032	15	3.958,77	4.138,40	0,315	3,172	1.247,97	3.1304,60
2033	16	3.958,77	4.138,40	0,292	3,426	1.155,53	3.1207,96
2034	17	3.958,77	4.138,40	0,270	3,700	1.069,93	3.1118,48
2035	18	3.958,77	4.138,40	0,250	3,996	990,68	3.1035,63
2036	19	3.958,77	4.138,40	0,232	4,316	917,29	3.0958,92
2037	20	3.600,00	4.138,40	0,215	4,661	772,37	3.0887,89
	Skupaj (EUR)	78.816,63	102.103,10			38.790,81	57.967,61
	SV (EUR)	Sd - So =	-23.286,47		NSDn (EUR)	Sd - So =	-19.176,80

Tabela 21: Geotermalni sistem, brez oskrbe iz (PV) sistema, pri ($r_n = 8,00\%$).
(Lastni vir)

Priloga 17: Letna primerjava različnih sistemov objekta, nastanka toplogrednih plinov (CO₂), posledica rabe električne energije brez in z (PV) sistemom, ki oskrbuje objekt z električno energijo.

Tipi sistemov delovanja za objekt	Tip brez samooskrbe z (PV) sistemom (kg CO ₂ /leto)	Tip samooskrbe z (PV) sistemom (kg CO ₂ /leto)	Tip rabe električne energije iz omrežja (kg CO ₂ /leto)
Geotermalni sistem z geosondo in (TČ) ogrevanje	1.107	1.107	0
(PV) sistem s hranilnikom električna energija	1.973	1.973	0
Rabe električne energije ostalega gospodinjstva	424	424	424
Raba električne energije za ogrevanje objekta	0	0	5.445
Skupaj (kg CO₂/leto)	3.503	443	5.868

Tabela 22: Primerjava nastanka ogljičnega odtisa med različnimi oblikami.
(Lastni vir)