

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*

Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si



UNIVERZITETNI ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA
PROMETNA SMER

Kandidat:

LUKA VOJNOVIĆ

**TEHNOLOGIJA ABSORPCIJE TOPLOTNE ENERGIJE
TAL Z ENERGETSKIMI GEOTEHNIČNIMI ELEMENTI**

Diplomska naloga št.: **3227/PS**

**TECHNOLOGY FOR ABSORPTION OF THERMAL
GROUND ENERGY WITH ENERGETIC
GEOTECHNICAL ELEMENTS**

Graduation thesis No.: **3227/PS**

Mentor:

izr. prof. dr. Janko Logar

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:

doc. dr. Primož Banovec

Ljubljana, 30. 5. 2012

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **LUKA VOJNOVIĆ** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:

»TEHNOLOGIJA ABSORPCIJE TOPLOTNE ENERGIJE TAL Z ENERGETSKIMI GEOTEHNIČNIMI ELEMENTI«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Luka Vojnović

(podpis)

Ljubljana, 21. 05. 2012

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali visokošolski učitelji prometne smeri:

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

- UDK:** 519.61/.64:624.1.003(043.2)
- Avtor:** Luka Vojnović
- Mentor:** izr. prof. dr. Janko Logar
- Somentor:** doc. dr. Primož Banovec
- Naslov:** Tehnologija absorpcije toplotne energije tal z energetskimi geotehničnimi elementi
- Obseg in oprema:** 158 str., 14 graf., 49 sl., 59 sl. (privzet.), 68 pregl., 42 en., 6 pril.;
- Ključne besede:** analiza stroškovne učinkovitosti, energetski geotehnični elementi, energetsko temeljenje, investicijska presoja, numerična simulacija prenosa toplote, obnovljivi viri energije, tehnologija absorpcije toplotne energije tal (z energetskimi geotehničnimi elementi), toplotna energija tal, trajnostni razvoj, variantni stroškovni model;

Izvleček (do 250 besed):

Z diplomskim delom prikazujem novo možnost pridobivanja in izkoriščanja obnovljivega vira energije za potrebe ogrevanja in hlajenja objektov.

Na začetku prikažem kratek pregled znanih tehnologij za uporabo obnovljivih virov energije, ki so že na našem tržišču. Za jasneše razlikovanje uvedem novejšo terminologijo, ki se opira na podatke temperaturnega profila tal slovenskih in tujih dognanj. Za razumevanje delovanja tehnologije absorpcije toplotne energije tal z energetskimi geotehničnimi elementi navedem glavne elemente energetskega sistema, dodatke geotehničnim elementom, da postanejo energetski geotehnični elementi, načine uporabe in primerno delovanje tehnologije ter krajše teoretično ozadje.

V nadaljevanju s štirimi različnimi sistemi stanovanjskega ter infrastrukturnih objektov prikažem konceptualno investicijsko presojo za uporabo toplotne energije tal. Z variantnimi stroškovnimi modeli, skladno z Uredbo o enotni metodologiji za pripravo in obravnavo investicijske dokumentacije na področju javnih financ, naredim analizo stroškovne učinkovitosti uporabe tehnologije absorpcije toplotne energije tal z energetskimi geotehničnimi elementi. V diplomsko nalogo sem vključil tudi dva primera dobre prakse uporabe toplotne energije tal za ogrevanje in hlajenje objekta.

Na koncu diplomske naloge predstavim še numerično simulacijo v računalniškem programu Abaqus, s katerim sem napravil nelinearno dinamično analizo prevajanja gostote toplotnega toka iz zemljine na energetske pilote. Slednji zagotavljajo možnost pridobivanja in izkoriščanja toplotne energije tal za hipotetični primer ogrevanja in hlajenja stanovanjske hiše.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 519.61/.64:624.1.003(043.2)

Author: Luka Vojnović

Supervisor: Assoc. prof. Janko Logar, Ph. D.

Cosupervisor: Assist. prof. Primož Banovec, Ph. D.

Title: Technology for absorption of thermal ground energy with energetic geotechnical elements

Notes: 159 p., 14 ch., 49 pic., 59 pic. (ref.), 68 tab., 42 eq., 6 ann.;

Key words: cost effectiveness analysis, energetic geotechnical elements, energy foundations, feasibility analysis, numerical simulation of heat transfer, renewable energy sources, technology for absorption of thermal ground energy (with energetic geotechnical elements), thermal ground energy, sustainable development, cost model of different options;

Abstract (up to 250 words):

In following graduation thesis I am presenting new possibility for extraction and usage of renewable energy source, which can be used as a heat source in winter and for cooling in summer.

At the very start short overview of well-known technologies for using renewable energy sources in Slovenia. For clearer distinguishing I introduce newer terminology, which is based upon Slovenian and international ground temperature profile data. For better understanding of technology for absorption of thermal ground energy with energetic geotechnical elements the basic scheme of system is described. Furthermore supplements to geotechnical elements which make the latter energetic geotechnical elements are described as well as system's appropriate ways of operation. Also short chapter with theoretical background is presented.

Moreover four different systems (family house and three non-residential structures) are used for showing the concept of feasibility analysis according to Uredba o enotni metodologiji za pripravo in obravnavo investicijske dokumentacije na področju javnih financ. Each of four system has its own cost model of different options for cost effectiveness analysis. I also included the examples of good practice of buildings that are using technology for absorption of thermal ground energy with energetic geotechnical for heating in winter and cooling during summer.

Last topic in this graduation thesis is for presenting numerical simulation made in software Abaqus. Nonlinear dynamic analysis of heat transfer from soil to energy pile was performed for hypothetical case of heating and cooling family house with thermal ground energy.

ZAHVALA

Za več kot le mentorstvo, pomoč in odličen odnos se zahvaljujem izr. prof. dr. Janku Logarju. Iskrena hvala somentorju doc. dr. Primožu Banovcu za izjemen doprinos k diplomski nalogi.

Hvala pedagogom in ostalim zaposlenim na UL FGG, s katerimi sem prišel v stik tekom študija, na predavanjih, ekskurzijah, konzultacijah ali na družabnih, športnih dogodkih. Od vsakega izmed vas sem dobil ogromno – tudi veliko podporo za mednarodno udejstvovanje in s tem uresničevanje svojih želja za (so)delovanje preko meja Slovenije.

Zahvaljujem se Javnemu skladu Republike Slovenije za razvoj kadrov in štipendije, ki me je finančno podprlo pri študijski izmenjavi na Tehniški Univerzi v Istanbulu (Istanbul Technical University).

Strokovno je diplomska naloga pridobila tudi z veliko dobrodušnostjo večih ljudi: Andreja Sušnik in Ana Žust (ARSO), Igor Trontelj, Danilo Širnik, Franc Zemljič (SŽ), Matjaž Brezavšček (Pro via), Kristijan Ravnič (Imo-real), Jože Velnar (Veling), Gorazd Stmriša (SLP), Boštjan Peršak (Epi spektrum), Igor Špacapan (ZRMK), dr. Bruno Dujič (CBD), dr. Gerhard Schickhofer (TUG), dr. Peter Veit (TUG), dr. Helmut Schweiger (TUG), dr. Dietmar Adam (TUW), dr. Roman Markiewicz (Geotechnik Adam), Hans Hofinger (IC), Michael Kern (Bauer);

Za nasvete, zgolj poslušanje ali kakršen koli drugačen doprinos k diplomski nalogi iskrena hvala: Goran Pregelj, Matea Dogančić, Blaž Čermelj, Ambrož Arko, Aljaž Vrabič, Marko Planinc, Miha in Blaž Kraker, Jure Hafner, družina Usnik, Dejan Stipič, družina Bizjak in Alenka Bizjak, Luka Ausec, Maja Derlink, Grega Šajn, Gašper Stare, Simona Habič, Igor Gavrić, Andrea Skroza, Katja Štern, Anže Žurbi, Diego Cervantes, Dragomir Angelov, Can Kadir Çakir, Jure Gabršček, Vladimir Mijatović, Anamarija in Patrik, sošolke in sošolci, kolegi in prijatelji ter sostanovalci doma IX.

Hvala Anžetu Mohoriču za lektoriranje!

Materi Stani in sestri Tanji hvala za družinske trenutke!

Posebna zahvala gre Mojci Usnik za skupno popotovanje na vseh področjih življenja!

Iskrena hvala vsem izjemnim ljudem, ki sem jih imel ob sebi med izdelovanjem diplomske naloge in tudi med študijem. Mnogi ostajate v moji bližini tudi sedaj, ko je diplomska naloga končana.

HVALA VAM!

KAZALO VSEBINE

IZJAVA O AVTORSTVU.....	II
IZJAVE O PREGLEDU NALOGE.....	III
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....	IV
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION.....	V
ZAHVALA.....	VI
1 UVOD.....	1
1.1 POVOD ZA PISANJE DIPLOMSKE NALOGE	1
1.2 NAMEN DIPLOMSKE NALOGE.....	1
1.3 ČILJI DIPLOMSKE NALOGE	2
1.4 SESTAVA DIPLOMSKE NALOGE	2
2 OBNOVLJIVI VIRI ENERGIJE.....	3
2.1 KAJ JE OVE?	3
2.2 KAJ JE TRAJNOSTNA RABA ENERGIJE?	3
2.3 KAJ JE UČINKOVITA RABA ENERGIJE?	3
2.4 ENERGIJA SONČNE SVETLOBE	4
2.5 ENERGIJA BIOMASE.....	7
2.6 VETRINA IN VODNA ENERGIJA	8
2.7 GEOTERMALNA ENERGIJA	8
3 TEHNOLOGIJA ABSORPCIJE TOPLOTNE ENERGIJE TAL Z ENERGETSKIMI GEOTEHNIČNIMI TER DRUGIMI ELEMENTI.....	13
3.1 PRIMARNI TOKOKROG, SEKUNDARNI TOKOKROG, TOPLOTNA ČRPALKA	13
3.2 TEMPERATURNI PROFIL TAL IN TERMINOLOGIJA	18
3.3 TEHNOLOGIJA UPORABE TET	22
3.4 DODATKI NOSILNIM GEOTEHNIČNIM ELEMENTOM, DA POSTANEJO ENERGETSKI GEOTEHNIČNI ELEMENTI	25
3.5 ANALITIČNA OCENA O ABSORPCIJSKI ZMOGLJIVOSTI ENERGETSKIH GEOTEHNIČNIH ELEMENTOV.....	32
3.6 TEORETIČNO OZADJE TEHNOLOGIJE ABSORPCIJE TOPLOTNE ENERGIJE TAL Z ENERGETSKIMI GEOTEHNIČNIMI IN DRUGIMI ELEMENTI.....	33
3.6.1 <i>Kako se toplotna energija tal prenaša?</i>	33
3.6.2 <i>Toplotne lastnosti zemljin</i>	34
3.6.3 <i>Prenos toplote v zemljinah</i>	37
3.6.4 <i>Prenos toplote iz zemljine na absorpcijsko tekočino</i>	40
4 APLIKACIJA IN EKONOMSKO VREDNOTENJE TEHNOLOGIJE V STANOVANJSKIH TER INFRASTRUKTURNIH OBJEKTIH.....	49
4.1 SISTEM 1 »HIŠA NA BARJU«	52
4.2 SISTEM 2 »PARKIRNA HIŠA KONGRESNI TRG«.....	69
4.3 SISTEM 3 »VIADUKTA TRŽIŠKA BISTRICA«.....	77
4.4 SISTEM 4 »OGREVANJE KRETNIC S POMOČJO ENERGETSKIH PILOTOV PROTIHRUPNIH OGRAJ«	84
4.5 TVEGANJA PRI UPORABI TEHNOLOGIJE ABSORPCIJE TET Z ENERGETSKIMI GEOTEHNIČNIMI ELEMENTI.....	97

4.6 PRIMER DOBRE PRAKSE V AVSTRIJI - ŠTUDENSKO NASELJE ERSTE CAMPUS	98
4.7 PRIMER DOBRE PRAKSE V SLOVENIJI - NASELJE 15. MAJ.....	101
5 NUMERIČNA SIMULACIJA PRENOSA TOPLOTE V PROGRAMU ABAQUS.....	104
5.1 VHODNI PODATKI ZA NUMERIČNO ANALIZO PRENOSA TOPLOTE V ZEMLJINI.....	104
5.2 REZULTATI NUMERIČNE ANALIZE PRENOSA TOPLOTE V ZEMLJINI TER NJIHOVA INTERPRETACIJA	109
6. ZAKLJUČEK.....	117
VIRI	120

KAZALO GRAFIKONOV

Graf 1: Minimalne temperature na vsaki merilni lokaciji v obdobju 40 let	19
Graf 2: Toplotni pogoji na steni absorpcijske cevi v primeru konstantne temperature stene (Brandl, 2006)	42
Graf 3: Primerjava količinskih potreb propana ter možne količine TET_1 (ogrevanje)	58
Graf 4: Primerjava količinskih potreb propana ter možne količine TET_2 (ogrevanje in hlajenje)	59
Graf 5: Primerjava stroškov obravnavanih variant	66
Graf 6: Primerjava neto sedanjih vrednosti posameznih variant	67
Graf 7: Prikaz možne količine TET za ogrevanje in hlajenje v enem letu	72
Graf 8: Relativna primerjava investicijskih stroškov cevi in parkirne hiše- sistem 2 “parkirna hiša Kongresni trg”	75
Graf 9: Neto sedanje vrednosti - sistem 2 “parkirna hiša Kongresni trg”	75
Graf 10: Prikaz možne količine TET za ogrevanje in hlajenje v enem letu	80
Graf 11: Primerjava neto sedanjih vrednosti	83
Graf 12: Primerjava mesečnih tekočih ter investicijskih stroškov obravnavanih variant sistem 4	95
Graf 13: Primerjava neto sedanjih vrednosti variant	95
Graf 14: Mesečna obtežba energetskih pilotov z gostoto toplotnega toka	107

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Dokumenti Evropske unije ter Slovenije za doseg cilja trajnostnega razvoja.....	3
Preglednica 2: Prevod terminov na sliki 4	7
Preglednica 3: Prevod terminov na sliki 7	10
Preglednica 4: Lokacije z nadmorskimi višinami ter obdobjem merjenja temperature tal po Sloveniji	18
Preglednica 5: Minimalne temperature na vsaki merilni lokaciji v obdobju 40 let.....	19
Preglednica 6: Terminologija	21
Preglednica 7: Sprememba dolžine energetskega pilota zaradi temperaturne spremembe	23
Preglednica 8: Prevod terminov na sliki 27	36
Preglednica 9: Razlike med laminarnim in turbulentnim tokom.....	40
Preglednica 10: Prevod terminov na sliki 31	41
Preglednica 11: Poraba in cena propana po mesecih za leto 2011 (podatki lastnika hiše, 2012)	53
Preglednica 12: Investicijski stroški - Varianta 1 – PLIN (obstoječe stanje).....	55
Preglednica 13: Tekoči in vzdrževalni stroški na letni ravni - Varianta 1 – PLIN (obstoječe stanje)....	55
Preglednica 14: Izračun neto sedanje vrednosti - Varianta 1 - PLIN (obstoječe stanje)	56
Preglednica 15: Podatki o pilotih za temljenje hiše na Barju	57
Preglednica 16: Osnovni podatki ob izboru 8 energetskih pilotov	57
Preglednica 17: Investicijski stroški - varianta 2 - TET.....	57
Preglednica 18: Tekoči in vzdrževalni stroški na letni ravni - Varianta 2 - TET.....	58
Preglednica 19: Primerjava količinskih potreb propana ter možne količine TET_1 (ogrevanje)	59
Preglednica 20: Primerjava količinskih potreb propana ter možne količine TET_2 (ogrevanje in hlajenje)	60
Preglednica 21: Izračun neto sedanje vrednosti - Varianta 2 – TET.....	60
Preglednica 22: Investicijski stroški - Varianta 3 – VODA/VODA.....	61
Preglednica 23: Tekoči in vzdrževalni stroški na letni ravni - Varianta 3 – VODA/VODA.....	61
Preglednica 24: Izračun neto sedanje vrednosti - Varianta 3 – VODA/VODA.....	62
Preglednica 25: Investicijski stroški - Varianta 4 – ZRAK/VODA.....	63
Preglednica 26: Tekoči in vzdrževalni stroški na letni ravni - Varianta 4 – ZRAK/VODA.....	63
Preglednica 27: Izračun neto sedanje vrednosti - Varianta 4 – ZRAK/VODA.....	64
Preglednica 28: Analiza SWOT za TET.....	65
Preglednica 29: Primerjava stroškov variant.....	66
Preglednica 30: Primerjava neto sedanjih vrednosti posameznih variant (za obdobje 20 let)	67
Preglednica 31: Ocenjevanje izbire optimalne variante sistema 1 “hiša na Barju”	68
Preglednica 32: Povrnitev investicije	68
Preglednica 33: Podatki o geotehničnih elementih parkirne hiše Kongresni trg (stene so označene skladno s sliko 13)	71
Preglednica 34: Osnovni podatki ob izboru geotehničnih elementov PH KT	72
Preglednica 35: Prikaz količine TET v enem letu.....	72
Preglednica 36: Investicijski stroški - sistem 2 “parkirna hiša Kongresni trg”	73

Preglednica 37: Cena absorpcijskih cevi v energetskih geotehničnih elementih sistema 2 "parkirna hiša Kongresni trg"	73
Preglednica 38: Tekoči in vzdrževalni stroški - sistem 2 "parkirna hiša Kongresni trg"	73
Preglednica 39: Izračun NSV - sistem 2 "parkirna hiša Kongresni trg"	74
Preglednica 40: Relativna primerjava investicijskih stroškov cevi in parkirne hiše- sistem 2 "parkirna hiša Kongresni trg"	75
Preglednica 41: Točka preloma za upravičenje investicije v TET s poznejšim začetkom uporabe.....	76
Preglednica 42: Osnovni podatki z izvedbo energetskih pilotov	80
Preglednica 43: Prikaz možne količine TET za ogrevanje in hlajenje v enem letu	81
Preglednica 44: Investicijski stroški – sistem 3 »viadukta Tržiška Bistrica«	81
Preglednica 45: Tekoči in vzdrževalni stroški na letni ravni–sistem 3 »viadukta Tržiška Bistrica«	81
Preglednica 46: Izračun NSV - sistem 3 "viadukta Tržiška Bistrica"	82
Preglednica 47: Primerjava stroškov v 20 letnem obdobju - sistem 3 "viadukta Tržiška Bistrica"	83
Preglednica 48: Glavne železniške proge v Sloveniji	84
Preglednica 49: Prekoračitev vrednosti kazalcev hrupa zaradi železniškega prometa po glavnih progah	89
Preglednica 50: Varovani prostori, ki so prekomerno obremenjeni s hrupom železniškega prometa	89
Preglednica 51: Tekoči in vzdrževalni stroški na letni ravni - Varianta 1 – PLIN (postaja Sevnica)	91
Preglednica 52: Izračun neto sedanje vrednosti - Varianta 1 - PLIN (postaja Sevnica).....	92
Preglednica 53: Investicijski stroški - varianta 2 – TET 100 m PHO.....	93
Preglednica 54: Tekoči in vzdrževalni stroški na letni ravni - Varianta 2 - TET.....	93
Preglednica 55: Izračun neto sedanje vrednosti - Varianta 2 - TET 100 m PHO.....	93
Preglednica 56: Dejanski strošek investicije	94
Preglednica 57: Primerjava stroškov variant.....	94
Preglednica 58: Primerjava neto sedanjih vrednosti variant (za 20 letno obdobje)	95
Preglednica 59: Merila za ocenjevanje	96
Preglednica 60: Ocenjevanje izbire optimalne variante sistema 4.....	96
Preglednica 61: Povrnitev investicije	96
Preglednica 62: Tveganja z uporabo TET.....	97
Preglednica 63: Potrebe - študentsko naselje Erste campus.....	99
Preglednica 64: Podatki o energetskih pilotih	100
Preglednica 65: Potrebe - naselje 15. maj.....	102
Preglednica 66: Podatki o energetskih pilotih	102
Preglednica 67: Mesečni razpored desetletnih povprečnih temperatur na globini 100 cm	106
Preglednica 68: Mesečna obtežba energetskih pilotov z gostoto toplotnega toka.....	107

KAZALO SLIK

Slika 1: Neposredno izkoriščanje energije sončne svetlobe	5
Slika 2: Posredno izkoriščanje energije sončne svetlobe	6
Slika 3: Skica celotnega energetskega sistema (I tokokrog + TČ + II tokokrog)	13
Slika 4: Lokacije merilnih postaj za meritve temperature tal po Sloveniji	18
Slika 5: Prerez tal, ki so razdeljene v cone	20
Slika 6: Shematski prikaz možnih načinov uporabe TET z energetskimi geotehničnimi elementi	23
Slika 7: HDPE absorpcijske cevi	26
Slika 8: Pritrjevanje zank absorpcijskih cevi je izvedeno s plastičnimi sponami ter se konča pol metra pred koncem armaturnega koša	28
Slika 9: Spojni kroglično-navojni ventil (levo) z metuljčkom in (levo in desno) varovalno pokrivno matico	30
Slika 10: Različni mešanici absorpcijske tekočine	46
Slika 11: Primer temeljenja z lesenimi koli na ljubljanskem Barju	53
Slika 12: Sistem 1 »hiša na Barju«	57
Slika 13: Skica parkirne hiše Kongresni trg	70
Slika 14: Električno ogrevanje na postaji Ljubljana	87
Slika 15: Terenski ogled plinskih grelnih sistemov na postaji Ljubljana-Vižmarje	87
Slika 16: Tlorisna shema objektov projekta Erste campus	100
Slika 17: Terenski ogled gradbišča naselja 15. maj v Kopru (a), b), d) Vojnović, 2011; c), e), f) Ravnič, 2011)	103
Slika 18: Razpored energetskih pilotov	104
Slika 19: 3D model	104
Slika 20: Prerez 3D modela	105
Slika 21: Začetni pogoj je temperaturna vrednost 12 °C na celotnem volumnu modela	105
Slika 22: Obtežba na energetskih pilotih ter robni pogoj	108
Slika 23: Tlorisni pogled na mrežo končnih elementov	108
Slika 24: Aksonometrični pogled na mrežo končnih elementov	108
Slika 25: maj_1	109
Slika 26: jun_1	109
Slika 27: jul_1	109
Slika 28: avg_1	109
Slika 29: sep_1	110
Slika 30: okt_1	110
Slika 31: nov_1	110
Slika 32: dec_1	110
Slika 33: jan_1	111
Slika 34: feb_1	111
Slika 35: mar_1	111
Slika 36: apr_1	111
Slika 37: maj_2	112

Slika 38: avg_1.....	112
Slika 39: avg_3.....	112
Slika 40: avg_5.....	112
Slika 41: feb_1.....	113
Slika 42: feb_3.....	113
Slika 43: feb_5.....	113
Slika 44: Točke na sredinskem energetskem pilotu.....	114
Slika 45: Točke v zemljni, neposredno ob energetskem pilotu.....	114
Slika 46: Točki P1 in SOIL 1 na globini 0 m.....	114
Slika 47: Točki P2 in SOIL 2 na globini 4 m.....	115
Slika 48: Točki P3 in SOIL 3 na globini 8 m.....	115
Slika 49: Točki P4 in SOIL 4 globini 12 m.....	115

KAZALO PRIVZETIH SLIK

Slika (privzeta) 1: Prikaz absorpcije in odboja energije sončne svetlobe na Zemlji (Wikimedia, 2008) .4	4
Slika (privzeta) 2: Načini prenosa toplote (Messana, 2012a).....4	4
Slika (privzeta) 3: Shema delovanja solarnega ogrevanja: 1-sončni kolektor, 2-avtomatski kontrolni system, 3-zalogovnik vode, 4-grelnik (Future proof energy, 2012).....6	6
Slika (privzeta) 4: Življenjski cikel biomase (Biomasa, 2010).....7	7
Slika (privzeta) 5: Sestava Zemlje (Wikimedia, 2011).....9	9
Slika (privzeta) 6:Tektonske plošče (Wikimedia, 2005)..... 10	10
Slika (privzeta) 7: Shema delovanja geotermalnega sistema (Quaschnig, 2010)..... 10	10
Slika (privzeta) 8: Shematični prikaz idealnega delovanja tehnologije HDR (DiPippo, 2008)..... 11	11
Slika (privzeta) 9: Tehnologija plitvih zemeljskih kolektorjev (Termotehnika, 2011c)..... 14	14
Slika (privzeta) 10: Ogrevanje vozišča (Furukawa, 2012)..... 14	14
Slika (privzeta) 11: Sekundarni tokokrog v hiši - talno in stensko ogrevanje (Evrotrade, 2012)..... 15	15
Slika (privzeta) 12: Sekunarni tokokrog v cestnem viaduktu ali mostu (Brandl, 2006)..... 15	15
Slika (privzeta) 13: Sekundarni tokokrog v vozišču (Brandl, 2006)..... 15	15
Slika (privzeta) 14: Oblike izmenjave toplote (Messana, 2012b)..... 16	16
Slika (privzeta) 15: Delovanje TČ (Termotehnika, 2011a)..... 16	16
Slika (privzeta) 16: Shema temperaturnega profila tal do globine 50 metrov ter načini prenašanja toplote v zemljini (Brandl, 2006)..... 21	21
Slika (privzeta) 17: Jeklen armaturni koš ter 6 U-zank absorpcijskih cevi iz HDPE (Brandl, 2006)..... 26	26
Slika (privzeta) 18: Armaturni koš z absorpcijskimi cevmi za izdelavo energetske diafragme (Adam, 2010)..... 27	27
Slika (privzeta) 19: Razporeditev absorpcijskih cevi v energetske temeljni plošči – primer 1 (Adam, 2010)..... 28	28
Slika (privzeta) 20: Razporeditev absorpcijskih cevi v energetske temeljni plošči – primer 2 (Adam et al., 2011)..... 28	28
Slika (privzeta) 21: Razporeditev absorpcijskih cevi v energetske temeljni plošči – primer 3 (Adam, 2010)..... 29	29
Slika (privzeta) 22: Primeri opremljanja predorske obloge za energetske predor (Adam, 2010; Hofinger, Adam, 2007; Adam, Markiewicz, 2010)..... 29	29
Slika (privzeta) 23: Shema sestavnih delov energetskega predora (Brandl, 2006)..... 30	30
Slika (privzeta) 24: Primer barometra (Adam, 2007)..... 31	31
Slika (privzeta) 25: Združevalno-razdelilna enota (Adam, 2010)..... 32	32
Slika (privzeta) 26: Prenos toplote iz zemljine na absorpcijsko tekočino (Brandl, 2006)..... 34	34
Slika (privzeta) 27: Diagrami prikazujejo toplotno prevodnost v odvisnosti od suhe gostote ter vlažnosti za zmrznjene in nezmrznjene zemljine (Jessberger, Jagow-Klaff, 1996): a) zmrznjene grobozrnate zemljine, b) grobozrnate zemljine,..... 36	36
Slika (privzeta) 28: Shematični prikaz temperaturne krivulje v zemljini okoli energetskega pilota, ob predpostavki konstantnega toplotnega toka..... 38	38
Slika (privzeta) 29: Osnovni trije primeri..... 39	39

Slika (privzeta) 30: Prikaz vzpostavitve stabilne hidrodinamične in toplotne mejne plasti (Brandl, 2006).....	40
Slika (privzeta) 31: Povezava mešanice absorpcijske tekočine (voda in glikol) s temperaturo in viskoznostjo	41
Slika (privzeta) 32: Porazdelitev hitrosti po prerezu absorpcijske cevi (Hagen-Poiseuille-ova parabola), (Brandl, 2006)	43
Slika (privzeta) 33: Turbulentni pogoji toka z laminarnim območjem ob steni absorpcijske cevi	43
Slika (privzeta) 34: Ravnotežje delovanja toplotnega volumna, v stabilnem območju absorpcijske tekočine, med energetskim pilotom in zemljino na tekoči globinski meter. Toplotni volumen v energetskem pilotu.....	44
Slika (privzeta) 35: Shema primarnega tokokroga energetskega sistema stanovanjske hiše s simboli za parametrične študije (Brandl, 2006).....	45
Slika (privzeta) 36: Lokacija sistema 1 »hiša na Barju« (Googlemaps, 2012)	52
Slika (privzeta) 37: Lokacija sistema 2 »parkirna hiša Kongresni trg«.....	69
Slika (privzeta) 38: Tloris najvišjega nivoja (IZTR, 2012).....	70
Slika (privzeta) 39: Tloris najnižjega nivoja (IZTR, 2012).....	70
Slika (privzeta) 40: Vzdožni prerez (IZTR, 2012).....	71
Slika (privzeta) 41: Prečni prerez (IZTR, 2012).....	71
Slika (privzeta) 42: Lokacija Sistema 3 »viadukta Tržiška Bistrica« (GERK, 2012).....	77
Slika (privzeta) 43: Viadukta Tržiška Bistrica (Dnevnik, 2009)	78
Slika (privzeta) 44: Vzdožni inženirsko geološki profil viaduktov Tržiška Bistrica (Špacapan, Vršcer, 2012)	78
Slika (privzeta) 45: Prečni inženirsko geološki profil 2 (Špacapan, Vršcer, 2012).....	78
Slika (privzeta) 46: Prečni inženirsko geološki profil 5 (Špacapan, Vršcer, 2012).....	78
Slika (privzeta) 47: Tloris sistema 3 "viadukta Tržiška Bistrica" (Špacapan, Vršcer, 2012).....	79
Slika (privzeta) 48: Tloris dveh tipičnih razporedov pilotov sistema 3 "viadukta Tržiška Bistrica" (Špacapan, Vršcer, 2012).....	79
Slika (privzeta) 49: Glavne železniške proge v Sloveniji	84
Slika (privzeta) 50: Osnovni sestavni sklopi kretnice (Černe, 2012)	85
Slika (privzeta) 51: Sestavni sklop kretnice - križišče (Černe, 2012)	85
Slika (privzeta) 52: Sestavni sklop kretnice - menjalo (Černe, 2012)	85
Slika (privzeta) 53: Detajlni prikaz menjala z ostricami (Černe, 2012)	85
Slika (privzeta) 54: Lokacija Sevnice	91
Slika (privzeta) 55: Lokacija študentskega naselja Erste campus (Googlemaps, 2012; OEBC, 2012a).....	98
Slika (privzeta) 56: 3D vizualizacija študentskega naselja Erste campus (Foto: OEBC, 2011b)	99
Slika (privzeta) 57: Lokacija Naselja 15. maj (Googlemaps, 2012; KP, 20120).....	101
Slika (privzeta) 58: 3D vizualizacija naselja 15. maj (IMO-REAL, 2012)	102
Slika (privzeta) 59: Primer izpisa potreb in ponudbe TET za ogrevanje in hlajenje z numeričnim programom (KP, 2012).....	103

KRATICE IN OKRAJŠAVE:

ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje
ANOVE	Akcijski načrt za OVE
EU	Evropska unija
HE	hidroelektrarna
ITU	Tehniška Univerza Istanbul, Istanbul Technical University, Istanbul Teknik Üniversitesi
KP	Koper
KR	Kranj
LJ	Ljubljana
MB	Maribor
MKE	metoda končnih elementov
MOL	Mestna občina Ljubljana
MOP	Ministrstvo za okolje in prostor
MS	Murska Sobota
NG	Nova Gorica
NM	Novo mesto
OVE	Obnovljiv(i) vir(i) energije
PH KT	parkirna hiša Kongresni trg
PHO	protihrupna ograja
PTSO	Poslovno-trgovsko-stanovanjski objekt
RSLO	Republika Slovenija
SWOT	Strengths, weaknesses, opportunities and threats – prednosti, slabosti, priložnosti in grožnje
SŽ	Slovenske železnice, d. o. o.
TB	Tržiška Bistrica
TET	toplotna energija tal
TUG	Tehniška Univerza Gradec, Technical University Graz, Technische Universität Graz
TUW	Tehniška Univerza Dunaj, Technical University Vienna, Technische Universität Wien
UL FGG	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
UNI	Univerzitetni študij
ZGO	Zakon o graditvi objektov
2D	Dvo-dimenzionalno, dvorazsežen
3D	Tridimenzionalno

1 UVOD

Danes je na voljo veliko različnih tehnologij, ki omogočajo uporabo obnovljivih virov energije (v nadaljevanju OVE). Večina omogoča uporabo lokalnih energentov, sončne elektrarne pa nudijo tudi poslovno priložnost, saj država zagotavlja odkup električne energije. V kategoriji znanih in uveljavljenih tehnologij za ogrevanje in hlajenje objektov¹ pa na slovenskem trgu žal še ni uporabe toplotne energije tal (v nadaljevanju TET). Gre za tehnologijo absorpcije toplotne energije tal z energetskimi geotehničnimi elementi, s katerimi zagotavljamo ogrevanje in hlajenje objektov z obnovljivim virom energije. Vsak novozgrajeni objekt mora geotehnične elemente vsebovati že za zagotavljanje mehanske odpornosti in stabilnosti. Isti geotehnični elementi pa lahko v novozgrajenih objektih z vgrajenimi dodatki opravljajo tudi energetske funkcije-absorbirajo toplotno energijo tal.

Tehnologija je bila razvita v Republiki Avstriji in že več kot dvajset let zelo uspešno deluje v več kot 300 novozgrajenih objektih (Brandl, 2006).

Uporaba TET bi lahko imela velik strateški pomen za Republiko Slovenijo v smislu energetske samozadostnosti za potrebe ogrevanja in hlajenja novozgrajenih objektov. Zmanjšala bi lahko neodvisnost od dobaviteljev energentov za ogrevanje in hlajenje, izboljšala energetske učinkovitost objektov ter povečala rabo OVE. Za slednje velja dejstvo, da imamo države Evropske unije od marca 2007 dokumentiran skupen cilj – trajnostni razvoj. Zavezali smo se k prehodu v visoko energetske učinkovito in nizkoogljično gospodarstvo ter si do leta 2020 zadali naslednje cilje:

- zmanjšanje emisij toplogrednih plinov za vsaj 20 odstotkov glede na leto 1990,
- 20 odstotkov obnovljivih virov v končni rabi energije in
- zmanjšanje rabe primarne energije za 20 odstotkov glede na pričakovano raven, skozi izboljšanje energetske učinkovitosti (SVSP, 2012).

Omenjene zahteve smo Slovenci z dokumentom AN OVE² še zaostriili – do leta 2020 želimo imeti najmanj 25% delež OVE v rabi bruto končne energije (AN OVE, 2010). Novozgrajeni objekti z vgrajeno tehnologijo absorpcije TET z energetskimi geotehničnimi elementi za namene ogrevanja in hlajenja zagotovo k temu cilju lahko prispevajo velik delež.

1.1 Povod za pisanje diplomske naloge

Še vedno aktualni energetski ter drugi izzivi torej kličejo po ukrepih in novih možnostih. Delovanje na raziskovalnem področju gradbeništva prispeva k tehnološkemu in družbenemu napredku. Za uspešno implementiranje tehnološkega napredka je nadalje nujno potrebno neposredno sodelovanje z gospodarstvom. Skupek torej predstavlja glavni povod za izdelavo pričujoče diplomske naloge, ki sem jo podkrepil tudi z mednarodnim udejstvovanjem, saj se z obravnavano tematiko v Sloveniji še nihče ni celovito ukvarjal.

1.2 Namen diplomske naloge

Namen diplomske naloge je:

- prikazati novo možnost pridobivanja in izkoriščanja OVE, ki ga lahko trajno uporabljamo za ogrevanje in hlajenje objektov;
- ponuditi celovit izdelek za razumevanje delovanja tehnologije (absorpcije TET z energetskimi geotehničnimi elementi) z jasno in enovito terminologijo, v prvi vrsti gradbeni stroki ter investitorjem;
- prikazati uporabnost tehnologije s primeroma dobre prakse;

¹ Objekt je s tlemi povezana stavba ali gradbeni inženirski objekt, narejen iz gradbenih proizvodov in naravnih materialov,

² AN OVE (Akcijski načrt za obnovljivo energijo za obdobje 2010-2020) je izvedbeni akt, ki definira sektorske cilje (ogrevanje in hlajenje, električna energija, promet) in ukrepe za doseganje nacionalnega (Republike Slovenije) cilja deleža rabe bruto končne energije iz obnovljivih virov energije v letu 2020 (AN OVE, 2010).

- prikazati investicijsko zanimivost (ekonomsko upravičenost investicije) TET za novozgrajene objekte;

-

1.3 Cilji diplomske naloge

1. Opisati delovanje tehnologije absorpcije TET z energetskimi geotehničnimi elementi za uporabo TET.
2. Prikazati parametre, ki morajo biti upoštevani v večparametrski analizi za določitev pridobivanja TET z energetskimi geotehničnimi elementi in optimizacijo primarnega tokokroga sistema.
3. Nazorno aplicirati tehnologijo absorpcije TET z energetskimi geotehničnimi elementi na različne, realne objekte (hiša, viadukt, parkirna hiša) ter prikazati primera dobre prakse.
4. Skladno z Uredbo o enotni metodologiji za pripravo in obravnavo investicijske dokumentacije na področju javnih financ narediti variantni stroškovni model za štiri sisteme, z njimi investicijo ekonomsko vrednotiti in verificirati upravičenost uporabe inovativne tehnologije tudi v denarnem smislu.
5. Narediti numerično simulacijo v programu Abaqus, s katero želimo prikazati razmere v zemljini temeljnih tal s ciklično večletno uporabo tehnologije absorpcije TET z energetskimi geotehničnimi elementi.

1.4 Sestava diplomske naloge

Diplomska naloga je razdeljena na dva dela, in sicer na teoretični ter uporabni del. Prvi vsebuje pregled OVE, ki se danes uspešno uporabljajo za ogrevanje in hlajenje objektov. To so energija biomase, energija sončne svetlobe, geotermalna energija ter vodna in vetrna energija. Slednji dve sicer prvenstveno služita za generiranje elektrike, vendar s to električno energijo tudi lahko ogrevamo in hladimo objekte. Diplomska naloga se nanaša na OVE za ogrevanje in hlajenje, ne pa na proizvodnjo električne energije ter energije za potrebe transporta in transportnih goriv.

V tretjem poglavju je podrobno opisana tehnologija absorpcije TET z energetskimi geotehničnimi ter drugimi elementi. Geotehničnih elementov ni potrebno zgraditi dodatno zgolj za namene pridobivanja ter uporabe TET, temveč so ti elementi konstrukcijski del novega objekta, kar je edinstvena prednost. Ti elementi so na primer: diafragme kletnih sten objekta, pilotne stene, temeljne plošče, piloti, pasovni temelji, podporni in oporni zidovi, geotehnična sidra, predori, pokriti vkopi, podvozi. TET je možno absorbirati tudi drugimi, neposredno z zemljino obdanimi, elementi – na primer deli mestne kanalizacije, kjer lahko tehnologijo začnemo uporabljati tudi po izgradnji kanalizacije. Slednja tema presega zastavljeni okvir diplomske naloge in zato ni obravnavana.

V četrtem poglavju je opisana aplikacija tehnologije na stanovanjskem (hiša na Barju) ter drugih gradbenoinženirskih objektih (parkirna hiša Kongresni trg, viadukt Tržiška Bistrica in temeljenje protihrupnih ograj ob glavnih železniških progah v Sloveniji). S tem je vidna uporabna vrednost, kar pa ne zadošča celoviti sliki, ki jo želimo prikazati. Le-ta vključuje tudi ekonomsko analizo. Naredili smo variantne stroškovne modele z različnimi scenariji, ki verificirajo uporabo tehnologije pri novozgrajenih objektih.

Na podlagi realnih podatkov o temperaturi tal ter količinskih potreb stanovanjske hiše za ogrevanje smo izdelali tudi matematični model, s katerim smo naredili numerično simulacijo (nelinearno dinamično toplotno analizo temeljnih tal) s programom Abaqus.

2 OBNOVLJIVI VIRI ENERGIJE

Slovenija ima danes na voljo celo vrsto dokumentov, s katerimi smo cilje trajnostnega razvoja iz evropskih direktiv vpeljali v pravni red. Večina dokumentov se nanaša na stavbe, ki v državah Evropske unije (EU) porabijo 40% energije in povzročijo 36% vseh emisij CO₂ (Avbelj, 2010).

Preglednica 1: Dokumenti Evropske unije ter Slovenije za doseg cilja trajnostnega razvoja

Evropska unija		Republika Slovenija
direktivi o energetske učinkovitosti stavb	direktiva o spodbujanju uporabe OVE	PURES ³ 2010
2002/91 EU	2009/28 EU (razveljavljeni 2011/71 EU ter 2003/30/EU)	AN OVE 2010-2020
2010/31 EU		EZ-UPB2 ⁴

2.1 Kaj je OVE?

Obnovljiv vir energije je tisti vir energije, ki ga ob primerni rabi ne zmanjka, ne onesnažuje okolja in se po določenem ekonomsko in naravno sprejemljivem času obnovi v prvotno stanje. Z uporabo fosilnih goriv v kratkem času porabljamo energijo, ki se je shranjevala tisoče ali milijone let. Zato fosilna goriva (na primer premog, nafta, zemeljski plin) niso obnovljivi viri, čeprav se lahko obnovijo v zelo dolgem času (Wikipedia, 2012). Večina obnovljivih virov energije ima za svoj izvor energijo sončne svetlobe (energija biomase, vetrna in vodna energija), razen geotermalne energije ter energije plimovanja.

2.2 Kaj je trajnostna raba energije?

Trajnostno rabo energije lahko definiramo kot zadoščanje potreb današnjih generacij, ne da bi s tem ogrozili zmožnost zadostitve potreb prihajajočih generacij ter nadalje tehnologija je trajnostna, če (Coley, 2008):

- i) nič oziroma zelo malo prispeva h klimatski spremembi zaradi človeških potreb
- ii) lahko proizvaja energijo za več generacij brez znatnega zmanjšanja uporabljenega vira
- iii) ne pušča posledic oziroma bremen prihajajočim generacijam ljudi

Če termin trajnostna raba apliciramo v načrtovanje objektov, je trajnostni objekt oblikovan na tak način, da (Kunič, Krainer, 2008):

- varčuje z energijo in drugimi viri, reciklira materiale, znižuje emisije toksičnih snovi skozi celoten proizvodno-potrošniški cikel,
- je v harmoniji, sozvočju z lokalno klimo, tradicijo gradnje, kulturo in okolico,
- je sposoben trajno izboljševati kakovost bivanja in hkrati vzdrževati ekološko bilanco na lokalni in globalni ravni.

2.3 Kaj je učinkovita raba energije?

Učinkovita raba energije opisuje kako učinkovito rabimo energijo vhodnega energenta, ki ni nujno iz OVE. Zopet lahko učinkovito rabo energije povežemo z objekti. Za stavbe je v rabi termin »energijska učinkovitost stavb«, ki je količina dejansko porabljene ali ocenjene energije za zadovoljevanje potreb, povezanih s standardno uporabo stavbe, ki lahko med drugim vključuje ogrevanje, hlajenje, gretje vode, prezračevanje in razsvetlavo. Ta količina se izraža z enim ali več številčnimi kazalniki, ki se izračunajo ob upoštevanju izolacije, tehničnih značilnosti in značilnosti inštalacij, projektne zasnove in položaja v zvezi s klimatskimi parametri, osončenjem in vplivom sosednjih konstrukcij lastne proizvodnje energije ter drugih dejavnikov, vključno z notranjo klimo, ki vplivajo na potrebe po energiji (Kristl, 2010).

Največ energije se v gospodinjstvu porabi za:

- ogrevanje prostorov
- ogrevanje vode

³PURES: Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (Ur. l. RS, št. 93/2008, št. 47/2009 in št. 52/2010)

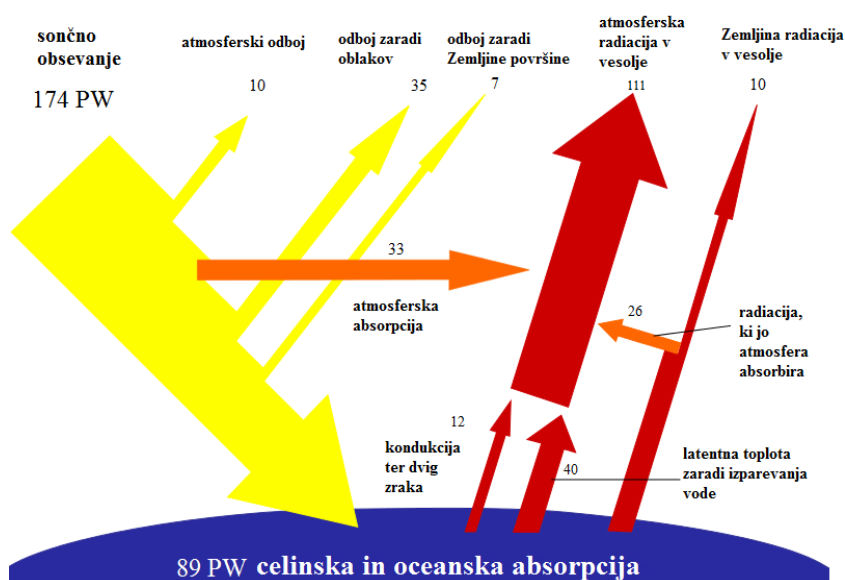
⁴EZ-UPB2: Energetski zakon - uradno prečiščeno besedilo (Ur. l. RS, št. 27/2007)

- hlajenje prostorov
- prezračevanje prostorov
- razsvetljava prostorov

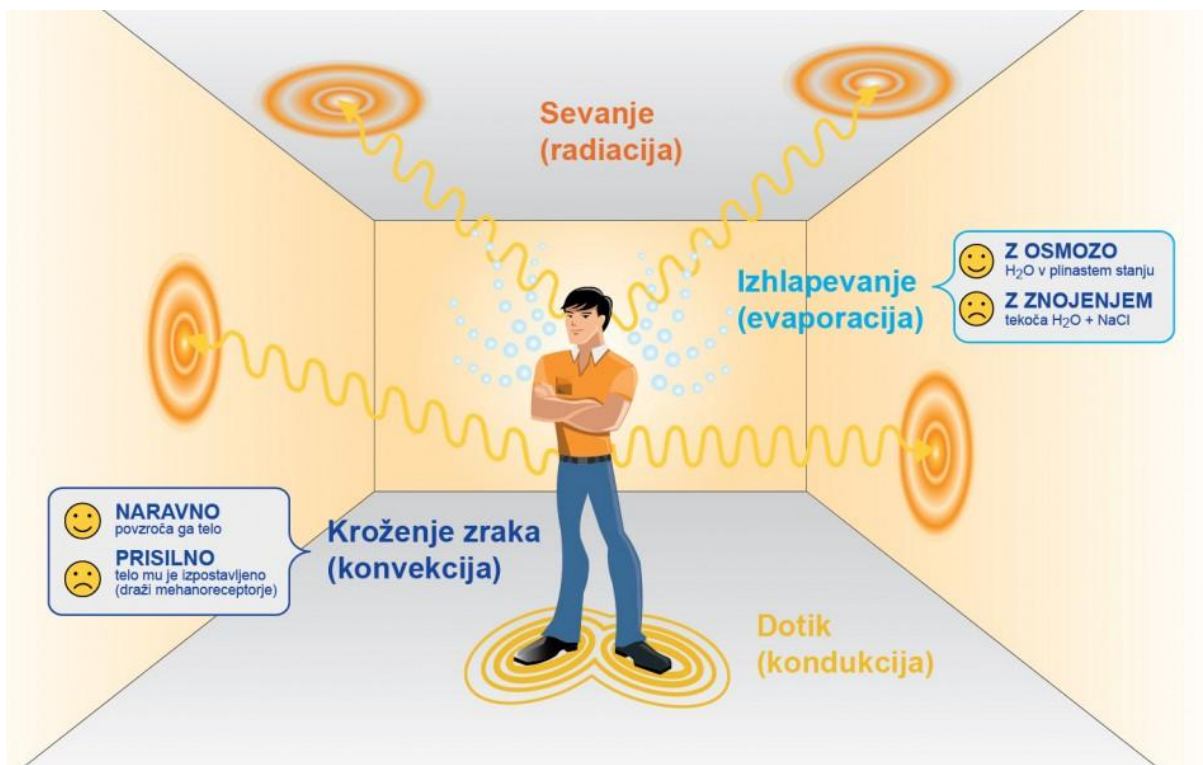
V diplomski nalogi je potreben pregled OVE ter s tem povezanih znanih in uveljavljenih tehnologij za ogrevanje in hlajenje objektov, da lahko tehnologijo absorpcijskih energetskih geotehničnih elementov za uporabo toplotne energije tal umestimo med OVE.

2.4 Energija sončne svetlobe

»Sončevo obsevanje Zemlje za 8.000-krat presega potrebe človeštva po vsej primarni energiji. Drugače povedano, vsako uro Sonce na Zemljo pošlje toliko energije, kot jo človeštvo porabi v enem letu.« (Bisol, 2012)



Slika (privzeta) 1: Prikaz absorpcije in odboja energije sončne svetlobe na Zemlji (Wikimedia, 2008)



Slika (privzeta) 2: Načini prenosa toplote (Messana, 2012a)

Radiacija oziroma sevanje toplote je oddajanje elektromagnetnega valovanja v območju infrardeče, vidne in ultravijolične svetlobe. K prenosu toplote bistveno prispeva pri visokih temperaturah, zato je logična posledica v zemljinskem sestavu zanemarljiv prispevek radiacije pri celotnem prenosu toplote v zemljinah (Goričanec, Črepinšek-Lipuš, 2008).

Kovekcija oziroma prestop (prestopanje) toplote je prenos toplote iz ali v tekočino ob mešanju makroskopskih delcev. K celotnemu prenosu toplote konvekcija znatno prispeva predvsem na stičnih površinah trdnih snovi in tekočin (Goričanec, Lipuš, 2008).

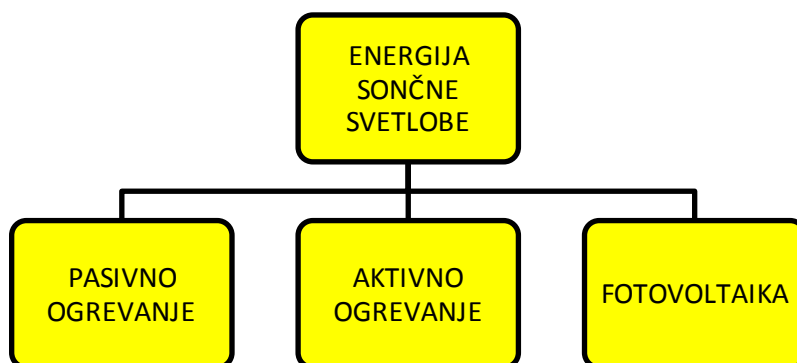
Latentna toplota je prenos toplote, ki se pojavi pri spremembi faznega stanja vode v zemljinskem sestavu. V največji meri je odvisna od količine prenosa zraka iz ter v pore. Latentna toplota narašča z manjšanjem vsebnosti vode, torej z vlažnostjo (Brandl, 2006).

Kondukcija oziroma prevajanje toplote je prenos toplote v snovi ali skozi stično površino dveh teles brez mešanja in tokov snovi (Goričanec, Lipuš, 2008).

Ko se toplota v zemljinskem sestavu prenaša s kondukcijo, to poteka po trdnih delcih, zrnih. Gre torej za proces v katerem se energija molekularno prenaša iz enega v drugo območje sestavine. Višja kot je temperatura sestavine, več energije ima sestavina. Tok vedno teče iz mesta z več k mestu z manj energije.

Energija sončne svetlobe je brezplačen, obnovljiv vhodni energent, ki ne onesnažuje okolja s toplogrednimi plini. Tako velja, da »je Sonce zaradi trajne prisotnosti in neizčrpljivosti najprimernejši obnovljivi energetski vir.« (Zelena Slovenija, 2011)

Energijo sončne svetlobe lahko neposredno izkoriščamo na tri načine:



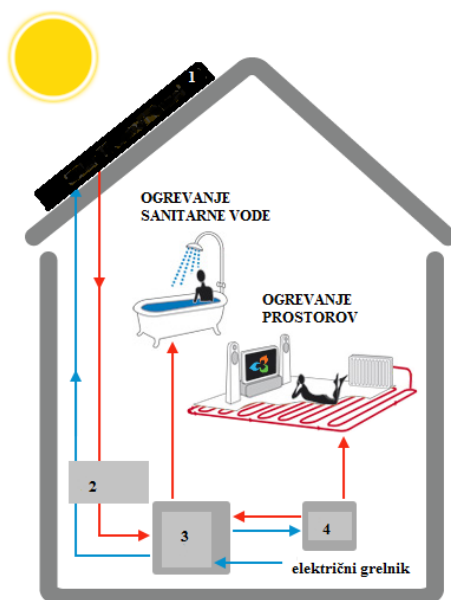
Slika 1: Neposredno izkoriščanje energije sončne svetlobe

Pasivno ogrevanje pomeni, da pustimo soncu ogreti velike količine akumulirane zračne mase (termična masa), kontroliramo pa izgube, ki morajo biti čim manjše. Primer je rastlinjak oziroma zimski vrt, kjer topel zrak ostane dolgo časa v prostoru.

Pri **aktivnem** ogrevanju preko ločenega sončnega kolektorja segrevamo tekočino (navadno je to voda) na visoko vrednost temperature. Primer je ogrevanje vode za uporabo v gospodinjstvu preko sončnih kolektorjev, ki so navadno nameščeni na strehi objekta, na primer enodružinske hiše (Coley, 2008).

Načini aktivnega ogrevanja:

- do 100 °C: ogrevanje vode v plavalnih bazenih in gospodinjstvih, ogrevanje objektov, hlajenje objektov, podpra daljinskemu ogrevanju, nizkotemperaturni industrijski procesi, izdelava in predelava hrane
- nad 100 °C: za proizvodnjo pare, ki poganja elektrogeneratorje
- nizkotemperaturna vodno-solarna pretvorba



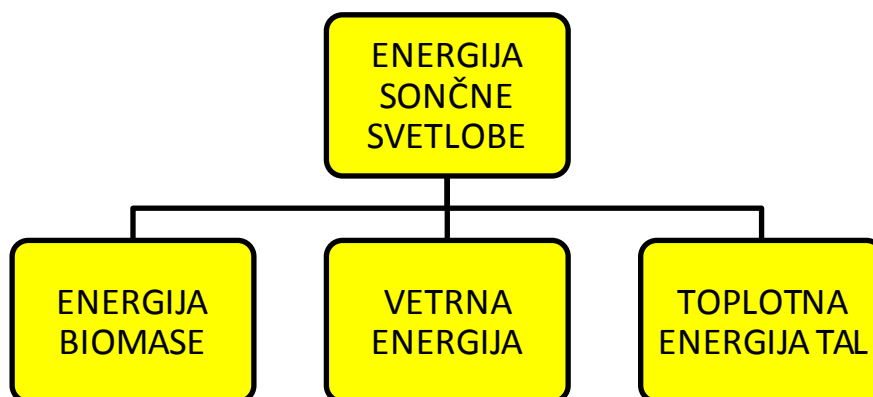
Slika (privzeta) 3: Shema delovanja solarnega ogrevanja: 1-sončni kolektor, 2-avtomatski kontrolni sistem, 3-zalogovnik vode, 4-grelnik (Future proof energy, 2012)

Pri vseh načinih ogrevanja in hlajenja objektov, bodisi s konvencionalnimi viri energije ali pa z OVE, je osnovna shema enaka (glej sliko Slika 3 v Poglavju 3). V primernem tokokrogu z vhodnim energentom zberemo in ustvarimo potrebno energijo iz obnovljivega vira, da jo v sekundarnem tokokrogu uporabnik lahko uporabi.

Fotovoltaika

Beseda fotovoltaika izvira iz grške besede *phos*, ki pomeni svetlobo, in besede *volt*. Fotovoltaika je veda, ki preučuje pretvorbo energije svetlobe, natančneje energije fotonov v električno energijo. Pod pojmom fotovoltaična pretvorba razumemo direktno pretvarjanje svetlobne energije sončnega sevanja v električno energijo. Velja za najbolj sprejemljiv obnovljiv vir, ki ga odlikujejo modularnost, razpršenost, robustnost, neslišnost delovanja in cenovna konkurenčnost (Bisol, 2012).

Posredno pa lahko energijo sončne svetlobe izkoriščamo na tri načine:



Slika 2: Posredno izkoriščanje energije sončne svetlobe

Ne glede na izbiro tehnologije za uporabo OVE za ogrevanje in hlajenje objekta je vsekakor bistvenega pomena primerno zasnovan in celostno oblikovan objekt. »Primerna zasnova (velikost odprtin, senčenje, zasnova konstrukcijskih skopov) in orientiranost stavbe zagotavlja eliminacijo nepotrebnih toplotnih izgub ter poleti pregrevanje, pozimi pa prekomerno ohlajevanje stavbe.« (Coley, 2008)

»Celostno oblikovanje ima največji vpliv na stopnji planiranja, to je na stopnji, ko je določen projekt stroškovno najcenejši.« (Krainer, Kunič, 2008) Avtorja v svojem delu navajata tudi splošne pogoje celostnega načrtovanja po Krigsvollu (2005) ter glavna načela okoljske etike in tranjostnega varovanja okolja po Yashiru (2005) in Mukaramiju (2005).

Krigsvoll:

- arhitekturni (prostorska organizacija, estetika, funkcionalnost, fleksibilnost),
- tehnični (zakoni, predpisi, standardi, varnost, trajnost, učinkovitost, vzdrževanje),
- ekonomski (stroški investicije, obratovanja in vzdrževanja, stroški v življenjskem krogu stavbe).

Yashiro in Mukarami:

- medgeneracijska etika,
- omejeni razpoložljivi zemeljski viri,
- pravica življenja v naravnem okolju

Z današnjim znanjem bi moral primerno zasnovan in celostno oblikovan objekt (novogradnja) vsebovati uporabo tehnologije absorpcije TET z energetskimi geotehničnimi elementi, ki je opisana v tretjem poglavju.

2.5 Energija biomase

Energija biomase izvira iz energije sončne svetlobe. Biomasa je termin, ki z enim imenom označuje skupino večih različnih organskih snovi, in sicer nedavno živih organizmov, rastlinja in živali ter njihovih stranskih proizvodov. To so les, leseni odpadki ter leseni ostanki iz gozdarske industrije, ostanki iz kmetijstva, nelesnate energetske rastline (npr. trave, oljna ogrščica, koruza, sladkorni trs), rastlinska olja, sortirani odpadki iz gospodinjstev, kompost, odpadne gošče oz. usedline, organske frakcije mestnih komunalnih odpadkov ter odpadne vode živilske industrije.

Na različnih strokovnih področjih zasledimo v literaturi različne definicije, kot na primer: »Biomasa v najširšem pomenu zajema snovi biološkega izvora, z izjemo fosilnih snovi v geoloških tvorbah.« (Krajnc, N. in avtorji, 2009), »Biomaso lahko pojmuje kot univerzalni vir energije v kmetijskem prostoru. Njen energetski potencial je spremenljiv v električno, toplotno ali mehansko energijo, neodvisno od časa dneva ali letnega časa.« (Bernik, R., Zver, A. 2006)

Biomase ob pravilni rabi ne zmanjka in ne onesnažuje okolja, saj se po določenem času, ki je ekonomsko in naravno sprejemljiv, povrne v obnovljeno prvotno obliko. Energijo, ki jo pridobimo iz biomase, nam podarja Sonce. Kljub temu pa le rastline lahko s fotosintezo neposredno proizvajajo primarno biomaso, medtem ko živali proizvajajo biomaso le iz ostalih virov, že pred tem generirane biomase.

Preglednica 2: Prevod terminov na sliki 4

ANGLEŠKO	SLOVENSKO
solar energy	sončna energija
carbon dioxide	ogljikov dioksid
water vapour	vodna para
minerals	minerali
carbon + water + oxygen	ogljik + voda + kisik



Slika (privzeta) 4: Življenjski cikel biomase (Biomasa, 2010)

Energija, ki je pridobljena iz biomase lahko dobi logično ime bioenergija. »Bioenergija je končna energija v obliki toplote, elektrike in biogoriv, ki so generirani z mnogovrstnimi tehnologijami in tehnološkimi sistemi.« (EREC, 2010)

Biomasa je zelo primeren vhodni energent za ogrevanje. Izkoristek je visok, in sicer 85%. Majhen izkoristek pa ima biomasa, ko jo želimo uporabiti za izdelovanje električne energije. Tedaj je izkoristek le 25%. Največja predelava biomase na svetu poteka v glavnem mestu Republike Avstrije, na Dunaju (Brandl, 2006). Izgorevanje biomase se koristi za pridobivanje vodne pare za gretje in za potrebe industrijskih procesov. Uporablja se v termoelektrarnah kot zamenjava za delež fosilnega goriva.

AN OVE navaja, da je najpomembnejši OVE v Sloveniji lesna biomasa, sledi ji vodna energija. V zadnjih letih je razvoj najbolj dinamičen pri izkoriščanju sončne energije in bioplina. K povečani porabi obnovljivih virov energije bodo prispevali potenciali navedenih virov energije ter dodatno potenciali energije vetra in geotermalne energije (AN OVE 2010).

Energija biomase predstavlja danes največjo konkurenco ostalim tehnologijam, vendar pa ima tudi slabosti. Pri uporabi nastane veliko prahu ter dopolnitev zaloge biomase zahteva fizično delo uporabnika.

2.6 Vetrna in vodna energija

Oba obnovljiva vira energije se dandanes največkrat uporabljata za proizvodnjo primarne energije, to je elektrike, ne pa neposredno za ogrevanje in hlajenje objektov. Del energije, ki se uporablja za delovanje toplotnih črpalk, pa lahko izvira iz vodne oziroma vetrne energije, kar še dodatno pripomore k rabi OVE.

2.7 Geotermalna energija

Beseda geotermalno je pridevniška sopomenka za toploto, ki prihaja iz Zemlje. Izvira iz grščine, kjer je *geo* termin za Zemljo, *therme* pa je toplota. V strokovni literaturi je posledično besedna zveza geotermalna energija definirana kot toplota Zemljine notranjosti. »V Zemljini notranjosti nastajajo ogromne količine toplote, ki nenehno potujejo iz globin na Zemljino površje.« (Stefansson, 1999)

Strokovnjaki iz evropskega zbora obnovljivih virov energije navajajo, da je Zemlja polna energije in da se lahko vsaka vrednost temperature podzemlja, preko globokih vrtin in s pomočjo toplotnih črpalk, neposredno uporabi ter s tem dobi ime geotermalna energija (EREC, 2010).

Temperatura narašča z globino, in sicer za približno 1°C (geotermična stopinja) na vsakih 33 metrov. Termin pozitivna anomalija oziroma povišana geotermična stopinja označuje večje povišanje vrednosti temperature z globino, kot je 1°C/33m (OVE, 2008).

»Za razliko od energije sončne svetlobe, biomase, vetrne ter vodne energije, ki je odvisna od plime in oseke, geotermalna energija ni odvisna od časovnega ali sezonskega ciklusa.« (Coley, 2008)

Tako je načeloma geotermalna energija neomejen stalen vir toplote, ki pa je ni možno uporabljati v prvih nekaj desetih metrih Zemljine skorje. Geotermalna energija nastaja v globinah, ki so vsaj 30 metrov oddaljene od površja tal. Od metode izrabe pa je odvisno, če je geotermalna energija tudi obnovljiv vir energije.

Od kod izvira geotermalna energija? Obstajata dva načina izvora geotermalne energije, in sicer:

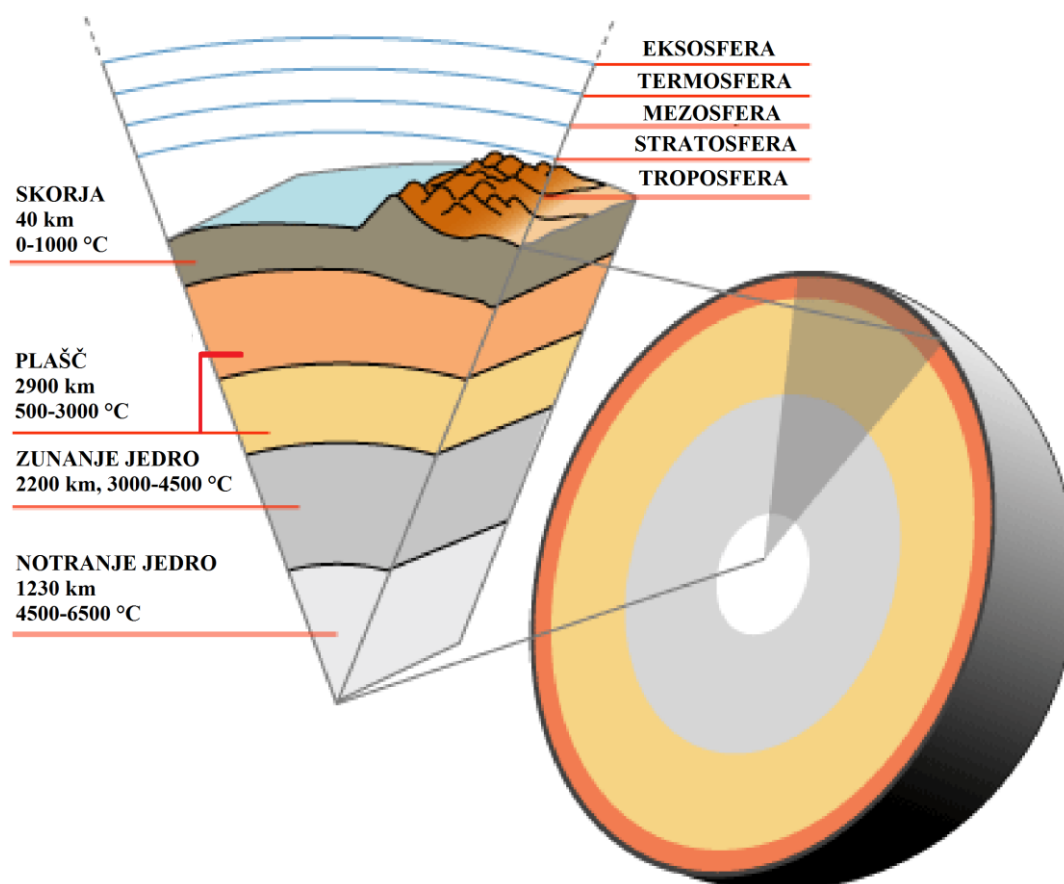
i) Geotermalna energija, ki je v obliki toplote akumulirana v masi kamnin Zemljine skorje.

Izvira večinoma s kemičnimi procesi ter z razpadanjem radioaktivnih izotopov, predvsem kalija-40, urana-238 ter torija-232. Prvi ima razpolovno dobo 1,28 milijarde let, drugi 4,47 milijarde let, tretji pa 14 milijard let. Omenjeni izotopi so ostali v globinah Zemlje od začetka njenega nastanka (Coley, 2008).

ii) Geotermalna energija, ki je akumulirana v toplih tekočih fluidih v naravnih vodonosnikih, globoko pod površjem, na površje pa pride:

- s prenosom snovi (magma, voda, para, plin),

- s tokom toplote zaradi prevodnosti čez globoke tektonske diskordance⁵ ter dovodne vulkanske kanale ter čez mlajše magmatske intruzije⁶,
- z uporabo več sto metrov globokih umetnih vrtin (Obnovljivi viri energije, 2011).



Slika (privzeta) 5: Sestava Zemlje (Wikimedia, 2011)

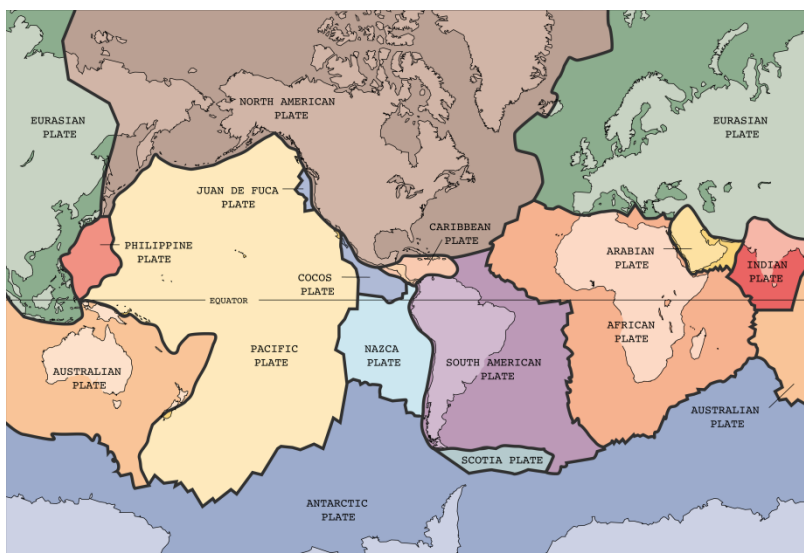
S katerimi tehnologijami lahko izrabljamo geotermalno energijo? Geotermalno energijo lahko izrabljamo **posredno** ter **neposredno**.

Neposredno lahko uporabimo paro, ki iz razpok v zemeljski skorji (tleh), prihaja iz globine Zemlje. Takšne razpoke so naprimer tektonske diskordance, razpoke med tektonskimi ploščami. Na Zemlji je 14 tektonskih plošč. To so od nekaj kilometrov do 100 kilometrov debele litosferske plošče, ki plavajo v astenosferi. Evrazijska, Severnoameriška, Južnoameriška, Avstralska, Afriška, Antarktiška, Pacifiška, Karibska, Indijska, Nazca, Scotia, Filipinska, Kokos, Juan de Fuca; (Quaschnig, 2010).

Območja, kot je na primer Srednja Evropa, ki niso v bližini tektonskih prelomnic nimajo optimalnih možnosti za izkoriščanje geotermalne energije, kar pa ne pomeni, da pod površjem ni visokih temperatur.

⁵ diskordanca - e ž (a) geol. nevporednost skladov zaradi tektonskih procesov

⁶ intruzija in intruzija - e ž (ú; i) geol. vdor magme v zemeljsko skorjo: obsežna intruzija // petr. kamnina, ki pri tem nastane, zaval

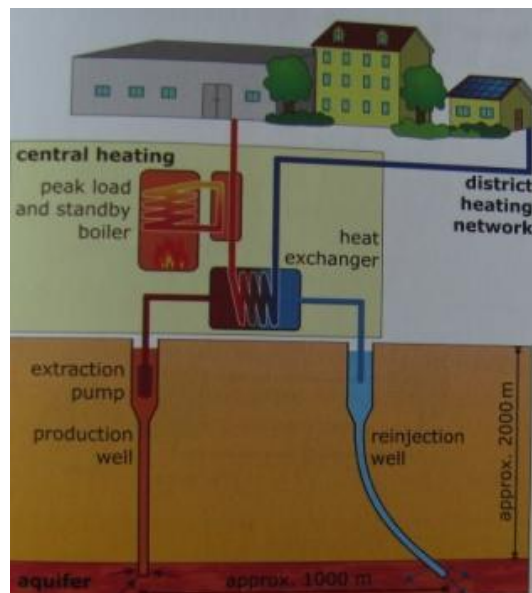


Slika (privzeta) 6: Tektonske plošče (Wikimedia, 2005)

Če želimo izkoristiti geotermalno energijo v takšnih primerih, moramo napraviti več sto metrov globoko vrtino. Vrtin je lahko tudi več. V vrtini je cev, po kateri se pretaka medij. Največkrat je to voda. Vodo po cevi dovajamo v globino, kjer se segreje, nato pa jo prečrpamo (v obliki vode in/ali pare) nazaj na površje, kjer se zopet lahko uporabi za ogrevanje in/ali proizvodnjo elektrike. Obstajajo tudi sistemi, ki imajo ločene vrtine za dovajanje ter črpanje vode. Črpanje do površja poteka z vodno črpalko. Splošno delovanje geotermalnega sistema prikazujejo spodnje slik.

Preglednica 3: Prevod terminov na sliki 7

ANGLEŠČINA	SLOVENŠČINA
central heating	centralno ogrevanje
peak load and standby boiler	grelnik za konične potrebe po topli vodi
extraction pump	vodna črpalka
production well	črpalna vrtina
aquifer	vodonosnik
aprox.	približno
reinjection well	povratna vrtina
heat exchanger	toplotni izmenjevalec
district heat network	sistem daljinskega ogrevanja



Slika (privzeta) 7: Shema delovanja geotermalnega sistema (Quaschnig, 2010)

Posredna raba obsega sledeče metode oziroma tehnologije:

- a) metoda »wet rocks« oziroma »termalni vreli«
- b) metoda »hot dry rocks (v nadaljevanju HDR)« oziroma »črpanje toplote iz vročih, neprepustnih kamnin«
- c) druge metode

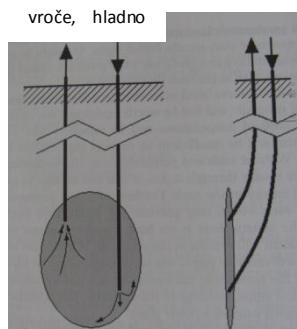
a) Za uporabnost metode »wet rocks« oziroma »termalni vreli« so, po Coley-u (2008) bistveni 4 geološki elementi:

- i) vir toplote;
- ii) sloji neprepustnih kamnin;
- iii) naravni vodonosnik, ki se ob dežju napolni;
- iv) zgornji sloj(i) neprepustne kamnine.

Detalji izdelave vrtin pri metodi »wet rocks« oziroma »termalni vreli« so odvisni od vrste tal, skozi katera je potrebno vrtine izvrtati ter temperature in tlaka, pod katerim se nahaja tekočina v vodonosniku. Navadno se izvede vrtina s premerom pol metra, ki se z globino oža in je na koncu debela 0,15 metra. Vrtina je obdana z jeklenim in tudi betonskim plaščem, v njej pa so cevi, ki imajo na vrhu ventile za stalno kontrolo tlaka tekočine. Izdela se tudi povratna vrtina, preko katere se, pri metodi »wet rocks« uporabljena voda vrne nazaj v vodonosnik. Največkrat lahko paro v vodonosniku uporabimo za dva namena, in sicer paro s temperaturo 180 °C in tlakom 8 barov uporabimo v turbinah za generiranje elektrike; paro s temperaturo 155 °C in tlakom 6 barov pa se uporabi v toplotnem izmenjevalcu. Toplotni izmenjevalec je tokokrog, ki vsebuje tekočino z nižjim vreliščem, kot ga ima voda, na primer butan, zato da lahko produciramo paro ali pa z njim ogrevamo na primer prostore stavbe (Coley, 2008). Para se nazadnje tudi skondenzira in jo preko druge vrtine vrnemo nazaj v vodonosnik.

Predvsem je pomembno omeniti primer napačne rabe termina geotermalna energija, kadar govorimo o plitvih kolektorjih. Zanke teh kolektorjev namreč ne uporabljajo geotermalne energije, saj so nameščene le na globini 1.5 metra pod površjem terena, kjer je prevladujoč vir za ogrevanje tal sončna energija (Popiel, Wojtkwiak, Biernacka, 2001).

b) Za uporabo metode »črpanja toplote iz vročih, neprepustnih kamnin« oziroma »hot dry rocks (HDR)« je po Coley (2008) potrebno narediti vrtine za izmenjavo toplote ter črpanje vode iz globine na površje. Teoretično bi bilo ustvarjanje novih vrtin bolj smotrno kot pa iskanje primernege vodonosnika. Vseeno je globoko vrtanje zelo drago, območja z enakomernim temperaturnim gradientom vsaj 25 °C/km do globine 6 kilometrov pa so redka, zato je metoda še vedno ekonomsko zelo težko sprejemljiva. Metoda HDR izkorišča izvor toplote, ki je zaradi razpada radioaktivnih izotopov akumulirana v masi kamnin. Možna je tudi uporaba le ene vrtine, ki vsebuje dve ločeni cevi, vendar je temperatura vode v tem primeru nižja kot pri sistemu z dvema vrtinama – ena za črpanje, druga za vračanje.



Slika (privzeta) 8: Shematični prikaz idealnega delovanja tehnologije HDR (DiPippo, 2008)

c) Druge metode za izkoriščanje geotermalne energije so na primer metoda suhe pare, metoda binarnega cikla, metoda geotlaka.

Za kakšne namene se geotermalna energija uporablja?

Geotermalna energija se lahko uporablja za več namenov. Zelo jasno jih opiše EREC (2010), ki pravi: »Geotermalna energija se že stoletja uporablja za ogrevanje, zadnjih sto let pa tudi za proizvodnjo elektrike, za daljinsko ogrevanje, za ogrevanje in hlajenje stanovanjsko-poslovnih objektov ter individualnih hiš. Tehnologija uporabe geotermalne energije je do danes močno napredovala in se, poleg zgoraj navedenih možnosti, uporablja za taljenje snega na ogrevanih voziščnih konstrukcijah mostov, viaduktov, cest, pločnikov, vzletno-pristajalnih stezah letališč, peronih železniških postaj« ter tudi za desalinizacijo⁷.«

Zgoraj omenjene metode in tehnologije v posredni izrabi geotermalne energije zajemajo izkoriščanje vrednosti temperature s pomočjo toplotne črpalke. Z njo temperaturo dvignemo na uporabno vrednost za proizvodnjo elektrike, za uporabo v industrijskih procesih ter za daljinsko ogrevanje. Neposredna izraba geotermalne energije pa se uporablja v kmetijstvu, ribogojništvu, balneologiji⁸, za ogrevanje vode (v gospodinjstvu, hotelirstvu, restavracijah, industriji-sušenje, izdelavo in predelavo hrane, izdelavo papirja, v plavalnih ter drugih bazenih v zdraviliščih in toplicah), za desalinizacijo vode ter tudi za ogrevanje prostorov.

»Slovenija že razpolaga z 28 naravnimi izviri ter 48 lokacijami, kjer je termalna voda zajeta z vrtinami, s skupno instalirano toplotno močjo 129 MW.« (Kralj, 1999)

Od omenjenega števila naravnih virov in lokacij je najbolj raziskan severovzhodni del Republike Slovenije. Ti viri geotermalne energije so v Republiki Sloveniji največkrat uporabljeni za balneološke in rekreativne namene, tj. plavalni ter drugi bazeni v zdraviliščih in toplicah.

V primerjavi z Islandijo, kjer so pogoji za izkoriščanje geotermalne energije najboljši na svetu, mora biti za dosego enake vrednosti temperature vrtina v Srednji Evropi bolj globoka. Vrednost temperature z globino narašča, in sicer povprečno približno 3 °C vsakih 100 metrov. Ob tej predpostavki lahko sklepamo, da mora biti vrtina v Srednji Evropi za dosego temperaturne vrednosti 90 °C globoka 3.000 metrov. Na Islandiji takšna vrtina seže nekaj sto metrov globoko. Najbolj globoka vrtina na svetu, izvedena za raziskovalne namene, je na polotoku Kola v Rusiji. Zavrtana je 12 kilometrov globoko. Pogoji na globini desetih kilometrov so ekstremni. Temperatura se povzdigne nad 300 °C, tlak pa na vrednost 3.000 barov (Quaschnig, 2010).

Stefansson (1999) ugotavlja, da je geotermalna energija obnovljiv vir energije le, če uporabljamo konvencionalne metode izkoriščanja, kar pa ne velja za metodo suhe vroče kamnine ali hot dry dock.

Podobno ugotavlja tudi Coley, 2008: Stopnja, do katere je geotermalna energija OVE, je odvisna od razmerja med hitrostjo črpanja in hitrostjo vračanja vode v globino. Povsem verjetno je, da bodo marsikatero geotermalno postajo, če bodo zgrajene, izrabljale geotermalno energijo hitreje, ko pa se je lahko generira v tamkajšnji geološki okolici. Takšno delovanje narekuje vedno nove in nove vrtine (verjetno vsakih deset let). Zatorej se poraja vprašanje, če je to zares povsem obnovljiv proces vira energije (Coley, 2008).

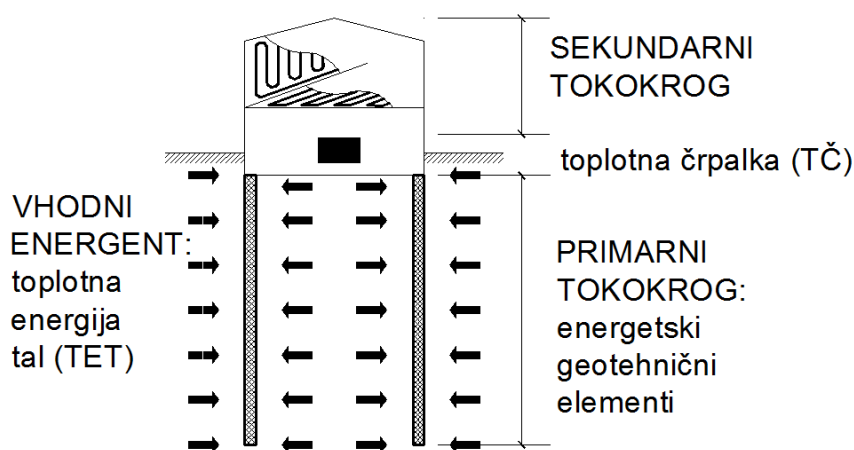
Zavedati se je potrebno tudi dejstva, da alternative izkoriščanju geotermalne energije obstajajo. Morebitna onesnaženja pitnih voda ob vračanju vode v globoko vrtino pa nimajo alternative.

⁷ desalinizacija -e ž (á) spreminjanje morske vode v sladko, razsoljevanje

⁸ balneologija -e ž (i) veda o zdravilnih vodah ali zdravilnem blatu

3 TEHNOLOGIJA ABSORPCIJE TOPLOTNE ENERGIJE TAL Z ENERGETSKIMI GEOTEHNIČNIMI TER DRUGIMI ELEMENTI

V prejšnjem poglavju smo pokazali, da lahko za ogrevanje in hlajenje objektov uporabljamo različne tehnologije za izrabo obnovljivih virov energije. Glavni namen te diplomske naloge je prikazati tehnologijo absorpcije toplotne energije tal (TET) z energetskimi geotehničnimi in drugimi elementi, saj Sloveniji še ni bila podrobno obravnavana. Razvita in uporabljena je bila v Avstriji že v 80 letih prejšnjega stoletja (1980), vendar z drugačnim imenom – energetsko temeljenje. Pionirsko raziskovalno in razvojno delo na področju izkoriščanja toplotne energije tal preko AB elementov geotehničnih konstrukcij (piloti, vkopane stene ...) sta izvedla profesorja Tehniške univerze na Dunaju prof. dr. Heinz Brandl in prof. dr. Dietmar Adam s sodelavci. Njuni znanstveni in strokovni članki so bili primarni vir za opis tehnologije absorpcije toplotne energije tal z energetskimi geotehničnimi elementi v tej diplomski nalogi.



Slika 3: Skica celotnega energetskega sistema (I tokokrog + TČ + II tokokrog)

Nadaljnja poglavja opisujejo razloge ter argumente za uvedbo nove, natančnejše terminologije, možne načine uporabe tehnologije absorpcije toplotne energije tal z energetskimi geotehničnimi ter drugimi elementi, vključujoč sestavne dele – dodatke geotehničnim elementom, da postanejo energetski geotehnični elementi ter teoretično ozadje prenosa toplote iz zemljine na absorpcijsko tekočino, ki je osnova tehnologije absorpcije toplotne energije tal z energetskimi geotehničnimi ter drugimi elementi. Od tod izhaja tudi analitična ocena za izračun možne količine toplotne energije tal, ki jo lahko absorbiramo s posameznimi energetskimi geotehničnimi elementi.

3.1 Primarni tokokrog, sekundarni tokokrog, toplotna črpalka

Vsak objekt je preko temeljev povezan s tlemi. Posamezni deli objekta in objekt kot celota morajo imeti na podlagi gradbenih predpisov glede na svoj namen določene tehnične značilnosti tako, da izpolnjujejo eno, več ali vse naslednje bistvene zahteve, ki so v Republiki Sloveniji predpisane z Zakonom o graditvi objektov. Bistvene zahteve so:

- mehanska odpornost in stabilnost,
- varnost pred požarom,
- higienska in zdravstvena zaščita ter zaščita okolice,
- varnosti pri uporabi,
- zaščita pred hrupom in
- varčevanje z energijo in ohranjanje toplote.

(ZGO-1 UPB-1, 2004)

Temelji so geotehnični element, del (vsakega) objekta in so prvenstveno namenjeni zagotavljanju mehanske odpornosti in stabilnosti objekta. Z razvojem znanja in tehnologij v geotehniko je lahko danes namen temeljenja širši. Različne vrste geotehničnih elementov ter tudi nekatere druge gradbene

infrastrukturne elemente (na primer mestna kanalizacija), ki so neposredno obdani z zemljino, lahko izkoriščamo za namene ogrevanja in hlajenja objektov.

Koncept vseh energetskih sistemov je načeloma enak. Preko primarnega tokokroga vhodni energent (plin, TET, premog, biomasa) vstopa v energetski sistem ter zagotavlja energijo, s sekundarnim tokokrogom uporabniku želena energija (na primer v obliki toplote) distribuiramo za uporabo. Med primarnim ter sekundarnim tokokrogom je naprava (peč, toplotna črpalka), ki služi za primerno usklajevanje doziranja vhodnega energenta za ustvarjanje izhodnega proizvoda (na primer toplote).

Na trgu je danes že raširjena sorodna tehnologija plitvih zemeljskih kolektorjev, ki je v diplomski nalogi ne opisujemo.



Slika (privzeta) 9: Tehnologija plitvih zemeljskih kolektorjev (Termotehnika, 2011c)

Primarni tokokrog je sestavljen iz energetskih geotehničnih ter drugih elementov, ki so neposredno obdani z zemljino. To so običajni geotehnični ter drugi elementi z vgrajenimi določenimi dodatki. Geotehnični ter drugi elementi so diafragme kletnih sten objekta, pilotne stene, temeljne plošče, piloti, pasovni temelji, podporni in oporni zidovi, geotehnična sidra, predori, pokriti vkopi, podvozi ter tudi mestna kanalizacija. Podroben opis dodatkov ter izvedbe energetskih geotehničnih elementov je opisan v poglavju 3.4. Z vgrajenimi dodatki lahko geotehnični elementi postanejo energetski in tako opravljajo tudi energetsko funkcijo (absorbiranje TET).

Sekundarni tokokrog je, tako kot primarni tokokrog, zaprt sistem, po katerem teče tekočina, s katero ogrevamo in hladimo objekte. Sekundarni tokokrog zajema ogrevalno-hladilne in prezračevalno-klimatske sisteme (HVAC) so vgrajeni v tla in stene stavb. V novozgrajenih stavbah so danes največkrat vgrajeni nizkotemperaturni ogrevalno-hladilni sistemi. Sekundarni tokokrog načrtujejo in optimirajo strojni inženirji. Na infrastrukturnih objektih je sekundarni tokokrog za ogrevanje na primer vgrajen v voziščno konstrukcijo na mostovih in viaduktih, v železniških peronih, postajah podzemnih železnic, v ogrevalnih sistemih kretnic, vzletno-pristajalnih letaliških stezah in pločnikih za pešce. Lahko pa tudi pod travo nogometnega igrišča ali stezo atletskega stadiona.

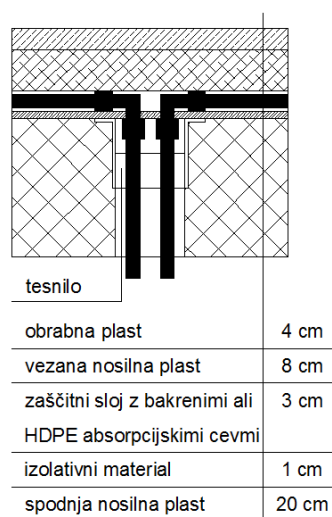


Slika (privzeta) 10: Ogrevanje vozišča (Furukawa, 2012)

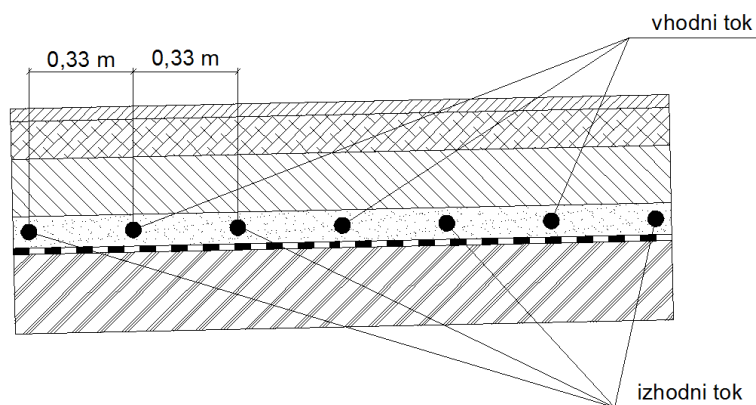
Podobno, kakor so razporejene absorpcijske cevi pri talnem ogrevanju in temeljnih ploščah, so razporejene absorpcijske cevi v voziščni konstrukciji na mostovih, na viaduktih ter tudi na vzletno-pristajalnih stezah letališč.



Slika (privzeta) 11: Sekundarni tokokrog v hiši - talno in stensko ogrevanje (Evrotrade, 2012)



Slika (privzeta) 12: Sekundarni tokokrog v cestnem viaduktu ali mostu (Brandl, 2006)

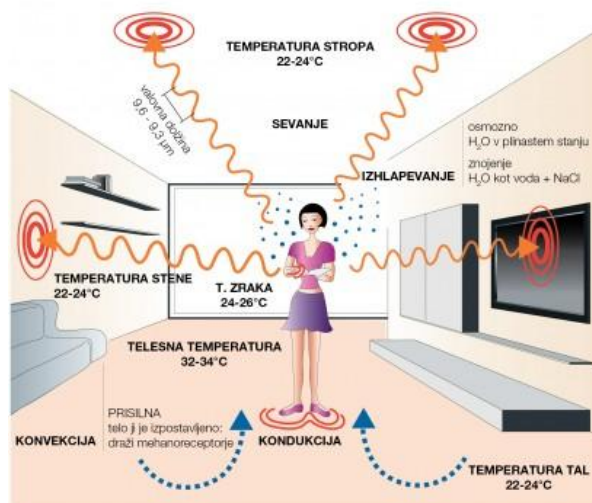


Slika (privzeta) 13: Sekundarni tokokrog v vozišču (Brandl, 2006)

Interakcija med primarnim in sekundarnim tokokrogom:

Optimalno usklajeno delovanje primarnega in sekundarnega tokokroga se nanaša na vrednost temperature, ki jo ljudje občutimo. Pomembni sta dve temperaturi, in sicer temperatura zraka ter temperatura, ki jo oddajajo velike površine z radiacijo – stene, tla in strop. Še pomembnejše pa je njuno razmerje. Kompenzacija prenizke temperature sten, stropa in tal z višjo temperaturo zraka ne daje občutka udobja.

Naslednje vrednosti so optimalne (Brandl, 2006): $T_{POVRŠINA} = 20-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ZRAK} = 16-21\text{ }^{\circ}$



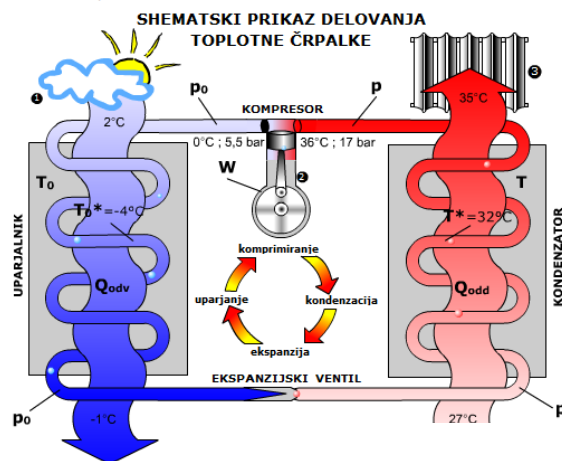
Slika (privzeta) 14: Oblike izmenjave toplote (Messana, 2012b)

Nizkotemperaturni ogrevalni sistemi imajo veliko radiacijsko površino ter so segreti na manj kot $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Stensko ogrevanje je segreto na največ $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, talno ogrevanje pa največ na $28\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Toplotna črpalka (TČ):

Toplotna črpalka povezuje primarni in sekundarni tokokrog. Njena naloga je, da na račun odvzema toplote iz medija v primarnem tokokrogu zviša temperaturo medija v sekundarnem tokokrogu.

Z uporabo toplotne črpalke dvignemo vrednost temperature iz $10-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ na vrednost $25-35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Količina zunanje energije, ki jo uporabimo za delovanje toplotne črpalke ne sme biti previsoka. S tem ohranjamo in ustvarjamo ekološko ter tudi ekonomsko prednost toplotne črpalke (Brandl, 2006). Zato je toplotna črpalka bistven sestavni del energetskega sistema oziroma tehnologije. Spodnja slika prikazuje delovanje toplotne črpalke. Načeloma je proces delovanja toplotne črpalke podoben obratnemu delovanju hladilnika, s tem da absorpcija toplote v uparjalniku ter oddajanje toplote v napravi za spreminjanje pare v tekočino (kondenzator) poteka pri višjih vrednostih temperature.



Slika (privzeta) 15: Delovanje TČ (Termotehnika, 2011a)

Dva parametra, s katerima lahko spremljamo želeno ekološko in ekonomsko upravičenost uporabe toplotne črpalke, sta:

COP... učinkovitost toplotne črpalke oziroma coefficient of performance

$$COP = \frac{IZHODNA ENERGIJA (IZ) TČ [kW]}{VHODNA ENERGIJA (V) TČ [kW]} \quad (1)$$

Vrednost COP = 4 pomeni, da z eno enoto električne energije dobimo 4 enote uporabne energije. Na izkoristek toplotne črpalke močno vpliva razlika med vrednostjo zelene uporabne temperature in vrednostjo temperature vhodnega energenta. Višja kot je vrednost zelene uporabne temperature (temperatura v sekundarnem tokokrogu) in nižja kot je temperatura vhodnega energenta, torej večja kot je razlika vrednosti temperatur pri vhodu in izhodu toplotne črpalke, manjši bo izkoristek. Iz ekonomskih razlogov naj bi toplotna črpalka dosegla vrednost COP > 4. Temperature zato v sekundarnem tokokrogu ne smejo preseči vrednosti temperature 35-45 °C (Brandl, 2006). Posledično se za ogrevanje in hlajenje objektov uporablja nizkotemperaturne ogrevalne sisteme (talno in stensko ogrevanje).

Drugi parameter, ki vpliva na ekološko in ekonomsko upravičenost uporabe toplotne črpalke je:

SPF... letno grelno število (Grobovšek, 2009) oziroma seasonal performance factor

Parameter SPF zajema poleg delovanja toplotne črpalke tudi ostale porabnike energije, npr. krožne črpalke. Z električnimi toplotnimi črpalkami je možno doseči vrednost SPF = 3.8–4.3 (Brandl, 2006).

$$SPF = \frac{IZHODNA ENERGIJA SISTEMA ZA UPORABO [kWh]}{VHODNA ENERGIJA ZA DELOVANJE SISTEMA V CELI SEZONI [kWh]} \quad (2)$$

Vrste toplotnih črpalk:

- i) zrak/voda
- ii) voda/voda
- iii) zemlja/voda

Ob vseh treh načinih se je pomembno zavedati, da so to le različni načini izrabljanja sončne energije, vendar z veliko prednostjo: ne potrebujejo neposrednega sončnega obsevanja (Coley, 2008).

3.2 Temperaturni profil tal in terminologija

Stanje o temperaturi tal do globine enega metra pod površjem terena je znano. ARSO že 40 let trikrat dnevno (ob 7., 14. in 21. uri po lokalnem času) izvaja meritve temperatur v tleh na globinah 2 cm, 5 cm, 10 cm, 20 cm, 30 cm in 50 cm. Na globini 100 cm so meritve izvedene le ob 14. uri v dnevnu. Meritve potekajo na devetih lokacijah širom Slovenije, ki jih prikazuje spodnja slika.



Slika 4: Lokacije merilnih postaj za meritve temperature tal po Sloveniji

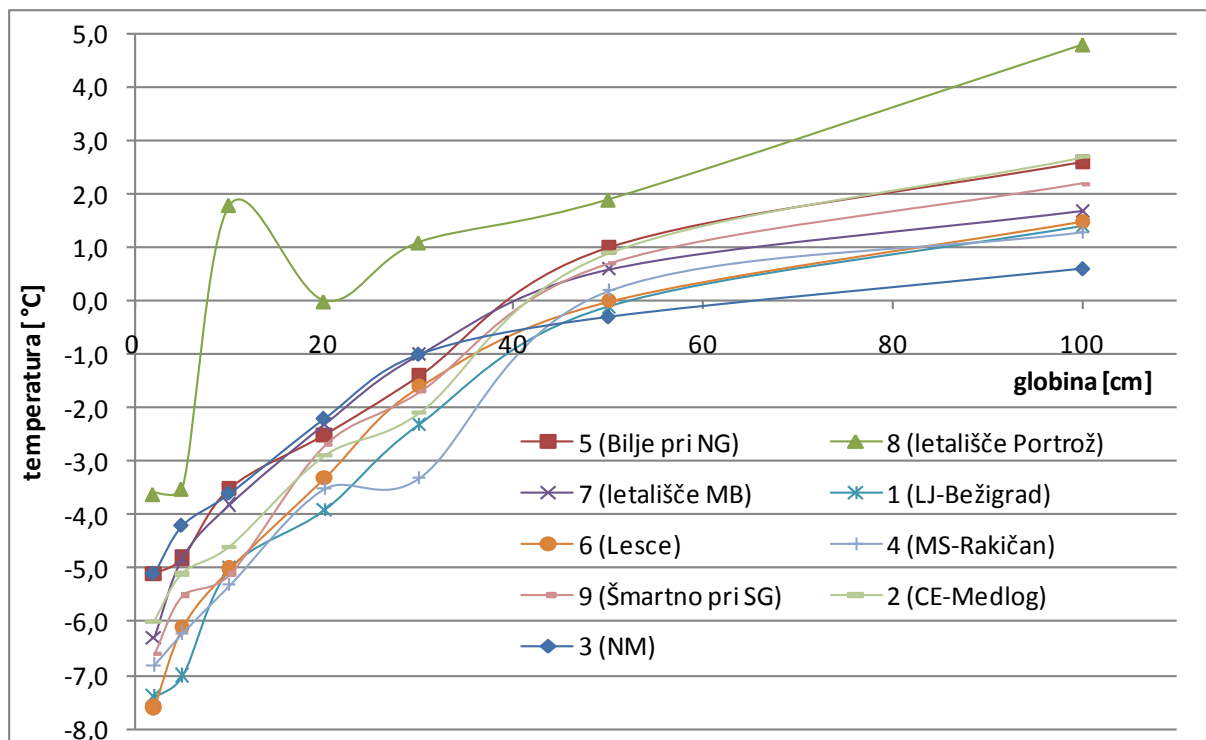
Preglednica 4: Lokacije z nadmorskimi višinami ter obdobjem merjenja temperature tal po Sloveniji

Zap. št.	Lokacija	Nadmorska višina	Obdobje meritev
1 (1)*	Ljubljana-Bežigrad	299 m	01. 01. 1971-31. 12. 2010
2 (2)	Celje-Medlog	241 m	01. 01. 1971-31. 12. 2010
3 (3)	Novo mesto	220 m	01. 01. 1971-31. 12. 2010
4 (4)	Murska Sobota-Rakičan	186 m	01. 01. 1971-31. 12. 2010
(5)	Nova Gorica	113 m	01. 04. 1972-31. 12. 1989
5 (6)	Bilje pri Novi Gorici	55 m	01. 01. 2001-31. 12. 2010
(7)	Brnik	364 m	01. 01. 1971-30. 06. 1978
6 (8)	Lesce	515 m	28. 09. 1986-31. 12. 2010
(9)	Maribor-Tezno	275 m	01. 01. 1971-30. 06. 1997
7 (10)	letališče Maribor	264 m	01. 07. 1997-31. 12. 2010
(11)	Beli Križ	92 m	01. 05. 1974-31. 12. 1990
8 (12)	letališče Portorož	2 m	01. 01. 1991-31. 12. 2010
(13)	Radlje ob Dravi	365 m	01. 01. 1971-31. 12. 1975 ter 01. 01. 1977-30. 04. 1982
9 (14)	Smartno pri Slovenj Gradcu	444 m	27. 01. 1993-31. 12. 2010

*Številke v oklepajih označujejo merilno postajo, prikazano na zemljevidu SLIKA 4. Vse lokacije z dvema zaporednima številkami v preglednici, brez oklepaja in z njim, so trenutno aktualne. Lokacije z merilnimi postajami, ki niso več v uporabi, so v preglednici označene samo s številko v oklepaju. Te merilne postaje so

prenehali uporabljati zaradi neizpolnjevanja pogojev, ki jim mora zadoščati primerna lokacija merilne postaje. Pogoji so navedeni v nadaljevanju.

Meritve temperature v tleh potekajo skladno z zakonitostmi meteorološkega zajema podatkov, ki so napisane v knjigi Navodila za opazovanja in merjenja na glavnih meteoroloških postajah, 1976, Beograd, Zvezni hidrometeorološki zavod, 213 str. (Sušnik, Žust, 2012).



Graf 1: Minimalne temperature na vsaki merilni lokaciji v obdobju 40 let

Preglednica 5: Minimalne temperature na vsaki merilni lokaciji v obdobju 40 let

z \ lokacija	1 (LJ)	2 (CE)	3 (NM)	4 (MS)	5 (NG)	6 (L)	7 (MB)	8 (Portorož)	9 (SG)
2 cm	-7,4	-6,0	-5,1	-6,8	-5,1	-7,6	-6,3	-3,6	-6,6
5 cm	-7,0	-5,1	-4,2	-6,2	-4,8	-6,1	-4,8	-3,5	-5,5
10 cm	-5,0	-4,6	-3,6	-5,3	-3,5	-5,0	-3,8	1,8	-5,1
20 cm	-3,9	-2,9	-2,2	-3,5	-2,5	-3,3	-2,3	0,0	-2,7
30 cm	-2,3	-2,1	-1,0	-3,3	-1,4	-1,6	-1,0	1,1	-1,7
50 cm	-0,1	0,9	-0,3	0,2	1,0	0,0	0,6	1,9	0,7
100 cm	1,4	2,7	0,6	1,3	2,6	1,5	1,7	4,8	2,2

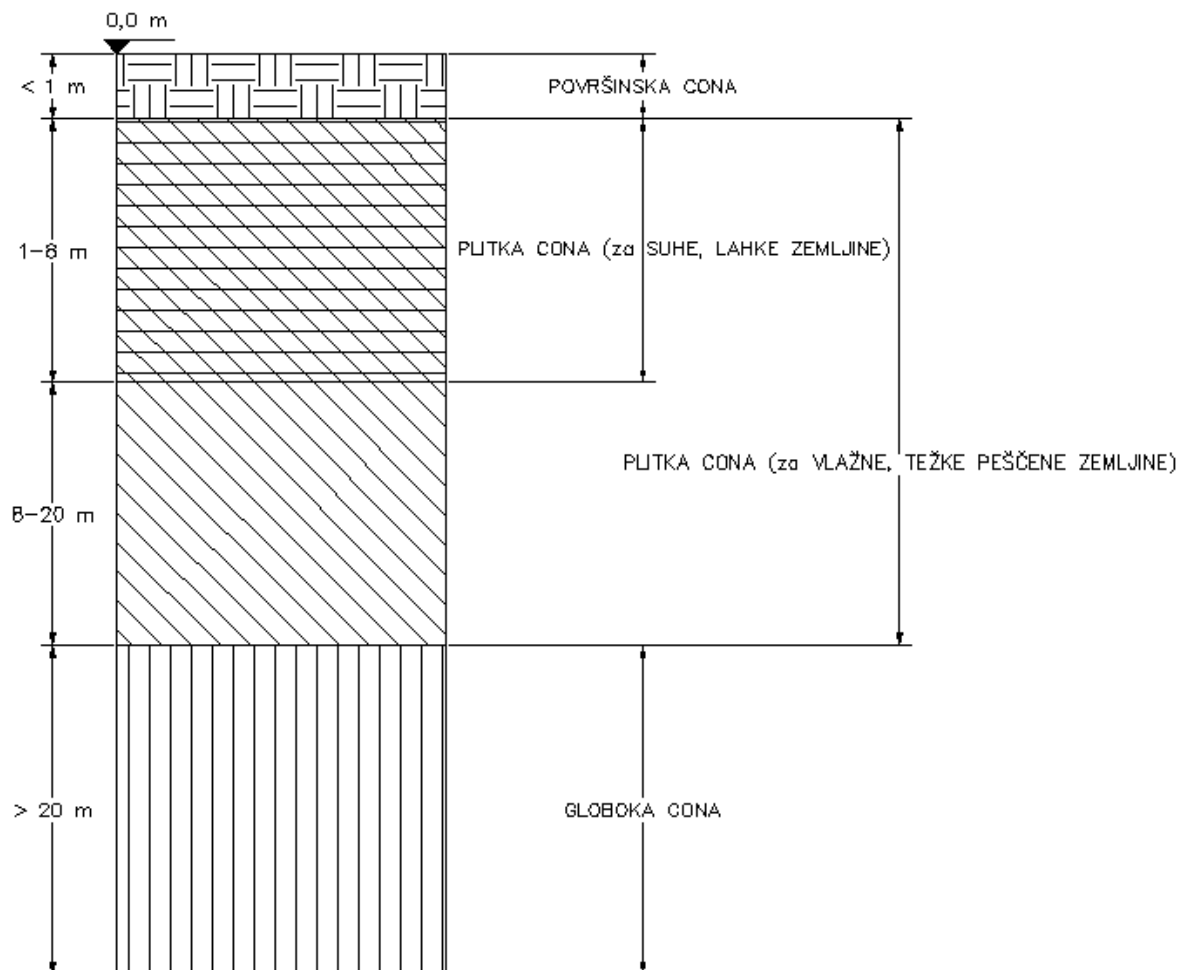
Iz celotnega nabora izmerjenih povprečnih dnevni temperatur za vsako leto, v obdobju 40 let, smo izbrali najnižje (min) ter najvišje (max) temperature za globino 30 cm, 50 cm in 100 cm ter za vsako lokacijo. Obstajajo tudi dnevi, meseci ali leto brez meritev, kar smo upoštevali kot meritev brez podatka. Grafi 40 letnih meritev temperature tal do globine enega metra (30 cm, 50 cm in 100 cm) so prikazani v prilogi Priloga A. Iz danih podatkov ugotavljamo, da je na globini enega metra pod površjem temperatura tal na vseh lokacijah ter skoraj celo leto višja kot 2 °C. To pomeni, da lahko vsak geotehnični element absorbira s svojo celotno dolžino, če le njegova najvišja točka ne leži višje od enega metra pod površjem terena.

Z globjim temperaturnim profilom do nekaj deset metrov se je ukvarjalo nekaj evropskih raziskovalcev (Popiel, Wojtkwiak, Biernacka, 2001 ter Brandl, 2006). Poljski raziskovalci (Popiel, Wojtkwiak, Biernacka, 2001) navajajo, da je temperaturna razdelitev v tleh očitno odvisna od:

- sestave in fizikalnih lastnosti tal
- vrste površine na površini terena

c) klimatske interakcije, ki je definirana s temperaturo zraka, vetrom, solarno radiacijo, vlažnostjo zraka ter padavinami

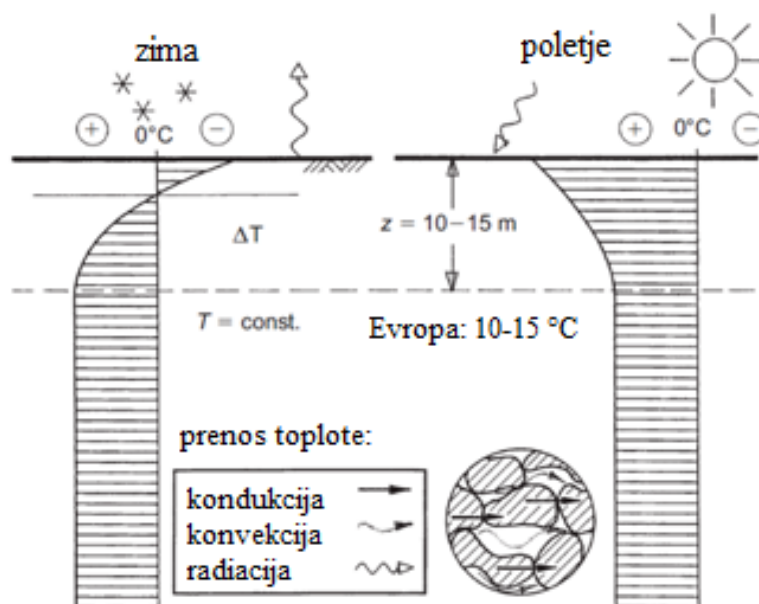
Temperaturi profil tal po globini razlikujejo s sledečimi conami:



Slika 5: Prerez tal, ki so razdeljene v cone

V površinski coni je temperatura tal zelo občutljiva na nenehne vremenske spremembe in se zaradi tega tudi konstantno spreminja. Znano je tudi dejstvo, da je vpliv temperature na globini 1 metra močno pogojen z vrsto površine tal, kjer merimo. V poletnih mesecih je na primer temperatura na globini 1 metra pod asfaltiranim parkiriščem za 4 °C višja kot na enaki globini v enakem času na travniku. V zimskih mesecih, na istem kraju, pa je vrednost temperature na globini enega metra približno enaka. Vrednost temperature v globoki coni, ki se nahaja globlje od 20 metrov, je najmanj odvisna od energije sončne svetlobe. Vpliv geotermalnega gradienta tako počasi z globino postaja primarni vir vrednosti temperature (Popiel, Wojtkwiak, Biernacka, 2001).

Podatke o temperaturnem profilu tal pa navaja avstrijski znanstvenik Brandl (2006): »V večjem delu Evrope je letna temperatura tal na globini med 10–15 metrov konstantna, in sicer z vrednostjo med 10 in 15 °C. Tako je vse do globine 50 metrov.«



Slika (privzeta) 16: Shema temperaturnega profila tal do globine 50 metrov ter načini prenašanja toplote v zemljini (Brandl, 2006)

Geotermalna energija izvira iz Zemljine notranjosti in torej ni glavni vir vrednosti temperature zemljine do globine nekaj deset metrov pod površjem terena. Na prvi dve coni - površinsko in plitko cono (Popiel, Wojtkwiak, Biernacka, 2001) - ima največji vpliv energija sončne svetlobe.

Potreba po natančnejšem terminu vhodnega energenta je posledica dejstev vpliva energije sončne svetlobe.

Ustrezne terminologije za pričujoče področje v Sloveniji pred to diplomsko nalogo še ni bilo. Dostopna tuja literatura je bila (ter še vedno je) presplošna, včasih tudi napačno opisuje osnovne termine. Ker gre za inovativnost in nov način implementacije modernih znanstvenih dognanj, je to pričakovano. Modifikacija delov inovacije pa je vedno mogoča. Zato z nadgradnjo obstoječih dognanj uvajamo novo in natančnejšo terminologijo, s katero želimo prispevati h razlikovanju ter posledično k bolj jasnemu izražanju.

Preglednica 6: Terminologija

Slovenska literatura od 2012 naprej	Literatura avstrijskih avtorjev, napisana v angleškem jeziku	Predlog za angleški jezik
geotermalna energija	geothermal energy	geothermal energy
toplotna energija tal (TET)	geothermal energy	thermal ground energy (TGE)
tehnologija absorpcije toplotne energije tal z energetskimi geotehničnimi elementi = energetsko temeljenje	energy foundations	technology for absorption of thermal ground energy with energetic geotechnical elements
energetski geotehnični elementi = energetski temelji	energy foundations	energetic geotechnical elements; energy foundations

Elementi: energetski geotehnični ter drugi elementi so geotehnični elementi z vgrajenimi dodatki (zanke absorpcijskih cevi, napolnjene z absorpcijsko tekočino). Podrobno so dodatki in njihova izvedba opisani v poglavju 3.4.

Po dosedanjih, več kot dvajsetletnih izkušnjah avstrijskih raziskovalcev ter inženirjev, so večino energetskih pilotov predstavljali prefabricirani armiranobetonski piloti, z že vgrajenimi absorpcijskimi

cevmi. V zadnjih letih pa se vedno bolj uveljavljajo piloti z večjim premerom, kot ga imajo navadno prefabricirani. Alternativo prefabriciranim armiranobetonskim zabitim energetskim pilotom predstavljajo različne tehnologije izvedbe uvrtnih pilotov na terenu, vključno s tehnologijo CFA (continuous flight auger). Delno injicirani vibracijsko grajeni slopi so sicer lahko energetski elementi, vendar z zelo majhno energetsko učinkovitostjo. Geotehnični ter drugi elementi so diafragme kletnih sten objekta, pilotne stene, temeljne plošče, piloti, pasovni temelji, podporni in oporni zidovi, geotehnična sidra, predori, pokriti vkopi, podvozi ter tudi mestna kanalizacija.

Vhodni energent: **toplotna energija tal (TET)** je energija, ki se akumulira v tleh (zemljini) zaradi Sončevega obsevanja Zemlje.

tehnologija: **tehnologija absorpcije toplotne energije tal z energetskimi geotehničnimi ter drugimi elementi oziroma tehnologija energetskih temeljev, energetsko temeljenje.**

»Sonce je zaradi trajne prisotnosti in neizčrpljivosti najprimernejši obnovljivi energetski vir«, (Zelenaslovenija, 2011) in zato lahko TET, pridobljeno s sončnim obsevanjem, izkoriščamo za ogrevanja in hlajenja celo leto, več desetletij. Absorpcija TET z energetskimi temelji ima bistveno prednost pred plitvimi zemeljskimi kolektorji – ne potrebuje dodatnih parcel. Prav tako velja za primerjavo z geosondami in drugimi geotermalnimi vrtinami – ne potrebujemo dodatnih vrtin. Pri globljih sistemih (stene predorov) pa ne izkoriščamo več TET, ampak geotermalno energijo, saj se te konstrukcije nahajajo več kot na primer 40 metrov pod površjem tal.

Slika 2 v drugem poglavju prikazuje, da je TET posredna oblika izkoriščanja energije sončne svetlobe. TET je obnovljiv vir energije. Ogromne količine TET torej obstajajo, zato ker vpliv sončne energije sega nekaj deset metrov pod površje terena. Za ogrevanje in hlajenje bivalnih prostorov TET izkoriščamo preko energetskih temeljev stavbe. Širši pojem, ki zajema ogrevanje in hlajenje katerega koli objekta, pa je tehnologija absorpcije toplotne energije tal z energetskimi geotehničnimi ter drugimi elementi.

Generiranje električne energije s tehnologijo absorpcije toplotne energije tal z energetskimi geotehničnimi in drugimi elementi je teoretično možno, vendar ni učinkovito. Takšna uporaba OVE ni smotrna ter je neprimerna, saj obstaja za generiranje električne energije več drugačnih in bolj primernih načinov in tehnologij, ki znatno pripomorejo k zniževanju vrednosti toplogrednih plinov (Brandl, 2006).

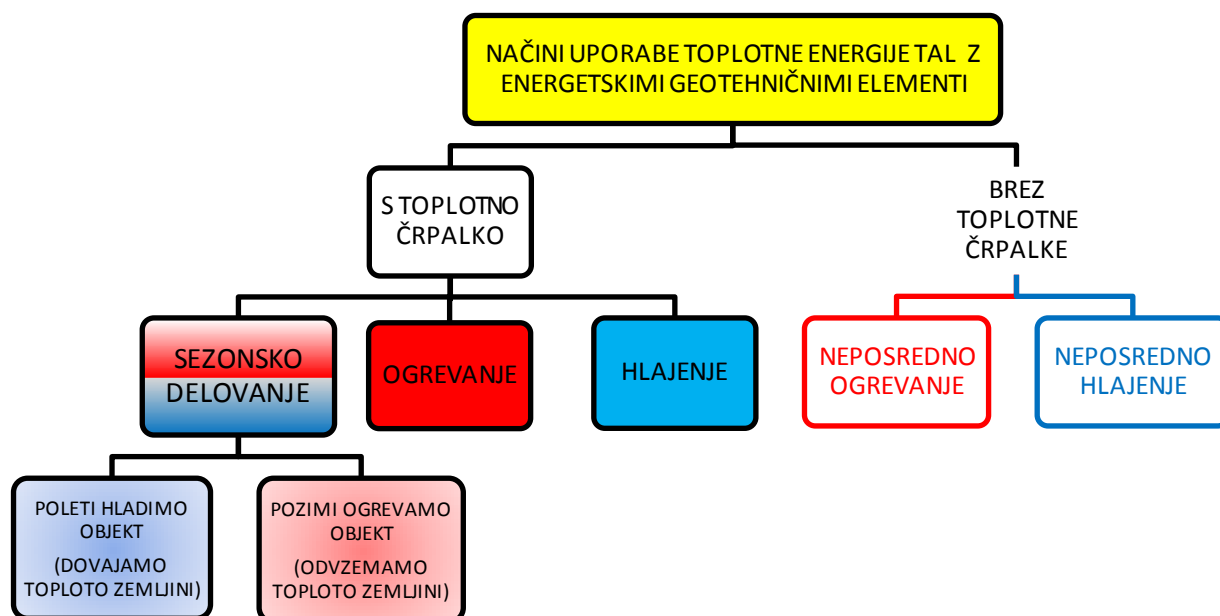
3.3 Tehnologija uporabe TET

A) Načini uporabe

Načeloma sta možna dva načina uporabe toplotne energije tal, in sicer uporaba samo za ogrevanje ali samo za hlajenje. V prvem primeru z energetskimi geotehničnimi ter drugimi elementi absorbiramo toplotno energijo tal, v drugem pa vračamo toploto zemljini. Z ekološkega vidika in tudi z ekonomskega vidika samo ogrevanje ali samo hlajenje ni primerno in čez čas tudi ni sprejemljivo oziroma zaželeno, saj lahko privede do zmrzovanja tal.

Primernejša in sprejemljivejša uporaba tehnologije absorpcije toplotne energije tal z energetskimi geotehničnimi ter drugimi elementi je sezonsko delovanje. Toplotno energijo tal uporabljamo ogrevanje objekta pozimi ter hlajenje poleti.

Ker sezonsko delovanje vsebuje cikel ogrevanja objekta oziroma odvzemanja toplote zemljini in hlajenja objekta oziroma dovajanja toplote zemljini in ker je takšno delovanje bolj primerno in sprejemljivo, je v nadaljevanju opisan samo ta način uporabe TET.



Slika 6: Shematski prikaz možnih načinov uporabe TET z energetskimi geotehničnimi elementi

Princip delovanja tehnologije absorpcije toplotne energije tal z energetskimi geotehničnimi ter drugimi elementi je sledeč. Energetski geotehnični elementi objekta so v tleh. S pomočjo krožne črpalke absorpcijsko tekočino premikamo iz primarnega tokokroga v sekundarni tokokrog ter nazaj. Absorpcijska tekočina kroži v primarnem tokokrogu po zankah absorpcijskih cevi, ki so v fazi novogradnje objekta vgrajene kot dodatek v geotehnične elemente. Zato te geotehnične elemente z absorpcijskimi cevmi in absorpcijsko tekočino imenujemo energetski geotehnični elementi.

V primeru, da za ogrevanje želimo v sekundarnem tokokrogu višjo temperaturo ($T_2 > T_1$) kot je na voljo neposredno z uporabo TET, moramo med primarnim in sekundarnim tokokrogom namestiti tudi toplotno črpalko. Krožna črpalka je tako lahko vgrajena tudi v ohišje toplotne črpalke. Absorpcijska tekočina tako izstopi iz primarnega tokokroga v toplotno črpalko s temperaturo T_1 , iz toplotne črpalke izstopi s temperaturo T_2 . Tako je temperatura T_2 na izstopu iz toplotne črpalke in ob vstopu v sekundarni tokokrog za potrebe ogrevanja objekta (odvzemanje TET) višja od T_1 . Ogrevanje in hlajenje brez pomoči toplotne črpalke se imenuje neposredno ogrevanje in hlajenje.

Sezonsko delovanje

Sezonsko delovanje energetskega sistema pomeni izmenično izkoriščanje TET za ogrevanje objekta v zimskih mesecih, ko zemljini toploto odvezujemo, ter hlajenje objekta v poletnih mesecih, ko toploto zemljini vračamo. Sezonsko delovanje mora omogočati na kratek rok čim manj motene naravne procese v tleh, na dolgi rok pa naj zagotavlja nemoteno delovanje naravnih procesov v tleh in ponovno vzpostavitev kumulativnega ravnovesja. Slednje ohranja biološke in nespremenjene fizikalno-kemične, hidravlične ter mehanske lastnosti zemljin.

Pri temperaturno izpostavljenih energetskih geotehničnih elementih (pilotih), se noga pilota ter glava pilota obnaša drugače: ogrevanje stavbe (ohlajevanje energetskih pilotov) povzroča krčenje pilotov in zato se glava pilota posede, noga pilota pa dvigne. Hlajenje objekta (segrevanje pilotov) pa povzroči obratne premike.

Preglednica 7: Sprememba dolžine energetskega pilota zaradi temperaturne spremembe

ΔT [°C] \ L [cm]	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000
5	0,05	0,06	0,07	0,09	0,12	0,15	0,18
10	0,10	0,12	0,14	0,18	0,24	0,30	0,36
15	0,14	0,18	0,22	0,27	0,36	0,45	0,54
20	0,19	0,24	0,29	0,36	0,48	0,60	0,72

$$\Delta L = \alpha_T * \Delta T * L, \quad (3)$$

kjer je

ΔL ...raztezek oziroma sprememba dolžine (raztezek ali skrčjek) energetskega AB pilota

α_T ...specifični toplotni raztezek materiala [$1/^\circ\text{C}$]

$\alpha_T (BETON) = 12 * 10^{-6} /^\circ\text{C}$

ΔT ...sprememba temperature [$^\circ\text{C}$]

Uporaba toplotne energije tal poteka na osnovi pojava termodinamske vztrajnosti zemljine, ki omogoča shranjevanje toplotne energije tal ter njeno uporabo kasneje. Posledično sezonsko delovanje zagotavlja ravnovesje toplote zemljinske energije v temeljnih tleh tekom celotnega leta za potrebe ogrevanja in hlajenja (Adam, Hofinger, 2007).

Tehnološka rešitev leži v reverzibilni toplotni črpalki, ki omogoča ogrevanje in hlajenje. Kot smo že omenili, toplotna črpalka povezuje primarni ter sekundarni tokokrog in disipira odvečno toploto preko absorpcijske tekočine v okoliško zemljino. Pri tem absorpcijske tekočine ne izlivamo iz sistema. Celotni primarni tokokrog je tekom svoje življenjske dobe zaprt sistem.

Zimski cikel - ogrevanje objekta oziroma odvzemanje toplote zemljini:

Primerno izkoriščanje toplotne energije tal za ogrevanje objekta pomeni znižati temperaturo v lokalnem območju iz $10-15^\circ\text{C}$ na $5-10^\circ\text{C}$. Prekomerno odvzemanje toplote zemljini pa že povzroča tvorjenje ledenih leč oziroma zmrzovanje zemljine. Absorpcijska tekočina v absorpcijskih ceveh je sicer zmrzljivo odporna. Najbolj občutljive za zmrzovanje so glinice in zaglinjeni peski. Lokalna zamrznitev zemljine ne vpliva na mehansko odpornost energetskih geotehničnih elementov. Pri temeljnih ploščah, težnostnih, podpornih in opornih zidovih pa lahko povzroči premike in razpoke. Ob večkratnem zamrzovanju in taljenju pa se objekti lahko dodatno posedejo. Dosedanje izkušnje so pokazale (Brandl, 2006), da naj v neposredni bližini energetskih geotehničnih elementov vrednost temperature zemljine ne pade pod 2°C .

Poletni cikel - hlajenje objekta oziroma vračanje toplote zemljini:

Toplotno energijo tal uporabljamo za hlajenje objekta, to storimo z zračnim hlajenjem ali vodnim hladilnim sistemom, ki je lahko vgrajen v vertikalni (stene) in/ali horizontalni (tla, strop) konstrukcijski sklop (Hofinger, Adam, 2007).

S hlajenjem objekta vračamo toploto zemljini. Poletni cikel je za energetske geotehnične elemente manj kritičen v primerjavi z zimskim ciklom, tudi ko govorimo o prekomernem hlajenju objekta. Vsekakor pa, kot smo že omenili takšno delovanje ni niti primerno niti dopustno, predvsem z vidika podtalne vode in mikroorganizmov, ki bivajo v tleh. Brandl (2006) ugotavlja, da zvišanje temperature tal tako povzroča rahlo zmanjšanje efektivnih napetosti in s tem manjšo strižno trdnost zemljine. Poleg tega se lahko zaradi krčenja zemljine pojavijo dodatni posedki.

Neposredno ogrevanje

Ponekod je možno toploto zemljinske energije uporabiti tudi neposredno, brez uporabe toplotne črpalke, ki bi morala dvigniti vrednost temperature na uporabniku željeno vrednost temperature. Neposredno ogrevanje tako lahko uporabimo na primer za preprečitev zamrzovanja voziščnih konstrukcij na mostovih, uvoznih in izvoznih rampah, pločnikih, železniških peronih.

Neposredno hlajenje

Absorpcijska tekočina, ki potuje po absorpcijskih cevih zankah v energetskih geotehničnih elementih v primarnem tokokrogu, se pretaka skozi hladilne sisteme v sekundarnem tokokrogu objekta (na primer v stenah, kakor pri hlajenju s toplotno črpalko). Neposredno hlajenje poteka na enak način kakor neposredno ogrevanje. Možna količina pridobljene toplote energije tal je v kombinaciji le s krožno črpalko, ki za svoje delovanje porablja električno energijo, tako rekoč brezplačen način hlajenja. Za delovanje krožne črpalke porabimo približno 1 kWh električne energije, pridobimo pa približno 50 kWh hladilne energije, brez klimatske naprave (Brandl, 2006).

B) Primerno delovanje

Celoten energetski sistem s tehnologijo absorpcije toplotne energije tal z energetskimi geotehničnimi in drugimi elementi mora primerno delovati.

Energetska bilanca je najbolj optimalna, če pozimi objekt ogrevamo, tj. izkoriščamo toplotno energijo tal, poleti pa ga hladimo, tj. dovajamo toploto zemljini. V tem primeru je bolje, če je zemljina manj prepustna ter ima nižji hidravlični gradient. Prav tako je pomembna temperatura, in sicer manjša kot je razlika med temperaturo v tleh in želeno temperaturo za uporabo, višje je letno grelno število (SPF) ter posledično tudi učinkovitost celotnega energetskega sistema. Prav s tem namenom je potrebno narediti podrobne geotehnične raziskave za optimizacijo absorpcijskega sistema za izkoriščanje toplote zemljinske energije in/ali dovajanje toplote v temeljna tla.

Nihanje temperature v tleh zaradi izkoriščanja toplotne energije tal nima negativnih učinkov na temeljna tla, če le vrednosti temperature v tleh ne znižamo manj kot na +2 °C. Ob neprimerni uporabi energetskih geotehničnih elementov lahko pride do padca vrednosti temperature v tleh na 0 °C ali celo manj. Temu se je potrebno izogniti, saj cikli zamrzovanja in taljenja negativno vplivajo na nosilnost temeljev.

Zamrzovanju se izognemo, če za absorpcijsko tekočino uporabimo le vodo, brez dodanega glikola (antifriz). Voda namreč zmrzne prej. Tako tudi ne preobremenimo sistema, v smislu prevelikega izkoriščanja toplotne energije tal in zato temperatura ne pada pod ledišče vode. Druga plat tega dejstva, ki je rezultat izkušenj, pa je sledeča. Tak poseg bistveno zniža izkoriščenost ter učinkovitost energetskega sistema. Zato je najbolj primerna absorpcijska tekočina mešanica vode in glikola ter določitev najnižje dovoljene vrednosti operativne temperature v jedru energetskega elementa (pilota, diafragme) na -1 °C.

Če je v tleh prisotna podtalna voda, bo v poletnih mesecih potrebno vračati manj toplote v zemljino, saj počasi tekoča podtalna voda ohranja stalno temperaturo. Nižja vrednost temperature podtalne vode se izraža v zvišani viskoznosti ter nižji prepustnosti⁹. Vrednost $\Delta T \leq 5 \text{ °C}$, ki se pojavi ob odvzemu in vračanju toplote zemljini, ima zanemarljiv vpliv na temeljna tla.

Prekomerno hlajenje podtalne vode povzroči višjo pH vrednost in višjo topnost CO₂ ter nižjo topnost kalcija. Prekomerno ogrevanje podtalne vode pa povzroči znatno znižanje topnosti kisika, kar pomeni, da voda ni več pitna. Temperatura je tudi najpomembnejši okoljski parameter za mikroorganizme in podtalno vodo. Mnogi mikroorganizmi lahko živijo le v natanko določenem temperaturnem območju, zato na primer nekatere pomembne aktivnosti mikroorganizmov znatno zmanjšajo pri temperaturi pod 10 °C.

Če je v tleh dovolj toplote, se lahko poslužujemo tudi intervalnega izkoriščanja toplote zemljinske energije za ogrevanje in hlajenje. To pomeni, da en ali dva dni toploto zemljinske energije izrabljamo, nato pa en dan tega ne počnemo. V tem primeru je potrebno energetske geotehnične elemente primerno toplotno izolirati, da preprečimo toplotne izgube pozimi ter prekomerno hlajenje poleti. Temperaturne spremembe v neposredni bližini energetskih geotehničnih elementov nimajo negativnega vpliva na nosilnost ter deformacije, vendar le ob zgoraj navedenem primernem delovanju. Grobozrnate zemljine so manj občutljive od drobnozrnatih (gline, melj). Temperaturno občutljivost pa narekujejo (in zvišujejo) organske primesi.

3.4 Dodatki nosilnim geotehničnim elementom, da postanejo energetski geotehnični elementi

Rezultat združitve geotehničnih ter drugih, z zemljino neposredno obdanih elementov s tremi bistvenimi dodatki so energetski geotehnični in drugi elementi (npr. mestna kanalizacija). Z njimi lahko absorbiramo toplotno energijo tal, ki se zaradi Sončevega obsevanja akumulira v zemljini.

⁹ prepustnost zemljine = hidravlična prevodnost (za zasičene zemljine)

Gradnja novega¹⁰ objekta vsebuje tudi temeljenje, ki ga lahko v fazi novogradnje modificiramo v energetska temeljenje. Dodatki drugim elementom, ki so neposredno obdani z zemljino, so le primerno spremenjena izvedenka enakih treh bistvenih dodatkov temeljem.

1) Absorpcijske cevi

Prvi bistven dodatek so absorpcijske cevi, ki so izdelane iz HDPE¹¹. Gre za najenostavnejši sintetični polimer, ki je sestavljen iz ponavljajočih se -CH₂ enot. HDPE izdelki so označeni z oznako:

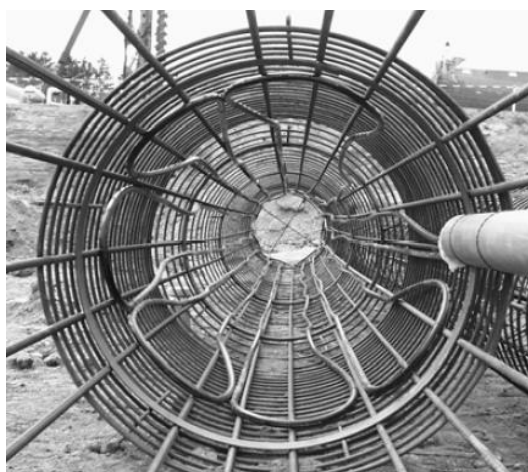


Slika (privzeta) 1: Oznaka HDPE izdelkov (Luzmin ascerner, 2012)

Plastične absorpcijske cevi so navadno premera 25 mm s pripadajočo debelino stene 2,3 mm. Med proizvajalci cevi se mere tudi razlikujejo. Notranja stran stene absorpcijske cevi je hrapava. Absorpcijske cevi so v obliki dolgih U-zank pritrjene na armaturo AB elementov in tako po vgradnji betonske mešanice postanejo del konstrukcijskega elementa. Absorpcijske cevi so spojene z združevalno-razdelilno napravo ter preko nje s toplotno črpalko.



Slika 7: HDPE absorpcijske cevi



Slika (privzeta) 17: Jeklen armaturni koš ter 6 U-zank absorpcijskih cevi iz HDPE (Brandl, 2006)

¹⁰ Gradnja novega objekta je izvedba del, s katerimi se zgradi nov objekt (ZGO-1-UPB1)

¹¹ HDPE = high-density polyethylene = polietilen z visoko gostoto



Slika (privzeta) 18: Armaturni koš z absorpcijskimi cevmi za izdelavo energetske diafragme (Adam, 2010)

Med izvedbo energetskih elementov (diafragme, pilotne stene, temeljne plošče, podporni in oporni zidovi, pokriti vkopi, piloti) je potrebno posebno pozornost nameniti kakovosti izvedbe. Sama izvedba energetskega elementa je odvisna od načina gradnje elementa, kar velja predvsem pri izvedbi pilotov ter predorov.

Izvedba zank absorpcijskih cevi in njihovo pritrjevanje oziroma razporejanje:

Glavno pozornost je potrebno posvetiti pritrjevanju zank absorpcijskih cevi na armaturni koš, v primeru ko so temelji piloti ali stene diafragme. To lahko storimo v tovarni, če na gradbišču ni dovolj prostora, sicer največkrat pritrjevanje poteka na gradbišču. Opremljanje armaturnega koša energetskega pilota ali energetske stene diafragme z absorpcijskimi cevmi v obliki zank zahteva sledeča opravila:

- i) varovanje vseh delov energetskega geotehničnega elementa pred mehanskimi poškodbami, še posebno pri strojnem rezanju in nezglajenih zvarih armaturnega koša ter stremen.
- ii) varovanje pred toplotnimi poškodbami med varjenjem armature.
- iii) armaturni koš je potrebno popolnoma natančno locirati v pilotni izkop.
- iv) izvedba togih armaturnih košev za globoko temeljenje se izvede na primer z varjenjem spiralnih stremen na vertikalne armaturne palice v pilotih in diafragmah.
- v) ob dvigu dolgih armaturnih košev, ki so že opremljeni z absorpcijskimi cevmi nikakor ne sme priti do kakršnih koli poškodb.
- vi) ob vgrajevanju betona s kontraktorskimi cevmi¹² je potrebno paziti na nepotrebne udarce kontraktorske cevi ob absorpcijske cevi.
- vii) pred končnim pritrjevanjem absorpcijskih cevi na armaturni koš pilota je potrebno vizualno preveriti pravilne končne položaje absorpcijskih cevi. S tem izločimo morebitne poškodbe na konici pilota; zanke absorpcijskih cevi morajo biti zaključene približno pol metra nad spodnjo koto zadnjega stremena.
- viii) zelo dolge armaturne koše je bolje vijačiti kot variti. Ko se varjenju ne moremo izogniti, je potrebno absorpcijske cevi ustrezno zaščititi z varivno-zaščitnimi materiali.

Absorpcijske cevi so med vsako fazo gradnje pod tlakom, zato da lahko sproti in takoj odkrivamo lokalne poškodbe cevi, če do njih pride. Združevalno-razdelilna enota absorpcijskih cevi naj bo opremljena tudi z optičnimi merilci za nadaljnje spremljanje, primerne in pravilnega delovanja (kroženja) absorpcijske tekočine v sistemu.

¹² Kontraktorska cev: cev, ki je v fazi betoniranja potopljena v sveži beton (Jerič, 2010).

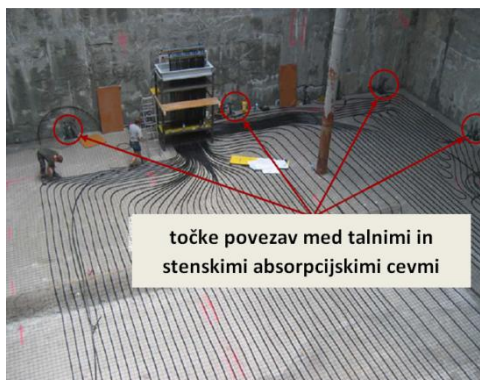


Slika 8: Pritrjevanje zank absorpcijskih cevi je izvedeno s plastičnimi sponami ter se konča pol metra pred koncem armaturnega koša

Opremljanje temeljne plošče naj poteka po sledečem postopku:

- i) najprej se na tla vgradi podložni beton.
- ii) namestimo žičnato mrežo za zagotavljanje pritrditve absorpcijske cevi.
- iii) vgradimo absorpcijske cevi, ki morajo biti vidno ter trajno označene.
- iv) vgradimo še drugi sloj betona – nadkritje oziroma zaščitni sloj za zaščito absorpcijske cevi.
- v) namestimo armaturne mreže ter vgradimo beton za temeljno ploščo.

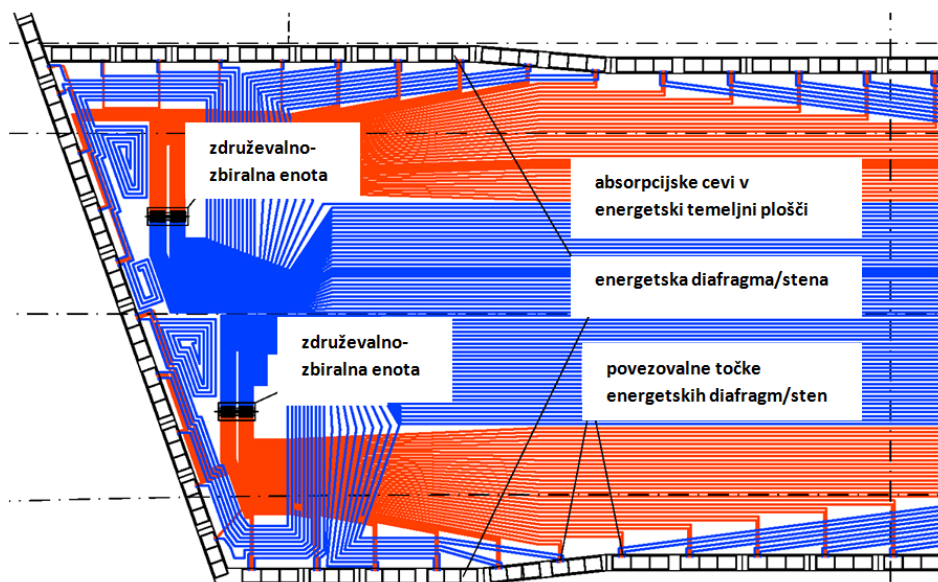
Pri temeljnih ploščah je potrebno zagotoviti primeren naklon, da absorpcijska tekočina ne zastaja na nobenem koncu temeljne plošče. Poleg tega je potrebno pravilno razporediti absorpcijske cevi po površini plošče, ki mora imeti nad cevmi tudi zadostno debelino nadkritja, da ne pride do poškodb ob nadaljnji gradnji.



Slika (privzeta) 19: Razporeditev absorpcijskih cevi v energetski temeljni plošči – primer 1 (Adam, 2010)

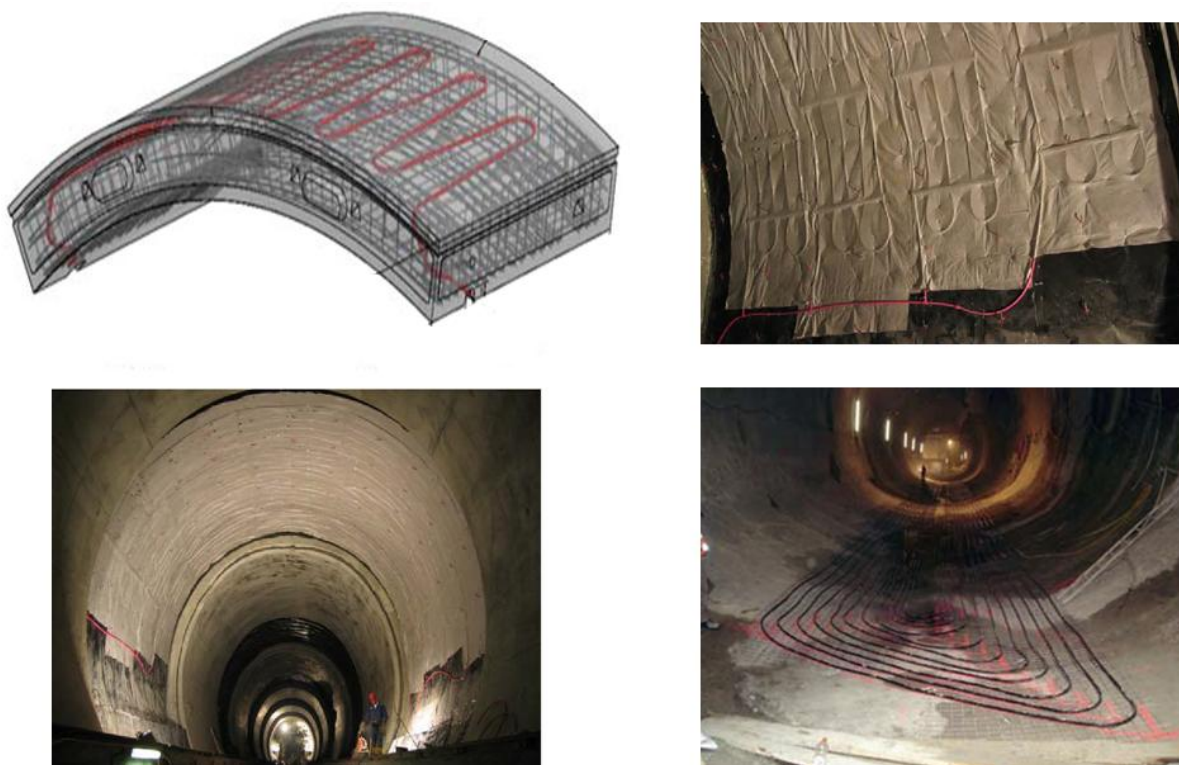


Slika (privzeta) 20: Razporeditev absorpcijskih cevi v energetski temeljni plošči – primer 2 (Adam et al., 2011)

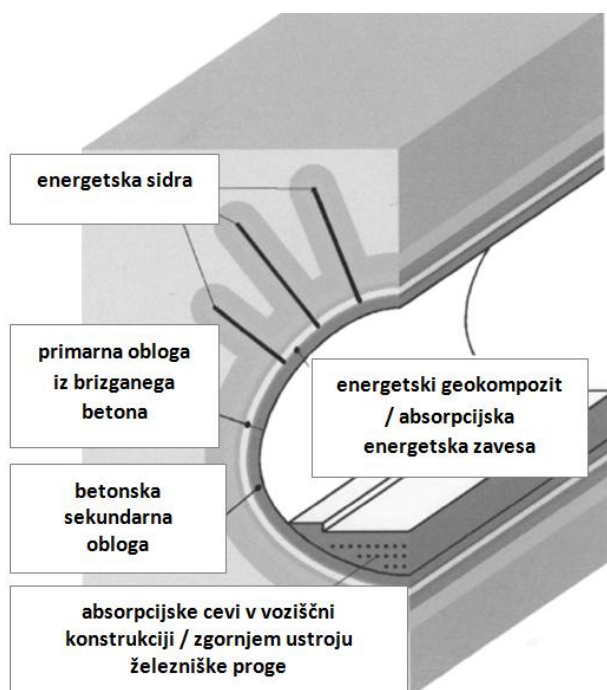


Slika (privzeta) 21: Razporeditev absorpcijskih cevi v energetski temeljni plošči – primer 3 (Adam, 2010)

V energetskih predorih se uporabljata dve metodi nameščanja absorpcijskih cevi. Prva metoda so prefabricirani betonski elementi za oblogo z že vgrajenimi absorpcijskimi cevi. Druga metoda za predorske cevi je modificiran, prilagojen sistem absorpcijskih cevi, kot jih poznamo tudi v energetskih pilotih (zgolj s plastičnimi trakovi pritrjene absorpcijske cevi na armaturo). Gre za umestitev absorpcijskega geokompozita, ki se vstavi med primarno in sekundarno oblogo predorske cevi. Omogoča, da so zanke dodatno zaščitene in odporne. Prav tako lahko absorpcijo zagotavljamo z geotehničnimi sidri, ki vsebujejo zanko z absorpcijsko cevjo.



Slika (privzeta) 22: Primeri opremljanja predorske obloge za energetski predor (Adam, 2010; Hofinger, Adam, 2007; Adam, Markiewicz, 2010)



Slika (privzeta) 23: Shema sestavnih delov energetskega predora (Brandl, 2006)

Tehnologije za energetske predore lahko uporabimo za absorpcijo toplotne energije tal (če niso pregloboko) ter geotermalne energije. Oboje storimo preko predorske obloge, geotehničnih sider ter voziščne konstrukcije v predoru. Predori zaradi svoje velikosti lahko odvzamejo in vrnejo največ vhodnega energenta zemljini, bodisi v obliki TET ali pa v obliki geotermalne energije.

2) Spojni kroglično-navojni ventil z metuljčkom in varovalno pokrivno matico je nameščen na začetku in na koncu absorpcijske cevi, ki gleda iz energetskih pilotov in energetskih sten, diafragm. Varovalna pokrivna matica varuje pred poškodbami priključne navoje, preko katerih se absorpcijske cevi priključijo na cevi, ki vodijo do združevalno-razdelilne naprave. Kroglični ventil z metuljčkom pa služi za preverjanje tesnenja in odkrivanje poškodb cevi med gradnjo. V absorpcijskih ceveh je med izgradnjo ter med obratovanjem tlak 8 barov. Z vidika celostnega projektiranja energetskih elementov so priporočljivi, saj odpravljajo možnost nekaterih naključnih poškodb.



Slika 9: Spojni kroglično-navojni ventil (levo) z metuljčkom in (levo in desno) varovalno pokrivno matico

3) Absorpcijska tekočina (transportni medij)

Medij, s katerim krožno prenašamo toploto iz zemljine preko betonske mase (betonskega temelja) in absorpcijske cevi v toplotno črpalko, je lahko voda, mešanica vode z glikolom (antifrizom¹³) ali pa

¹³ antifriz -a m (i) sredstvo proti zmrzovanju hladilne vode, zlasti pri avtomobilskih motorjih; Antifreeze (SSKJ)

slanica (solna raztopina). Empirično ugotovljeno se je izkazalo, da je najbolj primeren transportni medij mešanica vode in glikola z dodatki za preprečitev korozije, ki se lahko pojavi na ventilih, na združevalno-razdelilnih enotah in toplotnih črpalkah.

4) Naprave za monitoring

Ker je celotni energetski sistem kompleksen večparametrski sistem, ga želimo primerno spremljati, da bo primerno deloval. Z ustreznimi merilci tako spremljamo predvsem pretok absorpcijske tekočine v absorpcijskih ceveh, spremljanje vrednosti temperature v zemljini ter tik ob energetskih elementih.

Primer merilcev v energetskem sistemu:

- a) merilni lističi za zaznavo tlačnih in nateznih ter temperaturnih napetosti na obodu geotehničnih absorpcijskih elementov
- b) verižni ekstenzometri za spremljanje vzdolžnih deformacij geotehničnih absorpcijskih elementov
- c) merilci temperature na obodu geotehničnih absorpcijskih elementov
- d) merilci temperature na vhodu ter izstopu absorpcijske tekočine v primarnem in tudi v sekundarnem tokokrogu.

Konci absorpcijskih cevi v združevalno-razdelilni enoti naj bodo opremljeni z optičnimi tokomeri za meritve kroženja absorpcijske tekočine. Meritve torej služijo za nadzor primerne delovanja celotnega sistema, optimizacijo, zagotavljanje kakovosti ter za potrebe vzdrževanja. Poleg navedenega pa tudi za načrtovanje novih energetskih sistemov ter za nadaljnje raziskave.

Merjenje tlaka:

Na začetku (vhodni tok) in na koncu (izhodni tok) zanke absorpcijske cevi enega energetskega pilota, diafragme ali drugega energetskega elementa je nameščen spojni kroglično-navojni ventil z metuljčkom in varovalno pokrivno matico. V absorpcijskih ceveh je med izgradnjo ter med obratovanjem tlak v vrednosti 8 barov, ki se redno preverja z začasno pritrjenim manometrom. Preverjanje tlaka v absorpcijskih ceveh je pomembno za odkrivanje morebitnih poškodb na absorpcijskih ceveh.



Slika (privzeta) 24: Primer barometra (Adam, 2007)

Združevalno-razdelilna enota ni bistven dodatek geotehničnega elementa, da postane energetski geotehnični element, je pa del primarnega tokokroga, ki ga tudi zaključuje. Od tod naprej so cevi napeljane v toplotno črpalko. Združevalno-razdelilna enota služi združevanju absorpcijskih cevi iz večih energetskih elementov na eni strani ter razporejanju absorpcijskih cevi proti toplotni črpalki na drugi strani. Združevalno-razdelilnih enot je lahko tudi več - odvisno od velikosti objekta ter števila in razporeditve energetskih geotehničnih elementov.



Slika (privzeta) 25: Združevalno-razdelilna enota (Adam, 2010)

Napake

Dosedanje izkušnje kažejo, da načrtovanje zajema 2% poškodovanih energetskih geotehničnih elementov med izvedbo, kar pomeni 98% zanesljivost izvedbe. Cilj vsakega projekta je, da so vsi energetski elementi popolnoma brez napak. Najpogostejši vzrok napak sta bližnja zemeljska dela, ki poškodujejo glave energetskih pilotov in absorpcijskih cevi.

Pri kateri koli tehnologiji izvedbe pilotov je potrebno posebno pozornost nameniti zagotavljanju 100% nepoškodovanosti absorpcijskih cevi. Poškodbe se največkrat zgodijo pri varjenju dodatnih stremen na armaturni koš, dvigovanju armaturnega koša, vstavljanju le-tega v vrtino. Armaturni koš se lahko vstavi v svežo betonsko mešanico ali pa se beton vgradi naknadno. Največkrat je možno poškodobe absorpcijskih cevi preprečiti s primerno togostjo armaturnega koša, ki ima spiralno privarjena stremena na vertikalne armaturne palice.

Primer z dunajskega gradbišča projekta Erste campus govori, da izvajalec lahko zagotovi 100% zanesljivost izvedenih del. Izdelali so 440 energetskih pilotov brez napak (Kern, 2011).

Po koncu izvedbenih geotehničnih del energetskih elementov, ki so neposredno obdani z zemljino, je potrebno počakati na konec izvedbe sekundarnega kroga. Tedaj se celotni energetski sistem preizkusi. V tej fazi morajo sodelovati lastnik objekta, upravitelj objekta, strojni inženir ter gradbeni inženir, da se lahko sistem tudi optimizira.

3.5 Analitična ocena o absorpcijski zmogljivosti energetskih geotehničnih elementov

Primerno zasnovan in celotno oblikovan objekt bi moral danes vsebovati tudi primerno načrtovane energetske geotehnične elemente. To poglavje diplomske naloge, kakor celotna diplomska naloga, prikazuje osnovne koncepte tehnologije absorpcije toplotne energije tal z energetskimi geotehničnimi ter drugimi elementi, kamor sodi tudi analitična ocena o absorpcijski zmogljivosti energetskih geotehničnih elementov.

Zajem toplote energije tal je možen z naslednjimi absorpcijskimi energetskimi geotehničnimi in drugimi gradbenimi elementi, ki so neposredno obdani z zemljino:

- težnosti zidovi
- konzolne stene
- pilotne stene, ki so lahko sestavljene iz prekrivajočih, dotikajočih in razmaknjenih pilotov
- diafragme
- piloti (zabiti oziroma vtisnjeni, uvrtni)
- temeljne plošče
- predori
- pokriti vkopi
- kletne stene
- stene podvozov in podhodov
- mestna kanalizacija

Za splošno študijo upravičenosti in idejno študijo si pomagamo z analitično oceno o absorpcijski zmogljivosti energetskih geotehničnih elementov. Podrobno razlago, na kateri temelji analitična ocena, je opisana v naslednjem poglavju diplomske naloge (Poglavje 3.6). Količina absorbirane toplotne energije tal, ki jo lahko pridobimo znajvečkrat uporabljenimi energetskimi geotehničnimi elementi, je (Brandl, 2006):

- a) energetski pilot s premerom med 0,3 in 0,5 m → 40-60 W na tekoči meter pilota
- b) energetski pilot s premerom večjim ali enakim 0,6 m → 35 W na m² površine v stiku z zemljino
- c) energetske diafragme in energetske pilotne stene (v popolnem stiku z zemljino) → 30 W na m² z zemljino neposredno obdane površine
- d) energetske plošče → 10-30 W na m² z zemljino neposredno obdane površine

Medsebojna razdalja energetskih pilotov načeloma ne sme biti manjša od 2,5 metrov (Kern, 2011). Razpored je odvisen od sledečih, medsebojno vplivnih, parametrov (Brandl, 2006):

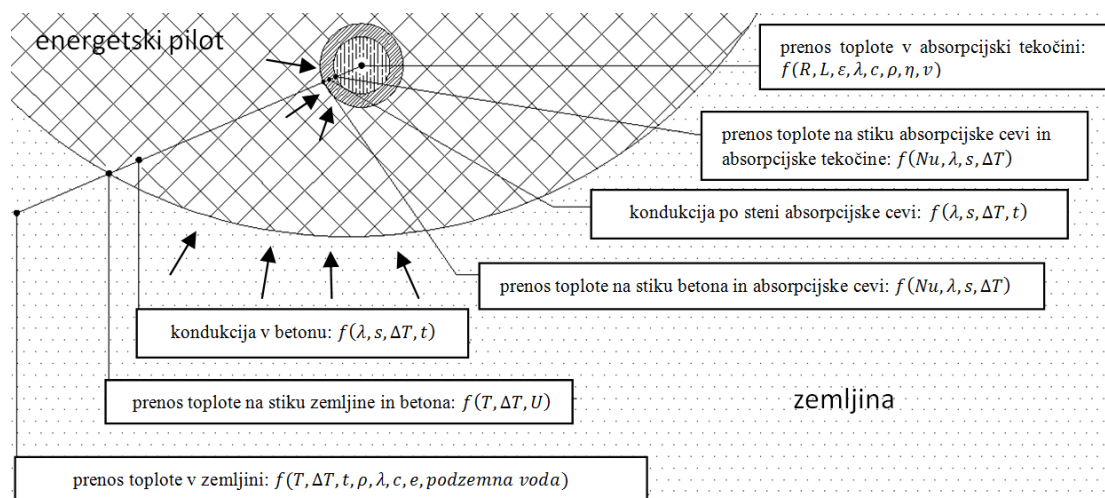
- (a) površina pilota, ki je neposredno obdana z zemljino ter volumen betonskega elementa,
- (b) toplotna prevodnost ter toplotna kapaciteta pilota in zemljine,
- (c) hidrogeološke razmere.

3.6 Teoretično ozadje tehnologije absorpcije toplotne energije tal z energetskimi geotehničnimi in drugimi elementi

Analitična ocena o absorpcijski zmogljivosti največkrat uporabljenih energetskih geotehničnih elementov (energetski pilot, energetska stena, energetska plošča) iz prejšnjega poglavja temelji na znanstvenih ter empiričnih dognanjih, ki jih ta diplomska naloga opisuje v tem poglavju. Tu je predstavljena snov za razumevanje pridobljenih vrednosti absorpcijske zmogljivosti energetskih geotehničnih elementov z analitično oceno ter tudi ugotovitve za numerične simulacije, ki so jih izvajali avstrijski raziskovalci.

3.6.1 Kako se toplotna energija tal prenaša?

TET mora prepotovati pot iz zemljine na obod (največkrat) betonskega energetskega elementa, se po njem prenesti do oboda absorpcijske cevi iz HDPE, se prenesti po steni cevi do prvega stika z absorpcijsko tekočino in se nazadnje znotraj tekočine prenesti na njen celotni volumen. Fizikalno je takšen problem prenosa toplote oziroma toplotna analiza skozi več plasti relativno preprost problem. Matematično pa zelo zahteven. Kot prikazuje slika, je vsak izmed sedmih prenosov toplote odvisen vsaj od treh spremenljivk, kot prikazuje slika na naslednji strani.



Slika (privzet a) 26: Prenos toplote iz zemljine na absorpcijsko tekočino (Brandl, 2006)

Parametri na sliki:

T...	temperatura
t...	čas
ρ ...	gostota zemljine, absorpcijske tekočine
λ ...	toplotna prevodnost zemljine, betona, HDPE, absorpcijske tekočine
c...	toplotna kapaciteta zemljine
e...	količnik por zemljine
U...	toplotna prehodnost
Nu...	Nusseltovo število
R...	upor tekočine v absorpcijski cevi
L...	dolžina absorpcijske cevi
ε ...	debelina laminarne cone
η ...	izkoristek črpalke
v...	hirost absorpcijske tekočine

3.6.2 Toplotne lastnosti zemljin

Toplotna prevodnost zemljine λ [W/mK], toplotna kapaciteta oziroma specifična toplota zemljine c [J/kgK] in gostota zemljine ρ [kg/m³] so temperaturno odvisni parametri, ki jih združuje enačba

$$a = \frac{\lambda}{\rho * c}, \quad (4)$$

kjer je a toplotna difuzivnost oziroma temperaturna prevodnost z mersko enoto [m²/s] in opisuje globino ter hitrost prodiranja temperaturnega vala v tleh.

Toplotna prevodnost (λ) je karakteristična konstanta za dano snov. Opisuje koliko Wattov moči je potrebnih s kondukcijo segrejemo ali ohladimo dano snov, debeline 1 meter, za 1 Kelvin. Zakon za prevajanje toplote:

$$\lambda = \frac{P * L}{S * \Delta T} = \left[\frac{Wm}{m^2 K} \right] = \left[\frac{W}{mK} \right] \quad (5)$$

Na vrednost toplotne prevodnosti zemljine (λ) močno vpliva vlažnost ter gostota zemljine in zato tudi mineraloške komponente ter kemične lastnosti vode v porah zemljine. Nižja temperatura bistveno poviša vrednost λ , kar je očitno na primeru z ledom ter vodo (Brandl, 2006):

$$\lambda_{VODA} = 0,57 \text{ W/mK} \quad \lambda_{LED} = 2,18 \text{ W/mK} \quad \lambda_{ZEMLJINA} = 2,5 \text{ W/mK} \quad \lambda_{KOVINE (JEKLO)} \approx 50 \text{ W/mK}$$

Toplotna kapaciteta oziroma specifična toplota snovi (c) definira količino shranjene energije v snovi na enoto mase in spremembe temperature. Specifična toplota materiala c [J/kgK] pove, za koliko J se

spremeni notranja energija enega kilograma materiala pri spremembi temperature materiala za 1 K. Za beton je toplotna kapaciteta v splošnem odvisna od vrste agregata. Praviloma zadržujejo silikatni agregati večje količine toplote kot apnenčasti (Krauberger, 2008). Toplotna kapaciteta ni odvisna od mikrostrukture zemljine, zato v večini primerov zadošča vrednost, ki jo lahko izračunamo s preprostim izrazom:

$$c = c_{TRDNI\ DELCI} * x_{TRDNI\ DELCI} + c_{VODA} * x_{VODA} + c_{ZRAK} * x_{ZRAK}, \quad (6)$$

kjer je:

x volumski delež:

$$x_{TRDNI\ DELCI} = 1 - n \dots \quad \text{delež trdnih delcev v zemljini,}$$

$$x_{VODA} = n * S \dots \quad \text{delež vode v zemljini,}$$

$$x_{ZRAK} = n * (1 - S) \dots \quad \text{delež z zrakom zapolnjenih por v zemljini,}$$

kjer je:

n ...delež vseh por oziroma poroznost zemljine (višji kot je delež, bolj deformabilna je zemljina),

S ...stopnja zasičenosti por zemljine z vodo.

Če je zemljina kontaminirana z organskimi delci, je enačba toplotne kapacitete zapisana:

$$c = 2,0 * x_{MINERALNI\ TRDNI\ DELCI} + 2,5 * x_{ORGANSKI\ TRDNI\ DELCI} + 4,2 * x_{VODA}, \quad (7)$$

kjer je $x_{MINERALNI\ TRDNI\ DELCI}$...mineralna komponenta

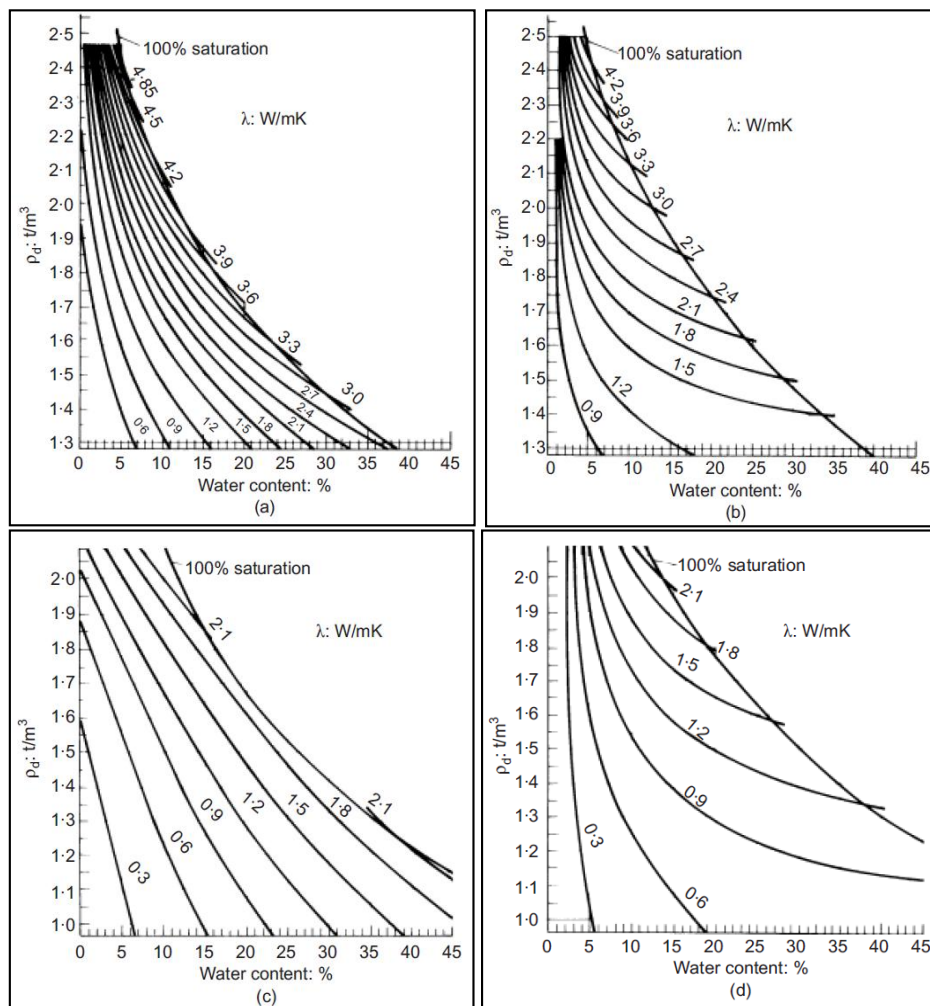
$x_{ORGANSKI\ TRDNI\ DELCI}$...organska komponenta trdnih delcev

(Brandl, 2006).

Toplotna kapaciteta trdnih in tekočih delcev v zemljini je konstantna, specifični volumen zračnih por pa je zanemarljiv.

$$c_{VODA} = 4.186 \text{ J/kgK} \quad c_{LED} = 1.884 \text{ J/kgK} \quad c_{ZEMLJINA} = 800 \text{ J/kgK} \quad c_{BETON} = 900 \text{ J/kgK}$$

Najpomembnejši toplotni parameter zemljin je toplotna prevodnost λ . Za preliminarno načrtovanje objektov (z analitično oceno) ali pa za detajlno načrtovanje že poznanih energetskih elementov v geotehniko, lahko vrednost λ izberemo iz diagramov na spodnji sliki.



Slika (privzeta) 27: Diagrami prikazujejo toplotno prevodnost v odvisnosti od suhe gostote ter vlažnosti za zmrznjene in nezmrznjene zemljine (Jessberger, Jagow-Klaff, 1996): a) zmrznjene grobozrnate zemljine, b) grobozrnate zemljine, c) zmrznjene drobozrnate zemljine, d) drobozrnate zemljine; (Brandl, 2006)

Preglednica 8: Prevod terminov na sliki 27

ANGLESKO	SLOVENSKO	ENOTE
saturation	zasičenost	[%]
water content	vlačnost	[%]
$\rho_d = \text{rho dry}$	suha gostota zemljin	[t/m ³]
λ	toplotna prevodnost	[W/mK]

Za velike, zahtevne objekte oziroma projekte je vrednost λ ter c potrebno določiti laboratorijskimi in/ali terenskimi preiskavami. Terenski preizkus toplotnega odziva se je po izkušnjah raziskovalcev (Brandl, 2006) izkazal za primerne, saj se ga lahko izvede neposredno z energetsko geotehničnim elementom na terenu.

Laboratorijski test, ki se največkrat uporablja za določanje toplotne prevodnosti zemljin, se imenuje »metoda vroče žice«. Poteka tako, da v zemljino vstavimo električno žico, po kateri teče konstanten električni tok, merimo pa naraščanje ter upadanje vrednosti temperature. Primerjalni testi so pokazali, da je toplotna prevodnost med segrevanjem zemljine višja kot pri njenem ohlajevanju (Brandl, 2006). Test je standardiziran ter naveden v dokumentu ISO 8894-2:2007 (Refractory materials -- Determination of thermal conductivity -- Part 2: Hot-wire method (parallel) ter ISO 8894-1:2010

(Refractory materials -- Determination of thermal conductivity -- Part 1: Hot-wire methods (cross-array and resistance thermometer) (ISO, 2012).

3.6.3 Prenos toplote v zemljinah

Že slika Slika (privzeta) 27 prikazuje kompleksnost prenosa TET samo v zemljini. To poglavje diplomske naloge prikaže zahtevnost prenosa toplote samo v zemljini še z matematičnega vidika. Zemljina je večfazni sistem, sestavljen iz trdnih delcev in vode ter zraka v porah. Toplota se tako v relativno kompleksnem sestavu lahko prenaša na sledeče načine:

- (i) s kondukcijo,
- (ii) s konvekcijo,
- (iii) z latentno toploto,
- (iv) z radiacijo,
- (v) ionsko izmenjavo
- (vi) z zamrzovanjem in taljenjem.

Načini prenosa se v naravi navadno pojavijo v medsebojnih kombinacijah. H prenosu toplote v zemljini največ prispevajo kondukcija, konvekcija, nekaj maleg latentna toplota in zanemarljiv odstotek tudi radiacija.

Skupna gostota toplotnega toka v zemljini znaša

$$q_{\text{skupaj}} = q_{\text{kondukcija}} + q_{\text{konvekcija vode}} + q_{\text{konvekcija zraka}} + q_{\text{latentna toplota}} \quad (8)$$

Prenos toplote v nezamrznjenih zemljinah poteka v največji meri s kondukcijo in s konvekcijo. Slednja je možna tudi, če delež vode v zemljini prehaja iz enega v druga fazna stanja, na primer med izhlapevanjem in kondenzacijo, kar se manifestira z latentno toploto. Radiacija v zemljinah ima navadno zanemarljiv delež pri prenosu toplote. V peskih je prispevek h prenosu toplote manjši od enega odstotka (Brandl, 2006). Zamrzovanju in taljenju tal se s tehnologijo absorpcije toplotne energije tal z energetskimi geotehničnimi elementi izogibamo, čeprav bi lahko oba procesa prispevala k boljšemu prenosu toplote v zemljinah.

Konvekcija se v zemljinem sestavu pojavi, ko se prenaša toplota z vodo in z zrakom, torej med termodinamskimi sistemi, ki se premikajo relativno drug na drugega. V zemljini lahko torej razlikujemo konveksijski prenos toplote zaradi vode oziroma v vodi ter konveksijski prenos toplote v zračnih porah. Gostota toplotnega toka zaradi koveksijskega prenosa toplote z vodo je:

$$q_{\text{konvekcija vode}} = c_{\text{voda}} * \rho_{\text{voda}} * \vec{v}_{\text{voda}} * (T - T'), \quad (9)$$

kjer je:

$$\begin{aligned} c_{\text{voda}} \dots & \text{ toplotna kapaciteta vode } c_{\text{voda}} = 4.200 \text{ J/kgK} \\ \rho_{\text{voda}} \dots & \text{ gostota vode } \rho_{\text{voda}} = 1000 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Gostota toplotnega toka zaradi koveksijskega prenosa toplote z zrakom je:

$$q_{\text{konvekcija zraka}} = c_{\text{zrak}} * \rho_{\text{zrak}} * \vec{v}_{\text{zrak}} * (T - T'), \quad (10)$$

$$c_{\text{zrak}} \dots \text{ toplotna kapaciteta zraka } c_{\text{zrak}} = 1.000 \text{ J/kgK}$$

Gostota toplotnega toka zaradi latentne toplote je:

$$q_{\text{latentna toplota}} = L_o * \rho_{\text{voda}} * \vec{v}_{\text{zrak}}, \quad (11)$$

kjer je:

Lo...latentno izhlapevanje pri temperaturi T'.

Gostota toplotnega toka zaradi kondukcijskega prenosa toplote med trdnimi delci zemljinskega sestava je opisan z izrazom:

$$q_{\text{kondukcija}} = \frac{Q}{A \cdot t} = \frac{\dot{Q}}{A} = -\lambda * \frac{\partial T}{\partial n} \quad (12)$$

Izraz opisuje t. i. Fourier-jev zakon o prenosu toplote s kondukcijo. Toplotni tok Q skozi poljubno površino A, v času t, je gostota toplotnega toka $q_{\text{kondukcija}}$.

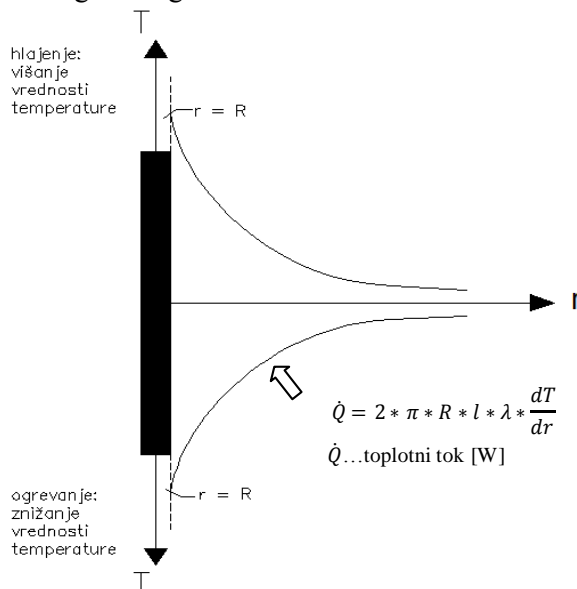
$\frac{\partial T}{\partial n}$ je temperaturni gradient v smeri n.

$$\frac{\partial T}{\partial n} = \frac{\partial T}{\partial x} * \vec{e}_x + \frac{\partial T}{\partial y} * \vec{e}_y + \frac{\partial T}{\partial z} * \vec{e}_z = \text{grad } T \quad (13)$$

Če sta λ in $\text{grad } T$ konstantna in pravokotna na izbrano površino A, lahko toplotni tok za energetski pilot, z radijem R ter dolžino l, zapišemo v obliki (Brandl, 2006):

$$\dot{Q} = 2 * \pi * R * l * \lambda * \frac{dT}{dr} \quad [\text{W}] \quad (14)$$

To je tudi osnovna, sicer malce konservativna, enačba na kateri temeljijo številke za analitična oceno absorpcijske zmogljivosti energetskih geotehničnih elementov. Enako lahko prikažemo tudi s sliko.



Slika (privzeta) 28: Shematični prikaz temperaturne krivulje v zemljini okoli energetskega pilota, ob predpostavki konstantnega toplotnega toka

Sprememba temperature je posledica spremembe gostote toplotnega toka v enakem času, kar vodi do spremembe v notranji energiji:

$$-\rho * c * \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} + \frac{\partial q}{\partial z} \quad (15)$$

Diferencialno enačbo (x) lahko z upoštevanjem prostorskih koordinat zapišemo na sledeč način:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a * \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = a * \text{div} (\text{grad } T) = a * \Delta T \quad (16)$$



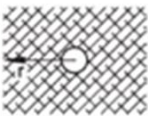
V cilindričnih koordinatah:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a * \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} * \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} * \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (17)$$

V sferičnih koordinatah:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a * \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2}{r} * \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} * \frac{\partial^2 T}{\partial \psi^2} + \frac{\cos \psi}{r^2 * \sin \psi} * \frac{\partial T}{\partial \psi} + \frac{1}{r^2 * \sin \psi} * \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} \right) \quad (18)$$

Fizikalni problem prenosa toplote v zemljinah smo matematično opisali z diferencialnimi enačbami, ki so rešljive, če definiramo primerne začetne in robne pogoje. Nas zanima absorpcijska zmogljivost posameznega energetskega geotehničnega elementa. Omenili smo že, da imajo lahko energetski geotehnični elementi zelo raznoliko geometrijo. S 3 osnovnimi primeri zaobjamemo večino najpogosteje uporabljenih oblik geotehničnih elementov (energetski pilot, energetska stena, energetska plošča, energetska predorska cev). Z numeričnimi in semi-analitičnimi rešitvami je bilo preverjeno, kateri izmed osnovnih treh primerov lahko absorbira iz zemljine največ toplotne energije tal (Brandl, 2006).

primer	shema	diferencialna enačba
1: skoraj neskončno telo		$\frac{\partial^2}{\partial x^2} T(x, t) = \frac{1}{a} * \frac{\partial}{\partial t} T(x, t)$
2: neskončno telo s cilindrično odprtino		$\frac{\partial^2}{\partial r^2} T(r, t) + \frac{1}{r} * \frac{\partial}{\partial r} T(r, t) = \frac{1}{a} * \frac{\partial}{\partial t} T(r, t)$
3: neskončno telo s sferično odprtino		$\frac{\partial}{\partial r^2} T(r, t) + \frac{2}{r} * \frac{\partial}{\partial r} T(r, t) = \frac{1}{a} * \frac{\partial}{\partial t} \theta(r, t)$

Slika (privzeta) 29: Osnovni trije primeri

Analitična rešitev obstaja le za primer 1, ob upoštevanju preprostih robnih pogojev. Primerjava treh osnovnih primerov je dala podatek o znantni razliki v hitrosti penetracije toplote v zemljino, zaradi temperaturnih sprememb na površini tal. Večdimenzionalno prevajanje toplote posledično pomeni bolj učinkoviti prenos toplote. Zaključimo lahko, da sferično oblikovani energetski elementi absorbirajo največ TET na enoto površine, saj imajo največjo stično površino z zemljino. Zato so ti energetski elementi (energetski piloti in predori) najučinkovitejši, medtem ko so ploskovni energetski geotehnični elementi (temeljne plošče in stene) manj učinkoviti, saj lahko absorbirajo manj TET.

Prenos toplote v zemljini je torej opisan. S tem smo tudi utemeljili analitično oceno absorpcijske zmogljivosti posameznega energetskega geotehničnega elementa. Ostane še nadaljevanje, in sicer prenos toplote iz zemljine do absorpcijske tekočine, s katero končni uporabnik dobi želeno energijo za uporabo.

3.6.4 Prenos toplote iz zemljine na absorpcijsko tekočino

Toplotna analiza problema prenosa toplote iz stene betonskega energetskega geotehničnega elementa je zopet matematično velik izziv, ki ga občutno poenostavimo s sledečo predpostavko. Stena absorpcijske cevi naj ima enako vrednost temperature kot okoliški beton oziroma zemljina. Prenos toplotne energije tal je tako odvisen zgolj od vrste toka medija prenosa (absorpcijske tekočine), ki je lahko le laminaren ali pa turbulenten (Brandl, 2006).

Preglednica 9: Razlike med laminarnim in turbulentnim tokom

LAMINAREN TOK	TURBULENTEN TOK
srednja hitrost [m/s]: $v_{srednja} = 0,5 v_{max}$	srednja hitrost [m/s]: $v_{srednja} = (\text{od } 0,8 \text{ do } 0,85) * v_{max}$
$Re \leq 2.300$	$Re > 10^4$ (poplna turbulenca)

$$Re = \frac{v*d}{\nu} \quad (19)$$

Re... Reynoldsovo število definira mejo med laminarnim in turbulentnim tokom

v... srednja hitrost [m/s]

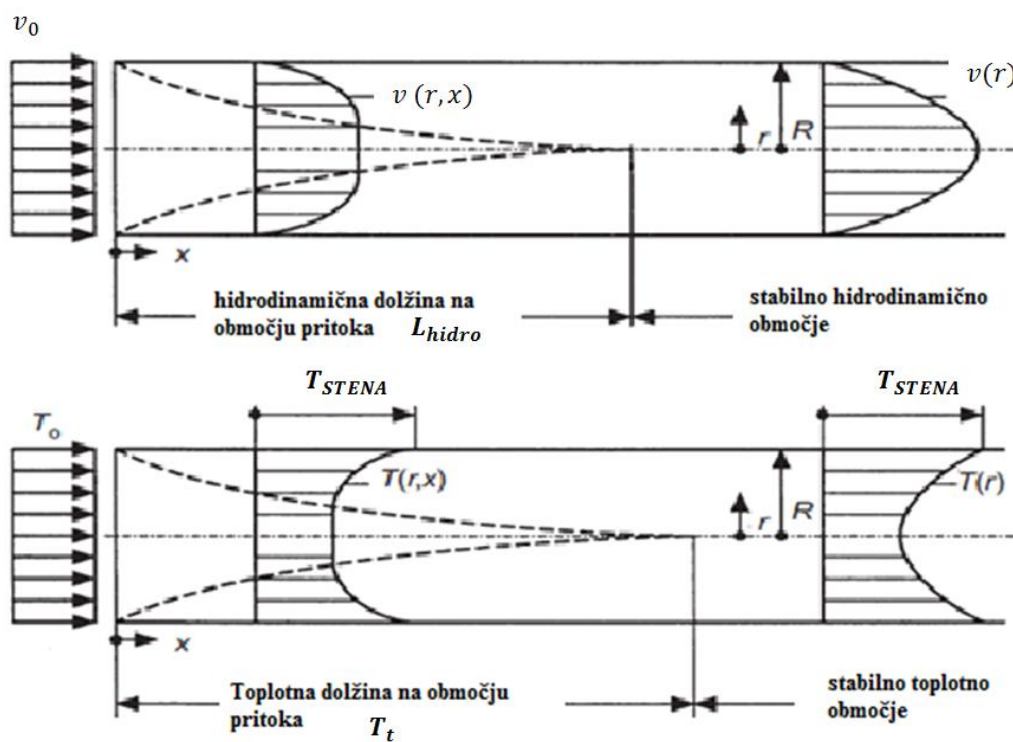
d... premer cevi [m]

ν ... kinematična viskoznost [m²/s]

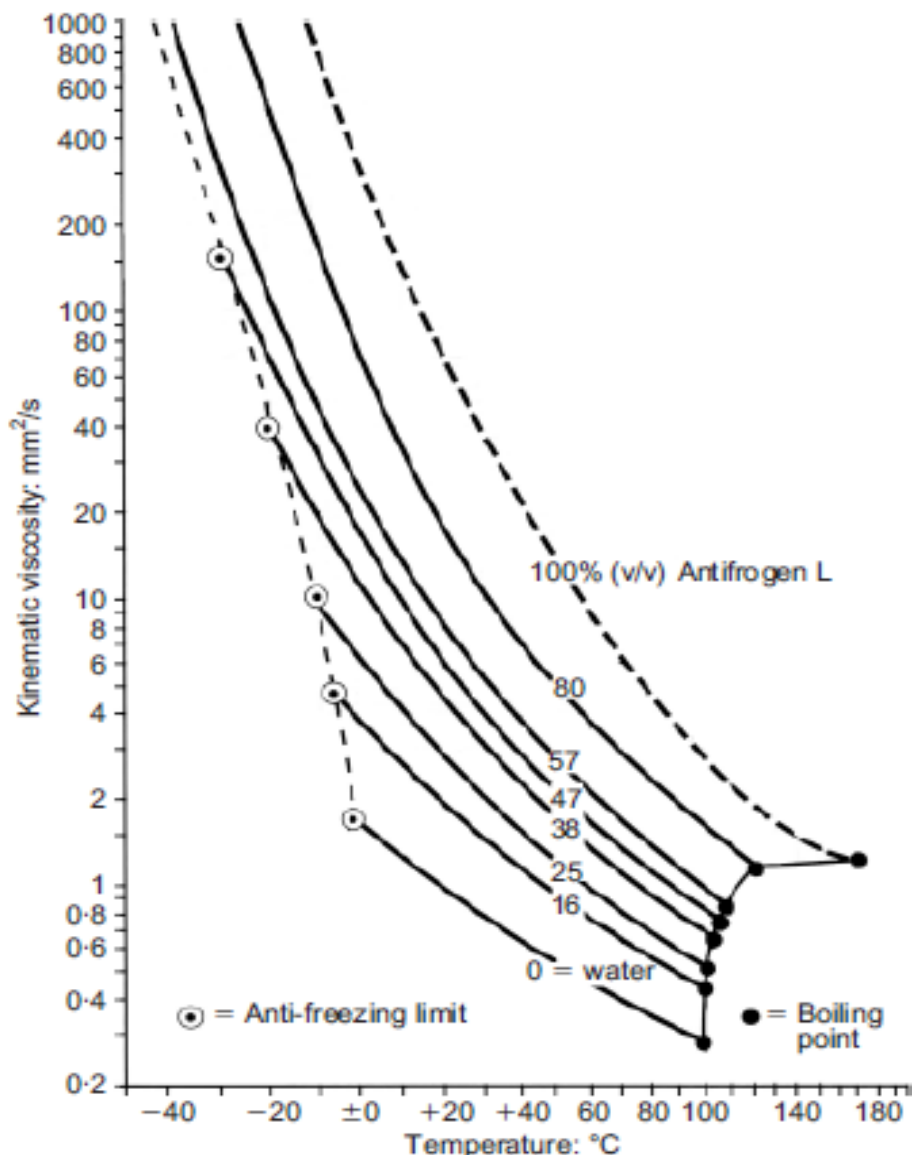
Tok v absorpcijski cevi je po prerezu cevi opisan z dvema območjima:

i) Območje prитоka tekočine, kjer se hitrost toka in temperatura po dolžini absorpcijske cevi spreminjata.

ii) Stabilno območje s konstantnim razporedom hidrodinamičnih in temperaturnih vrednosti. Prenos toplote se v slednjem potemtakem ne spreminja, če je $\lambda = konst.$



Slika (privzet a) 30: Prikaz vzpostavitve stabilne hidrodinamične in toplotne mejne plasti (Brandl, 2006)



Slika (privzeta) 31: Povezava mešanice absorpcijske tekočine (voda in glikol) s temperaturo in viskoznostjo

Preglednica 10: Prevod terminov na sliki 31

ANGLEŠKO	SLOVENSKO	ENOTE
anti-freezing limit	meja zmrzovanja	/
boiling point	točka vrelišča	/
kinematic viscosity	kinematična viskoznost	[mm ² /s]
temperature	temperatura	[°C]
water	voda	/
Antifrogen	antifirz	/

Toplota se iz stene absorpcijske cevi lahko prenese z naravno ali pa prisilno konvekcijo. Ker se absorpcijska tekočina po cevi premika, je jasno, da prenos toplote poteka s konvekcijo. Prenos toplote z naravna konvekcijo se vrši po definiciji, tedaj ko se absorpcijska tekočina premika relativno na steno absorpcijske cevi. Najprej moramo obravnavati stik med steno in tekočino. Toplota se v tem primeru prenaša s kondukcijo – v eni točki in v eni smeri lahko takšeno gibanje opišemo s Fourierjevim enodimenzijski zakon o molekularnem prenosu toplote.

$$q = -\lambda * \left(\frac{\partial T}{\partial x}\right) \quad (20)$$

Nadaljnji prenos toplote poteka s konvekcijo, ki temelji na medsebojnih premikih. Ti se dogajajo med premikajočo se absorpcijsko tekočino ter mirujočo steno absorpcijske cevi. Intenzivnost prenosa toplote iz absorpcijske tekočine na določenem delu absorpcijske cevi opisuje brezdimenzijski parameter - Nusseltovo število (Nu):

$$Nu = \frac{U \cdot d}{\lambda} = \frac{-(\partial T / \partial r)_{STENA}}{\Delta T / d} \quad (21)$$

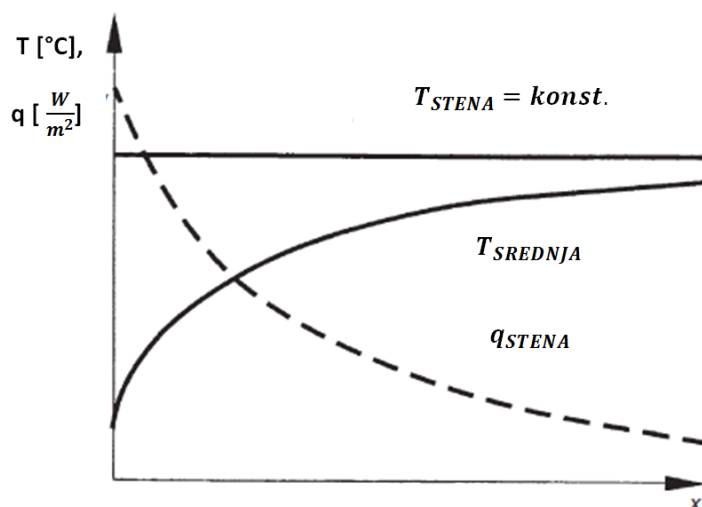
U... toplotna prehodnost [W/m^2K]

d... premer absorpcijske cevi [m]

Analitično lahko matematični problem prenosa toplote zapišemo in rešujemo zgolj v eni točki in v eni dimenziji, kar je v primeru laminarnega toka sprejemljivo.

Absorpcijska tekočina se navadno v velikih energetskih sistemih premika po primarnem tokokrogu s pomočjo krožne črpalke. Zaradi tega se toplota prenaša s prisiljeno konvekcijo.

V primeru laminarnega toka, se prenos toplote iz betona na absorpcijsko tekočino se odvija preko cevne stene, ki ima enakomerno temperaturo T_{STENA} po vsej dolžini cevi.

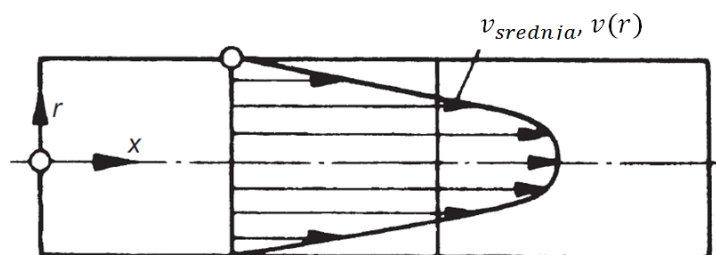


Graf 2: Toplotni pogoji na steni absorpcijske cevi v primeru konstantne temperature stene (Brandl, 2006)

Brezdimenzijski koeficient, ki se uporablja za parametrične študije, se imenuje Prandtl-ovo število, Pr , in je odvisen od materiala. Definiran je kot:

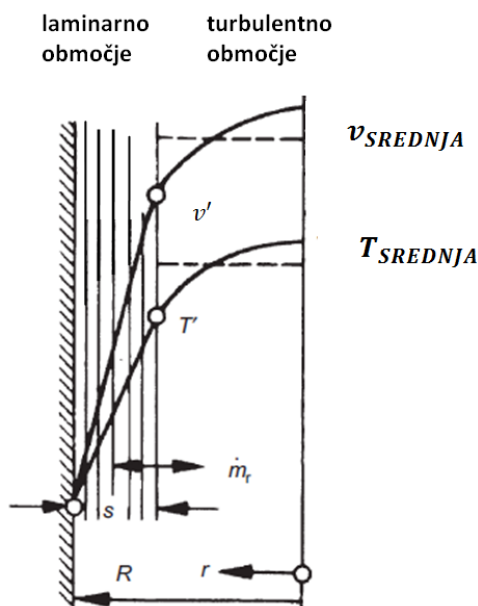
$$Pr = \frac{\nu}{a} = \frac{\nu \cdot \rho \cdot c}{\lambda} \quad (22)$$

Za vrednosti $Pr \rightarrow 1$ je hitrost absorpcijske tekočine po prerezu cevi razporejena kot prikazuje slika 43. Navadno imajo absorpcijske tekočine v obliki čiste vode, ki je blizu točke zmrzovanja Prandtl-ovo število $Pr = 7$, mešanica vode in glikola ter ostale podobno viskozne tekočine pa imajo vrednost Prandtl-ovega števila $Pr = 70$.



Slika (privzeta) 32: Porazdelitev hitrosti po prerezu absorpcijske cevi (Hagen-Poiseuille-ova parabola), (Brandl, 2006)

Turbulenten tok se vrši v središču absorpcijske cevi in vključuje tudi laminarno cono. Le-ta se nahaja v bližini stene absorpcijske cevi. Lokalno gledano je hitrost toka neposredno ob steni absorpcijske tekočine enaka nič.



Slika (privzeta) 33: Turbulentni pogoji toka z laminarnim območjem ob steni absorpcijske cevi

Ko pa imamo opravka s turbulentnim tokom pa analitičnih rešitev ne poznamo. Do leta 2006 ni bilo objavljene nobene znanstvene teorije za tak toplotni problem. Izračun je možen le s pomočjo enačb, ki temeljijo na izvedenih poskusih – empirične enačbe (Brandl, 2006).

Turbulenca v absorpcijski cevi je v osnovi zaželjena, vendar ne vedno in povsod. Turbulenca namreč zvišuje prenašanja toplote. Pri daljšem izkoriščanju TET (odvzem iz tal pomeni gretje objekta, vračilo v tla pomeni hlajenje objekta) ni problem v samem količinskem prenosu toplote, marveč v količini prenešene toplote, ki jo lahko izkoristimo, da je še znotraj ekonomsko sprejemljivih okvirjev. Izkoriščanje toplotne energije tal mora biti v vsakem trenutku ekonomsko rentabilno¹⁴. Z visoko zmogljivimi črpalkami namreč enostavno lahko ustvarimo turbulentni tok v absorpcijskih ceveh, posledično pa s tem znižamo letno grelni število (SPF) in povišamo stroške delovanja energetskega sistema. V turbulentnem stanju je hitrost prenosa toplote odvisna od hitrosti toka absorpcijske tekočine in nihanja turbulence, tj. tokovnih mas, ki konstantno vstopajo in zapuščajo povprečni tok. Turbulentno nihanje je odvisno od povprečne hitrosti toka absorpcijske tekočine.

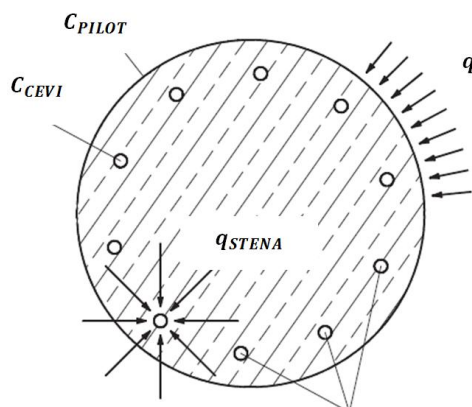
Gostota toplotnega toka zemljine q je primerljiva z gostoto toplotnega toka absorpcijske cevi q_{STENA} . Upoštevati je potrebno tudi geometrijske lastnosti cevi (C_{PILOT} , $C_{ABS.CEVI}$) in število absorpcijskih cevi n , ki so napolnjene z absorpcijsko tekočino.

¹⁴ rentabilen -lna -o prid., rentabilnejši (i) ki prinaša dobiček ali pri katerem se dejanski stroški v celoti povrnejo, donosen;

C_{PILOT} ... obseg pilota
 $C_{ABS.CEVI}$... obseg absorpcijske cevi

$$(xx) q * C_{PILOT} \leftrightarrow n * q_{STENA} * C_{ABS.CEVI} = n * U * (T_{STENA} - T_{SREDNJA}) * C_{ABS.CEVI} \quad (23)$$

U... toplotna prehodnost stene absorpcijske cevi iz HDPE [m^2K/W]



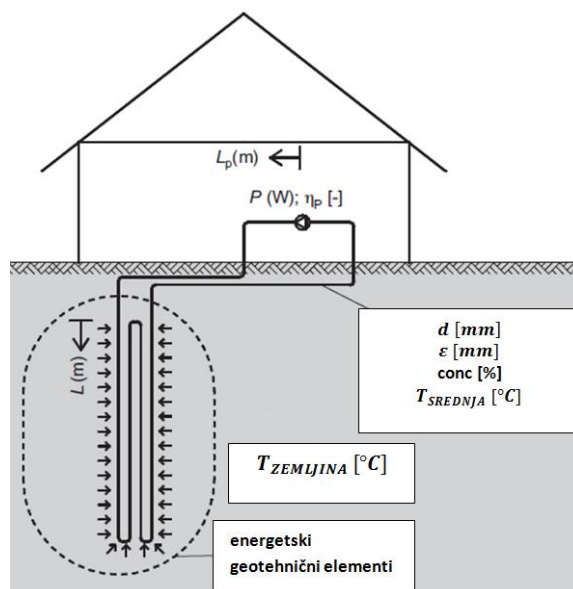
n...število absorpcijskih cevi

Slika (privzeta) 34: Ravnotežje delovanja toplotnega volumna, v stabilnem območju absorpcijske tekočine, med energetskim pilotom in zemljino na tekoči globinski meter. Toplotni volumen v energetskem pilotu.

Prenosa toplote skozi (največkrat) AB energetski geotehnični element, na primer energetski pilot in skozi absorpcijske cevi iz HDPEja, je natančno možno iz vrednotiti le z numeričnimi simulacijami.

Takšne numerične simulacije v primerjalnih parametričnih študijah so prav tako izdelali avstrijski raziskovalci. Z njimi so študirali vpliv posameznega parametra v posamezni simulaciji ter spremljali morebitne medsebojne interakcije - vplive med posameznimi parametri. Obravnavani so bili naslednji parametri (Brandl, 2006):

1. koncentracija mešanice (voda + glikol) absorpcijske tekočine... $Conc$.
2. srednja vrednost temperature... $T_{SREDNJA}$
3. moč črpalke... P
4. izkoristek črpalke... η_p
5. notranji premer absorpcijske cevi... d
6. hrapavost notranjosti absorpcijske cevi... ε
7. dolžina absorpcijske cevi za določeno zmogljivost črpalke... L_p
8. specifični odpori toplotnega toka oziroma izgube pri specifičnem toplotnem toku... R_i
9. dolžina absorpcijske cevi, kjer se toplota lahko prenaša... L
10. temperatura stene absorpcijske cevi... T_{STENA}



Slika (privzeta) 35: Shema primarnega tokokroga energetskega sistema stanovanjske hiše s simboli za p parametrične študije (Brandl, 2006)

Numerične simulacije toplotnega toka gradbeni strokovnjak preveri le za primarni tokokrog, optimiziranje sekundarnega tokokroga pa mora z interaktivnim sodelovanjem, na podlagi vrednosti primarnega tokokroga, izvesti strokovnjak strojne stroke.

Numerični računi so pri avstrijskih raziskovalcih (Brandl, 2006) temeljili na jasni meji med laminarnim ter turbulentnim tokom. Ta je definirana z Reynolds-ovim številom, $Re = 2300$. V praksi nastane tudi vmesno območje. Prenos toplote iz stene absorpcijske cevi na absorpcijsko tekočino je večji ob višji vrednosti Nu . Odvisen pa je od pogojev toka, zato je potrebno laminarni ter turbulentni tok obravnavati posebej. Prenos toplote v turbulentem toku je znatno višji kot v laminarnem toku, zato je pričakovati, da izberemo pogoje v primarnem tokokrogu energetskega sistema tako, da se turbulenten tok v absorpcijskih ceveh ustvarja in je hkrati delovanje sistema ekonomsko upravičeno.

Ugotovitve parametričnih študij so sledeče. Prenos toplote v laminarnem toku je odvisen od:

1. t ...časa zadrževanja absorpcijske tekočine v delu absorpcijske cevi, kjer se toplota prenaša,
2. d ...premera absorpcijske cevi,
3. ρ ...gostote absorpcijske tekočine,
4. λ ...toplotne prevodnosti absorpcijske tekočine,
5. c ...toplotne kapacitete absorpcijske tekočine.

Prenos toplote iz stene absorpcijske cevi na absorpcijsko tekočino se večja z:

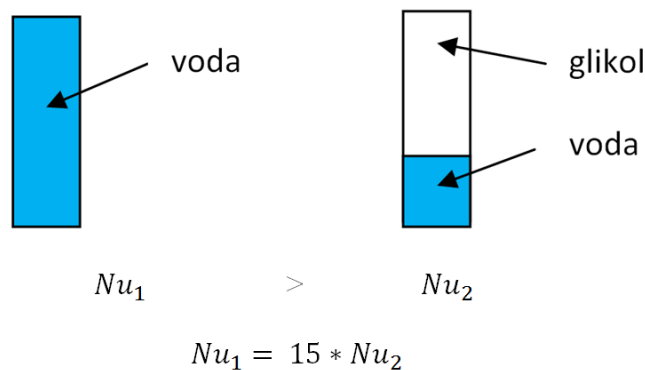
1. znižanjem temperature v sekundarnem tokokrogu,
2. redčenjem koncentracije mešanice absorpcijske tekočine voda-glikol
3. krajšanjem dolžine absorpcijske cevi
4. večanjem premera absorpcijske cevi
5. večanjem tokovne hitrosti
6. večanjem zmogljivosti črpalke
7. višanjem vrednosti temperature sten absorpcijskih cevi

Prenos toplote v turbulentnem toku je odvisen od:

1. Re ...Reynolds-ovo število
2. Pr ...Prandtl-ovo število
3. d ...premer absorpcijske cevi
4. L ...dolžina absorpcijske cevi

Zaključne ugotovitve ob primerjavi laminarnega in turbulentnega toka absorpcijske tekočine v parametričnih študijah so (Brandl, 2006):

Povišanje koncentracije mešanice absorpcijske tekočine (voda-glikol, ob večji vsebnosti glikola v mešanici) se izraža v povečanju laminarnega območja, kar zmanjšuje turbulentne cone in zato zmanjšuje prenos toplote. Če je absorpcijska tekočina le voda, se turbulenten tok pojavi vedno. Vrednost Nu je za mešanico vode in glikola 15-krat nižja, kot če je absorpcijska tekočina le voda. V večini primerov se mešanici ne moremo, niti ne želimo izogniti, zato ker je delovna temperatura pod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ za kratek čas tudi možna. Upoštevati moramo tudi dejstvo, da je pri uporabi toplotne črpalke, temperatura tekočine pri uparjalniku približno $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ nižja od temperature, ki jo ima absorpcijska tekočina ob vstopu v toplotno črpalko. To predstavlja možnost zamrznitve delov ali celotne toplotne črpalke.



Slika 10: Različni mešanici absorpcijske tekočine

V laminarnem območju je hitrost toka absorpcijske tekočine neodvisna od premera absorpcijske cevi d , temveč le od moči krožne črpalke P , črpalkeinega izkoristka η_p , dolžine absorpcijske cevi L in tokovnih parametrov (kinematična viskoznost ν in gostota ρ). Hitrost toka se zvišuje z višanjem delovne temperature v primarnem tokokrogu. V turbulentem območju toka pa se je izkazalo, da hitrost toka ni odvisna od temperature. Višja kot je hitrost laminarnega toka, večja je lahko temperatura v sekundarnem tokokrogu.

Z manjšanjem premera absorpcijske cevi se skupni odpor toka premaguje s črpalkami, saj je trenje po stenah absorpcijskih cevi pri manjših premerih absorpcijskih cevi večje. Premer $d = 2\text{-}4\text{ cm}$ se v praksi uporablja največkrat. V takšnih absorpcijskih ceveh tlak ostaja enakomeren, stene pa niso preobremenjene. Pri manjših premerih pa se tlak poveča, in sicer nesorazmerno z manjšanjem premera absorpcijske cevi. Vrednost tlaka se večja tudi z nižanjem delovne temperature, saj je absorpcijska tekočina tedaj bolj viskozna.

Potrebno se je zavedati tudi, da geometrijske poenostavitve lahko vodijo do velikih napak v numeričnem izračunu. Zato je potrebno izvajati 3D numerične analize in simulacije. Numerični izračun mora vsebovati pričakovane vrednosti temperature pritokov in odtokov energetskih geotehničnih elementov ter tudi temperaturno porazdelitev v tleh. Seveda morajo biti numerični modeli ter računalniški programi primerno kalibrirani. Kalibracija vključuje tudi podatke predhodnih dolgoročnih meritev ter izkušenj iz že izvedenih energetskih sistemov s tehnologijo absorpcije toplotne energije tal z energetskimi geotehničnimi elementi. Če modeli in programi niso skalibrirani, lahko dobimo napačne rezultate, pa čeprav poznamo vse ključne parametre (tudi preverjene in verodostojne podatke znanih proizvajalcev). Posledično, pomembnost numeričnih simulacij leži v parametričnih študijah, kjer preiskujemo vpliv posameznega parametra (lahko jih je tudi več in s simuliranjem tudi njihovo medsebojno vplivanje), in ne zgolj v pridobivanju točnih kvantitativnih rezultatov. Numerične simulacije energetskega sistema, ki uporablja tehnologijo absorpcije toplotne energije tal z energetskimi geotehničnimi elementi se navadno izvede za zahtevne objekte, ki porabijo več kot 50 kW energije za ogrevanje in hlajenje ali pa 20 kW le za hlajenje. Prav tako jih je potrebno izvesti za optimizacijo energetskega sistema.

Za pravilno načrtovan energetski sistem s tehnologijo absorpcije TET z energetskimi geotehničnimi ter drugimi elementi je za analitične in za numerične izračune potrebno imeti dovolj dobre vhodne podatke:

a) hidrogeološke lastnosti zemljin

- globina in sezonsko nihanje gladine podtalne vode
- smer toka in hitrost podtalne vode

b) geotehnične lastnosti zemljin

- slojevitost
- vsebnost vode
- gostota in količnik por
- prepustnost (hidravlična prevodnost zemljin)
- nabrekanje in krčenje (ob prekomernem izkoriščanju)
- zamrzovanje in taljenje (ob prekomernem izkoriščanju)
- strižni parametri ter odnos med napetostmi in deformacijami (za načrtovanje temeljenja)

c) toplotne lastnosti zemljin

- λ ter c
- temperatura tal
- lokalni toplotni gradient (do globine nekaj deset metrov)

d) konstrukcijski detajli objekta

- vrsta ter velikost energetskih temeljev (dolžina, širina, debelina, premer)
- globina temeljena pod površjem terena
- raster (lega, medsebojne razdalje, postavitev, razporeditev) temeljenja
- metode izgradnje temeljev ter zaporedje gradnje (nanšajoč se na izdelavo pritrjevanja absorpcijskih cevi v obliki zank)
- detajli armiranja ter lastnosti betonske mešanice energetskih temeljev

e) detajli inštalacij ogrevanja in hlajenja

- razpoložljiv prostor za povezave absorpcijskih cevi
- temperaturni pogoji v primarnem in sekundarnem tokokrogu
- vrsta ogrevalnega in hladilnega sistema v objektu
- vrsta, mešanica ter hitrost kroženja absorpcijske tekočine
- lokacija združevalno-razdelilne naprave
- lokacija toplotne črpalke in tehnično-servisnega centra oziroma vzdrževalne službe

f) pravilna zasnova konstrukcijskih sklopov stavbe

g) klimatski pogoji, energijski načrt ter načrt variant

- mesečne potrebe po ogrevanju in hlajenju ter konične vrednosti potreb po energiji z ogrevanje in hlajenje
- intervali ogrevanja in hlajenja ter operativni načrt (delovni načrt) ogrevanja in hlajenja

Večina navedenih parametrov je medsebojno povezanih. Veliko vhodnih podatkov o temeljnih tleh pridobimo že kar s terenskimi in laboratorijskimi preiskavami zemljin. Nadalje je potrebno vedeti tudi, da je v primeru težnostnih, podpornih in opornih zidov potrebno v analitični oceni in numerični simulaciji upoštevati temperaturni potek na prosti strani, t. j. strani, kjer elementi ni obdan z zemljino. To je največkrat temperatura zraka, ki močno variira (dan, noč, mesec, leto) in ima bistveno vlogo pri prenosu toplote. Toplotna energija tal, ki jo lahko pridobimo iz tal ali pa jo shranjujemo v tleh, je odvisna od največje možne gostote toplotnega toka absorpcijske tekočine v absorpcijskih ceveh. Transport toplote se vrši s prisiljeno konvekcijo tekočinske mešanice vode in glikola. Za optimizacijo absorpcijskega cevne sistema, glede na analitično oceno, moramo vedno upoštevati in primerno določiti še:

- 1) d [mm]... premer absorpcijske cevi
- 2) L [m]... dolžina absorpcijske cevi
- 3) χ ... hrapavost notranjega dela absorpcijske cevi

- 4) λ [W/mK]... toplotna prevodnost absorpcijske tekočine
- 5) c [$\frac{J}{kgK}$]... toplotna kapaciteta absorpcijske tekočine
- 6) ρ [$\frac{kg}{m^3}$]... gostota absorpcijske tekočine
- 7) ν ... viskoznost absorpcijske tekočine
- 8) v [$\frac{m}{s}$]... hitrost toka absorpcijske tekočine in vrsta toka absorpcijske tekočine

Primerno zasnovan ter celostno oblikovan objekt je tisti, ki je dovolj zgodaj energetsko načrtovan, vključno s primerno načrtovanimi energetskimi geotehničnimi elementi in dopirnaša znatne prihranke tekočih in vzdrževalnih stroškov objekta.

4 APLIKACIJA IN EKONOMSKO VREDNOTENJE TEHNOLOGIJE V STANOVANJSKIH TER INFRASTRUKTURNIH OBJEKTIH

V tem poglavju diplomske naloge želimo predstaviti aplikacijo tehnologije absorpcije TET z energetskimi geotehničnimi elementi na štirih različnih realnih sistemih stanovanjskega ter infrastrukturnih objektov in prikazati konceptualno investicijsko presojo za uporabo TET. Obravnavamo štiri različne realne sisteme, in sicer:

Sistem 1 »hiša na Barju«,

Sistem 2 »parkirna hiša Kongresni trg«,

Sistem 3 »viadukta Tržiška Bistrica«,

Sistem 4 »ogrevanje kretnic s pomočjo energetskih pilotov protihrupnih ograj«.

Noben izmed zgornjih štirih sistemov danes ne uporablja toplotne energije tal za ogrevanje in hlajenje. Obstoječe stanje sistemov je takšno, da konvencionalne vire energije za potrebe ogrevanja uporabljata sistem 1 ter sistem 4, ki se med poletnimi meseci ne hladita. Sistem 2 in sistem 3 za svoje delovanje ne potrebujeata ogrevalno-hladilnih sistemov, ker se ne ogrevata in hladita. Če bi taiste sisteme danes načrtovali na novo, bi novozgrajeni sistemi lahko z energetskimi geotehničnimi elementi izkoriščali toplotno energijo tal za svoje potrebe (sistem 1 za ogrevanje in hlajenje prostorov ter ogrevanje sanitarne vode, sistem 3 za ogrevanje in hlajenje voziščne konstrukcije ter sistem 4 za ogrevanje kretnic) ali pa za distribucijo TET bližnjim objektom (sistem 2).

Za konceptualni prikaz uporabe TET v navednih štirih sistemih potrebujemo ključni parameter, tj. kolikošno količino TET lahko s posameznimi energetskimi geotehničnimi elementi absorbiramo.

Vsako idejno študijo energetskega temeljenja in idejno študijo upravičenosti investicije izračunamo na podlagi analitične ocene količine možne absorbirane TET, ki jo lahko pridobimo z energetskimi geotehničnimi elementi (Brandl, 2006):

a) Energetski pilot s premerom $D = 0,3-0,5 \text{ m} \rightarrow 40-60 \text{ W}$ na tekoči meter pilota,

b) Energetski pilot s premerom $D \geq 0,6 \text{ m} \rightarrow 35 \text{ W}$ na m^2 z zemljino dotikajoče površine,

c) Energetske diafragme in energetske pilotne stene (v popolnem stiku z zemljino) $\rightarrow 30 \text{ W}$ na m^2 z zemljino neposredno obdane površine,

d) Energetske plošče $\rightarrow 10-30 \text{ W}$ na m^2 z zemljino neposredno obdane površine.

Dodatne upoštevane predpostavke, ki veljajo za primarni tokokrog:

- temeljenje se začne na globini -1 meter , zato lahko pri temeljenju uporabimo celotno dolžino energetskega geotehničnega elementa za absorpcijo toplotne energije tal.
- površine pete pilotov, površine debeline diafragm in površine debeline plošč ne upoštevamo pri absorpciji toplotne energije tal.
- dopuščamo inženirsko smiselne in sprejemljive poenostavitve geometrije objekta.

Na podlagi predvidene geometrije energetskih geotehničnih elementov analitične ocene možne absorbirane količine TET nato pomnožimo z letnim številom ur uporabe TET. Dobimo največjo možno letno količino TET v kWh, ki jo lahko uporabimo.

S predhodnim ekonomskim vrednotenjem¹⁵ nato preverimo in verificiramo ekonomsko upravičenost investicije za uporabo inovativne tehnologije. Za vsakega izmed štirih sistemov smo pripravili

¹⁵ »vrednotenje« je presojanje o upravičenosti projekta ali programa ter temelji na primerjavi pričakovanih ali dejanskih rezultatov in učinkov s pridobljenimi podatki iz preteklih, že izvedenih vrednotenj. Vrednotenje poteka v celotnem projektnem ciklu, saj ga izvajamo v fazi načrtovanja (ex-ante), izvedbe ter delovanja oziroma obratovanja (ex-post). Predhodno vrednotenje je presoja, ki se izdelata kot podlaga za sprejemanje investicijske odločitve z namenom izbire najboljše variante z družbenoekonomskega in finančnega vidika. Je nujna podlaga za spremljanje izvajanja in posledično

variantni¹⁶ stroškovni model, s katerim naredimo ekonomsko analizo stroškovne učinkovitosti¹⁷ (skladno z Uredbo je to metoda za presojo upravičenosti). Glavna referenca za izdelavo le-te je Uredba o enotni metodologiji za pripravo in obravnavo investicijske dokumentacije na področju javnih financ ter Uredba o spremembah in dopolnitvah uredbe o enotni metodologiji za pripravo in obravnavo investicijske dokumentacije na področju javnih financ. Kot že ime pove splošne določbe Uredbe določujejo enotno metodologijo priprave in obravnave investicijske dokumentacije za vse investicijske projekte. Uredba se uporablja za ugotavljanje prednosti in slabosti posameznih predlogov projektov oziroma pri odločanju o izbiri izvedljivih projektov, katerih rezultati bodo prispevali k vzdržnemu (trajnostnemu) razvoju družbe in jih bo mogoče nadzirati v vseh fazah projektnega cikla (UL RS, 60/2006).

Stroškovni modeli vseh štirih sistemov v diplomski nalogi temeljijo na enakih osnovnih podatkih, in sicer:

- 20 letna ekonomska doba¹⁸, skladno z metodološkim delovnim dokumentom številka 4, Navodila za uporabo metodologije pri izdelavi analize stroškov in koristi iz leta 2006 (EU-SKLADI, 2006), ki navaja ekonomsko dobo za energetiko 15-25 let;
- primarne koristi v 20 letih so ogrevanje in hlajenje objekta. Ker izvajamo analizo stroškovne učinkovitosti, koristi niso denarno ovrednotene in zato privzamemo stroškom enake koristi. Posledica so negativne neto sedanje vrednosti, ki ne omogoča izračuna interne stopnje donosnosti;
- druge koristi se kažejo družbenem, razvojnogospodarskem in socialnem vidika uporabe TET;
- pričakovana rast energentov je približno 8 odstotkov letno. Vzamemo manj konservativen scenarij rasti cen vhodnih energentov, in sicer 4 odstotke letno, kar deluje neugodno za uporabo TET. Študiramo, če bo kljub temu TET še vedno bolj primeren energent za ogrevanje in hlajenje objektov;
- neto sedanjo vrednost investicij vsake variante štirih sistemov izračunamo za štiri diskontne stopnje¹⁹, in sicer 0, 5, 7 in 10 odstotkov. Splošna diskontna stopnja, ki jo določa 8. člen Uredbe, je 7 odstotkov;
- vse cene so stalne²⁰;
- subvencija ekosklada za nakup toplotne črpalke v variantah stroškovnih modelov ni upoštevana;

Ekonomska analiza stroškovne učinkovitosti poteka tako, da ima vsak stroškovni model sistema svoje variante. Posamezne variante so opisane v nadaljevanju. Vsak stroškovni model obravnava izbiro uporabe TET za primer, da je vsak izmed štirih sistemov v fazi projektiranja novogradnje danes.

ocenjevanje po možnosti merljivih ciljev. Uredba definira tudi sprotno vrednotenje ter poznejše oziroma naknadno vrednotenje (UL RS, 54/2010).

¹⁶ Varianta je različica investicije, ki se od drugih razlikuje po eni ali več lastnostih, kot na primer: lokaciji, tehnično-tehnološki rešitvi, obsegu, vrstah in strukturi virov financiranja, trajanju izvedbe (UL RS, 54/2010).

¹⁷ Ekonomska analiza je skupno ime za ovrednotenje, pri katerem se upoštevajo vsi ekonomski stroški in koristi v družbi. Utemeljuje upravičenost projekta s širšega družbenega, razvojnogospodarskega in socialnega vidika (UL RS, 54/2010). Analiza stroškovne učinkovitosti, ki je po definiciji primerjava stroškov alternativnih možnosti doseganja oziroma zagotavljanja istega ali podobnih rezultatov. Običajno se stroški izračunavajo na enoto koristi, pri čemer ni nujno, da se koristi izrazijo v denarnih enotah ali z drugo ekonomsko vrednostjo (UL RS, 54/2010).

¹⁸ Ekonomska doba investicije je obdobje, za katero ugotavljam o in analiziramo učinke investicije in zajema čas od začetka investicije do izvedbe ter poskusnega obratovanja in čas trajanja rednega obratovanja s predpisano standardno kakovostjo (UL RS 54/2010).

¹⁹ Diskontna stopnja je letna odstotna mera, po kateri se sedanja vrednost denarne enote v naslednjih letih zmanjšuje s časom. Izraža ovrednotenje prihodnjih stroškov in koristi v primerjavi s sedanjimi (UL RS, 54/2010).

²⁰ »stalne cene« so enotni imenovalci vseh vrednostnih izrazov. Praviloma so to cene, ki veljajo takrat, ko se izdeluje investicijska dokumentacija. Stalne cene lahko vključujejo tudi pričakovane strukturne spremembe (na primer spremembo razmerja med ponudbo in povpraševanjem), ki se preverjajo v analizi občutljivosti;

Slovenska in evropska zakonodaja določata cilje trajnostnega razvoja. Ti so osnova za definiranje problema, ki ga rešujemo variantnim stroškovnim modelom za vsak sistem posebej. Primarna cilja izbora najbolj primerne variante sta z nižjimi skupnimi stroški zagotoviti ogrevanje in hlajenje objektov ter hkrati doprinesti h cilju trajnostnega razvoja, kar je skladno z Uredbo. Le-ta navaja presojo z vidika finančnih, zakonskih ter okoljevarstvenih dejavnikov.

V matrični obliki so predstavljena morebitna tveganja štirih sistemov ob izbiri za tehnologijo TET. Na koncu poglavja sta opisana še dva primera dobre prakse.

4.1 Sistem 1 »hiša na Barju«

A) Opis objekta: sistem 1 »hiša na Barju« je enonadstropna montažna stanovanjska hiša, locirana na Ljubljanskem barju.



Slika (privzeta) 36: Lokacija sistema 1 »hiša na Barju« (Googlemaps, 2012)

Skupna tlorisna površina hiše je 186 m^2 . Od tega se ogreva 120 m^2 površin. Dejanska geometrija hiše vsebuje tudi garažo, dimenzij $5 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ oziroma 10 m^2 . Za potrebe shematičnega prikaza je tloris hiše inženirsko poenostavljen na preprost tlorisni pravokotnik sicer dejanskih dimenzij hiše v velikosti 8×11 metrov. Hiša je bila zgrajena leta 1998.

Trenutno je hiša temeljena na AB temeljni plošči ter okoli 300 lesenih kolih premera približno 25 cm, dolžine med 6 in 8 metri.



Premer lesenih kolov je približno 25 cm



Dolžina kolov je med 6 in 8 metrov



Razporeditev lesenih kolov 1



Razporeditev lesenih kolov 2

Slika 11: Primer temeljenja z lesenimi koli na ljubljanskem Barju

Za ogrevanje prostorov hiše in vode se uporablja konvencionalni vhodni energent, zemeljski plin - propan. Letno porabo za vsak mesec v letu 2011 ter ceno, ki jo je bilo potrebno plačati za propan, prikazuje spodnja tabela.

Preglednica 11: Poraba in cena propana po mesecih za leto 2011 (podatki lastnika hiše, 2012)

2011	PORABA [m ³]	CENA BREZ DDV [€]
JANUAR	68	190,96
FEBRUAR	100	267,80
MAREC	84	225,14
APRIL	38	102,55
MAJ	15	43,11
JUNIJ	11	31,95
JULIJ	1	4,36
AVGUST	12	34,74
SEPTEMBER	8	23,57
OKTOBER	22	62,63
NOVEMBER	61	171,43
DECEMBER	68	190,96
SKUPAJ	488 m³	1.349,20 € ≈ 1.350,00 €

Analizo stroškovne učinkovitosti za varianto 1, izdelamo po metodi stalnih cen. Privzamemo, da je cena plina v letu konstantna. Referenčni datum je 01. 12., znotraj leta 2011 zato cen nismo indeksirali. Zaradi tega je natančnost modela manjša, vendar še vedno zadovoljivo dobra.

Dražitev plina zaradi omejenosti energenta smo upoštevali s konservativno realno rastjo. Med leti 1994 in 2011 je bila realna rast plina 5 odstotkov letno, med leti 1994 in 2008 pa kar 15 odstotkov letno (Forecast, 2012). Stroškovni modeli v diplomski nalogi predvidevajo realno rast cen energentov 4 odstotke na letni ravni.

V enem kubičnem metru je 3.731 litrov propana v tekočem agregatnem stanju, zato:

$$488 \text{ m}^3 * 3,731 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} = 1.820,728 \approx 1.821 \text{ l} \quad (24)$$

Cena v evrih na liter je torej:

$$\frac{1.350 \text{ €}}{1.821 \text{ l}} = 0,74 \text{ €/l} \quad (25)$$

En kubični meter propana je enakovreden 10 kWh električne energije. Na letni ravni 488 m³ propana predstavlja 4.880 kWh. Ker nimamo natančnih vhodnih podatkov glede porabe propana za ogrevanje prostorov in za ogrevanje vode ločeno, lahko zaključimo, da hiša na Barju potrebuje za ogrevanje enega kvadratnega metra tlorisne površine prostora manj kot 41 kWh na leto.

$$E_K = \frac{4.880 \text{ kWh}}{120 \text{ m}^2} = 40,7 \approx 41 \text{ kWh/m}^2 \text{ na leto} \quad (26)$$

kjer je E_K energetska številka hiše na Barju.

B) Stroškovni model

Z več variantami stroškovnega modela opredelimo višino stroškov, pripadajoče koristi ter presodimo ekonomsko upravičenost investicije štirih različnih variant za sistem 1 »Hiša na Barju«. Obravnavamo spodaj napisane variante, ki so opisane v nadaljevanju:

Varianta 1 – PLIN (obstoječe stanje)

Varianta 2 – TET,

Varianta 3 – TČ VODA/VODA,

Varianta 4 – TČ ZRAK/VODA.

Osnova ekonomske analize stroškovne učinkovitosti sistema 1 »hiša na Barju« so predpostavke, ki veljajo v vseh variantah stroškovnega modela:

- primerno zasnovan in celovito oblikovan objekt – konstrukcijski sklopi so primerno načrtovani in izvedeni, da zagotavljajo učinkovito rabo energije obstoječega stanja.
- variante stroškovnega modela temeljijo na stroškovnih tabelah, na primer: Varianta 1 - PLIN temelji na podatkih iz tabele »Investicijski stroški – varianta 1 – PLIN (obstoječe stanje)« ter »Tekoči in vzdrževalni stroški na letni ravni – varianta 1 – PLIN (obstoječe stanje)«
- DDV se v stroškovnem modelu ne upošteva.

Z variantnim stroškovnim modelom sistema 1 študiramo stroškovno učinkovitost štirih različnih variant, ki jih medsebojno primerjamo in izbreemo optimalno varianto. Poleg ekonomskega dela opazujemo tudi okoljevarstveni vidik – prispevek h trajnostnemu razvoju.

Varianta 1 – PLIN: Obravnava investicijske ter tekoče in vzdrževalne stroške obstoječega stanja sistema 1, kjer je uporabljen konvecionalni vhodni energent – propan. Sekundarni tokokrog je sestavljen iz visokotemperaturnih elementov (radiatorjev).

Preglednica 12: Investicijski stroški - Varianta 1 – PLIN (obstoječe stanje)

OPIS INVESTICIJSKIH STROŠKOV	KOLIČINA	CENA
leseni piloti (material ter izdelava 100 €/dan bager, 3 dni)	3 piloti/m ² * 180 m ² = 360 pilotov	360 lesenih pilotov x 35,00 €/pilot = 12.600,00 €
najem strojne mehanizacije (bager)	35 ur	100,00 €/dan * 4 dni = 400,00 €
plinska peč	1 kos	3.000,00 €
cevi za nizkotemperaturne ogrevalne sisteme (talno gretje)	32 m ²	25,00 €/m ² * 32 m ² = 800,00 €
visokotemperaturne naprave (radiatorji)	13 kosov	13 * 100,00 € = 1.300,00 €
subvencija ekoslada	0	0,00 €
SKUPAJ		18.100,00 €

Preglednica 13: Tekoči in vzdrževalni stroški na letni ravni - Varianta 1 – PLIN (obstoječe stanje)

OPIS LETNIH OBRATOVALNIH IN VZDRŽEVALNIH STROŠKOV	KOLIČINA	CENA
vhodni energent - propan	4.880 kWh	1.350,00 €
visokotemperaturne naprave (ventili)	1 kos	30,00 €
vzdrževanje	1 kos	100,00 €
SKUPAJ		1.480,00 €

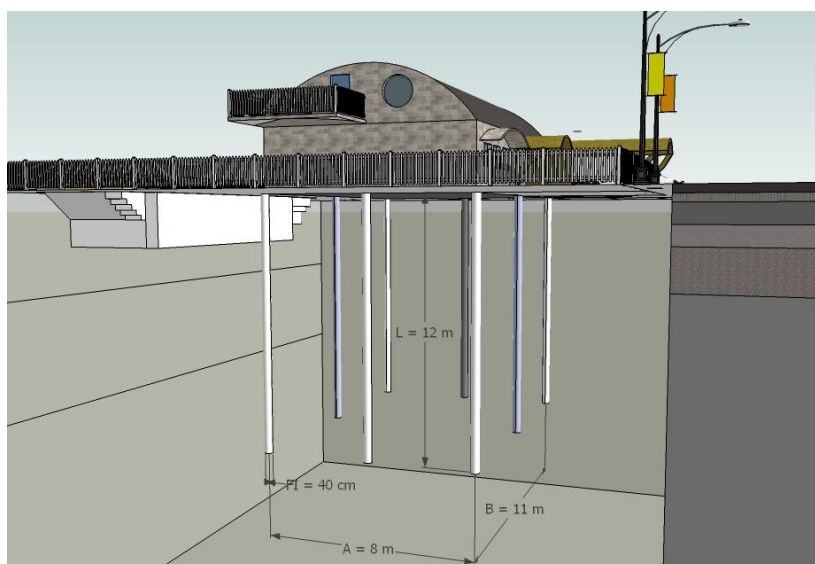
Preglednica 14: Izračun neto sedanje vrednosti - Varianta 1 - PLIN (obstoječe stanje)

Varianta 1 – PLIN (obstoječe stanje)		
ČAS [LETA]	STROŠKI	KORISTI
0	-18.100 €	enake
1	-1.480 €	dražitev plina
2	-1.539 €	1,04
3	-1.601 €	1,08
4	-1.665 €	1,12
5	-1.731 €	1,17
6	-1.801 €	1,22
7	-1.873 €	1,27
8	-1.948 €	1,32
9	-2.025 €	1,37
10	-2.107 €	1,42
11	-2.191 €	1,48
12	-2.278 €	1,54
13	-2.370 €	1,60
14	-2.464 €	1,67
15	-2.563 €	1,73
16	-2.665 €	1,80
17	-2.772 €	1,87
18	-2.883 €	1,95
19	-2.998 €	2,03
20	-3.118 €	2,11
SKUPAJ	-62.172 €	

r*	NSV
0,00	-62.172 €
0,05	-41.790 €
0,07	-36.915 €
0,10	-31.575 €

*r je diskontna stopnja

Varianta 2 – TET: Obravnava prehod na TET, in sicer za primer, da hišo na Barju načrtujemo na novo danes. Novozgrajeno hišo bi torej ogrevali in hladili s toplotno energijo tal, pridobljeno z energetskimi piloti. Ocenjujemo, da bi za temeljenje nove hiše uporabili 9 do 12 armiranobetonskih pilotov, premera 40 cm in dolžine vsaj 8 metrov, saj se nahajamo na močvirnatih barjanskih tleh. Nekaj pilotov bi tako opravljalo dvojno funkcijo, in sicer poleg zagotavljanja stabilnosti ter mehanske odpornosti še absorpcijo toplotne energije tal za potrebe ogrevanja prostorov hiše ter vode. V vsak energetski pilot bi namestili dve U-zanki absorpcijskih cevi premera 25 mm. Na slikah so za boljšo preglednost prikazani zgolj energetski piloti, ki bi imeli dvojno funkcijo – statično in energetsko. Sekundarni tokokrog je sestavljen iz nizkotemperaturnih sistemov talnega ter stenskega ogrevanja.



Slika 12: Sistem 1 »hiša na Barju«

Preglednica 15: Podatki o pilotih za temeljenje hiše na Barju

AB piloti	9-12 pilotov, od tega 8 energetskih pilotov, L = 12 m, $\phi_{PILOT} = 40$ cm	$L_{SKUPAJ} = 144$ m ($L_{ENERGETSKI} = 96$ m)
cena pilota	100 €/meter pilota	14.400 €

Preglednica 16: Osnovni podatki ob izboru 8 energetskih pilotov

OPIS	VREDNOST	VREDNOST SKUPAJ
HDPE absorpcijske cevi	$\phi_{ABS.CEV} = 25$ mm, debelina stene cevi 2,3 mm, v vsakem pilotu 2 zanki	L = 384 m
cena absorpcijskih cevi	4,4 €/meter	1.690 €
moč	50 W/meter	4.800 W
število ur za izrabo TET	1.500 h	7.200 kWh

Preglednica 17: Investicijski stroški - varianta 2 - TET

OPIS INVESTICIJSKIH STROSKOV	KOLICINA	CENA
AB piloti L = 12 m, $\phi_{PILOT} = 40$ cm, cena 100 €/m pilota	12 kosov	14.400,00 €
absorpcijske cevi v energetskih pilotih	450 m	4.4 €/m * 450 m = 1.980,00 €
toplotna črpalka z bojlerjem (7 kW)	1 kos	6.000,00 €
cevi za nizkotemperaturni sistem (talno in stensko gretje)	120 m ²	25 €/m ² * 120 m ² = 3.000,00 €
visokotemperaturne naprave (radiatorji)	0 kosov	0,00 €
subvencija ekoslada	0	0,00 €
SKUPAJ		25.380,00 €

Preglednica 18: Tekoči in vzdrževalni stroški na letni ravni - Varianta 2 - TET

OPIS LETNIH OBRATOVALNIH IN VZDRŽEVALNIH STROŠKOV	KOLIČINA	CENA
vhodni energent - TET	7.200 kWh	0,00 €
električna energija za pogon TČ (1/4)	1.800 kWh	1.800 kWh * 0,12 €/kWh = 216,00 €
vzdrževanje (pregled TČ)	1 kos	100,00 €
SKUPAJ		316,00 €

Dejanska dolžina absorpcijskih cevi je večja od 384 metrov, saj je potrebno poleg zank v energetskem pilotu taiste cevi napeljati do združevalno-razdelilne naprave in od tod do toplotne črpalke. Zato je dolžina absorpcijskih cevi velikosti 450 metrov.

Potrebno moč toplotne črpalke zemlja/voda lahko za idejno študijo izračunamo na dva načina (Termotehnika, 2011b), in sicer:

i) na podlagi vrste objekta:

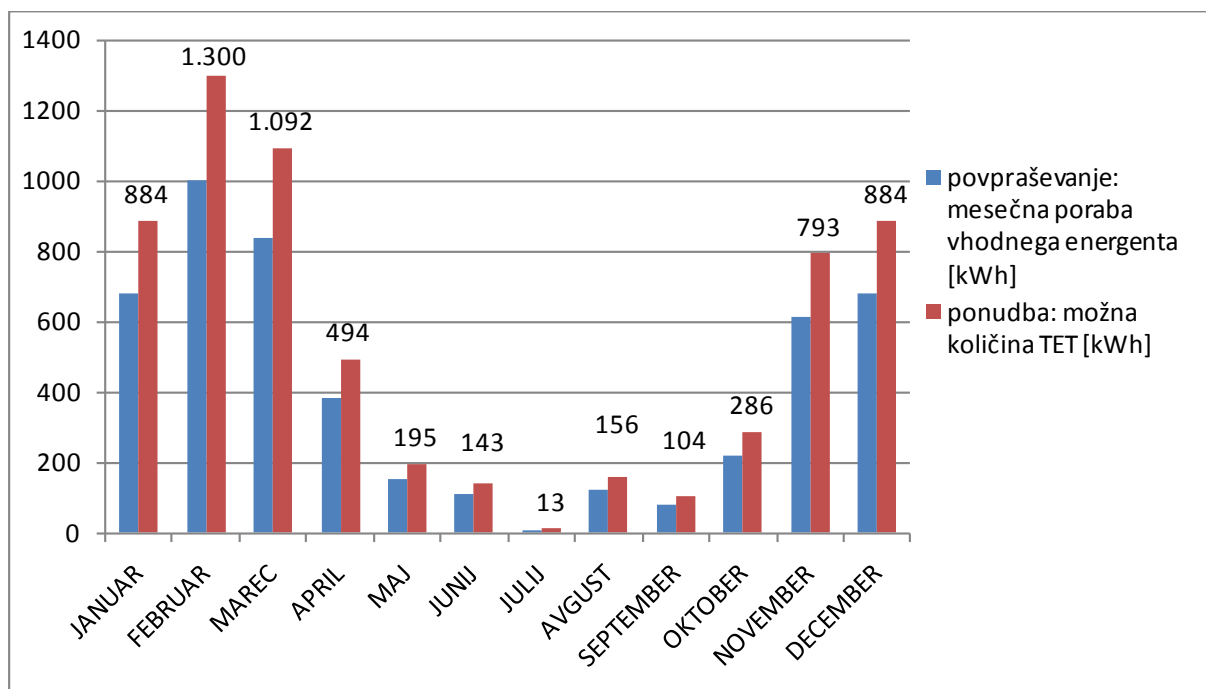
$$120 \text{ m}^2 * \frac{50W}{\text{m}^2} + 3 \text{ osebe} * 200 \frac{W}{\text{osebo}} = 6.600 \text{ W} = 6,6 \text{ kW} \rightarrow \text{izberem } 7 \text{ kW TČ} \quad (27)$$

ii) na podlagi letne porabe propana:

$$1.821 \text{ l}/250 = 7,28 \text{ kW} \rightarrow \text{izberem } 7 \text{ kW TČ} \quad (28)$$

Z osmimi energetskimi piloti, dolžine 12 metrov ter premera 40 cm, z analitično oceno izračunamo, da je možno absorbirati na letni ravni 7.200 kWh TET. S tolikšno količino zagotovimo do skoraj 50% povečanje trenutnih energetskih potreb hiše na Barju. Tekoči strošek elektrike je izračunan glede na COP = 4, kar pomeni, da moramo za 4 enote toplotne energije uporabiti 1 enoto električne energije.

$$7.200 \text{ kWh} / 4 = 1.800 \text{ kWh} \quad (29)$$



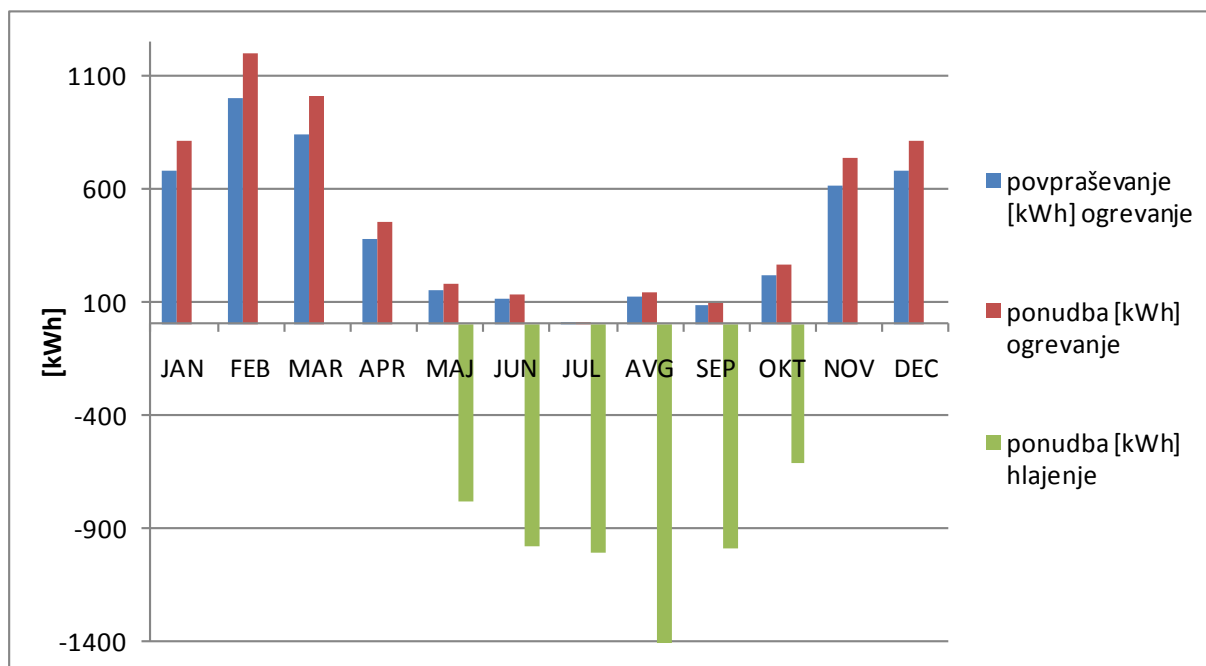
Graf 3: Primerjava količinskih potreb propana ter možne količine TET_1 (ogrevanje)

Preglednica 19: Primerjava količinskih potreb propana ter možne količine TET_1 (ogrevanje)

Mesec	Povpraševanje - ogrevanje [kWh]	Ponudba - ogrevanje [kWh]
JANUAR	680	884
FEBRUAR	1.000	1.300
MAREC	840	1.092
APRIL	380	494
MAJ	150	195
JUNIJ	110	143
JULIJ	10	13
AVGUST	120	156
SEPTEMBER	80	104
OKTOBER	220	286
NOVEMBER	610	793
DECEMBER	680	884
SKUPAJ	4.880	6.344

Količina TET, ki jo lahko zagotavljamo za ogrevanje za hišo na Barju sledi kumulativni količini 7.200 kWh. Letno količino smo razporedili tako, da smo zadostili mesečnemu povpraševanju.

Primeren odziv zemljine na delovanje tehnologije absorpcije toplotne energije tal z energetskimi piloti je možen le tedaj, ko energetske pilote uporabimo poleti tudi za hlajenje prostorov hiše. Med hlajenjem objekta dovajamo toploto zemljini, ki smo jo pozimi odvzeli za ogrevanje hiše. Investitor tako pridobi možnost hlajenja hiše v poletnem času ter poskrbi, da naravni procesi z uporabo TET niso moteni.



Graf 4: Primerjava količinskih potreb propana ter možne količine TET_2 (ogrevanje in hlajenje)

Preglednica 20: Primerjava količinskih potreb propana ter možne količine TET_2 (ogrevanje in hlajenje)

Mesec	Povpraševanje - ogrevanje [kWh]	Ponudba - ogrevanje [kWh]	Ponudba - hlajenje [kWh]
JANUAR	680	816	0
FEBRUAR	1.000	1.200	0
MAREC	840	1.008	0
APRIL	380	456	0
MAJ	150	180	-780
JUNIJ	110	132	-982
JULIJ	10	12	-1.012
AVGUST	120	144	-1.494
SEPTEMBER	80	96	-996
OKTOBER	220	264	-614
NOVEMBER	610	732	0
DECEMBER	680	816	0
SKUPAJ	4.880	5.856	5.878

Iz grafa TET_2 vidimo vrednosti odvzete in vrnjene količine TET v zemljino. Ker nimamo energetske porabe ločene za ogrevanje prostorov in ogrevanje vode, ne moremo natančno opredeliti količine TET za hlajenje prostorov hiše. Za zagotovitev optimalne rešitve za hišo na Barju bi zagotovo potrebovali natančnejše vhodne podatke za posledično natančnejšo varianto 2 stroškovnega modela.

Preglednica 21: Izračun neto sedanje vrednosti - Varianta 2 – TET

Varianta 2 -TET		
ČAS [LETA]	STROŠKI	KORISTI
0	-25.380 €	enake
1	-316 €	dražitev energenta
2	-329 €	1,04
3	-342 €	1,08
4	-355 €	1,12
5	-370 €	1,17
6	-384 €	1,22
7	-400 €	1,27
8	-416 €	1,32
9	-432 €	1,37
10	-450 €	1,42
11	-468 €	1,48
12	-486 €	1,54
13	-506 €	1,60
14	-526 €	1,67
15	-547 €	1,73
16	-569 €	1,80
17	-592 €	1,87
18	-616 €	1,95
19	-640 €	2,03
20	-666 €	2,11

r*	NSV
0,00	-34.790 €
0,05	-29.414 €
0,07	-27.990 €
0,10	-26.301 €

*r je diskontna stopnja

Varianta 3: VODA/VODA: Obravnavamo možnost temeljenja hiše na lesenih kolih, kakor v varianti 1. V bližino hiše zvrtaemo dve 40 metrov globoki vrtini, ki bi omogočali uporabo vodonosnika na močvirnatih tleh Barja. S toplotno črpalko voda/voda dvignemo dobljeno temperaturo na želeno za potrebe ogrevanja in hlajenja. Sekundarni tokokrog zpoet sestavljajo nizkotemperaturni sistemi talnega in stenskega ogrevanja. Za določitev možne količine vhodnega energenta (voda v vodonosniku) oziroma vsaj natančne lokacije vodonosnika bi morali izvesti dodatne poskusne vrtine.

Preglednica 22: Investicijski stroški - Varianta 3 – VODA/VODA

OPIS INVESTICIJSKIH STROŠKOV	KOLIČINA	CENA
leseni piloti (material ter izdelava 100 €/dan bager, 3 dni)	3 piloti/m ² * 180 m ² = 360 pilotov	360 lesenih pilotov x 35,00 €/pilot = 12.600,00 €
najem strojne mehanizacije (bager)	35 ur	100 €/dan * 4 dni = 400,00 €
dve vrtini do vodonosnika - vrtanje, vstavljanje cevi ter betoniranje (Varčevanje-energije, 2012)	2 x 40 m	50 €/meter * 80 m = 4.000,00 €
toplotna črpalka z bojlerjem (7 kW)	1 kos	6.000,00 €
cevi za nizkotemperaturni sistem (talno in stensko gretje)	120 m ²	25 €/m ² * 120 m ² = 3.000,00 €
visokotemperaturne naprave (radiatorji)	0 kosov	0,00 €
subvencija ekoslada	0	0,00 €
SKUPAJ		26.000,00 €

Preglednica 23: Tekoči in vzdrževalni stroški na letni ravni - Varianta 3 – VODA/VODA

OPIS LETNIH OBRATOVALNIH IN VZDRŽEVALNIH STROŠKOV	KOLIČINA	CENA
vhodni energent - TET	7.200 kWh	0,00 €
električna energija za pogon TC	1.800 kWh	1.800 kWh * 0,12 €/kWh = 216,00 €
vzdrževanje (pregled TC)	1 kos	100,00 €
SKUPAJ		316,00 €

Preglednica 24: Izračun neto sedanje vrednosti -Varianta 3 –VODA/VODA

Varianta 3 - VODA / VODA		
ČAS [LETA]	STROŠKI	KORISTI
0	-26.000 €	enake
1	-316 €	dražitev energenta
2	-329 €	1,04
3	-342 €	1,08
4	-355 €	1,12
5	-370 €	1,17
6	-384 €	1,22
7	-400 €	1,27
8	-416 €	1,32
9	-432 €	1,37
10	-450 €	1,42
11	-468 €	1,48
12	-486 €	1,54
13	-506 €	1,60
14	-526 €	1,67
15	-547 €	1,73
16	-569 €	1,80
17	-592 €	1,87
18	-616 €	1,95
19	-640 €	2,03
20	-666 €	2,11

r*	NSV
0,00	-35.410 €
0,05	-30.004 €
0,07	-28.569 €
0,10	-26.865 €

*r je diskontna stopnja

Varianta 4: ZRAK/VODA: Zadnja varianta obravnavna hišo temeljeno na lesenih kolih. Primarni tokokrog uporablja vhodni energent zrak, sekundarni tokokrog pa iz nizko temperaturnega sistema talnega ter stenskega ogrevanja. Povezuje ju toplotna črpalka zrak/voda, ki omogoča uporabo temperature zunanjega zraka za ogrevanje in hlajenje.

Preglednica 25: Investicijski stroški - Varianta 4 – ZRAK/VODA

OPIS INVESTICIJSKIH STROŠKOV	KOLIČINA	CENA
leseni piloti (material ter izdelava 100 €/dan bager, 3 dni)	3 piloti/m ² * 180 m ² = 360 pilotov	360 lesenih pilotov x 35,00 €/pilot = 12.600,00 €
najem strojne mehanizacije (bager)	35 ur	100 €/dan * 4 dni = 400,00 €
toplotna črpalka z bojlerjem (7 kW)	1 kos	6.000,00 €
cevi za nizkotemperaturn sistem (talno in stensko gretje)	120 m ²	25 €/m ² * 120 m ² = 3.000,00 €
visokotemperaturne naprave (radiatorji)	0 kosov	0,00 €
subvencija ekoslada	0	0,00 €
SKUPAJ		22.000,00 €

Preglednica 26: Tekoči in vzdrževalni stroški na letni ravni - Varianta 4 – ZRAK/VODA

OPIS LETNIH OBRATOVALNIH IN VZDRŽEVALNIH STROŠKOV	KOLIČINA	CENA
vhodni energent - TET	7.200 kWh	0,00 €
električna energija za pogon TC	4.200 kWh	4.200 kWh * 0,12 €/kWh = 504,00 €
vzdrževanje (pregled TČ)	1 kos	100,00 €
SKUPAJ		604,00 €

Električna energija za pogon toplotne črpalke zrak/voda je večja, ker upoštevamo tudi zelo mrzle dni v enem letu. Obravnavamo konservativno oceno, da je dva meseca na leto potrebno intenzivno z električno energijo greti absorpcijsko tekočino zaradi prenizke temperature zunanjega zraka.

Preglednica 27: Izračun neto sedanje vrednosti - Varianta 4 – ZRAK/VODA

Varianta 4 - ZRAK / VODA		
ČAS [LETA]	STROŠKI	KORISTI
0	-22.000 €	enake
1	-604 €	dražitev energenta
2	-628 €	1,04
3	-653 €	1,08
4	-679 €	1,12
5	-707 €	1,17
6	-735 €	1,22
7	-764 €	1,27
8	-795 €	1,32
9	-827 €	1,37
10	-860 €	1,42
11	-894 €	1,48
12	-930 €	1,54
13	-967 €	1,60
14	-1.006 €	1,67
15	-1.046 €	1,73
16	-1.088 €	1,80
17	-1.131 €	1,87
18	-1.177 €	1,95
19	-1.224 €	2,03
20	-1.273 €	2,11

r*	NSV
0,00	-39.986 €
0,05	-30.972 €
0,07	-28.723 €
0,10	-26.171 €

*r je diskontna stopnja

C) Ugotovitve:

Vse variante smo predstavili z opisom ter varianto stroškovnega modela. Primerjavo variant ter opis razlogov za izbiro najboljše (optimalne) variante navajamo tu.

Varianta 1 – PLIN: uporaba konvencionalnega vira energije, v našem primeru propana, za ogrevanje in hlajenje sistema 1 »hiše na Barju«, iz vidka analize stroškovne učinkovitosti ni najboljša rešitev. Z neobnovljivim virom vhodnega energenta varianta ne zadošča cilju trajnostnega razvoja, ki je definiran na nacionalni ter evropski ravni pravnega reda z mnogimi dokumenti. Uporaba propana ne zagotavlja energetske neodvisnosti. S tem povezano tveganje je nenadno povišanje cen ali celo nedobavljivost propana. Investicijski stroški so v primerjavi z ostalimi tremi variantami najnižji, vsota tekočih ter vzdrževalnih stroškov pa je najvišja od vseh obravnavanih variant, kar se kaže v najbolj negativni vrednosti neto sedanje vrednosti.

Varianta 2 – TET: TET je obnovljiv vir energije, ki ne onesnažuje okolja. Bistveno doprinaša h cilju trajnostnega razvoja na nacionalni ter evropski ravni. Investicijski stroški energetskega sistema so drugi najvišji izmed vseh obravnavanih variant, vsota tekočih in vzdrževalnih stroškov pa je najnižja izmed vseh obravnavanih variant. Zato je neto sedanja vrednost druga najmanj negativna, kar je za današnjega investitorja zelo pomembno. Bistvena prednost uporabe energetskih pilotov za absorpcijo toplotne energije tal je v tem, da investitor zgolj za izkoriščanje OVE nima dodatnih stroškov izvedbe vrtin ali izrabe prostora okoli objekta. Armiranobetonske pilote izvedemo vedno, če je hiša z njimi temeljena. Možnost, da jih nekaj od njih izkoristimo za absorpcijo toplotne energije tal predstavlja velik oportunitetni strošek. Le-ta za investitorja predstavlja izjemno priložnost, ki je v prihodnosti ni več možno izkoristiti. Zato je manj pomemben dvig investicijskega stroška za izgradnjo primarnega in

sekundarnega tokokroga kot na vrednost, ki jo z uporabo toplotne energije tal pridobi. V spodnji preglednici predstavljamo analizo SWOT²¹ s pregledom dodanih vrednosti uporabe TET.

Preglednica 28: Analiza SWOT za TET

<p>PREDNOSTI</p> <ul style="list-style-type: none"> - samozadostnost oziroma samooskrba za ogrevanje in hlajenje prostorov ter sanitarne vode, če ¼ potreb po električni energiji zagotavljamo na primer s fotovoltaičnimi sistemi - ekonomska upravičenost investicije - vandalizmu nedostopen sistem - trajnostna tehnologija - 20 letna tradicija 	<p>PRILOŽNOSTI</p> <ul style="list-style-type: none"> - distribucija/prodaja TET bližnjim objektom - samozadosten sistem pomeni neodvisnost od dobaviteljev konvencionalnega vhodnega energenta za potrebe ogrevanja in hlajenja - v prihodnosti možen izogib težavam ob morebitni energetski krizi - neizkušenost slovenskih projektantov, izvajalcev in nadzornikov - nepovratna sredstva Ekosklada RSLO - prispevek h zavezi ANOVE o 25% rabi OVE - vedno cenejši materiali in postopki
<p>SLABOSTI</p> <ul style="list-style-type: none"> - morebitne napake pri izvedbi v primarnem tokokrogu ter napake in vzdrževanje po nekaj letih obratovanja sistema - neizkušenost slovenskih projektantov, izvajalcev in nadzornikov - prekomerno izkoriščanje TET 	<p>GROŽNJE</p> <ul style="list-style-type: none"> - morebitne napake pri izvedbi - ne poznamo dolgoročnega odziva (več kot 20 let) - konkurenca drugih tehnologij uporabe OVE - prepočasna odzivnost investorjev zaradi pomanjkanja informacij o tehnologiji absorpcije TET z energetskimi geotehničnimi elementi

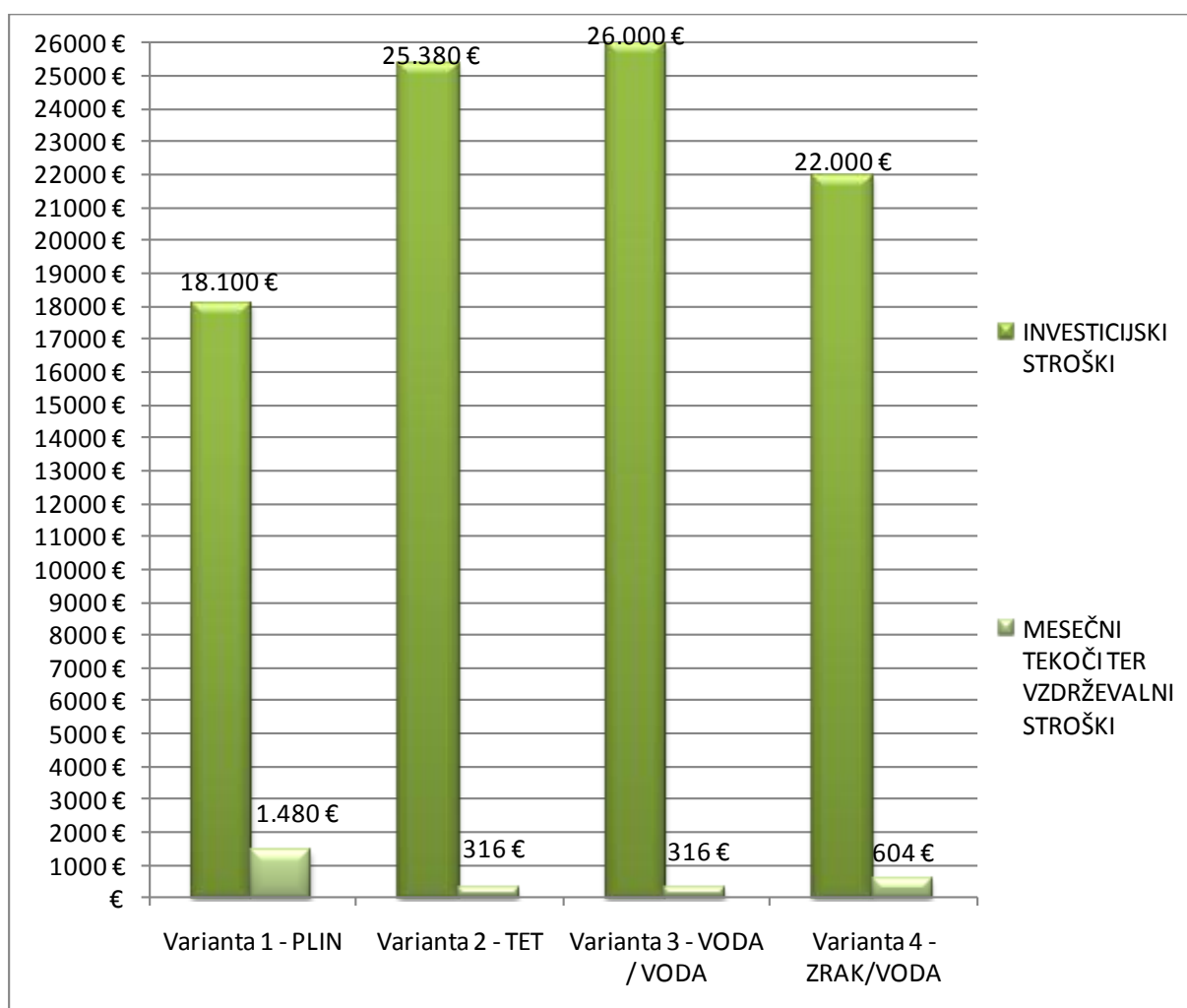
Varianta 3 – VODA/VODA: investicijski stroški obravnavane variante so najvišji izmed vseh variant, vsota tekočih ter vzdrževalnih stroškov pa najnižja. Edina pomanjklivost variante stroškovnega modela je v tem, da nismo upoštevali stroškov dodatnih preiskav tal z vrtinami za določitev primerne lokacije dveh vrtin za odzemanje in vračanje vode iz ter v vodonosnik. Varianta 3 uporablja OVE za ogrevanje in hlajenje, bodisi TET ali geotermalno energijo. Natančnih podatkov o globini vpliva sončne energije namreč ni. Skladno s poglavjem 3.2 pa lahko rečemo, da je voda v vodonosniku tudi delno, če že ne večinsko, ogreta z geotermalno energijo. Oba vhodna energenta (TET in geotermalna energija) prispevata h cilju trajnostnega razvoja. Obstaja slabost variante 3. Nadzora nad uporabniki, ki črpajo vodo iz vodonosnikov ni. Načelom voda iz vodonosnika ni pitna, vendar pa obstaja možnost, da ljudje črpajo iz vodonosnikov pitno vodo ter jo vračajo nazaj. Ker nadzora ni, se lahko zgodi tragedija, da bi z vračanjem vode v vodonosnik onesnažili pitno vodo. Zavedati se moramo, da alternative tehnologijam za ogrevanje in hlajenje obstajajo, alternative čisti pitni vodi pa človeštvo nima. V primeru, da uporabljamo aluvialni vodonosnik, ki se ne uporablja za zagotavljanje pitne vode, bi lahko obstajalo tudi dejstvo, da bi potrebovali manj energije za vračanje toplote zemljini. Če je v okolici absorpcijskega elementa (energetski pilot, dodatna vrtina (geosonda)) počasi premikajoča voda, je temperatura zemljine ne glede na odvzem toplote pozimi za potrebe ogrevanja. Zato bi lahko z natančnim preiskovanjem tal optimizirali ne le varianto 3 – VODA/VODA, temveč tudi energetsko varianto 2 – TET.

²¹ SWOT analiza je kvalitativna analiza ter pomembno orodje namenjeno investitorju. V vsaki fazi odločanja o projektu mora namreč investitor imeti na razpolago informacije, ki ga morajo (ali pa tudi ne) prepričati o pravi odločitvi za uporabo TET.

Varianta 4 – ZRAK/VODA: tudi ta varianta uporablja vhodni energent, ki ne onesnažuje okolja. To je zrak oziroma temperaturo zunanjega zraka. Investicijski stroški te variante so izmed treh variant za uporabo nekonvencionalnega vira energije najnižji. Nizka temperatura zraka pa povzroči višjo porabo električne energije za delovanje toplotne črpalke. Za ogrevanje absorpcijske tekočine se vključijo dodatni električni grelci. S tem se jasno povečajo tudi tekoči stroški. Zato je vsota tekočih in vzdrževalnih stroškov te variante najvišja izmed treh variant, ki ne uporabljajo konvencionalnega vhodnega energenta, še vedno pa precej nižja od variante 1 – PLIN.

Preglednica 29: Primerjava stroškov variant

VARIANTA \ STROŠKI	INVESTICIJSKI STROŠKI	MESEČNI TEKOČI IN VZDRŽEVALNI STROŠKI
Varianta 1 - PLIN	18.100 €	1.480 €
Varianta 2 - TET	25.380 €	316 €
Varianta 3 - VODA/VODA	26.000 €	316 €
Varianta 4 - ZRAK/VODA	22.000 €	604 €



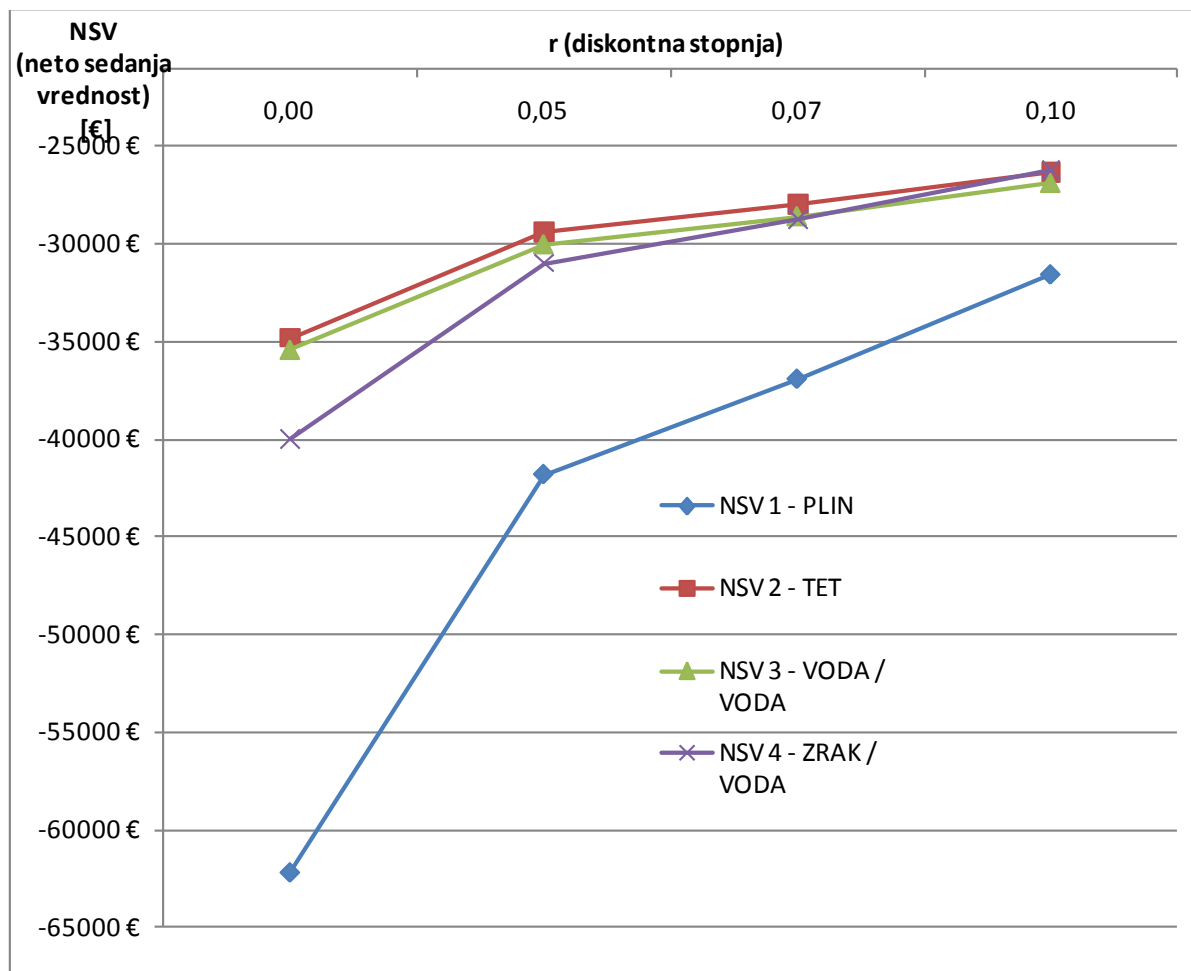
Graf 5: Primerjava stroškov obravnavanih variant

$18.100 \text{ €} / 25.380 \text{ €} = 0,71 \rightarrow$ Varianta 1 – PLIN ima za skoraj 30% nižje investicijske stroške v primerjavi z Varianto 2 – TET.

$1.480 \text{ €} / 316 \text{ €} = 4,68 \rightarrow$ Vendar so tekoči in vzdrževalni stroški Variante 2 – TET skoraj petkrat nižji.

Preglednica 30: Primerjava neto sedanjih vrednosti posameznih variant (za obdobje 20 let)

NSV \ r	0,00	0,05	0,07	0,10
NSV 1 - PLIN	-62.172 €	-41.790 €	-36.915 €	-31.575 €
NSV 2 - TET	-34.790 €	-29.414 €	-27.990 €	-26.301 €
NSV 3 - VODA/VODA	-35.410 €	-30.004 €	-28.569 €	-26.865 €
NSV 4 - ZRAK/VODA	-39.986 €	-30.972 €	-28.723 €	-26.171 €



Graf 6: Primerjava neto sedanjih vrednosti posameznih variant

Preglednica 1: Merila za ocenjevanje

OCENA	OPIS EKONOMSKEGA VIDIKA	OPIS OKOLJEVARSTVENEGA VIDIKA
Bolj primerna	Najmanj negativna vrednost neto sedanje vrednosti investicijskih, tekočih in vzdrževalnih stroškov v 20 letni ekonomski dobi posamezne obravnavane variante.	Vhodni energent je OVE. Za delovanje energetskega sistema ni dodatnih gradbenih del ter zahtev po dodatnem prostoru za elemente primarnega tokokroga.
Primerna	Negativna neto sedanja vrednost investicijskih, tekočih in vzdrževalnih stroškov v 20 letni ekonomski dobi posamezne obravnavane variante je bližje najmanj negativni vrednosti NSV obravnavanih variant.	Vhodni energent je OVE. Obstaja možnost trajnega onesnaževanja okolja.
Manj primerna	Najbolj negativna vrednost neto sedanje vrednosti investicijskih, tekočih in vzdrževalnih stroškov v 20 letni ekonomski dobi posamezne obravnavane variante.	Vhodni energent ni OVE.

Preglednica 31: Ocenjevanje izbire optimalne variante sistema 1 "hiša na Barju"

VARIANTA	OCENA EKONOMSKEGA VIDIKA	OCENA OKOLJEVARSTVENEGA VIDIKA	VRSTNI RED
Varianta 1 – PLIN	Manj primerna	Manj primerna	4
Varianta 2 – TET	Bolj primerna	Bolj primerna	1
Varianta 3 – VODA/VODA	Primerna	Primerna	3
Varianta 4 – ZRAK/VODA	Primerna	Bolj primerna	2

Variante 2, 3 in 4 so med seboj zelo primerljive. Izbira tehnologije energetskega sistema in posledično vrste toplotne črpalke je tesno povezana s klimatskimi pogoji. Morda bi bilo na Primorskem najmanj primerno izbrati Varianto 2, saj je temperatura zraka vedno dovolj visoka in bi lahko izbrali Varianto 4. Na Pohorju bi bila Varianta 2 najbolj primerna. Za izbiro določene Variante obstajajo tudi drugi, subjektivni faktorji. Na primer toplotna črpalka lahko povzroča preveč hrupa. Enoznačne izbire s konceptualnim pristopom, kot je prikazan v diplomski nalogi, za končni izbor tehnologije za ogrevanje in hlajenje objekta ne dobimo.

Vseeno je rezultat konceptualnega variantnega stroškovnega modela analize stroškovne učinkovitosti za sistem 1 »hiša na Barju« sledeč: optimalna varianta je Varianta 2 – TET. Za še natančnejšo presojo bi morali zbrati bolj natančne vhodne podatke. Na primer za še boljše ocene Variante 2 – TET bi režim odzema in vračanja TET lahko modelirali numerično, ne le na mesečni, temveč tudi na dnevni ravni. S tem bi dobili realnejše podatke o porabi elektrike, vendar to presega okvire diplomske naloge. Prav tako bi morali za celovito investicijsko oceno sodelovati z inženirjem strojništva, inženirjem elektrotehnike, arhitektom ter tudi z ekonomistom. S prvima dvema bi lahko natančneje določili porabo elektrike za delovanje toplotne črpalke in našli primerno rešitev za proizvodnjo elektrike - na primer s fotovoltaičnimi sistemi. Skupaj bi tako lahko pripravili celovito investicijsko dokumentacijo za izvedbo stanovanjskega objekta, kakršen je sistem 1 »hiša na Barju«.

Navadno se investicija v tehnologijo absorpcije toplotne energije tal z energetskimi geotehničnimi elementi povrne v dveh do desetih letih, odvisno od tal, temeljenja, cen vhodnih energentov, lokacije objekta ter primernosti konstrukcijskih sklopov (Brandl, 2006).

V primeru sistema 1 »hiša na Barju« bi se investicija povrnila po šestih letih, če jo primerjamo z investicijo v energetski sistem s plinom.

Preglednica 32: Povrnitev investicije

ČAS [LETA]	NSV ($r = 0,07$)	VHODNI ENERGENT
7	-25.238 €	PLIN
7	-25.497 €	TET
8	-26.298 €	PLIN
8	-25.723 €	TET

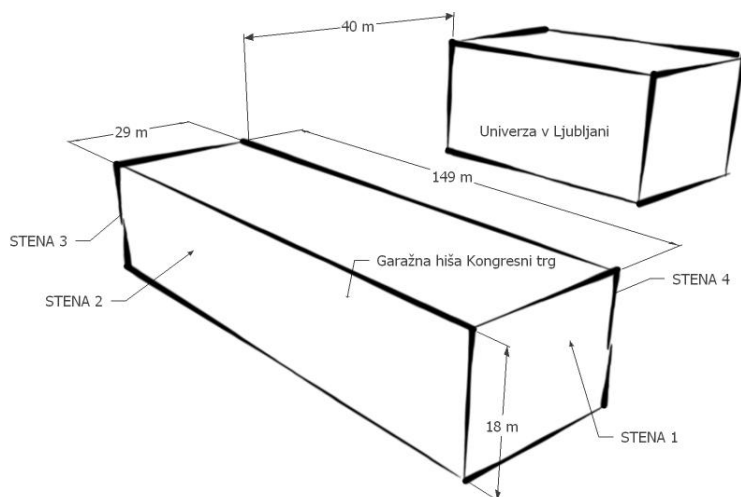
4.2 Sistem 2 »parkirna hiša Kongresni trg«

A) Opis objekta: Parkirna hiša Kongresni trg v več etažah nudi skupno 720 parkirnih mest. V najvišji etaži parkirne hiše je 41 parkirnih mest namenjenih invalidom. Parkirna hiša leži pod Kongresnim trgom v Ljubljani in nahaja v neposredni bližini številnih ustanov in parka Zvezda. Vhod v garažno hišo je možen iz Slovenske in Šubičeve ceste (LPT, 2012).

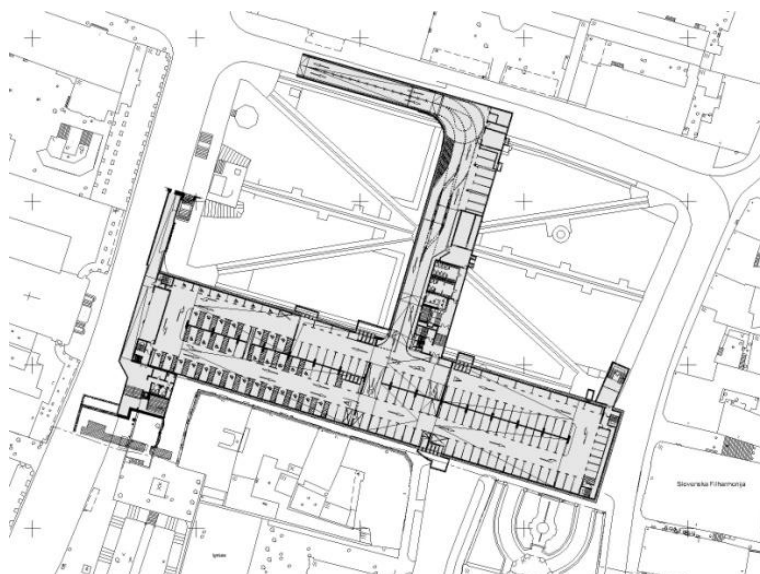


Slika (privzet a) 37: Lokacija sistema 2 »parkirna hiša Kongresni trg«

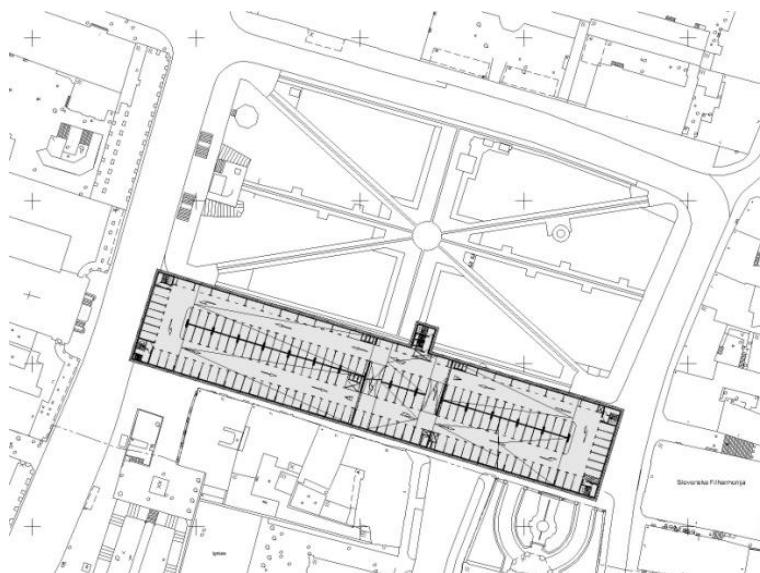
Parkirna hiša obsega celotni Kongresni trg ob parku Zvezda. V dolžino meri 149 metrov, širino pa 29 metrov. Na zahodnem delu ima parkirna hiša pet etaž, ki segajo do globine 18,5 m pod nivojem terena, na vzhodnem delu pa štiri etaže. Vertikalna komunikacija je izvedena preko štirih ločenih stopnišč, dvoje stopnišč na vsaki strani parkirne hiše, enega osrednjega stopnišča pri dovozu v garažo, dveh osrednjih dvigal, ki povezuje posamezne etaže in enega stopnišča ob Slovenski cesti namenjenega za invalide. Uvoz in izvoz iz parkirne hiše je izveden po skupni dovozni rampi, ki leži pod parkom Zvezda v smeri sever jug ter se nadaljuje po Šubičevi ulici.



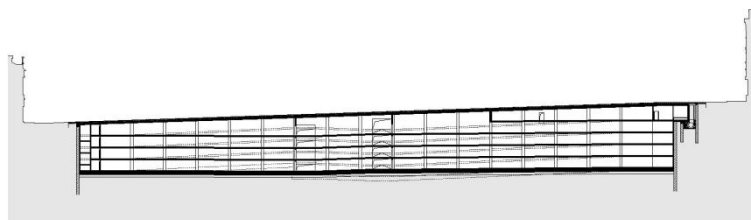
Slika 13: Skica parkirne hiše Kongresni trg



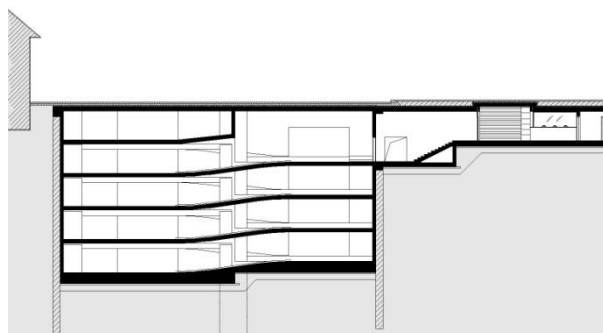
Slika (privzeta) 38: Tloris najvišjega nivoja (IZTR, 2012)



Slika (privzeta) 39: Tloris najnižjega nivoja (IZTR, 2012)



Slika (privzeta) 40: Vzdožni prerez (IZTR, 2012)



Slika (privzeta) 41: Prečni prerez (IZTR, 2012)

Nosilna konstrukcija parkirne hiše je sestavljena iz armiranobetonskih medetažnih plošč, ki omogočajo parkiranje vozil, in obodnih nosilnih sten, ki so povezane z vodotesno diafragmo. Srednje nosilne stene so dodatno podprte s sredinskimi armiranobetonskimi stebri, ki prenašajo obremenitve razpornih plošč do temeljnih tal (Jerič, 2010).

B) Stroškovni model:

Parkirna hiša Kongresni trg za svoje delovanje ne potrebuje vhodnega energenta za ogrevanje in hlajenje. V stroškovnem modelu opredelimo višino stroškov in analiziramo ekonomsko upravičenost investicije vgrajevanja absorpcijskih cevi v diafragme in temeljno ploščo za primer, da bi projektirali novogradnjo parkirne hiše danes. Glavni namen vgrajevanja absorpcijskih cevi v diafragme in temeljno ploščo parkirne hiše je možnost izkoriščanja toplotne energije tal, ki jo uporabimo za distribucijo (prodajo) bližnjim objektom, saj se parkirna hiša ne ogreva. Z energetskimi diafragmami in energetsko temeljno ploščo omogočimo uporabo lokalnih virov obnovljive energije ter dvigujemo raven energetske samozadostnosti na lokalni, regionalni in državni ravni ter bistveno doprinašamo tudi k cilju »20-20-20« oziroma 25% rabi OVE, ki je definiran z ANOVE. Poleg tega s prodajo TET povečamo prihodke, ki jih investicija v parkirno hišo prinaša investitorju.

Osnova ekonomske analize stroškovne učinkovitosti sistema 2 »parkirna hiša Kongresni trg« sta predpostavki:

- stroški ter koristi prve variante Varianta 1 – TET temeljijo na podatkih iz tabele Tabela: Investicijski stroški - varianta 1 – TET in tabele Tabela: Tekoči in vzdrževalni stroški na letni ravni - varianta 1 – TET.
- DDV se v stroškovnih modelih ne upošteva.

Z analitično oceno o absorpcijski zmogljivosti energetskih diafragm ter energetske temeljne plošče parkirne hiše Kongresni trg lahko izračunamo možno količino TET.

Preglednica 33: Podatki o geotehničnih elementih parkirne hiše Kongresni trg (stene so označene skladno s sliko 13)

	A [m ²]	q [W/m ²]	Q [W]
stena 1 in 3	1.044	30	31.320
stena 2 in 4	5.364	30	160.920
plošča	4.321	10	43.210
		SKUPAJ	235.450

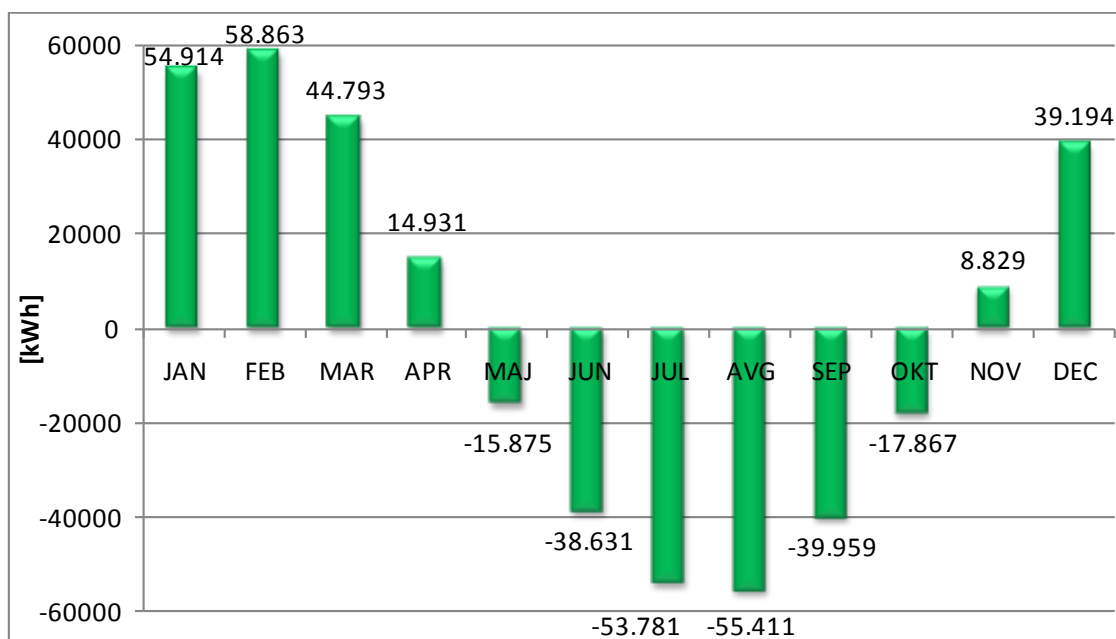
Na mesečni ravni pomeni, da lahko z energetskimi geotehničnimi elementi parkirne hiše Kongresni trg vsako sekundo absorbiramo 235.450 W toplotnega toka. V praksi bi takšno delovanje lahko vodilo v zamrznitev zemljine pozimi (ogrevanje objekta pomeni ohlajanje zemljine) ter prekomerno segrevanje zemljine poleti (hlajenje objekta pomeni ogrevanje zemljine). Zato predpostavimo konservativnejšo uporabo. V enem letu za ogrevanje objektov odzhamemo zemljini le tretjino možne toplotne energije. Toplotna črpalka tako deluje 1.500 ur na leto za potrebe ogrevanja in 1.500 ur za potrebe hlajenja. V enem letu je skupaj to 3.000 ur. Na mesečni ravni to pomeni 250 ur, na dnevni pa 8 ur delovanja.

Preglednica 34: Osnovni podatki ob izboru geotehničnih elementov PH KT

	SKUPAJ [W]	[kW]	število ur [h]	[kWh]
ogrevanje	235.450	235,45	1.500	353.175
hlajenje	235.450	235,45	1.500	353.175

$$235 \text{ kW} * 1.500 \text{ ur} = 353.175 \frac{\text{kWh}}{\text{leto}}$$

(29)



Graf 7: Prikaz možne količine TET za ogrevanje in hlajenje v enem letu

Preglednica 35: Prikaz količine TET v enem letu

Mesec	Ponudba [kWh]
JANUAR	54.914
FEBRUAR	58.863
MAREC	44.793
APRIL	14.931
MAJ	-15.875
JUNIJ	-38.631
JULIJ	-53.781
AVGUST	-55.411
SEPTEMBER	-39.959
OKTOBER	-17.867
NOVEMBER	8.829
DECEMBER	39.194
SKUPAJ	443.048

Absorbirano toplotno energijo tal parkirna hiša Kongresni trg za svoje delovanje ne potrebuje. Zato lahko vso količino TET prodamo bližnjim objektom. Pozimi se TET iz zemljine uporabi za ogrevanje prostorov bližnjih objektov, poleti s hlajenjem bližnjih objektov enako količino toplote vračamo zemljini. Za primer distribuiranja TET bližnjim objektom sta možni sledeči varianti:

- bližnji objekt bo zgrajen na novo
- bližnji objekt je že zgrajen

V našem primeru je bližnji objekt na primer stavba UL, ki je od parkirne hiše oddaljena 40 metrov. Posebno pozornost pri distribuciji je potrebno nameniti preprečevanju toplotnim izgubam na poti do uporabnika. Tesno sodelovanje s strojnimi inženirjem je zato nujno potrebno. Morebitne stroške povezane s sekundarnim tokokorgom prevzema lastnik bližnjega objekta, v kolikor ni z distributerjem TET dogovorjeno drugače. Vseeno je prodaja TET bolj namenjena novozgrajenim objektom v bližini nove parkirne hiše, saj ne pričakujemo, da bi na primer prenavljali celoten ogrevalno-hladilni sistem stavbe Univerze v Ljubljani.

Naj bo sistem 2 »parkirna hiša Kongresni trg« izhodišče za splošen hipotetični scenarij. Naj se gradi parkirna hiša na lokaciji, kjer bodo v bližnji prihodnosti gotovo zgradili tudi novi objekte, ki se bodo morali ogrevati in hladiti. Zanima nas:

- Varianta 1: Najmanj koliko let v 25 letnem obdobju ekonomske analize bi morali prodajati TET sosednjim objektom, da bo naša investicija za absorpcijske cevi, ki smo jih vgradili med gradnjo parkirne hiše, povrnjena? Oziroma največ koliko časa lahko čakamo z neuporabo tehnologije absorpcije toplotne energije tal, po vgradnji absorpcijskih cevi, da bo naša investicija povrnjena.

Opišimo najprej investicijske ter letne obratovalne in vzdrževalne stroške, ki nastanejo z izbiro tehnologije absorpcije toplotne energije tal z energetskimi geotehničnimi elementi.

Preglednica 36: Investicijski stroški - sistem 2 "parkirna hiša Kongresni trg"

OPIS INVESTICIJSKIH STROŠKOV	KOLICINA	CENA
absorpcijske cevi v energetskih geotehničnih elementih	10.729 m ²	160.935,00 €
ostalo (napake, dodatki)	1 kos	10.000,00 €
toplotna črpalka (250 kW oziroma 2 x 125 kW)	1 kos	40.000,00 €
subvencija ekoslada za toplotno črpalko	0 kos	0,00 €
SKUPAJ		210.935,00 €

Preglednica 37: Cena absorpcijskih cevi v energetskih geotehničnih elementih sistema 2 "parkirna hiša Kongresni trg"

CENA ABS.CEVI	A [m ²]	CENA [€/m ²]	CENA [€]
energetska stena 1	1.044	15	15.660
energetska stena 2	5.364	15	80.460
energetska plošča	4.321	15	64.815
ostalo (napake, dodatki)	/	/	10.000
SKUPAJ	10.729		170.935

Preglednica 38: Tekoči in vzdrževalni stroški - sistem 2 "parkirna hiša Kongresni trg"

OPIS LETNIH OBRATOVALNIH IN VZDRŽEVALNIH STROŠKOV	KOLICINA	CENA
vhodni energent – TET za ogrevanje	221.524 kWh	0,00 €
električna energija za pogon TC – za ogrevanje	55.381 kWh	55.381 kWh * 0,12 €/kWh = 6.646,00 €
vhodni energent – TET za hlajenje	221.524 kWh	0,00 €
električna energija za pogon TC – za hlajenje	55.381 kWh	55.381 kWh * 0,12 €/kWh = 6.646,00 €
vzdrževanje (pregled TC)	1 kos	1.000,00 €
SKUPAJ		14.292,00 €

Tokrat je stroškovni model sistema 2 je opredeljen za 25 letno ekonomsko dobo, kar je največ za področje energetike (EU-SKLADI, 2006).

Preglednica 39: Izračun NSV - sistem 2 "parkirna hiša Kongresni trg"

ČAS [LETA]	STROŠKI	KORISTI
0	-210.935 €	enake
1	12.288 €	dražitev energenta
2	12.780 €	1,04
3	13.291 €	1,08
4	13.822 €	1,12
5	14.375 €	1,17
6	14.950 €	1,22
7	15.548 €	1,27
8	16.170 €	1,32
9	16.817 €	1,37
10	17.490 €	1,42
11	18.189 €	1,48
12	18.917 €	1,54
13	19.673 €	1,60
14	20.460 €	1,67
15	21.279 €	1,73
16	22.130 €	1,80
17	23.015 €	1,87
18	23.936 €	1,95
19	24.893 €	2,03
20	25.889 €	2,11
21	26.925 €	2,19
22	28.002 €	2,28
23	29.122 €	2,37
24	30.286 €	2,46
25	31.498 €	2,56

r*	NSV
0,00	300.810 €
0,05	48.113 €
0,07	-2.357 €
0,10	-51.387 €

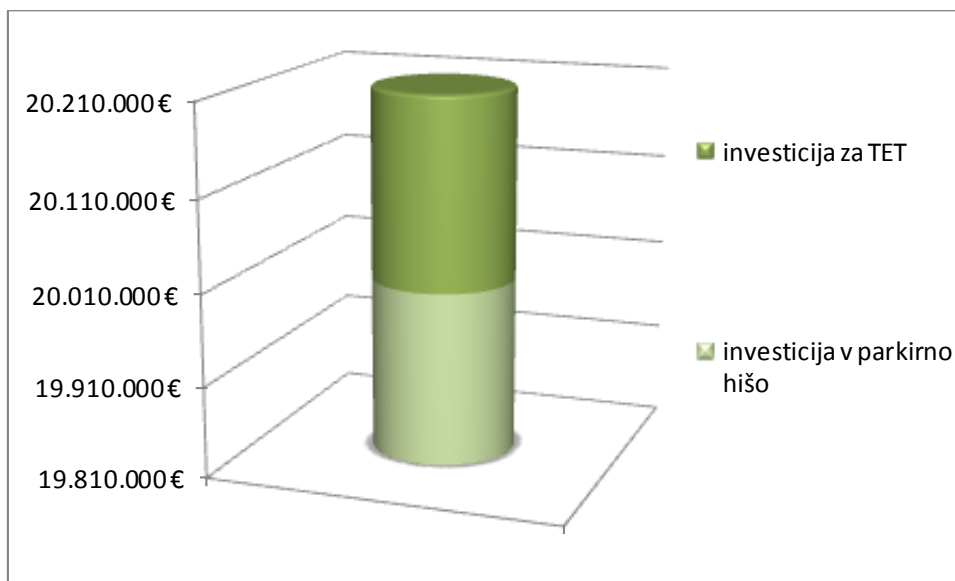
*r je diskontna stopnja

C) Ugotovitve:

Povečanje investicijskih stroškov gradnje zaradi energetskih geotehničnih elementov:

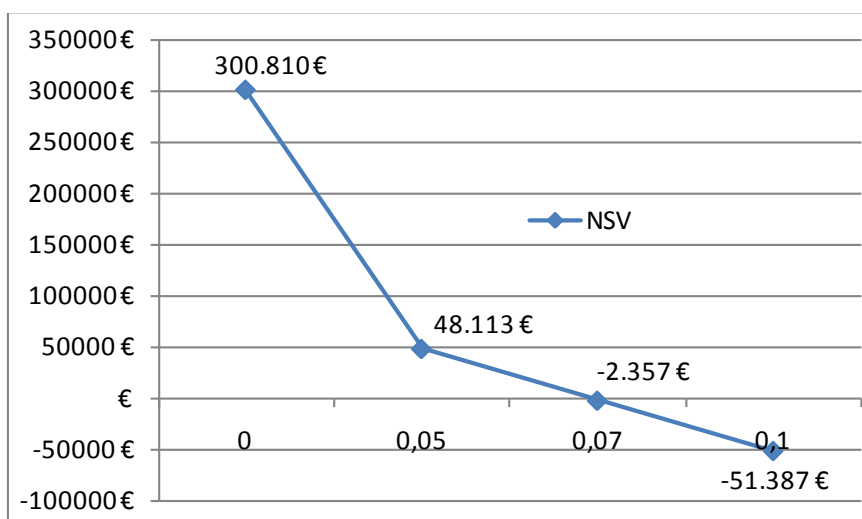
Preglednica 40: Relativna primerjava investicijskih stroškov cevi in parkirne hiše - sistem 2 "parkirna hiša Kongresni trg"

Investicijski stroški za vgradnjo absorpcijskih cevi	210.935 €
Investicija za celotno parkirno hišo (Zuma, 2011)	20.000.000 €
Odstotek investicije v absorpcijske cevi v primerjavi s celotno investicijo parkirne hiše	1%



Graf 8: Relativna primerjava investicijskih stroškov cevi in parkirne hiše - sistem 2 "parkirna hiša Kongresni trg"

S tem smo dokazali, da je strošek vgraditve absorpcijskih cevi izredno relativno nizek v primerjavi z investicijskim stroškom izvedbe temeljenja. Kar pa ne pomeni, da je investicija majhna. Pomembno je, da imamo kot investitorji možnost izbire in s tem neodvisnost odločanja o uporabi vhodnega energenta v prihodnosti. V primeru parkirne hiše je uporaba vezana na prodajo. V sistemu 1 »hiša na Barju« pa je uporaba vezana na znižanje stroškov ogrevanja in hlajenja. Jasno, pa je da uporaba TET prispeva k cilju trajnostnega razvoja. Če absorpcijskih cevi ne vgradimo ob gradnji, smo zapravili izredno priložnost - oportunitetni strošek je tako zelo visok, saj z odločitvijo o nevgradnji absorpcijskih cevi predstavljajo vrednost izgubljene dobrine in tudi storitve.



Graf 9: Neto sedanje vrednosti - sistem 2 "parkirna hiša Kongresni trg"

Parkirna hiša na Kongresnem trgu je na lokaciji trga omogočena uporaba vročevoda. Daljinsko toplotno ogrevanje je z vidika stroškovne učinkovitosti je lahko zelo konkurenčno TET. Iskati bi morali rešitev, iz katere bi bilo razvidno, da je način ogrevanja, ki je TETu alternativen, izjemno drag.

Ugotovili smo, da je oportunitetni strošek neizgradnje absorpcijskih cevi v parkirno hišo izjemno visok. Tudi v primeru, da TET ne začnemo uporabljati takoj, je investicija še vedno upravičena. Kljub temu, da je scenarij konservativen v smislu prodaje (TET prodajamo po ceni 0,06 € za kWh, kar je 50% ceneje kot stane 1 kWh električne energije), je investicija v tehnologijo absorpcije TET z energetskimi geotehničnimi elementi še vedno primerna. Možnost, da bi geotehnične elemente po izgradnji poskusili modificirati v energetske geotehnične elemente, ne obstaja, ker bi bili stroški previsoki. Zato te možnosti ne obravnavamo.

Variante 1 je torej hipotetični primer, ki sloni na predpostavki, da se parkirna hiša gradi na taki lokaciji, da je parkirna hiša vir TET, ki nadomesti ogrevanje in hlajenje bližnjih objektov z zemeljskim plinom.

Preglednica 41: Točka preloma za upravičenje investicije v TET s poznejšim začetkom uporabe

ČAS [LETA]	4	5
Neto sedanja vrednost (r = 5%)	4.163 €	-6.563 €

Ob diskontni stopnji 5% lahko začetek uporabe TET zamaknemo največ za 4 do 5 let, da bi se začetna investicija 201.935 € povrnila. Sicer pa se izkaže, da absorpcijskih cevi na zalogo v primeru parkirne hiše pri danih hipotezah ni smiselno vgrajevati, niti ob 7% niti 10% diskontni stopnji. Podobno se je izkazalo tudi pri sistemu 1 »hiša na Barju«, kjer v primeru večih enakovrednih variant tehnologije absorpcije TET ne moremo enoznačno izbrati za najbolj optimalno rešitev. Ekonomsko analizo za TET je torej potrebno narediti poglobljeno in natančno za točno določen objekt. Končna izbira energetskega sistema je odvisna tudi od stroškov vgradnje, dejanske temperature zraka, potreb po energiji. Ivestitor mora zato imeti s pogodbo že vnaprej določene odjemalce TET, ne glede na rezultat, ki ga podaja preglednica zgoraj.

4.3 Sistem 3 »viadukta Tržiška Bistrica«

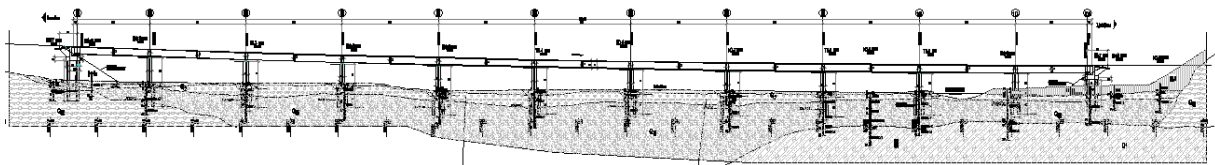
A) Opis objekta: V vsaki prometni smer je po en cestni viadukt. Viadukta sta umeščena na trasi štiripasovne gorenjske avtoceste, med krajem Naklo ter AC odcepom za Tržič in Ljubelj. En viadukt je dolg 421, drug pa 426 metrov. Oba premoščata Tržiško Bistrico ter potok Mlinščico.



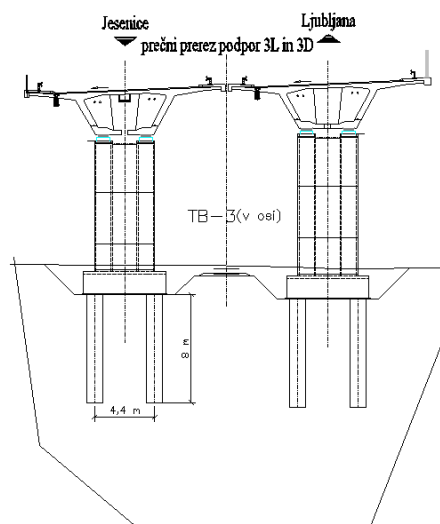
Slika (privzeta) 42: Lokacija Sistema 3 »viadukta Tržiška Bistrica« (GERK, 2012)



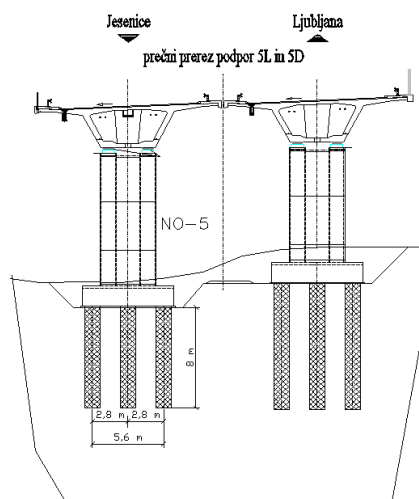
Slika (privzeta) 43: Viadukta Tržiška Bistrica (Dnevnik, 2009)



Slika (privzeta) 44: Vzdolžni inženirsko geološki profil viaduktov Tržiška Bistrica (Špacapan, Vršcer, 2012)

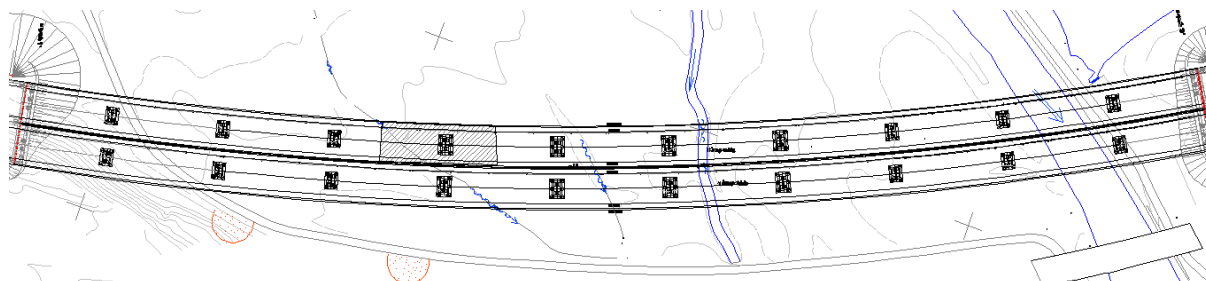


Slika (privzeta) 45: Prečni inženirsko geološki profil 2 (Špacapan, Vršcer, 2012)

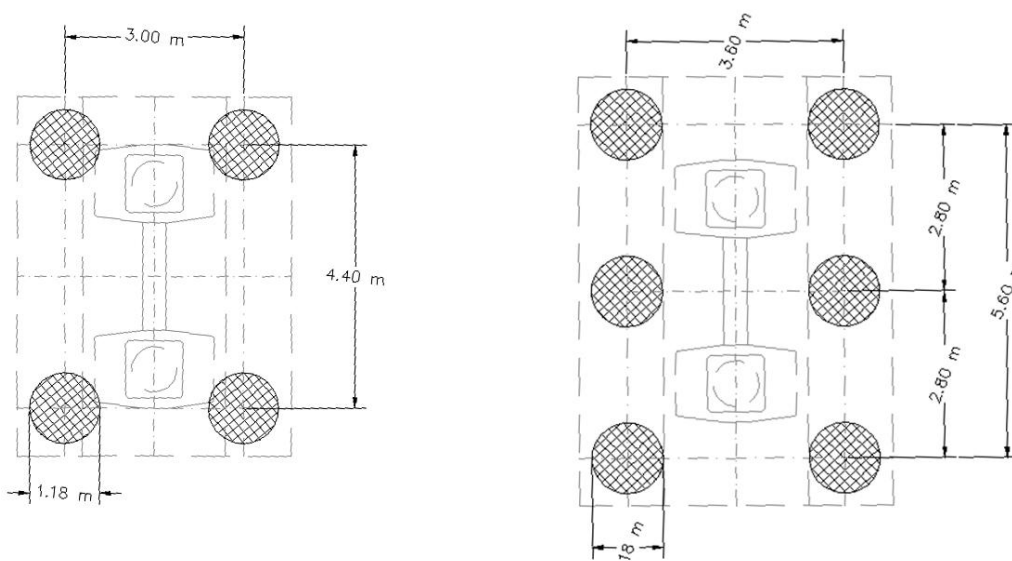


Slika (privzeta) 46: Prečni inženirsko geološki profil 5 (Špacapan, Vršcer, 2012)

Viadukta sta globoko temeljena na uvrtnih pilotih, premera 118 cm. Krajna opornika viaduktov sta skupna za oba objekta in sta globoko temeljena na osmih uvrtnih pilotih premera 118 cm (DARS, 2004). Oba viadukta skupaj imata 20 stebrov, vsak po 10. Sredinski štirje stebri vsakega viadukta Tržiška Bistrica so temeljeni s 6 piloti, zunanjih šest stebrov pa je temeljenih s 4 piloti. Vsi piloti imajo premer 1.18 metra in so dolgi 8 metrov. Vsak izmed dveh viaduktov Trziska Bistrica lahko razdelimo na 10 segmentov po 500 m^2 površine voziščne konstrukcije. Skupno imata viadukta 10.000 m^2 vozne površine, ki jo želimo ogrevati, vsak po 5.000 m^2 .



Slika (privzeta) 47: Tloris sistema 3 "viadukta Tržiška Bistrica" (Špacapan, Vršcer, 2012)



Slika (privzeta) 48: Tloris dveh tipičnih razporedov pilotov sistema 3 "viadukta Tržiška Bistrica" (Špacapan, Vršcer, 2012)

B) Stroškovni model:

Voziščno konstrukcijo viaduktov Tržiška Bistrica želimo ogrevati in hladiti s tehnologijo absorpcije toplotne energije tal z energetskimi piloti. To bi lahko izvedli v primeru, da viadukt gradimo na novo.

Z uporabo TET za ogrevanje vozišč v alpskem svetu, kjer verige pozimi niso obvezne, bi lahko prihranili do 50% stroškov, namenjenih za letno vzdrževanje cest (Brandl, 2006). V sosednji Avstriji menijo, da bi bi to dobro vplivalo na varnejše dostopanje turistov do smučišč ter posledično tudi na večji obisk smučišč. Seveda pa vzdrževalni stroški niso edini denarni razlog. Poleg vsega naštetega razmere na cestah vplivajo na število nesreč ter posledično zunanje stroške.

Viadukta za svoje delovanje trenutno ne uporabljata nobenih vhodnih energentov. Na dan kolavdacije²², dne 11. 05. 2004, je vrednost viadukta Tržiška Bistrica na AC Podtabor – Naklo 2.071. 922.254,53 SIT, kar je 8.633.010 € (DARS, 2012). Strošek zimske službe Darsa za obdobje od 15.11. do 15.03. znaša približno 10.000 € za oba viadukta, stroški vzdrževanja viadukta Tržiška Bistrica so poslovna skrivnost. Dosedanje izkušnje in informacije iz literature in tujine kažejo, da je obnova opreme na objektih (robniki, hodniki, robni venci, ograje, dilatacije, ležišča, asfalti,

²² kolavdacija -e ž (á) teh. strokovni ogle d opravljenega dela, zlasti v gradbeništvo, z odpravo obveznosti med izvajalcem in investitorjem

hidroizolacija) nujna vsakih 20-25 let, rekonstrukcija celotnega objekta pa na vsakih 25-40 let, t.i. dvakrat v predvideni življenjski dobi, ki je 100 let (DRC, 2008). Dodatni osnovni podatki so navedeni v tabelah v nadaljevanju. S stroškovnim modelom sistema 3 študiramo stroškovno učinkovitost investicije v energetske pilote.

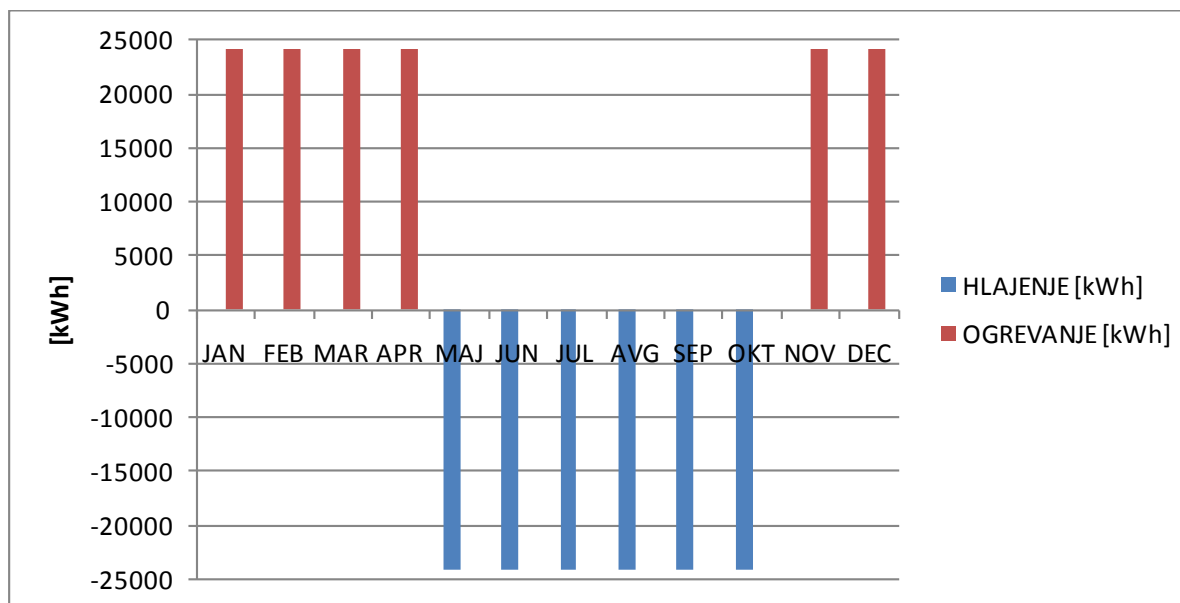
Preglednica 42: Osnovni podatki z izvedbo energetskih pilotov

viadukt TRŽIŠKA BISTRICA	VREDNOST
površina vozišča [m ²]	2 x 5.000 = 10.000
premer pilota...D [m]	1,18
število pilotov...n	2 x 48 = 96
dolžina pilota...L [m]	8,00
obod pilota...C [m]	3,71
dolžina absorpcijskih cevi v pilotih (4 U-zanke v enem energetski pilot)...Labs.cevi [m]	6.144,00
količina možne absorpcije TET na kvadratni meter dotikajoče površine pilota z zemljino...q...gostota toplotnega toka [W/m ²]	35,00
skupna površina dotika z zemljino...S [m ²]	29,66
SKUPAJ [W]	99.646,29
število ur ogrevanja vozišča viadukta s TET v letu	1.500,00
[Wh/letu]	149.496.438,64
[kWh/letu]	149.469,44
[MWh/letu]	149,47
število ur hlajenja vozišča viadukta s TET v letu	1.500,00
[Wh/letu]	149.496.438,64
[kWh/letu]	149.469,44
[MWh/letu]	149,47

$$\text{obod pilota...}C = \pi * d = \pi * 1,18 \text{ m} = 3,71 \text{ m} \quad (30)$$

$$\text{površina pilota...}S = \text{obod} * L [m] = 3,71 \text{ m} * 8 \text{ m} = 29,64 \text{ m}^2 \quad (31)$$

$$L_{\text{abs.cevi}} = 8 * L * n = 8 * 8 \text{ m} * 96 = 6.144 \text{ m} \quad (32)$$



Graf 10: Prikaz možne količine TET za ogrevanje in hlajenje v enem letu

Preglednica 43: Prikaz možne količine TET za ogrevanje in hlajenje v enem letu

Mesec	Ogrevanje objekta [kWh]	Hlajenje objekta [kWh]
JANUAR	24.200	
FEBRUAR	24.200	
MAREC	24.200	
APRIL	24.200	
MAJ		-24.200
JUNIJ		-24.200
JULIJ		-24.200
AVGUST		-24.200
SEPTEMBER		-24.200
OKTOBER		-24.200
NOVEMBER	24.200	
DECEMBER	24.200	
SKUPAJ	145.200	-145.200

145 MWh možne absorbirane toplotne energije tal energetski piloti viaduktov Tržiška Bistrica lahko uporabita za svoje delovanje. Pozimi se TET iz zemljine uporabi za ogrevanje voziščne konstrukcije – taljenje snega, preprečevanje zmrzovanja, odpoved storitev zimske službe in s tem propadanja asfalta, poleti s hlajenjem voziščne konstrukcije preprečujemo prekomerno raztezanje asfalta in enako količino toplote vračamo, kot smo jo pozimi odvzeli za ogrevanje, jo sedaj vrnemo zemljini.

Za detajlnejšo letno in mesečno razporeditev bi morali upoštevati tudi vsakodnevne podatke o temperaturi zraka, hitrosti vetra ter količinah padavin. Temperatura na površini vozišča mora biti višja kot 2°C, da ne pride do zmrzovanja. Pri tem je najbolj kritično območje temperature zraka med 0 in -10 °C (Brandl, 2006). Na podlagi teh parametrov bi bil dimenzioniran sekundarni tokokrog, ki zahteva kompleksno toplotno analizo. Slednja presega okvirje diplomske naloge.

Preglednica 44: Investicijski stroški – sistem 3 »viadukta Tržiška Bistrica«

OPIS INVESTICIJSKIH STROŠKOV	KOLICINA	CENA
absorpcijske cevi v pilotih 4 U-zanke na en energetski pilot, cena abs. cevi: 4 €/m	6.250 m	25.000,00 €
toplotna črpalka (80 kW)	1 kos	15.000,00 €
absorpcijske cevi v voziščni konstrukciji	2 * 5.000 m ² = 10.000 m ²	10 €/m ² * 10.000 m ² = 100.000,00 €
subvencija ekoslada za toplotno črpalko	0 kos	0,00 €
SKUPAJ		140.000,00 €

Preglednica 45: Tekoči in vzdrževalni stroški na letni ravni – sistem 3 »viadukta Tržiška Bistrica«

OPIS LETNIH OBRATOVALNIH IN VZDRŽEVALNIH STROŠKOV	KOLICINA	CENA
vhodni energent – TET za ogrevanje	149.469 – 37.367 = 112.102 kWh	0,00 €
električna energija za TC pri ogrevanju	37.367 kWh	37.367 kWh * 0,12 €/kWh = 4.484,00 €
vhodni energent – TET za hlajenje	149.469 – 37.367 = 112.102 kWh	0,00 €
električna energija za TC pri hlajenju	37.367 kWh	37.367 kWh * 0,12 €/kWh = 4.484,00 €
vzdrževanje (pregled TC)	1 kos	1.000,00 €
SKUPAJ		9.968,00 €

Preglednica 46: Izračun NSV - sistem 3 "viadukta Tržiška Bistrica"

ČAS [LETA]	STROŠKI	KORISTI	r*	NSV
0	-140.000 €	enake	0.00	-436.828 €
1	-9.968 €	dražitev energenta	0.05	-298.697 €
2	-10.367 €	1,04	0.07	-265.540 €
3	-10.781 €	1,08	0.10	-229.113 €
4	-11.213 €	1,12		
5	-11.661 €	1,17		
6	-12.128 €	1,22		
7	-12.613 €	1,27		
8	-13.117 €	1,32		
9	-13.642 €	1,37		
10	-14.188 €	1,42		
11	-14.755 €	1,48		
12	-15.345 €	1,54		
13	-15.959 €	1,60		
14	-16.597 €	1,67		
15	-17.261 €	1,73		
16	-17.952 €	1,80		
17	-18.670 €	1,87		
18	-19.417 €	1,95		
19	-20.193 €	2,03		
20	-21.001 €	2,11		

*r je lokacija

C) Ugotovitve:

Pri izgradnji novega viadukta bi ahko ogrevanje in hlajenje voziščne konstrukcije zagotavljali s 96 energetskimi piloti. Omenimo vidik, ki je zanimiv za investitorja.

#1 strošek vgraditve absorpcijskih cevi v primerjavi z investicijskim stroškom izvedbe temeljenja:

$$\frac{25.000 \text{ €}}{(8 \text{ m} * 96 \text{ pilotov} * 250 \text{ €/m})} = \frac{25.000 \text{ €}}{192.000 \text{ €}} = 0,13 \rightarrow 13\% \text{ vrednosti temeljenja} \quad (33)$$

#2 investicijski stroški energetskih pilotov v primerjavi z vrednostjo celotne investicije viaduktov Tržiška Bistrica:

$$\frac{140.000 \text{ €}}{8.669.130,78 \text{ €}} = 0,017 \rightarrow 1,7\% \text{ celotne investicije} \quad (34)$$

#3: investicijski stroški zgolj absorpcijskih cevi primerjavi z vrednostjo celotne investicije viaduktov Tržiška Bistrica:

$$\frac{25.000 \text{ €}}{669.130,78 \text{ €}} = 0,00288 \rightarrow 0,28 \approx 0,3\% \text{ celotne investicije} \quad (35)$$

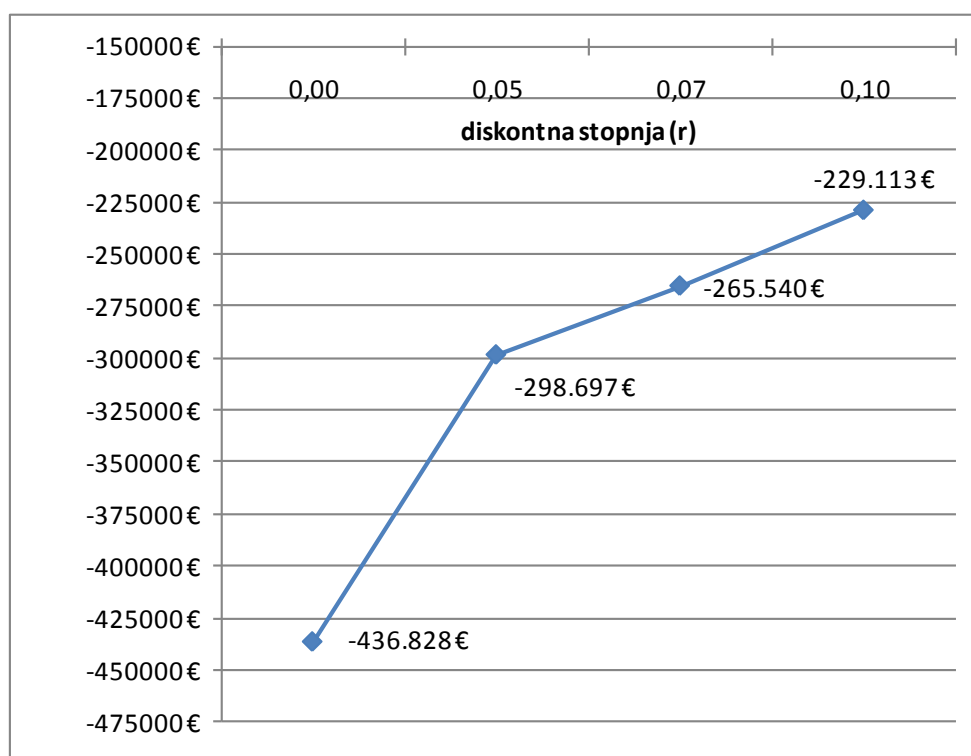
Če sem investitor, je možnost izbire in s tem neodvisnost odločanja o uporabi vhodnega energenta v prihodnosti izredna priložnost. Zamujena priložnost vgraditve absorpcijskih cevi ob gradnji se manifestira v zelo visokem oportunitetnem strošku.

Zanesljivih podatkov o potrebi za ogrevanje in hlajenje voziščne konstrukcije ni. Izračun bi bil zelo kompleksen. Ob zahtevi po manjšem številu energetskih pilotov, bi bila investicija še bolj zanimiva. Omeniti je potrebno tudi dejstvo, da je v tleh prisotna tudi podtalna voda. To pomeni, da bi bilo potrebno vračati manj toplote zemljini, kot če podtalne vode ne bi bilo. Potrditev tega bi dobili z natančnejšim računskim modelom.

Sedaj se lahko vprašamo koliko denarnih koristi lahko še pridobimo z investicijo v energetske pilote za ogrevanje in hlajenje voziščne konstrukcije viadukta, da bo investicija ekonomsko zanimiva. Manjkajoče koristi so v takšnih primerih subjektivnega značaja, vseeno pa temeljijo na strokovnosti, za realizacijo pa zahtevajo politično odločitev.

Koristi so lahko:

- Zaradi kopnosti voziščne konstrukcije ne bi več potrebovali zimske službe. Ker voziščne konstrukcije pozimi ne bi več solili, bi se razpoke širile počasneje in voziščna konstrukcija bi se počasneje uničevala. Zaradi tega bi bili tudi vzdrževalni stroški nižji. Podaljšala bi se doba med rekonstrukcijami in s tem tudi življenjska doba viadukta.
- Zaradi kopnosti voziščne konstrukcije bi bilo manj prometnih nesreč. Posledica tega so manjši zunanji stroški, manj zamud, večje zadovoljstvo voznikov.



Graf 11: Primerjava neto sedanjih vrednosti

Če vsoto investicijskih, tekočih ter vzdrževalnih stroškov uporabe tehnologije absorpcije TET z energetskimi piloti v obdobju 20 let primerjamo z 20 letnimi stroški zimske službe, lahko ugotovimo sledeče:

Preglednica 47: Primerjava stroškov v 20 letnem obdobju - sistem 3 "viadukt a Tržiška Bistrica"

investicijski stroški za TET	140.000 €		10.000 €	letni strošek zimske službe
dvajsetletni tekoči stroški TET	199.360 €			
SKUPAJ	339.360 €		200.000 €	SKUPAJ
razlika (za 20 let)	139.360 €			
razlika (za eno leto)	6.968 €			

Premislek lahko, denarno gledano, zaključimo s tem, da je investicija v energetske pilote upravičena, če so vzdrževalni stroški na letni ravni večji kot 6.968 €, v dvajsetnem obdobju.

4.4 Sistem 4 »ogrevanje kretnic s pomočjo energetskih pilotov protihrupnih ograj«

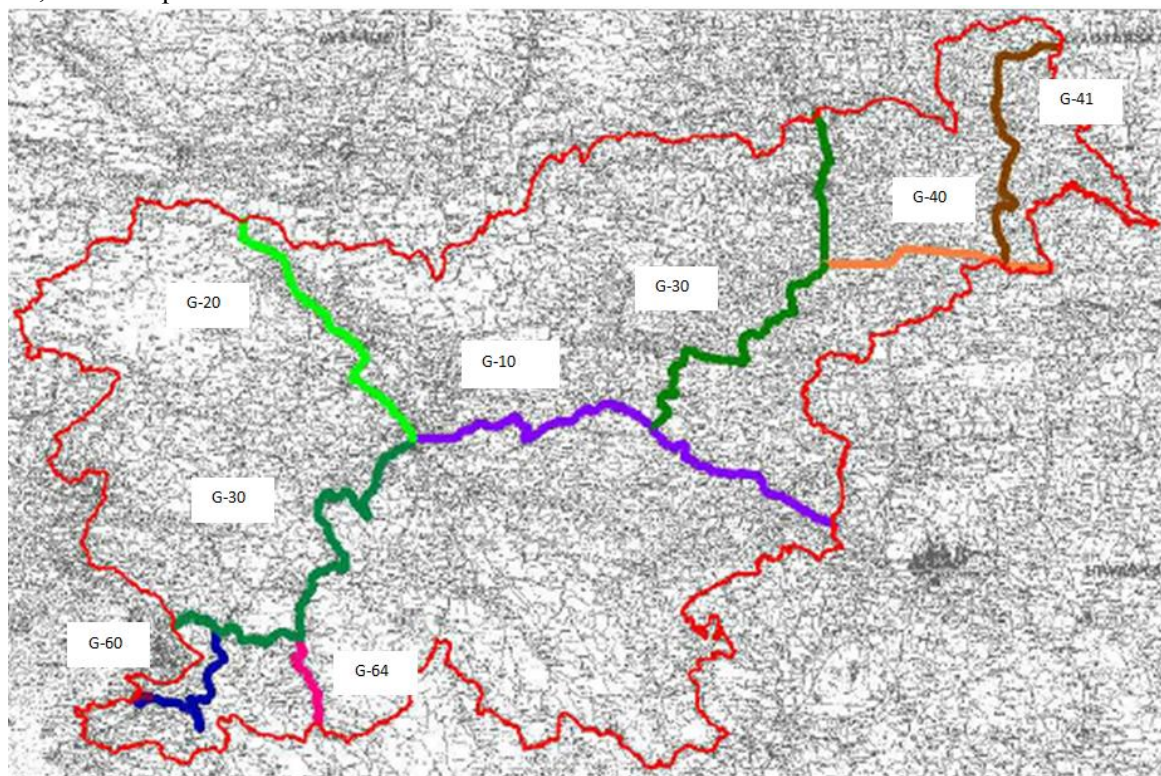
Veliko območij ob glavnih železniških progah v Sloveniji je preobremenjenih s hrupom zaradi železniškega prometa. V prihodnosti so predvideni ukrepi za preprečevanje širjenja hrupa v okolico z izgradnjo protihrupnih ograj. Uporaba energetskih pilotov za absorpcijo TET pri temeljenju PHO na s hrupom preobremenjenih območjih glavnih železniških prog v Sloveniji, bi lahko, poleg zaščite pred hrupom, prispevala h:

1. znižanju stroškov ogrevanja železniških kretnic
2. dosegu ciljev trajnostnega razvoja Slovenije

A) Opis sistema 4 - kretnice, načini ogrevanja in strateško kartiranje:

Kretnice

SŽ upravljajo in vzdržujejo skupno 1.228,7 km železniških prog, od katerih je 503,5 km elektrificiranih in 330,4 km dvotirnih. Glede na obseg prometa, gospodarski pomen in povezovalno vlogo so proge kategorizirane v kategorijo glavnih in regionalnih prog. Njihov potek prikazuje spodnja slika, označbo pa tabela.



Slika (privzeta) 49: Glavne železniške proge v Sloveniji

Preglednica 48: Glavne železniške proge v Sloveniji

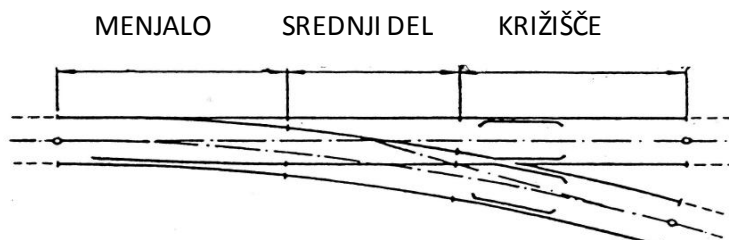
NACIONALNO POIMENOVANJE PROGE	OZNAKA PROGE
d. m.* – Dobova – Ljubljana	G-10
Ljubljana – Jesenice – d. m.	G-20
Zidani Most – Sentilj – d. m.	G-30
Pragersko – Središče – d. m.	G-40
Ormož – Murska Sobota – Hodoš – d. m.	G-41
Ljubljana – Sežana – d. m.	G-50
Divača – Koper potniška	G-60
Cepišče Bivje – Koper tovorna	G-62
Pivka – Ilirska Bistrica – d. m.	G-64
lok Zidani Most	G-10-30
lok Pragersko	G-30-40
lok Divača	G-50-60

*d. m. = državna meja

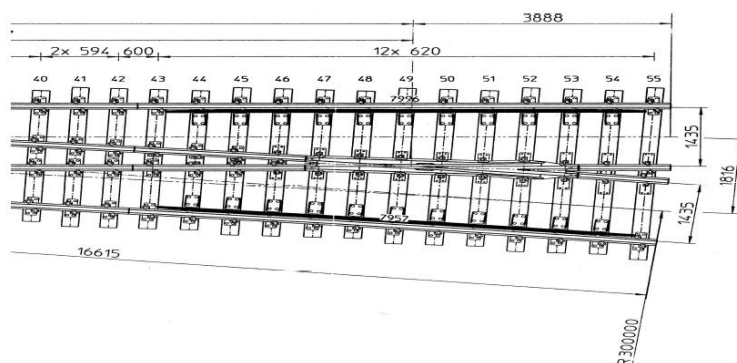
Kretnica je element zgornjega ustroja, ki omogoča prehod posameznega železniškega vozila ali celotne vlakovne kompozicije z enega na drugi tir. Kretnica je element, ki s svojo konstrukcijo omogoča odcepitev enega tira od drugega, s tem da se odklonski tir pod določenim kotom oddaljuje od glavnega (Černe, 212).

Osnovni sestavni sklopi kretnice so:

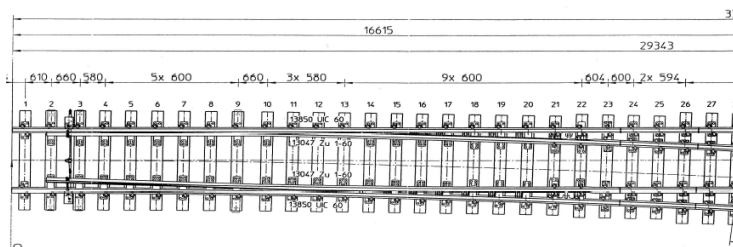
- menjalo vsebuje dve zunanji standardni tirnici, dve ostrici in prestavljalno napravo s svojimi sestavnimi deli;
- srednji del vsebuje štiri standardne tirnice, tj. dve zunanji in dve vmesni;
- križišče vsebuje štiri standardne tirnice, tj. dve zunanji in dve vmesni;



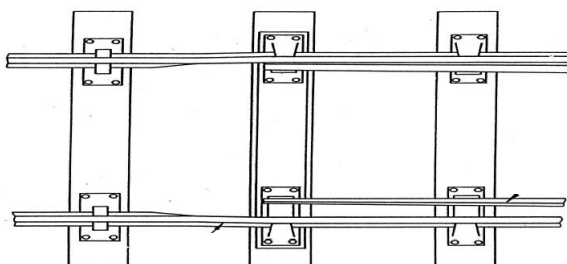
Slika (privzeta) 50: Osnovni sestavni sklopi kretnice (Černe, 2012)



Slika (privzeta) 51: Sestavni sklop kretnice - križišče (Černe, 2012)



Slika (privzeta) 52: Sestavni sklop kretnice - menjalo (Černe, 2012)



Slika (privzeta) 53: Detajlni prikaz menjala z ostricami (Černe, 2012)

Skupine kretnic:

- enojne (navadne, navadne ločne, krivinske)
- dvojne,
- križiščne imenovane tudi angleške,
- kombinirane.

Način ogrevanja kretnic

Sistemi za ogrevanje kretnic so bistven pripomoček za zanesljivo in varno uporabo železniške infrastrukture, delovanje železnice, niso pa del SV-TK²³ naprav. Sistemi za ogrevanje kretnic omogočajo nemoteno premikanje kretnic, z milimetrsko natančnostjo, tudi pozimi. Tedaj je potrebo staliti novozapadli sneg, ne glede na zunanjo temperaturo zraka. Skrb, da bi kretnica v mrzlih in vlažnih dneh zmrznila ni, ker so motorji menjala dovolj močni, da kretnico premaknejo in premikajo v vsakih pogojih. Ogrevalna sezona v Republiki Sloveniji traja med 15. novembrom in 15. aprilom, pred tem pa se izvajajo redni pregledi grelnih sistemov. Načini ogrevanja kretnic so sledeči:

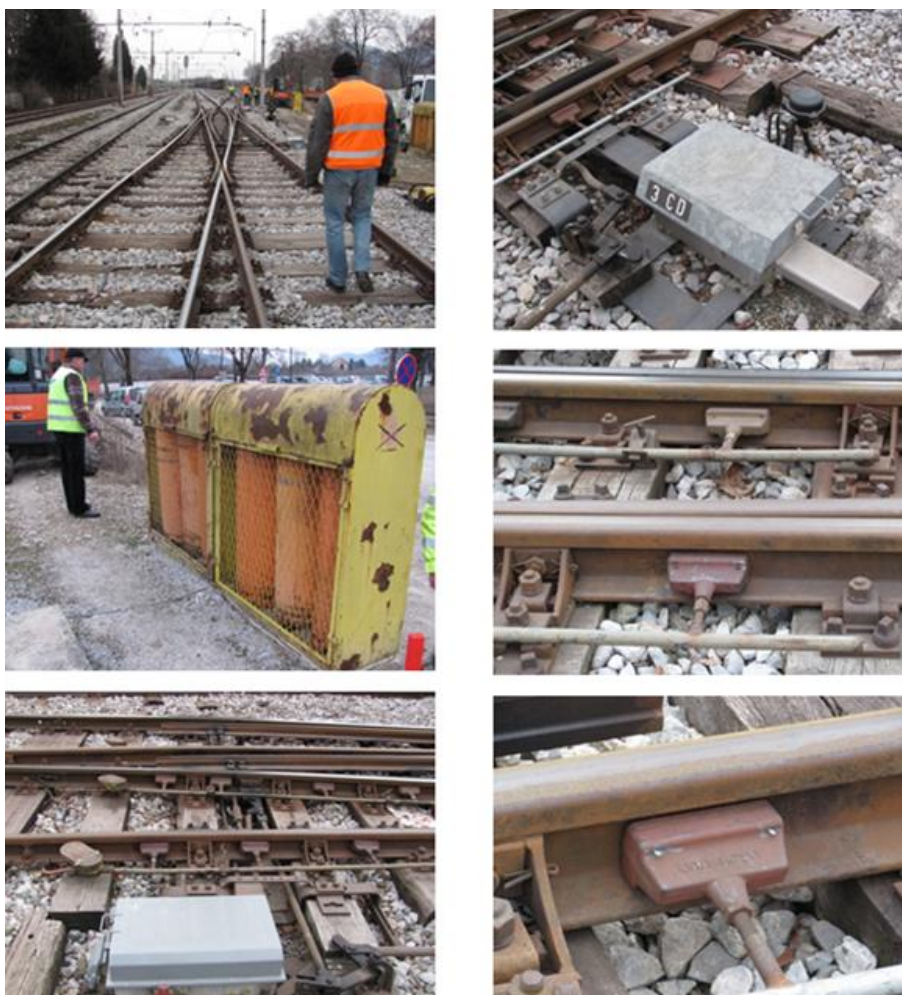
1. S pomočjo električne energije.
 - a. z elektronapajalnimi postajami. V Sloveniji imamo 17 elektronapajalnih postaj. To so Zidani most, Sava, Vič, Vižmarje, Logatec, Kranj, Žirovnica, Pivka, Borovnica, Celje, Črnotiče, Rižana, Divača, Šentilj, Rače, Poljčane, Krško; električna energija za elektronapajalne postaje je zagotovljena na državni ravni s primarnimi viri energije, na primer s HE in nato preko 110 kV daljnovodov ter je s transformatorji distribuirana do uporabnika. Elektronapajalne postaje so locirane na elektrificiranih železniških progah. Električno ogrevanje poteka daljinsko, in sicer s pomočjo avtomatskih senzorjev. Kontrola delovanja gretja poteka s tipali toka, kjer ob morebitni napaki tipalo ne zazna napetosti. Poleg daljinskega načina je možno ogrevanje z drugačnim virom. Na primer postaja v Ljubljani, Sežani in Mariboru imajo na voljo lasten transformator.
 - b. s pretvorniki iz vlakovne vozne mreže (3kV enosmerni tok lahko preko 400/230 V monofaznih grelcev zagotavlja ogrevanje kretnic).
 - c. preko javnega električnega omrežja (ELES), kjer se plača konična moč ali pa dejanska poraba električne energije s celoletno pogodbeno vezavo. »Mreže ELES« za svoje delovanje potrebujejo večje varovalke ob večji želeni potrebi po električni energiji. SŽ takšen način ogrevanja kretnic ekonomsko ni upravičen.
2. S pomočjo dizelskih agregatov.
3. S pomočjo plina. Plinski način ogrevanja ni avtomatiziran. Izkušnje so pokazale, da avtomatizirano ogrevanje s plinom ne deluje primerno. Zaradi premajhne natančnosti nekaterih tehnologij so se kretnice neenakomerno ogrevale na vsakih 30 minut konstantno 15 minut, in sicer le ostrice ali pa le tirnice. Ob segrevanju ostrice se le-ta lahko poškoduje in ne more več opravljati svoje funkcije, kar predstavlja za vlake veliko nevarnost. Plinske jeklenke tako intuitivno prižiga in ugaša človek. V bližini grelnikov so nameščene 3 jeklenke s plinom. Obstaja več vrst plinskih grelcev, ki so se s časom zaradi tehnološkega napredka spreminjali. Na mestih ogrevanja s plinom so nameščene tudi avtomatske vremenske postaje, ki omogočajo lažje spremljanje vremenskih pogojev. Teh postaj je v Repbuliki Sloveniji 80 in vsaka stane približno 6.000 € (Širnik et al., 2012).

V diplomski nalogi želimo prikazati možnost uporabe TET predvsem kot nadomestila za plinski način ogrevanja kretnic.

²³ SV-TK naprave... svetlobno varnostne in telekomunikacijske so naprave, ki omogočajo varno odvijanje prometa in komuniciranje med inna prometnih mestih.



Slika 14: Električno ogrevanje na postaji Ljubljana



Slika 15: Terenski ogled plinskih grelnih sistemov na postaji Ljubljana-Vižmarje

Strateško kartiranje

Osnovni namen strokovnih podlag za strategijo zmanjšanja prekomernega hrupa slovenskih železnic je določitev obremenjenosti stavb in prebivalcev ob glavnih progah v različnih razredih obremenitve, določitev preobremenjenih stavb in prebivalcev ob posameznih glavnih progah in ob glavnih progah v celoti. Sestavni del dokumenta pa so strateške karte hrupa.

Strateško kartiranje hrupa morajo izvesti vse države članice EU, in sicer vsako leto. Slovenija je določila evropske direktive 2002/49 EC (Ocenjevanje in urejanje okoljskega hrupa) prenesla v svoj pravni red z naslednjimi dokumenti:

- I. Zakon o varstvu okolja, Ur. list RS št. 39/06, 70/08,
- II. Uredba o ocenjevanju in urejanju hrupa v okolju, Ur. list RS št. 121/04,
- III. Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju, Ur. list RS št. 105/05, 34/08, 109/09,
- IV. Pravilnik o prvem ocenjevanju in obratovalnem monitoringu hrupa za vire hrupa ter o pogojih za njegovo izvajanje, Ur. list RS št. 105/08,
- V. Pravilnik o zvočni zaščiti stavb, Ur. list RS št. 14/99 in 110/02.

Vsebino karte hrupa na strateški ravni določa dokument II. Strateška karta hrupa za železniški promet je namenjena splošni oceni izpostavljenosti hrupu na glavnih železniških progah, z več kot 60.000 vlakov letno, zaradi različnih virov hrupa ali pa za celovite napovedi za takšno območje. Iz teh kart lahko odčitamo vrednost enotnih kazalcev hrupa. Kazalec hrupa je fizikalna lestvica za opis okoljskega hrupa, ki je v razmerju s škodljivim učinkom.

Kazalci:

$L_{DVN}...$	kazalec hrupa za celovito motnjo (dan, večer, noč)
$L_{DAN}...$	kazalec hrupa za dnevno motnjo, med 6. in 18. uro
$L_{VEČER}...$	kazalec hrupa za večerno motnjo, med 18. in 22. uro
$L_{NOČ}...$	kazalec hrupa za motnjo spanca, med 22. in 6. uro

Za leto 2010 je naročniku, SŽ, podjetje Epi spektrum pripravilo dokument »Strokovne podlage za strategijo zmanjšanja prekomernega hrupa železniškega prometa v Sloveniji«. Za potrebe diplomske naloge, nam je podjetje Epi spektrum posredovalo Zvezek 1: splošni in tekstualni del«, kjer je opisano, da je skladno s projektno nalogo računsko ocenjena in vrednotena obremenitev s hrupom ob glavnih železniških progah v Sloveniji na podlagi prometnih podatkov za leto 2008. Emisija hrupa je bila ob upoštevanju dosegljivih podatkov o številu prevozov posameznih kategorij tirnih vozil, njihovih hitrostih in podatkov o lastnostih železniških prog določena po smernici RMR za 1 289 računskih odsekov glavnih železniških prog. Za potrebe diplomske naloge so prikazani sledeči podatki:

- prekoračitev vrednosti kazalcev hrupa po glavnih progah,
- s hrupom preobremenjene stavbe z varovanimi prostori, od koder je razvidno, da je veliko število stavb in prebivalcev ob glavnih železniških progah preobremenjenih s hrupom železniškega prometa.

V tabeli so zbrani podatki o obremenjenosti stavb in prebivalcev za mejne vrednosti kazalca hrupa L_{DVN} in $L_{NOČ}$, ki ga povzroča uporaba železnic za III. območje varstva pred hrupom. Po Uredbi o ocenjevanju in urejanju hrupa v okolju je s hrupom obremenjeno območje, na katerem sta preseženi vrednost kazalca celodnevnega hrupa $L_{DVN} = 55 \text{ dB(A)}$ in vrednost kazalca nočnega hrupa $L_{NOČ} = 50 \text{ dB(A)}$ (Peršak, 2011).

Preglednica 49: Prekoračitev vrednosti kazalcev hrupa zaradi železniškega prometa po glavnih progah

Zap. št.	Ime proge	Kraj	Stavbe		Prebivalci	
			L _{DVN} > 55 dB(A)	L _{NOČ} > 50 dB(A)	L _{DVN}	L _{NOČ}
1	G-10	Brežice, Krško, Litija, Ljubljana	1.536	3.349	8.660	18.697
2	G-20	LJ, Medvode, KR, Jesenice	2.955	2.593	21.512	18.818
3	G-30	Laško, Štore, Poljčane, MB	3.778	3.152	18.809	11.714
4	G-40	Ptuj, indiv. zgoščene pozidave	1.259	1.005	5.539	4.593
5	G-41	Ljutomer, MS	601	434	1.793	1.245
6	G-50	LJ-Sežana	3.023	2.599	14.964	13.047
7	G-60	Hrpelje, Kozina	639	506	1.681	1.243
8	G-62	tovarna proga v Luko Koper	40	33	95	99
9	G-64	Ilirska Bistrica	67	55	232	211

»Namembnost stavb na območju ob glavnih železniških progah je bila določena iz uradnega katastra stavb, ki ga je za namen naloge posredovala Geodetska uprava RS in je bil v okviru naloge delno dopolnjen na podlagi primerjave uradnih podatkov katastra stavb s podatki digitalnega katastrskega načrta in ortofoto posnetkom območja ob železniški progi.« (Peršak, 2011)

Preglednica 50: Varovani prostori, ki so prekomerno obremenjeni s hrupom železniškega prometa

Zap. št.	Vrsta varovanega prostora v III. območju	Skupaj stavb	Stavbe	
			L _{DVN} > 65 dB (A)	L _{NOČ} > 55 dB (A)
1	zdravstvo	409	19	26
2	vzgoja in izobraževanje	852	23	37
3	stanovanja	106.065	4.585	7.323
4	druga družbena dejavnost	ni podatka	56	88

Ob vseh glavnih progah je največ preobremenjenih stavb in prebivalcev v nočnem času, kar je posledica gostega prometa tovornih vagonov in strožjih mejnih vrednosti kazalcev hrupa v tem obdobju (Peršak, 2011). Razumljivo je največ obremenjenih stavb in prebivalcev, gledano po občinah, največje na območju MOL, saj gre za največjo občino v RSLO. V prihodnosti so tako na najbolj obremenjenih območjih predvideni ukrepi za preprečevanje širjenja hrupa v okolico s protihrupnimi ograjami ob skoraj vseh glavnih progah.

B) Stroškovni model:

Z variantnim stroškovnim modelom sistema 4 želimo prikazati konceptualno oceno investicijske presoje za uporabo tehnologije absorpcije TET z energetskimi piloti protihrupnih ograj ob glavnih železniških progah. Železniški promet ustvarja hrup, ki ga s protihrupnimi ograjami v območju srednjih ter visokih frekvenc zmanjšamo na sprejemljivo raven. Ker pa je inženirstvo kreativno apliciranje znanstvenih dognanj in tehnike na razvoj, proces in/ali izdelavo določenega izdelka in storitve (Krainer, 1977), sledi logični korak – uporaba absorbirane TET za ogrevanje železniških kretnic.

V Sloveniji se na 307 lokacijah od vseh 2.657 kretnic ogreva 1.397 kretnic (53%). Na glavnih tirih se nahaja 975 kretnic (37%), na stranskih pa 1.682 kretnic (63%). Od 1.397 ogrevanih kretnic je plinsko ogrevanih 736 kretnic (53%), z električno energijo pa 661 kretnic (47%) (SŽ, 2011). Natančnega pregleda nad količinsko porabo ter posledično denarnimi stroški vhodnih energentov za ogrevanje kretnic v Sloveniji ni. Na podlagi pridobljenih statističnih podatkov z upravljavcem železniške infrastrukture v Sloveniji, SŽ, pogovorih s strokovnjaki iz SŽ na področju ogrevanja kretnic, je vseeno možno oceniti količinsko porabo, s tem povezane stroške ter narediti ekonomsko analizo stroškovne

učinkovitosti uporabe TET. Poleg ekonomskega dela opazujemo tudi okoljevarstveni vidik – prispevek h trajnostnemu razvoju.

V Republiki Avstriji je skupno število kretnic 16.000. Od tega se ogreva 9.700 kretnic (61%). 600 kretnic (6%) jih je ogrevanih s plinom, 9.100 kretnic (94%) z elektriko. Slednji način ogrevanja porabi 61 GWh električne energije letno, kar v denarju pomeni 7,4 milijone €. Za delovanje električnega gretja je potreben letni strošek priklopa v višini 2 milijonov evrov. Skupno torej 9,4 milijone evrov. Cena električnega ogrevanja kretnice je enaka plinskemu ogrevanju. Za 600 kretnic se porabi skoraj 500.000 € denarja na letni ravni (Veit, 2011).

Za ogrevanje ene enojne kretnice potrebujemo 4 do 6 kW električne energije, za ogrevanje križiščne (angleške) kretnice potrebujemo okoli 15 kW električne energije. Skupna inštalirana, tj. maksimalna moč je na primer na železniški postaji Ljubljana je 630 kW, na železniški postaji Sevnica pa 133 kW. Razlika med postajami je velika. Kretnice se nikdar ne ogrevajo vse naenkrat, temveč vedno postopoma (Trontelj et al., 2011).

Minimalna dolžina električnega grelca je pet metrov. Najdaljši krak menjala, ki se ogreva, je na hitrih progah dolg tudi do 38 metrov. Za en meter tirnice potrebujemo 300 W močan električni grelec, kar za najkrajše kretnice pomeni 1.500 W, če jih ogrevamo z električno energijo. Na mestu s plinskim ogrevanjem pa so nameščene 3 plinske jeklenke s 35 kg plina, kar je 525 kWh (za propan) za eno enojno kretnico.

Študiramo primer, če je zamenjava sedanjega plinskega ogrevanja s tehnologijo absorpcije TET z energetskimi piloti protihrupnih, ki se bodo izvedle kot ukrep za zmanjšanje hrupa ekonomsko upravičena investicija. Varianti stroškovnega modela sta sledeči:

Varianta 1 – PLIN,

Varianta 2 – TET 100 m PHO²⁴.

Osnova ekonomske analize stroškovne učinkovitosti sistema 4 »ogrevanje kretnic s pomočjo energetskih pilotov protihrupnih ograj« so predpostavke, ki veljajo v vseh variantah stroškovnega modela:

- Variante stroškovnega modela temeljijo na stroškovnih tabelah, na primer: Tekoči in vzdrževalni stroški na letni ravni - varianta 1 – PLIN (postaja Sevnica)«
- DDV se v stroškovnem modelu ne upošteva.

Z variantnim stroškovnim modelom sistema 4 študiramo stroškovno učinkovitost dveh različnih variant, ki jih medsebojno primerjamo in izbrejemo optimalno varianto.

²⁴ PHO = protihrupna ograja

Varianta 1 – PLIN (postaja Sevnica): Izmed vseh postaj v Sloveniji smo izbrali postajo Sevnica, ki leži na progi G-10. Postaja ima skupaj 35 kretnic, od tega 33 enojnih in 2 križiščni. 27 enojnih kretnic ogrevajo s plinom. Na glavnih tirih leži 17 enojnih kretnic ter 2 križiščni kretnici. Večina kretnic je dolgih okoli 33 metrov, od tega je menjalo – del, ki ga ogrevamo - dolgo okoli 15 metrov.



Slika (privzeta) 54: Lokacija Sevnice

Vsaka kretnica ima v bližini nameščene tri plinske jeklenke, vsaka s 35 kilogrami plina. Ob povprečno mrzli zimi se porabijo vse tri jeklenke, ki se praznijo enakomerno. Kretnice se ogrevajo vedno, kadar pada sneg. Ogrevanje intuitivno prižge in ugasne človek. Ker podatkov o vrednosti investicije v infrastrukturo plinskega ogrevalnega sistema nimamo ta del stroška v stroškovnem modelu ne upoštevamo.

Preglednica 51: Tekoči in vzdrževalni stroški na letni ravni - Varianta 1 – PLIN (postaja Sevnica)

OPIS LETNIH OBRATOVALNIH IN VZDRŽEVALNIH STROŠKOV	KOLICINA	CENA
vhodni energent - propan	14.100 kWh = 5.300 l	5.000,00 €
SKUPAJ		5.000,00 €

$$3 \text{ jeklenke} \times 35 \text{ kg} = 105 \text{ kg} = 3 \times 64,7 \text{ l} = 194,1 \text{ l} = 3 \times 17,4 \text{ m}^3 = 52,5 \text{ m}^3 \quad (36)$$

$$27 \text{ kretnic} \times 194,1 \text{ l} = 5.240,7 \text{ l} \approx 5.300 \text{ l} \quad (37)$$

$$27 \text{ kretnic} \times 52,5 \text{ m}^3 = 1.409,4 \text{ m}^3 \approx 1.410 \text{ m}^3 \rightarrow 14.100 \text{ kWh} \quad (38)$$

$$5.300 \text{ l} \times 0,74 \text{ €/l} = 3.922 \text{ €} \approx 4.000 \text{ €} \quad (39)$$

Preglednica 52: Izračun neto sedanje vrednosti - Varianta 1 - PLIN (postaja Sevnica)

ČAS [LETA]	STROŠKI:	KORISTI
0	€	enake
1	-4.000 €	dražitev energenta
2	-4.160 €	1,04
3	-4.326 €	1,08
4	-4.499 €	1,12
5	-4.679 €	1,17
6	-4.867 €	1,22
7	-5.061 €	1,27
8	-5.264 €	1,32
9	-5.474 €	1,37
10	-5.693 €	1,42
11	-5.921 €	1,48
12	-6.158 €	1,54
13	-6.404 €	1,60
14	-6.660 €	1,67
15	-6.927 €	1,73
16	-7.204 €	1,80
17	-7.492 €	1,87
18	-7.792 €	1,95
19	-8.103 €	2,03
20	-8.427 €	2,11

r*	NSV
0,00	-119.112 €
0,05	-69.675 €
0,07	-57.885 €
0,10	-45.834 €

*r je diskontna stopnja

Varianta 2 – TET 100 m PHO: v Varianti 1 – PLIN (postaja Sevnica) smo izračunali, da za ogrevanje kretnic postaja Sevnica potrebuje 14.100 kWh energije. V prilogi D iz tabele D.7 lahko izberemo najbližjo višjo vrednost največje količine energije, ki jo lahko s 26 energetskimi piloti željene dolžine zagotovimo s predvideno protihrupno ograjo. Energetski piloti za temeljenje protihrupne ograje so načeloma razporejeni na medsebojni razdalji 4 metre (Brezavšek, 2011), protihrupna ograja je dolga 100 metrov. Tako odčitamo vrednost 15.600 kWh, ki jo zagotovimo z 8 metrskimi piloti. Iz tabele D.1 pa odčitamo absorpcijsko zmogljivost 26 energetskih pilotov dolžine 8 metrov, ki je 10,4 kW. Ta podatek uporabimo za določitev moči toplotne črpalke. Za primer postaje Sevnica bi potrebovali eno toplotno črpalko moči 11 kW. Vse nadaljnje korake v zvezi s toplotno črpalko predlaga strojni inženir.

Preglednica 53: Investicijski stroški - varianta 2 – TET 100 m PHO

OPIS INVESTICIJSKIH STROŠKOV	KOLIČINA	CENA
AB piloti L = 8 m, $\phi_{PILOT} = 40$ cm, cena 100 €/m pilota	26 kosov	20.800,00 €
absorpcijske cevi v energetskih pilotih (2 U-zanki)	832 m	4.4 €/m * 850 m = 3.740,00 €
toplotna črpalka (11 kW)	1 kos	6.000,00 €
SKUPAJ		30.540,00 €

Preglednica 54: Tekoči in vzdrževalni stroški na letni ravni - Varianta 2 - TET

OPIS LETNIH OBRATOVALNIH IN VZDRŽEVALNIH STROŠKOV	KOLIČINA	CENA
vhodni energent - TET	15.600 kWh	0,00 €
električna energija za pogon TČ (1/4)	3.900 kWh	3.900 kWh * 0,12 €/kWh = 468,00 €
vzdrževanje (pregled TČ)	1 kos	100,00 €
SKUPAJ		568,00 €

Preglednica 55: Izračun neto sedanje vrednosti - Varianta 2 - TET 100 m PHO

ČAS [LETA]	STROŠKI	KORISTI
0	-30.540 €	enake
1	-568 €	dražitev energenta
2	-591 €	1,04
3	-614 €	1,08
4	-639 €	1,12
5	-664 €	1,17
6	-691 €	1,22
7	-719 €	1,27
8	-747 €	1,32
9	-777 €	1,37
10	-808 €	1,42
11	-841 €	1,48
12	-874 €	1,54
13	-909 €	1,60
14	-946 €	1,67
15	-984 €	1,73
16	-1.023 €	1,80
17	-1.064 €	1,87
18	-1.106 €	1,95
19	-1.151 €	2,03
20	-1.197 €	2,11

r*	NSV
0,00	-47.454 €
0,05	-9.894 €
0,07	-8.220 €
0,10	-6.508 €

*r je diskontna stopnja

C) Ugotovitve:

Varianti smo predstavili z opisom ter varianto stroškovnega modela. Primerjavo variant ter opis razlogov za izbiro najboljše (optimalne) variante navajamo tu.

Varianta 1 – PLIN (postaja Sevnica): uporaba konvencionalnega vira energije, v našem primeru propana, za ogrevanje kretnic z vidka analize stroškovne učinkovitosti ni najboljša rešitev. Z neobnovljivim virom vhodnega energenta varianta prav tako ne zadošča cilju trajnostnega razvoja, ki je definiran na nacionalni ter evropski ravni pravnega reda z mnogimi dokumenti. Uporaba propana ne zagotavlja energetske neodvisnosti. S tem povezano tveganje je nenadno povišanje cen ali celo nedobavljivost propana. Vsota tekočih ter vzdrževalnih stroškov precej višja v primerjavi z Varianto 2 – TET 100 m PHO. Ker investicijskih stroškov infrastrukture plinskega ogrevanja ne upoštevamo, smo obravnavali konservativnejši scenarij za uporabo TET, ki še vedno izkazuje manj negativno neto sedanjo vrednost.

Varianta 2 – TET 100 m PHO: TET je obnovljiv vir energije, ki ne onesnažuje okolja. Bistveno doprinaša h cilju trajnostnega razvoja na nacionalni ter evropski ravni. Investicijski stroški energetskega sistema so relativno visoki, kar smo pričakovali. Vsota tekočih in vzdrževalnih stroškov pa je zelo nizka. Zato je neto sedanja vrednost najmanj negativna, kar je za današnjega investitorja zelo pomembno. Bistvena prednost uporabe energetskih pilotov za absorpcijo toplotne energije tal je v tem, da investitor zgolj za izkoriščanje OVE nima dodatnih stroškov izvedbe vrtin ali izrabe prostora okoli objekta. Armiranobetonske pilote izvedemo vedno, ko gradimo protihrupne ograje. Zato je investicija še toliko bolj upravičena, ker so dejanski strošek investicije le:

- razlika ceni izvedbe daljših pilotov. Navadno se protihrupne ograje temeljijo s 4 metriškimi piloti (Brezavšček, 2011).
- absorpcijske cevi.
- toplotna črpalka.
- spremembe sekundarnega tokokroga.

Preglednica 56: Dejanski strošek investicije

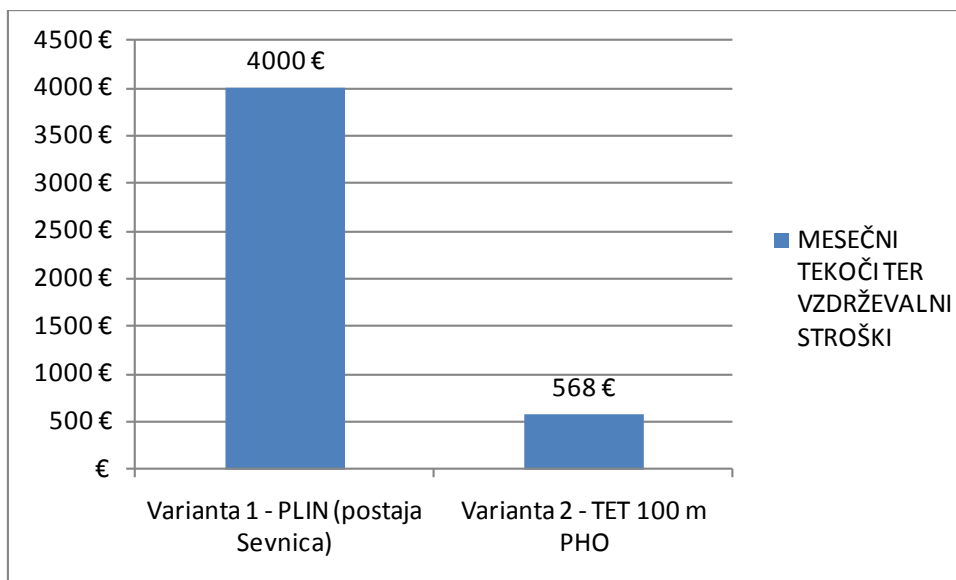
OPIS DEJANSKIH INVESTICIJSKIH STROŠKOV	KOLIČINA	CENA
AB piloti $L = 4$ m, $\phi_{PILOT} = 40$ cm, cena 100 €/m pilota	26 kosov	10.400,00 €
absorpcijske cevi v energetskih pilotih (2 U-zanki)	832 m	4,4 €/m * 850 m = 3.740,00 €
toplotna črpalka (11 kW)	1 kos	4.400,00 €
SKUPAJ		18.540,00 €

Možnost, da temelje protihrupnih ograj izkoriščamo tudi za absorpcijo toplotne energije tal predstavlja z ekonomskega vidika oportunitetni strošek. Le-ta za investitorja predstavlja izjemno priložnost, ki je v prihodnosti ni več možno izkoristiti. Zato je manj pomemben dvig investicijskega stroška za izgradnjo sistema za tehnologijo absorpcije TET z energetskimi piloti. Naknadno modificiranje pilotov v energetske pilote ni več možno.

Za natančnejšo presojo bi morali bolj podrobno definirati tudi izvedbo sekundarnega tokokroga. Potrebno je namreč zamenjati bakrene valjance, ki so pritrieni na tir, z votlimi bakrenimi cevkami. Sistem razvoda sekundarnega tokokroga bi bilo potrebno podrobno preučiti ter narediti novo analizo presoje z obstoječim sistemom.

Preglednica 57: Primerjava stroškov variant

VARIANTA \ STROŠKI	MESEČNI TEKOČI IN VZDRŽEVALNI STROŠKI
Varianta 1 - PLIN (postaja Sevnica)	4.000 €
Varianta 2 - TET 100 m PHO	568 €

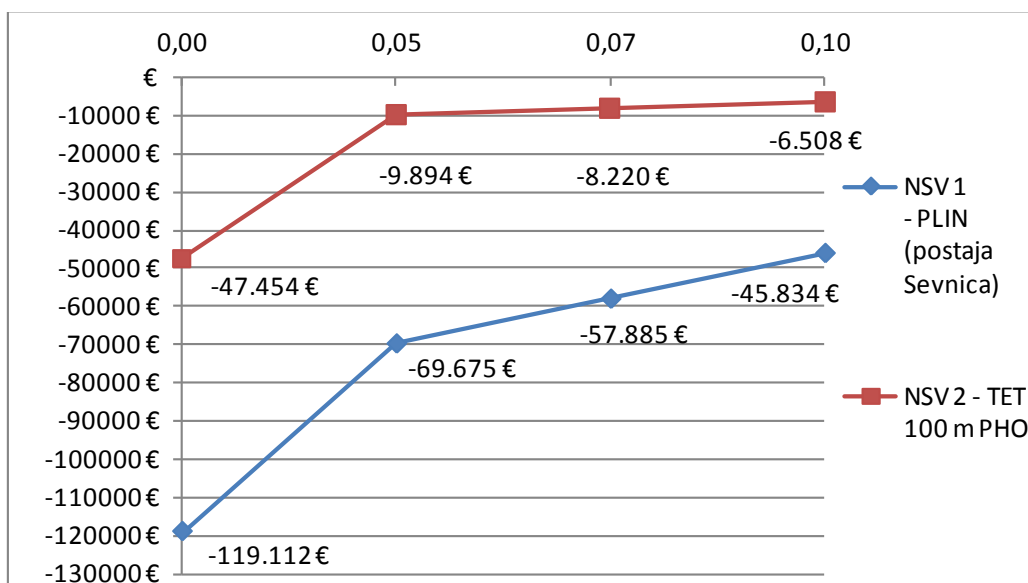


Graf 12: Primerjava mesečnih tekočih ter investicijskih stroškov obravnavanih variant sistem 4

$4.000 \text{ €} / 568 \text{ €} = 7,04 \rightarrow$ Tekoči ter vzdrževalni stroški Variante 2 – TET so sedemkrat nižji.

Preglednica 58: Primerjava neto sedanjih vrednosti variant (za 20 letno obdobje)

NSV \ r	0,00	0,05	0,07	0,10
NSV 1 – PLIN (postaja Sevnica)	-119.112 €	-69.675 €	-57.885 €	-45.834 €
NSV 2 – TET 100 m PHO	-47.454 €	-9.894 €	-8.220 €	-6.508 €



Graf 13: Primerjava neto sedanjih vrednosti variant

Preglednica 59: Merila za ocenjevanje

OCENA	OPIS EKONOMSKEGA VIDIKA	OPIS OKOLJEVARSTVENEGA VIDIKA
Bolj primerna	Najmanj negativna vrednost neto sedanje vrednosti investicijskih, tekočih in vzdrževalnih stroškov v 20 letni ekonomski dobi posamezne obravnavane variante.	Vhodni energent je OVE. Za delovanje energetskega sistema ni dodatnih gradbenih del ter zahtev po dodatnem prostoru za elemente primarnega tokokroga.
Primerna	Negativna neto sedanja vrednost investicijskih, tekočih in vzdrževalnih stroškov v 20 letni ekonomski dobi posamezne obravnavane variante je bližje najmanj negativni vrednosti NSV obravnavanih variant.	Vhodni energent je OVE. Obstaja možnost trajnega onesnaževanja okolja.
Manj primerna	Najbolj negativna vrednost neto sedanje vrednosti investicijskih, tekočih in vzdrževalnih stroškov v 20 letni ekonomski dobi posamezne obravnavane variante.	Vhodni energent ni OVE.

Preglednica 60: Ocenjevanje izbire optimalne variante sistema 4

VARIANTA	OCENA EKONOMSKEGA VIDIKA	OCENA OKOLJEVARSTVENEGA VIDIKA	VRSTNI RED
Varianta 1 – PLIN (postaja Sevnica)	Manj primerna	Manj primerna	2
Varianta 2 – TET 100 m PHO	Bolj primerna	Bolj primerna	1

Optimalna varianta je Varianta 2 – TET 100 m PHO. Za celovito investicijsko oceno bi bilo potrebno sodelovati s inženirjem strojništva, inženirjem elektrotehnike ter tudi z ekonomistom. S prvima dvema bi lahko natančneje določili porabo elektrike za delovanje toplotne črpalke in našli primerno rešitev za proizvodnjo elektrike - na primer s fotovoltaičnimi sistemi. Skupaj bi tako lahko pripravili celovito investicijsko dokumentacijo za izvedbo sistema 4 »ogrevanje kretnic s pomočjo energetskih pilotov protihrupnih ograj«.

Sto metrov dolga protihrupna ograja bi lahko bila tudi na drugi strani tira. Torej bi lahko:

- zagotavljali enako vrednost energije kot le s 100 m in bi strošek ostal enak, saj bi skupno od 52 pilotov imeli le 26 energetskih pilotov. Prav tako bi bili okoljevarstveni vplivi na zemljo blažji;
- zagotavljali še enkrat več energije za ogrevanje in morda tudi za hlajenje. Poraja se vprašanje ali bi lahko z energetskimi piloti protihrupnih ograj ogrevali (tudi) objekte, ki jih ščitimo pred hrupom. Ideja je na mestu. Problem uporabe družbenih koristi ter dobrin za zasebne interese bi lahko reševali s primerno fiskalno politiko.

Preglednica 57 prikazuje, da se investicija v enajstih letih povrne.

Preglednica 61: Povrnitev investicije

ČAS [LETA]	NSV (r = 0,07)	VHODNI ENERAGENT
10	-30.843 €	PLIN
10	-32.922 €	TET
11	-35.816 €	PLIN
11	-33.295 €	TET

Kakor smo ugotovili pri sistemu 1 »hiša na Barju«, bi bilo zagotovo potrebno za vsako lokacijo posebej preučiti tudi druge variante. Predvsem varianto uporabo toplotne črpalke zrak/voda, ki je v tem stroškovnem modelu nismo obravnavali.

4.5 Tveganja pri uporabi tehnologije absorpcije TET z energetskimi geotehničnimi elementi

Preglednica 62: Tveganja z uporabo TET

TVEGANJE \ SISTEM	SISTEM 1	SISTEM 2	SISTEM 3	SISTEM 4
TVEGANJE 1: Elektrika postane zelo poceni.	X			X
TVEGANJE 2: Presežki energije v RSLO	X	X	X	X
TVEGANJE 3: Staranje materiala	X	X	X	X
TVEGANJE 4: Napake pri izvedbi energetskega sistema (I + II tokokrog)	X	X	X	X
TVEGANJE 5: Nevarnost prevelikih toplotnih izgub na poti do sekundarnega tokokroga.		X		X

Obstaja tveganje, da se električna energija zelo poceni in bi bila raba TET na primer v hiši na Barju nesmotna in neupravičena. Pri viaduktih Tržiška Bistrica takšno tveganje ne obstaja, saj izhajamo iz trenutnega pogleda na odločanje. Glavno tveganje predstavlja neobstočnost materialov. Glavno tveganje pri sistemu ogrevanja kretnic predstavljajo napake pri izvedbi razvoda in sekundarnega tokokroga. Prav tako je prevzemanje odgovornosti upravljavca protihrupnih ograj v primeru okvare primarnega tokokroga, če bi se TET distribuira bližnjim objektom.

Z uporabo tehnologije absorpcije TET z energetskimi geotehničnimi elementi pa izločimo tveganja, ki obstajajo, če tehnologije ne uporabljamo:

- distributer ne dobavlja propana,
- okvare na primarnem tokokrogu s konvencionalnim vhodnim energentom (dovodni sistem cevi in plinski peči),
- skok oziroma sunkovito naraščanje cene vhodnih energentov (energetska kriza).

4.6 Primer dobre prakse v Avstriji - Študentsko naselje Erste campus

Primer dobre prakse energetskega temeljenja so energetske piloti objektov študentskega naselja Erste campus na Dunaju. Izvedbo energetskih pilotov smo si ogledali v živo pod vodstvom gospoda Michaela Kerna iz avstrijskega podjetja Bauer.

a) Vrsta objekta: študentsko naselje Erste campus

b) Lokacija objekta: ob glavni železniški postaji Dunaj-jug (Südbahnhof, Wien)



Slika (privzeta) 55: Lokacija študentskega naselja Erste campus (Googlemaps, 2012; OEBB, 2012a)



Slika (privzeta) 56: 3D vizualizacija študentskega naselja Erste campus (Foto: OEGB, 2011b)

c) Geometrija: več objektov na skupni površini 5ha zemljišča bo skupno zagotavljalo več kot 28.000 m² uporabnih površin.

d) Način temeljenja: študentsko naselje Erste campus je temeljeno na 800 pilotih, od tega je 440 energetskih pilotov. Premer pilotov je 65 cm, dolžina variira med 10 in 20 metri ($L = 10-20$ metrov). Radij armaturnega koša je 580 mm. Razdalja med energetskimi piloti ni nikdar manjša od 2,5 metra. Geološka sestava tal na tem mestu je bila ugotovljena s preliminarnimi terenskimi preiskavami ter informacijami geološko-geotehničnih poročil bližnjih objektov. Na področju objekta A so izvedli 6 vrtin, globokih 20 metrov. Sestava temeljnih tal je sledeča: do 5 metrov globine se nahaja pesek, pod njim pa se nahaja neprepustna dunajska glina (Wienertegel). Temperatura zemljine je znana, in sicer med 10 in 20 metri je vrednost med 11 in 12 °C. Talne vode ni. Izvedba energetskih pilotov je potekala na velikem in prostornem gradbišču, kjer je na armaturne koše ekipa treh delavcev pritrčila 4 U-zanke absorpcijskih cevi iz HDPE, premera 25 mm in z debelino stene 2,3 mm. Čas, ki ga trije delavci porabijo za pritrjevanje absorpcijskih cevi na 18 metrov dolg armaturni koš, je 30 minut. Zanke absorpcijskih cevi so nameščene do najmanj okoli 20 cm pred koncem armaturnega koša ter morajo imeti primeren radij zavoja. Ob premajhnem radiju se absorpcijska cev zlomi. Skupaj je v vseh 440 energetskih pilotih vgrajenih več kot 30 km absorpcijskih cevi. Armaturne koše so vstavili v samozgoščevalni beton, trdnostnega razreda C25/30, s tržnim imenom „Slackstar“. Dodatno vibriranje betona je bilo potrebno le v redkih primerih. Za en meter pilota so potrebovali 0,31 m³ betona, tj. 5 m³ za cel pilot. Skupaj so potrebovali 5.000 m³, kar je približno 1.000 »hrušk«. Projektanti so pri načrtovanju upoštevali možnost napake pri izvedbi, in sicer v višini 2% (nepredvidena zemeljska dela in s tem poškodovanje absorpcijskih cevi). Izvajalec je med našim obiskom (in vse pred tem) izdelal energetske pilote s 100% zanesljivostjo - torej brez napake in/ali poškodb materiala ter ljudi. Celotni projekt študentskega naselja Erste campus je vreden približno 500 mio €, vrednost temeljenja je 1,5 mio €.

e) Količinska letna poraba ter vrsta vhodnega energenta: konservativno smo privzeli, da je potrebno za en kvadratni meter ogrevane površine zagotoviti 50 kWh vsako leto. Preprost izračun prikaže:

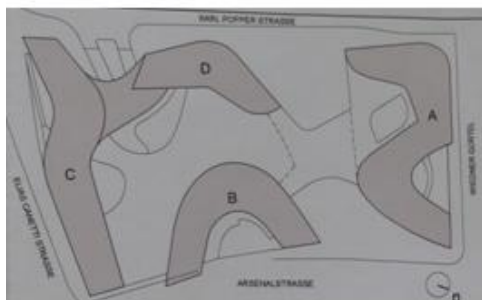
Preglednica 63: Potrebe - študentsko naselje Erste campus

Ogrevanje 1 m ² površine	50	[kWh/leto]
Ogrevalna površina	28.000	[m ²]
SKUPAJ	1.400.000	[kWh/leto]
	1.400	[MWh/leto]

f) Izračun z analitično oceno:

Preglednica 64: Podatki o energetskih pilotih

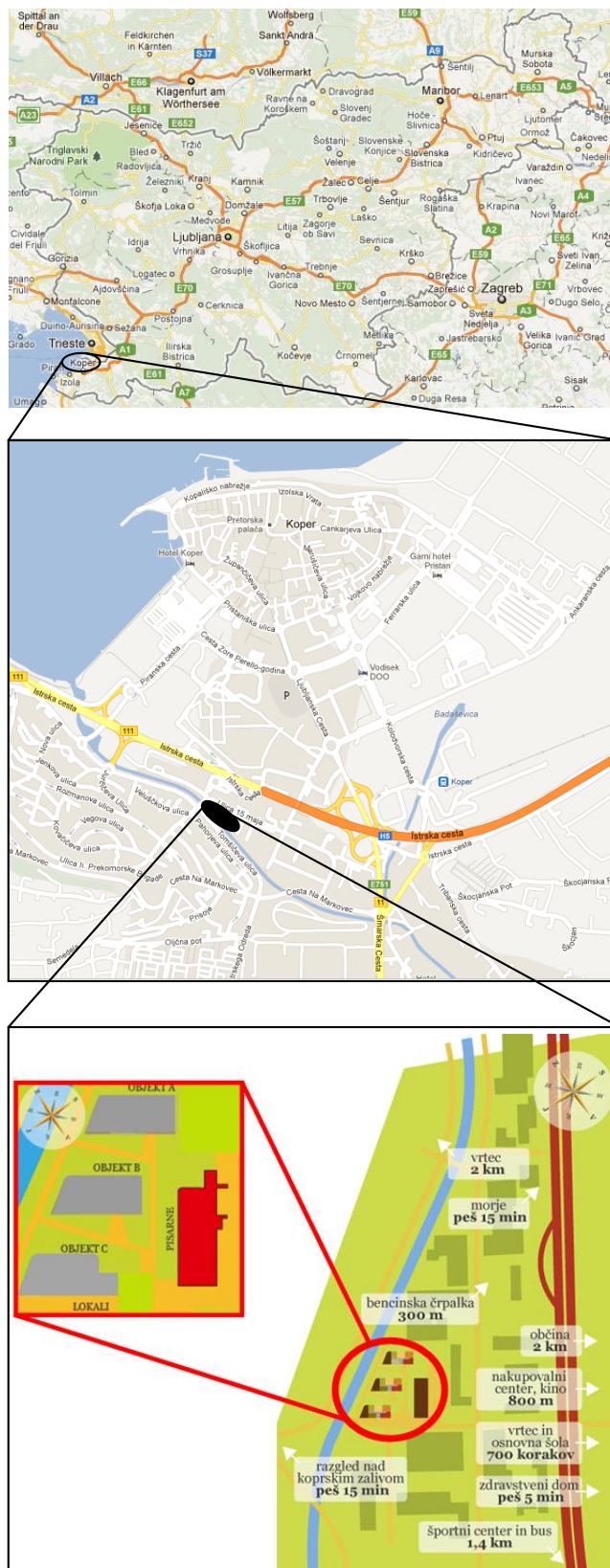
premer pilota...D [m]	0,65
število pilotov	440
dolžina pilota...L [m]	10,00
obod pilota...C [m]	2,04
količina možne absorpcije TET na m ² dotikajoče površine z zemljino [W]	35,00
skupna površina dotika z zemljino [m ²]	20,41
število ur ogrevanja s TET v letu	3.000,00
SKUPAJ [W]	314.314,00
	[Wh/leto] 942.942.000,00
	[kWh/leto] 942 942,00
	[MWh/leto] 942,94



Slika 16: Tlorisna shema objektov projekta Erste campus

4.7 Primer dobre prakse v Sloveniji - Naselje 15. maj

a) Vrsta in lokacija objekta: poslovno stanovanjski objekt s trgovskimi lokali “Naselje 15. maj” se nahaja v Kopru med potokom Badaševica in Ulico 15. maja.



Slika (privzeta) 57: Lokacija Naselja 15. maj (Googlemaps, 2012; KP, 20120)

b) Geometrija: stanovanjski del vsebuje 67 stanovanj z več kot 140 parkirnimi prostori. Za poslovni objekt z najemno površino 2.428 m² se v kleti zagotovi 49 in na terenu 32 parkirnih mest. Za uporabnike trgovskih in storitvenih dejavnosti se na terenu predvidi 20 parkirnih mest. Skupna površina je 15.000 m² (IMO-REAL, 2012).



Slika (privzeta) 58: 3D vizualizacija naselja 15. maj (IMO-REAL, 2012)

c) Način temeljenja: celoten kompleks je temeljen na 190 energetske pilotih, premera od 80 do 150 cm, dolžine 32 metrov. V vsakem energetskem pilotu je 6 HDPE absorpcijskih cevi premera 25 mm in z debelino stene 2,3 mm. Minimalna razdalja med piloti je 4 metre (Ravnič, 2012).

d) Količinska letna poraba ter vrsta vhodnega energenta: konservativno smo privzeli, da je potrebno za en kvadratni meter ogrevane površine zagotoviti 50 kWh vsako leto. Preprost izračun prikaže:

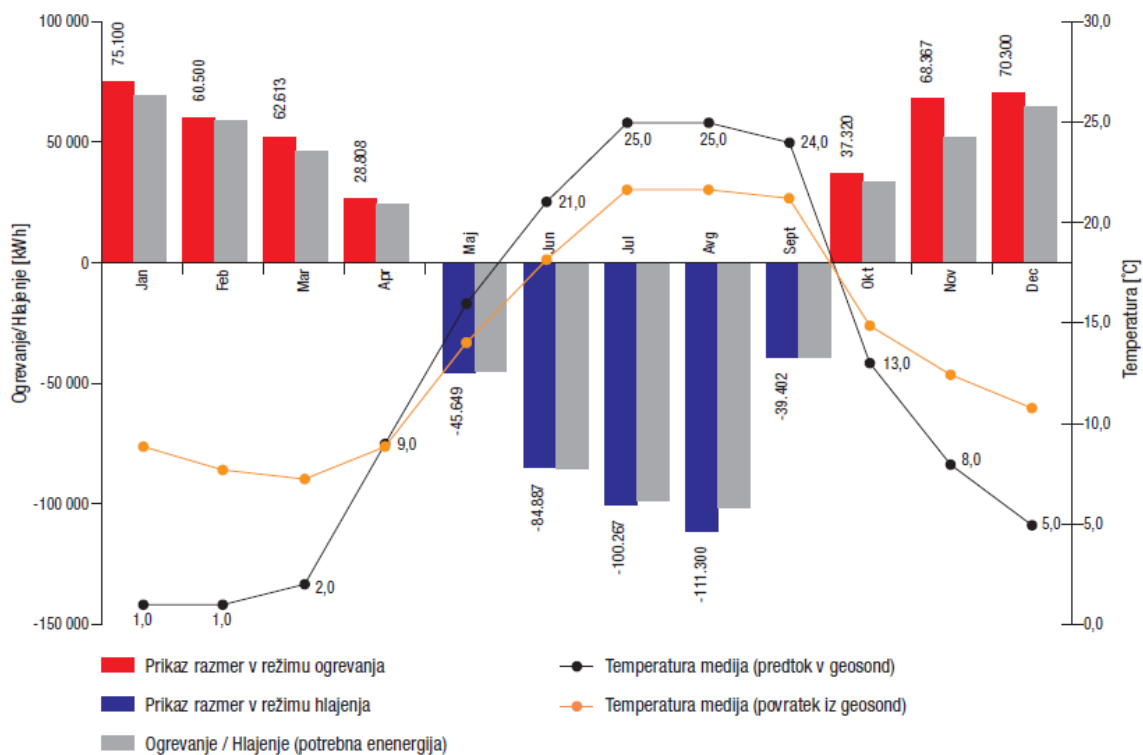
Preglednica 65: Potrebe - naselje 15. maj

Ogrevanje 1 m ² površine	50	[kWh/leto]
Ogrevalna površina	15.000	[m ²]
SKUPAJ	750.000	[kWh/leto]
	750	[MWh/leto]

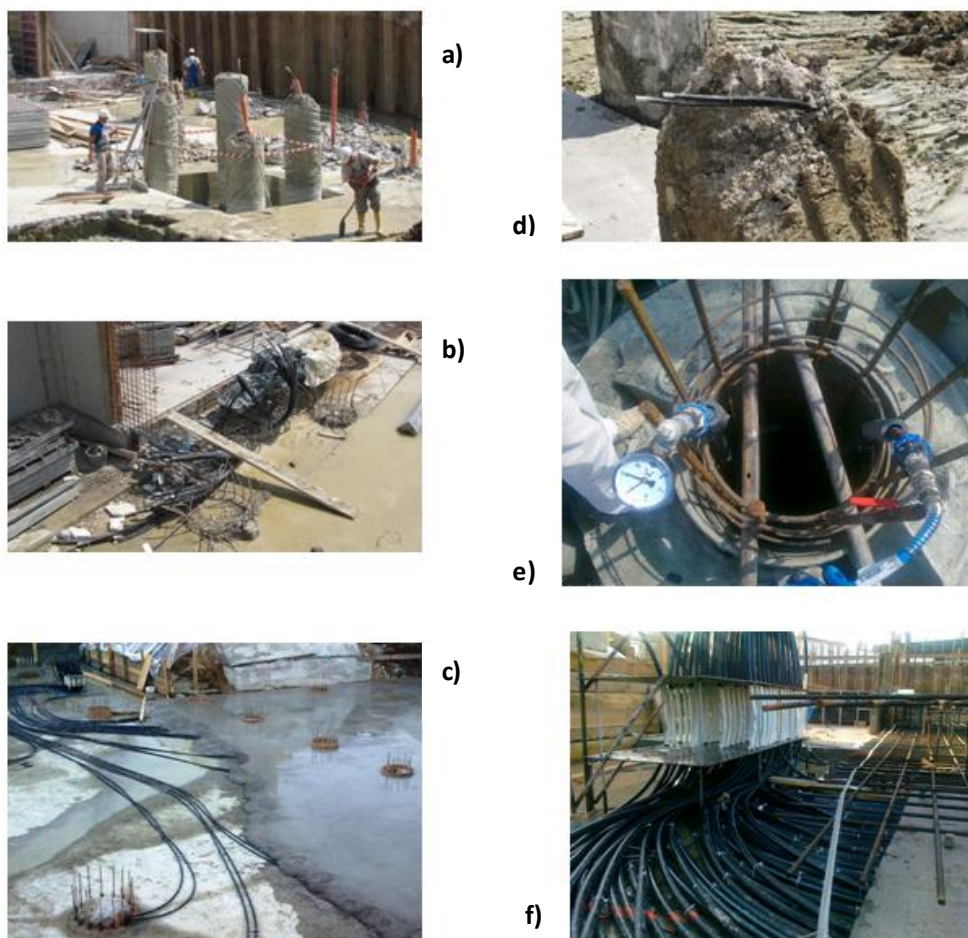
e) Izračun z analitično oceno:

Preglednica 66: Podatki o energetskih pilotih

povprečni premer pilota...D [m]	1,15
število pilotov	190
dolžina pilota...L [m]	32,00
obod pilota...C [m]	3,61
količina možne absorpcije TET na m ² dotikajoče površine z zemljino [W]	35,00
skupna površina dotika z zemljino [m ²]	115,55
število ur ogrevanja (ali hlajenja) s TETv letu	1.500,00
SKUPAJ [W]	768.420,80
	[Wh/leto] 1.152.631.200,00
	[kWh/leto] 1.152.631,20
	[MWh/leto] 1.152,63



Slika (privzet a) 59: Primer izpisa potreb in ponudbe TET za ogrevanje in hlajenje z numeričnim programom (KP, 2012)



Slika 17: Terenski ogled gradbišča naselja 15. maj v Kopru (a), b), d) Vojnović, 2011; c), e), f) Ravnič, 2011).

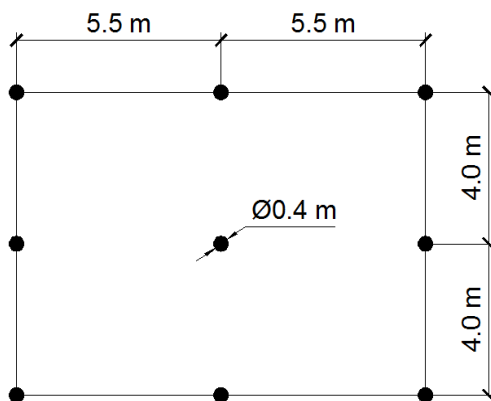
5 NUMERIČNA SIMULACIJA PRENOSA TOPLOTE V PROGRAMU ABAQUS

Problem: V poglavju 4.1 smo že povedali, da lahko stanovanjsko hišo ogrevamo in hladimo s tehnologijo absorpcije toplotne energije tal z energetskimi geotehničnimi elementi, na primer energetskimi piloti. Zanima nas, kako se spreminja vrednost temperature v zemljini v okolici energetskih pilotov, če ciklično 5 let zemljini pozimi odvzemamo toploto, da z njo ogrevamo stanovanjsko hišo, poleti pa toploto vračamo zemljini ter s tem stanovanjsko hišo ohlajamo.

Rešitev: Prenos toplote v zemljini smo numerično simulirali s programom Abaqus. Abaqus omogoča preprosto ustvarjanje modelov z vhodnimi podatki ter nudi učinkovita orodja za prikazovanje rezultatov različnih analiz, na primer: linearnih, nelinearnih, statičnih in dinamičnih analiz, trkov, toplotnih analiz, akustičnih analiz različnih konstrukcij ali simulacij industrijskih procesov (Abaqus, 2012). Kakor večina analiz, ki jih omogoča program Abaqus, je bila z metodo končnih elementov izvedena tudi naša nelinearna dinamična analiza prevajanja gostote toplotnega toka v zemljini (numerična simulacija).

5.1 Vhodni podatki za numerično analizo prenosa toplote v zemljini

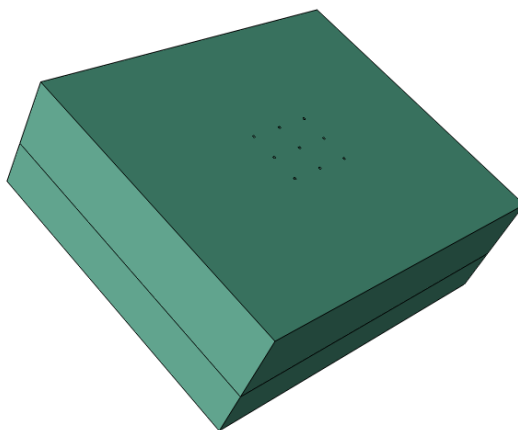
Obravnavamo hipotetični primer stanovanjske hiše na Gorenjskem, za katero privzamemo podatke o temperaturah zraka in tal z merilne postaje Lesce. Hiša zavzema tlorisno površino 11 m x 8 m. Ocenjujemo, da bomo stanovanjsko hišo temeljili na 9 energetskih pilotih, premera 40 cm in dolžine 12 metrov.



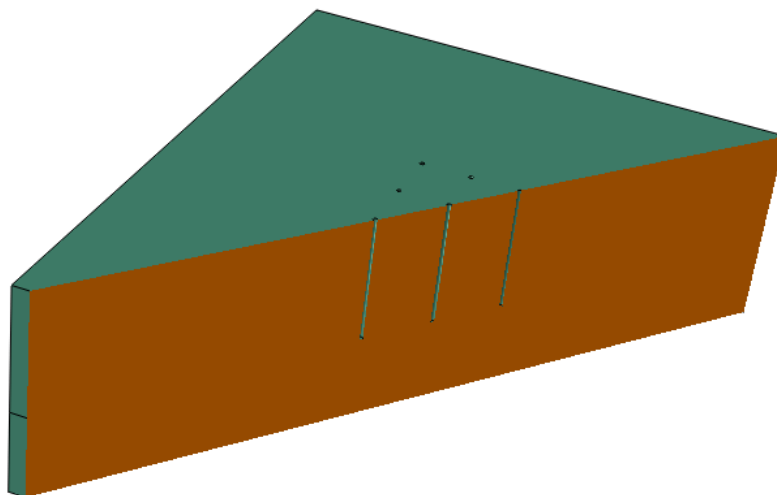
Slika 18: Razpored energetskih pilotov

A) Geometrija:

Prostorski numerični model temeljnih tal je kvader dimenzij 60 m x 50 m x 20 m = dolžina x širina x globina. Energetski piloti so dolgi 12 metrov. Model je na tej globini tudi razdeljen z ravnino, da se končni elementi lahko primerno stikajo.



Slika 19: 3D model



Slika 20: Prerez 3D modela

B) Material:

Parametri materialnih lastnosti zemljine za numerično simulacijo prenosa toplote so sledeči:

gostota tal $\rho = 2.200 \text{ kg/m}^3$

specifična toplota tal $c = 800 \text{ J/kgK}$

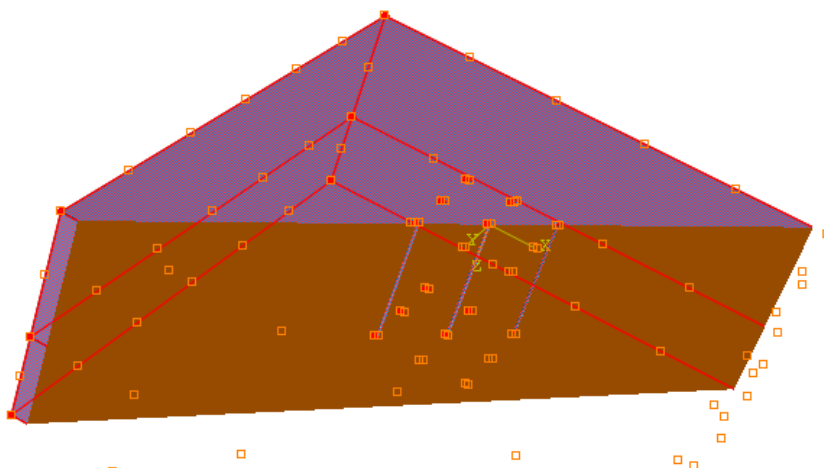
toplotna prevodnost tal $\lambda = 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$

C) Začetni ter robni pogoji:

Predpostavke za določitev začetnih ter robnih pogojev:

- Temeljenje se začne na globini –1 meter, zato lahko pri temeljenju z energetskimi piloti uporabimo celotno dolžino energetskega pilota za absorpcijo toplotne energije tal. Zaradi tega v analizi ne upoštevamo prenosa toplote skozi zgornjo plast z radiacijo.
- Temeljna tla so po celotni globini opisana z enakimi, konservativno definiranimi parametri: ρ , c , λ .
- Temeljna tla ne vsebujejo vode.

Začetni pogoj: temperatura zemljine v celotnem modelu je $12 \text{ }^\circ\text{C}$



Slika 21: Začetni pogoj je temperaturna vrednost $12 \text{ }^\circ\text{C}$ na celotnem volumnu modela

Robni pogoji: na zgornjem robu modela podamo za vsak mesec desetletno (01. 01. 2001-31. 12. 2010) povprečno temperaturo tal na globini 100 cm merilni lokaciji Lesce.

Preglednica 67: Mesečni razpored desetletnih povprečnih temperatur na globini 100 cm

MESEC	T_{zG} [°C]
JANUAR	4,1
FEBRUAR	3,6
MAREC	5,1
APRIL	8,3
MAJ	12,8
JUNIJ	16,2
JULIJ	18,3
AVGUST	19,3
SEPTEMBER	17,5
OKTOBER	14,2
NOVEMBER	10,2
DECEMBER	6,6

D) Obtežba:

Obtežbo oziroma temperaturni vpliv na energetskih pilotih predstavlja gostota toplotnega toka (angl. heat flux density) $q_{\text{OBTEŽBA}}$ [W/m^2]. Definirana je z analitično oceno absorpcijske zmogljivosti energetskega pilota s premerom 40 cm, tj. 50 W/m (Brandl, 2006), kar na kvadratni meter z zemljino dotikajoče površine pomeni 39,8 W/m^2 . Energetska pilota sta vsak mesec v letu obtežena z gostoto toplotnega toka, ki je izračunana v odvisnosti od ocenjene mesečne potrebe po toplotni energiji.

Absorpcijska zmogljivost energetskega pilota premera 40 cm je 50 W/m \rightarrow 39,8 W/m^2 z zemljino dotikajoče površine energetskega pilota \rightarrow obod energetskega pilota znaša 1,256 m \rightarrow dolžina energetskega pilota je 12 m \rightarrow celotna površina plašča energetskega pilota je 15,1 m^2 . Največ toplotnega toka, ki ga lahko zberemo z enim pilotom je 600 W, kar lahko izračunamo tudi iz

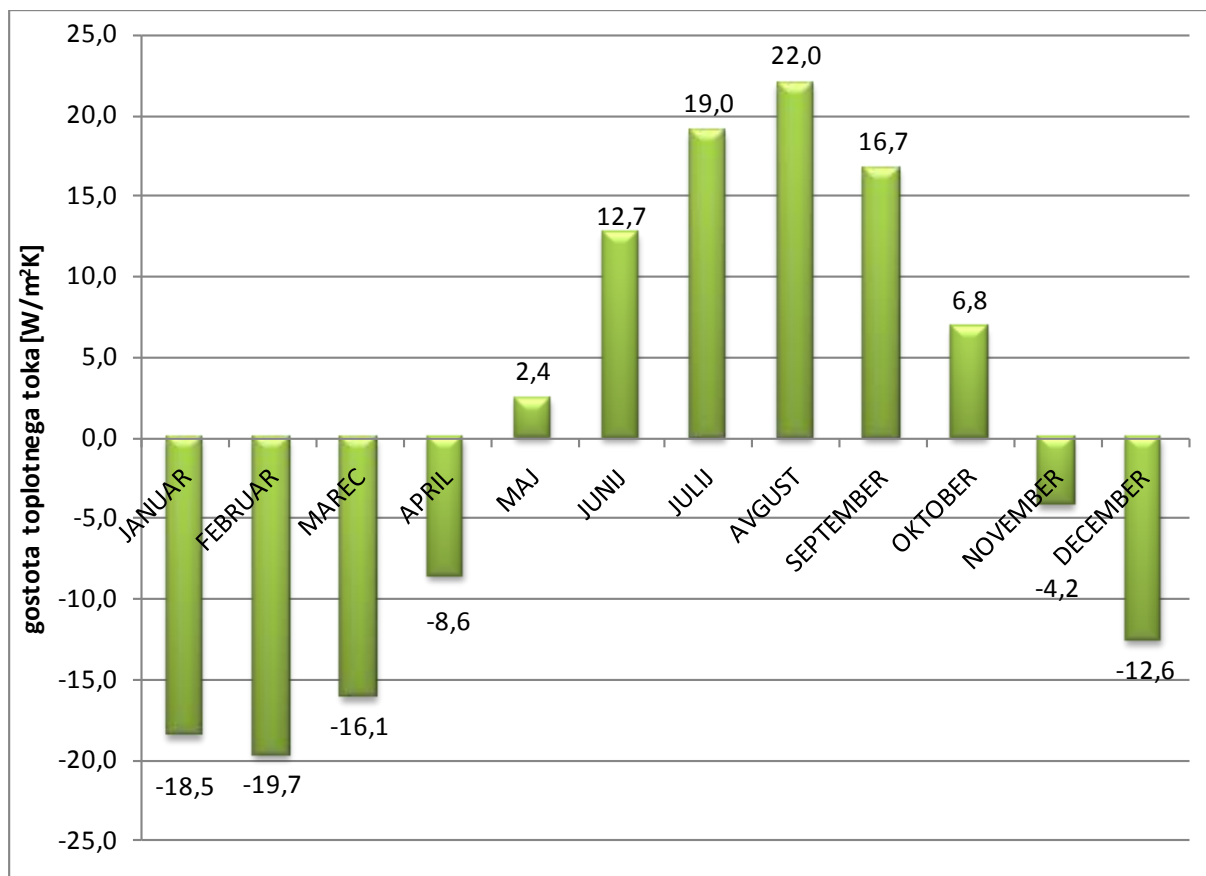
$$50 \text{ W}/\text{m} * 12 \text{ m} = 600 \text{ W} \quad (40)$$

Površina pete energetskega pilota ne prispeva k absorpciji TET iz zemljine.

Stanovanjsko hišo ogrevamo (odvzemamo TET zemljini) 6 mesecev v letu, enako velja tudi za hlajenje (vračamo TET zemljini). Predpostavimo, da torej en cikel (npr. odvzem TET) traja 1.500 ur na leto, kar je 8 ur na dan. Za potrebe numerične simulacije to pretvorimo tako, da tretjino možne absorbirane toplotne energije tal zbiramo cel dan, vseh 6 mesecev. Enako velja za dovajanje toplote v tla.

$$\frac{39,8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}{3} = 13,3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad (41)$$

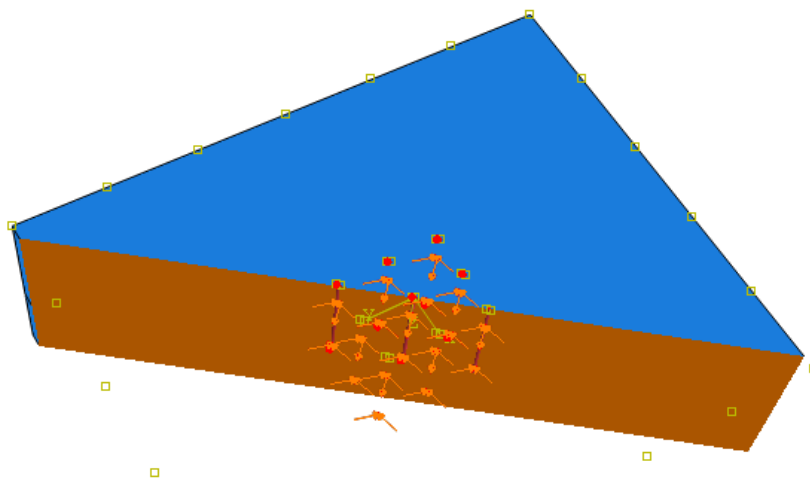
$$13,3 * 6 \text{ mesecev} = 79,8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad (42)$$



Graf 14: Mesečna obtežba energetskih pilotov z gostoto toplotnega toka

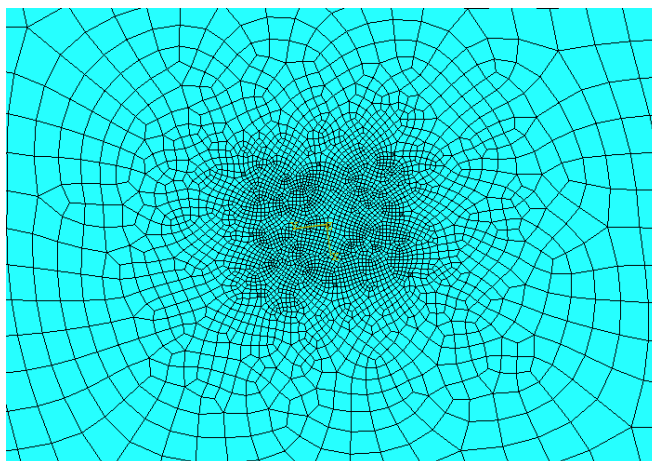
Preglednica 68: Mesečna obtežba energetskih pilotov z gostoto toplotnega toka

MESEC	$q_{\text{OBTEŽBA}} \left[\frac{W}{m^2} \right]$
JANUAR	-18,5
FEBRUAR	-19,7
MAREC	-16,1
APRIL	-8,6
MAJ	2,4
JUNIJ	12,7
JULIJ	19,0
AVGUST	22,0
SEPTEMBER	16,7
OKTOBER	6,8
NOVEMBER	-4,2
DECEMBER	-12,6

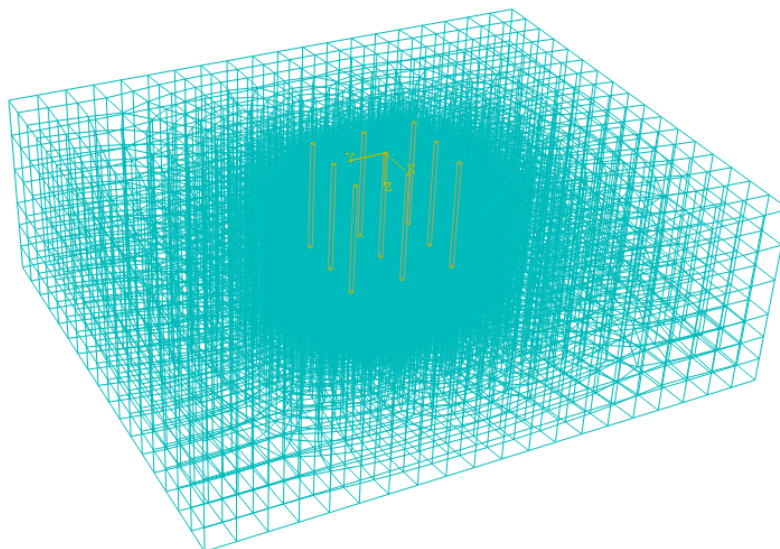


Slika 22: Obtežba na energetskih pilotih ter robni pogoj

Celotna tabela izračuna se nahaja v prilogi PRILOGA G. Vsak mesec $q_{\text{OBTEŽBA}}$ traja 2.592.000 sekund. Numerična analiza je izvedena za obdobje petih let.



Slika 23: Tlorisni pogled na mrežo končnih elementov

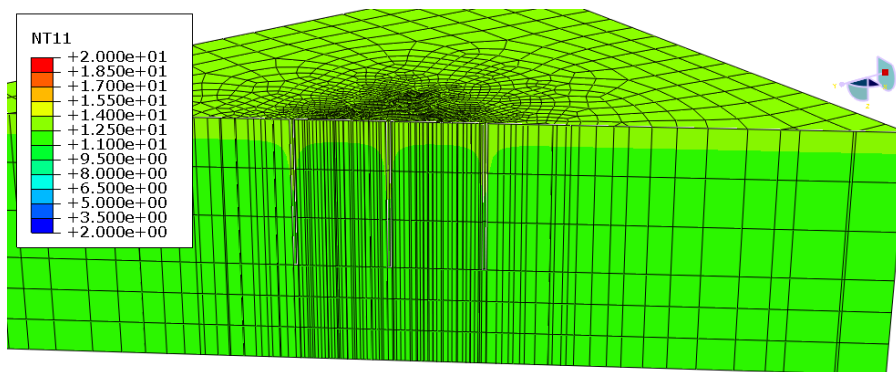


Slika 24: Aksonometrični pogled na mrežo končnih elementov

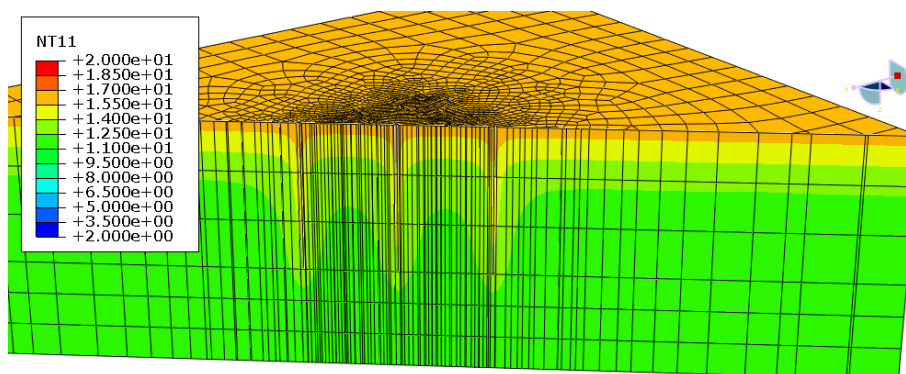
5.2 Rezultati numerične analize prenosa toplote v zemljini ter njihova interpretacija

Zanima nas temperaturni odziv zemljine v bližini energetskih pilotov ter tudi v okolici.

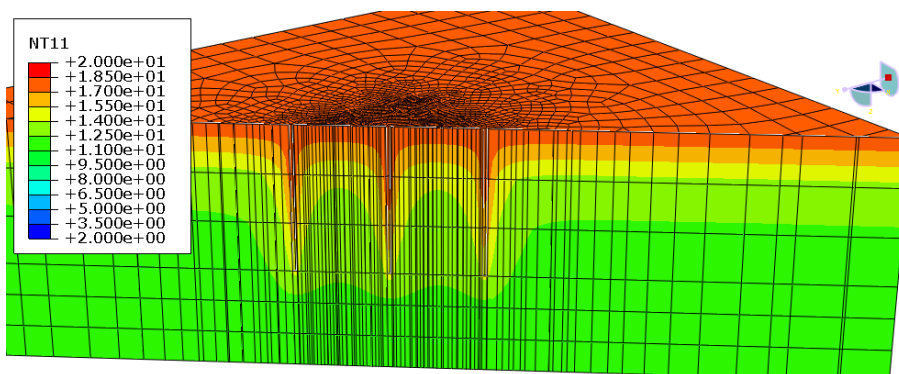
A) Temperature zemljine v prvem letu za vsak mesec od maja do aprila:



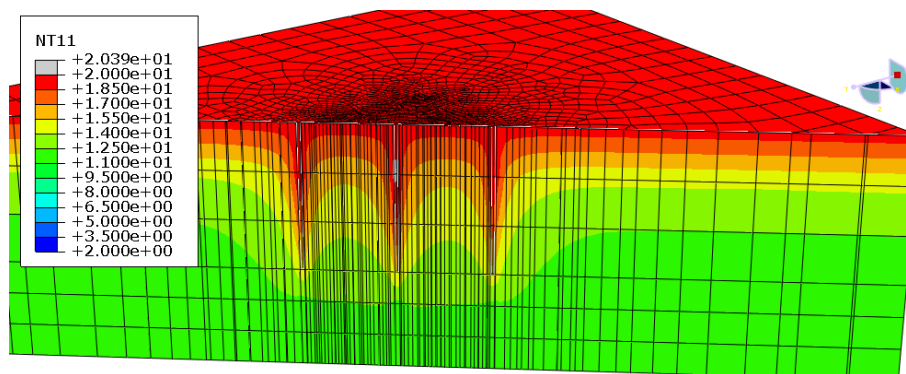
Slika 25: maj_1



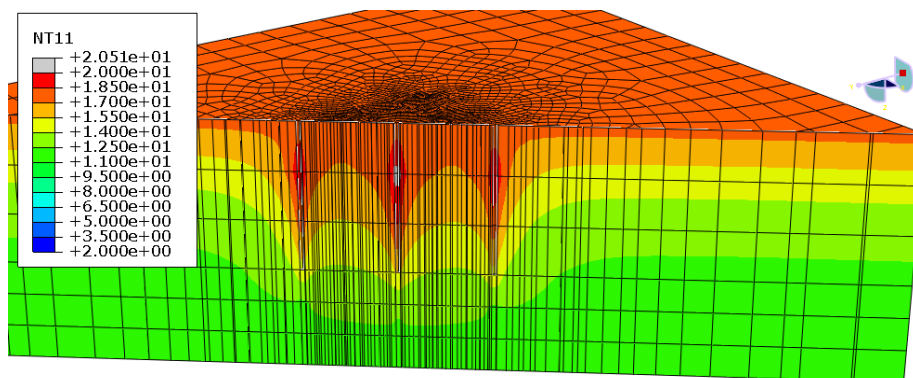
Slika 26: jun_1



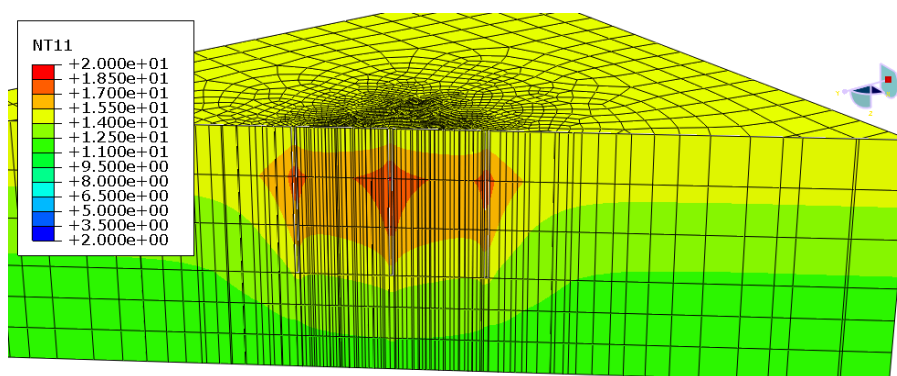
Slika 27: jul_1



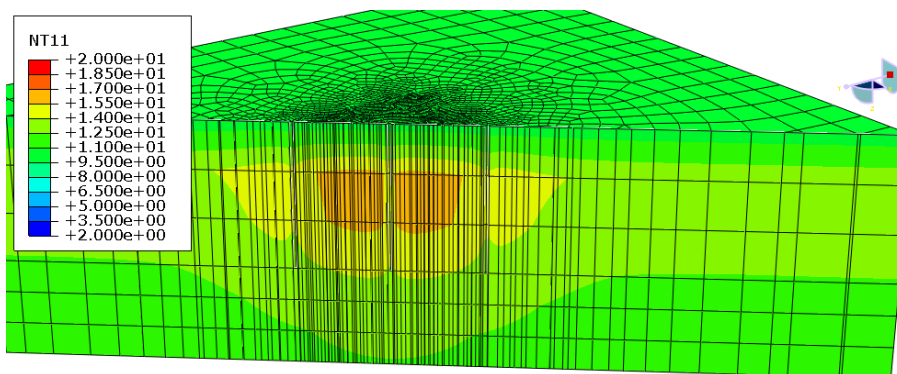
Slika 28: avg_1



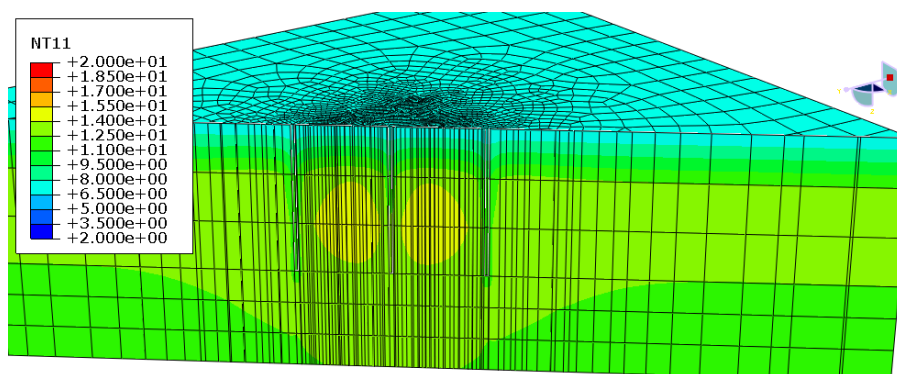
Slika 29: sep_1



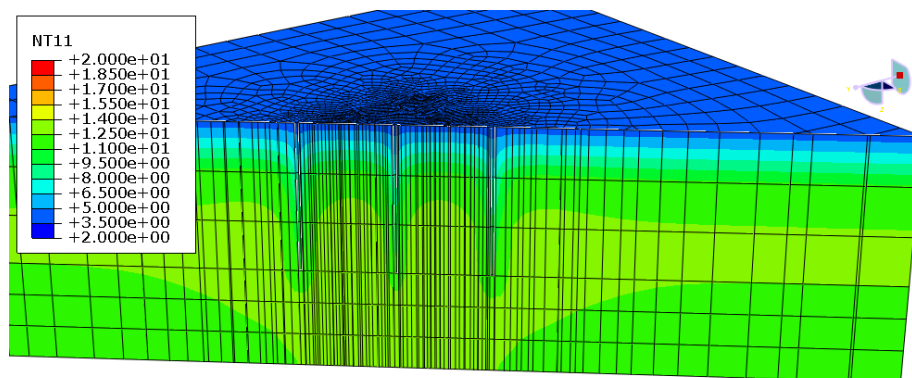
Slika 30: okt_1



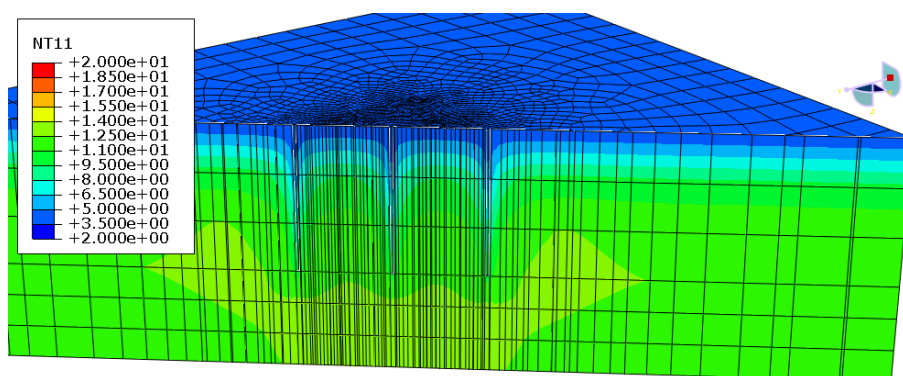
Slika 31: nov_1



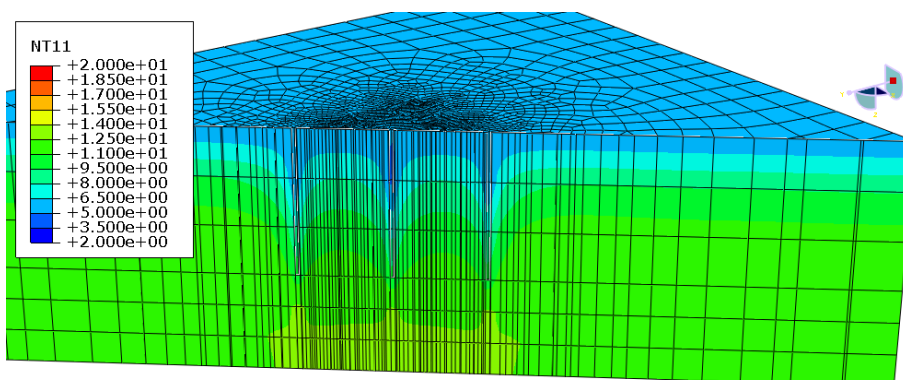
Slika 32: dec_1



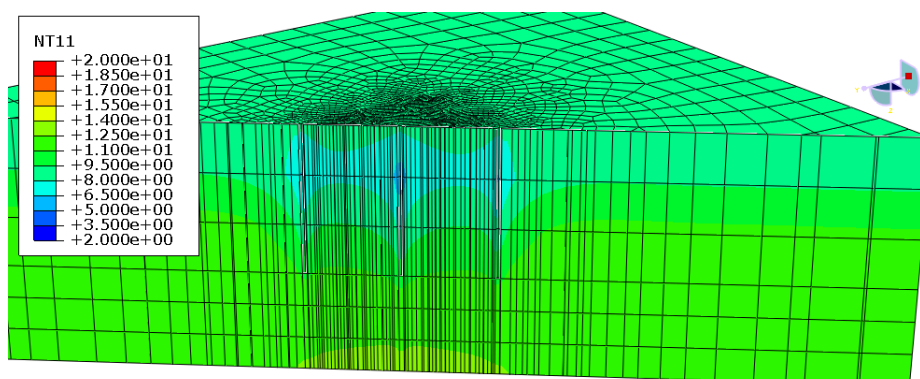
Slika 33: jan_1



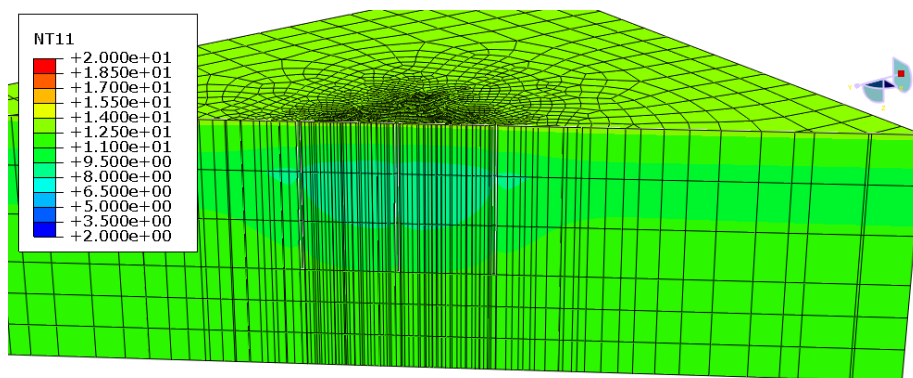
Slika 34: feb_1



Slika 35: mar_1

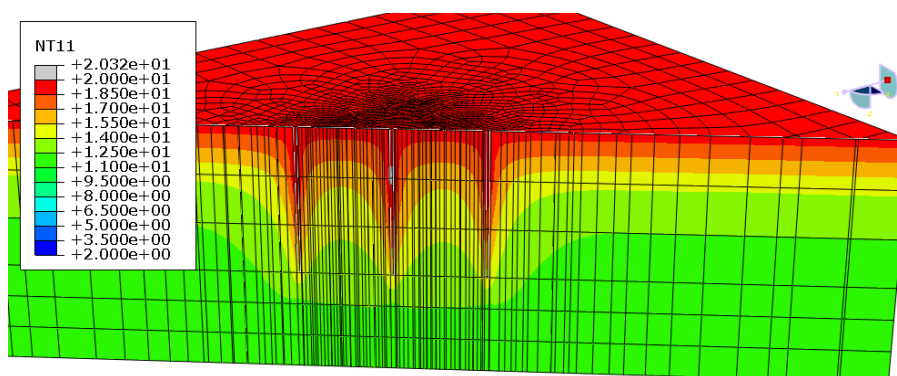


Slika 36: apr_1

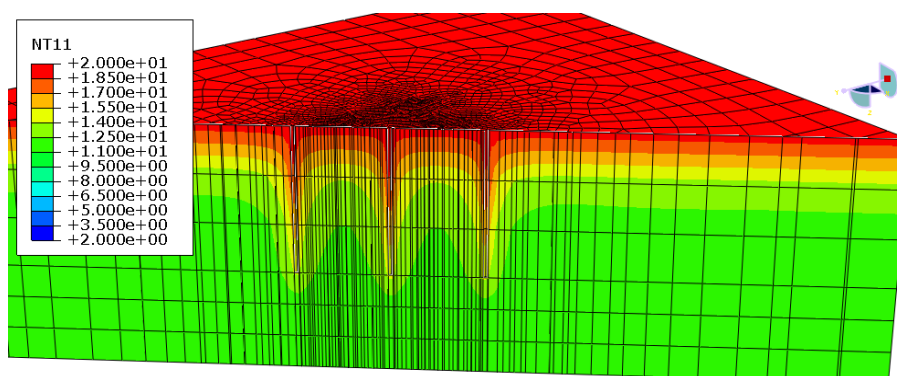


Slika 37: maj_2

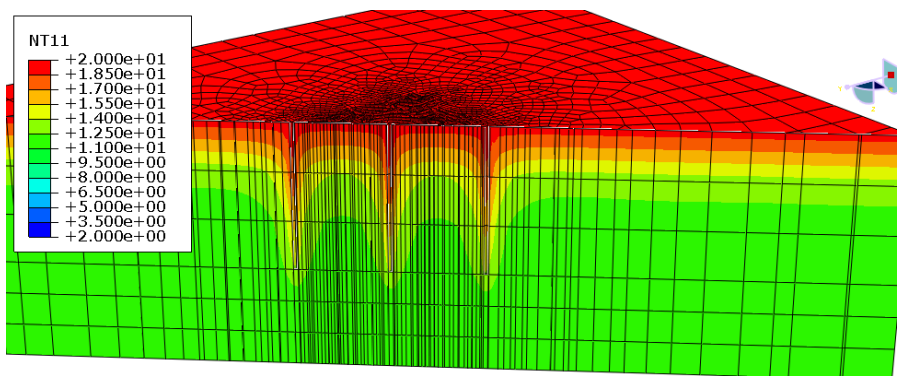
B) Temperature v prvem, tretjem in petem letu za februar (najbolj mrzel mesec v letu) ter avgust (najbolj vroč mesec v letu).



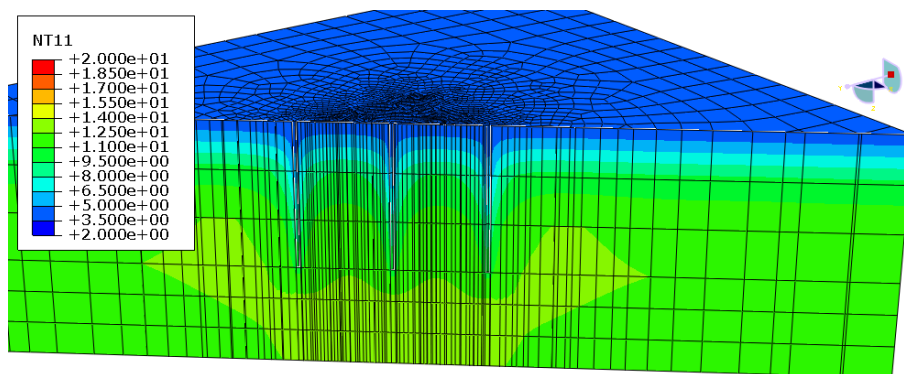
Slika 38: avg_1



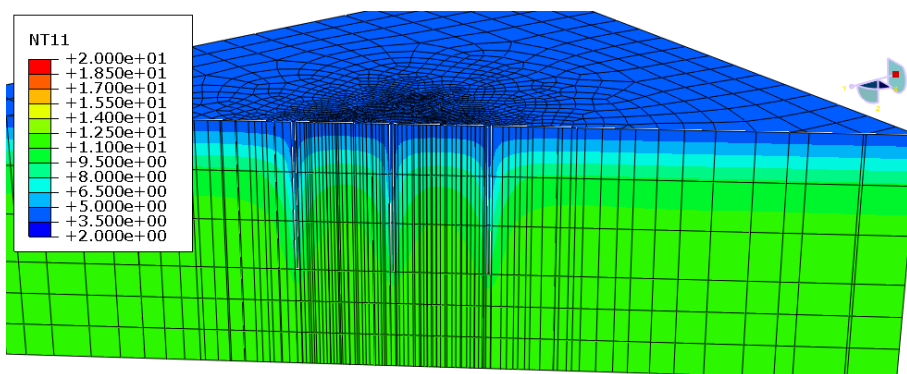
Slika 39: avg_3



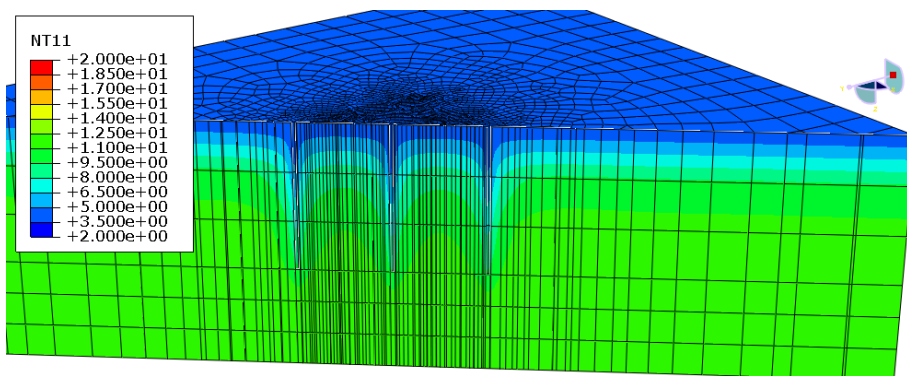
Slika 40: avg_5



Slika 41: feb_1



Slika 42: feb_3



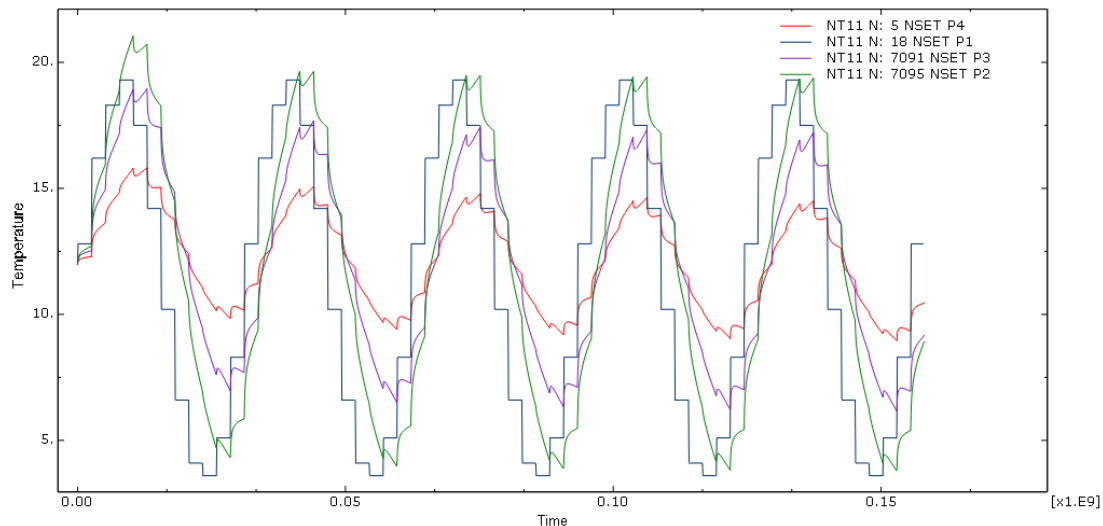
Slika 43: feb_5

C) Opazujemo temperaturo osmih točk. Štiri točke so na sredinskem energetskem pilotu:

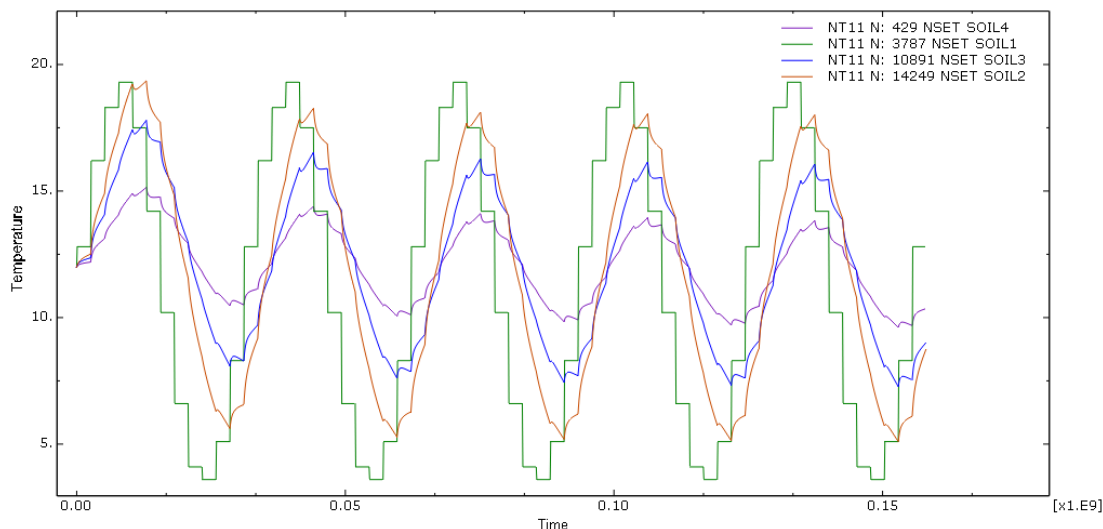
- P1 na vrhu (0 m)
- P2 na tretjini globine (4 m)
- P3 na dveh tretjinah globine (8 m)
- P4 na dnu pilota (12 m)

Štiri točke pa ležijo v zemljin, vzporedno v neposredni bližini zgornjih točk:

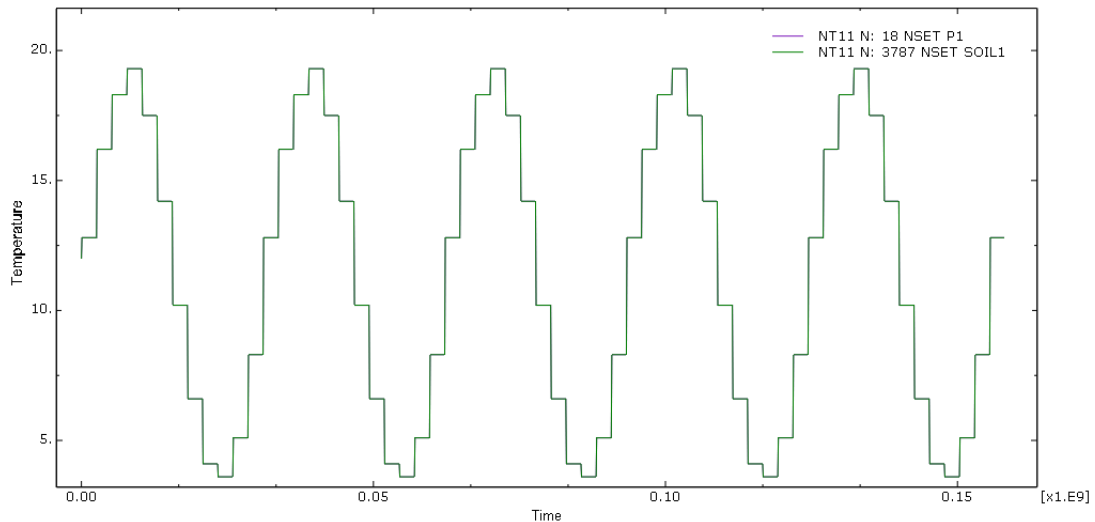
- SOIL 1 na globini 0 m
- SOIL 2 na globini 4 m
- SOIL 3 na globini 8 m
- SOIL 4 na globini 12 m



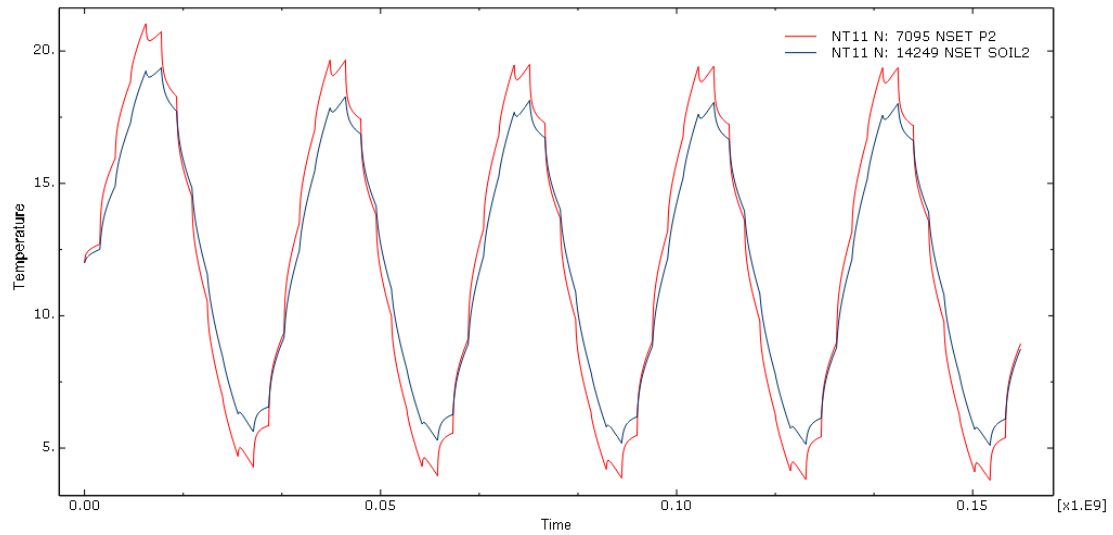
Slika 44: Točke na sredinskem energetskem pilotu



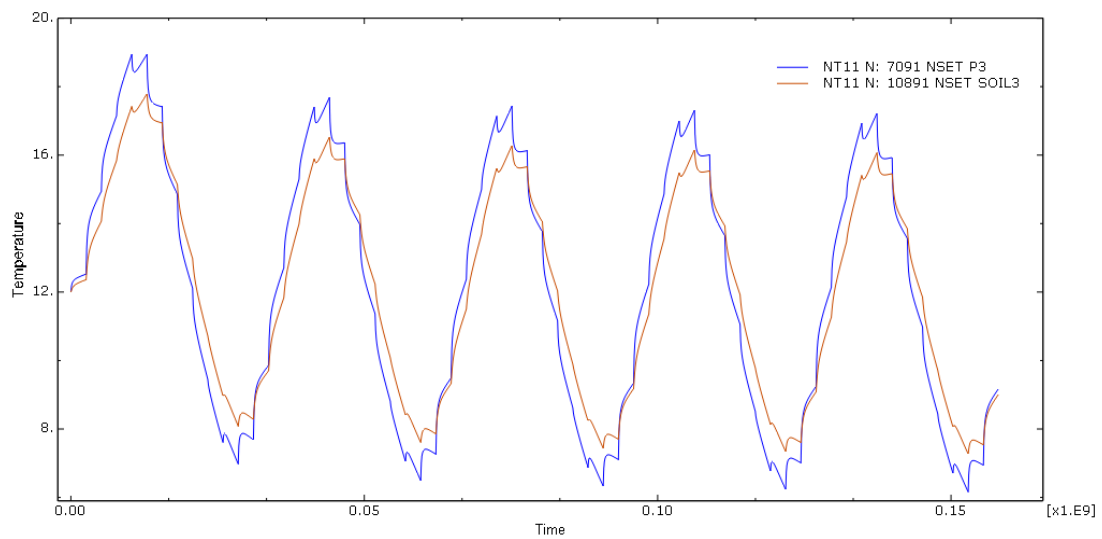
Slika 45: Točke v zemlji, neposredno ob energetskem pilotu



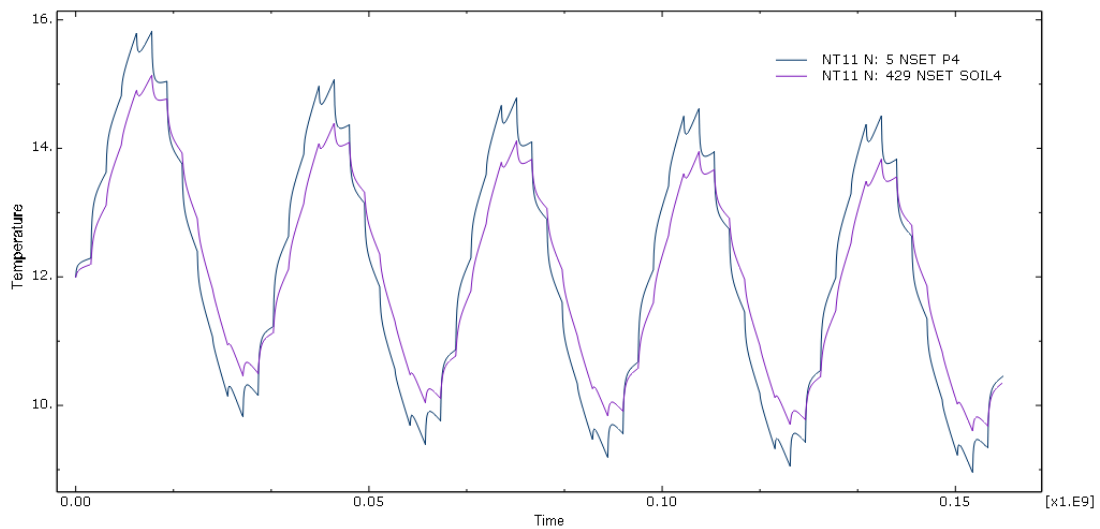
Slika 46: Točki P1 in SOIL 1 na globini 0 m



Slika 47: Točki P2 in SOIL 2 na globini 4 m



Slika 48: Točki P3 in SOIL 3 na globini 8 m



Slika 49: Točki P4 in SOIL 4 globini 12 m

Opazimo trend padanja temperature v zemljini. Padec asimptotično konvergira k vrednosti, ki je sprejemljiva, to je do največ 5 stopinj razlike. Na obodu energetskega pilota temperatura ne pade pod 2 °C, kar omogoča stabilno in nemoteno delovanje sistema. Če bi bila temperatura na obodu energetskega pilota nižja, bi lahko absorpcijska tekočina v primarnem tokokrogu zmrznila in energetski sistem bi prenehal delovati. Še bolj pomembno dejstvo za vzdrževanje temperature 2 °C na obodu energetskega pilota je preprečevanje zmrovanja zemljine! Vidna je tudi različna vrednost temperature opazovanih točk na energetskem pilotu in v zemljini. Temperatura na slednjih niha manj kot na obodu energetskega pilota.

6. ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi sem prikazal odgovore na vprašanje »Ali je tehnologija absorpcije toplotne energije tal z energetskimi geotehničnimi elementi v naših pogojih in s trenutnimi cenami konkurenčna drugim tehnologijam uporabe obnovljivih in neobnovljivih virov energije za potrebe ogrevanja in hlajenja objektov?

Za pridobitev odgovorov sem preučil več področij. Najprej sem navedel tri termine, ki se v zasledovanju cilja trajnostnega razvoja družbe redno pojavljajo, in sicer »obnovljiv(i) vir(i) energije«, »trajnostna raba« in »učinkovita raba energije«. Na kratko sem predstavil preštudirano literaturo o obnovljivih virih energije in tehnologijah za njihovo uporabo. Glavni slabosti trenutno razširjenih tehnologij sta na primer prah kot stranski produkt biomase ter zahteva po dodatnih geotehničnih delih (vrtine) z uporabo geotermalne energije.

V nadaljevanju sem se podrobno spoznal z aktualno slovensko in tujo, predvsem avstrijsko, literaturo, ki je vodilna na področju energetskega temeljenja. V tretjem poglavju sem prikazal shemo energetskega sistema, ki vključuje opis primarnega in sekundarnega tokokroga ter njune povezave – toplotne črpalke. Z novejšo, na novo definirano terminologijo sem nadgradil obstoječo iz trenutno dostopne literature. S tem je jasnejše razlikovanje v poplavi presplošno uporabljenega termina geotermalna energija.

Predstavil sem načine uporabe ter pravilnega delovanja energetskega sistema, ki za ogrevanje in hlajenje uporablja tehnologijo absorpcije toplotne energije tal z energetskimi geotehničnimi elementi. Gre za odvzemanje toplotne energije tal zemljini v zimskih mesecih ter vračanje toplote zemljini v poletnih mesecih. To je nujno potrebno za ohranjanje pogojev za potek naravnih procesov v zemljini ter preprečevanje sprememb mehanskih lastnosti zemljin, ki nastajajo s cikličnim izmenjevanjem zmrzovanja in taljenja tal. Očitno je, da so torej energetski geotehnični elementi potrební pogoj za uporabo toplotne energije tal. Potrebne dodatke geotehničnim elementom, da postanejo energetski geotehnični elementi sem opisal skupaj s konceptualnim opisom izvedbe nato pa sem navedel analitično oceno absorpcijske zmogljivosti energetskih pilotov, energetskih diafragm (sten) in energetskih plošč.

Kompleksno in matematično zahteven fizikalni pojav prenosa toplotne energije tal iz zemljine na absorpcijsko tekočino v zaprtem primarnem tokokrogu sem razložil s krajšim teoretičnim poglavjem. S teoretičnim opisom analitičnih in numeričnih ugotovitev raziskovalcev sem zaključil, da so za idejne študije izkoriščanja toplotne energije tal najbolj pomembni parametri zemljine toplotna prevodnost, toplotna kapaciteta in gostota. Večjo absorpcijsko zmogljivost imajo energetski piloti in predori, ki nimajo prevelikega nadkritja (do nekaj deset metrov), najmanjšo pa energetske temeljne plošče.

V predzadnjem poglavju sem seznanil z variantnimi stroškovnimi modeli, ki se uporabljajo za ekonomsko vrednotenje stroškov in koristi. Prikazal sem konceptualno investicijsko presojo – analizo stroškovne učinkovitosti, skladno z Uredbo o enotni metodologiji za pripravo in obravnavo investicijske dokumentacije na področju javnih financ (UL RS 60/2006, z dne 09. 06. 2006). Tako sem dobil odgovore za ekonomsko upravičenost uporabe TET za ogrevanje in hlajenje.

Z variantnim stroškovnim modelom se ugotovil, da izbira tehnologije absorpcije TET z geotehničnimi elementi za ogrevanje in hlajenje v fazi načrtovanja novega objekta zahteva višje investicijske stroške v primerjavi s tehnologijami za uporabo konvencionalnih vhodnih energentov. Omeniti velja tudi, da pri zadnjem sistemu (sistem 4) nisem imel podatka o investicijskih stroških infrastrukture za tehnologijo ogrevanja kretnic s plinom. Pri vseh obravnavanih sistemih je znatno manjša vsota tekočih in vzdrževalnih stroškov v ekonomski dobi 20 let, če za ogrevanje in hlajenje uporabljamo TET. Najpomembnejša ugotovitev je zagotovo dejstvo, da je izbira tehnologije absorpcije TET z energetskimi geotehničnimi elementi v fazi izjemna priložnost za investitorja. Oportunitetni strošek z

izbiro nevgradnje tudi samo absorpcijskih cevi v geotehnični element je izjemno velik. Najprej zagotovo v denarnem smislu, nadalje pa tudi z vidka energetske samozadostnosti (na primer v kombinaciji s fotovoltaičnimi sistemi za neposredno proizvodnjo električne energije). Če sem investitor, pridobim možnost izbire uporabe lokalnega obnovljivega vira energije ter s tem neodvisnost odločanja o uporabi vhodnega energenta v prihodnosti. Tako lahko izločimo različna tveganja z izbiro neuporabe tehnologije absorpcije TET z energetskimi geotehničnimi elementi kot na primer: nedobavljivost konvencionalnega vhodnega energenta ali pa nepričakovan dvig cene konvencionalnega vhodnega energenta. Hipotetično sem privzel, da zaenkrat ni ekonomsko upravičeno dodatkov geotehničnim elementom vgrajevati kasneje - po začetku uporabe objekta. Zagotovo je to področje še precej neraziskano in morda nudi velik potencial na raziskovalnem in tržnem področju.

Izkazalo se je, da je ekonomska analiza stroškovne učinkovitosti v diplomski pravzaprav šele začetek vsake kvalitetne in pravilne ekonomske analize, ki je veliko bolj natančna in poglobljena.

TET je zelo pozitivna alternativa obstoječim načinom ogrevanja in hlajenja objektov. Konceptualni nivo analiziranja pa ne prikaže enoznačne odločitve. Mikroodločanje je torej naslednji korak za izbiro optimalne tehnologije za ogrevanje in hlajenje objekta. Za konkretne primere, je treba upoštevati vse danosti konkretne lokacije in objekta ter načina uporabe. Predvsem zato, ker se rešitve ogrevanja TET in sistemov voda/voda, zrak/voda izkažejo kot izrazito primerljive. Odločitev za posamezno varianto je odvisna predvsem od mikrolokacije določenega objekta. Prav tako se je izkazalo, da vgrajevanje absorpcijskih cevi za kasnejšo uporabo ni smiselno vgrajevati, ne da bi natančneje analizirali potreb objekta po energiji, klimatskih pogojev ter stroškov vgradnje za točno določen objekt.

V zadnjem delu predzadnjega poglavja sem opisal tudi primera dobre prakse. Na eni strani tako uporaba TET za ogrevanje in hlajenje objekta ni zgolj posledica slepega sledenja črki zakona, marveč zdrave mere razuma, spoštovanja družbe, okolja in narave. Uporaba TET v novozgrajenih objektih namreč bistveno prispeva k zmanjšanju toplogrednih plinov, k skupnemu cilju evropske unije »20-20-20« oziroma tudi cilju 25% rabe lokalnih OVE, ki ga narekuje ANOVE (2010). Na drugi strani pa je lahko uporaba tehnologije absorpcije toplotne energije tal z energetskimi geotehničnimi elementi predvsem tržni prijem investitorja. Zagotovo je vsak doprinos k energetski samozadostnosti objektov za ogrevanje in hlajenje v Sloveniji in s tem zmanjšanje stroškov ogrevanja in hlajenja ter zagotavljanje trajnostnega razvoja zelo dobrodošel. Tako omogočamo tudi razvoj na področju gradbeništva in trga dela, saj je za primerno zasnovane in celovito oblikovane objekte nujno potrebno sodelovanje strokovnjakov večih strok. Iz obeh primerov je razvidno tudi, da bi bilo še kako smotno vlagati denarna sredstva v izobraževanje na področju izkoriščanja toplotne energije tal. Koprski objekt namreč lahko absorbira skoraj dvakrat več energije kot jo potrebuje.

Dovolj zgodno ekološko oziroma energetsko načrtovanje doprinaša znatne prihranke tekočih in vzdrževalnih stroškov objekta. Brandl (2006) ugotavlja, da visoko kakovostno energetsko načrtovanje (Brandl, 2006) ne pomeni le načrtovanje ogrevanja in hlajenja, temveč tako kot navajata Kunič in Krainer (2008) je celostno načrtovanje načrtni pristop k optimizaciji proizvodno-potrošniškega ciklusa stavbe ob hkratnem vzajemnem upoštevanju ekologije, energije, varovanja okolja, arhitekture, gradbene tehnike in ekonomije. Brandl (2006) nadalje navaja, da je relativno draga investicija v preišljeno načrtovan objekt mnogo cenejša investicija, kakor uporaba neprimerno načrtovanega objekta (multikriterijska optimizacija). Vsi trije avtorji (Brandl, 2006) in (Kunič, Krainer, 2008) ugotavljajo, da mora celostno načrtovanje objekta izkazovati učinkovitost celotnega objekta, vključno s taistim izkazom za posamezne elemente objekta.

Zadnje poglavje obsega numerično simulacijo temperaturnega odziva zemljine na petletno ciklično odvzemanje in vračanje toplotne energije tal za stanovanjsko hišo na Gorenjskem. Ugotovil sem, da pravilna uporaba tehnologije absorpcije tehnologije tal z energetskimi piloti primerna in zemljini ne povzroča negativnih posledic. Preprečiti je potrebno le zmrzovanje zemljine.

Energetski piloti zaradi temperaturnih sprememb v tleh ob odvzemanju in vračanju toplote zemljini nimajo zmanjšane nosilnosti po plašču (Brandl, 2006; Adam, Hofinger, Markiewicz, 2012).

Temeljna tla vsebujejo veliko energije, ki je ne samo lahko, temveč bi jo bilo smiselno začeti primerno uporabljati. Različne tehnologije, ki so v svetu znane in se uporabljajo že 20 let, so se začele pojavljati tudi pri nas. Bistvenega pomena je, da uporabnik zna tehnologije primerno uporabljati, sicer je vsakršna tehnologija brez pomena in ne doprinaša na primer k zmanjševanju izpusta CO₂ ali splošnemu cilju trajnostnega razvoja. Avstrijska klima je zelo primerna za uporabo tehnologije absorpcije toplotne energije tal z energetskimi geotehničnimi elementi. Marsikje na svetu lahko to tehnologijo uporabimo, povsod pa ne. Slovenskemu tržišču in stroki diplomska naloga podaja z enovito terminologijo, teoretičnim ozadjem, investicijsko presojo ter numerično simulacijo novo možnost za izkoriščanje enormne količine trajnostnega vira energenta, ki nam je na voljo za uporabo tu in zdaj. Slovenija je na majhni površini obsega več klimatkih pogojev, zato je uporaba tehnologije absorpcije toplotne energije tal z energetskimi geotehničnimi elementi primerna (najbolj optimalna od možnih alternativ) le na lokaciji z ustreznimi klimatskimi pogoji.

VIRI

- ABAQUS. 2012. <http://www.3ds.com/products/simulia/portfolio/abaqus> (Pridobljeno 29. 04. 2012.)
- Adam, D., Hofinger, H., Markiewicz, R. 2012. Sestanek na TUW, Dunaj. Osebna komunikacija. (08. 05. 2012.)
- AN OVE. 2011. Akcijski načrt za obnovljive vire energije za obdobje 2010-2020 (AN OVE) Slovenija. 2011. http://www.mg.gov.si/fileadmin/mg.gov.si/pageuploads/Energetika/Porocila/AN_OVE_2010-2020_final.pdf (Pridobljeno 05. 12. 2011.)
- Avbelj, J. 2010. Koregistracija trirazsežnih modelov stavb z grafičnimi gradniki zaznanimi z infrardečih aero videoposnetkov. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozakžba J. Avbelj): 154 f.
- Bernik, R., Zver, A. 2006. Rastlina kot obnovljivi vir energije (OVE). <http://aas.bf.uni-lj.si/september2006/16bemik.pdf> (Pridobljeno 10. 06. 2011.)
- Bisol. 2012. <http://www.bisol.com/si/fotovoltaika.html> (Pridobljeno, 02. 04. 2012.)
- Brandl, H. 2006. Energy foundations and other thermo-active ground structures. *Geotechnique* 56, 2: 81–122.
- Brezavšček, M. 2011. Protihrupne ograje. Osebna komunikacija. 18. 11. 2011.
- Coley, D. A., 2008. Energy and climate change: creating a sustainable future. Chichester, John Wiley & Sons, Ltd.: 656 str.
- Černe, B. 2012. Kolodvori. Sporočilo za: Vojnovič, L. 21. 05. 2012. Osebna komunikacija.
- DiPippo, R. 2008. Geothermal power plants: principles, applications, case studies and environmental impact, stran 31, Butterworth-Heinemann, Elsevier: 493 str.
- DRC. 2008. http://www.drc.si/Portals/3/aktualnosti/2_aktualnosti_kakovost_screen.pdf (Pridobljeno 16. 03. 2012)
- European renewable energy council (EREC). 2010. Renewable energy in Europe: markets, trends, and technologies. UK, European Renewable Energy Council: 289 str.
- EU-SKLADI. 2006. http://www.eu-skladi.si/ostalo/navodila-za-izvajanje-kohezijske-politike-2007-2013/CBA_26.11.2007.pdf (Pridobljeno 08. 02. 2012.)
- Forecast. 2012. <http://www.forecast-chart.com/forecast-natural-gas.html> (Pridobljeno, 17. 05. 2012.)
- Gole Ašanin, P. (odgovorni urednik). 2004. Viadukti in mostovi na slovenskih avtocestah, DARS, Celje: 164 str.
- Goričanec, D., Črepinšek-Lipuš, L. 2008. Prenos toplote. http://atom.uni-mb.si/edu/egradiva/prenos_toplote.pdf (Pridobljeno 14. 01. 2012.)
- Grobovšek, B. 2009. <http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT380.htm> (Pridobljeno 26. 01. 2012.)
- Hofinger, H., Adam, D. 2007. Tunnels as energy sources – Practical applications in Austria. Osebna komunikacija. (04. 07. 2011.)
- ISO. 2012. <http://www.iso.org/iso/search.htm?qt=hot-wire&searchSubmit=Search&sort=rel&type=simple&published=true> (Pridobljeno 17. 04. 2012.)
- Kern, M. 2011. Erste Campus. Osebna komunikacija. 19. 07. 2011.

Krajnc, N. in avtorji. 2009. Lesna goriva: drva in lesni sekanci proizvodnja, standardi kakovosti in trgovanje. http://www.gozdis.si/fileadmin/user_upload/lesna_goriva-prirocnik.pdf (Pridobljeno 10. 06. 2011.)

Kralj, P., 1999. Geotermalni viri v Sloveniji: njihov potencial in izkoraba. V: Kralj, P. (ur.). Geotermalna energija: islandske in slovenske izkušnje, Ljubljana, november 1999. Ministrstvo za znanost in tehnologijo: 29-42.

Krauberger, N. 2008. Vpliv požara na obnašanje ojačanih betonskih linijskih konstrukcij. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba N. Krauberger): 133 f.

Kristl, Ž. 2010. Vpliv dnevne svetlobe na človeka. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: študijsko gradivo (prosojnice).

Kunič, R., Krainer, A. 2008. Energetska učinkovitost, varovanje okolja in celostno načrtovanje. Gradbeni vestnik, letnik 57, junij: 146–152.

Luzminascorner. 2012. <http://luzminascorner.blogspot.com/2011/08/reciclando-plasticos-hdpe.html> (Pridobljeno 25. 01. 2012.)

LPT. 2012. http://www.lpt.si/parkirisca/parkirisca_osebna_vozila/kongresni_trg (Pridobljeno 05. 03. 2012.)

OVE. 2008. <http://www.ove.si/index.php?P=12> (Pridobljeno 05. 08. 2011.)

Peršak, B. 2011. E-poštno pošiljanje: PR09_SZ_Glavne_proge_Strokovne_podlage_zmanjsanje_hrupa_dopolnitev_190310.pdf Sporočilo za: Vojnović, L. 03. 01. 2012. Osebna komunikacija.

Popiel, C. O., Wojtkwiak, J., Biernacka, B. 2001. Measurements of temperature distribution in ground. *Experimental Thermal and Fluid Science* 25: 301–309
Savage, L. 2007. Geothermal power, USA, Greenhaven Press, Thomson Gale: 128 str.

Quaschnig, V. 2010. Renewable energy and climate change. Chichester, John Wiley & Sons, Ltd.: 344 str.

Ravnič, K. 2012. Slike. Sporočilo za: Vojnović, L. 02. 03. 2012. Osebna komunikacija.

Stefansson, V., 1999. Svetovni geotermalni viri – njihov potencial in izkoriščanje. V: Kralj, P. (ur.). Geotermalna energija: islandske in slovenske izkušnje, Ljubljana, november 1999. Ministrstvo za znanost in tehnologijo: str. 3-28.

Sušnik, A., Žust, A. 2011. Temperature tal po RSLO. Osebna komunikacija. (08. 12. 2011.)

Sušnik, A., Žust, A. 2012. Temperature tal po RSLO. Sporočilo za: Vojnović, L. 19. 01. 2012. Osebna komunikacija.

SVSP. 2012. http://www.svps.gov.si/si/podnebni_ukrepi/podnebna_politika_v_sloveniji/evropska_unija/ (Pridobljeno 27. 01. 2012.)

Šimik, D., Trontelj, I., Zagajšek, D., Zemljčič, F., Kač, R. 2012. Ogrevanje kretnic. Osebna komunikacija. (10. 05. 2012.)

Termotehnika. 2011b. http://www.termotehnika.com/ogrevalna_toplotna_crpalka.php (Pridobljeno 27. 09. 2011.)

Trontelj, I., Šimik, D., Zagajšek, D., Zemljčič, F. 2011. Ogrevanje kretnic. Osebna komunikacija. (31. 12. 2011.)

(UL RS, 60/2006) Uredba o enotni metodologiji za pripravo in obravnavo investicijske dokumentacije na področju javnih finance Ur.l. RS, št. 60/2006, z dne 09. 06. 2006;
<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=200660&stevilka=2549> (Pridobljeno 18. 03. 2012.)

(UL RS, 54/2010) Uredba o spremembah in dopolnitvah Uredbe o enotni metodologiji za pripravo in obravnavo investicijske dokumentacije na področju javnih finance Ur.l. RS, št. 54/2010, z dne 09. 07. 2010;
<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=201054&stevilka=3041> (Pridobljeno 18. 03. 2012.)

Varčevanje-energije. 2012. <http://varcevanje-energije.si/toplotne-crpalke/ogrevanje-poslovne-stavbe-v-mariboru-s-toplotno-crpalko.html> (Pridobljeno 28. 03. 2012.)

Veit, P. 2011. Switches. Sporočilo za: Vojnović, L. 01. 08. 2011. Osebna komunikacija.

Zakon o graditvi objektov – uradno prečiščeno besedilo (ZGO-1-UPB1). UL RS št. 102-4398/2004:12358. <http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=2004102&stevilka=4398> (Pridobljeno 21.11. 2011.)

Zelena Slovenija. 2011.
http://www.zelenaslovenija.si/images/stories/pdf_dokumenti/Obnovljivi-viri-energije-v-Sloveniji.pdf
(Pridobljeno 10. 11. 2011.)

Wikipedia. 2012. http://sl.wikipedia.org/wiki/Obnovljivi_viri_energije (Pridobljeno 28. 03. 2012.)

PRIVZETESLIKE

Adam, D. 2007. Innovation in Sustainable Development Renewable Energy from Foundations. 18. 06. 2007. Royal Academy of Engineering, London. Mott MacDonald Customer Seminar. Osebna komunikacija. (04. 07. 2011.)

Adam, D. 2010. Use of geothermal energy through tunnel. 4th ACTUE workshop, 11-13. 10. 2010. Graz, Avstrija. Osebna komunikacija. (04. 07. 2011.)

Adam, D., Markiewicz, R. 2010. Numerische simulationsberechnungen zur erdwärme- und grundwassernutzung. Osebna komunikacija. (04. 07. 2011.)

Adam, D., Markiewicz, R., Unterberger, W., Hofinger, H., Grünstäudl, T. 2011. Utilization of Tunnels as Sources of Ground Heat and Cooling – Practical Applications in Austria. Osebna komunikacija. (04. 07. 2011.)

Biomasa. 2010. <http://www.biomasa.us> (Pridobljeno 18. 11. 2011.)

Brandl, H. 2006. Energy foundations and other thermo-active ground structures. *Geotechnique* 56, 2: 81–122.

Dnevnik. 2009. <http://www.dnevnik.si/foto/1042233906> (Pridobljeno 13. 03. 2012.)

Evrotrade. 2012. <http://www.evroatrade.si/slo/page.php?11> (Pridobljeno 11. 04. 2012.)

Furukawa. 2012. <http://www.furukawa.co.jp/english/seihin/construction.htm> (Pridobljeno 12. 04. 2012.)

Future proof energy. 2012. http://www.futureproofenergy.co.uk/solar_thermal_collectors.html
(Pridobljeno 10. 03. 2012.)

GERK. 2012. <http://rkg.gov.si/GERK/viewer.jsp> (Pridobljeno 10. 03. 2012.)

Googlemaps. 2012. <http://www.googlemaps.com> (Pridobljeno 10. 03. 2012.)

IMO-REAL. 2012. http://www.imo-real.si/si/projekti/stanovanski_objekti/52/opis_projekta
(Pridobljeno 10. 04. 2012.)

IZTR. 2012. http://iztr.si/podzemna_parkirna_hisa_na_kongresnem_trgu.html (Pridobljeno 10. 04. 2012.)

KP. 2012. http://www.naselje15maj.si/upload/files/toplotne_crpalke_in_geosonde.pdf
(Pridobljeno 10. 04. 2012.)

OEBB. 2011a.

http://www.hauptbahnhof-wien.at/de/Service/Bildergalerien/Gesamtprojekt_Hauptbahnhof_Wien/170_projektgebiet_orthogr.jpg
(Pridobljeno 08. 02. 2012.)

OEBB. 2011b.

http://www.oebb.at/imagemagick2/ROOT/hbf/de/Service/Bildergalerien/Gesamtprojekt_Hauptbahnhof_Wien/009_Immorent_Erste_Campus.jpg.thumb?app=dpi150 (Pridobljeno 08. 02. 2012.)

Messana. 2012a. <http://www.messana.si/technology/contents/homogenost-in-razmerja>
(Pridobljeno 10. 04. 2012.)

Messana. 2012b. <http://www.messana.si/technology/contents/osnove-dobrega-pocutja>
(Pridobljeno 10. 04. 2012.)

Špacapan, I., Vrščer, I. 2012. tržiška bistrica. Sporočilo za: Vojnović, L. 12. 03. 2012. Osebna komunikacija.

Termotehnika. 2011a. http://www.termotehnika.com/toplotna_crpalka_delovanje.php (Pridobljeno 27. 09. 2011.)

Termotehnika. 2011c. http://www.termotehnika.com/zemeljski_kolektor.php (Pridobljeno 27. 09. 2011.)

Wikimedia. 2005. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dc/Tectonic_plates.png
(Pridobljeno 10. 01. 2012.)

Wikimedia. 2008.

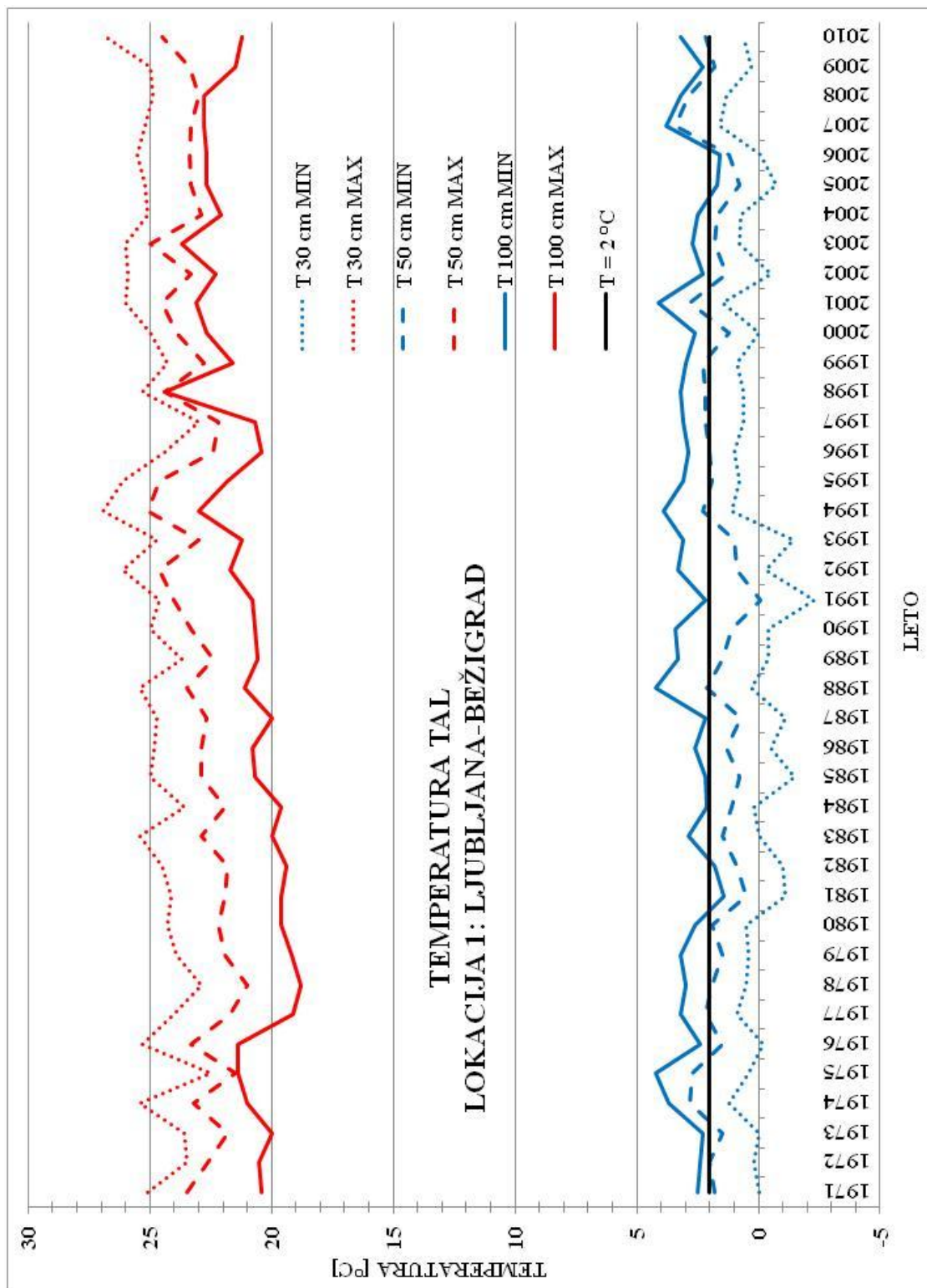
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/50/Breakdwn_of_the_incoming_solar_energy.svg
(Pridobljeno 05. 01. 2012.)

Wikimedia. 2011. <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ee/Earth-crust-cutaway-english.svg>
(Pridobljeno 10. 01. 2012.)

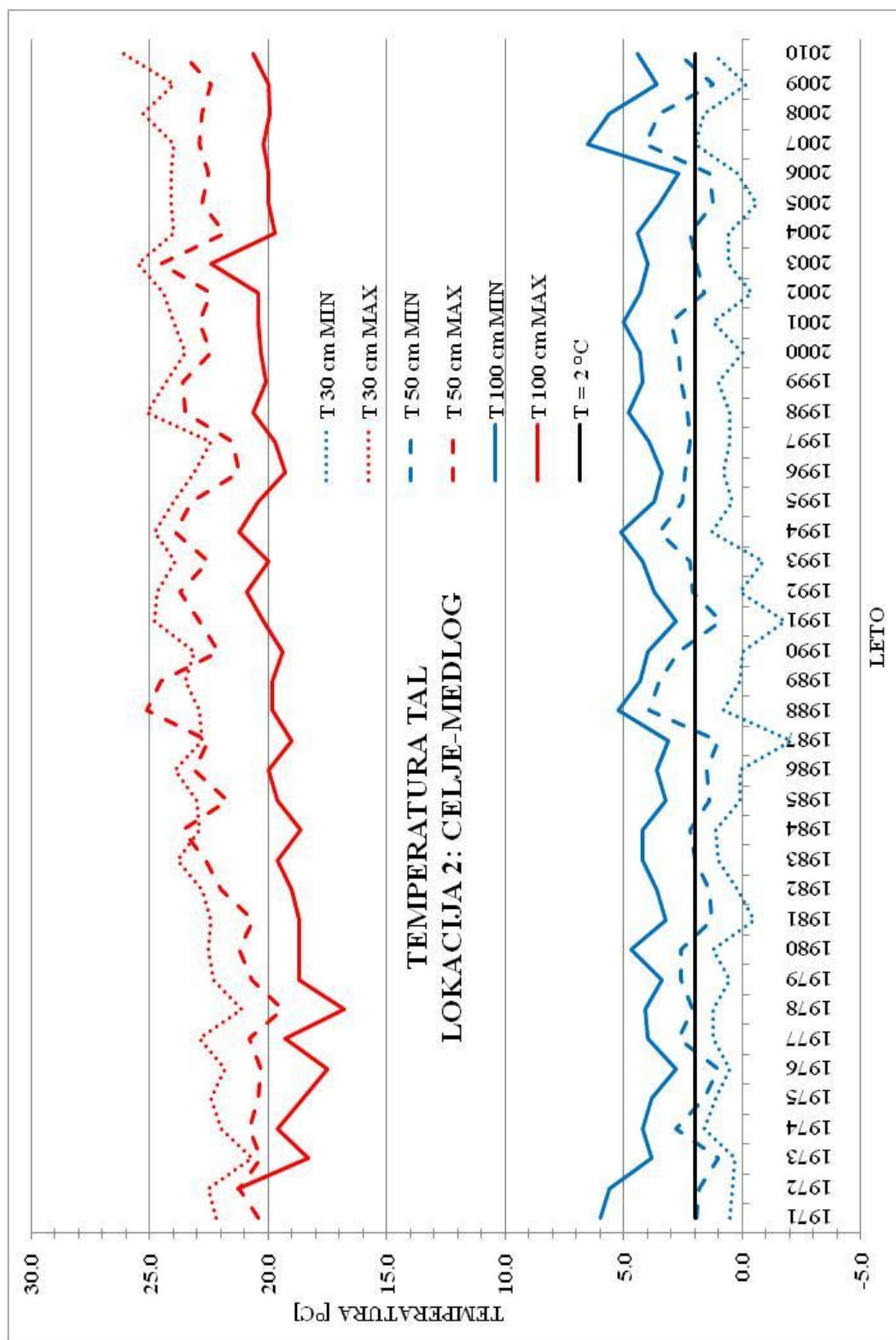
SEZNAM PRILOG

PRILOGA A:	GRAFIKONI IN TABELE 40 LETNIH MERITEV TEMPERATURE TAL	A1
PRILOGA B:	PREDHODNI IZRAČUNI ZA SISTEM 1 »HIŠA NA BARJU«	B1
PRILOGA C:	PREDHODNI IZRAČUNI ZA SISTEM 4 »OGREVANJE KRETNIC S POMOČJO ENERGETSKIH PILOTOV PROTIHRUPNIH OGRAJ«	C1
PRILOGA D:	KAZALCI HRUPA	D1
PRILOGA E:	FOTOGRAFIJE DEL NA GRADBIŠČU ERSTE CAMPUS, DUNAJ	E1
PRILOGA F:	IZRAČUN $q_{\text{OBTEŽBA}}$	F1

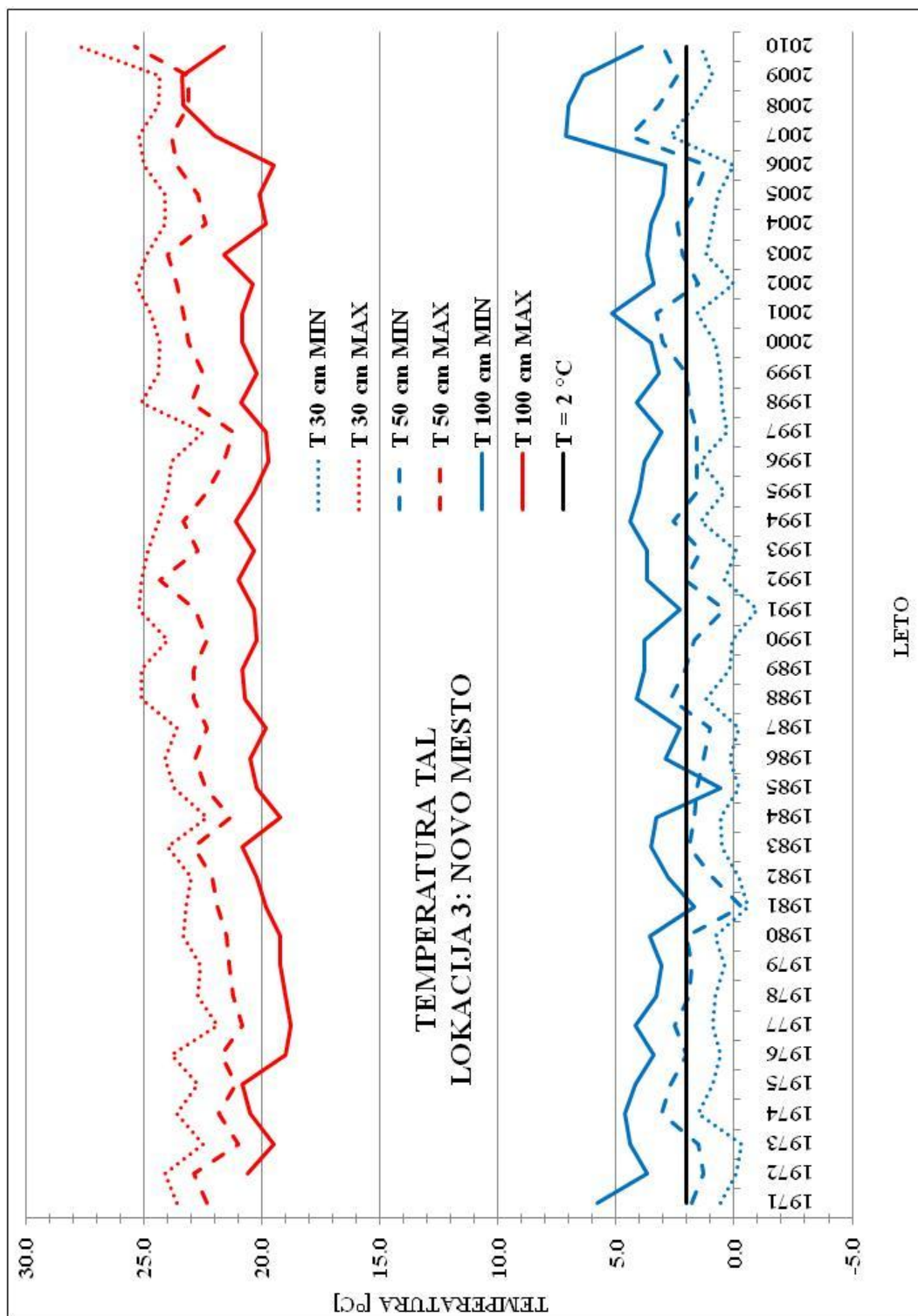
PRILOGA A: GRAFIKONI 40 LETNIH MERITEV TEMPERATURE TAL



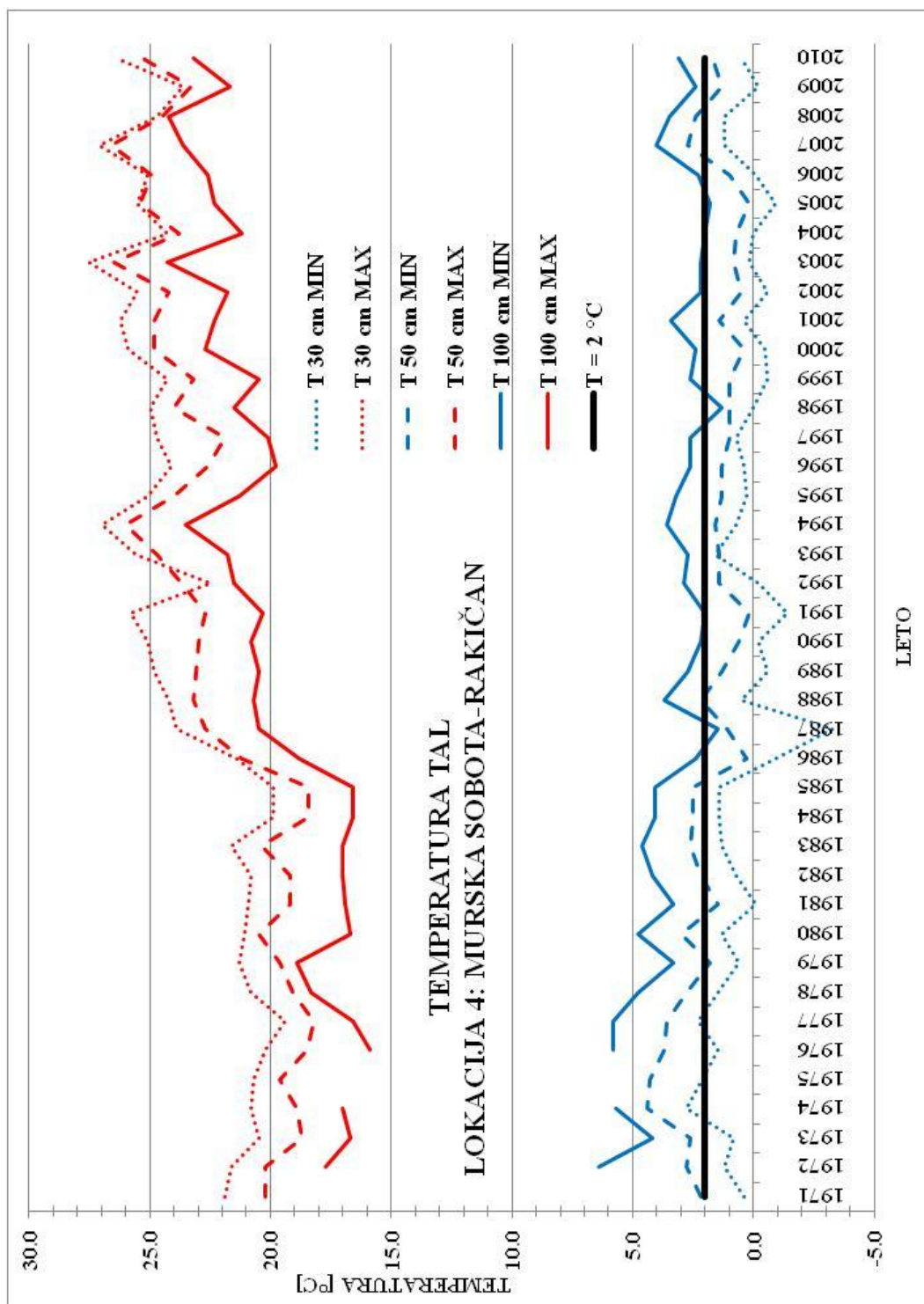
Graf A. 1: Temperatura tal, lokacija 1: Ljubljana-Bežigrad



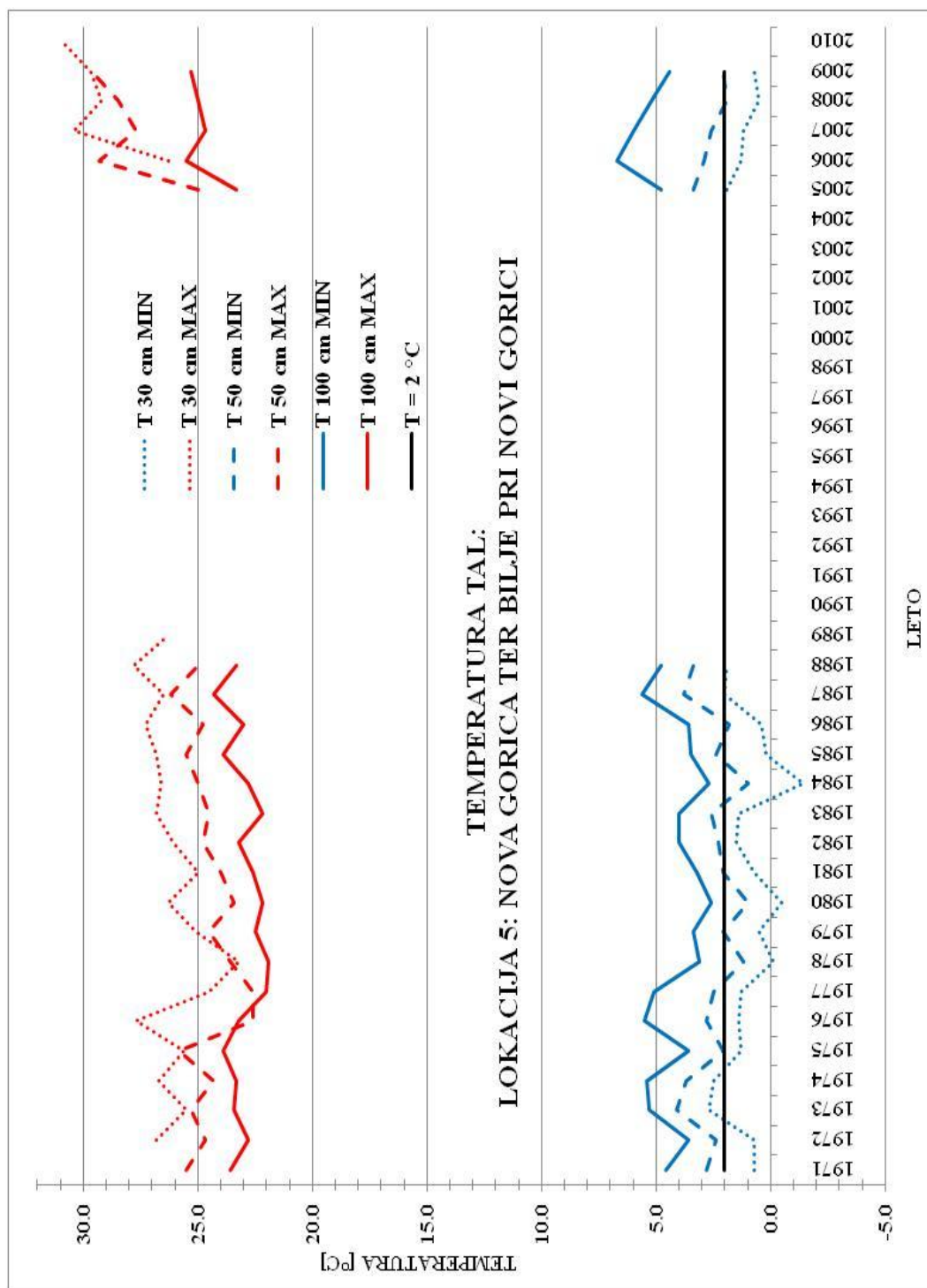
Graf A. 2: Temperatura tal, lokacija 2: Celje-Medlog



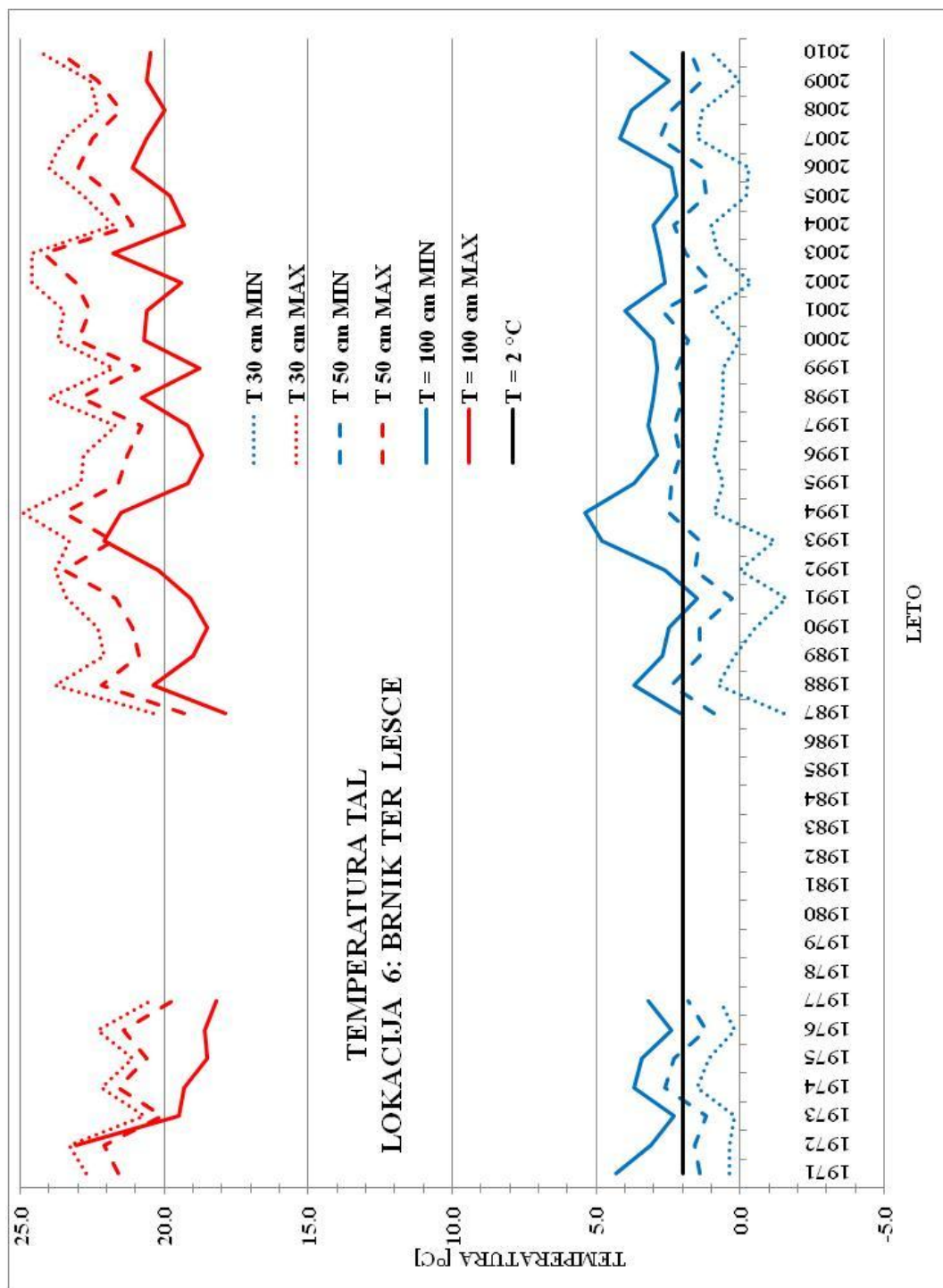
Graf A. 3: Temperatura tal, lokacija 3: Novo mesto



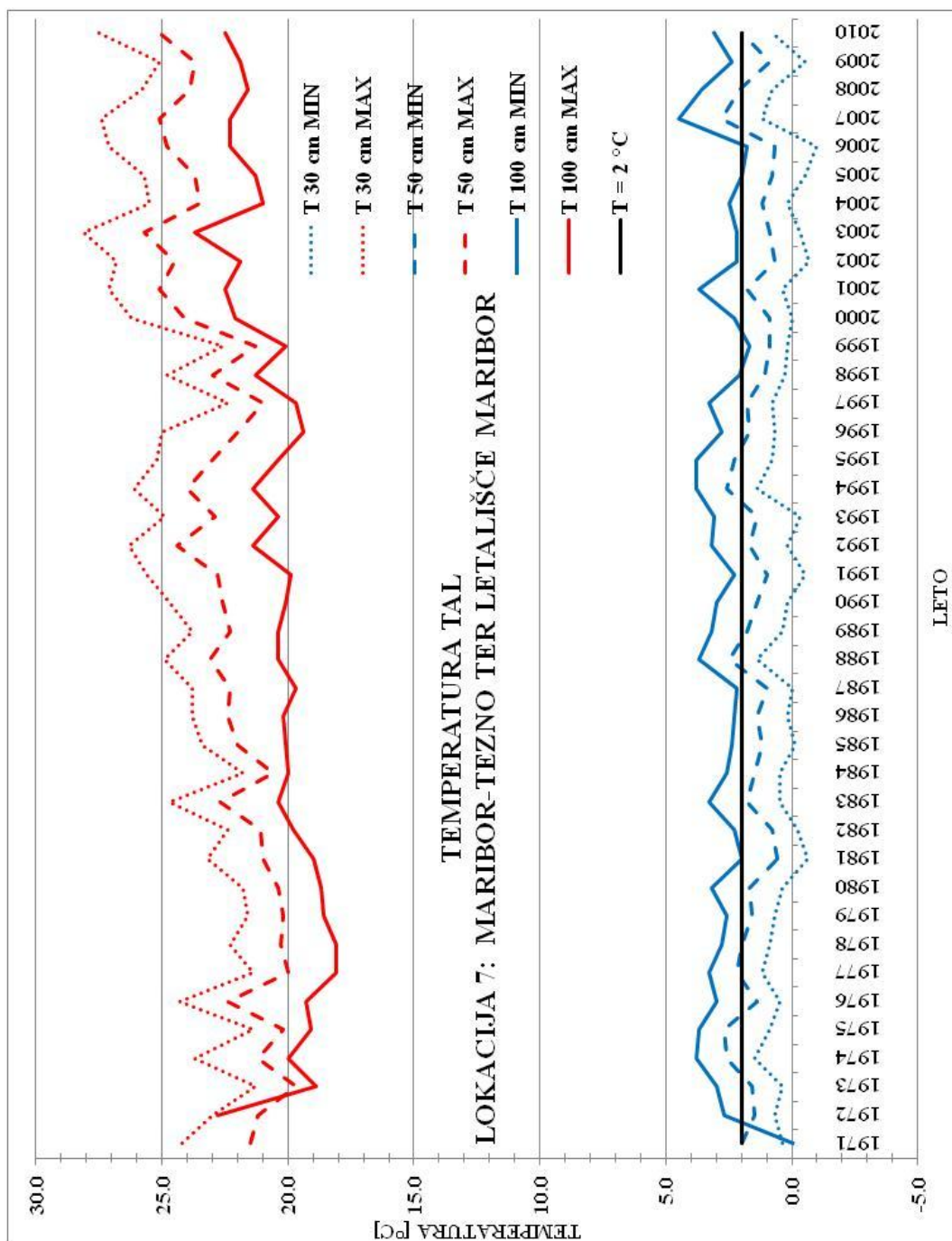
Graf A. 4: Temperatura tal, Lokacija 4: Murska Sobota - Rakičan



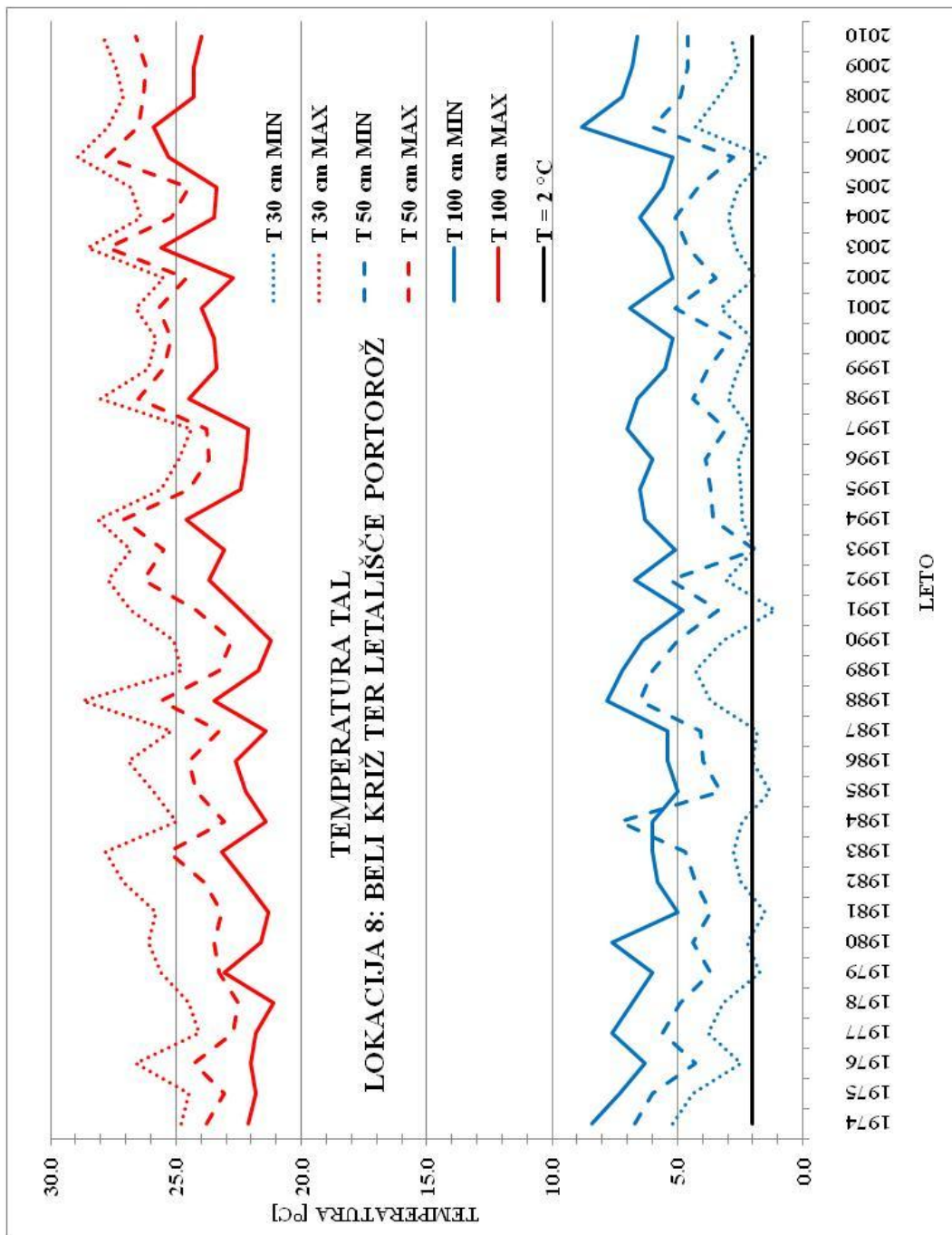
Graf A. 5: Temperatura tal, lokacija 5: Nova Gorica ter Bilje pri Novi Gorici



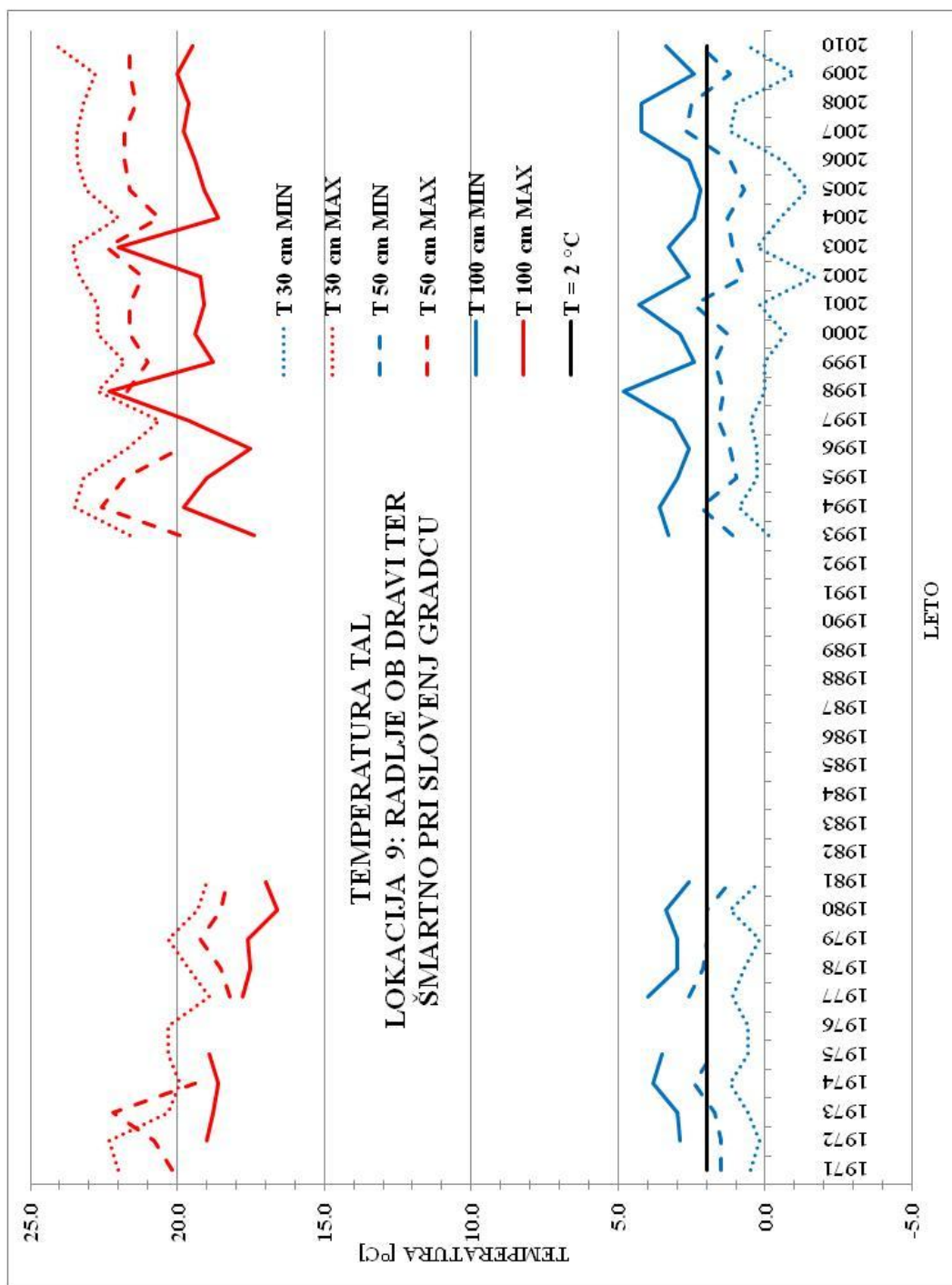
Graf A. 6: Temperatura tal, lokacija 6: Brnik ter Lesce



Graf A. 7: Temperatura tal, lokacija 7: Maribor-Tezno ter Letališče Maribor



Graf A. 8: Temperatura tal, lokacija 8: Beli križ ter Letališče Portorož



Graf A. 9: Temperatura tal, lokacija 9: Radlje ob Dravi ter Šmartno pri Slovenj Gradcu

PRILOGA B: PREDHODNI IZRAČUNI ZA SISTEM 1 »HIŠA NA BARJU«

n... število pilotov

L [m]... dolžina pilota

Armiranobetonski energetski piloti so premera 40 cm

Peta energetskega pilota ne prispeva h absorpcijski zmogljivosti.

TET absorbiramo 1500 ur letno.

Preglednica B. 1: Absorpcijska zmogljivost energetskih pilotov (toplotni tok [W])

n \ L	8	9	10	11	12	13	14	15
4	1.600	1.800	2.000	2.200	2.400	2.600	2.800	3.000
5	2.000	2.250	2.500	2.750	3.000	3.250	3.500	3.750
6	2.400	2.700	3.000	3.300	3.600	3.900	4.200	4.500
7	2.800	3.150	3.500	3.850	4.200	4.550	4.900	5.250
8	3.200	3.600	4.000	4.400	4.800	5.200	5.600	6.000
9	3.600	4.050	4.500	4.950	5.400	5.850	6.300	6.750
10	4.000	4.500	5.000	5.500	6.000	6.500	7.000	7.500

Preglednica B. 2: Cena energetskih pilotov [€]

n \ L	8	9	10	11	12	13	14	15
4	3.200 €	3.600 €	4.000 €	4.400 €	4.800 €	5.200 €	5.600 €	6.000 €
5	4.000 €	4.500 €	5.000 €	5.500 €	6.000 €	6.500 €	7.000 €	7.500 €
6	4.800 €	5.400 €	6.000 €	6.600 €	7.200 €	7.800 €	8.400 €	9.000 €
7	5.600 €	6.300 €	7.000 €	7.700 €	8.400 €	9.100 €	9.800 €	10.500 €
8	6.400 €	7.200 €	8.000 €	8.800 €	9.600 €	10.400 €	11.200 €	12.000 €
9	7.200 €	8.100 €	9.000 €	9.900 €	10.800 €	11.700 €	12.600 €	13.500 €
10	8.000 €	9.000 €	10.000 €	11.000 €	12.000 €	13.000 €	14.000 €	15.000 €

Preglednica B. 3: Dolžina absorpcijskih cevi v energetskih pilotih (2 U-zanki) [m]

n \ L	8	9	10	11	12	13	14	15
4	128	144	160	176	192	208	224	240
5	160	180	200	220	240	260	280	300
6	192	216	240	264	288	312	336	360
7	224	252	280	308	336	364	392	420
8	256	288	320	352	384	416	448	480
9	288	324	360	396	432	468	504	540
10	320	360	400	440	480	520	560	600

Preglednica B. 4: Cena absorpcijskih cevi [€]

n \ L	8	9	10	11	12	13	14	15
4	563 €	634 €	704 €	774 €	845 €	915 €	986 €	1.056 €
5	704 €	792 €	880 €	968 €	1.056 €	1.144 €	1.232 €	1.320 €
6	845 €	950 €	1.056 €	1.162 €	1.267 €	1.373 €	1.478 €	1.584 €
7	986 €	1.109 €	1.232 €	1.355 €	1.478 €	1.602 €	1.725 €	1.848 €
8	1.126 €	1.267 €	1.408 €	1.549 €	1.690 €	1.830 €	1.971 €	2.112 €
9	1.267 €	1.426 €	1.584 €	1.742 €	1.901 €	2.059 €	2.218 €	2.376 €
10	1.408 €	1.584 €	1.760 €	1.936 €	2.112 €	2.288 €	2.464 €	2.640 €

Preglednica B. 5: Cena skupaj (energetski piloti ter absorpcijske cevi) [€]

n \ L	8	9	10	11	12	13	14	15
4	3.763 €	4.234 €	4.704 €	5.174 €	5.645 €	6.115 €	6.586 €	7.056 €
5	4.704 €	5.292 €	5.880 €	6.468 €	7.056 €	7.644 €	8.232 €	8.820 €
6	5.645 €	6.350 €	7.056 €	7.762 €	8.467 €	9.173 €	9.878 €	10.584 €
7	6.586 €	7.409 €	8.232 €	9.055 €	9.878 €	10.702 €	11.525 €	12.348 €
8	7.526 €	8.467 €	9.408 €	10.349 €	11.290 €	12.230 €	13.171 €	14.112 €
9	8.467 €	9.526 €	10.584 €	11.642 €	12.701 €	13.759 €	14.818 €	15.876 €
10	9.408 €	10.584 €	11.760 €	12.936 €	14.112 €	15.288 €	16.464 €	17.640 €

Preglednica B. 6: Največja količina energije [kWh]

n \ L	8	9	10	11	12	13	14	15
4	2.400	2.700	3.000	3.300	3.600	3.900	4.200	4.500
5	3.000	3.375	3.750	4.125	4.500	4.875	5.250	5.625
6	3.600	4.050	4.500	4.950	5.400	5.850	6.300	6.750
7	4.200	4.725	5.250	5.775	6.300	6.825	7.350	7.875
8	4.800	5.400	6.000	6.600	7.200	7.800	8.400	9.000
9	5.400	6.075	6.750	7.425	8.100	8.775	9.450	10.125
10	6.000	6.750	7.500	8.250	9.000	9.750	10.500	11.250

PRILOGA C: PREDHODNI IZRAČUNI ZA SISTEM 4 »OGREVANJE KRETNIC S POMOČJO ENERGETSKIH PILOTOV PROTIHRUPNIH OGRAJ«

n... število pilotov

L [m]... dolžina pilota

26 pilotov pomeni 100 m dolgo protihrupno ograjo

252 pilotov pomeni 1000 m dolgo protihrupno ograjo

502 pilotov pomeni 2000 m dolgo protihrupno ograjo

Peta energetskega pilota ne prispeva h absorpcijski zmogljivosti.

Preglednica C. 1: Absorpcijska zmogljivost energetskih pilotov (toplotni tok [W])

n \ L	4	5	6	7	8	9	10	11
26	5.200	6.500	7.800	9.100	10.400	11.700	13.000	14.300
252	50.400	63.000	75.600	88.200	100.800	113.400	126.000	138.600
502	100.400	125.500	150.600	175.700	200.800	225.900	251.000	276.100

Preglednica C. 2: Absorpcijska zmogljivost energetskih pilotov (toplotni tok [kW])

n \ L	4	5	6	7	8	9	10	11
26	5,2	6,5	7,8	9,1	10,4	11,7	13,0	14,3
252	50,4	63,0	75,6	88,2	100,8	113,4	126,0	138,6
502	100,4	125,5	150,6	175,7	200,8	225,9	251,0	276,1

Preglednica C. 3: Cena energetskih pilotov [€]

n \ L	4	5	6	7	8	9	10	11
26	10.400	13.000	15.600	18.200	20.800	23.400	26.000	28.600
252	100.800	126.000	151.200	176.400	201.600	226.800	252.000	277.200
502	200.800	251.000	301.200	351.400	401.600	451.800	502.000	552.200

Preglednica C. 4: Dolžina absorpcijskih cevi v energetskih pilotih (2 U-zanki) [m]

n \ L	4	5	6	7	8	9	10	11
26	416	520	624	728	832	936	1.040	1.144
252	4.032	5.040	6.048	7.056	8.064	9.072	10.080	11.088
503	8.048	10.060	12.072	14.084	16.096	18.108	20.120	22.132

Preglednica C. 5: Cena absorpcijskih cevi [€]

n \ L	4	5	6	7	8	9	10	11
26	1.830 €	2.288 €	2.746 €	3.203 €	3.661 €	4.118 €	4.576 €	5.034 €
252	17.741 €	22.176 €	26.611 €	31.046 €	35.482 €	39.917 €	44.352 €	48.787 €
502	35.341 €	44.176 €	53.011 €	61.846 €	70.682 €	79.517 €	88.352 €	97.187 €

Preglednica C. 6: Cena skupaj (energetski piloti ter absorpcijske cevi) [€]

n \ L	4	5	6	7	8	9	10	11
26	12.230 €	15.288 €	18.346 €	21.403 €	24.461 €	27.518 €	30.576 €	33.634 €
252	118.541 €	148.176 €	177.811 €	207.446 €	237.082 €	266.717 €	296.352 €	325.987 €
502	236.141 €	295.176 €	354.211 €	413.246 €	472.282 €	531.317 €	590.352 €	649.387 €

Preglednica C. 7: Največja količina energije [kWh]

n \ L	4	5	6	7	8	9	10	11
26	7.800	9.750	11.700	13.650	15.600	17.550	19.500	21.450
252	75.600	94.500	113.400	132.300	151.200	170.100	189.000	207.900
502	150.600	188.250	225.900	263.550	301.200	338.850	376.500	414.150

Preglednica C. 8: Največja količina energije [MWh]

n \ L	4	5	6	7	8	9	10	11
n = 26	7,8	9,75	11,7	13,65	15,6	17,55	19,5	21,45
n = 252	75,6	94,5	113,4	132,3	151,2	170,1	189,0	207,9
n = 502	150,6	188,25	225,9	263,55	301,2	338,85	376,5	414,15

PRILOGA D: KAZALCI HRUPA

Preglednica D. 1: Mejne in kritične vrednosti kazalcev hrupa za I., II., III. in IV. območje varstva pred hrupom v posameznih obdobjih dneva, dB(A)

Območje, kazalci	L_{DAN} (6:00-18:00)	L_{VEČER} (18:00-22:00)	L_{NOČ} (22:00-6:00)	L_{DVN} (celodnevna)
<i>Mejne vrednosti kazalcev hrupa (območje)</i>				
I. območje varstva pred hrupom	-	-	40	50
II. območje varstva pred hrupom	-	-	45	55
III. območje varstva pred hrupom	-	-	50	60
IV. območje varstva pred hrupom	-	-	65	75
<i>Kritične vrednosti kazalcev hrupa</i>				
I. območje varstva pred hrupom	-	-	47	57
II. območje varstva pred hrupom	-	-	53	63
III. območje varstva pred hrupom	-	-	59	69
IV. območje varstva pred hrupom	-	-	80	80
<i>Mejne vrednosti kazalcev hrupa, ki ga povzroča uporaba cest, železnic in večjih letališč</i>				
I. območje varstva pred hrupom	55	50	45	55
II. območje varstva pred hrupom	60	55	50	60
III. območje varstva pred hrupom	65	60	55	65
IV. območje varstva pred hrupom	70	65	60	70
<i>Mejne vrednosti kazalcev hrupa, ki ga povzroča obrat ali naprava</i>				
I. območje varstva pred hrupom	47	52	37	47
II. območje varstva pred hrupom	52	47	42	52
III. območje varstva pred hrupom	58	53	48	58
IV. območje varstva pred hrupom	73	68	63	73

Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju določa značilnosti varovanih območij, mejne in kritične vrednosti kazalcev hrupa za celotno obremenitev s hrupom in mejne vrednosti za različne vire hrupa glede na območja varstva pred hrupom (Peršak, 2011).

2. člen Uredbe o spremembah in dopolnitvah Uredbe o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju navaja, da se prvi odstavek 4. člena Uredbe o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (UL RS, 105/2005, z dne 23. 11. 2005) spremeni tako, da se glasi:

»(1) Stopnje zmanjševanja onesnaževanja okolja s hrupom, ki so določene za posamezne površine glede na občutljivost za škodljive učinke hrupa, so naslednje stopnje varstva pred hrupom:

a) I. stopnja varstva pred hrupom za vse površine na mirnem območju na prostem, ki potrebujejo povečano varstvo pred hrupom, razen površin na naslednjih območjih (v nadaljnjem besedilu: I. območje varstva pred hrupom):

- na območju prometne infrastrukture,
- na območju gozdov na površinah za izvajanje gozdarskih dejavnosti,
- na območju za potrebe obrambe in izvajanje nalog policije ter
- na območju za potrebe varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami;

b) II. stopnja varstva pred hrupom za naslednje površine podrobnejše namenske rabe prostora, na katerem ni dopusten noben poseg v okolje, ki je moteč zaradi povzročanja hrupa (v nadaljnjem besedilu: II. območje varstva pred hrupom):

- na območju stanovanj: stanovanjske površine, stanovanjske površine za posebne namene in površine počitniških hiš,
- na območju centralnih dejavnosti: površine za zdravstvo v neposredni okolici bolnišnic, zdravilišč in okrevališč,
- na posebnem območju: površine za turizem;

c) III. stopnja varstva pred hrupom za naslednje površine podrobnejše namenske rabe prostora, na katerih je dopusten poseg v okolje, ki je manj moteč zaradi povzročanja hrupa (v nadaljnjem besedilu: III. območje varstva pred hrupom):

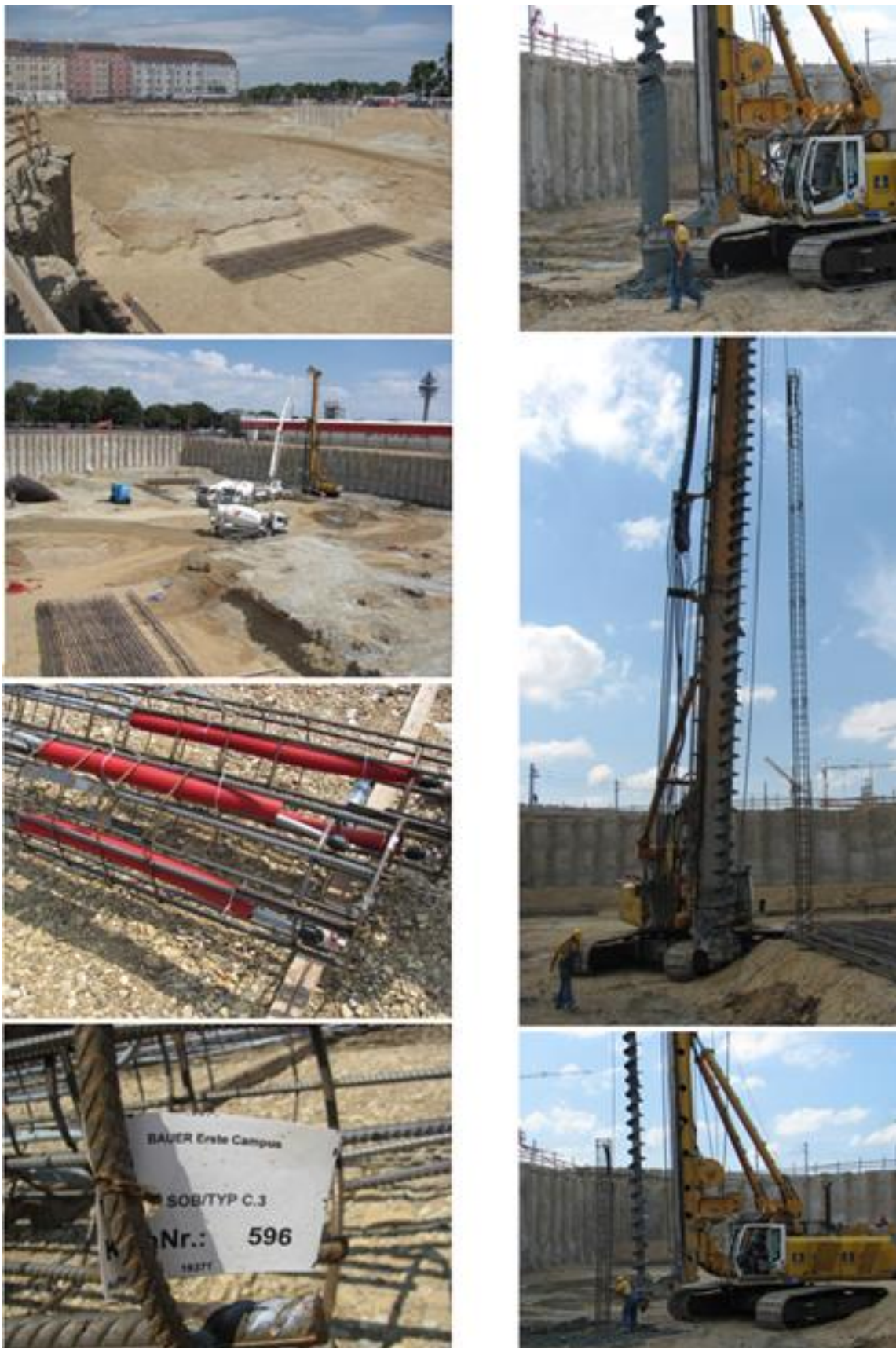
- na območju stanovanj: površine podeželskega naselja,
- na območju centralnih dejavnosti: osrednja območja centralnih dejavnosti in druga območja centralnih dejavnosti,
- na posebnem območju: športni centri,
- na območju zelenih površin: za vse površine,
- na površinah razpršene poselitve,

– na območju voda: vse površine, razen površin vodne infrastrukture in površin na mirnem območju na prostem;

d) IV. stopnja varstva pred hrupom na naslednjih površinah podrobnejše namenske rabe prostora, na katerih ni stavb z varovanimi prostori in je dopusten poseg v okolje, ki je lahko bolj moteč zaradi povzročanja hrupa (v nadaljnjem besedilu: IV. območje varstva pred hrupom):

- na območju proizvodnih dejavnosti: vse površine,
- na posebnem območju: površine drugih območij,
- na območju prometne infrastrukture: vse površine,
- na območju komunikacijske infrastrukture: vse površine,
- na območju energetske infrastrukture: vse površine,
- na območju okoljske infrastrukture: vse površine,
- na območju za potrebe obrambe in izvajanja nalog policije v naseljih,
- na območju voda: površine vodne infrastrukture,
- na območju mineralnih surovin: vse površine,
- na območju kmetijskih zemljišč: vse površine, razen na mirnem območju na prostem,
- na območju gozdnih zemljišč: vse površine, razen na mirnem območju na prostem,
- na območju za potrebe obrambe: vse površine, če hrup ne nastaja zaradi izvajanja nalog pri obrambi države oziroma pri opravljanju nalog varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami,
- na območju za potrebe izvajanja nalog policije: vse površine, če hrup ne nastaja zaradi izvajanja nalog policije in drugih varnostnih nalog oziroma pri zagotavljanju javnega reda in miru ter varnosti ob naravnih in drugih nesrečah, in
- na območju za potrebe varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami: vse površine, če hrup ne nastaja zaradi izvajanja nalog pri obrambi države oziroma pri opravljanju nalog varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami.«

PRILOGA E: FOTOGRAFIJE DEL NA GRADBIŠČU ERSTE CAMPUS, DUNAJ



Slika E. 1: Grad bišče Erste campus, Dunaj

PRILOGA G: IZRAČUN $q_{OBTEŽBA}$

$T_{ZG} \dots$ povprečna desetletna temperatura na globini 100 cm na lokaciji Lesce

$$A = \sum_i T_{ZGi}, \text{ kjer je } i \in [MAJ, OKT] \rightarrow A_{1i} = \frac{79,8 \frac{W}{m^2}}{(\sum_i T_{ZGi}) * (T_{ZGi} - 12^\circ C)} \rightarrow A_2 = \sum_i A_{1i}$$

$$\rightarrow q_{OBTEŽBAi} = \frac{A_{1i} * 79,8 \frac{W}{m^2}}{A_2}$$

$$\text{kontrola: } A_3 = 79,8 \frac{W}{m^2} = \sum_i q_{OBTEŽBAi}$$

$$B = \sum_j T_{ZGj}, \text{ kjer je } j \in [NOV, APR] \rightarrow B_{1j} = \frac{79,8 \frac{W}{m^2} * (12^\circ C - T_{ZGj})}{(\sum_j T_{ZGj})} \rightarrow B_2 = \sum_j B_{1j}$$

$$\rightarrow q_{OBTEŽBAj} = \frac{B_{1j} * 79,8 \frac{W}{m^2}}{B_2}$$

$$\text{kontrola: } B_3 = 79,8 \frac{W}{m^2} = \sum_j q_{OBTEŽBAj}$$

Vrednosti $q_{OBTEŽBA}$ za mesece i za potrebe izračuna predznačimo negativno, kar pomeni da odvezemamo toploto zemljini.

Preglednica 2: Izračun $q_{OBTEŽBA}$

Mesec (i, j)	T_{ZGi}, T_{ZGj} [$^\circ C$]	A, B	A_{1i}, B_{1j}	A_2, B_2	$q_{OBTEŽBAi}, q_{OBTEŽBAj}$ [$\frac{W}{m^2}$]	A_3, B_3
JAN	4,1		16,7		-18,5	
FEB	3,6		17,7		-19,7	
MAR	5,1		14,5		-16,1	
APR	8,3		7,8		-8,6	
MAJ	12,8	98,3	0,6	21,3	2,4	79,6
JUN	16,2		3,4		12,7	
JUL	18,3		5,1		19,0	
AVG	19,3		5,9		22,0	
SEP	17,5		4,5		16,7	
OKT	14,2		1,8		6,8	
NOV	10,2	37,9	3,8	71,7	-4,2	79,6
DEC	6,6		11,3		-12,6	