

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta technická

Katedra mechaniky a strojnictví

**Teploty a tepelné toky v horizontálním
zemním tepelném výměníku**

diplomová práce

Vedoucí práce: prof. Ing. Radomír Adamovský, DrSc.

Diplomant: Bc. Tomáš Kotmel

PRAHA 2012

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra mechaniky a strojnictví

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Kotmel Tomáš

Technologická zařízení staveb

Název práce

Teploty a tepelné toky v horizontálním zemním tepelném výměníku

Anglický název

Temperatures and heat flows in horizontal ground heat exchanger

Cíle práce

Stanovit provozní parametry zemního výměníku a tepelného čerpadla v průběhu otopného období.

Metodika

Naměření a vyhodnocení teplotních polí v zemním masivu a tepelných toků získaných výměníkem tepla na počátku, v průběhu a na konci otopného období. Stanovení topného faktoru, chladicího a topného výkonu tepelného čerpadla v průběhu otopného období.

Osnova práce

1. Úvod.
2. Analýza současného stavu řešení problematiky a dalšího vývoje.
3. Metody získání výsledků pro vyhodnocení.
4. Vyhodnocení výsledků z hlediska technického, energetického a ekonomického.
5. Diskuse a závěr.
6. Seznam použité literatury.

Rozsah textové části

50 - 60 str.

Klíčová slova

dislokace potrubí; zemní masiv; teplotní pole; tepelný tok; tepelný zisk; topný faktor; teplotní diference; c

Doporučené zdroje informací

ANONYM, 2005. Ground – source heat pump project analysis. Minister of Natural Resources Canada: 70.

ANONYM, 2004. Tepelná čerpadla IVT – Projekční podklady Verze 6.1. Praha. Tepelná čerpadla IVT, s.r.o.:33.

YAN S., YANG Y., WEI N., 2006. Impacts of soil and pipe thermal conductivity on performance of horizontal. Proceedings of the International Conference for Enhanced Building Operations, November 6-9, 2006. Shenzhen, China:6.

TRS M., 2010. FAST kolektor – úspora investic a jistota při realizaci plošného kolektoru pro tepelná čerpadla, 1-5. K dispozici: v (přístupné Březen 18, 2010).

BLÁHA M., 2010. Jak fungují píšně zemní kolektory pro tepelná čerpadla v praxi?, 1-3. K dispozici: www.tzb-info.cz (přístupné

Vedoucí práce

Adamovský Radomír, prof. Ing., DrSc.

Termín zadání

listopad 2010

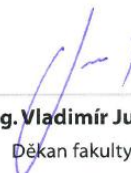
Termín odevzdání

duben 2012



prof. Ing. Radomír Adamovský, DrSc.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan fakulty

V Praze dne 9.2.2011

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Teploty a tepelné toky v horizontálním tepelném výměníku vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Radomíra Adamovského, DrSc. a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v přiložené bibliografii.

V Praze dne:

.....

Podpis

Poděkování

Tímto bych rád velmi poděkoval vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Radomíru Adamovskému, DrSc. za projevenou ochotu a poskytnuté cenné rady při tvorbě této diplomové práce, Ing. Michaele Šedřové za pomoc při technickém zpracování naměřených hodnot a doc. Ing. Pavlu Neubergerovi, Ph.D. za odbornou spolupráci. Dále Společnosti VESKOM spol. s.r.o., která mi umožnila provést dané měření na společností zrealizovaném pracovišti a také za poskytnutí informací a pomoci při vypracování diplomové práce.

Abstrakt

Cílem této diplomové práce na téma „Teploty a tepelné toky v horizontálním zemním tepelném výměníku“ je stanovit provozní parametry zemního výměníku a tepelného čerpadla v průběhu otopného období. V analýze současného stavu řešení problematiky se věnuji tepelným vlastnostem zemního masivu, dále pak funkci a provozu tepelného čerpadla, jeho zapojení a možnostem získávání tepla z okolního prostředí. Popisuji typy zemních výměníků a podrobněji se vyjadřuji k plošnému kolektoru, použitým materiálům a jeho uložení. V kapitole metody získání výsledků pro vyhodnocení popisuji lokalitu měření, postup získávání hodnot a vlastní měření. Dále vyhodnocuji výsledky z hlediska technického a energetického. Na závěr provádím diskuzi a stručně shrnuji dosažené výsledky.

Klíčová slova: dislokace potrubí, zemní masiv, tepelné čerpadlo, zemní výměník, tepelný zisk, topný faktor, teplotní diference

Summary

The aim of this thesis on "The temperatures and heat flows in the horizontal ground heat exchanger" is to define the operating parameters of the ground exchanger and heat pump during the heating season. In analyzing the current state of problem solving is devoted to thermal properties of the soil, then the functions and operation of heat pumps, the systems connected and the possibility of extracting heat from the environment. Describe the types of ground heat exchangers in more details and to express to collector across the board, materials and storage of buried pipes. In the chapter the method of obtaining results for the site describes the measurement procedure and the obtained values of the measurement itself. Furthermore, I evaluate the results in terms of technical and energetic. Finally doing the discussion and express a brief summary of the results obtained.

Key words: dislocation of pipes, mass/soil, heat pump, ground exchanger, heat gain, coefficient of performance, temperature difference

1. ÚVOD.....	1
2. ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY A DALŠÍHO VÝVOJE2	
2.1 SOLÁRNÍ ENERGIE	2
2.1.1 NÍZKOPOTENCIÁLNÍ TEPLA	3
2.1.2 TEPELNÉ VLASTNOSTI PŮDY	4
2.2 TEPELNÉ ČERPADLO	7
2.2.1 ZDROJE TEPLA PRO TČ	7
2.2.2 FUNKCE TEPELNÉHO ČERPADLA	12
2.2.3 PROVOZ TEPELNÉHO ČERPADLA.....	19
2.3 ZEMNÍ TEPELNÉ VÝMĚNÍKY	21
2.4 HORIZONTÁLNÍ ZEMNÍ VÝMĚNÍK	23
2.4.1 SLINK	24
2.4.2 ULOŽENÍ KOLEKTORU	24
2.4.3 MATERIÁL POTRUBÍ.....	29
2.4.4 PRACOVNÍ MÉDIA PRIMÁRNÍHO OKRUHU	31
2.4.5 PŘIPOJENÍ PRIMÁRNÍHO OKRUHU	32
2.4.6 METODY MODELOVÁNÍ TEPLOTNÍCH POLÍ A TEPELNÝCH TOKŮ	33
2.4.7 METODY NÁVRHU HORIZONTÁLNÍCH ZEMNÍCH VÝMĚNÍKŮ	35
3. CÍL PRÁCE.....	37
4. METODY ZÍSKÁNÍ VÝSLEDKŮ PRO VYHODNOCENÍ.....	37
4.1 LOKALITA A METODY MĚŘENÍ	37
4.2 VÝMĚNÍK TYPU SLINK.....	39
4.3 HORIZONTÁLNÍ VÝMĚNÍK.....	40
4.4 TEORETICKÝ ROZBOR.....	41
5. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ Z HLEDISKA TECHNICKÉHO A ENERGETICKÉHO .	44
5.1 VÝMĚNÍK TYPU SLINK.....	44
5.2 HORIZONTÁLNÍ VÝMĚNÍK	50
5.3 CHLADÍCÍ VÝKON VÝPARNÍKU	56
6. DISKUSE A ZÁVĚR.....	59
7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	60
SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....	62
SEZNAM POUŽITÝCH OZNAČENÍ	64

1. ÚVOD

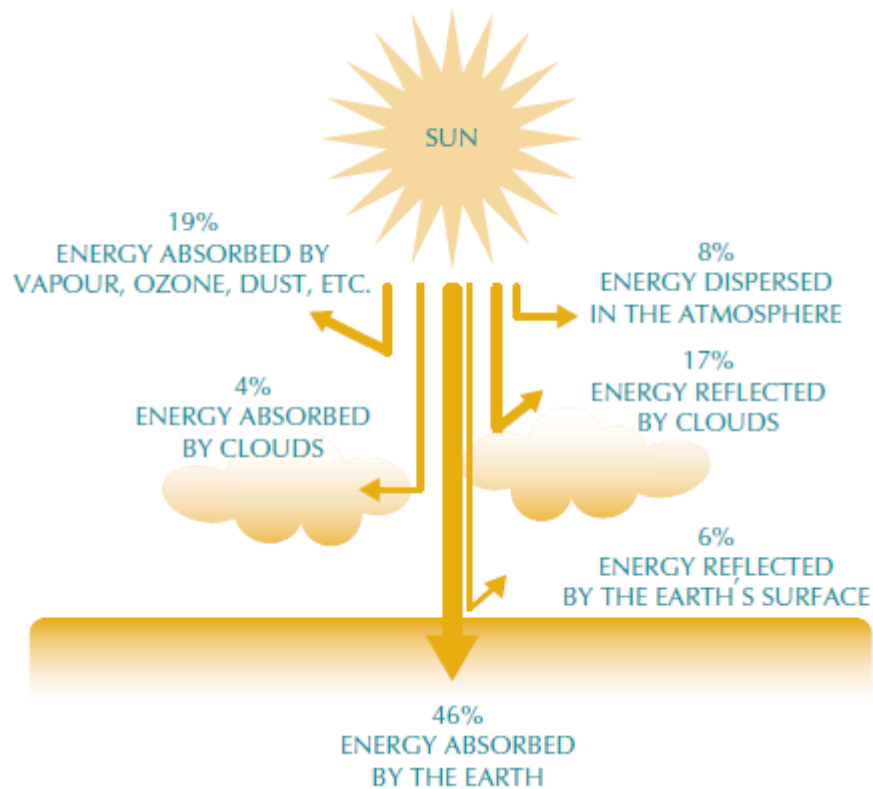
V současné době, kdy ceny energií stále rostou oproti klesajícím cenám technologie, je zajímavé přiklonit se k využití tepelných zdrojů s vysokou účinností a k obnovitelným zdrojům energie s možností získávání tepla z okolního prostředí. Při výpočtu návratnosti investice do tepelného čerpadla je třeba tento budoucí růst cen zohlednit. Tepelné čerpadlo je považováno za nejrozšířenější zdroj tepla, které při svém provozu nezatěžuje přírodu oproti nejvýznamnějším zdrojům energie, kterými jsou právě fosilní paliva. (černé či hnědé uhlí, ropa, zemní plyn či uran).

Požadavek na maximální využívání obnovitelných zdrojů je i jedním z klíčových bodů energetické politiky Evropské unie. Podle výsledků provedeného průzkumu statistickým úřadem, považuje zvyšování podílu obnovitelných zdrojů energie na bilanci spotřeby energie za jeden z prioritních úkolů svých vlád 90 % občanů členských zemí. Životnost čerpadel je uváděna různými výrobci okolo patnácti až dvaceti let a délka návratnosti investice v porovnání většinou s vytápěním zemním plynem nebo elektřinou v rozmezí 4 až 8 let.

2. ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY A DALŠÍHO VÝVOJE

2.1 SOLÁRNÍ ENERGIE

V případě zemních horizontálních kolektorů se nejedná o geotermální energii, která je mylnou představou o získávání nízkopotenciálního tepla z horizontálního zemního výměníku, ale jde o energii solární. Kolektor odebírá pouhé 2 % geotermální energie, větší podíl 98% ovšem odebírá z vrstvy zeminy tzv. nad sebou, z akumulované solární energie v zemině. Zemní masiv absorbuje přibližně 46% solární energie, 23% energie je pohlceno oblačností, ozónem apod., 23% odraženo povrchem země a oblačností a 8% je rozptýleno v atmosféře. Plošný kolektor je tak v podstatě rozměrný sluneční kolektor s nízkou účinností, doplněný o obrovský akumulátor tepla s ročním cyklem nabíjení a vybíjení. Na 1 m² povrchu země dopadne ročně asi 2 000 kWh tepelné energie ze slunce, přitom plošný kolektor za rok ze stejné plochy odebere cca 400 kWh, což je 20 % z toho, co mu slunce dodá. Při pochopení tohoto principu je tedy jasné, že dobře provedený plošný kolektor se nemůže ani v dlouhodobém horizontu energeticky vyčerpat, protože během léta vždy s bohatou rezervou 100% regeneruje. Zároveň je to i odpověď na "nucenou odstavku pro regeneraci" plošného kolektoru během léta. Žádná není potřebná, energie dodávaná v létě ze slunce je tak vysoká, že kolektor s rezervou zvládá zároveň svojí regeneraci i dodávku tepla pro ohřev teplé vody nebo třeba pro bazén. [1]



Obr. 1 Rozložení solární energie [1]

2.1.1 NÍZKOPOTENCIÁLNÍ TEPLLO

Využití nízkoteplotního potenciálu, který je dosažitelný v malých hloubkách pod povrchem z podzemní vody, povrchové vody anebo zemními horizontálními výměníky či geotermálními vrtly na "suché" zemské teplo, hlubokými jen desítky nebo stovky metrů, je možné prakticky v neomezeném množství, protože odebírají zemské teplo, které jinak uniká do atmosféry. Uplatnění tepelných čerpadel umožňuje využití ekologického zdroje energie. I když potřebuje dodávat cca 1/3 vyrobené tepelné energie, je přesto v současné době i ekonomické. [9]

Uplatnění solární energie pro vytápění rodinných domů či jiných objektů nevyžaduje velké prostory kotelny. Při současném dodržení tepelných norem objektů je významně snížena potřeba tepla a tudíž i velikost tepelného čerpadla. Tento systém vytápění objektů uspoří 2/3 energie a tudíž návratnost vložených finančních prostředků je velmi příhodná. Odebírání tepla ze země nebo z vody nijak neovlivní přírodní životní prostředí, ani nenaruší budovy či zahradu, protože

primární zdroj je celý pod zemí. V každém případě je nutné volit nejvhodnější řešení pro odběr zemského tepla. [9]

2.1.2 TEPELNÉ VLASTNOSTI PŮDY

Půda je v jistém smyslu komplikovaná vícefázová nehomogenní hmota. Obecně je složena z minerálních látek (pevné skupenství), organických látek (pevné skupenství) dále vody (kapalné skupenství) a vzduchu (plynné skupenství) viz tabulka 1.

Složení	Hustota [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	Měrná tepelná kapacita [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	Měrné teplo objemu [$\text{kJ}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$]	Tepelná vodivost [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
Minerální látka	2650	0,733	1942	2,93 – 8,37
Organická látka	1300	1,926	2504	0,251
Voda	1000	4,186	4187	0,595
Vzduch	1,2	1,005	1,2	0,026

Tab. 1 Hlavní parametry půdní kompozice (20°C) [21]

Termodynamické půdní vlastnosti jsou nezbytné a velmi důležité pro správné využití tepelného čerpadla typu zemní masiv - voda a horninový masiv - voda. Mezi tepelné vlastnosti řadíme zvláště součinitel tepelné vodivosti, měrnou tepelnou kapacitu, tepelný odpor a součinitel teplotní vodivosti. Půdní tepelná vodivost je nejdůležitější parametr a mnoho komplikovaných problémů s přestupy tepla mezi uloženými trubkami a půdou při zamrzaní a rozmrzaní, prouděním zemní vody či současným vedením tepla a hmoty může být zjednodušeno použitím ekvivalentní tepelné vodivosti půdy, získanou na základě měření a analýzy pomocí experimentu. Rozsáhlý výzkum ukazuje, že tepelná vodivost velmi závisí na vlhkosti, hustotě půdy. [21]

Součinitel tepelné vodivosti

Vyjadřuje schopnost dané látky vést teplo. Je definován jako množství tepla, které v ustáleném stavu musí projít jednotkovým průřezem tělesa, při

jednotkovém teplotním spádu za jednotku času. Součinitel tepelné vodivosti se udává v jednotkách $[W.m^{-1}.K^{-1}]$ a označuje se symbolem λ .

Vlhkost

Tepelná vodivost běžné půdy při teplotě 10 – 40 °C je 2,3 $W.m^{-1}.K^{-1}$ při obvyklé vlhkosti, při snížené vlhkosti 0,55 – 0,6 $W.m^{-1}.K^{-1}$ a 2,7 $W.m^{-1}.K^{-1}$ při vlhkosti vyšší. Při zvyšování vlhkosti dochází ke zvyšování tepelné vodivosti avšak při dosažení určité konkrétní hodnoty vlhkosti je tepelná vodivost relativně neměnná nebo klesá.

Hustota

Čím je větší hustota zeminy, tím je větší tepelná vodivost při rozdílné vlhkosti a hustotě.

$$\lambda_S - 0,144166 \times [0,9 \times \log(n \times 100) - 0,2] \times 10^{0,000024\rho_S} [W.m^{-1}.K^{-1}] \quad (1)$$

Kde:

n - vlhkost $[kg.kg^{-1}]$

ρ_S - hustota půdy $[kg.m^{-3}]$

Teplota

Za běžných podmínek zvýšení teploty má za následek zvýšení tepelné vodivosti. Při zvýšení teploty o 20 K se tepelná vodivost zvyšuje okolo 0,1 – 0,2 $W.m^{-1}.K^{-1}$. Půda však vlivem mrazu a tání mění své vlastnosti a hodnoty jsou absolutně rozdílné. Z experimentu můžeme demonstrovat naměřenou tepelnou vodivost podřadného jílovitého materiálu při fázi tání kolem 1,616 $W.m^{-1}.K^{-1}$ a při zmrzlé fázi až 2,454 $W.m^{-1}.K^{-1}$. Výrazné změny součinitele tepelné vodivosti půdního masivu jsou dány výraznou změnou součinitele tepelné vodivosti obsažené vody při změně skupenství. Součinitel tepelné vodivosti vody v kapalném stavu se pohybuje 0,58 $W.m^{-1}.K^{-1}$ a ledu při teplotě 0°C do 2,25 $W.m^{-1}.K^{-1}$. [21]

Měrná tepelná kapacita

Označuje se písmenem c a je definována jako tepelná kapacita hmotné jednotky (podíl tepelné kapacity objektu a jeho hmotnosti), přičemž měrná tepelná kapacita c značí množství tepla potřebné k ohřátí 1kg látky o 1 °C. Jednotkou měrné tepelné kapacity je $[J.kg^{-1}.K^{-1}]$

Tepelná difuzivita

Neboli teplotní vodivost a vyjadřuje schopnost látky vyrovnávat rozdílné teploty při neustáleném šíření tepla vedením v homogenním prostředí, je rovna podílu tepelné vodivosti a součinu její objemové hmotnosti a měrné tepelné kapacity při stálém tlaku. Jednotkou tepelné difuzivity je $[m^2.s^{-1}]$

Půdní zásoba tepla v malých hloubkách záleží na typu půdy, které se v dané lokalitě vyskytuje a kolik obsahuje vody. V následující tabulce jednotlivé typy půdy uvádím. Získané hodnoty odpovídají 2000 provozních hodin tepelného čerpadla za rok. [18]

Kvalita půdy	Specifický výkon
Suchá písčité půda	10 – 15 $W.m^{-2}$
Vlhká písčité půda	15 – 20 $W.m^{-2}$
Suchá jílovité půda	20 – 25 $W.m^{-2}$
Vlhká jílovité půda	25 – 30 $W.m^{-2}$
Půda bohatá na spodní vodu	30 – 35 $W.m^{-2}$

Tab. 2 Půdní zásoba tepla [6]

Za velmi důležité je považováno vhodné zvolení materiálu trubek ukládaných do zemního lože. V 50. letech 20. století bylo hojně používáno kovových trubek zejména ocelové pozinkové trubky či měděné. Teprve později v 70. letech jsou nahrazeny plastovými trubkami. Ačkoli tepelná vodivost tohoto materiálu je horší než u kovových trubek, jeho ostatní výhody týkající se uložení v půdě a antikorozi ochrana jsou velmi dobré a jsou dnes velmi používané.

Tabulka 2 znázorňuje několik dostupných a používaných materiálů trubek a jejich tepelné vlastnosti. [21]

Materiál	Typ	Tepelná vodivost [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
Polyvinyl chlorid	PVC	0,14 – 0,19
Polyethylen s nižší hustotou	PE	0,35
Polyethylen s vyšší hustotou	PE	0,43 – 0,52
Polypropylen	PP-R	0,24
Polybutylen	PB	0,23
Hliník - plast	PAP	0,45

Tab. 3 Typy trubek a jejich tepelné vlastnosti [21]

2.2 TEPELNÉ ČERPADLO

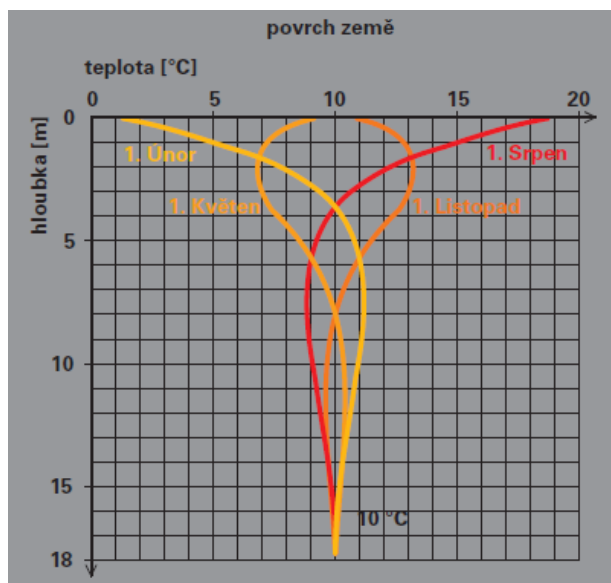
Moderní tepelná čerpadla mají vyzrálou techniku. Dodávají požadované teplo po celou dobu své životnosti spolehlivě a efektivně. Tepelná čerpadla jsou k dispozici pro takřka všechny případy použití, jak pro novostavby, ale i výměnu otopné soustavy, tak pro rodinné domy i budovy s vyšší potřebou tepla. Do této skupiny můžeme zařadit vícegenerační domy, hotely, administrativní budovy nebo obchodní stavby. Navíc mají některá tepelná čerpadla dodatečné vlastnosti měnící se v užitek. Při otočení způsobu jejich provozu, mohou budovu i chladit. Potom odebírají za horkých letních dnů teplo z místností a odvádějí ho např. do země. [20]

2.2.1 ZDROJE TEPLA PRO TČ

Jaké zdroje tepla – země, spodní voda či povrchová nebo venkovní vzduch – se využívají, závisí na místních podmínkách a potřebě tepla v dané budově.

Země

Země je dobrým akumulátorem tepla, ve kterém panují po celý rok poměrně vyrovnané teploty už několik metrů pod povrchem, a to okolo 7 až 13 °C viz obr. 2.



Obr. 2 Roční průběh tepla v půdě [20]

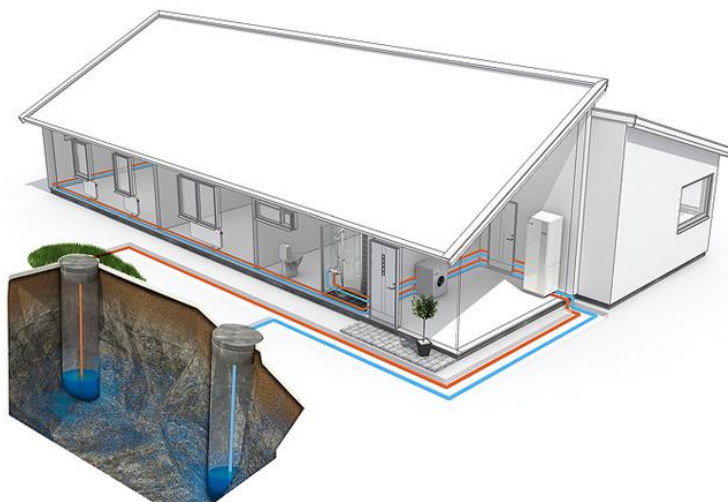
Přes horizontálně položené zemní kolektory nebo přes geotermální sondy vedené vertikálně do země se přijímá teplo akumulované v zemi a dopravuje k tepelnému čerpadlu země/voda. Tyto dvě možnosti získávání tepla jsou podrobněji popsány v kapitole tepelné zemní výměníky.

Voda

Voda je rovněž dobrým zásobníkem pro teplo z přírody. U tohoto zdroje rozlišujeme více možností získávání tepla. Variantami jsou podzemní voda, voda povrchová a voda odpadní.

Spodní vody můžeme čerpat pomocí dvou studní. První studnu většinou tvoří studna hlubší tzv. jímací, odkud odebíráme teplo, které je dále přivedeno na výparník tepelného čerpadla a voda ochlazená je zpět vedena do studny

vsakovací. I za chladných zimních dnů udržuje spodní voda konstantní teplotu okolo 7 až 12 °C. [15]



Obr. 3 Studny pro jímání tepla [13]

I povrchová voda z jezer a řek se dá použít jako zdroj tepla. Dokonce za tuhé zimy, když je povrch vodních toků zamrzlý, má voda pod ledem ještě teplotu okolo 4 °C. Zejména větší jezera jsou tak dobrým akumulátorem tepla. V případě povrchových vod jsou dva způsoby, jak jímát teplo. Jednak je možné povrchovou vodu přivádět přímo do výparníku tepelného čerpadla, kde dochází k výměně tepla. Výhodou tohoto způsobu jsou nízké pořizovací náklady, ale při větší vzdálenosti objektu od potenciálního zdroje se může stavba potrubí neúnosně prodražit. Je však potřeba sledovat složení povrchových vod a dostatečně je filtrovat, abychom minimalizovali zanášení či korozi výměníku. Další nevýhodou je, že odběr povrchových vod musí splňovat přísná kritéria a ne vždy je možné je jednoduše splnit. Tato alternativa vyžaduje souhlas správce toku a podléhá příslušnému zpoplatnění za odběr vody. Ze všeho výše uvedeného vyplývá, že jde spíše o teoretickou možnost a v praxi na využití povrchové vody narazíme výjimečně. [12]

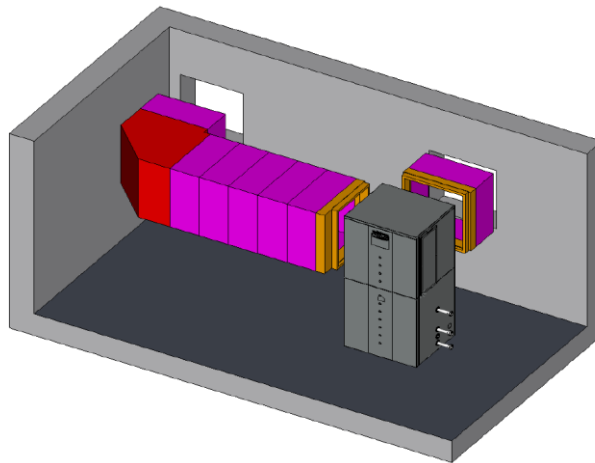
Spodní a povrchová voda se hodí jako zdroj tepla jak pro rodinné domy, tak pro velké budovy. V České republice se dbá na ochranu vodstev, a proto se potenciál, který tyto zdroje tepla poskytují, využívá jen částečně. Kromě tepla

přírodního, obnovitelného představuje v mnoha případech zajímavý zdroj teplo odpadní. Odpadní voda a jiné odpadní teplo můžeme získat např. z akvaparků, bazénů nebo průmyslových objektů kde dochází k vynaložení velkého množství primární energie, která se využívá jen zřídka. Pouze při správném nadimenzování tepelného čerpadla se dá toto odpadní teplo znovu zužitkovat, například na zásobování kancelářských a obchodních budov teplem nebo na výrobně-technické procesy. Druh odpadního tepla (teplý vzduch, odpadní plyny, chladicí voda atd.) potom určuje provedení tepelného čerpadla (např. tepelné čerpadlo voda/voda). Zařízení se kvůli velmi rozdílným podmínkám navrhuje individuálně. [20]

Vzduch

V České Republice nejčastěji instalovaný systém díky svým nízkým instalačním nákladům. Při svém provozu jsou ale často hlučná, musí tedy splňovat hygienické požadavky na hluk. Velmi častým nízkopotenciálním zdrojem jímání tepla je venkovní vzduch. V poslední době se využívá intenzivněji, neboť tepelná čerpadla dosahují dobrých parametrů zejména v klimaticky mírnějším pásmu s menším počtem mrazových dnů. [12]

Teplota venkovního vzduchu sice velmi kolísá dle ročního období a proměnlivého počasí, ale moderní tepelná čerpadla vzduch/voda jsou i při teplotě $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ schopna provozu. Venkovní vzduch je navíc zdrojem tepla, který lze využít nejsnadněji a nejlevněji, stačí vyústění pro přívod vzduchu (u vnitřního provedení), přes které nasává tepelné čerpadlo venkovní vzduch, a vyústění pro odvod vzduchu, kterým se zase dostává vychlazený vzduch ven. U tepelných čerpadel, která lze postavit na volném prostranství, už nejsou tyto kanály důležité. V novostavbách a sanovaných stávajících budovách, jejichž tepelná izolace odpovídá standardu nízkoenergetického domu a jejichž topná zařízení potřebují pouze nízké teploty média otopného systému, mohou tepelná čerpadla vzduch/voda v monovalentním provozu pokrýt celou spotřebu tepla. [20]



Obr. 4 Přívod a odvod vzduchu [19]

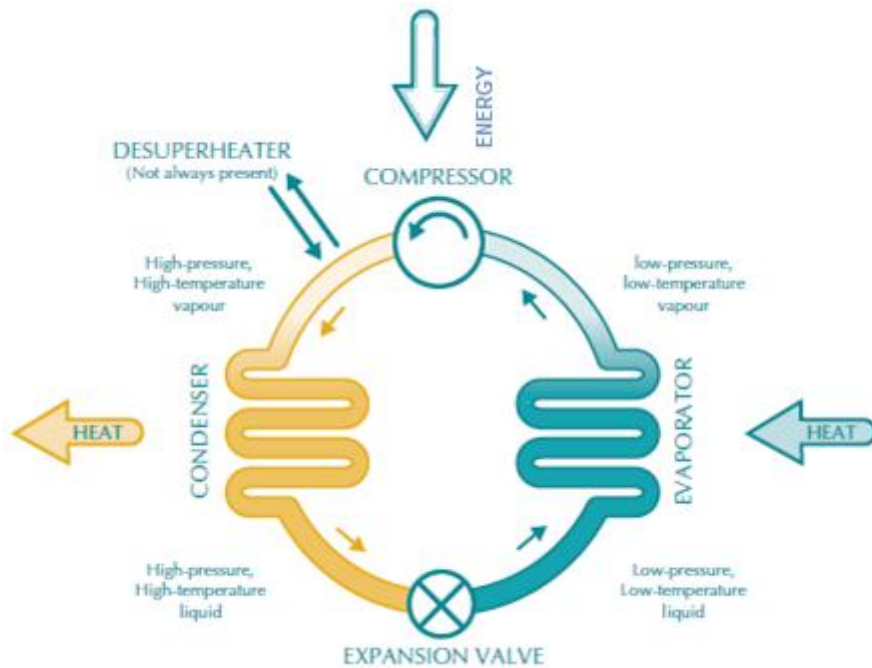
I v budovách bez zmíněné energetické sanace se tato tepelná čerpadla stále více používají pro modernizaci topení. Potom se ale kombinují se stávajícím zdrojem tepla např. kotlem, který se dále provozuje jako zdroj pro pokrytí špičkového zatížení. V takových bivalentních zařízeních pokrývá tepelné čerpadlo až 90 % roční spotřeby tepla. Pouze za chladných dnů je do provozu uveden kotel. [19]

Kromě vnitřního provedení se můžeme setkat i s kompaktním provedením venkovním, kde tepelné čerpadlo je umístěno venku a odpadají tím přírodní a odvodní vyústění v domě pro přívod a odvod vzduchu. Tím nezabírá žádný vnitřní prostor a nazatěžuje ho hlukem. Je však nutné zachovat volný prostor kolem tepelného čerpadlo pro sání a odvod potřebného množství vzduchu. Další možností je split řešení, kde se tepelné čerpadlo skládá ze dvou hlavních částí. Venkovní jednotky tvořenou jedním nebo dvěma ventilátory spolu s výparníkem a vnitřní jednotkou se srdcem tepelného čerpadla. Venkovní jednotka by měla být umístěna vždy na místě dostupným pro bezpečný servis a instalaci. Při instalaci kompaktního venkovního provedení či vnitřního (odvod vzduchu) by tepelné čerpadlo nemělo být umístěno v blízkosti veřejné komunikace (chodníky, vstupní schody k objektu, apod.) z důvodu odvodu ochlazeného vzduchu z tepelného čerpadla. Dochází k namrzání plochy v bezprostřední blízkosti odvodu vzduchu a k nebezpečí úrazu. [19]

2.2.2 FUNKCE TEPELNÉHO ČERPADLA

Tepelné čerpadlo neporušuje žádný fyzikální zákon, jak se někdy s nadsázkou tvrdí. Fyzikální zákony totiž porušovat nelze, i kdybychom chtěli. Zákony termodynamiky i naše zkušenost říkají, že teplo z chladného tělesa nikdy samovolně nepřejde na těleso teplejší. Samovolně znamená, že pokud nedodáme nějakou vnější energii (v případě tepelného čerpadla je to energie pro pohon kompresoru), pak můžeme i teplo s relativně chladného tělesa převést na vyšší teplotní hladinu, kterou už využijeme např. v radiátorech ústředního topení či v bivalentním ohřevu teplé užitkové vody. Je to tedy podobné jako s vodou: samovolně teče voda vždy jen shora dolů, stejně jako teplo. Dodáme-li jí ale energii vodním čerpadlem, můžeme vodu přemístit i do „kopce“. U paralely s vodním čerpadlem vznikl i název tepelné čerpadlo, někdy těžkopádně překládaný jako tepelná pumpa (z německého Warmepumpe nebo anglického Heat Pump). [12]

Tepelné čerpadlo se skládá ze čtyř základních prvků - výparníku (pro získávání nízkopotenciálního tepla z okolí), kondenzátoru (předává teplo s vyšší teplotou do vytápěcího systému), kompresoru (který zajišťuje oběh chladiva) a redukčního ventilu. Princip kompresorového čerpadla znázorňuje obrázek 5. Začíná na výparníku, kde se chladivo vypaří za nízké teploty, neboť je zde nižší tlak. Tím, že se změní své skupenství z kapaliny na páru, spotřebuje výparné teplo. Toto teplo je právě tím, které odebere chlazené látce (např. vzduchu v okolí domu). Poté je chladivo ve formě par za nízkého tlaku a teploty stlačeno kompresorem na vyšší tlak a tím i teplotu. Kompresor stlačením dává chladivu energii, nikoliv formou tepla, ale formou práce. energii pro tuto práci dává nejčastěji elektrický motor. Spotřeba kompresoru je tedy energií, kterou musíme zaplatit. Poté se chladivo ve formě přehřáté páry v kondenzátoru ochladí tak, že zkondenzuje. Tím, že páry zkondenzují, vznikne teplo, které odvádí ohřívaná látka teplovodního okruhu otopného systému. Chladivo o vysokém tlaku a teplotě putuje do expanzního ventilu, kde se redukuje tlak a tím teplota na výchozí hodnotu a cyklus se opakuje. [1]



Obr. 5 Funkce tepelného čerpadla [1]

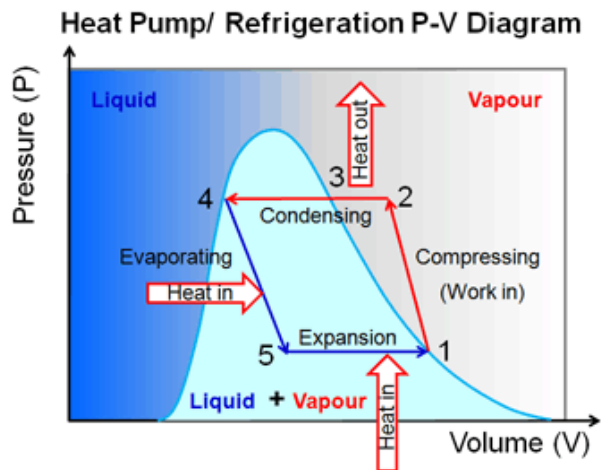
Tepelný cyklus můžeme zobrazit několika diagramy při závislosti na jiných proměnných. Jednotlivé změny fází můžeme vidět v diagramech (obr. 6, obr. 7, obr. 8) sestavených z tlaku v závislosti na objemu, teploty v závislosti na entropii a tlaku s entalpií.

Změna 5 - 1 znázorňuje vypařování chladiva za nízkého tlaku a teploty, získává výparné teplo na výparníku z okolního prostředí

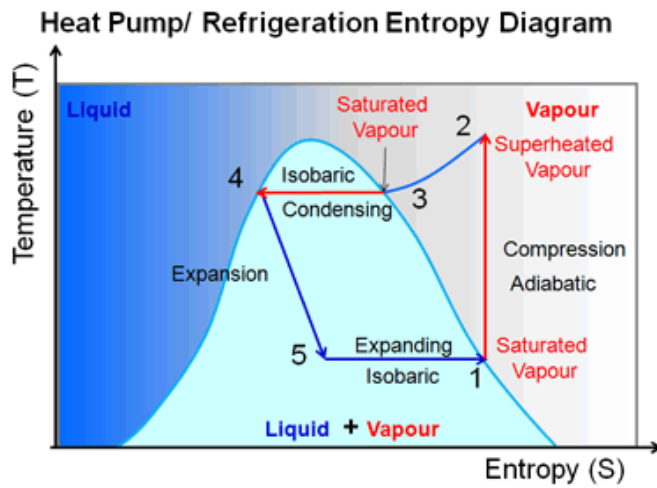
Změna 1 - 2 Komprese par chladiva v kompresoru (dosažení vysoké teploty a tlaku)

Změna 2 – 3 - 4 Kondenzace přehřáté páry na páru sytou a dále na sytou kapalinu.

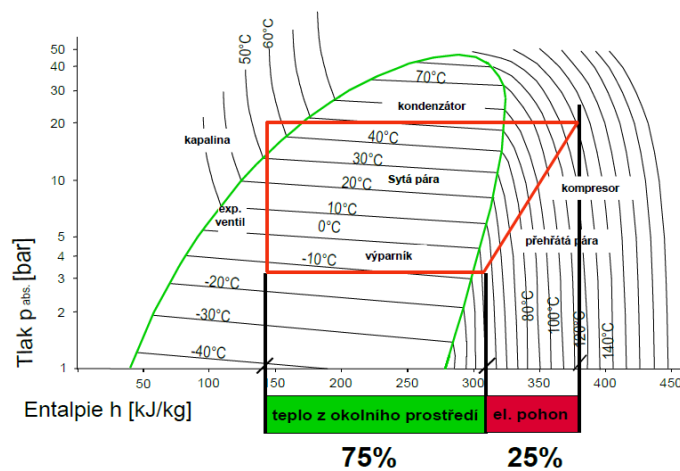
Změna 4 - 5 Expanze syté kapaliny na mokrou páru. Dochází ke snížení tlaku a teploty pro následné vypaření. [4]



Obr. 6 p – v Diagram [4]



Obr. 7 t - s Diagram [4]



Obr. 8 p – h Diagram [19]

2.2.2.1 TOPNÝ FAKTOR

U tepelného čerpadla se efektivita (účinnost) vyjadřuje pomocí topného faktoru ε_t . V praxi se můžeme setkat s označením COP z anglického Coefficient of Performance nebo výkonovým číslem. Ten udává množství získaného tepla ke spotřebě vstupní energie (příkonu pro pohon kompresoru). Čím je hodnota topného faktoru vyšší, tím je provoz tepelného čerpadla efektivnější. Je-li například hodnota topného faktoru tepelného čerpadla 3,5, znamená to, že na vyprodukování 3,5 kWh tepelné energie spotřebujeme 1 kWh energie elektrické. Topný faktor závisí na okolních podmínkách a mění se s nimi. Při velkém rozdílu teplotních hladin spotřebovává tepelné čerpadlo více energie a topný faktor klesá. Teplota zdroje (vzduch, voda, země) během roku kolísá a mírně může kolísat i výstupní teplota z tepelného čerpadla. [19]

Tepelná bilance TČ

$$Q_P = A + Q_O \quad [\text{W}] \quad (2)$$

Uvádí rovnost energií ve formě tepla přivedeného a odvedeného a práce vykonané pro pohon kompresoru tepelného čerpadla, z které vychází výkonové číslo, respektive topný faktor (2).

$$\varepsilon_t = \frac{Q_P + A}{Q_O - Q_P} = \frac{Q_O}{A} \quad [-] \quad (3)$$

kde:

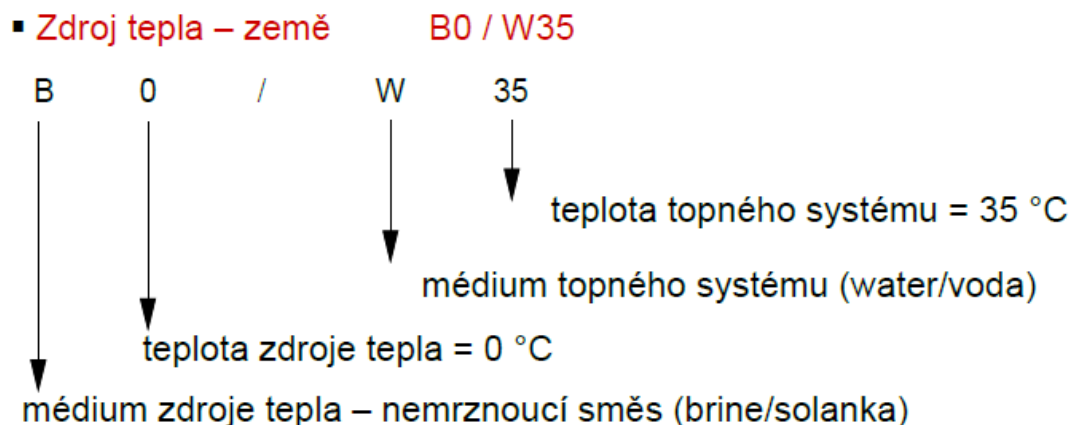
Q_P - teplo přivedené na výparník TČ [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$]

Q_O - teplo odvedené z kondenzátoru TČ [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$]

A - energie ve formě příkonu kompresoru [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$]

Pro určení výkonového čísla COP se vychází z norem. Ze starší a mírnější normy EN 255 doplněnou o novější a přísnější normy ČSN EN 14511 či SFŽP.

Normovaná hodnota pro stanovení topného faktoru u tepelného čerpadla země/voda je B0/W35 viz následující obrázek. [1], [19]



Obr. 9 Podmínky zkoušení TČ země/voda [19]

2.2.2.2 KOMPRESORY

Srdcem tepelného čerpadla je kompresor, který zabezpečuje zvýšení teplotní úrovně ze studené strany (zdroj tepla) na teplou stranu (topný okruh) a cirkulaci chladiva. Obvykle je hermeticky uzavřen a v dnešní době se setkáváme se čtyřmi typy :

- a) pístové kompresory
- b) spirálové kompresory (SCROLL)
- c) rotační kompresory
- d) šroubové kompresory

V současné době nejpoužívanější typ kompresoru je právě kompresor SCROLL. Při vysoké spolehlivosti však tvoří vyšší náklady. Životnost kompresoru SCROLL se udává kolem 80-100 tis. provozních hodin, což znamená životnost kolem 20-ti let. U tohoto kompresoru se využívají dvě archimedické spirály a s excentrickým pohonem jedné spirály dochází vždy k uzavření protilehlých

půlměsíčkovitých objemů, které se pohybují z vnější strany dovnitř, přičemž se uzavřený objem zmenšuje. Pohybující se hmoty se omezují na několik málo částí, které vykonávají rotační pohyb. Uspořádáním, jakož i omezením oscilující hmoty se vibrace silně minimalizují. Z důvodů vysoce přesného provedení hrotů spirál je možné upustit od těsnících prvků, přičemž plynotěsnost jednotlivých uzavřených objemů vůči sobě je zabezpečena prostřednictvím olejového filmu. [20]



Obr. 10 SCROLL kompresor [19]

V současnosti se setkáváme s novým trendem SCROLL Digital. Tato inovace představuje kompresor s možností regulace otáček pulsní modulací. Rozsah této modulace je 30 - 100%. Touto jednoduchou a velmi přesnou metodou regulace dosáhneme plynulého výkonu a vyšší výkonové číslo oproti jiným druhům modulace kompresoru. Regulace spočívá v nazdvihnutí jedné spirály za pomoci elektro bypassu přibližně o 1 mm oproti druhé a tím docílí nepracovní stav obou spirál – kompresor tedy běží na tzv. volnoběh. Z těchto otáček lze pak snadno docílit opět pracovní stav kompresoru bez startovacího náběhu. Omezí se tím tak počet startů kompresoru a prodlužuje životnost. Tyto modulované kompresory mají využití při nestabilní teplotě zdroje tepla např. tepelné čerpadlo vzduch – vzduch. [19]



Obr. 11 Digital SCROLL [19]

Můžeme se však setkat i s tepelnými čerpadly, kde oběh chladiva nezajišťuje kompresor. Jsou to zejména různé typy sorpčních čerpadel. Absorpční tepelná čerpadla využívají zdrojů nízkopotenciálního tepla pro přípravu tepelné energie na teplotní úrovni dostatečné pro přípravu teplé vody a vytápění objektů (55°C). Využitelná tepelná energie je odebírána z kondenzátoru a absorberu použitého absorpčního oběhu. Pracovní dvojici tvoří nejčastěji $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ nebo $\text{LiBr-H}_2\text{O}$, jako zdroj hnacího tepla slouží libovolný hořlavý plyn spalitelný na hořáku. Poměrná účinnost absorpčního tepelného čerpadla definovaná dle zvyklostí pro plynové spotřebiče dosahuje 150 %. V současnosti se však sorpční tepelná čerpadla pro vytápění domů téměř nepoužívají a trh je nenabízí pro svoji horší efektivitu. [12]

2.2.2.3 PRACOVNÍ LÁTKY

V současné době se jako pracovní látky používají chladiva – zejména freony, ale i uhlovodíky (propan) nebo oxid uhličitý (CO_2), čpavek. Čpavek se dosud používá spíše ve starších průmyslových zařízeních, můžeme se s ním setkat např. u chlazení zimních stadionů. Zásadní nevýhodou je jeho jedovatost. Freony jsou nejvíce rozšířeným chladivem. Na trhu se vyskytují v různých typech, ale v tepelných čerpadlech se nejčastěji setkáváme s chladivými směsí

fluorovaných uhlovodíků. Mezi výhody těchto látek patří vhodné fyzikální vlastnosti, nehořlavost a nejedovatost. [12]

Typy chladiv pro tepelná čerpadla:

R 404A - nejpoužívanější chladivo pro tepelné čerpadlo vzduch - voda, které se v uzavřeném systému chová jako směs tří samostatných látek. Z tohoto důvodu je zřetelný teplotní skluz. Rozsah doporučených vypařovacích teplot je - 40°C až - 5°C. Toto chladivo není regulováno.

R 410A - nejpoužívanější chladivo pro tepelná čerpadla země – voda. Skládá se z 50% R32 a 50% R 125. Vysokotlaké chladivo budoucnosti, pro které je nutné použít speciálně navržené kompresory a další prvky okruhu.

R 407C – Nachází uplatnění ve všech typech tepelných čerpadel. Zeotropické chladivo, které bylo navrženo jako náhrada za chladivo R22. Zřetelný teplotní rozptyl. Používá se speciální POE olej, který je jiný než pro R 134A, R404A atd.

R134A – Použití v tepelných čerpadlech země – voda. Jednosložkové chladivo používané v rozsahu teplot – 30°C až + 5°C. Možnost pracovat s minerálními oleji, používá se polyesterový olej. [17]

2.2.3 PROVOZ TEPELNÉHO ČERPADLA

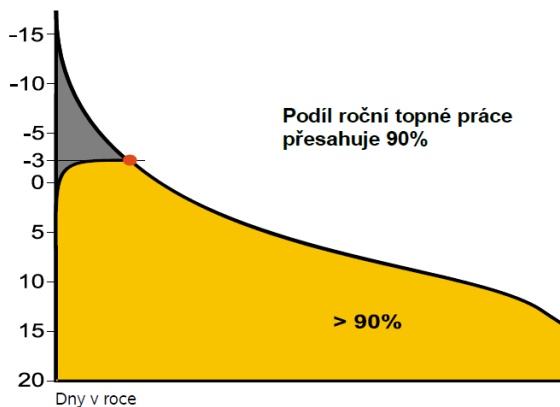
Pro všechna tepelná čerpadla platí: čím menší je teplotní rozdíl mezi teplotou topné vody a teplotou zdroje tepla (primárního okruhu), tím vyšší je efektivnost (výkonové číslo). Proto jsou tepelná čerpadla mimořádně vhodná právě pro topné systémy s nízkým teplotním spádem, například podlahové vytápění s výstupní teplotou do 40 °C (40/32). Moderní elektrická tepelná čerpadla dosahují podle zvoleného zdroje tepla a systémové teploty výkonová čísla od 3,5 do 5,5, což znamená, že na 1 kWh elektrického příkonu získáme 3,5 až 5,5 kWh topného tepla. Tímto se ekologická nevýhoda, která vzniká použitím elektrického proudu (účinnost elektráren v České republice dosahuje v současnosti přibližně 34%) bohatě vykompenzuje. Při zohlednění ceny elektrické energie 1,81 Kč/kWh (průměr speciálních tarifů pro vytápění/tepelná čerpadla

dodavatelů elektrické energie včetně alikvótní částky základní sazby) vyplývají ze středního výkonového čísla 4 (roční pracovní číslo) provozní náklady ve výši 0,45 Kč.kWh⁻¹ vyrobeného tepla. Tato hodnota je nižší než hodnoty konvenčních topných zařízení (topný olej: cca 1,5 Kč.kWh⁻¹). Mimoto je v tomto případě i nižší náročnost na údržbu a kontroly. Speciální tarify elektrické energie se však ve většině případů váží na požadavek, aby odběr proudu pro tepelná čerpadla během vysoké zátěže sítě mohl být přerušen. Tak například může být v případě monovalentních tepelných čerpadel přerušena dodávka proudu v průběhu 24 hodin až na 2 hodiny (maximálně 1 hodinu na jedno přerušení). Časy uvolnění dodávky elektrické energie mezi dvěma přerušeními nesmí být kratší než předcházející přerušení. [20]

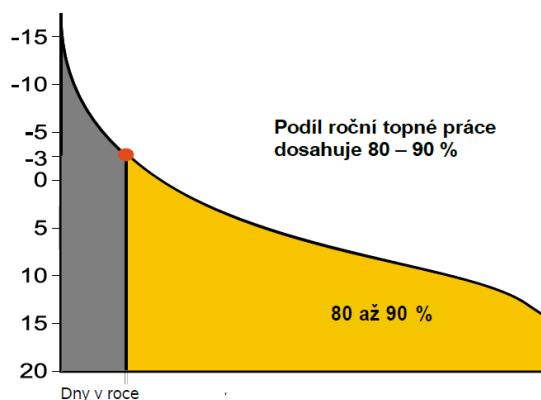
Pro novostavby se osvědčil monovalentní přerušovaný provoz. Tepelné čerpadlo je schopné pokrýt tepelnou spotřebu celoročně a časy přerušení nepředstavují žádné narušení funkce, protože podlahové vytápění dokáže takovéto „výpadky“ překonat bez jakéhokoliv vlivu na teplotu v místnosti (akumulační zásobník je doporučen na optimalizaci provozu). Pro existující budovy se nabízí bivalentní provoz, většinou je k dispozici stávající zdroj tepla, který je možno nadále využívat, aby v chladných zimních dnech bylo možné zajistit výstupní teploty topné vody nad 55 °C. Možné je také použít tepelná čerpadla s výstupní teplotou topné vody 65 °C. Je-li potřebné provozovat tepelné čerpadlo bez přerušení, je nutné počítat v časech „odstávky“ nízkého tarifu s provozem tepelného čerpadla na vysoký tarif. [19]

Tedy při použití tepelných čerpadel rozlišujeme 3 základní režimy. Režim monovalentní, při kterém tepelné čerpadlo pokrývá celkovou potřebu tepla v systému a je jediným zdrojem. Dále monoenergetický režim, kde je tepelné čerpadlo doplněno a další zdroj vyrábějícím teplo z elektrické energie např. elektrokotlem a režim bivalentní. Tady rozdělujeme bivalentní provoz na alternativní a paralelní. Při paralelním provozu dochází k připojení dalšího zdroje teprve při dosažení bivalentního bodu v rámci navrhování tepelného čerpadla na 50 – 70% max. potřeby tepla. Naopak při alternativním režimu nedochází

k připojení dalšího zdroje k tepelnému čerpadlu, ale tepelné čerpadlo se vypne při dosažení bivalentního bodu a výrobu tepla přebírá zdroj alternativní. [19]



Obr. 12 Bivalentní paralelní provoz [19]



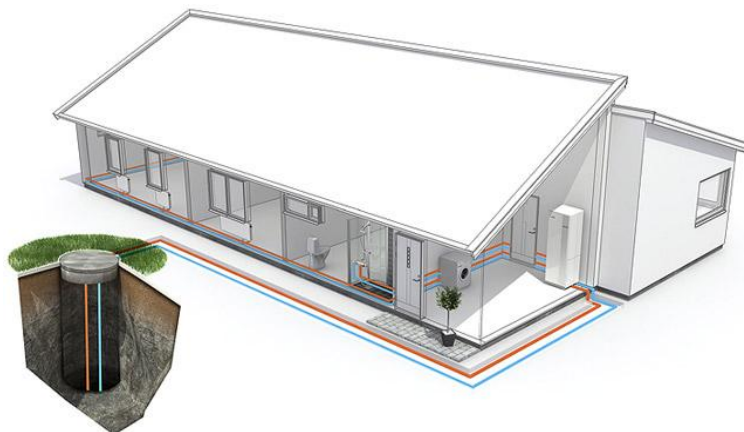
Obr. 13 Bivalentní alternativní provoz [19]

2.3 ZEMNÍ TEPELNÉ VÝMĚNÍKY

Vertikální výměník

Geotermální sondy přivádějí teplo z hloubky až 100 metrů, někdy se používají i delší. U zařízení se zemními sondami je určení uspořádání, jakož i hloubka vrtu mimořádně důležité, proto jsou k dispozici geologové a specializované vrtařské společnosti s patřičnými odbornými znalostmi a rovněž softwarem pro dimenzování a optimalizaci. Mimoto je možné dohodnout si s těmito firmami smluvní garanci odběrného výkonu (například pro období 10 let). Pro tato zařízení je např. v Německu potřeba vodohospodářské povolení (v ČR je dnes

v souvislosti s tepelnými čerpadly toto povolení vyžadováno pro veškeré činnosti využívající vlastností spodní vody, kdy dochází ke změně jejích chemických nebo fyzikálních vlastností, např. odběru tepla). [20]



Obr. 14 Geotermální sonda [13]

Teplo se z podloží čerpá pomocí několika vrtů o hloubce od 50 do 150 m. Pokud je potřeba více vrtů, měly by být od sebe vzdáleny minimálně 10 m, aby se vzájemně neovlivňovaly. Na 1 kW výkonu tepelného čerpadla je potřeba 12 – 18 m hloubky vrtu podle geologických podmínek. Tepelné čerpadlo o výkonu 10 kW vyžaduje tedy okolo 140 m hluboký vrt nebo dva vrty s hloubkou 70 m. Je však lépe zvolit jeden hlubší než dva kratší vrty. Skutečná délka vrtu závisí na konkrétních geologických podmínkách v místě a jeho návrh by měl zpracovat odborník. Pokud je k dispozici dostatečný počet takových sond, dají se teplem ze země bez problémů zásobovat i velké budovy. Kolik tepla lze zemi odebrat, závisí na různých faktorech. U zařízení s geotermálními sondami má rozhodující význam rozmístění a hloubka vrtů. [20]

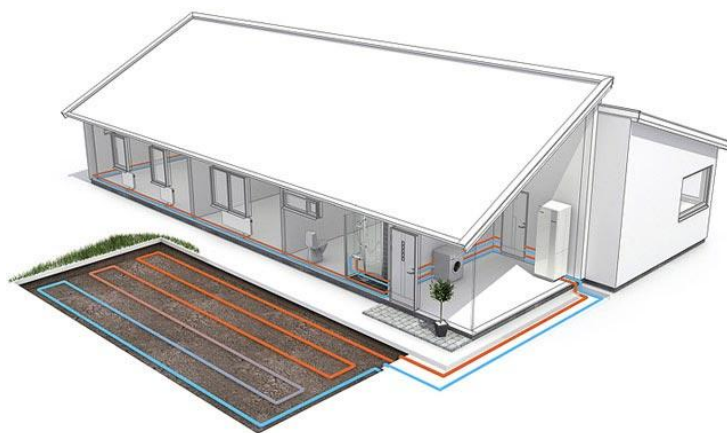
Horizontální výměník

Odběr tepla z půdy, tj. z vrchní vrstvy do hloubky až 5 metrů se realizuje přes systém horizontálního výměníku z polyetylenových trubek, uložených ve smyčce do výkopu anebo přes spirálové kolektory tzv. slinky, umístěné ve větší hloubce než plošné a ve výkopu stočené do spirál. Jedná se o poměrně rozšířený systém, který má oproti hlubinným vrtům nižší pořizovací náklady avšak za cenu horšího topného faktoru. Získávání tepla se realizuje přes výměník tepla, který je

položen v nezastavěné ploše v blízkosti vytápěné budovy. Teplo proudící z hlubších vrstev směrem vzhůru představuje hodnotu pouhých 0,063 až 0,01 W.m⁻², a proto ji můžeme pro horní vrstvy zanedbat. Zemní kolektor se regeneruje slunečním zářením, deštěm, rosou atd., respektive využívá energii z uvedených vlivů prostředí. [20]

2.4 HORIZONTÁLNÍ ZEMNÍ VÝMĚNÍK

Jednotlivé úseky trubek by neměly být delší než 150 m, protože tlakové ztráty a s nimi spojený zvýšený výkon oběhových čerpadel by byly příliš vysoké. Smyčky by měly být stejně dlouhé, aby bylo dosaženo stejné tlakové ztráty a stejných podmínek proudění. Takto navržené kolektorové pole odebírá půdě teplo rovnoměrně. Trubky jsou na svých koncích spojeny do výše položených přívodních sběračů. Každá smyčka by se měla dát samostatně uzavřít. Nemrznoucí směs protéká za pomoci oběhového čerpadla plastovým potrubím, přičemž přijímá teplo uložené v půdě. [16]



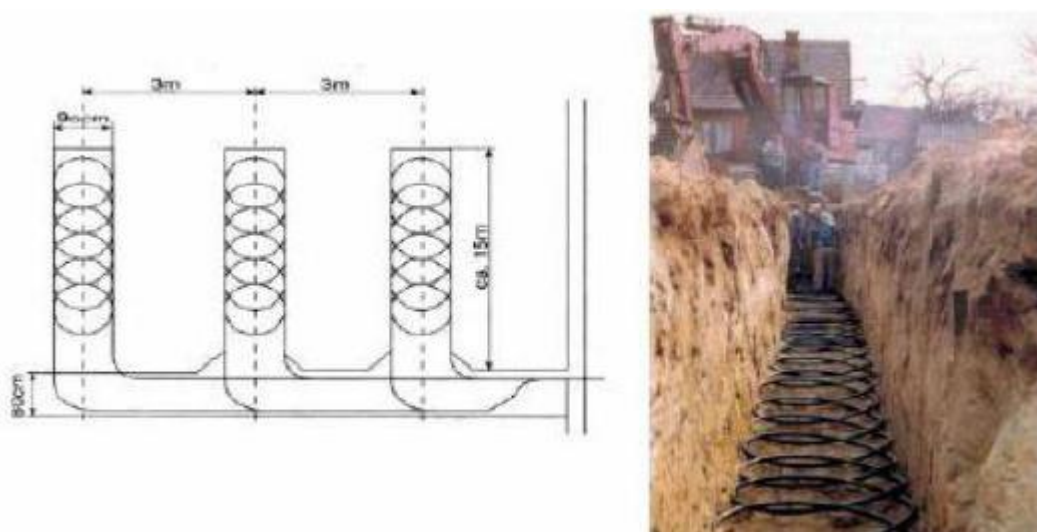
Obr. 15 Horizontální kolektor [13]

Dočasně slabé promrznutí půdy v bezprostředním okolí trubek nemá na funkci zařízení ani na růst rostlin žádný negativní vliv. V místě zemního kolektoru by se však neměly vysazovat rostliny s hlubokým kořenovým systémem. K regeneraci půdy, ze které se odčerpává teplo, dochází na jaře a v létě zvyšujícím se slunečním zářením a srážkami. Tím je zabezpečeno, že v dalším topném období je tento zásobník tepla znovu k dispozici pro topné účely. Plochy nad zemními kolektory by neměly být zastavěny nebo jinak zakryty. Potřebné

zemní práce se v případě novostavby dají zrealizovat většinou bez větších dodatečných nákladů. Využitelné množství tepla a tím i velikost potřebné plochy silně závisí na tepelně fyzikálních vlastnostech půdy a na množství dopadající sluneční energie, tzn. na klimatických podmínkách. [16]

2.4.1 SLINK

Druhým způsobem provedení zemního kolektoru je kolektor Slinky tvořený spirálami potrubí. Tyto spirály získají svůj typický tvar již při navinutí na hadicové kolo, ze kterého se poté roztáhnou do výkopu. Kolo má délku kolem 200 m. Pro kolektor Slinky můžeme použít dva druhy výkopu. Lze je ukládat horizontálně do širšího výkopu o šířce 0,8 m a hloubce okolo 1,5 m pro překrytí vrcholů slinek. Slinky můžeme uložit do výkopové rýhy, které by od sebe měly být vzdáleny nejméně 5 m. Ve vertikálním uložení vznikají problémy s odvětráním primárního okruhu, zabírají však na pozemku méně místa. [12]

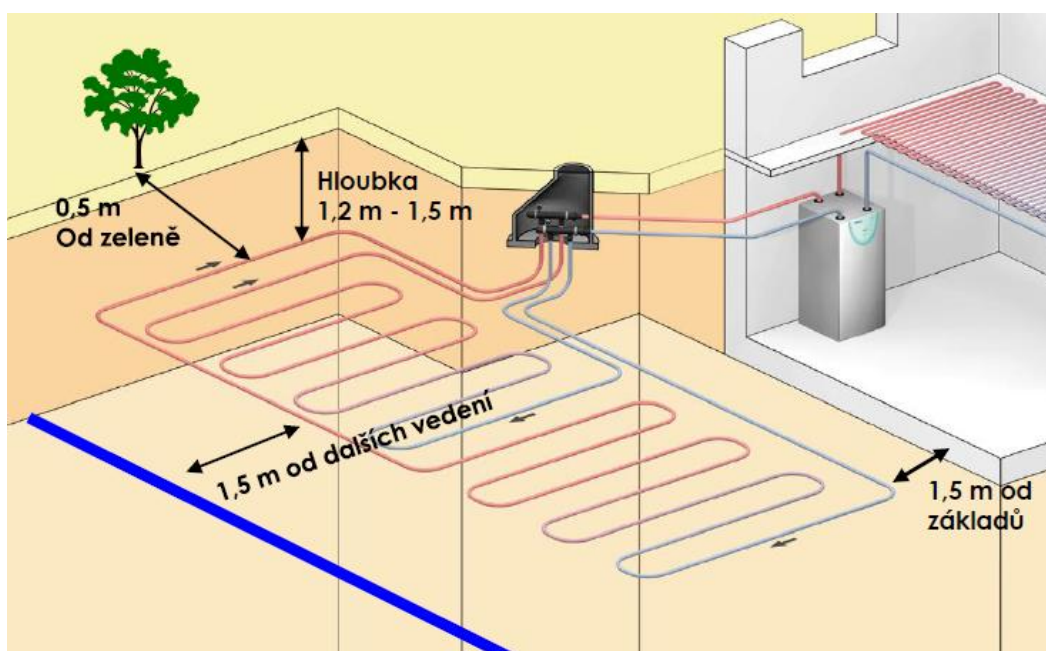


Obr. 16 Zemní výměník Slinky [6]

2.4.2 ULOŽENÍ KOLEKTORU

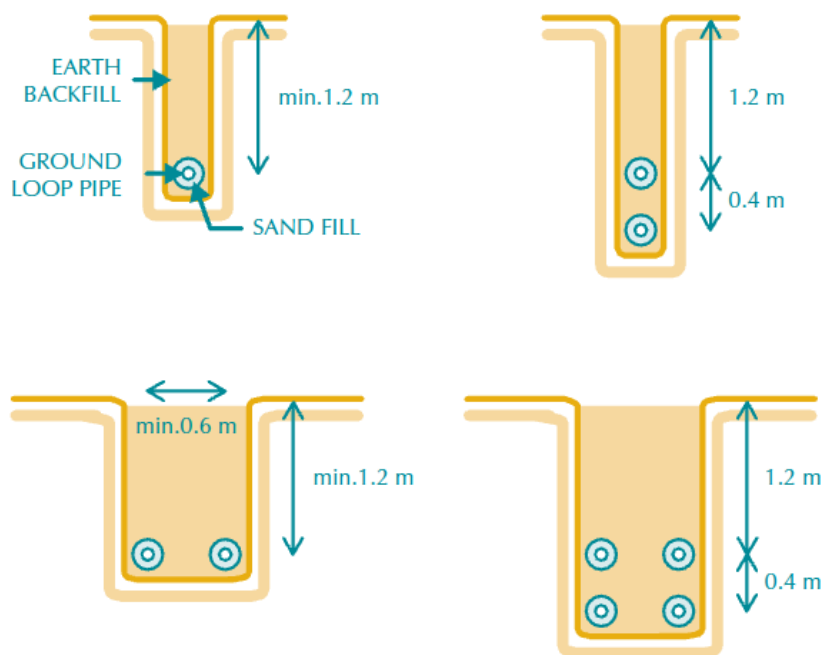
Uložení primárního okruhu se zpravidla pokládá do výkopu v nezámrazné hloubce. V geografických podmínkách ČR se nezámrazná hloubka mění dle lokality, a proto bezpečná optimální hloubka pro uložení bývá často dimenzována na 0,7 – 1 m (zámrazná hloubka) + cca 0,5 m, tudíž na 1,2 – 1,5 m. Rozestup smyček je převážně 0,5 – 1,1 m. Bezpečné uložení kolektoru platí též pro základy

objektu a jiných vedení. Tato vzdálenost by neměla být menší než 1,5 m při použití kvalitní syntetické kaučukové izolace. [6]



Obr. 17 Uložení kolektoru [6]

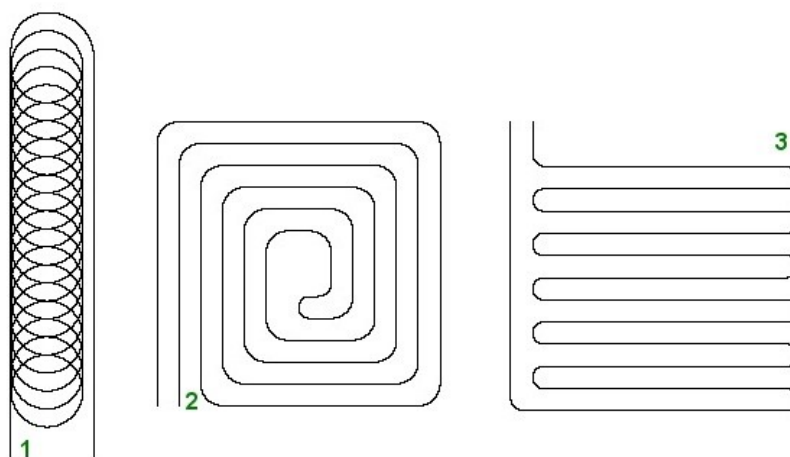
Více jak systém položení a vzdálenost smyček je důležitější především plošná výměra zemního kolektoru. Primární okruh tvořen smyčkami je sveden do sběračů a rozdělovačů. Rozdělovače jsou umístěny v bezedné šachtě umístěné vně objektu nebo uvnitř objektu, měla by však být přístupná pro servis či regulaci okruhu. Sestava rozdělovačů a sběračů by měla obsahovat odvětrání systému a možnost regulace jednotlivých okruhů pomocí průtokoměrů. [6]



Obr. 18 Uložení potrubí [1]

2.4.2.1 SYSTÉM ULOŽENÍ

Uložení primárního okruhu můžeme provádět několika způsoby. U kolektoru typu slinky je systém spirálový, obr. 19 (1). Pro plošné kolektory můžeme pokládat trubky do meandru, obr. 19 (2), kde se čerpání energie ideálně rozloží a dochází k ohřívání nejstudenější trubky trubkou nejteplejší nebo do páteřního systému pro rovnoměrné čerpání energie z primárního okruhu, obr. 19 (3). [6]



Obr. 19 Systém uložení kolektoru [6]

Pokládka primárního okruhu se rozděluje podle toho, do jakého lože kolektor umístíme. V dnešní době se na trhu objevují velmi kvalitní materiály použité pro trubky zemního kolektoru, a proto uložení do pískového lože není již nutností. Rozdělujeme lože pískové a uložení bez pískového lože.

Pískové lože

Pokládka do otevřeného výkopu, kde je pro podsyp a obsyp potrubí použit písek, patří mezi nejstarší způsoby pokládky. Do pískového lože není nutné pokládat polyethylenové potrubí se zvýšenou odolností vůči mechanickému poškození. Písek slouží jako ochrana a ze spodní a vrchní části potrubí snižuje riziko poškození potrubí. Povrch potrubí, který je narušen vrypem >10% síly stěny potrubí, většina výrobců označuje za potrubí, které se již nesmí použít pro pokládku. Bez pískového lože a záhozem pouze výkopkem je s určitostí jasné, že i samovolně hutněný výkop způsobí vrypy na potrubí daleko hlubší.



Obr. 20 Pískové lože [6]

Bez pískového lože

Vývoj novodobých materiálů umožňuje nasazení tenkostěnných potrubí pro zemní plošné kolektory i bez pískového lože. V současné době je toto potrubí označováno RC (Resistance to Crack), jedinečným jednovrstvým potrubím, které nepotřebuje pro svoje uložení pískové lože a je možné zahrnout výkop přímo výkopkem obsahujícím kameny. Tento fakt je při realizacích zemních plošných kolektorů velkým přínosem, který nevyžaduje více namáhavé práce, a ocení jej investoři, kteří nemusí platit za zbytečný materiál ve formě písku, odvozu zeminy,

uskladnění zeminy a práce s tím spojené a celkově se také zvyšuje bezpečnost.
[6]



Obr. 21 Bez pískového podloží [6]

2.4.2.2 ZPŮSOBY PROVEDENÍ VÝKOPU

Klasický výkop

Provádí se na šíři lžíce 0,6 – 0,8 m, do kterého se pokládá smyčka kolektoru. Na jednu stranu výkopu jedna trasa, vrátíme se zpět po druhé straně výkopu. Při výkopu další smyčky můžeme vytěženou zeminou zasypávat již hotovou část.

Drážky

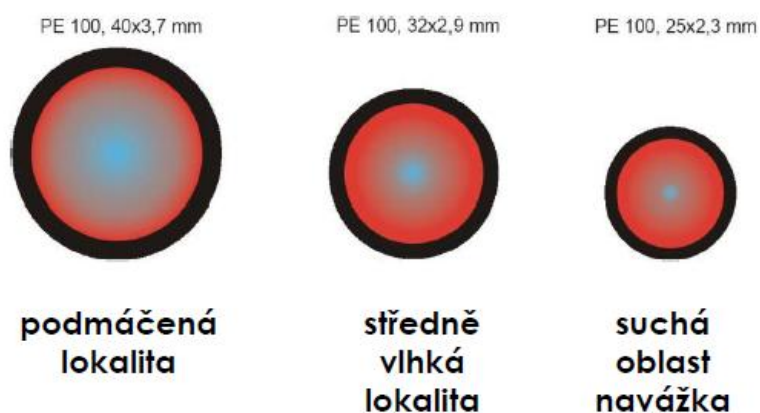
Tento způsob umožní uložit potrubí do drážky o šířce 10 – 15 cm, která je provedená do konečné hloubky ukládky. Výhoda tohoto provedení je rychlost realizace. Nedochází zde k sesedání jako u klasického výkopu prováděného bagrem. V tomto případě sesedá pouze drážka, která se za rok dosype a provedou se dodateční terénní úpravy. Omezení mohou nastat při nevhodném podloží, které může být skalnaté, nebo obsahuje množství velkých kamenů, které řetěz rýhovačky nevyneše z drážky. [6]



Obr. 22 Zemní rýhovačka [6]

2.4.3 MATERIÁL POTRUBÍ

Pro zemní horizontální výměník se doporučuje použít potrubí z polyethylenu HDPE (high density polyetylen). Polyetylen patří mezi nejstarší polymery, používané pro výrobu trubek. Technologie se však časem změnila a došlo ke zdokonalení polymeru. Novější právě lineární typ (vysokohustotní) PE se dnes objevuje na trhu ve více variantách tzv. typu PE 80, PE 100 a PE 100 RC. Dimenze potrubí HDPE (PE 100) existuje ve třech provedeních a záleží na kvalitě půdy a jejím typu.



Obr. 23 Dimenze potrubí [7]

Pro kolektor aplikovaný do pískového lože ve zvodněných oblastech nebo jen s vyšší vlhkostí podloží je určeno potrubí PE 80, PE 100, PE 100+. Minimální tloušťka stěny zabezpečuje velmi dobrý přenos tepelné energie, která se přenáší na teplotonosnou kapalinu. Vnitřek potrubí je díky moderní výrobě dokonale hladký, tedy tření v potrubí vlivem proudění je minimální a samotné potrubí přispívá k ekonomickému provozu tepelného čerpadla. Potrubí je barvy černé. [6]



Obr. 24 PE do pískového lože [6]

Alternativní uložení potrubí bez pískového lože vyžaduje odolnost proti přímému dlouhodobému tlaku kamene na stěnu potrubí. Toto potrubí s označením PE - RC je speciální extrudované potrubí s nejvyšší odolností proti bodovému zatížení a pomalému postupu vzniku trhlin. Zásypový materiál musí být ze stavebně-technických důvodů stlačitelný z důvodu lepšího přenosu tepla mezi okolní stěnou a potrubím a také nesmí dojít k sevření volného průřezu potrubí. Životnost potrubí by měla dosáhnout při bezproblémové funkci v řádech desítek let. Potrubí je po celé jeho délce při výrobě neustále kontrolováno tak, aby nedošlo k případné odchylce v síle stěny. Potrubí je barvy zelené. Zelená vrstva se neodstraňuje, je to jen barevná pigmentace materiálu. Před svařováním se klasicky škrabkou seškrábne jen tenká vrstva zoxidovaného materiálu. [6]



Obr. 25 PE do nepískového lože [6]

2.4.3.1 SPOJOVÁNÍ

PE trubky je možno spojovat několika způsoby. Mechanickými svěrnými spojkami obsahující pryžové těsnění, které musí dlouhodobě odolávat všem nemrznoucím kapalinám. Rizikem je však sesedání pudy, při kterém dochází k vytrhnutí hadice ze spojky. Proto nejlepší metodou spojování je elektrosvařování za použití elektrotvarovek s dodatečnou aretací každého spoje. Při sesedání pudy dochází pouze k tahovému namáhání, kterému však svařené spoje odolají.

V primárním okruhu, respektive ve sdružené šachtě, ve které jsou umístěny rozdělovače, je nutné používat pouze vhodné materiály pro instalaci jednotlivých komponentů a připojení hadic armaturami. Ty prvky by měli být pouze z antikoročních materiálů. Pokud jsou rozdělovače umístěny ve vytápěném objektu, dochází ke kondenzaci vytvořené vzdušné vlhkosti a znehodnocení nevhodných prvků. Proto je nutné použít prvky z materiálů PE, nerez, mosaz či měď. PPR (polypropylen) a železo je ze zmíněných důvodů nepřijatelné. Spojení těchto prvků vyžaduje též kvalitní a odolné těsnící prvky. Oproti klasickému konopí, které při nízkých teplotách zmrzne a vytvrdne, se používají těsnící tmely. [6]

2.4.4 PRACOVNÍ MÉDIA PRIMÁRNÍHO OKRUHU

Nemrznoucí teplotonosná kapalina koluje v celém primárním okruhu při tlaku 1,4 – 1,5 bar. Jedná se vždy o látky na bázi lihové, glycerínové nebo glykolové. Tuto kapalinu dostaneme vždy v podobě koncentrátu, který je třeba naředit s vodou na požadovanou nezámrznost dle informací na etiketě, většinou 1:2.

Lihová báze

Využívá se zejména z důvodu nízké nákupní ceny a ekologické nezávadnosti. K zabarvení lihu a jeho aromatizaci dochází při výrobě. Jeho nevýhodou i výhodou je, že má lehce identifikovatelný zápach. Nepoužívá se u systémů s aktivním chlazením. Kapalina-koncentrát je hořlavá a její přeprava podléhá ADR (Accord Dangereuses Route – Evropská dohoda o přepravě nebezpečných věcí) a skladování režimu pro skladování hořlavin.

Glycerínová báze

V současnosti nejnovější nemrznoucí kapalina. Je doporučena zejména díky své ekologické nezávadnosti, šetrnosti vůči těsněním a kovům. Je bez zápachu. Výhodou nabývá fakt, že kapalina není hořlavá a tudíž přeprava nepodléhá ADR a rovněž není požadován zvláštní režim pro skladování kapaliny, jako je tomu u kapalin na lihové bázi.

Etylénglykol

Používá se do všech druhů topných systémů jako teplotnosná kapalina. Ekologicky však nebezpečná látka a při jejím použití je nutné mít dvojitý jistění systému pro případ úniků z topných nebo chladících systémů. Po vypuštění je nutné kapalinu ekologicky zlikvidovat!

Propylenglykol

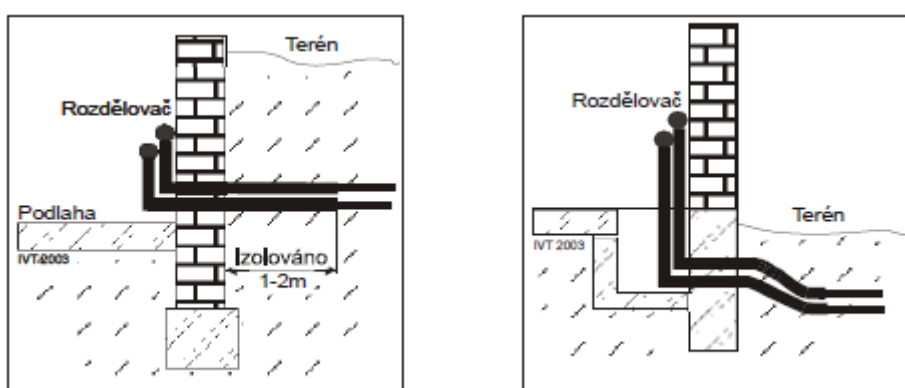
Ekologicky nezávadná nemrznoucí kapalina, která se používá do všech druhů topných systémů jako teplotnosný přípravek a současně tyto systémy chrání před korozi. Jeho výhodou je ekologická nezávadnost v případě úniku do okolního prostředí, nevýhodou ale vysoká cena. Z důvodu viskozity se tato nemrznoucí kapalina pro primární okruhy nedoporučuje.

U všech bází platí, že směs, která se napouští do primárního okruhu, by měla obsahovat patřičné množství látek pro ochranu pryžových těsnění, inhibitorů koroze a také látky pro bezproblémové míchání s vodou. Teplotnosné nemrznoucí kapaliny by měly procházet pravidelným servisem, kontrolou pH je potřeba udržovat kapalinu neutrální nebo lehce zásaditou. Pravidelným servisem dochází k prodloužení jejich životnosti a zlepšením technických parametrů (hustota, ochrana systému před korozi, ochrana těsnění, stabilizace pH atd.). [7]

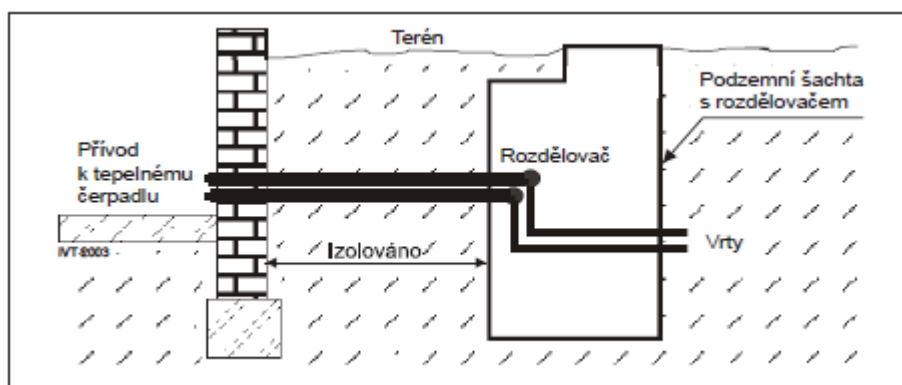
2.4.5 PŘIPOJENÍ PRIMÁRNÍHO OKRUHU

Provedení přivedení primárního okruhu do objektu záleží na umístění rozdělovače a sběrače, mohou být smyčky okruhu přivedeny do sběrné

prefabrikované šachty vně objektu a do objektu prostupují obvodovou konstrukcí pouze dvě trubky, nebo jsou rozdělovače umístěné uvnitř objektu, pak je třeba prostoupit obvodovou konstrukci všemi smyčkami. V obou případech je nutné opatřit jednotlivé prostupující trubky chráničkou z PVC (polyvinylchlorid) o min. průměru 75 mm, zachovat spád potrubí k rozdělovačům a potrubí tepelně izolovat. Na vnější straně by chránička měla přesahovat o cca 10 cm pro dotažení izolace proti zemní vlhkosti. Izolace ze syntetického kaučuku, nejčastěji ARMAFLEX, by měla být umístěna na celou délku trubek v prostupu konstrukcí a do vzdálenosti 1 – 2 m od obvodové stěny. [2]



Obr. 26 Umístění rozdělovače uvnitř objektu [2]



Obr. 27 Umístění rozdělovače ve sběrné šachtě vně objektu [2]

2.4.6 METODY MODELOVÁNÍ TEPLOTNÍCH POLÍ A TEPELNÝCH TOKŮ

Navrhování zemního výměníku je především zaměřeno na délku kolektoru, která bude schopna absorbovat nebo zpětně vracet požadované množství tepelné

energie. Těžší částí je však předvídat tepelnou odezvu zemního masivu v prostoru kolektoru při cirkulujícím médiu různé teploty. Tento případ vyžaduje obvykle pokročilý matematický model pro přesný popis. Model není univerzální, závisí na mnoha faktorech jako typ a kvalita půdy, na klimatických podmínkách a systému uložení horizontálního zemního výměníku. Modelování přenosu tepla zahrnující všechny tepelné vlastnosti a vlivy vnějšího prostředí je velice složité a obtížné. Nicméně můžeme předpokládat výchozí podmínky (ustálený typ půdy, přenos tepla v ose kolektoru je zanedbán, nesálavé vnější prostředí, teplota a rychlost proudícího média je konstantní, gravitační nasycení půdy vlhkostí je zanedbáno) po kterých lze model vytvořit. [11]

V zásadě existují dvě základní metody analytického zpracování. Metoda *Kelvin line source model* a *Cylinder source model*. Mnoho studií diskutuje o použití těchto modelů ve dvou nebo tří-rozměrném prostoru, stacionárním nebo dynamickým časově závislém stavu. Tyto obě metody monitorují teplotní pole a tepelné toky okolo kolektoru pouze symetricky. Další případnou metodou jsou Numerické modely. [3]

Kelvin line source model

Teplotní pole v zemním masivu lze popsat jako funkci v závislosti na času a poloměru okolo liniového zdroje za konstantního tepelného toku podél svislé osy průřezu v nekonečném zemním masivu. Tento model je nejrychlejší a nejjednodušší a popisuje bližší výsledky v souladu s naměřenou teplotou pro vyhodnocení.

Cylinder source model

Model se staví k zemnímu masivu jako k nekonečnému válci s konstantním tepelným tokem. Tento model využívá při výpočtu tepelné vodivosti tepelný odpor pro určení délky horizontálního zemního výměníku. Tepelná a teplotní vodivost jsou zahrnuty do funkce bezrozměrného válce pro určení tepelného odporu.

Numerický model

Oproti výše uvedeným modelům, které pracují s jednoduchým geometrickým návrhem zemního výměníku, numerické modely umožňují pracovat s detailními geometrickými parametry v prostoru kolektoru a veškerými tepelnými vlastnostmi. Pokud jsou však požadavky vstupních dat příliš rozsáhlé, mohou být numerické modely velmi složité a časově náročné. [8]

2.4.7 METODY NÁVRHU HORIZONTÁLNÍCH ZEMNÍCH VÝMĚNÍKŮ

Návrh plochy a projekce horizontálních zemních výměníků musí být provedena svědomitě příslušným odborníkem. V případě poddimenzování jsou hodnoty ročního výkonového koeficientu nedostatečné a za určitých okolností klesá i teplota tepelného zdroje. Při navrhování primárního okruhu je nutno dbát na plochu kolektoru, která nesmí být zastavována (pergoly, skleníky, dlažba), uložení do nezámrazné hloubky 1,2 – 1,5 m a dodržet minimální vzdálenost 1,5 od mezi trubkami kolektoru, kanalizačním potrubím a základy staveb. Aby byly minimalizovány tlakové ztráty, jednotlivé větve primárního okruhu by neměly být delší než 200 m.

Navržení primárního okruhu závisí především na tepelné zátěži objektu a tepelné charakteristice zemního masivu, resp. množství energie, které můžeme ze zemního masivu odebrat. Tato energie závisí na vlhkosti zemního masivu a lokalitě. Pro navržení je potřeba znát chladicí výkon navrženého tepelného čerpadla a specifický výkon odběru z půdy. Potřebnou plochu kolektoru je možné vypočítat podílem chladicího výkonu $Q_{\tau, ch}$ [W] a výkonu odběru z půdy Q_{op} [W.m⁻²] (3). Délku kolektoru z podílu plochy kolektoru A_k [m²] a rozteče trubek t [m] (4).

$$A = \frac{Q_{\tau, ch}}{Q_{op}} \quad [m^2] \quad (4)$$

$$L = \frac{A_k}{t} \quad [m] \quad (5)$$

Prodejci tepelných čerpadel uvádějí v projekčních podkladech pro dimenzování zemních výměníků výpočtové tabulky pro přesné stanovení plochy kolektoru při dané rozteči a rozměrech přívodního potrubí, počtu rozdělovačů a větví v různých hodnotách chladících výkonů tepelných čerpadel. Další metodou navržení minimální plochy kolektoru je výpočet pomocí topného výkonu $Q_{\tau,t}$ [W] tepelného čerpadla a plochy na 1 kW výkonu A_{1kW} [$m^2.kW^{-1}$] (5). Horizontální kolektor vyžaduje na 1 kW výkonu cca 40 až 50 m^2 . [18]

$$A = Q_{\tau,t} \cdot A_{1kW} \quad [m^2] \quad (6)$$

3. CÍL PRÁCE

Cílem diplomové práce je stanovit parametry zemního výměníku a tepelného čerpadla v průběhu topného období, analyzovat teploty a tepelné toky v zemním masivu v oblasti uložení horizontálního výměníku a výměníku typu Slink a porovnat s teplotami zemního masivu v blízkosti zemních výměníků.

4. METODY ZÍSKÁNÍ VÝSLEDKŮ PRO VYHODNOCENÍ

4.1 LOKALITA A METODY MĚŘENÍ

Lokalita, kde se uskutečnilo měření a vyhodnocování výsledků se nachází v Dolních Měcholupech v Praze 10, na pozemku vlastněném společností VESKOM s.r.o. v administrativně-skladovém areálu ulice Dolnoměcholupská 522/12a. Perspektivní společnost založena roku 1991 poskytuje komplexní služby v oblastech stlačeného vzduchu a tepelných čerpadel od poradenství, projektovou dokumentaci po samotnou instalaci a servis zařízení. Již v průběhu studie objektu vznikla myšlenka zrealizovat v rámci přípravy výstavby centrum s tepelnými čerpadly, kde je nyní možno měřit a monitorovat různé fyzikální veličiny na různých primárních zdrojích tepla při provozu tepelných čerpadel. [18]

Na referenčním pozemku jsou uloženy 2 primární okruhy horizontálního zemního výměníku a 2 zemního výměníku typu Slink. Dále pak 5 geotermálních sond do hloubky 113m sloužící jako zdroje tepla pro tři tepelná čerpadla. Výpočtová venkovní teplota se v této lokalitě uvažuje -12°C a průměrná teplota v otopném období 4°C při nadmořské výšce 258 m.



Obr. 28 Objekt spol. VESKOM s.r.o. [18]

Měření teplot zemního masivu je provedeno několika odporovými teplotními čidly typu PT 1000 A, připojenými přes ALMEMO konektory do dataloggeru ALMEMO 2890-9 dodaného firmou AHLBORN. Tento univerzální měřicí přístroj disponuje pamětí na uložení cca 100 000 naměřených hodnot v předvoleném časovém cyklu. Zde se odečítají v pravidelných intervalech teploty pro vyhodnocení po dobu otopné sezóny. Teplotní čidla jsou umístěné vždy na přívodním a vratným potrubí v hloubce uložení výměníků a nad nimi. Teplotní čidla t_R a $t_{R0,2}$, uložené v rozdílných hloubkách, jsou určeny pro zaznamenávání teplot zemního masivu mimo výměníky. Tyto referenční čidla, umístěny 1m od horizontálního výměníku a typu Slink mohou být svojí blízkou polohou ovlivněny a naměřené teploty zkresleny. Z tohoto důvodu je na pozemek umístěno další teplotní čidlo t_{R1} typu GKF – 125 firmy GREISINGER přibližně 10 m od horizontálního výměníku do hloubky 1m. Externí teplota t_e je měřena venkovním čidlem typu KTY 81.210, které je ve výšce 3m nad povrchem na fasádě administrativní budovy. Zemní výměníky přivádějí nízkopotenciální energii na výparníky třech tepelných čerpadel. Vytápění a ohřev TV je zajištěno dvěma tepelnými čerpadly IVT GREENLINE HT PLUS E17 s topným výkonem 16,2 kW stanoveným při teplotách 0/32 a jedním IVT PREMIUMLINE X15 o topném výkonu 11,7 kW. Tepelná čerpadla pracují s chladivem R 407C.

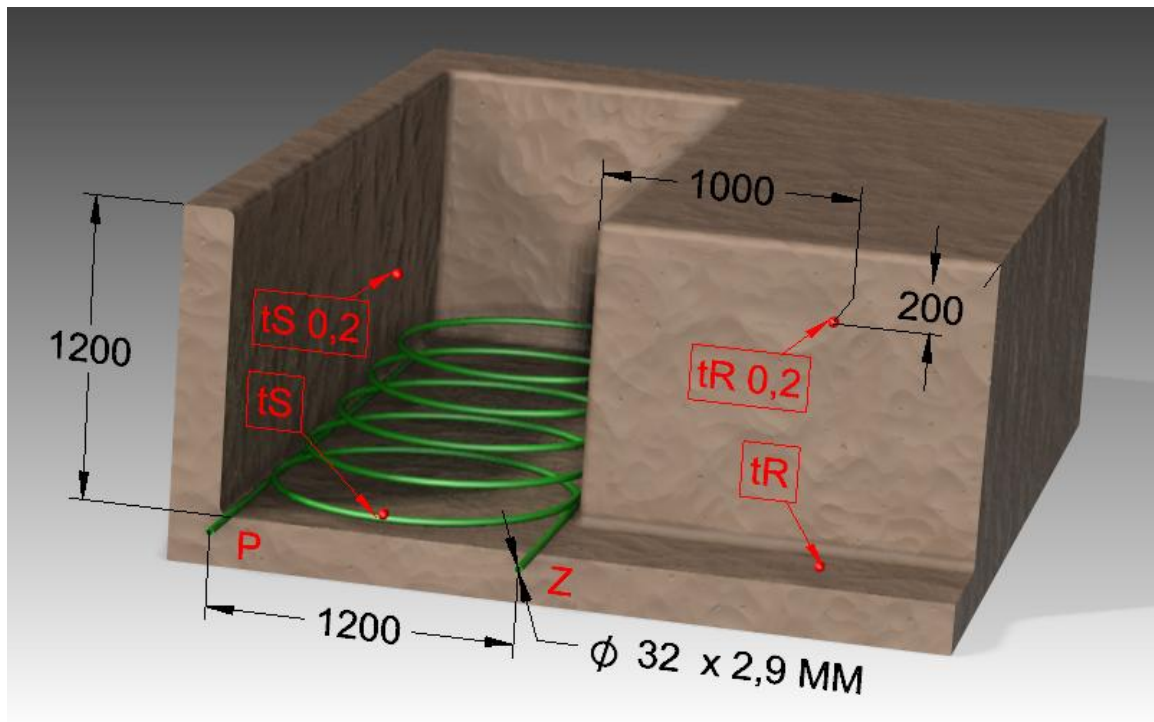
Zemní výměníky jsou uloženy v zemním masivu na stavebně vyrovnaném pozemku. Pro stavbu geotermálních vrtů je díky geologickému průzkumu známo složení horninového a zemního masivu. Složení je uvedeno v tabulce 4. [5]

Hloubka [m]	Oblast uložení	
	Výměník Slink	Horizontální výměník
1	Navážka, tmavě hnědý, hlinito-písčitý štěrk, úlomky cihel a suť	Navážka, hrubozrnný štěrk, kamenná drť, úlomky cihel
2	Navážka, tmavě hnědá, písčito-jílovitá hlína, bez štěrkové příměsi	

Tab. 4 Geologické složení zemního masivu [5]

4.2 VÝMĚNÍK TYPU SLINK

Pro výměník typu slink je použito PE potrubí $\varnothing 32 \times 2,9$ mm typu PE 100 RC pro uložení bez pískového lože. Potrubí je horizontálně uloženo do hloubky 1,2 m a výkopu šířky 1,2 m a jeho délka je 200m. Naměřené teploty odečítají 4 teplotní čidla. Dvě čidla jsou umístěny na výměníku a dvě referenční čidla 1 m od výměníku. Uložení a rozmístění čidel je znázorněno na obrázku 29. [5]



Obr. 29 Výměník typu Slink

tS – teplotní čidlo uložené na přívodu výměníku v hloubce 1,2 m;

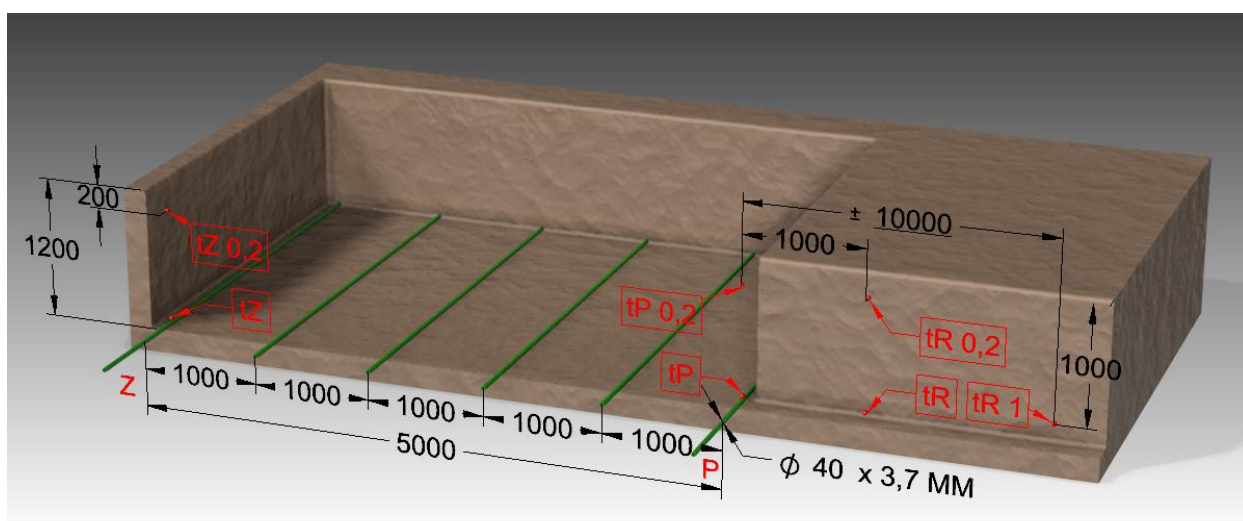
$tS 0,2$ – teplotní čidlo uložené nad výměníkem v hloubce 0,2 m;

tR – referenční teplotní čidlo uložené v hloubce 1,2 m 1 m od výměníku;

$tR 0,2$ – referenční teplotní čidlo uložené v hloubce 0,2 m 1 m od výměníku;

4.3 HORIZONTÁLNÍ VÝMĚNÍK

Primární okruh je zhotoven ze stejného materiálu jako výměník typu Slink. PE 100 RC \varnothing 40 x 3,7 mm, uložení bez pískového lože. Výměník je tvořen třemi smyčkami o délce cca 56 m a celková délka kolektoru je 368 m. Rozteč mezi smyčkami je 1 m. Čtyři teplotní čidla monitorují přívodní a vratné potrubí v hloubce 1,2 m a 0,2 m. Další dvě čidla měří teploty zemního masivu ve vzdálenosti 1 m od výměníku ve stejných hloubkách a dodatečně přidané čidlo měří teplotu v hloubce 1 m ve vzdálenosti přibližně 10 m od výměníku. Uložení a rozmístění čidel je na obrázku 30. [5]



Obr. 30 Horizontální zemní výměník

tP – teplotní čidlo uložené přímo na přívodním potrubí v hloubce 1,2 m;

$tP\ 0,2$ – teplotní čidlo uložené nad výměníkem v hloubce 0,2 m;

tZ – teplotní čidlo uložené přímo na vratném potrubí v hloubce 1,2 m;

$tZ\ 0,2$ – teplotní čidlo uložené nad výměníkem v hloubce 0,2 m;

tR – referenční teplotní čidlo uložené v hloubce 1,2 m a 1 m od výměníku;

$tR\ 0,2$ – referenční čidlo uložené v hloubce 0,2 m a 1 m od výměníku;

$tR\ 1$ – přidané teplotní čidlo v hloubce 1 m a cca 10 m od výměníku;

4.4 TEORETICKÝ ROZBOR

Rovnice výkonového čísla tepelného čerpadla (6) neboli topného faktoru ε_t [-] lze napsat jako podíl topného výkonu $Q_{\tau,t}$ [W] a příkonu kompresoru P [W].

$$\varepsilon_t = \frac{Q_{\tau,t}}{P} \quad [-] \quad (7)$$

Topný výkon vyjadřuje tepelný tok (7) na kondenzátoru, vypočítaný z odvedeného měrného tepla $q_{2,3}$ [J.kg⁻¹] (obr. 6, 7, 8) při kondenzaci, vynásobeného hmotnostním tokem topné vody $m_{\tau,k}$ [kg.s⁻¹]. Hmotnostní tok vypočítáme z hustoty $\rho_{w,k}$ [kg.m⁻³] a objemového toku $V_{\tau,k}$ [m³.s⁻¹] topné vody kondenzátoru.

$$Q_{\tau,t} = Q_{\tau 2,3} = m_{\tau} \cdot q_{2,3} = \rho_{w,k} \cdot V_{\tau,k} \cdot q_{2,3} \quad [\text{W}] \quad (8)$$

Výpočet hustoty je zřejmý z rovnice (8) v závislosti na střední teplotě vody na kondenzátoru t_k [°C] (10).

$$\rho_{w,k} = 999,7969 + 0,05377 \cdot t_k - 7,57066 \cdot 10^{-3} \cdot t_k^2 + 4,23563 \cdot 10^{-5} \cdot t_k^3 - 1,3549 \cdot 10^{-7} \cdot t_k^4 \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (9)$$

$$t_k = \frac{t_{k1} + t_{k2}}{2} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (10)$$

t_{k1} – výstupní teplota topné vody z kondenzátoru [°C]

t_{k2} – vstupní teplota topné vody do kondenzátoru [°C]

Měrné $q_{2,3}$ teplo lze vyjádřit rozdílem měrných entalpií $\Delta i_{1,2}$ [J.kg⁻¹] vycházející z I. zákona termodynamiky druhého tvaru. Změnu měrné entalpie lze tedy rozepsat rozdílem teplot na výměníku ΔT [K] při měrné tepelné kapacitě vody $c_{w,k}$ [J.kg⁻¹.K⁻¹] (9).

$$q_{2,3} = \Delta i_{2,3} = i_2 - i_3 = c_{w,k} \cdot (t_{k,1} - t_{k,2}) \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (11)$$

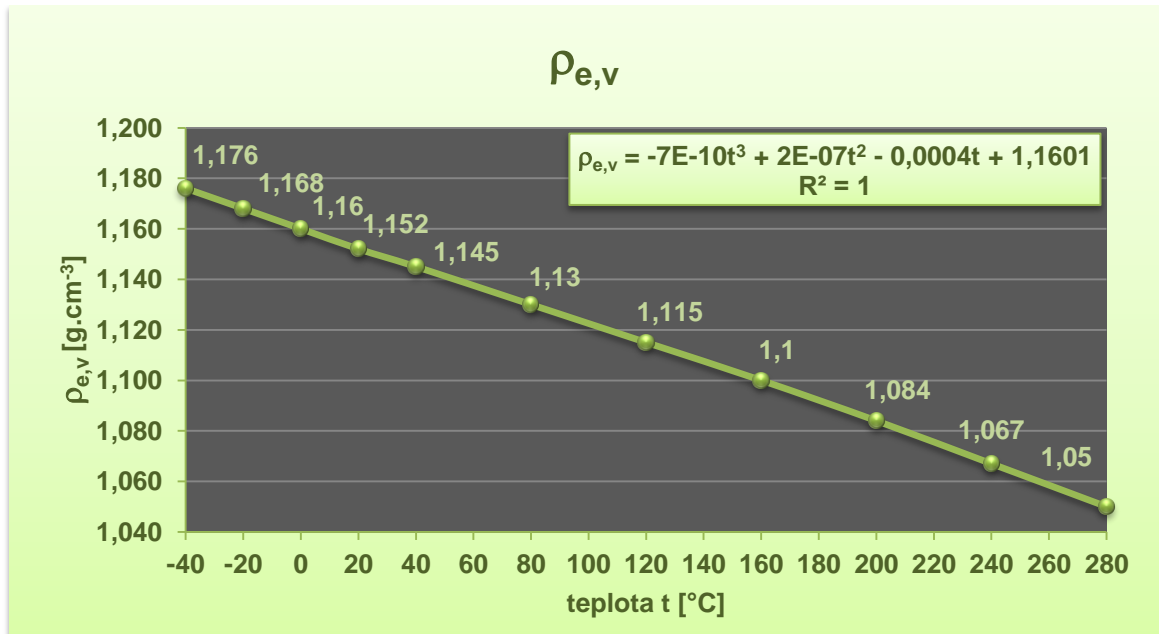
Chladící výkon $Q_{\tau, ch}$ [W] naopak vypočteme pomocí hmotnostního toku směsi, tedy objemového toku směsi $V_{\tau, v}$ [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] při hustotě směsi $\rho_{s, v}$ [$\text{kg} \cdot \text{m}^3$] a měrného tepla $q_{4, 1}$ [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$] na výparníku (10).

$$Q_{\tau, ch} = Q_{\tau 4, 1} = m_{\tau, v} \cdot q_{4, 1} = \rho_{s, v} \cdot V_{\tau, v} \cdot q_{4, 1} \quad [\text{W}] \quad (12)$$

Výparné teplo (11) vyjádříme opět ze změny měrné entalpie násobené měrnou tepelnou kapacitou směsi $c_{s, v}$ [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] (14) vyjádřené rozdílem teplot směsi na výparníku. Rovnice měrné tepelné kapacity směsi vychází z obr. 32.

$$q_{4, 1} = \Delta i_{4, 1} = i_1 - i_4 = c_{s, v} \cdot (t_{v, 1} - t_{v, 2}) \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (13)$$

Směs je tvořena 70 % vody a 30 % etylenglykolu. Hustotu směsi vyjadřuje součet hustot vody $\rho_{w, v}$ a etylenglykolu $\rho_{e, v}$ (13) v procentuálním zastoupení obou látek ve směsi (12). Rovnice hustoty etylenglykolu vychází z obr. 31.



Obr. 31 Hustota 100% etylenglykolu [14]

$$\rho_{s, v} = 0,7 \cdot \rho_{w, v} + 0,3 \cdot \rho_{e, v} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (14)$$

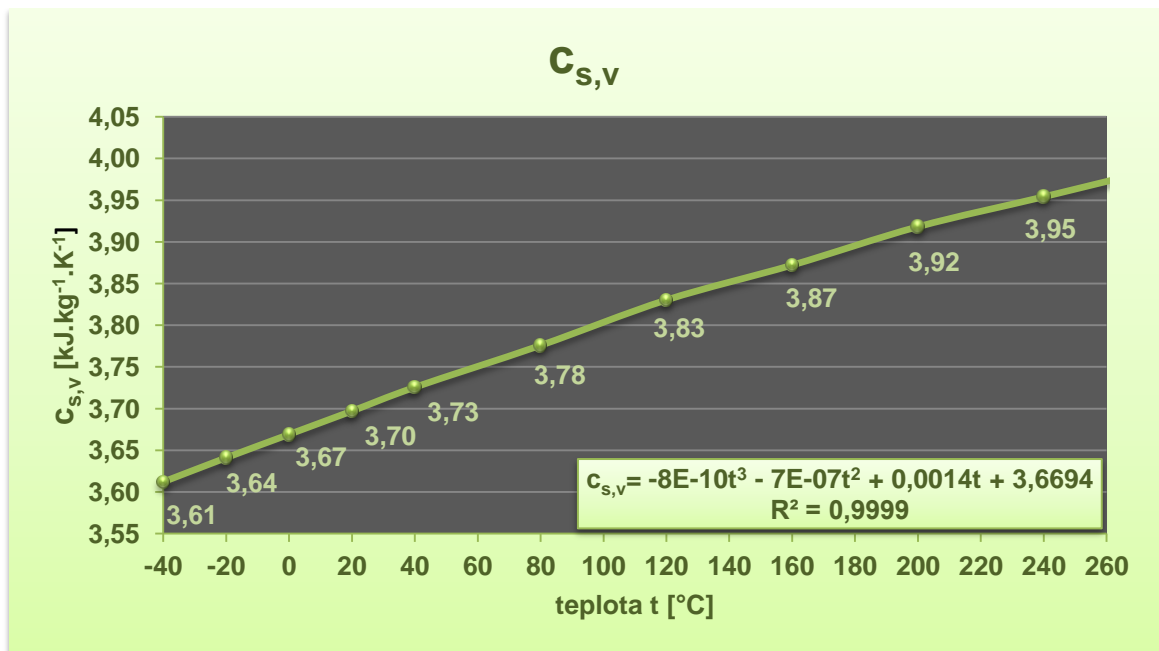
$$\rho_{e, v} = -7 \cdot 10^{-10} \cdot t_v^3 + 2 \cdot 10^{-7} \cdot t_v^2 - 0,0004 \cdot t_v + 1,1601 \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (15)$$

$$t_v = \frac{t_{v1} + t_{v2}}{2} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (16)$$

t_{v1} – vstupní teplota směsi do výparníku [$^{\circ}\text{C}$]

t_{v2} – výstupní teplota směsi z výparníku [$^{\circ}\text{C}$]

Rovnice měrné tepelné kapacity směsi vychází z obr. 32, který vyjadřuje přímo nařazený 30 % etylenglykol.



Obr. 32 Měrná tepelná kapacita 30% etylenglykolu [14]

$$c_{s,v} = -8.10^{-10}.t_v^3 - 7.10^{-7}.t_v^2 + 0,0014.t_v + 3,6694 \quad [\text{kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}] \quad (16)$$

Z tepelné bilance tepelného čerpadla (15) lze vyjádřit příkon kompresoru, který dosadíme do rovnice (6) pro výpočet topného faktoru.

$$Q_{\tau,t} = Q_{\tau,ch} + P \rightarrow P = Q_{\tau,t} - Q_{\tau,ch} \quad [\text{W}] \quad (17)$$

[10], [14]

5. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ Z HLEDISKA TECHNICKÉHO A ENERGETICKÉHO

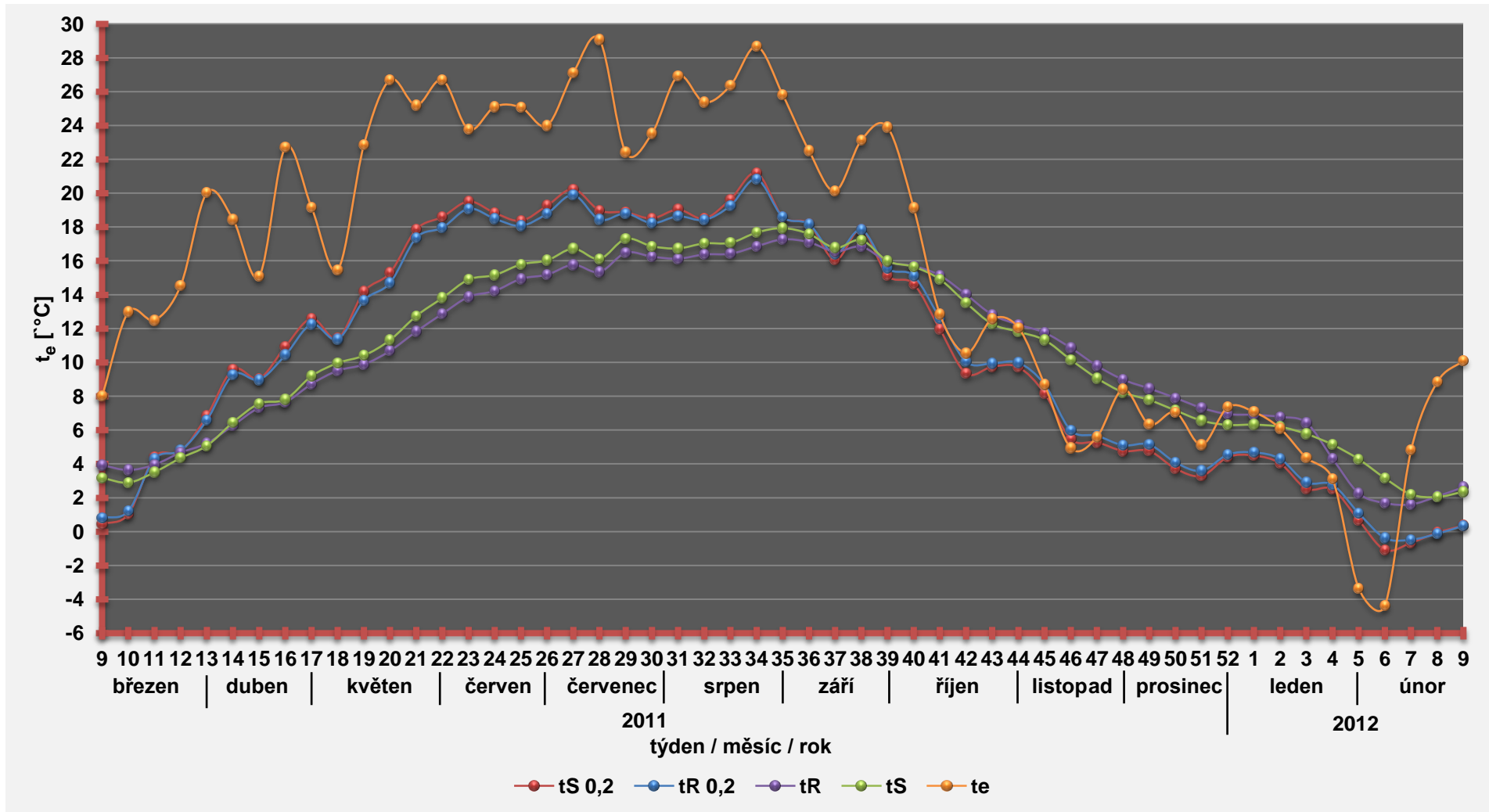
5.1 VÝMĚNÍK TYPU SLINK

Teploty naměřené pomocí teplotních snímačů umístěných v daných hloubkách zemního masivu s výměníkem typu Slink jsou uvedeny v tabulce 5. Odečtené denní hodnoty vždy okolo 15. hodiny jsou technicky zpracovány a zprůměrovány do jednotlivých týdnů po dobu měřeného období.

Rok	měsíc	týden	Teploty zemního masivu [°C]				Teplota okolního vzduchu [°C]
			tS 0,2	tR 0,2	tS	tR	
2011	březen	9.	0,4	0,8	3,2	3,9	8,0
		10.	1,0	1,2	2,9	3,6	13,0
		11.	4,4	4,3	3,5	4,0	12,5
		12.	4,8	4,8	4,4	4,7	14,5
	duben	13.	6,8	6,6	5,1	5,2	20,0
		14.	9,6	9,3	6,5	6,3	18,5
		15.	9,0	9,0	7,6	7,3	15,1
		16.	10,9	10,4	7,8	7,7	22,7
	květen	17.	12,6	12,2	9,2	8,7	19,2
		18.	11,4	11,4	10,0	9,5	15,5
		19.	14,2	13,7	10,4	9,9	22,9
		20.	15,3	14,7	11,3	10,7	26,7
		21.	17,9	17,4	12,7	11,8	25,2
	červen	22.	18,6	18,0	13,8	12,9	26,7
		23.	19,5	19,1	14,9	13,9	23,8
		24.	18,8	18,5	15,2	14,2	25,1
		25.	18,4	18,1	15,8	14,9	25,1
	červenec	26.	19,3	18,8	16,0	15,2	24,0
		27.	20,2	19,9	16,7	15,8	27,1
		28.	19,0	18,4	16,1	15,3	29,1
		29.	18,9	18,8	17,3	16,5	22,4
		30.	18,5	18,2	16,9	16,3	23,5

2011	srpen	31.	19,0	18,6	16,7	16,1	26,9
		32.	18,5	18,4	17,0	16,4	25,4
		33.	19,6	19,3	17,1	16,4	26,4
		34.	21,2	20,8	17,7	16,9	28,7
	září	35.	18,6	18,6	17,9	17,3	25,8
		36.	18,2	18,2	17,6	17,1	22,5
		37.	16,1	16,4	16,8	16,6	20,1
		38.	17,8	17,8	17,2	16,8	23,1
	říjen	39.	15,1	15,6	16,0	16,0	23,9
		40.	14,6	15,1	15,7	15,7	19,1
		41.	12,0	12,6	14,9	15,1	12,9
		42.	9,4	10,0	13,5	14,0	10,5
		43.	9,7	9,9	12,3	12,8	12,6
	listopad	44.	9,7	10,0	11,8	12,2	12,1
		45.	8,2	8,7	11,3	11,8	8,7
		46.	5,5	6,0	10,2	10,9	4,9
		47.	5,3	5,7	9,1	9,8	5,6
	prosinec	48.	4,8	5,1	8,2	9,0	8,4
		49.	4,8	5,2	7,8	8,5	6,3
		50.	3,7	4,1	7,2	7,9	7,1
51.		3,3	3,6	6,6	7,3	5,1	
2012	leden	52.	4,4	4,6	6,3	6,9	7,4
		1.	4,5	4,7	6,3	6,9	7,1
		2.	4,0	4,3	6,2	6,8	6,1
		3.	2,5	2,9	5,8	6,4	4,4
		4.	2,5	2,8	5,1	4,3	3,1
únor	5.	0,7	1,1	4,3	2,3	-3,4	
	6.	-1,1	-0,4	3,2	1,7	-4,4	
	7.	-0,7	-0,5	2,2	1,6	4,8	
	8.	-0,1	-0,1	2,0	2,1	8,8	
	9.	0,4	0,3	2,4	2,6	10,1	

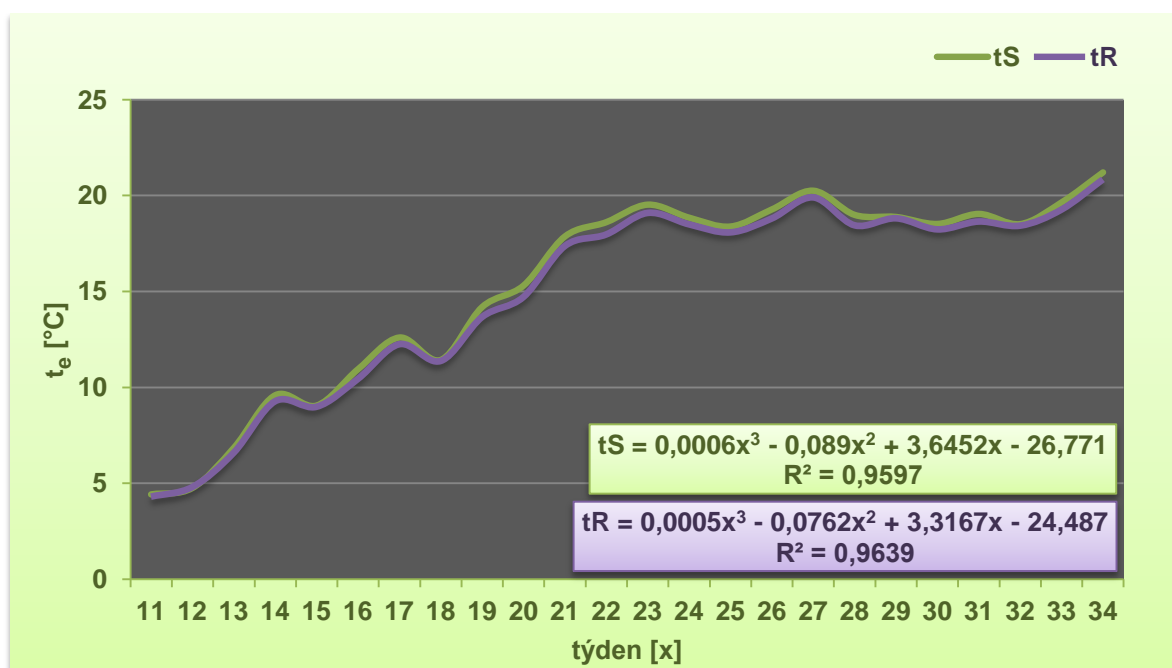
Tab. 5 Teploty zemního masivu s výměníkem typu Slink



Obr. 33 Průběh teplot zemního masivu – výměník Slink

Průběh teplot zemního masivu znázorněn na obr. 33 je zaznamenán pro období od 1. 3. 2011 do 1. 3. 2012. Nejnižší denní externí teplota $t_e = -6,7 \text{ °C}$ v tomto období byla naměřena dne 6. 2. 2012 kolem 15. hodiny a nejvyšší externí teplota $t_e = 34 \text{ °C}$ dne 9. 7. 2011 ve stejný čas. Na počátku měřeného období (1. 3. – 15. 3.) roku 2011 jsou teploty zemního masivu v hloubce 0,2 m ($tS_{0,2}$; $tR_{0,2}$) nižší než teploty v hloubce 1,2 m (tS ; tR). Až do začátku topné sezóny (20. 9. 2011) jsou teploty v hloubce 0,2 m ($tS_{0,2}$; $tR_{0,2}$) naopak vyšší než teploty v hloubce 1,2 m (tS ; tR) a kopírují externí teplotu t_e . Tyto změny jsou ovlivněny průběhem externí teploty t_e v daném období.

Teploty se mimo topnou sezónu (15.3. 2011 – 20. 9. 2011) v hloubce 1,2 m (tS ; tR) tedy v oblasti uloženého výměníku Slink postupně zvyšovaly. V období od 15. 3. 2011 do 20. 8. 2011 je zaznamenán nárůst z teploty $4,4 \text{ °C}$ na teplotu $21,2 \text{ °C}$ (obr. 34). Teplota zemního masivu (tS) se přes letní období zvýšila o $16,8 \text{ K}$. Na základě naměřených hodnot lze nárůst teplot tS zemního masivu v hloubce 1,2 m vyjádřit rovnicí regrese a hodnotou spolehlivosti R .

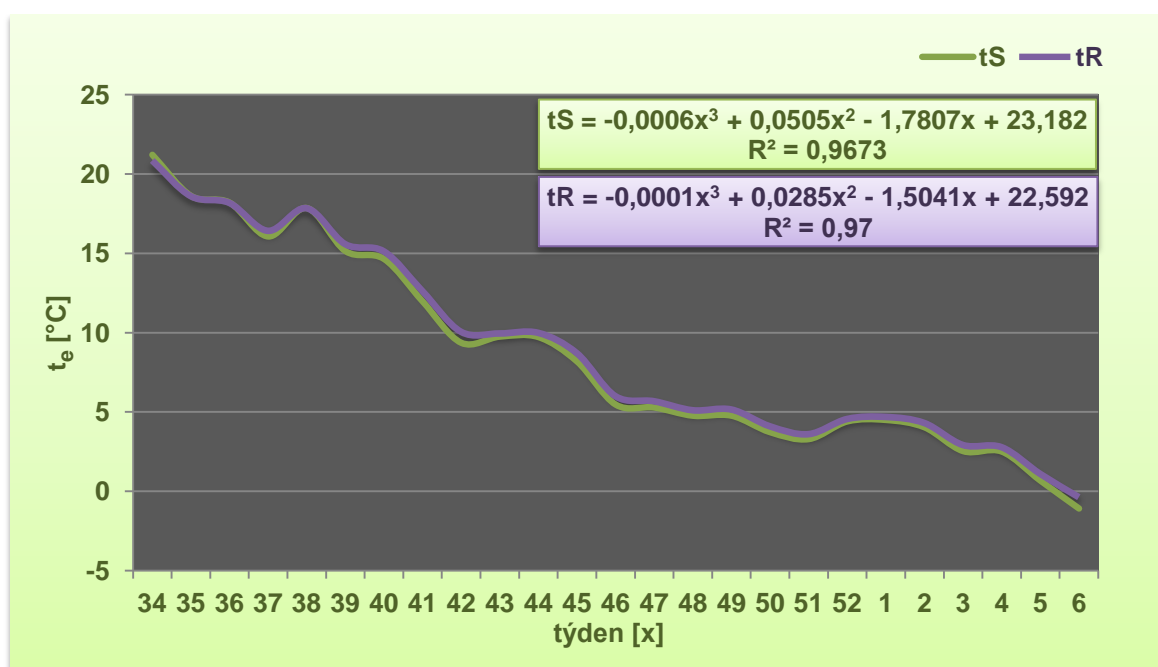


Obr. 34 Nárůst teplot zemního masivu v hloubce 1,2 m

Na teplotním čidle vzdáleném 1 m od výměníku Slink (tR) v hloubce 1,2 m byla naměřena teplota $4,3 \text{ °C}$ v 11. týdnu a na začátku topné sezóny teplota

20,8 °C v 34. týdnu. Teplota zemního masivu (tR) se přes letní období zvýšila o 16,5 K. Výsledky měření potvrzují, že mimo topnou sezónu je nárůst obou teplot (tS ; tR) shodný a zemní masiv se v hloubce 1,2 m ohřeje na přibližně stejnou teplotu.

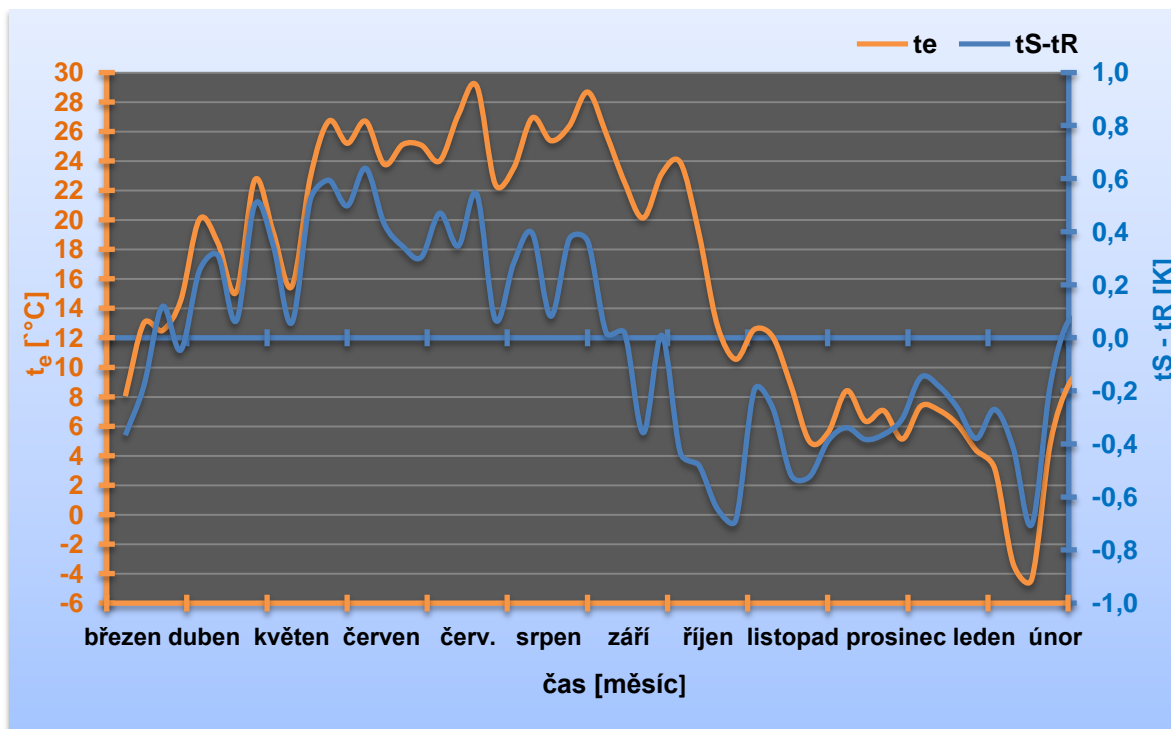
Teploty v průběhu zimního období naopak klesaly. V tomto období je naměřen pokles z teploty 21,2 °C na teplotu -1,1 °C ve dnech od 28. 8. 2011 do 12. 2. 2012 a zobrazen na obr. 33. Teploty (tS) klesly po dobu zimního období o 22,3 K. Na základě naměřených hodnot lze pokles teplot tS zemního masivu v hloubce 1,2 m vyjádřit rovnicí regrese a hodnotou spolehlivosti R.



Obr. 35 Pokles teplot zemního masivu v hloubce 1,2 m

Naměřený pokles teplot tR ve stejném období na teplotním čidle vzdáleném 1 m od výměníku Slink z teploty 20,8 °C na -0,4 °C v hloubce 1,2 m je v průběhu zimního období v podstatě shodný s poklesem teploty tS . Teplota zemního masivu na referenčním pozemku (tR) klesla v daném období o 21,2 K. Výsledky ukazují, že je zde reálný předpoklad ovlivňování teplot zemního masivu v oblasti 1 m od výměníku v hloubce 1,2 m odváděním tepla výměníkem typu Slink uloženého ve stejné hloubce.

Průběh rozdílu teplot $t_S - t_R$ zemního masivu v hloubce 1,2 m mezi místem uložení výměníku Slink a oblastí 1 m vzdálené od výměníku je zobrazen na obr. 36 v závislosti na externí teplotě.



Obr. 36 Teplotní rozdíl $t_S - t_R$ zemního masivu v hloubce 1,2 m

Na počátku letního období na konci března je teplota t_S větší než teplota t_R až do konce srpna resp. začátku období topného. V letním období je rozdíl teplot zaznamenán v rozmezí $0,1 \div 0,6$ K. Platí tedy, že $t_S - t_R > 0$. Ve sledovaném topném období je rozdíl teplot zaznamenán v rozmezí $0,0 \div -0,7$ K. Platí tedy, že rozdíl $t_S - t_R < 0$.

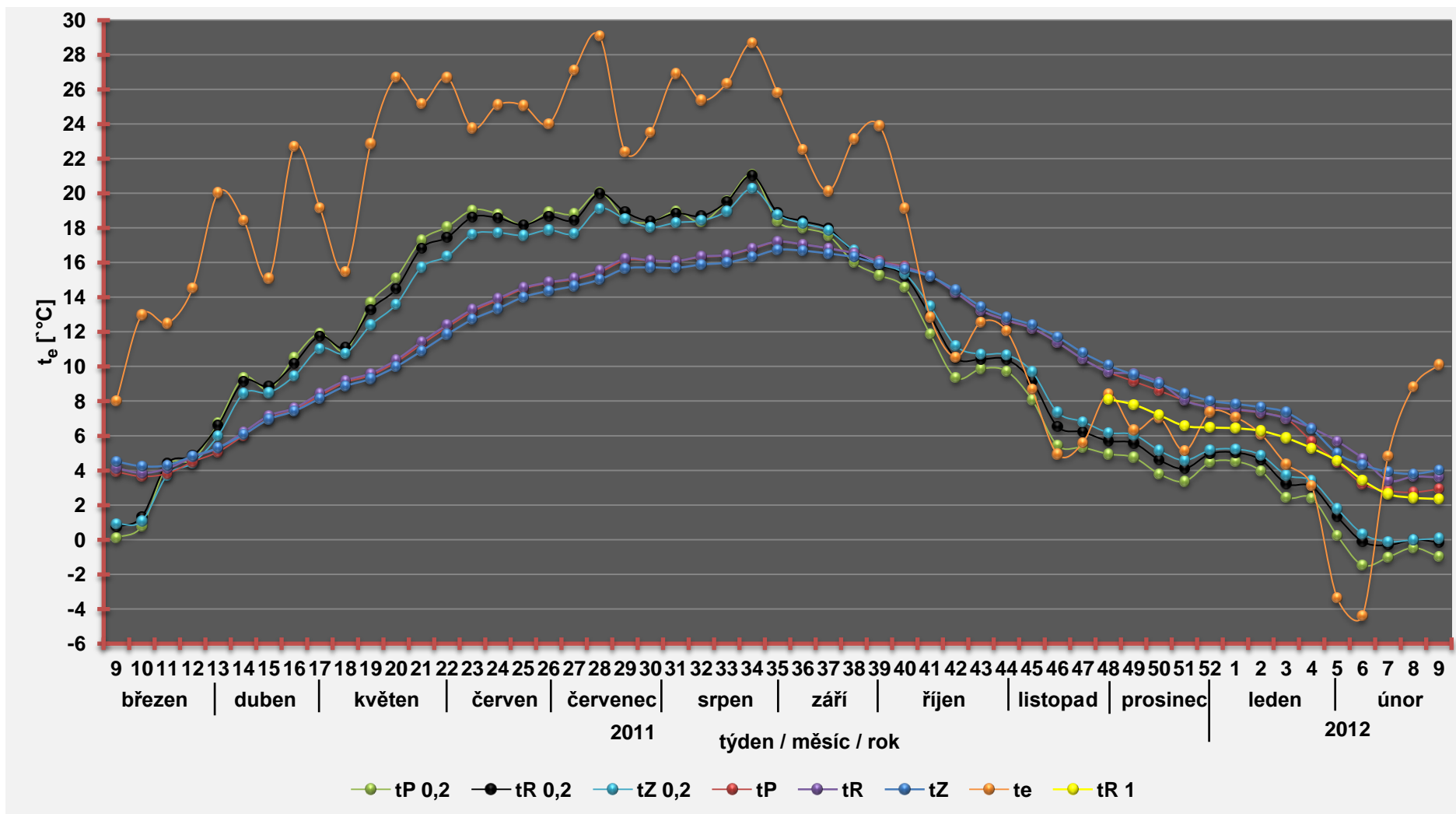
5.2 HORIZONTÁLNÍ VÝMĚNÍK

Teploty naměřené pomocí teplotních snímačů umístěných v daných hloubkách zemního masivu s horizontálním výměníkem jsou uvedeny v tabulce 6. Odečtené denní hodnoty vždy okolo 15. hodiny jsou technicky zpracovány a zprůměrovány do jednotlivých týdnů po dobu měřeného období.

Rok	měsíc	týden	Teploty zemního masivu [°C]							Externí teplota [°C]
			tP 0,2	tZ 0,2	tR 0,2	tP	tZ	tR	tR 1	
2011	březen	9.	0,1	0,9	0,7	3,9	4,5	4,1	-	8,0
		10.	0,8	1,1	1,3	3,7	4,2	3,9	-	13,0
		11.	4,3	3,7	4,4	3,8	4,3	4,1	-	12,5
		12.	4,6	4,4	4,9	4,5	4,8	4,8	-	14,5
	duben	13.	6,7	6,0	6,6	5,1	5,3	5,3	-	20,0
		14.	9,4	8,4	9,1	6,0	6,1	6,2	-	18,5
		15.	8,7	8,5	8,9	7,0	7,0	7,2	-	15,1
		16.	10,5	9,5	10,2	7,5	7,4	7,6	-	22,7
	květen	17.	11,9	11,0	11,8	8,3	8,2	8,5	-	19,2
		18.	10,9	10,8	11,1	9,1	8,9	9,2	-	15,5
		19.	13,7	12,4	13,3	9,5	9,3	9,6	-	22,9
		20.	15,1	13,6	14,5	10,3	10,0	10,4	-	26,7
		21.	17,3	15,7	16,8	11,3	10,9	11,4	-	25,2
	červen	22.	18,1	16,4	17,4	12,3	11,9	12,4	-	26,7
		23.	19,0	17,6	18,6	13,2	12,7	13,3	-	23,8
		24.	18,8	17,7	18,6	13,8	13,3	13,9	-	25,1
		25.	18,2	17,6	18,2	14,5	14,0	14,6	-	25,1
	červenec	26.	18,9	17,9	18,7	14,8	14,4	14,9	-	24,0
		27.	18,8	17,7	18,5	15,0	14,6	15,1	-	27,1
		28.	20,1	19,1	20,0	15,4	15,0	15,5	-	29,1
		29.	18,6	18,5	18,9	16,1	15,6	16,2	-	22,4
		30.	18,3	18,0	18,4	16,1	15,7	16,1	-	23,5

2011	srpen	31.	18,9	19,0	18,3	16,1	15,7	16,1	-	26,9
		32.	18,7	18,3	18,4	16,3	15,9	16,4	-	25,4
		33.	19,5	19,5	19,0	16,4	16,0	16,4	-	26,4
		34.	21,0	21,1	20,3	16,8	16,3	16,8	-	28,7
	září	35.	18,9	18,4	18,8	17,2	16,7	17,2	-	25,8
		36.	18,4	18,0	18,3	17,0	16,7	17,1	-	22,5
		37.	18,0	17,6	17,8	16,8	16,5	16,8	-	20,1
		38.	16,6	16,0	16,7	16,6	16,3	16,5	-	23,1
	říjen	39.	15,9	15,3	15,9	16,1	15,9	16,1	-	23,9
		40.	15,2	14,6	15,4	15,8	15,6	15,7	-	19,1
		41.	12,9	11,9	13,5	15,2	15,2	15,2	-	12,9
		42.	10,5	9,4	11,2	14,3	14,4	14,3	-	10,5
		43.	10,4	9,9	10,7	13,2	13,5	13,2	-	12,6
	listopad	44.	10,4	9,7	10,7	12,7	12,9	12,7	-	12,1
		45.	9,2	8,1	9,7	12,2	12,4	12,2	-	8,7
		46.	6,5	5,5	7,4	11,4	11,7	11,4	-	4,9
		47.	6,2	5,3	6,8	10,4	10,8	10,4	-	5,6
	prosinec	48.	5,7	4,9	6,2	9,7	10,1	9,7	8,1	8,4
		49.	5,6	4,8	6,1	9,1	9,5	9,6	7,8	6,3
		50.	4,6	3,8	5,2	8,6	9,0	9,1	7,2	7,1
51.		4,1	3,4	4,6	8,0	8,5	8,0	6,6	5,1	
2012	leden	52.	5,0	4,5	5,2	7,6	8,0	7,7	6,5	7,4
		1.	5,0	4,5	5,2	7,5	7,8	7,5	6,4	7,1
		2.	4,6	4,0	4,9	7,3	7,7	7,4	6,3	6,1
		3.	3,2	2,5	3,7	7,0	7,4	7,0	5,9	4,4
		4.	3,1	2,4	3,4	5,7	6,4	6,4	5,3	3,1
	únor	5.	1,3	0,2	1,8	4,0	5,0	5,7	4,6	-3,4
		6.	-0,1	-1,5	0,3	3,2	4,3	5,1	3,4	-4,4
		7.	-0,3	-1,0	-0,1	2,8	3,9	3,4	2,6	4,8
		8.	0,0	-0,5	0,0	2,7	3,8	3,6	2,4	8,8
9.		6,1	5,6	5,9	6,8	7,3	7,4	2,4	10,1	

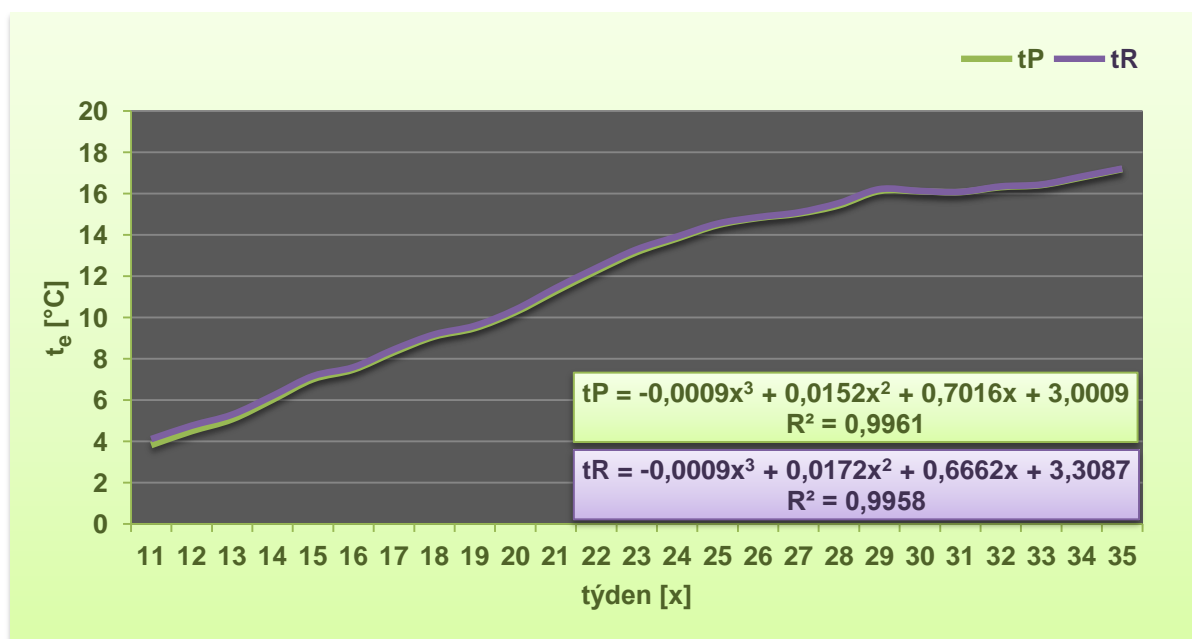
Tab. 6 Teploty zemního masivu s horizontálním výměníkem



Obr. 37 Průběh teplot zemního masivu – horizontální výměník

Průběh teplot zemního masivu v hloubkách 0,2 m, 1 m a 1,2 m v období od 1. 3. 2011 do 1. 3. 2012 je zobrazen na obr. 37. Nejnižší denní externí teplota $t_e = -6,7 \text{ °C}$ v tomto období byla naměřena dne 6. 2. 2012 kolem 15. hodiny a nejvyšší externí teplota $t_e = 34 \text{ °C}$ dne 9. 7. 2011 ve stejný čas. Na počátku měřeného období (1. 3. – 15. 3.) roku 2011 jsou teploty zemního masivu v hloubce 0,2 m (tP 0,2; tZ 0,2; tR 0,2) nižší než teploty v hloubce 1,2 m (tP ; tZ ; tR). Až do začátku topné sezóny (15. 3. 2011 – 20. 9. 2011) jsou teploty v hloubce 0,2 m (tP 0,2; tZ 0,2; tR 0,2) naopak vyšší než teploty v hloubce 1,2 m (tP ; tZ ; tR) a kopírují externí teplotu t_e . Tyto změny jsou ovlivněny průběhem externí teploty t_e v daném období. Teplota zemního masivu v hloubce 1 m (tR 1) je zobrazena v obr. 37 od 48. týdne. Teplotní čidlo snímající tuto teplotu je přidáno z důvodu reference ovlivňování oblasti zemního masivu ve vzdálenosti 1 m od obou výměníků a připojené dne 2. 12. 2011.

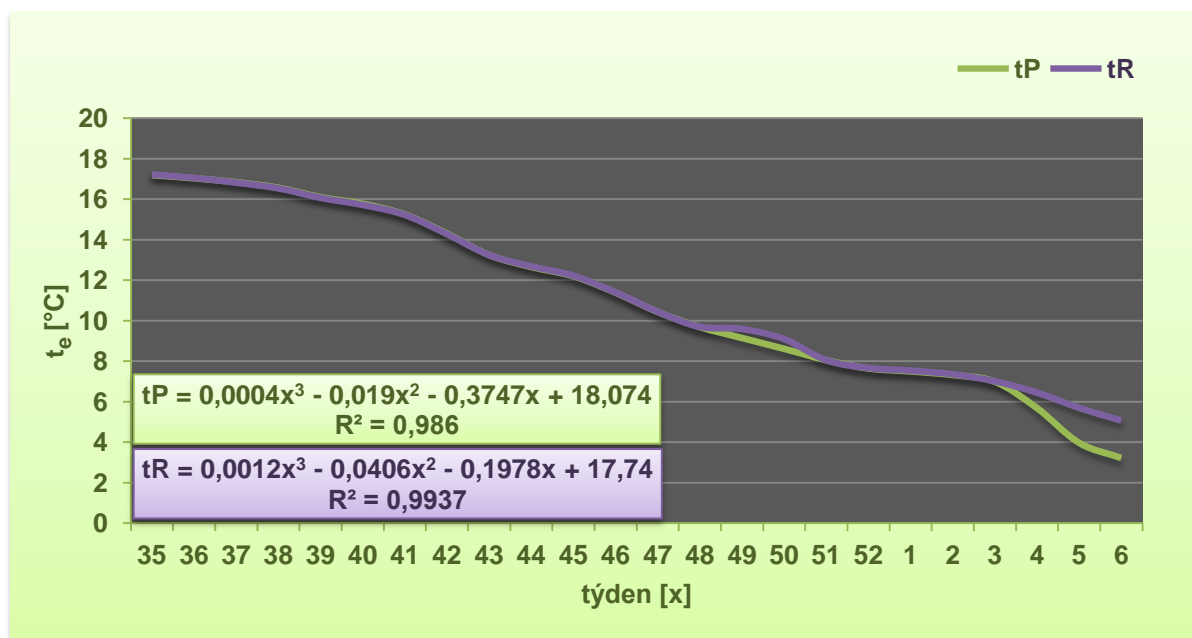
Zvyšování teplot zemního masivu v hloubce 1,2 m (tP ; tR) tedy v oblasti uložení horizontálního výměníku je znázorněno na obr. 38. V období od 14. 3. 2011 do 4. 9. 2011 je zaznamenán nárůst z teploty $3,8 \text{ °C}$ na teplotu $17,2 \text{ °C}$. Teplota zemního masivu (tP) se přes letní období zvýšila o $13,5 \text{ K}$. Na základě naměřených hodnot lze nárůst teplot tP zemního masivu v hloubce 1,2 m vyjádřit rovnicí regrese a hodnotou spolehlivosti R .



Obr. 38 Nárůst teplot zemního masivu v hloubce 1,2 m

Na teplotním čidle vzdáleném 1 m od trubek horizontálního výměníku (tR) v hloubce 1,2 m byla naměřena v 11. týdnu teplota 4,1 °C a v 35. týdnu teplota 17,2 °C. Teplota zemního masivu (tR) se v hloubce 1,2 m přes letní období zvýšila o 13,1 K. Výsledky měření potvrzují, že mimo topnou sezónu je nárůst obou teplot (tP ; tR) shodný a zemní masiv se v hloubce 1,2 m ohřeje na přibližně stejnou teplotu.

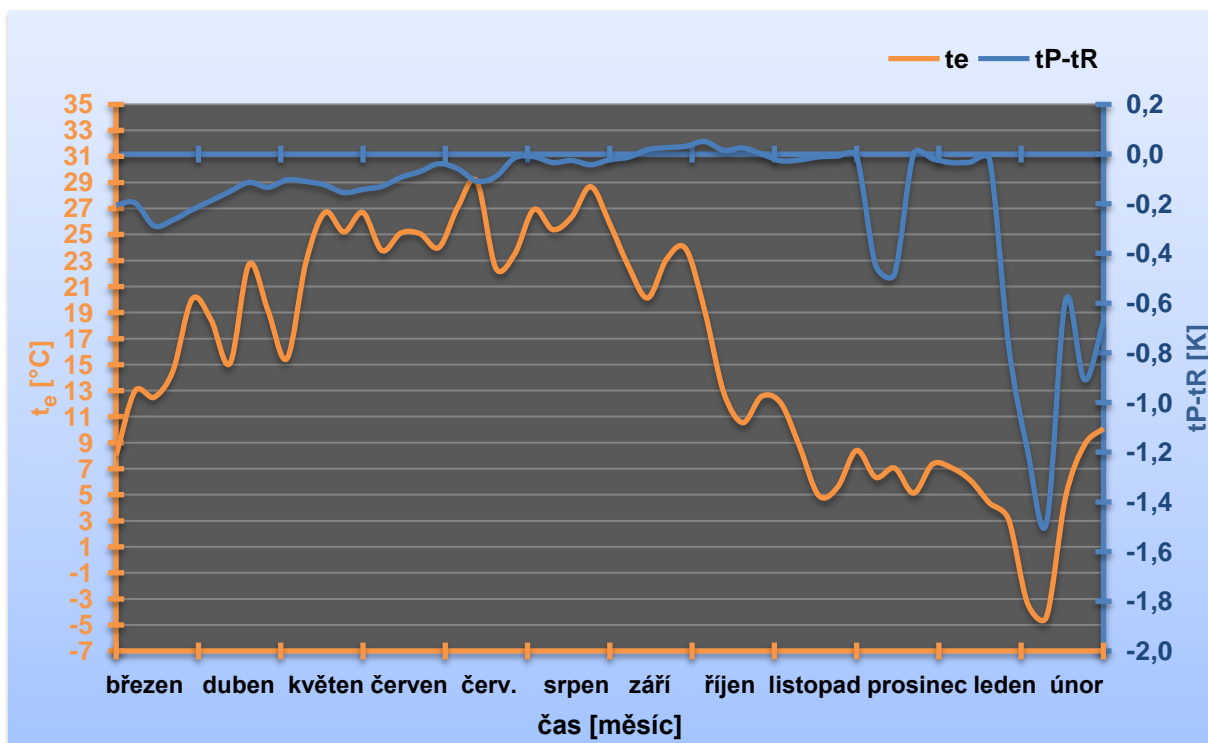
Teploty zemního masivu v průběhu zimního období v hloubce 1,2 m naopak klesaly. Trend snižování teplot je zobrazen na obr. 39. Ve dnech od 4. 9. 2011 do 12. 2. 2012 je naměřen pokles teplot zemního masivu z teploty 17,2 °C na teplotu 3,2 °C, tedy o 14 K. Na základě naměřených hodnot lze pokles teplot tP zemního masivu v hloubce 1,2 m vyjádřit rovnicí regrese a hodnotou spolehlivosti R .



Obr. 39 Pokles teplot zemního masivu v hloubce 1,2 m

Zobrazený pokles teplot tR na obr. 39 měřený ve stejném období odpovídá oblasti zemního masivu 1 m od horizontálního výměníku. Pokles z teploty 17,2 °C na 5,1 °C, tedy rozdíl 12,1 K, je v průběhu měřeného období v podstatě shodný s poklesem teploty tP . Výsledky opět poukazují na reálný předpoklad, že oblast zemního masivu 1 m od výměníku je ovlivňována odvodem tepla horizontálním výměníkem uloženým ve stejné hloubce 1,2 m.

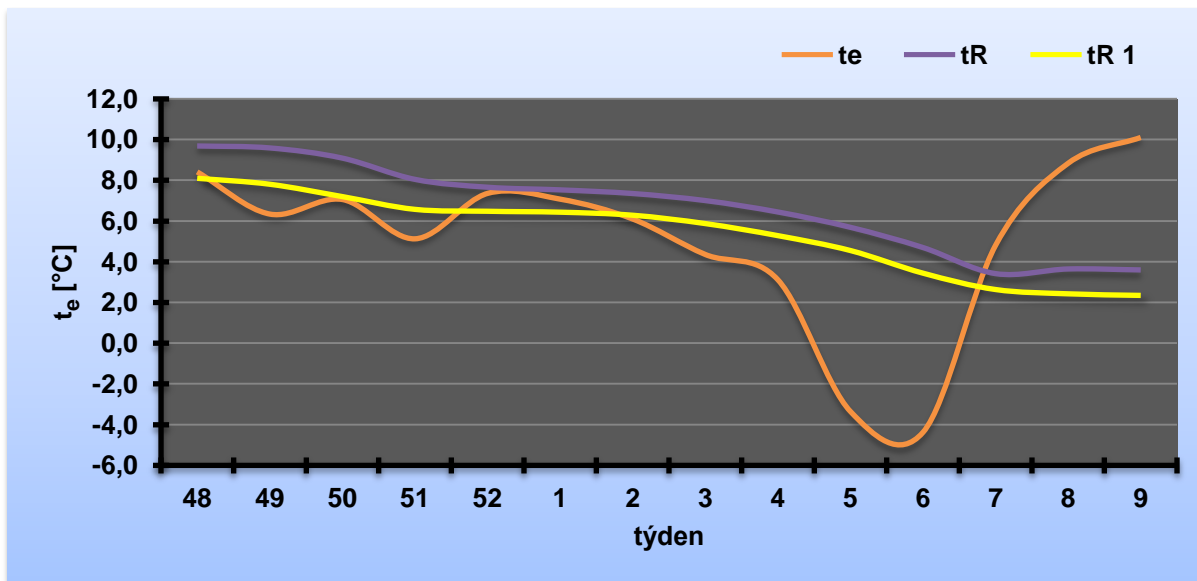
V dalším ověřování horizontálního výměníku jsme sledovali rozdíl teplot $t_P - t_R$ zemního masivu v hloubce 1,2 m mezi oblastí horizontálního výměníku a oblastí referenčního pozemku vzdáleného 1 m od horizontálního výměníku (obr. 40)



Obr. 40 Teplotní rozdíl $t_P - t_R$ zemního masivu v hloubce 1,2 m

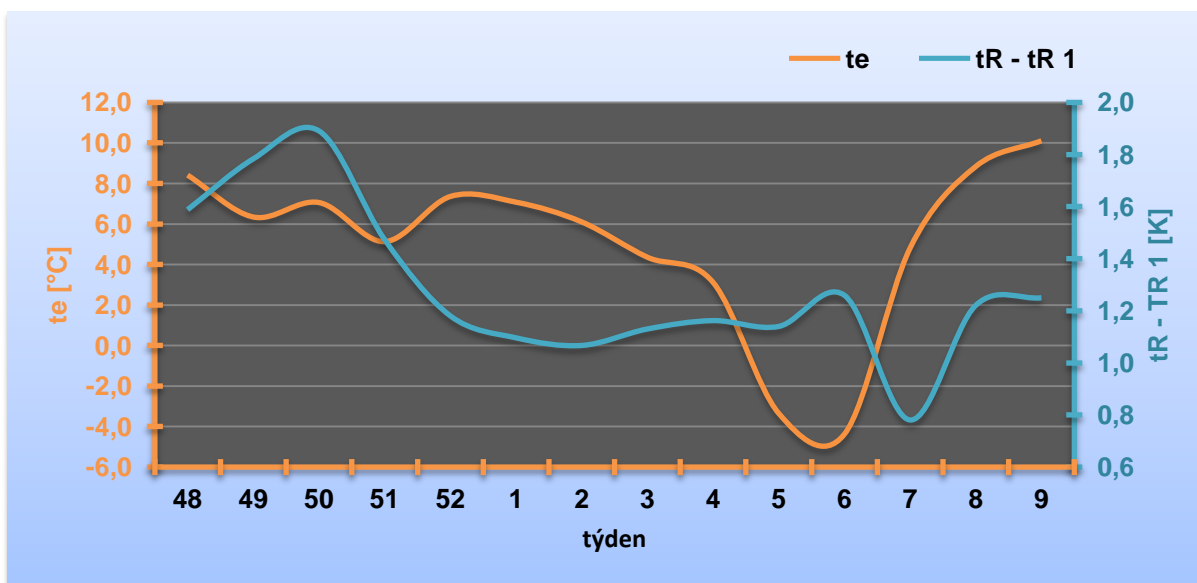
Rozdíl teplot $t_P - t_R$ na počátku celého měřeného období od 1. 3. 2011 nabývá záporných a kladných hodnot. Záporné hodnoty trvají v období od 1. 3. do 15. 9. Kladných hodnot dosáhl rozdíl teplot v období od 16. 9 - 26. 10. Poté teplotní rozdíl klesl opět do záporných hodnot a do konce sledovaného období platí, že $t_P - t_R < 0$. V tomto období je rozdíl teplot zaznamenán v rozmezí $0,0 \text{ K} \div -1,9 \text{ K}$. Naměřené difference teplot se pohybují v rozsahu přesnosti měření teploty.

Potvrzení ovlivňování zemního masivu v oblasti referenčního pozemku můžeme vidět na průběhu teplot t_R a $t_R 1$ v závislosti na externí teplotě t_e (obr. 41) po dobu nainstalovaného teplotního čidla pro teplotu $t_R 1$ v hloubce 1 m a vzdálenosti přibližně 10 m od horizontálního výměníku, tedy od 48. týdne do konce měřeného období. Teplota t_R klesla o 6,3 K oproti teplotě $t_R 1$, která klesla o 5,7 K.



Obr. 41 Průběh referenčních teplot

Ovlivnění rovněž dokazuje obr. 42, kde rozdíl teplot $tR - tR 1$ od počátku zmíněného období klesá až do konce měřeného období. Teplotní rozdíl klesl z 1,8 K na 0,8 K.



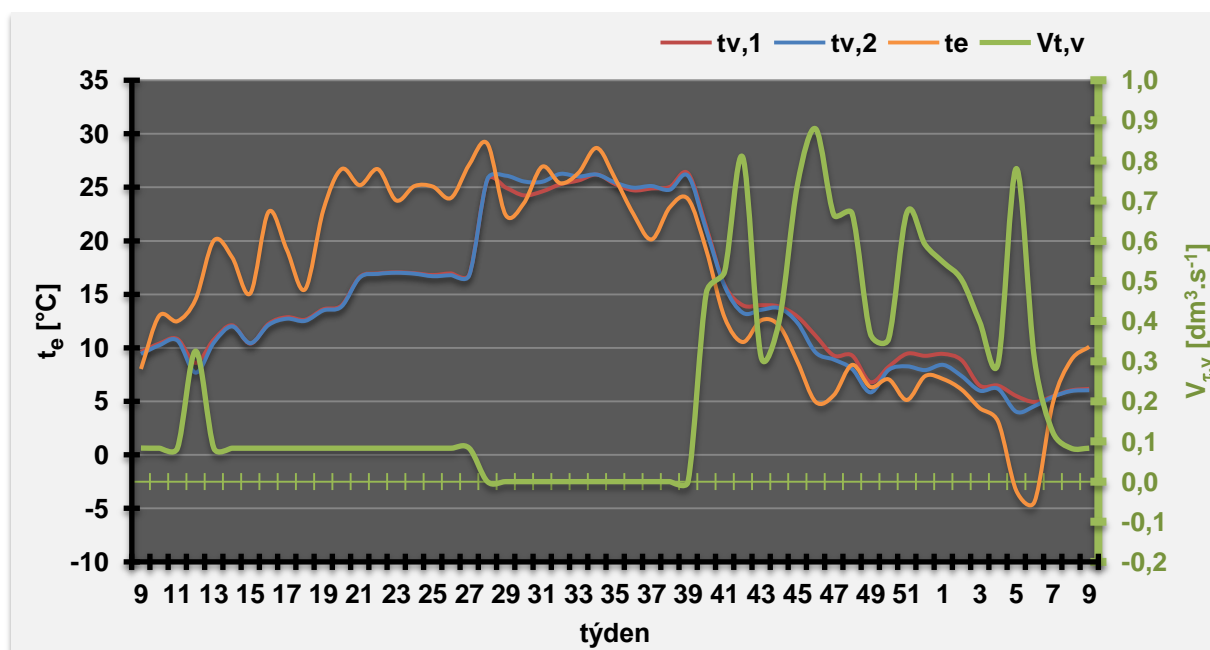
Obr. 42 Teplotní rozdíl $tR - tR 1$

5.3 CHLADÍCÍ VÝKON VÝPARNÍKU

Výpočet chladicího výkonu vychází ze vstupní a výstupní teploty na výparníku tepelného čerpadla spolu s objemovým tokem nemrznoucí směsi cirkulující v primárním okruhu tepelného čerpadla. Výpočet chladicího výkonu je podrobněji

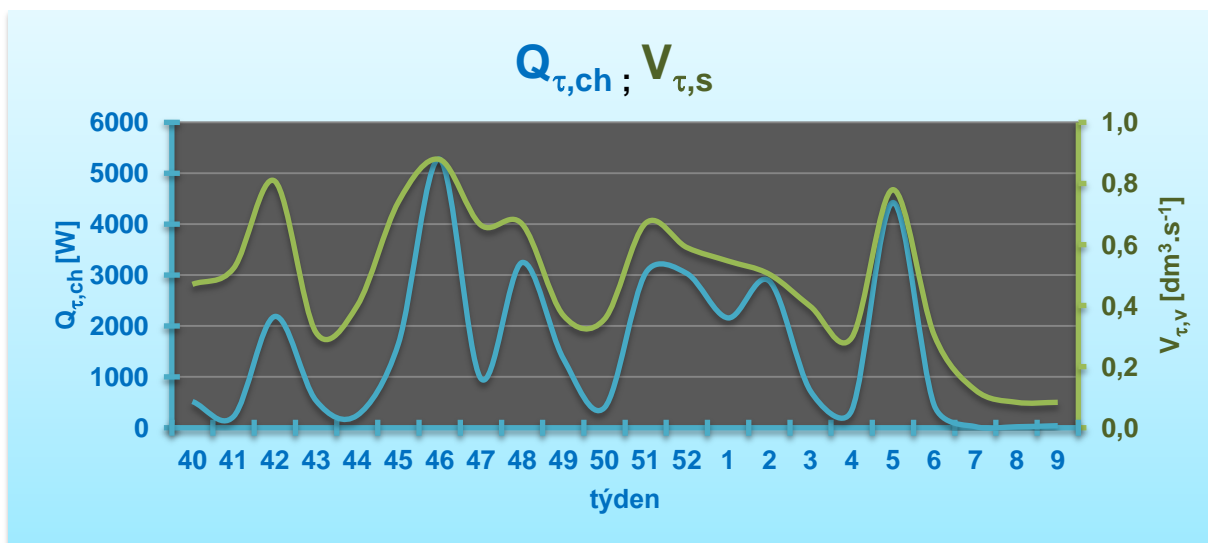
rozeepsán v kapitole 3.4 Teoretický rozbor. Horizontální výměník i výměník Slink jsou svedeny do tepelného čerpadla o topném výkonu 17 kW s možností připojení primárních okruhů vertikálních výměníků. Cirkulaci směsi zajišťuje vestavěné oběhové čerpadlo studeného okruhu typu WILO TOP-S 27/7,5 EM s nominálním průtokem studeného okruhu $0,9 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$.

Teplotní snímače umístěné na tomto okruhu před tepelným čerpadlem odečítají vstupní a výstupní teplotu ($t_{v,1}$; $t_{v,2}$) na výparníku a dále je odečten objemový tok směsi $V_{\tau,v}$. Průběh těchto veličin je znázorněn na obr. 43 v závislosti na externí teplotě a z průběhu je zřejmý konec a začátek topného období. Teploty $t_{v,1}$ a $t_{v,2}$ s objemovým průtokem $V_{\tau,v}$ vymezují letní odstavení energetického zařízení od 28. týdne dne 11. 7. 2011 do 39. týdne 6. 10. 2011. V topném období se objemový průtok pohybuje průměrně kolem $0,5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ a narůstá při klesající externí teplotě t_e až na $0,9 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Nemrznoucí směs vstupující na výparník předává obsaženou tepelnou energii chladivu, které cirkuluje ve vnitřním okruhu tepelného čerpadla a tím se ochladí na teplotu $t_{v,2}$. Při nejnižší naměřené externí teplotě $-6,7 \text{ }^\circ\text{C}$ dne 7. 2. 2012 dosáhla vstupní teplota $t_{v,1}$ hodnoty $3,7 \text{ }^\circ\text{C}$ a výstupní teplota $t_{v,2}$ $3,6 \text{ }^\circ\text{C}$. Maximální teplotní rozdíl $t_{v,1} - t_{v,2}$ byl v průběhu topné sezóny naměřen dne 1. 1. 2012 a jeho hodnota dosáhla $3,9 \text{ K}$ při externí teplotě $4,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Průměrně se teplotní rozdíl pohyboval kolem $0,7 \text{ K}$.



Obr. 43 Průběh vstupní a výstupní teploty a objemového toku směsi

Z naměřených veličin lze vypočítat chladicí výkon po dobu topného období. Po dosazení naměřených hodnot do rovnic (14), (11) a (10) můžeme vypočítat a zobrazit průběh chladicího výkonu od 40. týdne 2011 do 9. týdne roku 2012. (obr. 44).



Obr. 44 Průběh chladicího výkonu a objemového toku

Nejvyšší hodnota chladicího výkonu byla dosažena dne 15. 11. 2011 na 5279 W a průměrně se pohybovala kolem 1534 W.

Z důvodů umístění měřících zařízení teplot a objemového průtoku před tepelným čerpadlem, resp. za propojením primárních okruhů zemních horizontálních i vertikálních výměníků, nelze vyjádřit chladicí výkon jednotlivě pro horizontální výměník a výměník typu Slink.

Výpočet topného výkonu na kondenzátoru tepelného čerpadla nebylo z důvodu nenainstalovaných měřících zařízení pro odečtení vstupní a výstupní teploty topné vody a objemového toku kondenzátorem možné uskutečnit. V důsledku nenaměřených hodnot nebyla tedy možnost vypočítat příkon kompresoru v okruhu chladiva a výkonové číslo neboli topný faktor.

6. DISKUSE A ZÁVĚR

V diplomové práci byly sledovány a analyzovány teploty zemního masivu po dobu letního a zimního období od 1. 3. 2011 do 1. 3. 2012 v různých hloubkách v oblasti uložení horizontálního výměníku a výměníku typu Slink. Zemní masiv v oblasti zemních výměníků dokáže přes letní období plně regenerovat a ohřeje se na přibližně stejnou teplotu, jaká je v zemním masivu mimo tuto oblast. Naměřené teplotní difference zemního masivu v hloubce 1,2 m, kde jsou zemní výměníky uloženy a zemního masivu ve vzdálenosti 1 m od trubky kolektoru se v topném období pohybují v rozsahu přesnosti měření teplot.

Výsledky analýzy teplot zemního masivu v oblasti výměníku typu Slink potvrzují ovlivňování referenčních čidel umístěných ve stejných hloubkách a 1 m od krajní trubky výměníku. Odvod tepla dosahuje do referenčního zemního masivu a ovlivňuje tím instalované teplotní snímače. Teplotní rozdíl mezi teplotou zemního masivu v hloubce 1,2 m a referenční teplotou ve stejné hloubce po dobu zimního období dosáhl 0,8 K a letního období 0,5 K. Rovnice nárůstu teplot zemního masivu v hloubce 1,2 m je zobrazena na obr. 34 a rovnice poklesu teplot na obr. 35. Teplotní nárůst a pokles lze považovat v podstatě za shodné. Výsledky analýzy teplot zemního masivu v oblasti horizontálního výměníku opět ukazují reálné teplotní ovlivnění referenčního pozemku odvodem tepla horizontálním výměníkem. Teplotní rozdíl mezi teplotou zemního masivu v hloubce 1,2 m a referenční teplotou ve stejné hloubce po dobu zimního období dosáhl 1,9 K a letního období nepatrných 0,1 K. Rovnice nárůstu teplot zemního masivu v hloubce 1,2 m je zobrazena na obr. 38 a rovnice poklesu teplot na obr. 39. Teplotní nárůst a pokles teplot lze opět považovat za shodné.

Měření na teplotním senzoru instalovaném v hloubce 1m ve vzdálenosti přibližně 10 m od horizontálního zemního výměníku prokázalo, že původní referenční senzor vzdálený pouze 1 m od výměníku byl odběrem tepla ovlivňován. Teploty na teplotním senzoru vzdáleném o 10 m byly nižší v průměru o 1 K.

Sledování teplot zemního masivu bude v dalším průběhu zaměřeno na počáteční teplotní deficit, se kterým zemní masiv vstupuje do topného období.

7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ANONYM, 2005. Ground - source heat pump project analysis. Minister of Natural Resources Canada: 70
- [2] ANONYM, 2004. Tepelná čerpadla IVT – Projekční podklady Verze 6.1. Praha. Tepelná čerpadla IVT, s.r.o.:33
- [3] Demir, H. et al., 2009. Heat transfer of horizontal parallel pipe ground heat, Thermal Engineering, Yildiz Technical University: 29
- [4] Electropaedia. *Energy Conversion and Heat Engines* [online]. 2005 [cit. 2012-01-11]. Dostupné z: http://www.poweruk.com/heat_engines.htm
- [5] Firemní materiály společnosti VESKOM s.r.o.
- [6] GEROTop. Primární okruhy, Odborný seminář pro pokročilé, 2/2012, Praha
- [7] GE-TRA. *Tepelná čerpadla – primární okruhy* [online]. 2012 [cit. 2012-02-28]. Dostupné z: <http://www.ge-tra.cz/problematika/tepelna-cerpadla-primarni-okruhy.htm>
- [8] Monzo, P. M. 2011. Comparison of different Line Source Model approaches Test in U-pipe Borehole Heat Exchanger, Master os Science Thesis, Stockholm
- [9] Myslil, V. *Nízkopotenciální teplo*. 1. Vydání. 2007
- [10] Neuberger, P., Adamovský, D., Adamovský, R. *Termomechanika*. 1. vydání. Praha: Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, 2007. 191 s. ISBN 978-80-213-1634-8
- [11] Piechowski, M. 1999. Heat and mass transfer model of a ground heat exchanger, Int. J. Energy Res.:23
- [12] Srdečný, K. , Truxa, J., *Tepelná čerpadla*. 2. aktualizované vydání. ERA, Brno, 2007. 68 s. ISBN 978-80-7366-089-5
- [13] Termo. *Tepelná čerpadla NIBE* [online] 2008. [cit. 2012-01-24]. Dostupné z: <http://www.termo-litvinov.cz/tepelna-cerpadla-nibe.php>

- [14] The Engineering Tool Box. *Ethylene Glycol Heat-Transfer Fluid*. [online]. [cit. 2012-04-02]. Dostupné z: http://www.engineeringtoolbox.com/ethylene-glycol-d_146.html
- [15] TIFR-therm *Voda jako zdroj tepla* [online]. 2005 [cit. 2012-0-02]. Dostupné z: <http://www.tifr.cz/voda.php>
- [16] Tzb-info. *Tepelná čerpadla pro každého II*. [online]. 4/2002 [cit. 2012-01-06]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=957&h=10&pl=39>
- [17] Vejvar Tomáš. *Chladiva a chladicí technika. Závěrečná ročníková zpráva, duben 2004*. SPŠ Strojnická Tábor
- [18] VESKOM. *Veskom Group*. [online]. 2012 [cit. 2012-03-01]. Dostupné z: <http://www.veskom.cz/cz/veskom-group.htm>
- [19] Viessmann. *Tepelná čerpadla VITOCAL, Odborný seminář pro pokročilé*. 2/2012, Praha
- [20] Viessmann. *Tepelná čerpadla* [online]. 3/2010 [cit. 2012-02-26]. Dostupné z: http://www.viessmann.cz/cs/press/aktuelles/teplo_z_p_irody.html
- [21] Yan S., Yang Y., Wei N., 2006. Impacts of soil and pipe thermal conductivity on performance of horizontal. Proceedings of the Sixth International Conference for Enhanced Building Operations, November 6-9,2006. Shenzhen, China:6

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1 Rozložení solární energie [1]	3
Obr. 2 Roční průběh tepla v půdě [20].....	8
Obr. 3 Studny pro jímání tepla [13].....	9
Obr. 4 Přívod a odvod vzduchu [19]	11
Obr. 5 Funkce tepelného čerpadla [1]	13
Obr. 6 p – v Diagram [4]	14
Obr. 7 t - s Diagram [4]	14
Obr. 8 p – h Diagram [19]	14
Obr. 9 Pracovní bod TČ země/voda [19]	16
Obr. 10 SCROLL kompresor [19]	17
Obr. 11 Digital SCROLL [19]	18
Obr. 12 Bivalentní paralelní provoz [19]	21
Obr. 13 Bivalentní alternativní provoz [19].....	21
Obr. 14 Geotermální sonda [13]	22
Obr. 15 Horizontální kolektor [13]	23
Obr. 16 Zemní výměník Slinky [6].....	24
Obr. 17 Uložení kolektoru [6]	25
Obr. 18 Uložení potrubí [1]	26
Obr. 19 Systém uložení kolektoru [6].....	26
Obr. 20 Pískové lože [6]	27
Obr. 21 Bez pískového podloží [6].....	28
Obr. 22 Zemní rýhovačka [6]	29
Obr. 23 Dimenze potrubí [7]	29
Obr. 24 PE do pískového lože [6]	30
Obr. 25 PE do nepískového lože [6].....	30
Obr. 26 Umístění rozdělovače uvnitř objektu [2].....	33
Obr. 27 Umístění rozdělovače ve sběrné šachtě vně objektu [2].....	33
Obr. 28 Objekt spol. VESKOM s.r.o. [18].....	37
Obr. 29 Výměník typu Slink	39
Obr. 30 Horizontální zemní výměník	40
Obr. 31 Hustota 100% ethylenglykolu [14].....	42
Obr. 32 Měrná tepelná kapacita 30% etylenglykolu [14].....	43

Obr. 33 Průběh teplot zemního masivu – výměník Slink	46
Obr. 34 Nárůst teplot zemního masivu v hloubce 1,2 m	47
Obr. 35 Pokles teplot zemního masivu v hloubce 1,2 m	48
Obr. 36 Teplotní rozdíl $t_S - t_R$ zemního masivu v hloubce 1,2 m	49
Obr. 37 Průběh teplot zemního masivu – horizontální výměník.....	52
Obr. 38 Nárůst teplot zemního masivu v hloubce 1,2 m	53
Obr. 39 Pokles teplot zemního masivu v hloubce 1,2 m	54
Obr. 41 Průběh referenčních teplot	56
Obr. 42 Teplotní rozdíl $t_R - t_{R1}$	56
Obr. 43 Průběh vstupní a výstupní teploty a objemového toku směsi	57
Obr. 44 Průběh chladicího výkonu a objemového toku	58
Tab. 1 Hlavní parametry půdní kompozice (20°C) [21]	4
Tab. 2 Půdní zásoba tepla [6].....	6
Tab. 3 Typy trubek a jejich tepelné vlastnosti [21]	7
Tab. 4 Geologické složení zemního masivu [5]	38
Tab. 5 Teploty zemního masivu s výměníkem typu Slink	45
Tab. 6 Teploty zemního masivu s horizontálním výměníkem	51

SEZNAM POUŽITÝCH OZNAČENÍ

Označení	Veličina	Jednotka
A	Energie ve formě příkonu	$[\text{J.kg}^{-1}]$
A_k	Plocha kolektoru	$[\text{m}^2]$
A_{1kW}	Plocha na 1 kW výkonu	$[\text{m}^2.\text{kW}^{-1}]$
c	Měrná tepelná kapacita	$[\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}]$
$c_{s,v}$	Měrná tepelná kapacita směsi na výparníku	$[\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}]$
$c_{w,k}$	Měrná tepelná kapacita vody na kondenzátoru	$[\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}]$
L	Délka kolektoru	$[\text{m}]$
$m_{\tau,k}$	Hmotnostní tok na kondenzátoru	$[\text{kg.s}^{-1}]$
$m_{\tau,v}$	Hmotnostní tok na výparníku	$[\text{kg.s}^{-1}]$
n	Měrná vlhkost	$[\text{kg.kg}^{-1}]$
P	Příkon	$[\text{W}]$
Q_o	Měrné odvedené teplo na kondenzátoru	$[\text{J.kg}^{-1}]$
Q_{op}	Specifický výkon odběru z půdy	$[\text{W.m}^{-2}]$
Q_p	Měrné přivedené teplo na výparník	$[\text{J.kg}^{-1}]$
$Q_{\tau,ch}$	Chladicí výkon	$[\text{W}]$
$Q_{\tau,t}$	Topný výkon	$[\text{W}]$
$q_{2,3}$	Výparné teplo na kondenzátoru	$[\text{J.kg}^{-1}]$
$q_{4,1}$	Měrné teplo na výparníku	$[\text{J.kg}^{-1}]$
t	Rozteč trubek	$[\text{m}]$
t_e	Externí teplota	$[\text{°C}]$
t_k	Střední teplota na kondenzátoru	$[\text{K}]$
$t_{k,1}$	Teplota na vstupu kondenzátoru	$[\text{°C}]$
$t_{k,2}$	Teplota na výstupu kondenzátoru	$[\text{°C}]$
t_P	Teplota v hloubce 1,2 m, přívod horizontálního výměníku	$[\text{°C}]$
$t_{P,0,2}$	Teplota v hloubce 0,2 m , přívod horizontálního výměníku	$[\text{°C}]$
t_R	Teplota v hloubce 1,2 m, 1 m od horizontálního výměníku	$[\text{°C}]$
$t_{R,0,2}$	Teplota v hloubce 0,2 m, 1 m od horizontálního výměníku	$[\text{°C}]$
$t_{R,1}$	Teplota v hloubce 1 m, cca 10 m od horizontálního vým.	$[\text{°C}]$
t_S	Teplota v hloubce 1,2 m na výměníku typu Slink	$[\text{°C}]$
$t_{S,0,2}$	Teplota v hloubce 0,2 m nad výměníkem typu Slink	$[\text{°C}]$
t_v	Střední teplota na výparníku	$[\text{K}]$

Označení	Veličina	Jednotka
$t_{v,1}$	Teplota na vstupu výparníku	[°C]
$t_{v,2}$	Teplota na výstupu výparníku	[°C]
t_z	Teplota v hloubce 1,2 m, zpátečka horizontálního výměníku	[°C]
$t_{z,0,2}$	Teplota v hloubce 0,2 m, zpátečka horizontálního výměníku	[°C]
$V_{\tau,k}$	Objemový tok na kondenzátoru	[m ³ .s ⁻¹]
$V_{\tau,v}$	Objemový tok na výparníku	[m ³ .s ⁻¹]
α	Tepelná difuzivita	[m ² .s ⁻¹]
$\Delta U_{2,3}$	Změna vnitřní energie při kondenzaci	[J.kg ⁻¹]
$\Delta U_{4,1}$	Změna vnitřní energie při vypařování	[J.kg ⁻¹]
ε_t	Topný faktor	[-]
λ	Součinitel tepelné vodivosti	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
$\rho_{e,v}$	Hustota etylénglykolu	[kg.m ⁻³]
ρ_s	Hustota půdy	[kg.m ⁻³]
$\rho_{s,v}$	Hustota směsi na výparníku	[kg.m ⁻³]
$\rho_{w,k}$	Hustota vody na kondenzátoru	[kg.m ⁻³]
$\rho_{w,v}$	Hustota směsi na výparníku	[kg.m ⁻³]