

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra mechaniky a strojnictví



Bakalářská práce

**Tepelný potenciál zemního masivu ve funkci
nizkoteplotního zdroje energie**

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

Autor práce: Barbora Černilová

© 2019 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Barbora Černilová

Technologická zařízení staveb

Název práce

Tepelný potenciál zemního masivu ve funkci nízkoteplotního zdroje energie

Název anglicky

The thermal potential of the ground massif as a low-temperature energy source

Cíle práce

Analýza současných systémů využívání zemního masivu jako nízkoteplotního zdroje energie tepelných čerpadel a vazeb mezi teplotami masivu a teplotou kapaliny zemního výměníku.

Metodika

1. Rešerše o současném stavu řešení problematiky v ČR a v zahraničí.
2. Analýza poznatků z rešerše.
3. Specifikace prognózy dalšího vývoje.
4. Diskuse a závěr.

Doporučený rozsah práce

40 stran

Klíčová slova

oxid uhličitý; chladivo (R 744); nadkritické cykly; chladicí cykly; mrazicí cykly; tepelná čerpadla; spotřeba energie; emise

Doporučené zdroje informací

- ADAMOVSKEÝ, Daniel, NEUBERGER, Pavel, ADAMOVSKEÝ, Radomír. Changes in energy and temperature in the ground mass with horizontal heat exchangers – The energy source for heat pumps. *Energy and Buildings*. 2015, 92, 107-115. ISSN 0378-7788.
- BANKS David. *An Introduction to Thermogeology: Ground Source Heating and Cooling*. 2nd ed.; Publisher: John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, West Sussex, United Kingdom of Great Britain, 2012. 510 s. ISBN 978-0-470-67034-7.
- BRANDL, H. Energy foundations and other thermo-active ground structures. *Géotechnique*, 2006, 56, 2, 81 – 122. ISSN 0016-8505.
- Hepburn, B.D.P.; Sedighia, M.; Thomas, H. R.; Manju. Field-scale monitoring of a horizontal ground source heat system. *Geothermics* 2016, 61, 86–103.
- Inflow: tzbinfo-stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [online časopis]. 2010 – 2014. Dostupné z <http://www.tzb-info.cz/>. ISSN 1801-4399.
- NEUBERGER, Pavel, ADAMOVSKEÝ Radomír, ŠEDOÁ Michaela. Temperatures and heat flow in a soil enclosing a slinky horizontal heat exchanger, *Energies*. 2014, 7, 972-987. ISSN 1996-1073.
- Wu, Y.; Gan, G.; Verhoef, A.; Vidale, P. L.; Gonzalez R. G. Experimental measurement and numerical simulation of horizontal-coupled slinky ground source heat exchangers. *Applied Thermal Engineering* 2010, 30, 2574-2583.
-

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Ing. Radomír Adamovský, DrSc.

Garantující pracoviště

Katedra mechaniky a strojnictví

Elektronicky schváleno dne 29. 1. 2018

doc. Ing. Pavel Neuberger, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 30. 1. 2018

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 28. 03. 2019

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Tepelný potenciál zemního masive ve funkci nízkoteplotního zdroje energie" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31. března 2019

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala svému vedoucímu práce panu prof. Ing. Radomíru Adamovskému DrSc. za cenné rady a připomínky.

Tepelný potenciál zemního masivu ve funkci nízkoteplotního zdroje energie

Abstrakt

Tato práce se zabývá analýzou současných systémů, které využívají zemního masivu jako nízkoteplotního zdroje energie pro tepelná čerpadla a vazeb mezi teplotami masivu a teplotou kapaliny zemního výměníku. V první části práce je popsán princip funkce tepelného čerpadla, dále se zde uvádějí rozdíly mezi horizontálními a vertikálními zemními výměníky tepla a rozdíly mezi jednotlivými konfiguracemi horizontálních zemních výměníků. Další část je věnována vlastnostem půdy. Zde je popsáno čerpání tepelného potenciálu, důležitost nízkých tepelných odporů, proč je sluneční záření důležitým zdrojem energie, teplotní rozložení v hladinách zemního masivu a vlhkost půdy a její vliv na efektivitu energetického systému s tepelným čerpadlem, součinitel tepelné vodivosti, měrná tepelná kapacita a součinitel přestupu tepla. Dále se zde řeší nemrznoucí směsi a jejich druhy společně s chladivem. V poslední části je pak specifikace prognózy dalšího vývoje.

Klíčová slova: oxid uhličitý; chladivo (R 744); nadkritické cykly; chladící cykly; mrazící cykly; tepelná čerpadla; spotřeba energie; emise

The thermal potential of the ground massif as a low-temperature energy source

Abstract

This thesis focuses on the analysis of current systems that use the Earth's massif as a low-temperature energy source for heat pumps and the links between the massif and the heat of the earth heat exchanger. The first part of the thesis describes the principle of the heat pump function, the differences between the horizontal and vertical ground heat exchangers and the differences between the individual configurations of the horizontal ground heat exchangers. The next part focuses on soil properties. Here is described the exhaustion of the thermal potential, the importance of low thermal resistances, why solar radiation is an important source of energy, temperature distribution in the earth mass levels and soil moisture and its influence on the efficiency of the heat pump energy system, coefficient of thermal conductivity, specific heat capacity and coefficient of transfer heat. Furthermore, antifreeze solutions and their types are dealt with together with refrigerants. In the last part there is specification of prognosis of further development.

Keywords: carbon dioxide; refrigerant (R 744); supercritical cycles; cooling cycles; freezing cycles; heat pumps; power consumption; emission

Obsah

1 Úvod.....	9
2 Rešerše o současném stavu řešení problematiky v ČR a v zahraničí.....	10
2.1 Tepelná čerpadla	10
2.1.1 Princip funkce tepelného čerpadla	10
2.1.2 Tepelné čerpadlo ZEMĚ-VODA	11
2.1.3 Topný faktor	12
2.2 Tepelné výměníky využívající zemní masiv	12
2.2.1 Horizontální tepelné výměníky	13
2.2.2 Srovnání konfigurací horizontálních zemních výměníků	17
2.2.3 Vertikální tepelné výměníky	17
2.2.4 Porovnání horizontálních a vertikálních zemních výměníků tepla	18
2.2.5 Energetické piloty	19
2.3 Vlastnosti půdy	20
2.3.1 Regenerace půdy	20
2.3.2 Tepelné odpory	20
2.3.3 Sluneční záření jako zdroj energie	23
2.3.4 Teplota v zemním masivu	24
2.3.5 Vlhkost půdy	25
2.3.6 Tepelná vodivost	26
2.3.7 Měrná tepelná kapacita	28
2.4 Nemrznoucí kapaliny	29
2.4.1 Líh	29
2.4.2 Glycerín	29
2.4.3 Etylénglykol	30
2.4.4 Propylenglykol	30
2.5 Chladiva	31
2.5.1 Rozdělení chladiv	31
2.5.2 CO ₂	32
3 Specifikace prognózy vývoje	34
3.1 Tepelná čerpadla	34
3.2 Chladiva	36
4 Diskuze a závěr	37
5 Seznam použitých zdrojů	38

1 Úvod

Ubývající množství neobnovitelných přírodních zdrojů a jejich vzrůstající cena vede k rostoucí poptávce po zdrojích energie, které jsou obnovitelné. To znamená po zdrojích, které jsou volně dostupné a nevyčerpatelné. Těmito obnovitelnými zdroji energie jsou například voda, vzduch, země, sluneční energie a další. Jedním z nejčastěji používaných, ekologicky nenáročných a provozně úsporných zařízení, které využívají obnovitelných zdrojů energie jsou tepelná čerpadla. Tepelná čerpadla dokáží získat z použitého prostředí teplo a transformovat jej z nižší teplotní hladiny na teplotní hladinu vyšší.

V České republice se nejčastěji používají tepelná čerpadla, která získávají energii ze vzduchu. Vzrůstající oblíbenosti nabývají hlavně díky jejich nízké počáteční investici a kvůli jednoduché a rychlé instalaci.

Z hlediska stálosti teplot jsou nejvýhodnějším zdrojem energie zemní nebo horninový masiv, ze kterého získáváme energii pomocí horizontálních nebo vertikálních výměníků. Vertikální zemní výměníky jsou velice efektivními a na prostor pozemku nenáročnými prostředky pro získávání energie, jejich počáteční investice je však vysoká. Horizontální zemní výměníky tak představují kompromis mezi investičními náklady a efektivitou.

Aby energetický systém s tepelným výměníkem byl co nejefektivnější, je potřeba, aby půda, nemrznoucí směs a materiál, ze kterého je vyrobena trubka výměníku, splňovaly určitá kritéria. Těmito kritérii například jsou: co nejmenší tepelné odpory nebo co nejvyšší součinitel tepelné vodivosti.

Tepelné čerpadlo čerpá teplo ze zemního masivu pomocí nemrznoucí směsi, která koluje v trubkách jeho výměníku. Od nemrznoucí směsi je požadováno, aby byla co nejméně toxická pro své prostředí.

2 Rešerše o současném stavu řešení problematiky v ČR a v zahraničí

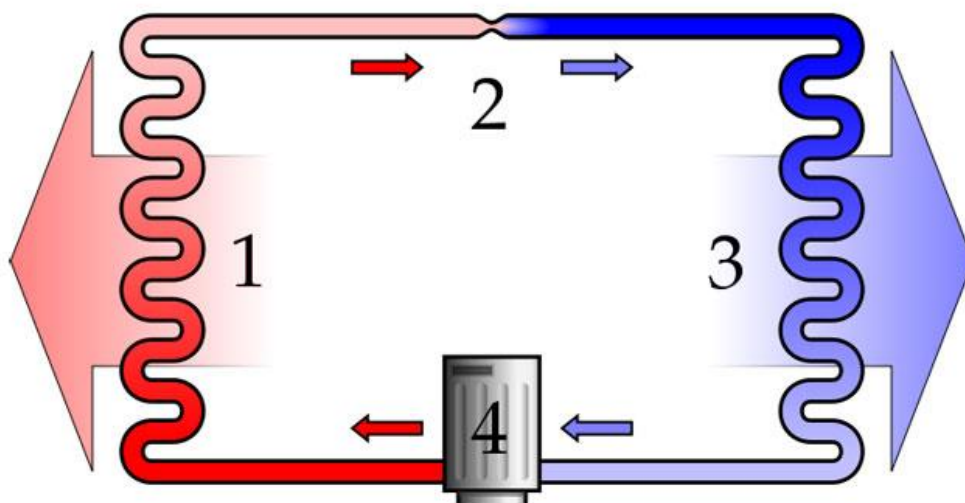
2.1 Tepelná čerpadla

Tepelná čerpadla jsou zařízení, která dokáží získat z přírodních zdrojů (jimiž jsou voda, vzduch a země) teplo, které by bylo běžnými způsoby pro vytápění nevyužitelné. Tomuto teplu se říká teplo nízkopotenciální. Jeho hlavní výhodou je, že je teplem obnovitelným, to znamená i ekologickým a při využití tepelného čerpadla může být transformováno na teplo o vyšší teplotě a následně využito pro vytápění budov nebo ohřev vody. Pro realizaci této změny je potřeba dodat určité množství mechanické energie, která je dodávána nejčastěji kompresorem, který je poháněn elektromotorem. Tepelné čerpadlo pracuje na principu levotočivého Carnotova cyklu, přičemž Carnotův cyklus označuje vratný kruhový děj ideálního tepelného stroje, skládající se ze dvou adiabatických a dvou izotermických dějů. [1,5]

2.1.1 Princip funkce tepelného čerpadla

Princip funkce tepelného čerpadla je zjednodušeně vidět na obr. 1. Nejprve dochází k odnámání tepla z nízkopotenciálního zdroje pomocí nemrznoucí teplotnosné kapaliny, která má vždy nižší teplotu než nízkoteplotní zdroj energie. Toto teplo se odvádí na výparník a ve výparníku je předáváné pracovní látce o nízké teplotě, jinak nazývané chladivo. Tato látka má schopnost se odpařovat při velmi nízkých teplotách. Při daném zahřátí se tedy chladivo odpařuje a je nasáváno kompresorem, který komprimuje páry chladiva na vyšší teplotní hladinu, do oblasti přehřáté páry. Přehřátá pára proudí do kondenzátoru, kde se ochlazuje na páru sytou a následně kondenzuje. Přehřívací a kondenzační teplo je sdíleno do teplotnosné kapaliny otopného systému.

Celý okruh se uzavírá expanzním ventilem instalovaným před výparníkem, ve kterém dochází k izoentalpickému snížení tlaku na původní hodnotu ve výparníku. [6,25]



Princip tepelného čerpadla :

- | | |
|--------------------|--------------|
| 1. kondenzátor | 3. výparník |
| 2. expanzní ventil | 4. kompresor |

Obr. 1: Princip funkce tepelného čerpadla [7]

V praxi je možné se setkat s označením primární a sekundární okruh, kde je primárním okruhem myšlena ta část energetického systému, která je zakopaná v zemi a sekundární okruh představuje topný systém. [25]

2.1.2 Tepelné čerpadlo ZEMĚ-VODA

Tepelná čerpadla země-voda mají značně vysoké pořizovací náklady. Tato nevýhoda je však později kompenzována jejich nižšími provozními náklady a nižší spotřebou energie, výrazným snížením emisí skleníkových plynů, vysokou spolehlivostí, malou potřebou údržby a šetrností k životnímu prostředí. [14]

Tepelné čerpadlo země-voda využívá jako zdroj energie teplo naakumulované v zemním, respektive v horninovém masivu. Tato tepelná čerpadla využívají dvou základních konfigurací pro získávání energie, a to z horninového masivu za použití vertikálních tepelných výměníků, které jsou vloženy do vertikálního vrtu o hloubce až 120 m a dále ze zemního masivu pomocí horizontálních tepelných výměníků, které jsou uloženy v zemním masivu do 2 m pod povrchem. Dalším možným způsobem, jak nízkopotenciální teplo získávat jsou energetické piloty. [7]

2.1.3 Topný faktor

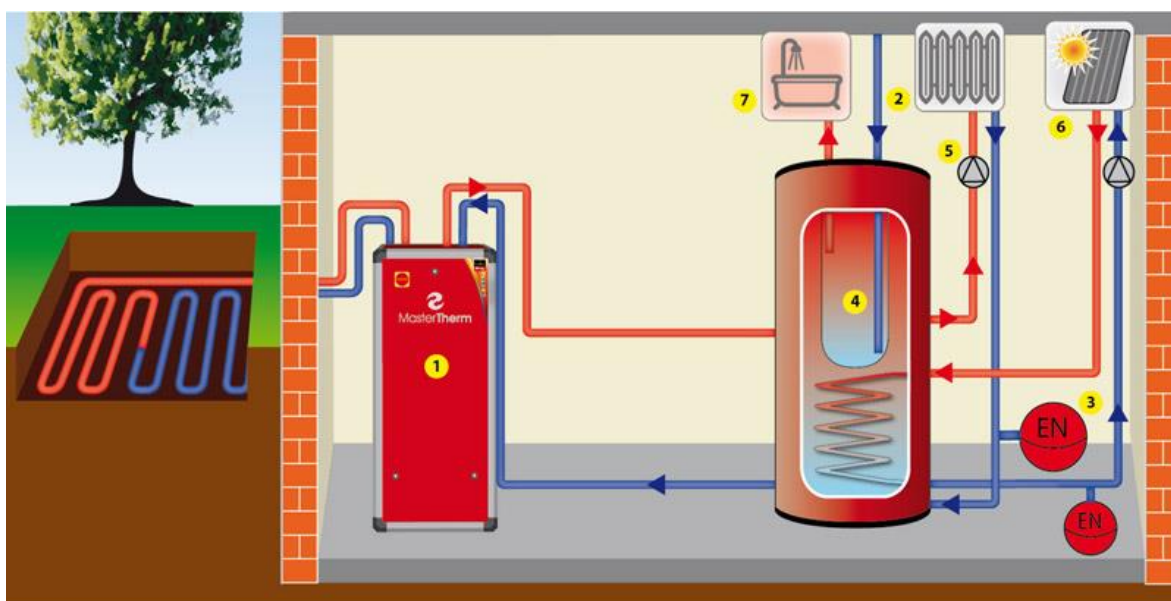
Tepelná čerpadla mají jako základní určující parametr topný faktor, jeho zkratka je COP z anglického Coefficient of Performance. Čím vyšší je hodnota topného faktoru, tím efektivnější je tepelné čerpadlo, protože má nižší spotřebu primární energie převážně elektrické.

Je to bezrozměrné číslo, které za optimálních podmínek dosahuje hodnoty 7. Hodnota tohoto čísla se může měnit a může být ovlivněna například špatnou konfigurací. [18,13]

Topný faktor by se dal definovat jako míra efektivity vyjadřující poměr mezi získanou energií, respektive topným výkonem, a spotřebovanou energií, respektive elektrickým příkonem kompresoru. Získaná energie je množství tepla odvedeného do topného systému na vysoké teplotní úrovni po stlačení chladiva. Ke stlačení chladiva je však nutné vynaložit energii potřebnou pro pohon kompresoru. U moderních tepelných čerpadel se topné faktory pohybují mezi hodnotami 3,0 – 5,0. Například topný faktor 4,0 nám říká, že tepelné čerpadlo předá čtyřikrát více získané energie ve formě tepla, než kolik bylo spotřebováno elektrické energie. [15]

2.2 Tepelné výměníky využívající zemní masiv

Aby bylo možné získat energii ze zemního nebo horninového masivu, je potřeba použít zařízení, které by tuto energii ze země čerpal. Jak již bylo zmíněno, prostředkem k získání nízkoenergetického tepla ze zemního masivu je horizontální výměník tepla. [1,2]



Obr. 2: Schéma zapojení tepelného čerpadla [5]

Na obr. 2 je vyobrazeno schéma zapojení tepelného čerpadla od společnosti MasterTherm, který má vytápěcí okruh řešený jako směšovací, což znamená, že využívá jak zemního kolektoru, tak solárního systému. (6) Na schématu můžeme vidět tepelné čerpadlo (1), které je zapojeno do otopné soustavy prostřednictvím vnořeného zásobníku (4), který má za úkol akumulovat teplo. Dále je zde označeno oběhové čerpadlo (5), které zajišťuje průtok topné vody. Vnitřní výměník ve vnořeném zásobníku umožňuje připojení solárního systému (6). Dále je zde označena otopná soustava (2), expanzní nádoby (3) a výstup tepelného výměníku pro ohřívání vody (7). [5]

2.2.1 Horizontální tepelné výměníky

Horizontální tepelné výměníky využívají tepelnou energii, která je u v důsledku dopadajícího slunečního záření přirozeně naakumulovaná v povrchovém zemním masivu. Horizontální výměníky tepla přenášejí teplo trubkami o průměru 30-50 mm a dle charakteru půdy, kde je výměník uložen, a jejich tepelných vlastností bývají uloženy do hloubky 1,0-2,0 m. V těchto trubkách proudí teplotonosná kapalina (nejčastěji voda s glykolem), která má za úkol absorbovat teplo z půdy. Tento typ výměníku existuje ve třech základních konfiguracích, a to v konfiguraci lineární, šroubovitě a konfiguraci typu slinky, které jsou podrobněji popsány níže. [8,26]

Hloubka uložení potrubí by měla zajistit izolaci zemního výměníku od denních výkyvů teplot. Tyto teploty mohou zemní masiv ovlivnit do hloubky několika desítek centimetrů. Dále by hloubka uložení měla zajistit izolaci od extrémních teplot v zimním období, to znamená uložení pod obvyklou zámraznou hloubku v určité lokalitě. A zároveň by měl být výměník uložen dostatečně blízko k povrchu země, aby mohl absorbovat sluneční záření. [8]

Pokud je velký rozdíl mezi teplotami vzduchu v zimním a v letním období, je doporučováno hlubší uložení horizontálních zemních výměníků. Pokud není velký rozdíl mezi teplotami vzduchu v letním a zimním období, může se použít mělčí uložení zemního výměníku. Teplota zemního masivu u horizontálních zemních výměníků se mění v závislosti na ročním období, což je způsobeno uložení výměníku do hloubky 1-2 m, kde je teplota ovlivňována okolním prostředím. Při navrhování zemního výměníku je potřeba brát v úvahu střední teplotu povrchu půdy roční průběh teplot a také součinitel tepelné vodivosti půdy.

Horizontální zemní výměníky využívají potrubí z plastu. Pro svou vysokou tepelnou vodivost, pevnost a odolnost se nejčastěji používá polyetylén (HDPE). Seznam materiálů, které se často používají pro výrobu trubek horizontálních zemních výměníků a jejich součinitele

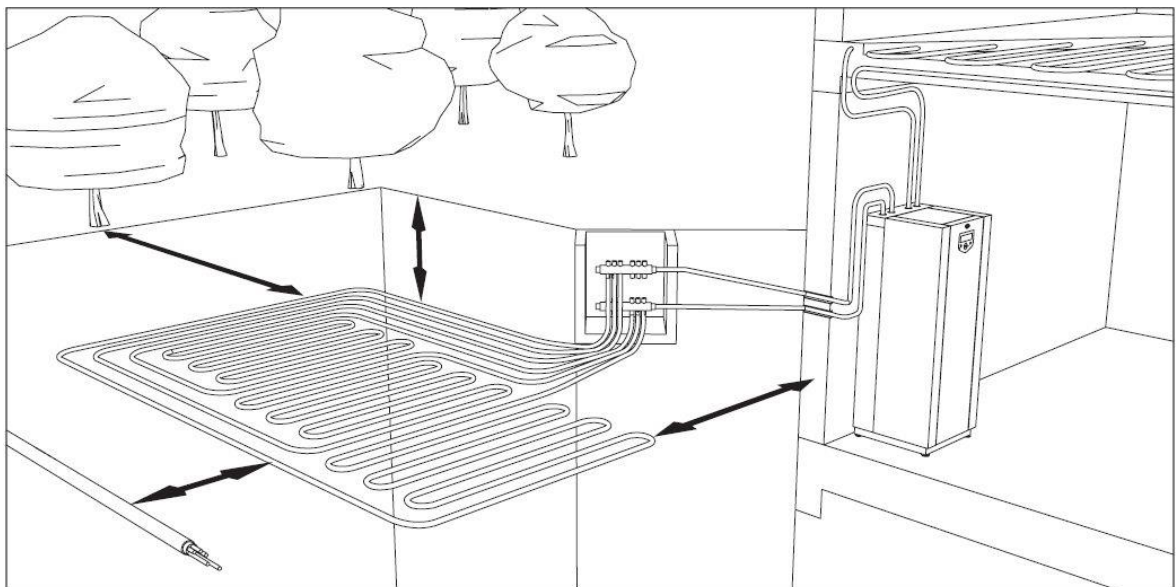
tepelné vodivosti je uveden v tab. 1. V rovnici (3) z kapitoly 3.2 je patrný význam součinitele tepelné vodivosti stěny trubky výměníku λ_t , totiž, že při zvyšování součinitele tepelné vodivosti λ_t tepelný odpor stěny trubky zemního výměníku R_t klesá. [8,9]

Tab. 1: Součinitele tepelné vodivosti pro dané materiály

Materiál	Součinitel tepelné vodivosti ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
Polyetylén o vysoké hustotě (HDPE)	0,45
Polyetylén obecný	0,42
Polyetylén o střední hustotě (MDPE)	0,40
Polypropylen	0,22
Polybutylen	0,22
Polyvinyl chlorid	0,23

2.2.1.1 Lineární výměník

U lineárních výměníků je teplo ze zemního masivu čerpáno rovnoměrně s tím, že tato konfigurace vyžaduje větší plochy pozemků, přesto jsou v České republice nejpoužívanější. Lineární výměníky mají rozteč trubek 1,0-1,5 m. Tyto výměníky čerpají teplo ze země rovnoměrně. Tato konfigurace je znázorněna na obr. 3, kde je možné si všimnout, že je potřeba dodržovat vhodnou vzdálenost výměníku od budov a rostlin s hlubokým kořenovým systémem. Na obr. 4 je pak znázornění reálného uložení lineárního výměníku. [8, 14, 21]



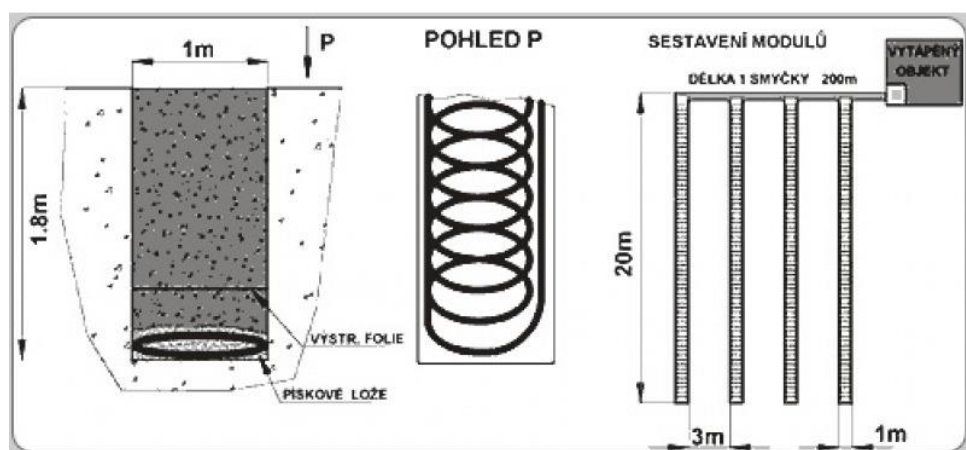
Obr. 3: Lineární tepelný výměník [21]



Obr. 4: Lineární tepelný výměník [5]

2.2.1.2 Výměník typu Slinky

Další možnou konfigurací horizontálního tepelného výměníku je výměník typu Slinky. Tato konfigurace se skládá z trubek rozvinutých v kruhových smyčkách, které jsou umístěny v hloubce 0,9 až 1,8 m. Na obr. 5 vpravo je vidět několik spirálovitých smyček v postavení vedle sebe a ve většině aplikací jsou od sebe vzdáleny 3 m. Na obr. 6 je pak znázornění reálného uložení kruhových smyček výměníku typu Slinky. [35]



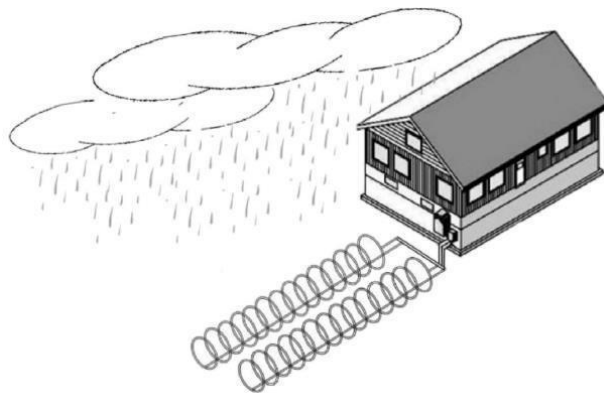
Obr. 5: Výměník typu Slinky [35]



Obr. 6: Výměník typu Slinky [5]

2.2.1.3 Šroubovitý výměník

Konfigurace se šroubovitým horizontálním výměníkem je zjednodušeně znázorněna na obr. 7.



Obr. 7: Šroubový výměník [10]

2.2.2 Srovnání konfigurací horizontálních zemních výměníků

Principiálně jsou si horizontální výměník a vertikální výměník tepla podobné, oba dva typy totiž využívají trubkového výměníku, ve kterém proudí nemrznoucí směs.

Jak již bylo zmíněno, i přes požadavek velké plochy pozemku, se v České republice nejčastěji používají lineární zemní výměníky. Konfigurace typu Slinky je požívaná v případě, že je omezená plocha pozemku, to samé platí pro konfiguraci šroubovitou. Pro konfiguraci typu Slinky platí, že je ve srovnání s konfigurací šroubovitou a lineární cenově nejvýhodnější. Nevýhodou této konfigurace je, že vyžaduje větší celkovou délku potrubí než jiné konfigurace. Zároveň je její instalace náročnější, než u konfigurace lineární, zasypání výkopu, ve kterém jsou trubky výměníku uloženy, může být obtížné a u určitých typů půd by mohlo dojít během zásypu k poškození potrubního systému. Nejnáročnější na instalaci je konfigurace šroubovitá, protože vyžaduje větší výkopy a množství trubek, které mají být v půdě uloženy. Vyšší náklady na instalaci jsou v každém případě brzy kompenzovány díky lepšímu ročním výkonu. [14,18]

Dle studie, kterou provedl Congedo a spol. [14], se ukázalo, že rychlost, a tedy hmotnostní průtok uvnitř výměníku, vykazovaly odlišné chování, a to v závislosti na konfiguraci výměníku. U lineární konfigurace bylo chování jak v zimě, tak létě konstantní. U konfigurací šroubovitě a typu slinky došlo k vyššímu nárůstu tepelného výkonu při rychlosti $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ jak v zimě, tak v létě. [14]

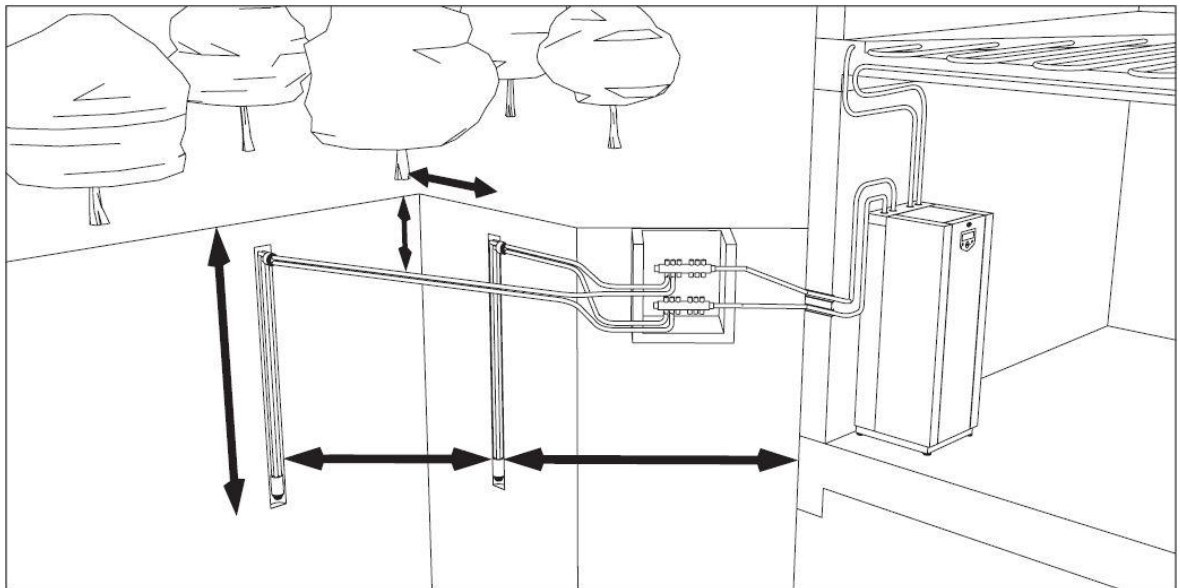
2.2.3 Vertikální tepelné výměníky

Vertikální tepelné výměníky bývají považovány za nejvíce stabilní zdroje nízkopotenciální energie. Jsou velmi účinné, ale jejich cena je velmi vysoká a závisí na složení půdy. Tento typ výměníku vyžaduje pouze malou plochu pozemku a je možné jej využít pro klimatizování budov v letním období. To je také značnou výhodou z hlediska regenerace, protože v zimě je ze zemního masivu energie odebírána, v létě je naopak energie zemnímu masivu dodávána. Tímto předcházíme vyčerpání tepelného potenciálu zemního masivu. Jejich velkou nevýhodou je vysoká cena instalace. [2,4,14]

U vertikálního typu výměníku je pro odběr tepla potřeba vyhloubit několik hloubkových vrtů, do kterých jsou vloženy nejčastěji trubky z polyetylenu, které mají tvar dvojitého U. Hloubky vrtů se pohybují od 40 do 150 metrů v závislosti na požadovaném výkonu. Je

doporučováno navrhovat krátké vrty do sudého počtu, pokud je totiž problém s realizací vrtu (Není výjimkou, že v některých lokalitách může nastat problém s realizací vrtů delších než 50 m), je možno spojit dva vrty do jedné smyčky. Pro funkčnost smyčky je však potřeba dodržet určité zásady, jako například: Pokud jsou vrty zapojeny do série, musí být u propojovacího potrubí umístěny odvzdušňovací ventily; Z hlediska praktičnosti a jednoduchosti, která se vztahuje na regulaci průtoku jednotlivými vrty je potřebná stejná délka potrubí; Vrty by měly být od sebe vzdáleny minimálně 10 m, pokud jsou však ve smyčce pouze dva vrty, je možné minimální vzdálenost snížit na 7 m. [4,12]

Z obr. 8 je patrné, že by se měly, stejně tak jako u horizontálního výměníku, dodržovat určité vzdálenosti mezi výměníkem a budovou, stromy a mezi jednotlivými vrty.



Obr. 8: Hlubinný vrt [21]

2.2.4 Porovnání horizontálních a vertikálních zemních výměníků tepla

Obrovskou výhodou tepelných čerpadel využívajících horizontálních zemních výměníků je na rozdíl od těch, co využívají vertikálních horninových výměníků výrazně nižší cena, která je především důsledkem snadnější realizace. [1,7]

Podstatnou nevýhodou horizontálního zemního výměníku je na rozdíl od vertikálního výměníku plocha, která je potřebná k uložení výměníku, za to u vertikálních výměníků je

značnou nevýhodou nutnost vyhloubení hlubinného vrtu a s tím spojené možné komplikace s vlastnostmi horninového masivu, do kterého se výměník umístí. Další nevýhodou tepelných čerpadel využívajících horizontálních zemních výměníků je nižší průměrný topný faktor, který se v závislosti na okolní teplotě přes rok u horizontálního výměníku mění. Hlubinné vrty, kterými jsou vertikální zemní výměníky, jsou obklopeny horninou do velkých hloubek, proto je zde teplota přes celý rok stabilnější, to znamená, že i topný faktor má vyšší průměrnou hodnotu. Velkým rozdílem je také délka výměňkových trubek, která je u vertikálního výměníku zhruba třikrát menší než u horizontálních s tím, že je výkon zachován. [1,7]

2.2.5 Energetické piloty

Poslední možností využití tepla ze zemního masivu jsou tzv. energetické piloty, kde prakticky využívají stavební konstrukce staveb nebo jejich základy, což je znázorněno na obr. 9. Energetické piloty se využívají hlavně v oblastech s vysokou hladinou spodní vody a tedy tam, kde je nezpevněné podloží. Piloty jsou hojně využívány u výškových budov, které staticky zajišťují. Obvykle jsou uloženy v hloubkách od 3 do 30 m a jejich průměry činí od 120 do 1200 mm. Na obr. 10 je možné vidět, jak vypadá koš, kterým jsou energetické piloty tvořeny. [15]



Obr. 9: Energetické piloty [27]



Obr. 10: Koš energetické piloty [27]

2.3 Vlastnosti půdy

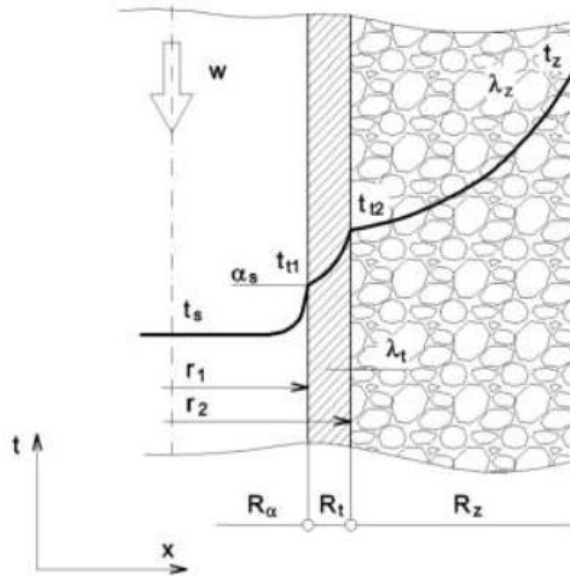
Zemní masiv by se dal popsat jako vícefázová nehomogenní hmota. Tato hmota je složena z minerálních látek, organických látek, vody a vzduchu. Všechny vyjmenované složky dávají půdě její termodynamické vlastnosti a jsou nezbytné pro správný výběr a využití tepelného čerpadla typu země-voda. Mezi nejdůležitější tepelné vlastnosti řadíme zejména: součinitel tepelné vodivosti, tepelný odpor, měrnou tepelnou kapacitu a součinitel teplotní vodivosti s tím, že tepelná vodivost půdy je asi nejdůležitějším parametrem. Teploty teplonosné kapaliny, tepelné výkony nízkoteplotních zdrojů i hodnoty energie extrahované nízkoteplotnímu zdroji energie jsou důležitými parametry ovlivňujícími efektivnost i výkon tepelných čerpadel [15]

2.3.1 Regenerace půdy

Využíváním zemního masivu jako nízkopotenciálního zdroje energie dochází k nevratným změnám tepelného potenciálu půdy. Zabránit těmto nevratným změnám, které ohrožují spolehlivost energetického systému, je možné správnou konfigurací zemního výměníku. Konfigurací výměníku je myšlen tvar výměníku a rozložení trubek, dále pak v jaké hloubce je výměník uložen v zemním masivu, průměr potrubí a rozteč trubek. Při konfiguraci je důležité také zohlednit tepelné charakteristiky zemního masivu, kterými jsou: součinitel tepelné vodivosti λ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$), součinitel teplotní vodivosti a ($\text{mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$) a objemová měrná tepelná kapacita c ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$). Špatně zvolená konfigurace zemního výměníku může mít za následek nízké průtoky teplonosné kapaliny, což může mít za následek nevhodný chod a provozní problémy s tepelným čerpadlem. [8]

2.3.2 Tepelné odpory

Aby byl zemní nebo horninový výměník efektivně provozovaný musí být mezi teplonosnou kapalinou v trubicích a okolním masivem tepelné odpory co nejnižší.



Obr. 11: Schéma procesů sdílení tepla v zemním masivu s odběrem tepla trubkou [8]

Na obr. 11 můžeme vidět schéma procesů sdílení tepla v zemním masivu s odběrem tepla trubkou.

λ_t – součinitel tepelné vodivosti materiálu trubky výměníku ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$),

λ_z – součinitele tepelné vodivosti zemního masivu ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$),

α_s – součinitele přestupu tepla mezi stěnou trubky výměníku a teplotonosnou kapalinou ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$),

R_t – tepelný odpor stěny trubky zemního výměníku ($\text{m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$),

R_α – tepelný odpor konvekce na vnitřní straně trubky ($\text{m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$),

R_z – tepelný odpor zemního masivu ($\text{m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$),

r_1 – vnitřní poloměr trubky výměníku (m),

r_2 – vnější poloměr trubky výměníku (m),

t_s – teplota teplotonosné kapaliny ($^\circ\text{C}$),

t_z – teplota zemního masivu ($^\circ\text{C}$),

t_{t2} – teplota vnějšího povrchu trubky výměníku ($^\circ\text{C}$),

t_{t1} – teplota vnitřního povrchu trubky výměníku ($^\circ\text{C}$)

w – rychlost proudění teplotonosné kapaliny ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$). [8]

Celkový tepelný odpor R je dán součtem jednotlivých tepelných odporů [8,34]:

$$R = R_{\alpha} + R_t + R_z \quad (\text{m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}) \quad (1)$$

R_{α} – tepelný odpor konvekce na vnitřní straně trubky ($\text{m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$).

R_t – tepelný odpor stěny trubky výměníku ($\text{m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$),

R_z – tepelný odpor zemního masivu ($\text{m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$),

Tepelný odpor zemního masivu R_z lze vyjádřit vztahem:

$$R_z = \frac{1}{2\pi\lambda_y} \ln \left[\frac{2s}{\pi d_2} \sinh \left(2\pi \frac{h}{s} \right) \right] \quad (\text{m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}) \quad (2)$$

V rovnici (2) je:

R_z – tepelný odpor zemního masivu ($\text{m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$),

λ_z – součinitel tepelné vodivosti zemního masivu ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$),

d_2 – vnější průměr trubek zemního výměníku (m),

s – rozteč trubek zemního výměníku (m),

h – hloubka uložení trubek zemního výměníku (m).

Z rovnice (2) nám vyplývá, že když se zvyšuje hloubka uložení trubek h tepelný odpor R_z vzrůstá. Dále je z ní patrné, že při zvyšování součinitele tepelné vodivosti λ_z , rozteče trubek zemního výměníku s a vnějších průměrů trubek zemního výměníku d_2 , tepelný odpor R_z klesá.

Tepelný odpor stěny trubky zemního výměníku R_t lze vyjádřit vztahem:

$$R_t = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{d_2}{d_1} \quad (\text{m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}) \quad (3)$$

V rovnici (3) je:

R_t – tepelný odpor stěny trubky zemního výměníku ($\text{m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$),

d_1 – vnitřní průměr trubek výměníku (m),

d_2 – vnější průměr trubek výměníku (m),

λ_t – součinitel tepelné vodivosti materiálu trubky zemního výměníku ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$),

Z rovnice (3) vyplývá, že při zvyšování součinitele tepelné vodivosti λ_t tepelný odpor stěny trubky zemního výměníku R_t klesá.

Tepelný odpor konvekce na vnitřní straně trubky R_α lze vyjádřit:

$$R_\alpha = \frac{1}{\pi d_1 \alpha_s} \quad (\text{m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}) \quad (4)$$

R_α – tepelný odpor konvekce na vnitřní straně trubky ($\text{m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$),

α_s – součinitel přestupu tepla mezi stěnou trubky výměníku a teplotonosnou kapalinou ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$),

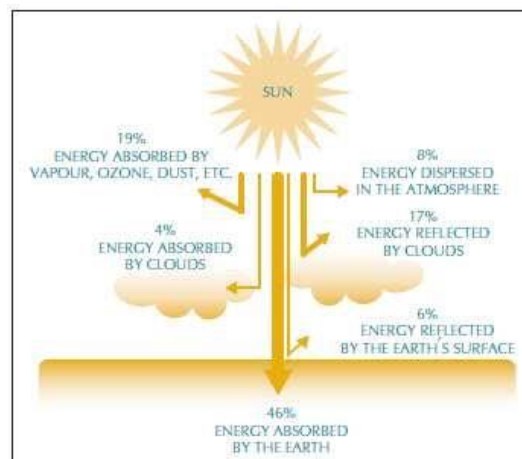
d_1 – vnitřní průměr trubek výměníku (m),

Z rovnice (4) vyplývá, že při zvyšování součinitele přestupu tepla α_s tepelný odpor konvekce R_α klesá. [8]

2.3.3 Sluneční záření jako zdroj energie

Solární energie je stálým přínosem tepla. Záření, které dopadá po prostupu tepla na povrch země se částečně odráží a částečně je pohlcováno. To je patrné na obr.12, ze kterého je zřejmé, že 46 % slunečního záření je přímo přeměňováno na tepelný výkon, 19 % slunečního záření je pohlceno parami, prachem, ozonem atd., 6 % se odraženo od zemského povrchu, 17

% je odraženo od mraků, 4 % jsou absorbována mraky a 8 % je rozptýleno v atmosféře. Sluneční záření ovlivňuje zemní masiv pouze do určitých hloubek pod povrchem. Při teplotě 10 °C v hloubce 2 m a 20 °C na povrchu se do hloubky 1 m pod povrchem dostává pouze 0,08 W.m⁻², do hloubky 2 m jen 0,04 W.m⁻² a v hloubce 4 m se dostává pouze 0,01 W.m⁻². V hloubkách od 10 do 20 m pod povrchem zemního masivu nachází tzv. neutrální zóna. V této zóně nedochází k přírůstku tepla ani z hloubek, ani z atmosféry. [30,31]

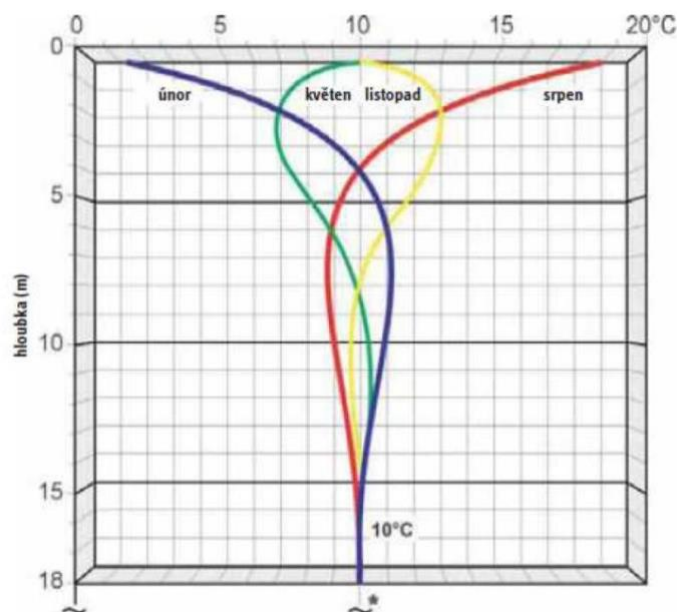


Obr. 12: Sluneční záření [30]

2.3.4 Teplota v zemním masivu

Průměrná denní teplota země je primárně ovlivněna okolní teplotou. Při nižších teplotách zemní systém absorbuje toto extra teplo ze země a přenáší ho do domácností. Během léta systém odvádí teplo z vnitřních prostor a vrací jej zpět do zemního masivu. Roční teplota vzduchu, obsah vlhkosti, typ půdy a vegetativní pokryv (tj. stromy a rostliny) mají vliv na teplotu půdy. Jak můžeme očekávat, změní se teplota Země v reakci na změny počasí, ale v menších hloubkách dochází k menším změnám. [2,18]

Povrch země je ovlivňován klimatickými podmínkami do hloubky 15 až 20 m, pod touto hloubkou je teplota relativně stálá. Na obr. 13 je zobrazeno chování teplot v určité hloubce za daného období a zároveň je zde možné vidět, že se v hloubce pod 15 m začínají teploty, bez rozdílu ročního období, ustalovat. [4,12,13]



Obr. 13: Rozdíl teplot v půdě se vzrůstající hloubkou [12]

2.3.5 Vlhkost půdy

Hodnota optimální vlhkosti zemního masivu se pohybuje v rozmezí 25-40 %. Vlhkost půdy má vliv na hodnoty součinitele tepelné vodivosti. Zvýšením vlhkosti nad 50 % se ovlivňuje součinitel tepelné vodivosti jen velmi málo. Snížením vlhkosti zemního masivu pod 12,5 % má oproti tomu výrazně negativní vliv na součinitel tepelné vodivosti zemního masivu.

Provoz zemního výměníku má nechtěný vliv na vlhkost zemního masivu. Na trubkách zemního masivu, které jsou vychlazené, může dojít ke kondenzaci vody. Touto kondenzací se může snížit obsah vody, která se nachází v půdě. Takovéto snížení vlhkosti zároveň snižuje součinitel tepelné vodivosti. Kondenzací zároveň dochází k tzv. migraci par, což je proces, při kterém dochází ke snížení tlaku vodní páry v zemním masivu vlivem kondenzace. Snížením tlaku vodní páry v půdě dochází k šíření další vodní páry k výměníku a tato pára na trubkách výměníku opět kondenzuje. [8,23]

Pokud zemní tepelný výměník pracuje při záporných teplotách, může dojít k zamrznutí z kondenzované vodní páry. Zamrznutá voda může vytvořit na povrchu trubky výměníku obal ledu. Tento ledový obal zvyšuje hodnoty součinitele tepelné vodivosti v půdě, z toho důvodu,

že tepelná vodivost ledu je vyšší než u vody. Zároveň se z vytvořeného ledu uvolňuje latentní teplo, které dosahuje hodnoty 334 kJ.kg^{-1} . Tento ledový obal okolo trubky výměníku může být problémem zvláště pokud se nachází v blízkosti zastavěné nebo dlážděné plochy. Dochází totiž k reálnému nebezpečí zvedání a expanzi zemního masivu, což by mohlo poškodit zastavěný nebo dlážděný povrch.

Při navrhování zemního horizontálního výměníku je důležitým kritériem to, aby se ledový obal okolo trubky nespojil se zmrzlým zemním masivem, ke kterému dochází v období zimních mrazů a zároveň aby se ledový obal nepřiblížil k jiné trubce výměníku. Pokud by se tak stalo, existuje nebezpečí, že dojde k rozsáhlému zamrznutí zemního masivu, které bude špatně tát během letního období působením slunečního záření. [8,23]

2.3.6 Tepelná vodivost

Nejvýznamnějším tepelným parametrem je součinitel tepelné vodivosti λ . Tento součinitel vyjadřuje schopnost látky (případně horniny) 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 λ se udává v jednotkách [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$] a jeho hodnota závisí na textuře a struktuře horniny, její pórovitosti, vlhkosti a hlavně na minerálním složení. Příkladem může být třeba křemen, který je velmi dobrým vodičem a naopak jílovité minerály jsou vodiči špatnými. [15]

Hodnoty, kterých nabývá součinitel tepelné vodivosti jsou různé, pokud je hodnota $\lambda = 1 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, jedná se o půdu s nízkou tepelnou vodivostí, pokud nabývá hodnoty okolo $\lambda = 2 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, jedná se o zeminu se středně velkou tepelnou vodivostí a pokud nabývá $\lambda = 3 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, jedná se o zeminu s vysokou tepelnou vodivostí. [14]

Dle studie, kterou provedl Congedo a spol. [14], se ukázalo, že při vysoké tepelné vodivosti ($\lambda = 3 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$) je výkon systému, pokud jde o tepelnou energii sdílenou s masivem je téměř dvojnásobný ve srovnání s nízkým stupněm tepelné vodivosti ($\lambda = 1 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$). V tab. 2 můžeme vidět součinitele tepelné vodivosti zemin a v tab. 3 jsou uvedeny součinitele tepelné vodivosti hornin. [14]

Tab. 2: Součinitel tepelné vodivosti zeminy [33]

zemina	součinitel tepelné vodivosti λ [W m⁻¹ K⁻¹]
žula	2,90
suchá půda	0,30
suchý písek-hrubozrný	0,20
-jemnozrný	0,19
suchá hlinito-písčítá	0,19
suchá hlína	0,14
vlhká půda	1,90
vodou nasycený písek-hrubozrný	1,72
-jemnozrný	1,63
vodou nasycená hlinito-písčítá	1,34
vodou nasycená hlína	0,88
vodou nasycená rašelina	0,46

Tab. 3: Součinitele tepelné vodivosti horniny [33]

hornina	součinitel tepelné vodivosti λ [W.m⁻¹.K⁻¹]
amfibolit	1,90-2,40
břidlice	1,30-2,10
čedič	1,70
diorit	1,90-2,80
dolomit	0,80-4,50
gabro	2,20-2,40
granit	1,90-4,00
jíl	0,40-1,20
jílovec	1,80-2,80
písek	0,30-3,50
pískovec	0,80-7,10
prachovec	1,50-2,50
rula	1,70-3,30
syenit	1,60-3,30
vápenec	0,80-3,00

2.3.7 Měrná tepelná kapacita

Je označována písmenem c a je definována jako tepelná kapacita hmotné jednotky, což je podíl tepelné kapacity objektu a jeho hmotnosti, přičemž měrná tepelná kapacita c nám říká, jaké je množství tepla potřebné k ohřátí 1 kg látky o 1 K. Jednotkou měrné tepelné kapacity je $[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$. V tabulkách spíše nalezneme hodnoty měrné objemové kapacity c_o $[\text{MJ} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}]$, které můžeme vidět v tab. 4. [15]

Tab. 4: Měrná objemová tepelná kapacita a různých druhů zemin [32]

zemina	objemová měrná tepelná kapacita c_o $[\text{10}^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}]$
písek-suchý	1,26
-nasycený vodou	3,00
jíl-suchý	1,01
-nasycený vodou	3,47
rašelina-suchá	0,62
-nasycená vodou	3,81
půda-suchá	1,35
-vlhká	2,90

2.4 Teplonosné kapaliny

Jak již bylo zmíněno, systémy využívající energii ze zemního masivu jsou tvořeny trubkami, jimiž protéká teplonosná kapalina, která přijímá tepelnou energii z okolního masivu. Tato látka ve výměníku koluje při tlaku 1,4 – 1,5 bar (140 – 150 kPa) a její koncentrace se stanoví se podle předpokládané teploty provozu, podle hydrodynamických a termodynamických vlastností kapaliny a podle toxických aspektů a vnitrostátních právních předpisů. Pokud se předpokládá, že hodnoty teplot tekutiny budou výrazně nad 0 °C, pak by mohla být teplonosnou kapalinou i voda. [4,5]

Teplonosná kapalina se nachází v primárním okruhu, kde přenáší teplo do výparníku. Tato směs je buď na bázi lihové, glycerínové nebo glykolové. Výsledná kapalina je využívána v podobě koncentráту, který je třeba před použitím naředit vodou na požadovanou nezámrznost. Informace o správném poměru jsou uvedeny na etiketě kupované látky, většinou je poměr látky a vody 1:2.

Pro všechny báze platí, že směs, kterou je napouštěn primární okruh, by měla obsahovat jisté množství látek pro ochranu pryžových těsnění, inhibitory koroze a samozřejmě látky dobře mísitelné s vodou. Optimální teplonosná kapalina by měla mít pH neutrální nebo lehce zásadité. Hodnota pH kapaliny, stejně jako ostatní technické parametry, by měli procházet pravidelnou kontrolou, ta může zajistit dlouhou životnost teplonosné nemrznoucí kapaliny.

2.4.1 Líh

Lích je látka hořlavá. Je velice oblíbená a to jak z toho důvodu, že její nákupní cena je nízká, tak pro její ekologickou nezávadnost. Líh má výrazný zápach, který vzniká při výrobě úmyslnou aromatizací, stejně tak jako zabarvení. Líh je látkou hořlavou, to znamená, že její přeprava podléhá ADR, což je zkratkou pro „Accord Dangereuses Route“ – „Evropská dohoda o přepravě nebezpečných věcí“ a skladování režimu pro skladování hořlavín.

2.4.2 Glycerín

Glycerín je látkou známou pro svou šetrnost k těsnění a kovům. Je to látka nehořlavá, ekologicky nezávadná látka a bez zápachu. Její největší výhodou ale je, že je nehořlavá, takže nepodléhá ADR.

2.4.3 Etylénglykol

Etylénglykol je využíván jako teplotonosná kapalina do všech druhů topných systémů. Ač je hojně využívána, je ekologicky závadná, proto je nutné při jejím použití mít dvojí jištění systému, kdyby došlo k úniku z chladicích nebo topných systémů.

2.4.4 Propylenglykol

Propylenglykol je látka, která je používaná ve všech druzích topných systémů v roli teplotonosného přípravku a zároveň kapaliny, která má antikoroziční vlastnosti. Propylenglykol je chemicky velmi podobný etylenglykolu. Propylenglykol je ekologicky nezávadná nemrznoucí kapalina, jejíž toxicita je asi 10krát nižší než u etylenglykolu. pořizovací cena je ale vysoká. Pro její vysokou viskozitu se však nedoporučuje pro primární okruhy, protože jejím použitím může dojít k vysokým hydraulickým ztrátám. [8,9,11]

V tab. 5 je vidět seznam vybraných tekutin využívaných jako nemrznoucí směsi a jsou zde shrnuty hydrodynamické a termodynamické vlastnosti. Zároveň je možné z tab. 5 vidět, že viskozita teplotonosné kapaliny roste s klesajícím bodem tuhnutí a se snižováním teploty. [9]

Tab. 5: Nemrznoucí směsi a jejich charakteristiky [9]

Hmotnostní koncentrace (%)	Tekutina	Bod tuhnutí (°C)	λ ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	ρ ($kg \cdot m^{-3}$)	μ ($10^{-3} \cdot Pa \cdot s$)	C ($J \cdot l^{-1} \cdot K^{-1}$)
-	voda při 5 °C	0	0,570	1000	1,519	4202
-	látka při 0 °C	-	-	-	-	-
23,50	etylenglykol	-10	0,471	1035	3,530	3953
30,50	etylenglykol	-15	0,444	1046	4,380	3841
25,40	propylenglykol	-10	0,448	1026	5,640	3962
32,90	propylenglykol	-15	0,417	1035	8,320	3884
18,70	etanol	-10	0,455	977	5,000	4288
24,50	etanol	-15	0,425	972	6,050	4175
19,95	metanol	-15	0,462	973	3,230	3962
18,82	chlorid sodný	-15	0,548	1147	2,590	3916
23,90	octan draselný	-15	0,492	1129	3,340	3800
24,00	freezium	-15	0,510	1149	2,210	3838

2.5 Chladiva

V současnosti se již nehledají nové chemické látky, které by se využívali jako chladiva, namísto toho roste zájem o technologie, které jsou ekologicky nezávadné. Této podmínce vyhovují přírodní chladiva, jako je voda, vzduch, uhlovodíky, vzácné plyny, uhlovodíky, amoniak a oxid uhličitý. [24]

Chladiva se začala používat bez chloru. Tato kapalina za nízkého tlaku a teploty odebírá ve výparníku teplo a odevzdává v kondenzátoru teplo za vysokého tlaku a teploty. [4,5]

2.5.1 Rozdělení chladiv

Chladiva se dělí na chladiva přírodní a syntetická. Přírodní se dělí na anorganická, mezi které patří voda (R718), čpavek (R717) a oxid uhličitý (R744) a na organické uhlovodíky, mezi které se řadí propan (R290), propylen (propene) (R1270) isobutan (R600a), isopentan (R601a). Syntetická chladiva se dále dělí na chlorované uhlovodíky (CFC), fluorované uhlovodíky (HCFC, HFC) a jiná syntetická chladiva (HFO).

Chladiva se označují takzvaným R-číslem, kterému se dle mezinárodní organizace říká číslo ASHRAE.

V poslední době je snaha zamezit využívání chlorovaných uhlovodíků (CFC) a fluorovaných uhlovodíků (HCFC), které mají negativní vliv na životní prostředí a nahradit je hydrofluorvodíky (HFC) a přírodními chladivy. HFC plyny mají na rozdíl od přírodních chladiv vysoký potenciál globálního oteplování, který se značí zkratkou GWP. GWP (plným názvem Global Warming Potential – potenciál globálního oteplování) představuje potenciál skleníkového plynu CO₂ emisí na 100let. Do budoucna je snahou využívat chladiva s co nejnižším GWP, což bude mít za následek prodej chladiv s hodnotou GWP pouze pod 2500. U HFC chladiv je z tabulky zřejmé, že jsou hodnoty GWP značně vyšší. Další podstatnou hodnotou je hodnota ODP (celým názvem Ozone Depleting Potential – potenciál poškození ozonové vrstvy). Hodnoty GWP a ODP pro chladiva HFC a pro směsi obsahující HFC jsou uvedeny v tab. 6. [28,29]

Tab. 6: Syntetická chladiva

Fluorované skleníkové plyny			ODP	GWP	
Chladiva HFC	R23	CHF ₃	0	14 800	
	R32	CH ₂ F ₂	0	675	
	R125	C ₂ H ₂ F ₅	0	3 500	
	R134a	CH ₂ FCF ₃	0	1 430	
	R152a	C ₂ H ₄ F ₂	0	124	
	R143a	C ₂ H ₃ F ₃	0	4 470	
	R227ea	C ₃ H ₂ F ₇	0	3 220	
	R236fa	C ₃ H ₂ F ₆	0	9 810	
Směsi obsahující chladiva HFC	R404A	R125 / R134a / R143a	44 / 4 / 52 %	0	3 922
	R407A	R32 / R125 / R134a	20 / 40 / 40 %	0	2 107
	R407B	R32 / R125 / R134a	10 / 70 / 20 %	0	2 804
	R407C	R32 / R125 / R134a	23 / 25 / 52 %	0	1 774
	R410A	R32 / R125	50 / 50 %	0	2 088
	R417A	R125 / R134a / R600	46,6 / 50,0 / 3,4 %	0	2 346
	R422D	R125 / R134a / R600	65,1 / 31,5 / 3,4 %	0	2 729
	R427A	R32 / R125 / R143a / R134a	15 / 25 / 10 / 50 %	0	2 138
	R437A	R134a / R125 / R600 / R601	78,5 / 19,5 / 1,4 / 0,6 %	0	1 805
	R507	R125 / R143a	50 / 50 %	0	3 985
	R508A	R23 / R116	39 / 61 %	0	13 214
	R508B	R23 / R116	46 / 54 %	0	13 396

Přírodní chladiva jsou chladiva s minimálním přímým vlivem na změnu klimatu. Seznam těchto chladiv je vypsán v tab. 7, kde v druhém sloupci je číslo ASHRAE chladiva, ve třetím trístí název sloučeniny, ve čtvrtém chemický vzorec a v pátém hodnota GWP, která má na rozdíl od syntetických chladiv, které jsou vypsány v tab. 6, skoro nulové hodnoty.

Tab. 7: Přírodní chladiva

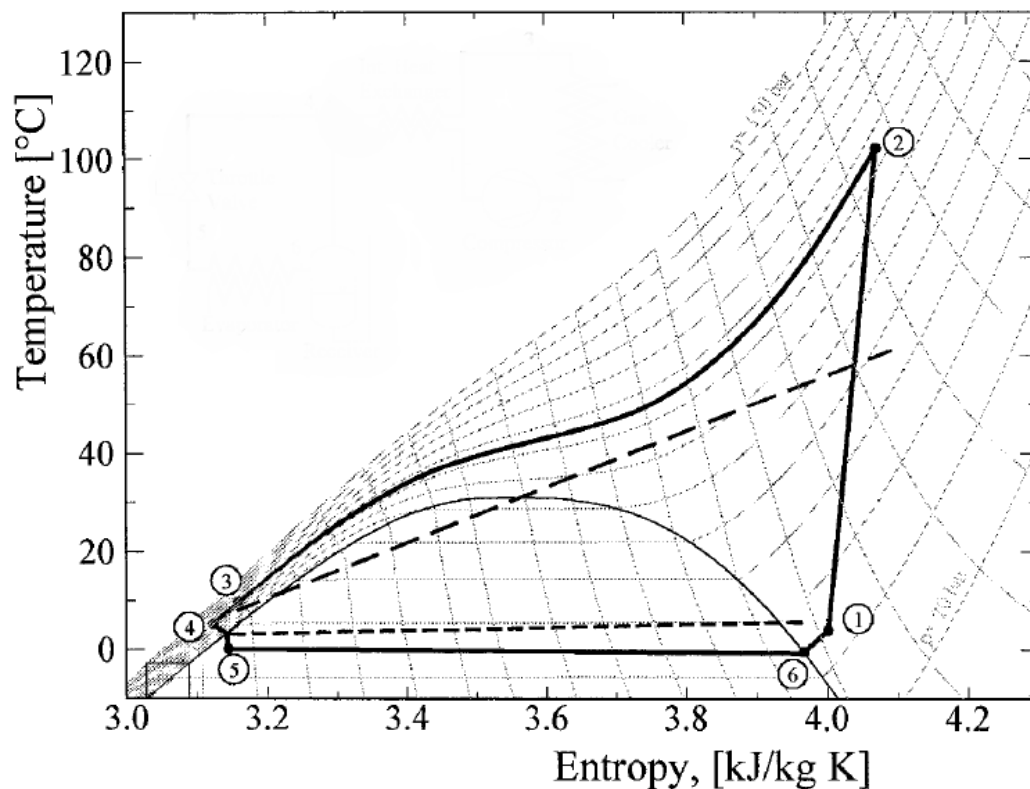
				GWP
Přírodní chladiva	R170	Etan	C ₂ H ₆	6
	R290	Propan	C ₃ H ₈	3
	R600a	Isobutan	CH(CH ₃) ₂ CH ₃	3
	R717	Amoniak (čpavek)	NH ₃	0
	R744	Oxid uhličitý	CO ₂	1
	R1200	Propylen	C ₃ H ₆	2

2.5.2 CO₂

CO₂, jehož číslo ASHRAE je R744, patří mezi nehořlavá přírodní chladiva bez potenciálu poškozování ozonu ODP a s nízkou hodnotou GWP, která je dle tab. 7 rovna 1, proto se v poslední době zvyšuje zájem o jeho využívání jakožto přírodního chladiva. CO₂ je zároveň levné, netoxické, dostupné a jeho vliv na životní prostředí je minimální.

Teplota, která je pro CO₂ kritická činí 31,1 °C a kritický tlak má hodnotu 7,39 MPa. Z toho vyplývá, že podkritický cyklus je možný pouze v případě, je-li průměrná teplota chladiče nižší. Tento cyklus je však možný a z hlediska energetické účinnosti mohou systémy využívající CO₂ konkurovat systémům, které využívají jiné druhy chladiv.

V případě, že má chladič vyšší teplotu, probíhá nadkritický cyklus. Na obr. 14 je v T-s diagramu znázorněn typický jednostupňový cyklus s vnitřní výměnou tepla. [29]

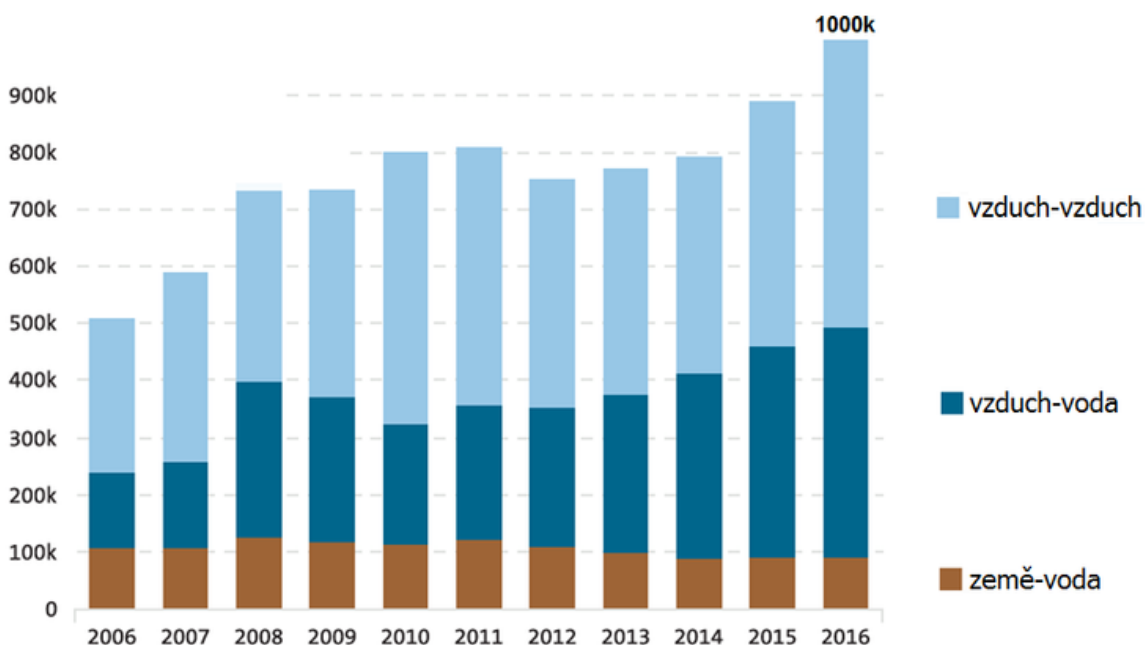


Obr. 14: Jednostupňový cyklus CO₂ T-s diagram

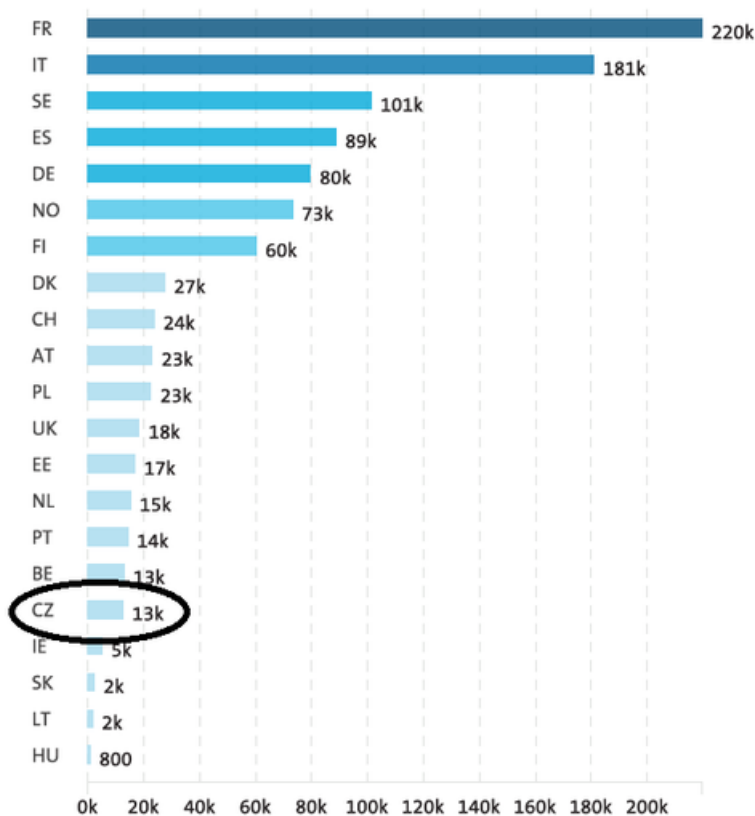
3 Specifikace prognózy vývoje

3.1 Tepelná čerpadla

Na obr. 15 je vidět graf závislosti počtu instalací s rozdělením podle jednotlivých systémů na sledovaných letech od roku 2006 do roku 2016 v celé Evropě. Z grafu je zřejmé, že obliba tepelných čerpadel stále stoupá. V roce 2016 se počet nově nainstalovaných čerpadel přiblížil hranici 1 miliónu ročně. V grafu je také vidět, že množství nově nainstalovaných tepelných čerpadel využívajících zemního a horninového masivu jako nízkoteplotního zdroje energie se výrazně nemění, naopak měl jejich počet v letech 2011 - 2016 tendence klesat. To je pravděpodobně zapříčiněno jejich instalační a finanční náročností, zároveň tato zařízení vyžadují velký pozemek a stavebně náročné položení plošného kolektoru. Co se týče realizace vrtů v případě horninových tepelných čerpadel je například v České republice legislativně obtížné získat stavební povolení k zahájení vrtů. [36, 37]

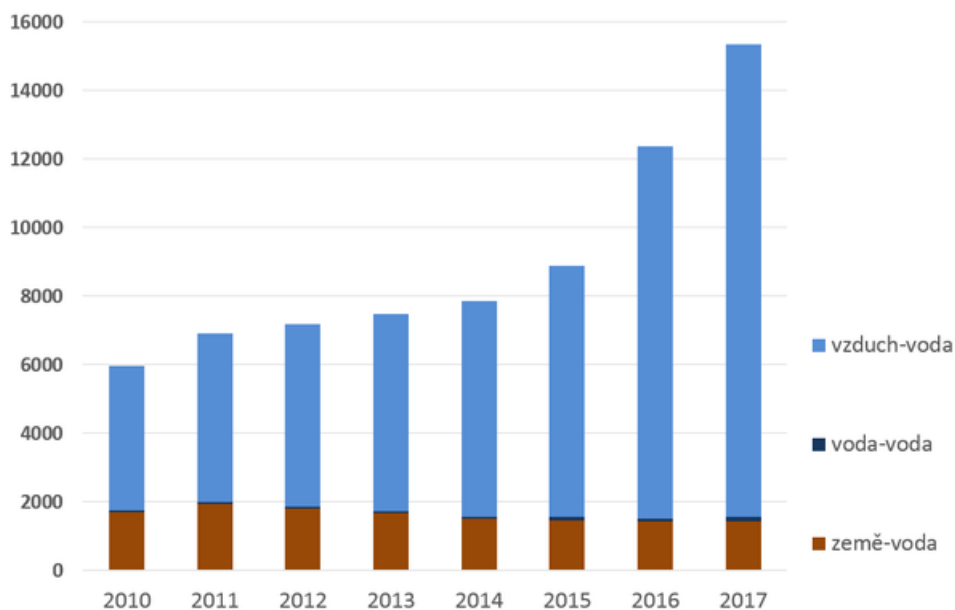


Obr. 15: Počet instalací tepelných čerpadel [37]



Obr. 16: Instalace tepelných čerpadel podle států [37]

Na obr. 16 je možné vidět celkový počet instalací tepelných čerpadel za rok 2016 podle jednotlivých států Evropy. Zvýrazněna je Česká republika, jejíž celkový počet instalací činil podle statistiky MPO² v roce 2016 téměř 13 tisíc nově nainstalovaných čerpadel. Na obr. 17 je graf počtu ročně instalovaných čerpadel v České republice z období 2010 až 2017 a je z něj patrné, že obliba tepelných čerpadel, hlavně tepelných čerpadel vzduch – voda, stále více roste. Z grafu je patrné, že v roce 2017 stoupl počet nově nainstalovaných čerpadel na téměř 16 tisíc s tím, že celkový počet tepelných čerpadel, která jsou v České republice provozu činí 80 tisíc. Instalace země – voda se pak stejně jako v Evropě od roku 2011 lehce snižuje. Meziročně došlo k nárůstu nově instalovaných čerpal o 24% a podle aktuálních prognóz tak mohou prodeje v České republice nadále růst v průměru až o 35% nebo 40%. [36,37]



Obr. 17: Instalace tepelných čerpadel v České republice

3.2 Chladiva

Přírodní chladiva nemají velký přímý vliv na změny klimatu, všeobecně se udává tisícinásobně nižší než výše zmíněné syntetické plyny. Například, při uvolňování jednoho kilogramu plynu HFC je 1000krát až 3000krát více přispíváno ke globálnímu oteplování než při uvolňování stejného množství CO₂.

Stejně tak je snahou, aby se na trhu začali objevovat chladiva s co nejnižší hodnotou potenciálu globálního oteplování (GWP) a chladiva s GWP, která mají hodnotu vyšší než 2500, vymizely z nabídky prodejců chladiv. Právě velmi nízké hodnoty GWP splňují přírodní chladiva. Mezi látkami, jejichž oblíbenost mezi chladivy stále více vzrůstá a které jsou na přírodní bázi, je možné najít například čpavek (NH₃) s hodnotou GWP 0, anebo již výše zmíněné CO₂, jehož GWP má hodnotu 1. [29]

4 Diskuze a závěr

V České republice stále stoupá obliba tepelných čerpadel s tím, že jsou instalována především tepelná čerpadla systémů vzduch-voda. Což je pravděpodobně z důvodu jednoduché instalace a funkčního rozpětí -25° až $+40^{\circ}\text{C}$. Instalace země – voda takovou oblibu nemají. U horizontálního výměníku je složitější instalace, která vyžaduje hodně prostoru. Co se týče realizace vrtů je například v České republice legislativně obtížné získat stavební povolení k zahájení vrtů, což může být pro potenciálního uživatele také důvodem, proč raději zvolit jiný typ čerpadla.

Horizontální tepelné výměníky jsou na rozdíl od vertikálních výměníků výrazně levnější, což je především díky jejich snadnější realizaci. Zároveň je u vertikálních výměníků potřeba vyhloubení hlubinného vrtu a s tím spojené možné komplikace s vlastnostmi zemního masivu, do kterého se výměník umístí stejně tak jako následná údržba trubek, ke kterým by se v případě poškození špatně dostávalo. Na druhou stranu potřebují horizontální výměníky velkou plochu pozemku, ve které je výměník uložen. Zároveň je jejich velkou nevýhodou topný faktor, který se během roku u horizontálních výměníků mění, protože jsou oproti vertikálnímu výměníku, který je uložen až do 150 m, blíže k povrchu zemního masivu. Hloubka jejich uložení je totiž do 2 m.

Co se týče konfigurací horizontálních tepelných výměníků, tak se ukázala konfigurace šroubovitého typu vzhledem k ročnímu výkonu, který zajistí kompenzaci za vysoké pořizovací náklady a náročnost na instalaci, jako nejlepší.

Látka, která získává přes tepelný výměník teplo ze zemního masivu se nazývá teplotonosná kapalina. Ta je buď na bázi lihové, glycerínové nebo glykolové. V dnešní době je potřeba brát v potaz ekologický dopad v případě úniku teplotonosné kapaliny, z tohoto pohledu se ukázali propylenglykol a líh jako nejlepší.

Další pracovní látkou v systému s tepelným čerpadlem jsou chladiva. Mezi chladivy mají velký rozmach přírodní chladiva a zvláště pak CO_2 , jehož GWP má hodnotu 1.

5 Seznam použitých zdrojů

- [1] ŠMÍDA, Igor. Tepelná čerpadla a jejich použití v otopných soustavách (I). *Www.tzb-info.cz* [online]. 2002 [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/1271-tepelna-čerpadla-a-jejich-pouziti-v-otopnych-soustavach-i>
- [2] PAULI, Pavel, Pavel NEUBERGER a Radomír ADAMOVSÝ. Monitoring and Analysing Changes in Temperature and Energy in the Ground with Installed Horizontal Ground Heat Exchangers. *Energies*. 2016, **9**(8). DOI: 10.3390/en9080555. ISSN 1996-1073. Dostupné také z: <http://www.mdpi.com/1996-1073/9/8/555>
- [3] ADAMOVSÝ, Daniel, Pavel NEUBERGER a Radomír ADAMOVSÝ. Changes in energy and temperature in the ground mass with horizontal heat exchangers—The energy source for heat pumps. *Energy and Buildings* [online]. 2015, **92**, 107-115 [cit. 2019-02-18]. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.01.052. ISSN 03787788. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S037877881500078X>
- [4] HEPBURN, Benjamin D.P., Majid SEDIGHI, Hywel R. THOMAS a MANJU. Field-scale monitoring of a horizontal ground source heat system. *Geothermics* [online]. 2016, **61**, 86-103 [cit. 2019-02-22]. DOI: 10.1016/j.geothermics.2016.01.012. ISSN 03756505. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0375650516000146>
- [5] ŽERAVÍK, Antonín. *Stavíme tepelné čerpadlo: [návratnost i za jeden rok]*. Přerov: Antonín Žeravík, 2003. ISBN 80-239-0275-X.
- [6] HOŘEJŠÍ, Miroslav. Tepelná čerpadla pro každého (I). *Www.tzb-info.cz* [online]. 2002 [cit. 2019-02-23]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/953-tepelna-čerpadla-pro-kazdeho-i>
- [7] SRDEČNÝ, Karel a Jan TRUXA. *Tepelná čerpadla*. Brno: ERA, 2005. 21. století. ISBN 80-736-6031-8.
- [8] ADAMOVSÝ, Radomír, Pavel NEUBERGER a Radka KODEŠOVÁ. *Metodika pro využití půdy jako nízkoteplotního zdroje energie tepelných čerpadel: certifikovaná metodika*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, katedra mechaniky a strojnictví, Technická fakulta, katedra pedologie a ochrany půd, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, 2015. ISBN 978-80-213-2559-3.
- [9] BANKS, David. *An introduction to thermogeology: ground source heating and cooling*. Malden, MA: Blackwell Pub., 2008. ISBN 978-1-4051-7061-1.
- [10] GO, Gyu-Hyun, Seung-Rae LEE, Nikhil N.V. a Seok YOON. A new performance evaluation algorithm for horizontal GCHPs (ground coupled heat pump systems) that considers rainfall infiltration. *Energy* [online]. 2015, **83**, 766-777 [cit. 2019-02-23]. DOI: 10.1016/j.energy.2015.02.086. ISSN 03605442. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S036054421500242X>

- [11] Provozní kapaliny. *Www.ge-tra.cz* [online]. [cit. 2019-02-23]. Dostupné z: <https://www.ge-tra.cz/problematiky/provozni-kapaliny>
- [12] Nízkopotenciální zdroje tepla. *Users.fs.cvut.cz* [online]. [cit. 2019-02-24]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/AZE-P7-tepelna_cerpadla_NPT.pdf
- [13] KARLÍK, Robert. *Tepelné čerpadlo pro váš dům*. Praha: Grada, 2009. ISBN 978-80-247-2720-2.
- [14] CONGEDO, P.M., G. COLANGELO a G. STARACE. CFD simulations of horizontal ground heat exchangers: A comparison among different configurations. *Applied Thermal Engineering*. 2012, **33-34**, 24-32. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2011.09.005. ISSN 13594311. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359431111004856>
- [15] BRANDL, Heinz. Thermo-active Ground-Source Structures for Heating and Cooling. *Procedia Engineering*. 2013, **57**, 9-18. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.04.005. ISSN 18777058. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877705813007352>
- [16] SIVASAKTHIVEL, T., K. MURUGESAN a H.R. THOMAS. Optimization of operating parameters of ground source heat pump system for space heating and cooling by Taguchi method and utility concept. *Applied Energy*. 2014, **116**, 76-85. DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.10.065. ISSN 03062619. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261913009574>
- [17] CHOI, Wonjun, Ryoza OOKA a Yujin NAM. Impact of long-term operation of ground-source heat pump on subsurface thermal state in urban areas. *Sustainable Cities and Society*. 2018, **38**, 429-439. DOI: 10.1016/j.scs.2017.12.036. ISSN 22106707. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S221067071731750X>
- [18] MUSTAFA OMER, Abdeen. Ground-source heat pumps systems and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2008, **12(2)**, 344-371. DOI: 10.1016/j.rser.2006.10.003. ISSN 13640321. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032106001249>
- [19] LUCIA, Umberto, Marco SIMONETTI, Giacomo CHIESA a Giulia GRISOLIA. Ground-source pump system for heating and cooling: Review and thermodynamic approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017, **70**, 867-874. DOI: 10.1016/j.rser.2016.11.268. ISSN 13640321. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032116310504>
- [20] SARBU, Ioan a Calin SEBARCHIEVICI. General review of ground-source heat pump systems for heating and cooling of buildings. *Energy and Buildings*. 2014, **70**, 441-454. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.11.068. ISSN 03787788. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778813007858>

- [21] *Www.tepelna-cerpadla-pzp.cz* [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.tepelna-cerpadla-pzp.cz/cs/teplo-ze-zeme-5.html>
- [22] *Www.solarenavi.cz* [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.solarenavi.cz/a-46-tepelna-cerpadla-zeme-voda-zemni-plosny-kolektor.html>
- [23] LEONG, W.H, V.R TARNAWSKI a A AITTOMÄKI. Effect of soil type and moisture content on ground heat pump performance. *International Journal of Refrigeration*. 1998, 21(8), 595-606. DOI: 10.1016/S0140-7007(98)00041-3. ISSN 01407007. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0140700798000413>
- [24] KIM, M. Fundamental process and system design issues in CO2 vapor compression systems. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2004, 30(2), 119-174. DOI: 10.1016/j.pecs.2003.09.002. ISSN 03601285. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360128503000765>
- [25] Tepelná čerpadla. *Vytapeni.tzb-info.cz* [online]. [cit. 2019-03-27]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla>
- [26] PETRÁŠ, Dušan. *Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie*. Bratislava: Jaga, 2008. Vytápění. ISBN 978-80-8076-069-4.
- [27] RAUGEO ENERGETICKÉ PILOTY. */www.rehau.com* [online]. [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: <https://www.rehau.com/cz-cs/stavebnictvi-podnikatele/obnovitelne-energie/geotermie/raugeo-energeticke-piloty>
- [28] NEKSÁ, Petter. 2002. CO2 heat pump systems. *International Journal of Refrigeration* [online]. 25(4), 421-427 [cit. 2019-03-11]. DOI: 10.1016/S0140-7007(01)00033-0. ISSN 01407007.
- [29] Něco málo o chladivu. *Tech.kostecka.eu*[online]. [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: <http://tech.kostecka.eu/jak-to-funguje/chladiva/>
- [30] *Commercial Earth Energy Systems : a Buyer's Guide*. Ottawa : Natural Resources Canada, 2002. 95 s. ISBN 0-662-32808-6.
- [31] MACH, S. Tepelná čerpadla a topné faktory. *TZB-info* [online]. 8.3.2005, [cit. 2019-02-30]. Dostupný z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/2410-tepelna-cerpadla-a-topne-faktory>>
- [32] ČÍŽEK, P. Zemní tepelné výměníky tepelných čerpadel se neobejdou bez podzemní vody. In *Studny a vrty a geologie : Tepelná čerpadla* [online], 2005. Dostupné z WWW: http://www.geolog.cz/odborne_clanky/Cizek%20TC%20a%20voda.htm
- [33] MAREŠ, S., et al. *Geofyzikální metody v hydrogeologii a inženýrské geologii*. Vyd. 1. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1983. 197 s.

[34] ŠORIN, S. N. *Sdílení tepla*. 1 vyd. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1968.

[35] -Země - voda. *Www.tridas-tech.cz* [online]. [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: http://www.tridas-tech.cz/category50_zeme-voda

[36] Tepelných čerpadel v Česku přibývá. Přesto zatím zaostáváme za vyspělým světem. *Www.businessinfo.cz* [online]. [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: <https://www.businessinfo.cz/cs/clanky/tepelných-čerpadel-v-cesku-pribyva-presto-zatim-zaostavame-za-vyspelym-svetem-105006.html>

[37] Budoucnost tepelných čerpadel v Evropě a v ČR. *Vytapeni.tzb-info.cz* [online]. [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/18356-budoucnost-tepelných-čerpadel-v-evrope-a-v-cr>

Seznam obrázků

Obr. 1: Princip funkce tepelného čerpadla [7]	11
Obr. 2: Schéma zapojení tepelného čerpadla [5]	12
Obr. 3: Lineární tepelný výměník [21]	14
Obr. 4: Lineární tepelný výměník [5]	15
Obr. 5: Výměník typu Slinky [35]	15
Obr. 6: Výměník typu Slinky [5]	16
Obr. 7: Šroubový výměník [10]	16
Obr. 8: Hlubinný vrt [21]	18
Obr. 9: Energetické piloty [27]	19
Obr. 10: Koš energetické piloty [27]	19
Obr. 11: Schéma procesů sdílení tepla v zemním masivu s odběrem tepla trubkou [8]	21
Obr. 12: Sluneční záření [30]	24
Obr. 13: Rozdíl teplot v půdě se vzrůstající hloubkou [12]	25
Obr. 14: Jednostupňový cyklus CO ₂ T-s diagram	33
Obr. 15: Počet instalací tepelných čerpadel [37]	34
Obr. 16: Instalace tepelných čerpadel podle států [37]	35
Obr. 17: Instalace tepelných čerpadel v České republice	36

Seznam tabulek

Tab. 1: Součinitele tepelné vodivosti pro dané materiály	14
Tab. 2: Součinitel tepelné vodivosti zeminy [33]	27
Tab. 3: Součinitele tepelné vodivosti horniny [33]	27
Tab. 4: Měrná objemová tepelná kapacita a různých druhů zemin [32]	28
Tab. 5: Nemrznoucí směsi a jejich charakteristiky [9]	30
Tab. 6: Chladiva	32
Tab. 7: Přírodní chladiva	32