

Česká zemědělská univerzita v Praze



Bakalářská práce

**Využití zemního a horninového masivu jako
nizkoteplotních zdrojů energie**

Vedoucí práce: prof. Ing. Radomír Adamovský DrSc.

Autor práce: Radomír Svoboda

© 2018 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Radomír Svoboda

Technologická zařízení staveb

Název práce

Využití zemního a horninového masivu jako nízkoteplotních zdrojů energie.

Název anglicky

Utilization of soil and rock mass as a low-temperature energy sources.

Cíle práce

Vyhodnocení energetických, ekonomických a environmentálních efektů vyplývajících z využívání zemního a horninového masivu jako nízkoteplotních zdrojů energie tepelných čerpadel.

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

nízkoteplotní zdroje energie; zemní masiv; horninový masiv; teplota; výměník tepla; tepelné čerpadlo; topný faktor; úspory energie; životní prostředí.

Doporučené zdroje informací

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.

GUSTAFSSON, Anna-Maria. WESTERLUND, Lares. Heat extraction thermal response test in groundwater-filled borehole heat exchanger – Investigation of the borehole thermal resistance, Renewable Energy 36 (2011) 2388–2394. ISSN 1214-7044.

Inflow: tzbinfo-stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [online časopis]. 2010 – 2016. 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.

SARBU, Ioan, SEBARCHIEVICI, Calin. General review of ground-source heat pump systems for heating and cooling of buildings, Energy and Buildings 70, (2014) 441– 54. ISSN 0378-7788.

Vytápění, Větrání, Instalace. Odborný recenzovaný časopis Společnosti pro techniku prostředí. ISSN 1210-1389.

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Ing. Radomír Adamovský, DrSc.

Garantující pracoviště

Katedra mechaniky a strojnictví

Elektronicky schváleno dne 10. 1. 2017

doc. Ing. Pavel Neuberger, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 1. 2017

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 25. 11. 2017

„Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Využití zemního a horninového masivu jako nízkoteplotních zdrojů energie vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom že, na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

V Praze dne.....

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval všem, kteří mi při tvorbě bakalářské práce pomohli. Hlavně bych poděkoval svému vedoucímu práce panu prof. Ing. Radomíru Adamovskému DrSc. za cenné rady, připomínky a čas, který mi věnoval.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je analyzovat zemní a horninový masiv jako nízkopotenciální zdroje energie pro tepelná čerpadla, popsat základní principy funkčnosti tepelného čerpadla a přiblížit jednotlivé možnosti provedení. Práce je rozdělena na 6 částí. První část je věnována systémům a druhům vytápění. Druhá část je nejobsáhlejší a jsou zde popsány principy tepelného čerpadla, využití zemního a horninového masivu, jednotlivé možnosti provedení, zároveň posouzení ekologické náročnosti tepelných čerpadel. Předposlední oddíl porovnává jednotlivé provedení z hlediska provozních a realizačních nákladů. Poslední část práce je diskuze, která obsahuje pohled autora na danou problematiku. Z práce plyne, že nelze jednoznačně určit systém který je nejvýhodnější, vždy se musí vyhodnotit všechny fakta která pak aplikovat na danou situaci.

Klíčová slova: nízkoteplotní zdroj energie, tepelná čerpadla, chladiva, zemní masiv, horninový masiv, horizontální výměníky, vertikální výměníky,

Summary

The aim of this bachelor thesis is to analyze the rock massive as low-potential sources of energy for heat pumps. The next step is to describe basic functional principles of a heat pump and describe particular options of realization. The thesis is divided into six parts. The first part is focused on the systems and kinds of heating. In the second part attention is paid to the principles of the heat pump, the use of ground and rock massive. This part is the most comprehensive. It describes particular options of realization and the assessment of ecological demands of the heat pumps. The last but one part compares particular realizations from the point of view of the operating and implementation costs. The last part contains the discussion that includes author's view towards the issue. It is clear from the thesis that it is not possible to define the system which is the most advantageous. There is always necessary to evaluate all facts and apply them to the given situation.

Keywords: low-potential sources of energy, heat pumps, refrigerant, ground massive, rock massive, horizontal exchanger, vertical exchanger

1	Úvod.....	1
2	Cíle práce.....	2
3	Současný stav řešení problematiky.	2
3.1	Vytápění.....	2
3.2	Nízkoteplotní a vysokoteplotní vytápění.....	3
3.3	Historie tepelných čerpadel.....	3
3.4	Počátky	4
3.5	První čerpadlo	4
3.6	Tepelná čerpadla v ČR.....	4
3.7	Rozmach tepelných čerpadel v ČR	5
3.8	Současnost.....	5
3.9	Princip tepelného čerpadla.....	5
3.10	Carnotův cyklus.....	7
3.11	Porovnávací C-Rankinův cyklus tepelného čerpadla	10
3.12	Topný faktor (COP a SCOP)	11
3.13	COP	11
3.13.1	Norma ČSN EN 14 511	12
3.13.2	ČSN EN 14825	13
3.14	SCOP	14
3.15	Provozní režimy	14
3.16	Chladiva	16
3.16.1	Rozdělení.....	17
3.17	Přírodní chladiva	17
3.18	Syntetická chladiva.....	18
3.18.1	CFC	18
3.18.2	HCFC	18
3.18.3	HFC.....	19
3.19	Charakteristiky nejpoužívanějších chladiv	19
3.19.1	Chladivo R12.....	19
3.19.2	Chladivo R22.....	20

3.19.3	Chladivo R134a	20
3.19.4	Chladivo R404a	21
3.19.5	Chladivo R407c	21
3.19.6	Chladivo R410a	21
3.20	Typy zemních a horninových výměníků tepla	22
3.20.1	Horizontální zemní výměníky	22
3.20.2	Technologie výměníků	23
3.20.3	Teplonosné kapaliny	24
3.21	Vertikální zemní výměník	24
3.21.1	Dimenzování vrtů	25
3.21.2	Technologie hloubení vrtů	26
3.21.3	Vystrojení vrtů pro tepelné čerpadlo	27
3.21.4	Injektážní potrubí	28
3.22	Energie zemního a horninového masivu	32
4	Metodika	36
5	Výsledky	36
5.1	Návrh horizontálního zemní výměníku	36
5.2	Návrh vertikálního horninového výměníku	41
6	Diskuze	43
7	Závěr	45
8	Seznam obrázků	46
9	Seznam tabulek	47
10	Příloha	48
11	Citace	49

1 Úvod

V dnešní době, kdy ceny energií každý rok stoupají, je kladen velký důraz na volbu zdroje tepelné energie pro rodinných domů, velkých prostorů a bytů. Vysoké ceny energií způsobilo zvyšování poptávky po levnějších způsobech vytápění o způsobilo velký vývoj v posledních letech. Volba nejvýhodnějšího zdroje není vždy jednoznačná a pro každou bytovou jednotku může být odlišná, avšak pokud je volba provedena odborně, může mnohonásobně snížit náklady na vytápění.

Nízkoteplotní vytápění je podporováno i z hlediska ekologie. Tepelná čerpadla nemají téměř žádný negativní dopad na životní prostředí oproti zdrojům využívaným například před 30 lety, kdy téměř nebyl kladen důraz na tyto ekologické aspekty. Tento způsob vytápění také velice často využívá obnovitelných zdrojů energie, např. solární energie, vody či vzduchu, a tím se stávají levnějšími či „zcela zdarma“. Tyto způsoby však nejsou cílem této práce. V této práci se budu zabývat pouze energií ze země.

2 Cíle práce

Vyhodnocení energetických, ekonomických a environmentálních efektů vyplývajících z využívání zemního a horninového masivu jako nízkoteplotních zdrojů energie tepelných čerpadel.

3 Současný stav řešení problematiky.

3.1 Vytápění

Vytápění je aktivita, při které chceme dosáhnout v určitém prostředí (dům, byt) stavu tepelné pohody, která je podle normy ČSN EN ISO 7730 definována jako individuální pocit spokojenosti s tepelným prostředím, tzn. udržovat teplotu těla na úrovni 37 °C. [1]

Pro zajištění tepelné pohody je potřeba udělat bilanční výpočet tepla. Dělá se pro každou stavbu, v které chceme mít zajištěnou tepelnou pohodu. Bilančním výpočtem zjistíme, jaké jsou tepelné nároky budovy. Energetické nároky jsou způsobeny ztrátami, při kterých dochází prostupem tepla do okolí, větráním, počtem oken v budově/místnosti. Výsledná hodnota jsou ztráty, které je třeba dodat vytápěním (výsledný výkon otopného zařízení) které je nutné dodat do objektu.[2]

Mezi zdroje vytápění místností patří otopná tělesa. Teplo do nich proudí pomocí ohřáté vody, která je vyhřívána ve zdroji tepla (kotel, tepelné čerpadlo, solární panely atp.). Mezi další zdroje tepla v budově zanedbatelně patří i lidé, kteří vyprodukují v běžné denní činnosti až 100W. Jako další zdroje tepla v domácnosti se musí počítat různě přístroje televizor, trouba, žárovky, rychlovarná konvice atp. V neposlední řadě nesmíme opomenout intenzitu dopadajícího slunečního záření. To jak v zimních tak v převážně letních podmínkách dokáže dodat obrovské množství tepla do budovy.

Tepelný přínos z činnosti osob a spotřebičů určitě není zanedbatelný. Podle měření společnosti Philips v experimentálním domě na Slovensku bylo zjištěno, že tepelný přínos od čtyřčlenné rodiny během topné sezóny (od října do května) byl cca 1900 kWh. Za stejné období bylo množství vyprodukované energie od běžných elektrických spotřebičů cca 1600 kWh. [3]

3.2 Nízkoteplotní a vysokoteplotní vytápění

Dnešní moderní výstavby kladou důraz na energetickou úspornost celého vytápěcího systému budov. Zavedení energetických štítků domů a budov, směrnice EU 2020 ukazuje, že spotřeba energií bude do budoucna vnímána jako velmi důležitý pojem. Moderní materiály dokážou snížit tepelné ztráty na minimum, pak je výhodné investovat do tepelného čerpadla nebo jiného nízkoteplotního zdroje. [4]

Tyto a podobné zdroje tepla jsou tzv. nízkoteplotní. To znamená, že medium (nejčastěji voda) v proudící v otopných tělesech pro vytápění je ohřívána na nízké teploty, zpravidla v rozmezí 35 až 55°C. Tato teplota se měří co nejbližší zdroji tepla (např. kotel).

Vysokoteplotní zdroje jsou podle normy brány s ohřevem vody na 70°C.[4]

3.3 Historie tepelných čerpadel

První zmínky o tepelném čerpadle jsou již z 19. století, kdy máme první zmínku v díle *Úvahy o hybné síle a ohně a strojích vyvolávající tuto sílu* od S. N. L Carnota. Kde popsal termodynamický cyklus, který byl později pojmenován jeho jménem. Také v práci zaznělo druhá formulace termodynamické věty. Která říká, že účinnost všech vratných cyklů, které pracují mezi stejnými teplotami, je stejná a závisí pouze na teplotách obou zásobníků tepla, účinnost libovolného nevratného cyklu nemůže být větší než účinnost vratného Carnotova cyklu pracujícího mezi týmiž maximálními teplotami.

Na základě jeho prací roku 1852 formuloval lord Kelvin princip tepelného čerpadla a přidal další znění druhého termodynamického zákona, teplo nemůže při styku dvou těles různých teplot samovolně přecházet z tělesa chladnějšího na teplejší, tzn. nelze sestrojít periodicky pracující tepelný stroj, který by trvale konal práci pouze tím, že by ochlazoval jedno těleso a k žádné další změně v okolí by nedocházelo. Proto teplo se šíří vždy ve směru od teplejší ke studenější části a ne naopak. Tento problém šíření tepla využívá právě tepelné čerpadlo.

[6, 7]

3.4 Počátky

Na počátku dvacátých let 20. století se začaly objevovat první chladicí zařízení pro domácnosti. První prakticky použitelný chladicí systém byl však uveden do provozu až v roce 1924 ve Švýcarsku. Většího rozmachu zaznamenala chladicí a klimatizační technika po roce 1932, kdy americká firma Kinetic Chemicals Inc uvedla na trh první chladivo (Freon). Díky těmto chladivům nastal velký rozmach chladicí a klimatizační techniky, které používaly právě tyto chladiva. Bohužel v té době nikdo nevěděl o negativním vlivu těchto látek na životní prostředí. Současně s těmito chladivy byl používán čpavek, který je v určitých zařízeních používán dodnes. V osmdesátých letech 20. století, kdy byl zjištěn a prokázán negativní vliv freonu na ozonovou vrstvu Země, nastal útlum používání a začaly se hledat jiné méně škodlivé látky, které by měly podobné termodynamické vlastnosti jako freony. [7, 8]

3.5 První čerpadlo

Tímto problémem se začal zabývat ve čtyřicátých letech 20. století Robert Weber. Během pokusů s hloubkovým zamrazením se omylem dotkl výstupního potrubí chladicího zařízení

a popálil si ruku. Právě této náhodě vděčíme za odhalení funkce tepelného čerpadla jako zdroje tepla. Webber následně propojil výstup z mrazicího zařízení s bojlerem na teplou vodu. Jelikož měl stále přebytek tepla, napojil horkou vodu na potrubní smyčku a pomocí malého větráku začal vhánět teplý vzduch do místnosti. Pokračoval dále v pokusech, což dospělo až k úspěšnému čerpání tepla ze země pomocí zemních kolektorů. S výsledky byl natolik spokojený, že prodal svůj starý kotel na uhlí a využíval svého zemního tepelného čerpadla. [8]

3.6 Tepelná čerpadla v ČR

V České republice bylo před rokem 1990 nainstalováno jen několik kusů tepelných čerpadel a to zejména z propagačních či demonstračních důvodů tehdejšího režimu. Teprve až po roce 1990 se začaly objevovat první instalace tepelných čerpadel. Jednalo se především o dovoz zahraničních výrobků ze zemí, kde měli s tepelnými čerpadly mnohem více praktických zkušeností. Jednalo se převážně o výrobce ze zemí: Švédsko, Německo či Rakousko. Postupem času se začali objevovat tuzemští výrobci, kteří získávali první zkušenosti. Ze začátku se jednalo o pár kusů tepelných čerpadel ročně. Důvod, proč byl

zpočátku růst instalací tak pomalý, byl zejména ekonomický. Cena energií byla nízká, pořizovací náklady vysoké a doba návratnosti se dost často pohybovala za životností zařízení. Stejně jako v Evropě došlo u nás k mohutnému rozmachu po roce 2000. [8]

3.7 Rozmach tepelných čerpadel v ČR

Po roce 2000 začaly vznikat různé programy, které podporovaly instalaci tepelných čerpadel. Dalším hlavním důvodem rozmachu tepelných čerpadel, bylo a je zvyšování cen energií. Díky tomu se snížila doba návratnosti investice tepelného čerpadla pod 10 let, tento časový horizont už je výhodný pro investory. [8]

3.8 Současnost

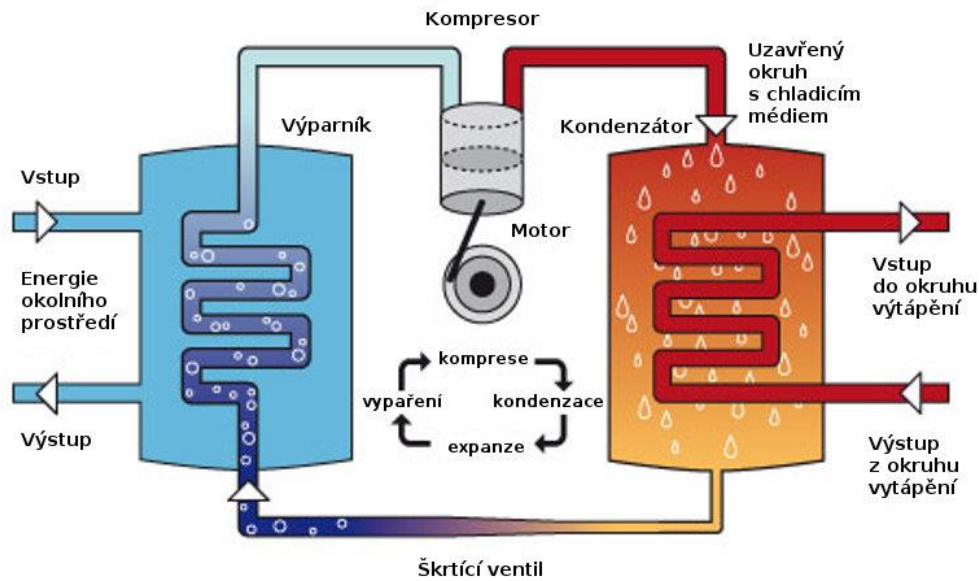
V dnešní době jsou tepelná čerpadla velice oblíbeným zdrojem tepla. Důvodů je hned několik. Velmi nízké provozní náklady, cena tepelných čerpadel se snižuje, zatímco cena energií se zvyšuje, tudíž doba návratnosti je mnohem kratší. Technologie a vývoj tepelných čerpadel postoupil velkou změnou od počátků, proto jejich životnost je již delší než 20 let. V neposlední řadě je to také velmi ekologický zdroj tepla a to je v dnešní době také důležitý argument pro pořízení. [8]

3.9 Princip tepelného čerpadla

Tepelná čerpadla se řadí mezi alternativní zdroje energie, protože umožňují odnímat teplo z okolního prostředí (vody, vzduchu nebo země). Převádět teplo na vyšší teplotní hladinu a následně účelně využít pro vytápění nebo přípravu teplé vody. Pro přečerpání tepla na vyšší teplotní hladinu je třeba dodat určité množství energie. [5]

Tepelná čerpadla pracují na principu, jakým pracuje chladnička. Energie se odebírána z okolního prostředí převádí na vyšší teplotní úroveň a tím je využitelná pro účely vytápění. V uzavřeném oběhu cirkuluje tzv. chladivo (specifická teplosměnná látka), které se vyznačuje extrémně nízkým bodem varu. [11]

Obr. 1 - Schéma tepelného čerpadla



zdroj: <http://www.zdrave-bydleni.com/>

Vypařování: Odvádění tepla při nízké teplotě a nízkém tlaku stálém tlaku změnou skupenství (vypařováním) pracovní látky ve výparníku. [10]

Kompresa: Odpařené, ale ještě studené chladivo se pomocí kompresoru stlačuje a tím zvyšuje svůj tlak a teplotu. Chladivo vystupuje z kompresoru jako tzv. přehřátá pára, chladiva. [10]

Kondenzace: Přehřátá pára chladiva vstupuje do kondenzátoru, kde předává svou energii do topné soustavy a opouští kondenzátor jako teplé chladivo v kapalně fázi. Topná nebo teplá voda se tím ohřívá na požadovanou teplotu. [10]

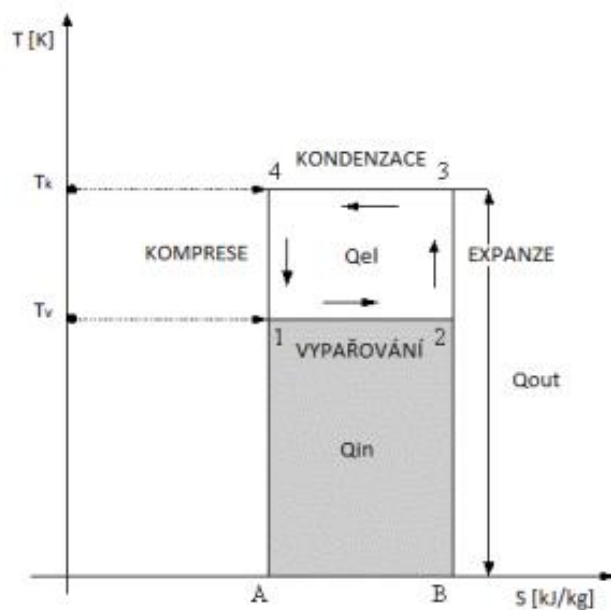
Expanze: Teplé chladivo v kapalně fázi se vede potrubím k expanznímu armatuře, kde se rázem sníží tlak. Tím se rovněž sníží najednou i teplota chladiva. Dále se chladivo vede do výparníku, kde rozdílem teplot odebírá energii z okolního prostoru. Tento cyklus se neustále opakuje [10]

Výparník: Ve výparníku tak může chladičím médium znovu odebírat energii obsaženou ve vzduchu, zemi nebo vodě. Při tomto procesu je cca 75% tepelné energie zdarma získáváno z přírodních zdrojů. Zbylou část je třeba dodat prostřednictvím elektrické sítě (kompresoru). [11]

3.10 Carnotův cyklus

Pracovní cyklus tepelného čerpadla lze přirovnat ke Carnotovu cyklu. Carnotův cyklus je oběh, který probíhá mezi stejnými mezními teplotami T_{max} a T_{min} s největší tepelnou účinností. Jedná se o levotočivý cyklus zahrnující změny adiabatickou a izotermickou. Jakýmkoliv skutečným oběhem se můžeme nanejvýš Carnotovu oběhu přiblížit, proto je pouze porovnávací a praxi žádný stroj takto nepracuje. [49]

Obr. 2- Znárodnění pracovního cyklu dle Carnotova cyklu



zdroj: <https://www.tzb-info.cz/>

T teplota [K]

S entropie [kJ/kg]

T_k teplota při které přivádíme teplo [K]

T_v Teplota při které přivádíme teplo [K]

Q_{in} je energie [J] získaná z nízkoteplotního zdroje při teplotě T_v

Q_{el} je energii [J] dodané do pracovního stroje při kompresi

Q_{out} je součtem energií [J] Q_{in} a Q_{el} . Výsledná energie, která je dodaná do otopného systému při teplotě T_k

1-2 izotermicko-izobarické vypařování

2-3 adiabatická (izoentropická) komprese

3-4 izotermicko-izobarická kondenzace

4-1 adiabatická (izoentropická) expanze

Na vykonání oběhu je potřeba práce $A=A_{2,3} - A_{4,1}$ a přívod nízkopotenciálního tepla $Q_{1,2}$. Využitelné teplo $Q_{3,4}$ získané při teplotě T_v pak bude:

$$Q_{3,4} = Q_{1,2} + A = T_k (s_2 - s_1) \quad [\text{J}] \quad (1)$$

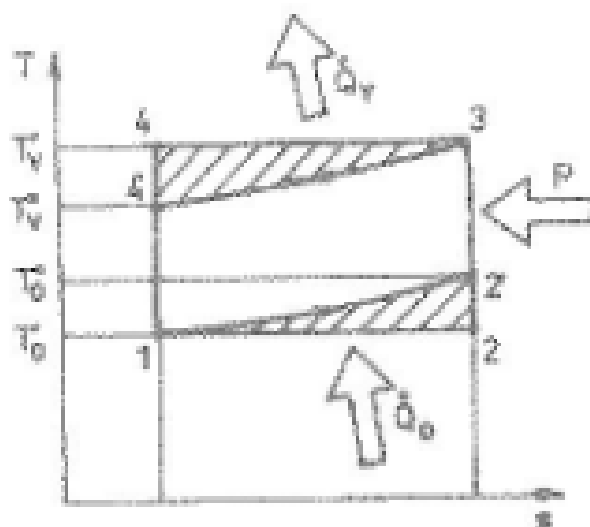
Topný faktor tepelného čerpadla pracujícího s vratným Carnotovým oběhem pak lze vyjádřit jako:

$$\varepsilon(C) = \frac{Q_{3,4}}{A} = \frac{T_k}{T_k - T_0} \quad [-] \quad (2)$$

Lorenzův porovnávací cyklus tepelného čerpadla

V Carnotově cyklu se předpokládá, že přívod a odvod tepla probíhá za konstantní teploty. V reálném tepelném čerpadle pracujícím s vícesložkovými pracovními látkami je děj vypařování ve výparníku a kondenzace v kondenzátoru izobarický, ale není izotermický a dochází k tak zvanému teplotnímu skluzu. Takovým podmínkám, kdy teploty ve výměnících nejsou stálé, vyhovuje nejlépe Lorenzův oběh.[49]

Obr. 3 - Lorenzův porovnávací cyklus tepelného čerpadla



Zdroj: HAVELSKÝ, V. MEČÁRIK, K. FÜRI, B. Tepelné čerpadla. 1. Vydání.

Bratislava: Alfa, 1988. 328s. 25,04 AH, 25,44 VH

Lorenzův oběh se skládá z těchto termodynamických změn:

1 → 2' Izobarické vypařování s přívodem tepla Q_0 (nízkoteplotní energie)

2' → 3 Adiabatická komprese s prací kompresoru $A_{2,3}$

3 → 4' Izobarická kondenzace s odvodem tepla Q_v (užitková energie)

4' → 1 Adiabatická expanze s vykonáváním práce $A_{4,1}$

Při výpočtu topného faktoru musíme zjistit střední hodnotu teplot. Považujeme-li průběh teplot za lineární, tato hodnota bude

$$T_{v,s} = \frac{T_v' + T_v''}{2} \text{ [K]} \quad (3)$$

$$T_{0,s} = (T_{0'} + T_{0''}) / 2 \text{ [K]} \quad (4)$$

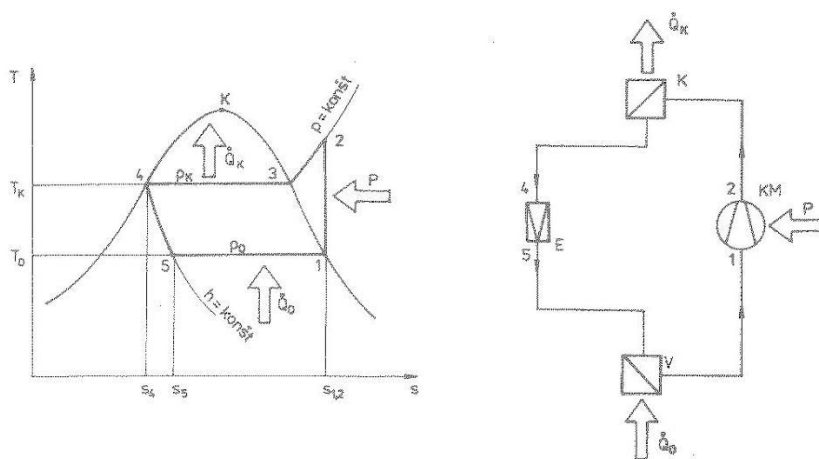
Topný faktor pak vypočítáme analogicky jako u Carnotova cyklu:

$$\varepsilon(L) = \frac{Q_{3,4}}{A} = \frac{T_{v,s}}{T_{v,s} - T_{0,s}} \text{ [-]} \quad (5)$$

3.11 Porovnávací C-Rankinův cyklus tepelného čerpadla

V posledních letech se využívají převážně kompresorová tepelná čerpadla, která popisuje vratný Clasius-Rankinův levotočivý oběh, ale i tento cyklus se pouze blíží skutečnosti. Tento vratný cyklus nelze uskutečnit hned z několika důvodů. Hlavním důvodem je skutečnost, že existuje přenos tepla s okolím. Dalším důvodem jsou tlakové ztráty při průtoku pracovní látky zejména ve výparníku a kondenzátoru, a posledním důvodem je nedokonalost kompresoru, který způsobuje polytropický proces komprese s exponentem polytropy $n \neq \kappa$. [49]

Obr. 4.: C-Rankinův porovnávací cyklus tepelného čerpadla



Zdroj: <https://www.quora.com/What-is-a-rankine-cycle>

C-Rankinův oběh se skládá z těchto termodynamických změn:

- 1 → 2 Izoentropická komprese pracovní látky z tlaku p_0 na tlak p_k dodáváním příkonu P (přeměna mechanické energie na teplo)
- 2 → 3' Izobarické ochlazení přehřátých par na stav nasycení. Zde dochází rovněž k odvádění tepla (přehřívacího)
- 3' → 4 Izobarická kondenzace při konstantním tlaku p_k a teplotě T_k (odvod kondenzačního tepla Q_k)
- 4 → 5 Izoentalpická expanze pracovní látky

5 → 1 Vypařování pracovní látky při konstantním tlaku p_0 a teplotě T_0 . Přívod tepla Q_0 do systému (nizkoteplotní energie)

T teplota [K]

S entropie [kJ/kg]

3.12 Topný faktor (COP a SCOP)

3.13 COP

$$\varepsilon_t = \frac{Q_k}{A} \quad [-] \quad (6)$$

Kde: Q_k - celkový tepelný výkon získaný na kondenzátoru čerpadla [kW];

A - elektrický příkon kompresoru potřebný pro provoz čerpadla [kW].

Výpočtem získáme topný faktor COP, který udává poměr mezi celkovým ziskem tepla ze systému během pracovního cyklu které získáme, a prací vloženou do procesu.

Základním parametrem tepelných čerpadel je topný faktor (COP – Coefficient of Performance). Výsledná hodnota slouží k porovnání účinností jednotlivých tepelných čerpadel. Čím je vyšší topný faktor, tím je tepelné čerpadlo ekonomicky výhodnější.

Běžně se topný faktor pohybuje v rozmezí od 2,5 do 5. Není to veličina, která je pořád stejná. Mění se dle podmínek, v nichž tepelné čerpadlo pracuje. Topný faktor při provozu tepelného čerpadla v praxi kolísá. Vše je závislé na provozních podmínkách.

Při vyjádření topného faktoru se můžeme setkat např. s tímto zápisem: COP při 0°C/35°C je 4,5 dle EN 14 511. Tento zápis znamená, že se jedná o tepelné čerpadlo, které má při vstupu tekutiny o teplotě 0°C z primárního okruhu, na výstupu do sekundárního okruhu tekutinu o teplotě 35°C topný faktor 4,5. EN 14 511 znamená, že měření proběhlo v laboratorních podmínkách dle metodiky normy EN 14 511.

Různé typy tepelných čerpadel mají i různé hodnoty, při kterých se vzájemně srovnávají. Pro tepelná čerpadla typu země/voda je to při 0°C/35° tzn. vstupní teplota vstupní tekutiny do čerpadla je 0°C a na výstupu, teplota vody která odchází z TČ je 35°C. Tepelná čerpadla typu voda/voda je to 10°C/35°C. Tepelné čerpadlo typu vzduch/voda jsou parametry 2°C/35°C [12]

3.13.1 Norma ČSN EN 14 511

Norma pro testování výkonnosti a účinnosti tepelných čerpadel je ČSN EN 14511, která se skládá ze čtyř částí.

Úvodní část je věnována základním termínům a definicím. Druhá, definuje zkušební podmínky pro testování. Třetí předepisuje požadavky na zkušební technologii, měřicí techniku a instalaci tepelného čerpadla a metody stanovení včetně výpočtů a podobu protokolu

a zhodnocení výsledků zkoušek. Čtvrtá a poslední část normy je zaměřena na bezpečnostní testy tepelného čerpadla. Patří sem operační rozsah teplot, ve kterém může tepelné čerpadlo bezpečně fungovat. Tato norma nepokrývá celý rozsah Ekodesignu a naopak Ekodesign nezahrnuje všechny dílčí měřené parametry obsažené v normě ČSN EN 14511. [43]

Předmětem této normy je tedy určit COP, topný faktor. Je to poměr mezi tepelným výkonem a elektrickým příkonem. Pro ekonomickou výhodnost by měla být tato hodnota větší než 4. [43]

Pro nízkoteplotní tepelná čerpadla teplotnosná kapalina (směs vody a etylalkoholu nebo glykolu) jsou standardní podmínky 0/35 (0 °C je teplota teplotnosné kapaliny na vstupu do výparníku a 35 °C je teplota vody na výstupu z kondenzátoru). Na výparníku je nastaven takový průtok teplotnosné kapaliny, aby byla udržována teplotní rozdíl mezi vstupem a výstupem 3 K. Na kondenzátoru se podobně nastaví teplotní spád 5 K. Při zkoušení za uživatelských podmínek je udržován průtok nastavený za standardních podmínek a měněna požadovaná teplota teplotnosné kapaliny na vstupu do výparníku a vody na výstupu z kondenzátoru.[45]

Tepelná čerpadla jsou obecně rozdělena podle teploty látky na výparníkové a kondenzační straně. Příklad nejdůležitějších zkušebních podmínek je uveden v tab.1. Norma ČSN EN 14825 navíc předepisuje další nepovinné body pro měření.[45]

Tab.1. Norma ČSN EN 14825

		Venkovní výměník		Vnitřní výměník	
		Vstupní teplota	Výstupní teplota	Vstupní teplota	Výstupní teplota
Standardní podmínky	voda	10	7	30	35
	Teplonosná kapalina	0	-3	30	35
Uživatelské podmínky	voda	15	*	*	35
	Teplonosná kapalina	5	*	*	35
	Teplonosná kapalina	-5	*	*	35

Zdroj: ČSN EN 14511-2 (143010)

3.13.2 ČSN EN 14825

Tato evropská norma stanoví podmínky částečného zatížení a postupy pro výpočet sezonního chladicího faktoru a sezonního topného faktoru.

Výpočty SCOP mohou vycházet z vypočtených nebo zkouškami zjištěných hodnot. V případě zkouškami zjištěných hodnot uvádí tato evropská norma postupy pro zkoušky tepelných čerpadel, klimatizátorů vzduchu a jednotek pro chlazení kapalin za podmínek částečného zatížení.

Ekodesign

Ministerstvo průmyslu a obchodu předepisuje že, *Ekodesign je soubor parametrů (především energetická účinnost), které musí dodržet dodavatel (výrobce nebo dovozce) výrobku spojeného se spotřebou energie při jeho uvedení na trh EU, popř. do provozu. Záměrem legislativy stanovující požadavky na ekodesign je podpořit rozšíření nejúčinnějších technologií a snížit tak spotřebu energie ve fázi používání výrobku. První takovéto požadavky byly stanoveny v evropských směrnicích zacílených na teplovodní kotle na kapalná a plynná paliva, chladničky a předřadníky k zářivkám. Obecný rámec pro požadavky na ekodesign*

poprvé stanovila směrnice 2005/32/ES, která byla o čtyři roky později nahrazena směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES.' [44]

3.14 SCOP

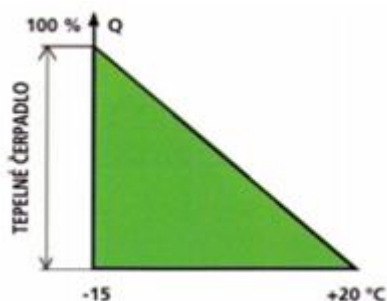
Nejdůležitějším parametrem tepelných čerpadel je sezónní topný faktor SCOP (Seasonal Coefficient of Performance) nebo někdy taky označován jako SPF – (Seasonal performance Factor). Často je prezentováno jako topný faktor TF, v anglickém originále COP, je to mylné. Právě sezónní topný faktor SCOP je pro běžné uživatele důležitější. Topný faktor COP je poměr topného výkonu k efektivnímu příkonu jednotky. SCOP je podíl vyrobeného tepla ke spotřebě elektrické energie za celý rok. Do spotřebované elektrické energie jsou zahrnuty i spotřebiče, které souvisí s tepelným čerpadlem (oběhová čerpadla, ovládání, elektrický kotol, senzory atd.). Sezónní topný faktor proto v sobě zahrnuje proměnlivost pracovních podmínek TČ a určuje, kolik skutečně zaplatíme za vyrobené teplo.[13]

3.15 Provozní režimy

Během roku se mění potřeba výkonu pro vytápění. Dimenzovat tepelné čerpadlo pro maximální výkon je obvykle neekonomické, protože je nutno pořídit nejen dražší tepelné čerpadlo, ale hlavně zdroj nízkopotenciálního tepla (např. vrt). Větší tepelné čerpadlo a hlubší vrt nebo větší zemní kolektor výrazně zvýší pořizovací náklady. Rozeznáváme několik provozních režimů, jak může být tepelné čerpadlo zapojeno.

Monovalentní provoz – tepelné čerpadlo je jediným zdrojem tepla pro budovu. Pracuje po celou dobu topné sezóny.

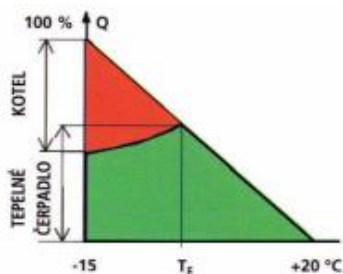
Obr. 5 – Diagram monovalentního provozu



Zdroj: <https://www.ateg.cz/poradna/jak-funguje-tepelne-cerpadlo/>

Alternativně-bivalentní provoz – tepelné čerpadlo pracuje po část topné sezóny a při největších mrazech je odstaveno. Teplo pak dodává další zdroj (kotel).

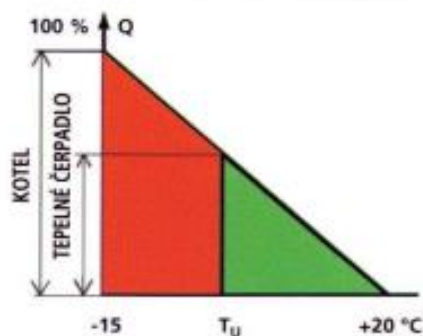
Obr. 6 – Diagram alternativně-bivalentní provoz



Zdroj: <https://www.ateg.cz/poradna/jak-funguje-tepelne-cerpadlo/>

Paralelně-bivalentní provoz – tepelné čerpadlo pracuje po celou topnou sezónu i při nejnižších teplotách. Tehdy však jeho výkon nestačí. Připojí se další zdroj tepla (kotel) a oba zdroje pracují společně.

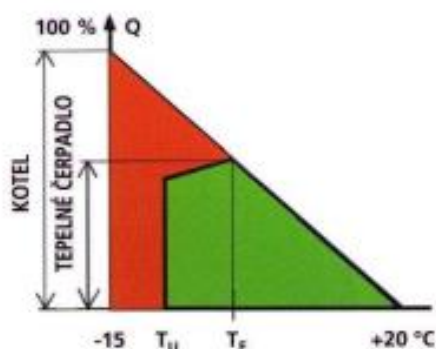
Obr.7 – Diagram paralelně-bivalentní provoz.



Zdroj: <https://www.ateg.cz/poradna/jak-funguje-tepelne-cerpadlo/>

Částečně paralelně-bivalentní provoz – tepelné čerpadlo pracuje pouze po část topné sezóny a při největších mrazech je odstaveno. Teplo pak dodává další zdroj (kotel). Před odstavením tepelného čerpadla pracují oba zdroje jistou dobu společně.

Obr. 8 – Diagram částečně paralelně-bivalentního provozu.



Zdroj: <https://www.ateg.cz/poradna/jak-funguje-tepelne-cerpadlo/>

3.16 Chladiva

Pracovní látka koluje v primárním okruhu mezi výparníkem, kompresorem a kondenzátorem. Během celého toho cyklu prochází termodynamickými změnami.

Chladivo je látka, která převádí teplo z jednoho prostředí do druhého. V jednom z těchto prostředí je potom teplota nižší, než je teplota okolí. Chladiva jsou kapalné látka, která při normálním tlaku vře obvykle pod teplotou 0°C.

Vlastnosti, které by měli chladiva splňovat:

- Nízká viskozita
- Vysoké výparné teplo
- Nesmí být nebezpečné z hlediska působení na lidské zdraví a životní prostředí
- Bezpečné z hlediska hořlavosti a výbušnosti,
- Ekonomické ukazatele
- Šetrné k materiálům a mazivům
- Elektroizolační vlastnosti [14]

3.16.1 Rozdělení

Chladiva se dělí podle jejich původu

- syntetická
- přírodní

3.17 Přírodní chladiva

V důsledku možných klimatických změn a potřeby snížit emise skleníkových plynů vznikla snaha vyvinout a vylepšit technologie používající přírodní chladiva, jakými jsou například čpavek a CO₂. Závazky vyplývající z Kjótského protokolu, které se týkají snížení emisí skleníkových plynů, podporují tento vývoj. Proto se firmy snažili vyvinout a vylepšit technologie používající přírodní chladiva, jakými jsou čpavek a CO₂.

Technologie využívající k chlazení oxid uhličitý jsou totiž díky své ekologické šetrnosti považovány za velmi nadějná řešení. Evropská unie hodnotí chlazení jeho pomocí za ekologicky naprosto nezávadné, přestože oxid uhličitý v současných diskusích o změnách klimatu zmiňuje spíše v negativním významu. CO₂ je také na rozdíl od fluorovaných uhlovodíků nehořlavý a netoxický a nepoškozuje ozonovou vrstvu, ale problém jsou vysoké tlaky při zkapalnění plynu.

Při zákazu používání chladiv na bázi fluorovaných uhlovodíků HFC, je čpavek svými vlastnostmi dobrou alternativou. Je levný, ekologický a hlavně energeticky dostatečně účinný pro přenos energie. Jeho nevýhodou je toxicita, která díky použití nových technologií již není rozhodující. Nejúčinnější způsob, jak zmírnit riziko spojené s jeho toxicitou, je snížit objem chladiva pomocí nových typů výměníků tepla.

Účinnost chladicích systémů s CO₂ se blíží účinnosti tradičních chladicích zařízení na bázi HFC. Během posledních deseti let došlo k významnému vývoji jak po stránce účinnosti, tak i bezpečnosti.

Budoucnost čpavku a CO₂ jako chladiv je velmi nadějná. Budou se čím dál více prosazovat v průmyslovém chladiřství a postupně pronikat také do komerčního chladiřství a klimatizačních systémů. Mají dobrý chladicí faktor, který umožňuje

maximální využití energie v chladicích systémech a v systémech tepelných čerpadel. V současné době se již objevují na trhu tepelná čerpadla s těmito chladivy, jsou to však zatím spíše ojedinělé aplikace, ale v budoucnu budou tepelná čerpadla používat pouze přírodní chladiva.

3.18 Syntetická chladiva

Podle chemického složení se chladiva rozdělují na skupiny CFC, HCFC, HCF

3.18.1 CFC

Jsou to plně halogenizované uhlovodíky a jejich směsi, tj. všechny atomy vodíku v molekule jsou nahrazeny atomy prvků ze skupiny halogenidů, tedy chlorem, fluorem, někdy i bromem. Někdy se nazývají tvrdé freony. Mají vysoký ODP i GWP. Jsou zakázány od 1. ledna 2015.

GWP (Global Warming Potential)

Potenciál globálního oteplování – potenciál skleníkového plynu zvýšit teplotu klimatu v poměru k potenciálu oxidu uhelnatého CO₂, počítaný jako stoletý potenciál oteplování 1 kg skleníkového plynu v poměru k 1 kg CO₂.

ODP (Ozone Depleting Potential)

Potenciál poškozování ozonové vrstvy- zónová vrstva chrání živé organismy na zemi proti účinkům ultrafialového slunečního záření. ODP je relativní číslo udávající potenciál konkrétního chladiva k poškozování ozonové vrstvy vzhledem k referenčnímu chladivu, kterým bylo zvoleno chladivo R11. Chladivo R11 má tedy ODP = 1. Použití chladiv, která mají ODP vyšší než nula, je regulováno, jsou to tzv. regulované látky. [15, 17, 18, 19, 20]

3.18.2 HCFC

Jsou to chlorofluorované uhlovodíky, mají v molekule i atomy vodíku. Říkají se jim měkké freony. Jejich ODP je relativně nízký, GWP střední až vysoký. Jsou zakázány od 1. ledna 2015.

3.18.3 HFC

Nemají v molekule atomy chloru, jen fluor. Mají ODP nulový, ale mohou mít značně vysoký koeficient GWP.

V posledních letech se stal strašákem název Freon. Freon je ale jen obchodní označení skupiny chladiv CFC a HCFC firmy Du-Pont. Chladiv je velké množství a často se pod mnoha obchodními názvy vyrábějí stejné produkt. V ČR byly freony používány pod obchodním názvem Ledon. Byly používány velmi dlouho a to nejen jako chladiva, ale i jako hnací plyny sprejů a nadouvadla pěnových hmot. Po zjištění jejich negativního vlivu na zeslabování ozónové vrstvy Země došlo k výraznému omezení jejich výroby a používání. Tvrdé freony se v nových zařízeních nepoužívají. Používání měkkých freonů se omezuje. [15, 17, 18, 19, 20]

3.19 Charakteristiky nepoužívanějších chladiv

Na našem trhu jsou nejčastěji používána chladiva R12, R22, R134a, R404a, R407c, R410a.

3.19.1 Chladivo R12

Patří do skupiny tvrdých freonů CFC. Obvykle se s ním srovnávají vlastnosti nových chladiv, je to tzv. referenční chladivo. Bod varu je při atmosférickém tlaku – 29,8 °C. Index ODP je 1, GWP je 8500. Chladivo R12 je známo od roku 1932 a jeho používání bylo velice rozšířeno. Používá se pro vypařovací teploty od – 60 °C do 0°C. Je chemicky velmi stabilní, nehořlavé, nevýbušné, v kapalném i plynném stavu bezbarvé. Je netečné téměř ke všem konstrukčním materiálům kromě hořčíku a jeho slitin. Negativní vlastností je jeho přítomnost chlóru v molekule a tím jeho nebezpečnost pro ozónovou vrstvu Země. V nových zařízeních se již nesmí používat, ale dá se najít téměř ve všech domácích chladicích a mrazicích agregátech vyrobených asi do roku 1995. [15, 17, 18, 19, 20]

3.19.2 Chladivo R22

Patří do skupiny tzv. měkkých freonů HCFC. Používá se se všemi typy olejů. Bod varu při atmosférickém tlaku je $-40,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, ODP je 0,05 a GWP 1700. Je to bezbarvá kapalina i plyn. R22 je nehořlavé a nevýbušné. Není jedovaté a nenapadá žádné běžně používané konstrukční prvky. Má výhodné termodynamické vlastnosti. Jeho použití sahá do vypařovacích teplot až $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$. [15, 17, 18, 19, 20]

Nařízení evropské unie EU 1005/2009 „Výrazně omezuje provoz chladících zařízení obsahujících chladivo R 22, resp. i jejich servis. Od 1.1.2015 lze zařízení využívat, ale nesmí dojít k manipulaci, či jakýkoliv kontakt s chladivem tzn. není možné chladivo R22 odčerpát, zařízení servisovat a chladivo R22 vrátit zpět.“

V případě větších zařízení nebo větších technologií se provozující firmy dostaly do velmi nepříjemné situace. Má-li provozovatel stále funkčních zařízení je povinen nechat provádět revize těsnosti zařízení na případný únik chladiva certifikovanou osobou v daných intervalech. Jednou z mála cest jak se vyhnout finančně a stavebně náročným situacím je možné u funkčního zařízení provést výměna chladiva. (Někdy se nazývá Retrofit)

U výměny chladiva musí provozovatel získat certifikát o ekologickém zlikvidování R22 [15, 17, 18, 19, 20, 46]

3.19.3 Chladivo R134a

Patří do skupiny bezchlorových chladiv typu HFC. Bod varu je při atmosférickém tlaku $-26,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. ODP je 0 a GWP 1600. Není jedovaté, nehořlavé a nevýbušné. V kapalně i plynné formě je bezbarvé. Není agresivní vůči kovům. Má o něco nižší kompresní tlaky než R12, které lze chladivem R134a nahradit. V některých starších kompresorech, je však nutná výměna minerálního oleje za polyolesterový. Někteří výrobci tuto změnu chladiva nedovolují. [15, 17, 18, 19, 20]

3.19.4 Chladivo R404a

Patří do skupiny HFC. Jde o zeotropní směs ve složení R125/R134a/R143a v poměru 11:13:1. Používá se jen s polyolesterovými oleji. Bod varu při atmosférickém tlaku je $-46,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, ODP je 0, GWP 4540. Nahrazuje chladivo R22. [15, 17, 18, 19, 20]

3.19.5 Chladivo R407c

Patří do skupiny HFC, jde o směs R32/R125/R134a v poměru 23:25:52, používá se pouze s polyolesterovými oleji. Bod varu při atmosférickém tlaku je $-43,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Má velký teplotní skluz, asi $6\text{ }^{\circ}\text{C}$, ODP je 0, GWP 1980. Termodynamické vlastnosti jsou podobné R22. Velký teplotní skluz částečně omezuje možnosti jeho použití. Je poměrně často používané v tepelných čerpadlech země – voda a voda – voda. [15, 17, 18, 19, 20]

3.19.6 Chladivo R410a

Patří do skupiny látek HFC. Je to směs R32/R125 v poměru 1:1, používá se pouze s polyolesterovými oleji. Bod varu při atmosférickém tlaku je $-51,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, teplotní skluz je asi $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, jde o blízce azeotropní směs, ODP je 0, GWP 2340. Není hořlavé, výbušné ani jedovaté. Má podobné termodynamické vlastnosti jako R22 a R407c, udává se u něj vyšší chladicí faktor, vyžaduje však také vyšší tlaky. Proto se pro něj používají modifikované kompresory a kondenzátory pro vyšší provozní tlaky. Díky vyšším tlakům vychází systémy s R410a pro stejný výkon rozměrově menší. [15, 17, 18, 19, 20]

Tab. 2 - Zobrazující jednotlivé porovnání GWP u chladiv používané v tepelných čerpadlech

Fluorované skleníkové plyny		
	Označení	GWP
Chladiva HFC	R23	14800
	R32	675
	R125	3500
	R134a	1430
	R152a	124
	R143a	4470
	R227ea	3220
	R236fa	9810

Směsi obsahující chladiva HFC	R404A	3922
	R407A	2107
	R407B	2804
	R407C	1774
	R410A	2088
	R417A	2346
	R422D	2729
	R427A	2138
	R437A	1805
	R507	3985
	R508A	13214
	R508B	1339

Fluorované skleníkové plyny		
	Označení	GWP
Přírodní chladiva	R170	6
	R290	3
	R600a	3
	R717	0
	R744	1
	R1270	2

Zdroj: <http://tech.kostecka.eu>

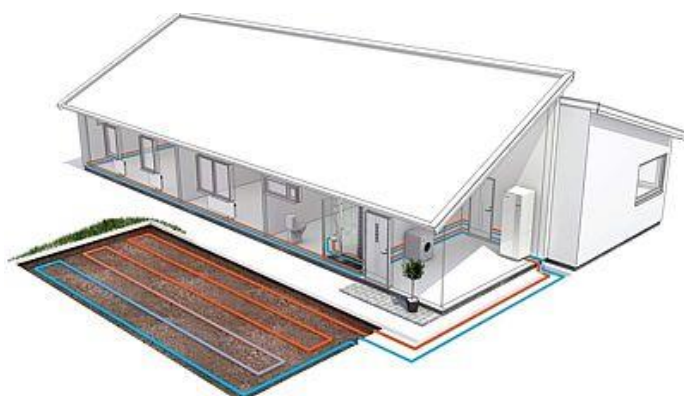
3.20 Typy zemních a horninových výměníků tepla

Horizontální zemní výměníky jsou uloženy v zemním masivu a využívají teplo akumulované v zemním masivu vlivem dopadajícího slunečního záření. Vertikální horninové výměníky jsou uloženy v horninovém masivu a využívají geotermální teplo.

3.20.1 Horizontální zemní výměníky

Teplo obsažené v zemním masivu se využívá nepřímo, získává se ve výměníku tepla (zemním kolektoru). Dále se převádí se cirkulačním okruhem do výparníku tepelného čerpadla pomocí teplonosné kapaliny. Cirkulující kapalina se ve výparníku tepelného čerpadla ochlazuje a v zemním kolektoru se znovu ohřívá.

Obr.8. - Ukázka zemních kolektorů



Zdroj: <http://www.nibe.cz/cs/technologie/plosny-kolektor>

Výhody tepelných čerpadel s plošným kolektorem

Mezi největší výhodu patří úspornost energie. Tepelná čerpadla jsou bezúdržbová, neprodukují žádný hluk a mají dlouhou životnost. Plošný kolektor za rok vyčerpá z tepelné zásoby zeminy kolem sebe asi 2 - 2,5 %. Přes léto se opět naakumuluje zemní masiv díky slunečnímu záření a tak se jedná o nevyčerpatelný zdroj energie.[49]

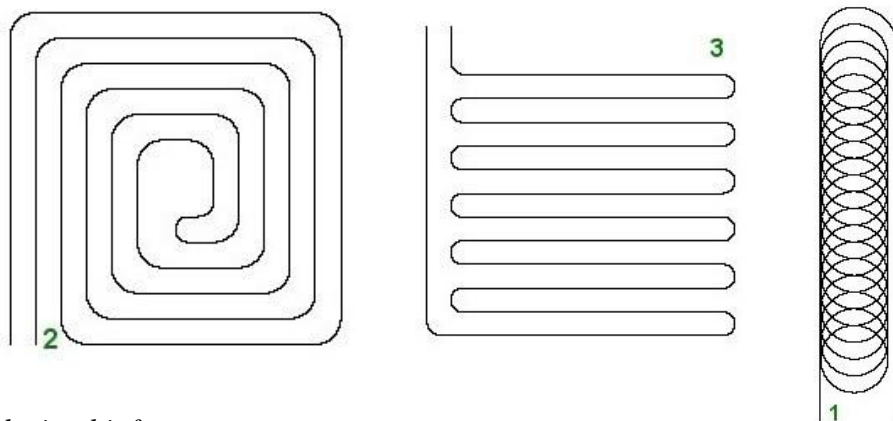
Nevýhody tepelných čerpadel s plošným kolektorem

Tepelná čerpadla země - voda s plošným kolektorem potřebují dostatečně velkou plochu pro umístění kolektoru. Velikost plochy bývá obvykle 200 - 400 m². Musí být dostatečně dopředu promyšleno, kde vše bude co postaveno a kde budou růst např. stromy. Musí být výměník umístěn v zemi tak, aby nepřekážel. Pokud by rozhodnutí pro zemní kolektor přišlo až po stavbě tak je zničení zahrady nevyhnutelné. Ideální je tedy realizace čerpadla v době nové stavby a zahrady. [49]

3.20.2 Technologie výměníků

Kolektory jsou vyrobeny z polyethylenového potrubí, které se pokládají do výkopů v nezamrzající hloubce. V ČR se doporučuje pokládat do hloubky 1,2 – 1,5 m. Při návrhu zemního kolektoru je nejdůležitější dodržet celkovou výměru zemního kolektoru. Doporučená optimální délka jedné smyčky okruhu je 130m z důvodu tlakových ztrát v potrubí. Potrubí smyčky se sdružují ve venkovní jímce, kde jsou umístěné rozdělovače, sběrače teplotního média s možností uzavření jednotlivých smyček, odvzdušnění, případně regulace průtoku.[34]

Obr. 9 - Konfigurace horizontálních zemních výměníků



Zdroj: tzbinfo.cz

Obr. 1 – spirálové uložení kolektoru do lokalit kde je plošné omezení pro pokládku

Obr. 2 – uložení do meandru ideálně rozloží čerpání energie, kdy je nejstudenější potrubí ohříváno nejteplejším (ideální v případě skřívky)

Obr. 3 – klasické uložení potrubí, které rovnoměrně čerpá energii z plochy

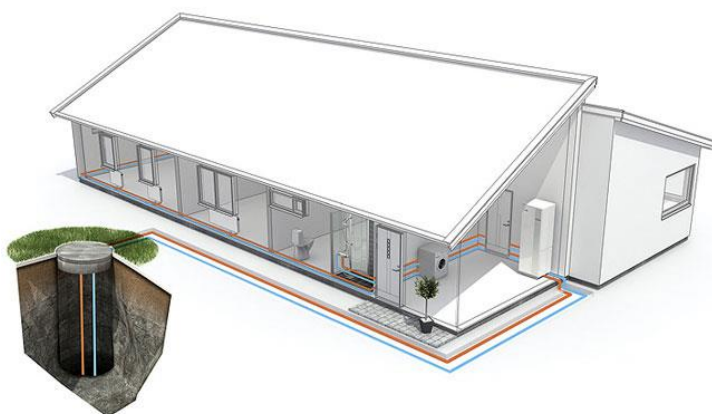
3.20.3 Teplonosné kapaliny

Teplonosné kapaliny jsou směsí vody a etylalkoholu nebo jiná směs tuhnutí při nízkých teplotách. Cirkulaci teplonosné kapaliny zajišťuje oběhové čerpadlo. Všechny teplonosné kapaliny musí být ekologicky nezávadné.

3.21 Vertikální zemní výměník

Ve spodní horninové vrstvě půdy, tzv. „podpovrchové geotermální vrstvě“ se skrývá zdroj tepla, který je možno využívat celoročně. Vyžaduje minimum prostoru, hlubinný vrt je možno provést i na nejmenších parcelách. Stejně jako u plošného kolektoru v uzavřeném systému cirkuluje nemrznoucí směs. Podle projektovaného výkonu tepelného čerpadla specializovaná firma určí hloubku a počet vrtů, do nichž se instalují plastové hadice vytvarované do tvaru písmene U. Hadice se zalijí bentonitem, z důvodu dosažení dokonalého přenosu tepla [23]

Obr. 10 - Ukázka zemních kolektorů



Zdroj: Zdroj: <http://www.nibe.cz/cs/technologie/hlubinny-vrt>

Výhody:

- Téměř stabilní topný faktor TČ bez ohledu na klima nebo střídání ročních období (nelze použít pouze v oblastech s permafrostem až stovky metrů hluboko - např. Sibiř, Kanada).
- Výskyt podzemní vody není podmínkou fungování této aplikace
- Minimální nároky na velikost pozemku. [22]

Nevýhody:

- Nejvyšší investiční náklady z důvodu realizace vrtů.
- Některé pozemky jsou nedostupné z hlediska dojezdu vrtné techniky.
- Při špatném výpočtu může dojít k vymrznutí vrtu tzn. nedostatečná akumulace tepla.
- Vty pro TČ nelze realizovat tam, kde jsou pozemky legislativně chráněny.
- Od 30m hloubky je potřeba povolení od Báňského úřadu a vodohospodářů. [24]

Technologie vrtu

Geotermální vrtý jsou hloubeny po předchozím průzkumu na předem vytipovaných místech. Zdrojem tepla v horninách jsou vnitřní zemské zdroje, zejména teplo uvolněné vlivem tektonických a vulkanických aktivit, radioaktivním rozpadem prvků, při geochemických reakcích, a hlubinná podzemní voda, pokud se na dané lokalitě vyskytuje. Dalším zdrojem geotermální energie jsou např. vulkanicky a geologicky "mladé" oblasti (např. jižní Slovensko), kde teplé termální vody mohou být zastiženy již od hloubek cca 300 m a využívají se k lázeňským účelům nebo k provozování termálních koupališť. Společným jmenovatelem všech geotermálních zdrojů jsou anomální geologické nebo hydrogeologické podmínky, které se však vyskytují jen v určité úzce vymezené a předem dobře prozkoumané oblasti.

3.21.1 Dimenzování vrtů

V České republice je zatím testování tepelné vodivosti hornin in-situ prováděno zejména pro velké projekty - jedním z důvodů je především jeho finanční náročnost. Využití výpočtového software pro dimenzování vrtů rovněž není běžnou záležitostí. Ve většině případů se v naší provozní praxi postupuje těmito způsoby:

1. Hloubka vrtů je určována jako podíl topného výkonu tepelného čerpadla a maximálního teplotního zisku z 1 m vrtu (ten je doporučován některými výrobci tepelných čerpadel v rozmezí 40 - 70 W/m)

2. Hloubka vrtů je určována jako podíl chladicího výkonu tepelného čerpadla a maximálního teplotního zisku z 1 m vrtu
3. Hloubka vrtů je určována na základě empirických zkušeností s provozem tepelného čerpadla poblíž dané lokality nebo podle obdobných geologických podmínek
4. Hloubka vrtů je přejímána pro daný typ tepelného čerpadla z firemních projekčních podkladů

Společnosti, které instalují tepelná čerpadla nejčastěji používají kombinaci uvedených způsobů stanovení hloubek vrtů. Bohužel se může stát, že od způsob 2. může vést k poddimenzování hloubky vrtů, a to hlavně u většího počtu vrtů, které se vzájemně teplotně ovlivňují

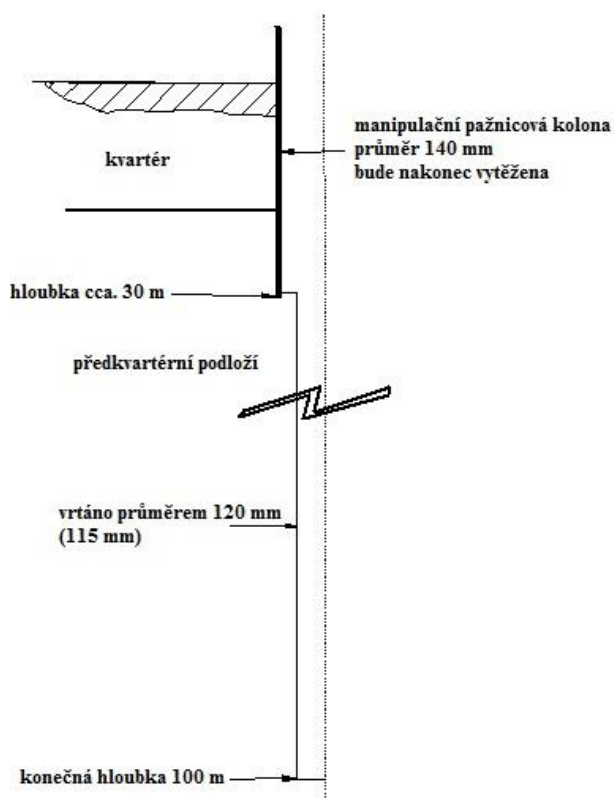
3.21.2 Technologie hloubení vrtů

Vrty pro tepelná čerpadla jsou v pevných horninách obvykle vrtány technologií rotačně příklepného vrtání s použitím ponorných vzduchových kladiv. Tato technologie umožňuje rychlé provedení vrtu s nízkými náklady. Pouze v horninách jílovitého charakteru je používána technologie rotačního vrtání s listovými dláty s kapalinovým výplachem bentonitového nebo polymerového charakteru pro udržení stability stěn vrtu.

U vrtů pro tepelná čerpadla až do hloubky 300 m lze použít technologií rotačně příklepného vrtání s ponorným kladivem poháněným vodním výplachem. Tato technologie vyžaduje čerpací agregát, který musí vyvíjet výstupní tlak až cca 18 MPa a 150 litrů/min. Nezbytným požadavkem však jsou zde vysoké nároky na množství a čistotu technické vody pro efektivní chod tohoto typu ponorného kladiva.

V zahraničí byly pro vrtání vrtů pro tepelná čerpadla vyvinuty speciální technologie vrtání. Německý výrobce vrtných souprav typu Nordmeyer, který dodává také speciální technologii pro vrtání vrtů na TČ. Tato technologie je založena na rotačně příklepném vrtání s vodo-vzdušným výplachem od povrchu terénu do konečné hloubky vrtu (maximálně do cca 15 m). V jílovitých horninách je používána opět technologie rotačního vrtání s listovým dlátem.

Obr. 11 - Schéma konstrukce vrtu pro tepelné čerpadlo



Zdroj: <https://www.tzb-info.cz/3735-vrty-do-horninoveho-masiv>

3.21.3 Vystrojení vrtů pro tepelné čerpadlo

V průběhu vrtání jsou na ruční buben nasunuty 2 svazky PE-kolektorů \varnothing 40 mm, spojený PE-paticí. Pro realizaci vystrojení geotermálních vrtů se používají potrubí z polyethylenů rozdílných kvalit. Pro je vhodné zvolit materiály co možná nejvyšší kvalit. Jako nejvhodnější materiál trubek do vrtů se považuje vysokohustotní polyethylen. Materiál vybíráme podle dobrých mechanicky odolných vlastností, který minimalizuje poškození zaváděného vystrojení s vysokou hmotností o stěny vrtu.

Při zavádění a instalaci výměníku se musí dbát na zamezení vniku nečistit do PE trubice. Na PE – kolektor se musí navařit koncové PE-patice, která spojuje jednotlivé trubky kolektoru. Svaření je prováděno pomocí svařovacího automatu, který si světelným paprskem odečte čárkový kód matice a provede svár podle kódu, který definuje výrobce. Tímto způsobem je vyloučena chyba svářeče. Tento spoj je kritický - pokud není řádně

proveden, kolektor je zmetkový, po zapuštění do vrtu již nelze vytáhnout a celý vrt včetně vystrojení se musí opakovat. Navaření patice probíhá v dílenských podmínkách, kde poté je provedena také tlaková zkouška těsnosti kolektoru vzduchem.

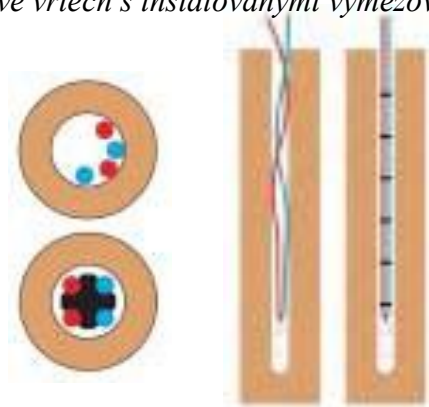
Pak se připravený PE-kolektor ručně (nebo automaticky) zapouští odvíjením z bubnu se současným přidáváním ocelových injektážních trubek. Po jeho zapuštění je PE-kolektor napuštěn dodanou ekologickou nemrznoucí směsí na bázi vody s technickým lihem, aby nedošlo k jeho vyplavení z vrtu při následné injektáži vrtu cemento-bentonitovou směsí. K uzavření okruhu potrubí se na konci vystrojení používá také tzv. vratné koleno tvaru U.

3.21.4 Injektážní potrubí

Spolu s vystrojením vrtu se také mezi dva okruhy vkládá další potrubí, které je následně použito na injektáž vrtu. Potrubím se tlakově vyplní vrt odspoda vzhůru a tímto se zajistí vytlačení nežádoucího vzduchu, který by mařil přenos tepelné energie mezi vystrojením a horninou.

Při zapouštění výstroje do vrtu se postupně instalují vymežovací díly, které zajišťují souměrné uspořádání potrubí ve vrtu. Při zapouštění bez vymežovacích dílů dochází k tomu, že neuspořádané vystrojení snižuje výkon vrtu až o 15 %. Potrubí ve vrtu se bez vymežovacích dílů dotýká a nedochází tak k ideálnímu rozložení ploch pro přenos energie. Pro optimalizaci výkonu vrtu je nutná správná instalace vymežovacích dílů v rozestupech 2 – 3 m.

Obr. 12 - Rozdíl ve vrtech s instalovanými vymežovacími díly a bez nich

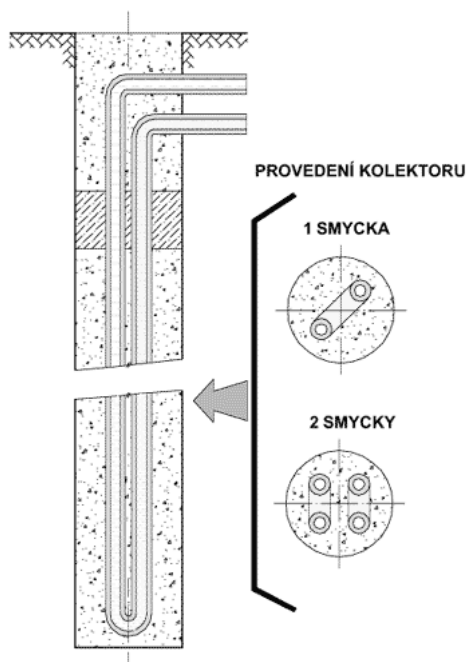


Zdroj: <http://geologie.vsb.cz/TECHHLDOB/hlubinneVrtani>

U novostaveb, které jsou realizovány na pilotách, je možnost tyto využít jako energetický primární zdroj TČ. Vzhledem k tomu, že se na většině rozsáhlejších staveb piloty zhotovují, není materiálově ani investičně náročné využít piloty podobným způsobem jako vrty pro instalaci PE-kolektorů. Piloty a hmota mezi nimi slouží jako velký energetický zásobník.

Jako injektážní směs je možné použít běžné směsi cementu, vody a bentonitu, ale jsou již dnes také k dispozici speciální směsi se sníženým obsahem pórů, které výrazně ovlivňují tepelný přenos a zisk z vrtu. U provozovaného TČ vzroste topný faktor z 3,5 na 3,8 až 4,0, což je 10 - 15 % úspory energie.

Obr. 13 - Schéma vystrojení vrtu pro TČ s jednou a se dvěma smyčkami kolektoru



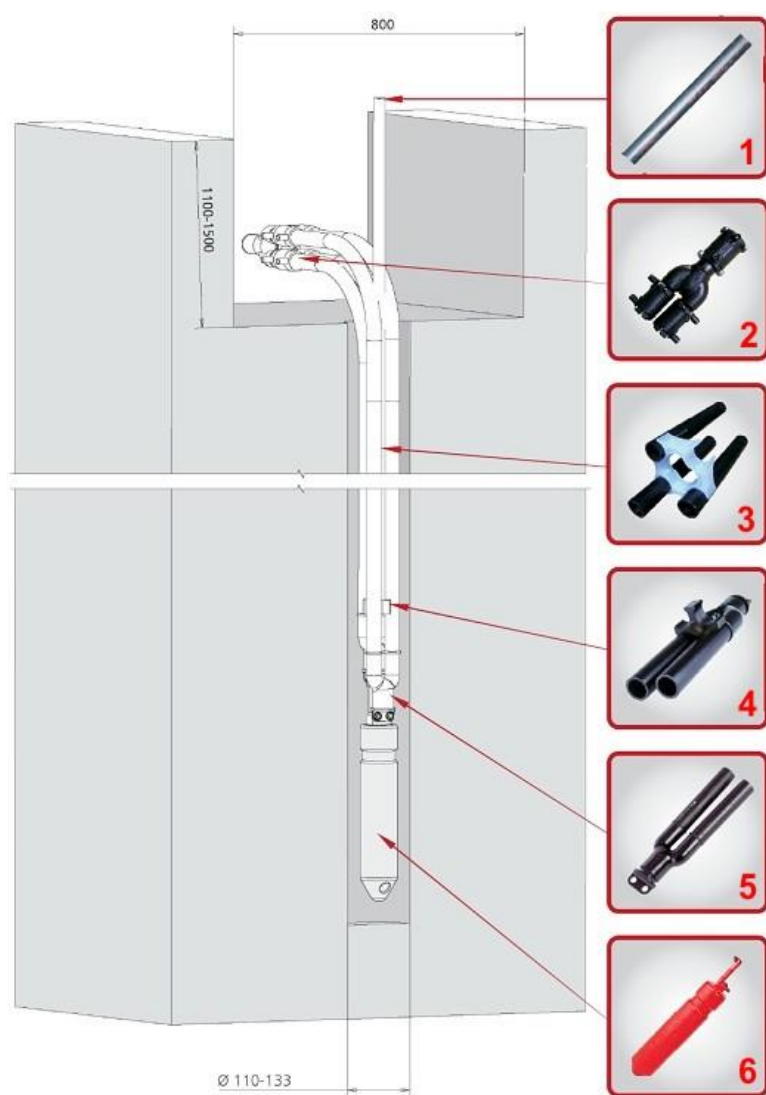
Zdroj: <http://geologie.vsb.cz/TECHHLDOB/hlubinneVrtani>

Injektáž se provádí šnekovým čerpadlem přes injektážní kolonu a to podélným otvorem v poslední injektážní trubce vzestupně od počvy vrtu (dno vrtu) až po jeho ústí. Cemento-bentonitová směs je připravována v injektážní lince na pracovišti.

Injektáž vrtu plní tyto funkce:

- ochraňuje PE-kolektor před případným poškozením, resp. smáčknutím při vyjíždění hornin ze stěn vrtu,
- vytváří homogenní výplň vrtu bez vzduchových kapes a tím zlepšuje sdílení tepla z hornin do PE-kolektoru,
- zabraňuje případné křížové kontaminaci zvodněných vrstev ve vrtu.

Obr. 14 - Schematické znázornění jednotlivých dílů ve výstroji vrtu pro TČ



Zdroj: <http://geologie.vsb.cz/TECHHLDOB/hlubinneVrtani>

1 - Tlakové injektování vrtu: Injektování zajistí kontakt stěn vrtu s jeho vstrojením. K injektování vrtu slouží injekční potrubí, které je zaváděno spolu s kolektorem do vrtu. Tímto potrubím se tlakově vyplňuje vrt odspoda vzhůru. Pro tento účel jsou vyráběny speciální injektážní směsi, které zajišťují efektivnější přestup tepla.

2 - Redukce počtu větví z PE 100: U instalací s větším počtem vrtů je možné redukovat velký počet větví tak, že vrt vstrojený potrubím 4x32 mm je sveden do potrubí 2x40 mm. Vnitřní kanály redukce jsou navrženy pro minimální hydraulické ztráty.

3 - Vymezovací díl: K vymezení vzdáleností mezi potrubím ve vrtu slouží vymezovací díly. Správná aplikace těchto komponentů zvyšuje výkon samotného vrtu až o 15%. Doporučený instalační rozestup dílů je 2 -3 m.

4 – Centrifix: Pro instalace ve zhoršených geologických poměrech je nutné vstrojení „zatlačovat“ pomocí trubek vrtné kolony. Pro tyto aplikace je nutné použít tzv. centrifix, o který může vrtná kolona opřít injektážní trubky a zatlačit vstrojení do vrtu.

5 - Vratné koleno tvaru U: Nejdůležitější prvek celého vstrojení vrtů pro tepelná čerpadla. Spodní část vrtu obsahuje také separační jímku proti zanesení systému.

6 - Závaží pro kolektor: Pro snadnější instalaci PE-kolektoru do vrtu slouží závaží (12,5 - 24 kg), které olovnicovým efektem směřuje kolektor ke dnu vrtu. Při zavádění slouží také jako ochrana vratného kolena.

Vrtná posádka nakonec provede tlakovou zkoušku těsnosti PE-kolektorů ve vrtech, a to tlakem 0,3 – 0,5 MPa po dobu cca 30 minut. Kolektory vyčnívají z vrtu cca 1m nad terén. Jednotlivé trubky PE-kolektoru jsou na ústí opatřeny těsněním, aby bylo zabráněno případnému průniku nečistot do kolektorů. [24,25,26,27,28,29,30,31]

3.22 Energie zemního a horninového masivu

V horninách nejsvrchnější části zemské kůry (hloubky maximálně do 300m) je teplo kumulováno z těchto zdrojů:

1. vnitřní zdroje: teplo uvolněné vlivem tektonických a vulkanických aktivit, radioaktivním rozpadem prvků, geochemických reakcí, stlačení spodních vrstev nadložím (gravitační teplo), gravitační diferenciaci, pohlcování energie seismických vln, teplo pasivně vyzařované Zemí.
2. vnější zdroje: energie slunečního záření pouze do určité hloubky zhruba 20 m.

Až 47% slunečního záření přemění po dopadu na zemský povrch přímo na teplo, které představuje výkon 81.310×10^{12} W. Pokud vztáhneme tuto hodnotu na celý povrch Země $10.083.058 \text{ km}^2$, pak na 1 m^2 zemského povrchu připadne 159 W/m^2 . Celkový vnitřní výkon Země činí 33×10^{12} W, což je pouze 0,04 % slunečního výkonu. Z toho vyplývá, že výkon slunečního záření vztažený na 1 m^2 zemského povrchu je více než 2 400 krát vyšší než tepelný tok Země. Horniny svrchní části zemské kůry proto představují tepelný akumulátor slunečního záření. [32, 33]

Zemský tepelný tok φ je množství tepla, které projde jednotkovou plochou na zemském povrchu za jednotku času: [32, 33]

$$\varphi = \lambda \cdot \Delta T [\text{mW/m}^2] \quad (7)$$

λ tepelná vodivost hornin (W/mK)

ΔT přírůstek teploty s hloubkou (K/m)

Měřením zemského tepelného toku byly získány tyto základní poznatky: [32, 33]

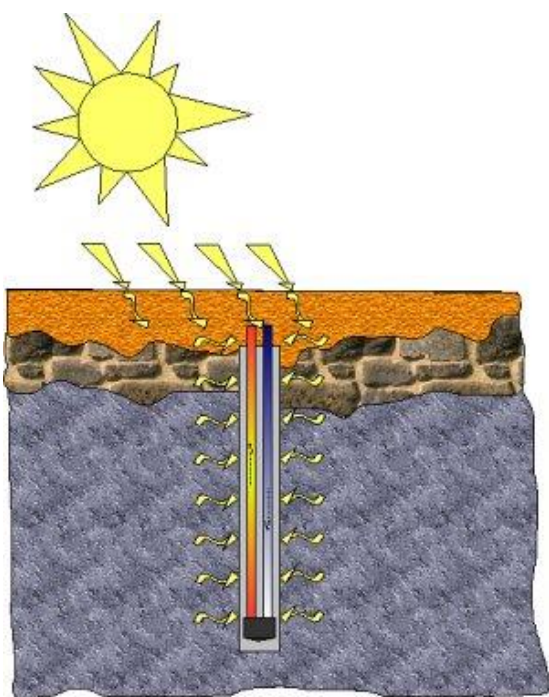
1. průměrný φ činí $60 \pm 10 \text{ mW/m}^2$
2. v oblastech kde je ustálená zemské kůry $\varphi = 35 - 40 \text{ mW/m}^2$
3. v oblastech třetihorního vrásnění $\varphi = 70 - 80 \text{ mW/m}^2$

Stanovení zemského tepelného toku φ je pracné a zdlouhavé trvá týdny až měsíce. Proto byla pro území České republiky zpracována v Geofyzikálním ústavu ČAV mapa izolinií zemského tepelného toku.

Z průměrného $\varphi = 65 \text{ mW/m}^2$ lze snadno odvodit, že např. plochou o rozloze $1\,000 \text{ m}^2$ na povrchu Země projde tepelný tok o velikosti pouhých 65 W . Přitom z vrtu o průměru 120 mm a hloubce 100 m lze získat topný výkon o hodnotě $4\,000 - 7\,500 \text{ W}$. Z této jednoduché úvahy vyplývá, že zemský tepelný tok nemůže být dominantním zdrojem nízkopotenciální tepelné energie hornin. [33, 34]

Důležitým zdrojem obnovitelné nízkopotenciální energie v horninách je sluneční záření. Podíl slunečního záření na akumulaci tepla v horninách (do 20 m) činí $97 - 98\%$, zbytek připadá na vnitřní zdroje Země. V oblastech zvýšené sopečné a tektonické aktivity se zvýšeným obsahem radioaktivních prvků se procentuální podíl vnitřních zdrojů o jednotky procent zvýší. [36, 37]

Obr. 15 - Schéma sdílení tepla z hornin do vrtu



zdroj: tzb-info.cz

Vrty nejsou vázány na lokality pouze s výskytem podzemní vody ani na určité specifické geologické podmínky, proto jsou univerzální. Při vytápění pomocí tepelného čerpadla dochází v topné sezóně k vychlazování horninového masívu, které se však při dostatečných hloubkách vrtů stabilizuje (tzn. teplota teplotonosného média na vstupu do tepelného čerpadla je konstantní kolem 0°C).

Tepelné čerpadlo produkuje v letním období jen teplo pro ohřev teplé užitkové vody. Velice výhodná je aplikace tepelného čerpadla pro klimatizaci objektu. Přebytečné teplo je z objektu odváděno do vrtů, a tím dochází k rychlejšímu a teplotně vyššímu "dobíjení" horninového masívu. Tím je zaručen vyššího topný faktor COP. Při realizaci velkého počtu vrtů je vyloučen případný dlouhodobý pokles teploty horninového masívu z důvodu vzájemného teplotního ovlivňování vrtů.

Tepelné čerpadlo při napojení na kolektor ve vrtu vyvolá v okolí teplotní nerovnováhu, dochází neustále k přenosu tepla v horninách směrem k vrtu.

V homogenním izotropním prostředí se šíření tepla vedením řídí

$$\frac{dT}{dt} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{Q^x}{c_p \cdot \rho} \quad [\text{K/s}] \quad (8)$$

Q^x teplo vznikající v objemu za čas [W. m³]

t čas [s]

T Teplota [K]

a Součinitel teplotní vodivosti [m²/s]

Součinitel teplotní vodivosti a hornin udává rychlost vyrovnání teploty v horninovém prostředí:

$$a = \frac{\lambda}{c\rho} \quad [\text{m}^2/\text{s}] \quad (9).$$

λ měrná tepelná vodivost hornin [W/mK]

c měrná tepelná kapacita hornin při konstantním tlaku [J/kgK]

ρ hustota hornin [kg/m³]

Měrná tepelná vodivost hornin λ je pro danou horninu v izotropním homogenním prostředí konstantou, která charakterizuje schopnost horniny vést teplo. Je rovna množství tepla, které projde jednotkovou plochou za jednotku času při jednotkovém teplotním rozdílu. Tento parametr je složitou funkcí především mineralogického složení, strukturně texturních vlastností horniny, její hustoty, pórovitosti a obsahu vody v hornině. Měrná tepelná vodivost hornin nabývá nejvyšších hodnot pro křemen ($\lambda = 8,4$ W/mK), zatímco pro některé jíly a jílovce je nejnižší ($\lambda = 0,4 - 0,8$ W/mK). U většiny hornin zemské kůry se tento parametr pohybuje v rozmezí $\lambda = 2,1 - 4,2$ W/mK.

Měrná tepelná vodivost hornin byla donedávna většinou zjišťována laboratorně na reprezentativních vzorcích hornin z vrtného jádra. Nejrozšířenější je metoda tzv. dělené tyče (divided bar) prováděná např. na pracovišti Geofyzikálního ústavu ČAV

Tepelná vodivost hornin má z horninových parametrů má největší význam pro dimenzování vrtů pro tepelná čerpadla.[35, 38, 39, 40]

4 Metodika

Finanční hodnocení provozu a návrhu realizace tepelných výměníků tepelných čerpadel. Byly použity normy platné normy ČSN, pro výpočet potřebné délky jednotlivých rozměrů. Z internetu jsou použity průměrné ceny prací a jednotlivý materiálů. Pomocí internetových kalkulaček je odhadnuta cena na roční provoz.

Výsledkem hodnocení jsou roční provozní parametry soustavy s tepelným čerpadlem, tzn. teplo dodané do tepelné soustavy vytápění a přípravy teplé vody tepelným čerpadlem, jednotlivé pracovní úkony, celkový materiál a finanční náročnost provozu.

Charakteristika objektu

Dům, pro který to je počítáno je v lokalitě Tábor kde venkovní výpočtová teplota je -15°C střední venkovní teplota topného období je 3°C a počet dnů vytápění 289 (vše dle ČSN 060210 a ČSN 730540). Dům se nachází v nepříznivé krajině tzn. nezalesněné krajině a řídké zástavbě. Průměrná vnitřní teplota je 21°C celková plocha objektu je 162m^2 a výška stropů je 3m. Návrhová tepelná ztráta je 23kW. V domě žijí 4 dospělí lidé a tepelné čerpadlo ohřívá i TV

5 Výsledky

5.1 Návrh horizontálního zemní výměníku

Potřeba tepla pro teplou vodu:

U staveb určených pro bydlení norma ČSN 06 0320 počítá se spotřebou teplé vody na 1 osobu s 0,082 m³/den, tomu odpovídá spotřeba tepla 4,3 kWh/osobu za den.

$$Q_{TUV} = 4,3 * o * d [kW] \quad (10)$$

o ... počet osob (4 osoby)

D ... počet dní v roce (365 dní)

$$Q_{TUV} = 4,3 * 4 * 365 = 6278 \text{ kWh/rok}$$

Počet provozních hodin tepelného čerpadla pro ohřev teplé vody

Při výpočtu provozních hodin bereme v úvahu, že hodnota teploty teplotonosné látky 0 °C. Když je dobře navržený kolektor hodnota je o trochu vyšší. Tepelné čerpadlo IVT v bodě 0°C/ 45°C (Pn) kolem 16,1 kW viz. technický list výrobce.

$$Tr = Qr : Pn \text{ [h/r]} \text{ (11)}$$

$$Tr = 6278 : 16,1 = 390 \text{ h/r}$$

Rozdílová hodnota počtu provozních hodin pro ohřev teplé vody dle normy VDI 4640, která je 600 hodin, je splněná.

Potřeba tepla pro vytápění

Při 23 kW tepelné ztrátě a výpočtové teplotě -17 °C, vnitřní průměrné výpočtové teplotě 21 °C je roční spotřeba tepla domu cca 35 100 kWh/rok.

Výkon tepelného čerpadla IVT 0°C/35°C je dle technického listu Pn = 17 kW, příkon 3,64 kW, v bodě 0°C/45°C je tepelný výkon na výstupu tepelného čerpadla 16,1 kW, zatímco příkon je 4,47 kW.

Pro výpočet provozních hodin Tr tepelného čerpadla pro topení opět využijeme jednoduchý vzorec:

$$Tr = Qr : Pn \text{ [hod/r]} \text{ (12)}$$

$$Tr = 35100 : 17 = 2065 \text{ hodin/r.}$$

Výpočet pokládkové plochy a délky kolektoru

Vzhledem k tomu, že podstatná část příkonu kompresoru se mění na tepelnou energii, můžeme tuto skutečnost promítnout do výpočtu. Ze země budeme muset extrahovat pouze tu tepelnou energii, která není dodaná z kompresoru. Vypočteme ji jako rozdíl tepelného výkonu tepelného čerpadla a příkonu kompresoru v obou pracovních bodech (získáno z technického listu výrobce), ztráty zanedbáme a naproti tomu zaokrouhlíme délku jednotlivých větví kolektoru na celá čísla směrem nahoru:

$$Q_{e1} = (17 - 3,64) = 13,36 \text{ kW} \quad (13)$$

$$Q_{e2} = (16,1 - 4,47) = 11,63 \text{ kW} \quad (14)$$

Přičemž hodnota Q_{e1} znamená okamžitý extrakční výkon ze země v režimu topení a Q_{e2} znamená okamžitý extrakční výkon ze země v režimu ohřevu teplé vody. Budeme se držet vyšší hodnoty 13,36 kW, na kterou kolektorové pole vypočteme, s ohledem na normovanou extrakční kapacitu dle normy VDI 4640.

Výpočet celkové pokládkové plochy

Maximální potřebný okamžitý extrakční výkon Q_{e1} (13360 W) podělíme maximální měrnou extrakční kapacitou půdy Q_s (20 W/m²) viz. tab. č.3 pro topení a ohřev TUV a dostáváme potřebnou extrakční plochu:

$$S = Q_{e1} : Q_s \text{ [m}^2\text{]} \quad (15)$$

$$S = 13360 : 20 = 668 \text{ m}^2$$

Výpočet délky kolektoru

Maximální potřebný okamžitý extrakční výkon Q_{e1} podělíme maximální měrnou extrakční kapacitou na jeden metr délky potrubí $Q_l = 12 \text{ W/m}$:

$$S = Q_{e1} : Q_l \text{ [m]} \quad (16)$$

$$S = 13360 : 12 = 1114 \text{ m}$$

Vybírám 12 W/m ze soudružné půdy a jsem ve sloupci do 2400h/r

Tab. 3 – Extrakční kapacity

Typ podloží	Max. specifická extrakční kapacita při 1800 prov. h/ročně	Max. specifická extrakční kapacita při 2400 prov. h/ročně
Suchá, nesoudržná půda	10 W/m ² a 5 W/bm	8 W/m ² a 4 W/bm
Soudržná, vlhká půda	20–30 W/m ² a 15 W/bm	16–24 W/m ² a 12 W/bm
Vodou nasycený písek/štěrk	40 W/m ² a 20 W/bm	32 W/m ² a 16 W/bm

Zdroj: *tzb.info.cz*

Empirickým zkoušením se zjistilo, že nejlepší využití teplotního gradientu je při délce kolektoru 130 m. PN potrubí se prodává v mírách od 100 m až 200 m. Vybral jsem z nabídky obchodníků potrubí s délkou 150m a celkový výsledný rozměr se rozdělí na 8 úseků tzn. 8 okruhů.

Není vhodné spojovat kolektorovou trubku na spojky do země z důvodu možného uvolnění spoje během doby, pokládáme trubky beze spojů a jejich konce připojujeme k rozdělovači.

V praxi dostaneme koupit kolektorové trubky v různých délkách, např. 100, 150, 200 m v dimenzi DN 25 a DN 32. Vybereme si délku, která je nejbližší optimální délce 130 m. V tomto případě je délka 150 m. Použijeme rozměr DN 32, který se v českém podloží dokáže prohřát v celém průřezu.

Výpočet počtu kolektorů – korekce podle délky potrubí

Vypočtenou délku kolektoru podělíme 150 m:

$$1114 : 150 = 7,42 \text{ kolektoru}$$

Nevyšlo celé číslo, volím nejbližší vyšší, 8 ks kolektorových trubek délky 150 m, což je celkem 1350 m.

Zpětný propočet roztečí kolektorů při pokládce

Vypočtenou plochu pokládky 668 m² podělíme délkou kolektoru v zemi:

$$668:(150*8) = 0,55 \text{ m}$$

Rozteč jednotlivých trubek kolektorů při pokládce kolektorového pole je 0,55 m. Trubky pokládáme do hloubky cca 0,5 m pod nezámrznou hloubku, což je 1,3–1,5 m hloubka.
[42]

Tab. 4 – Náklady na výstavu plošného horizontálního výměníku

Kolektor	Jednotka	Jednotná cena [Kč]	Množství [ks]	Celková cena [Kč]
PN potrubí	150m	60,5	8	52500
Teplonosná kapalina	200l	86	3	17200
voda	200l	2	6	12000
zemní práce				16000
celkem				97700

5.2 Návrh vertikálního horninového výměníku

Pro návrh zemní sondy je možné použít zjednodušeného postupu uvedeného v normě ČSN EN 15450, který vychází z německé směrnice VDI 4640-2. Postup navrhování délky zemních sond tepelných čerpadel platí pro výkon do 30 kW. Z topného výkonu Φ_{TC} a topného faktoru COP navrženého tepelného čerpadla při jmenovitých podmínkách 0/35°C (vstup do výparníku 0 °C, výstup z kondenzátoru 35 °C) se stanoví chladicí výkon výparníku. COP, Φ_{Ch} = známe z technického listu výrobce,

$$\Phi_{ch} = \Phi_{TC} \left(1 - \frac{1}{COP} \right) [kW] \quad (17)$$

$$\Phi_{Ch} = 17 \times (1 - (1:4,7))$$

$$\Phi_{Ch} = 13,26 \text{ kW}$$

Výpočet celkové délky vrtu

Chladicí výkon tepelného čerpadla známe z předešlého výpočtu, do vzorce dosazujeme neznámou q_l , kterou vybereme z tabulky č.5. pro běžné podlaží a sloupeček pro dobu provozu 2400h/rok

$$L = \frac{1000 \cdot \Phi_{ch} [kW]}{q_l} [m] \quad (18)$$

$$L = (1000 \cdot 13,26) : 50$$

$$L = 266 \text{ m}$$

Tato délka vrtu splňuje bod 1 z kapitoly 2. že na 1 kW je potřeba 10m vrtu. To je ale pouze obecné pravidlo.

Toto je minimální celková hloubka vrtů, při dělení na více vrtů je doporučeno navýšit metráž vždy s ohledem na geologické a hydrogeologické podmínky.

Celkovou délku rozdělím na tři vrtu o celkové hloubce 279 metřů tzn. 93m bude hluboký jeden vrt. Budou od sebe vzdáleny 10% z délky 1 vrtu tedy po 9-10metrech abych zamezili vzájemnému tepelnému ovlivnění.

Tab. 5. Měrný odběrový tepelný tok

Druh zemního masívu	Měrný odběrový tepelný tok	
	doba provozu 1 800 h/r	doba provozu 2 400 h/r
Obecné směrné hodnoty:		
špatné podloží (suchý sediment a $\lambda < 1,5 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$)	25 W/m	20 W/m
běžné podloží a vodou nasycený sediment $1,5 < \lambda < 3,0 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$)	60 W/m	50 W/m
pevná hornina s vysokou tepelnou vodivostí $\lambda > 3,0 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$)	84 W/m	70 W/m
Jednotlivé druhy zemního masívu:		
suchý štěrk nebo písek	< 25 W/m	< 20 W/m
štěrk nebo písek nasycený vodou	65 W/m až 80 W/m	55 W/m až 65 W/m
štěrk nebo písek se silným prouděním spodní vody	80 W/m až 100 W/m	80 W/m až 100 W/m
vlhký jíł	35 W/m až 50 W/m	30 W/m až 40 W/m
vápencový masív	55 W/m až 70 W/m	45 W/m až 60 W/m
pískovec	65 W/m až 80 W/m	55 W/m až 65 W/m
křemičitý magmatit (např. granit, žula)	65 W/m až 85 W/m	55 W/m až 70 W/m
bazální magmatit (např. basalt, čedič)	40 W/m až 65 W/m	35 W/m až 55 W/m
diorit (rula)	70 W/m až 85 W/m	60 W/m až 70 W/m

Zdroj: tzb-info.cz

Tab. 6 – Finanční náklady na výstavu zemního vertikálního výměníku

	Jednotka	Jednotná cena [Kč]	Množství [ks]	Celková cena [Kč]
vrt	1m	690	279	192510
potrubí injektážní	1m	25	279	6975
injektážní malta	1kg	9,5	1750	16 625
Teplonosná kapalina	1l	86	300	25 800
destilovaná voda	1l	2	700	1400
geotermální sonda	1	23000	3	42000
pažení	1m	500	39	19450
závaží	1ks	800	3	2400
zemní práce				4000
celkem				334 560

6 Diskuze

Tepelné čerpadlo jsem vybral od renomované firmy IVT a podle některých odborníků z praxe je lepší vybrat s takovým výkonem, aby pokrylo 100% celkové ztráty. Jiné zdroje uvádí, že stačí pouze dimenzovat na 60% tepelných ztrát domu. Vše záleží na situování domu a hlavně rozpočtu. Tepelné čerpadlo bude ohřívat i TV. Odhadované roční náklady podle online kalkulačky viz obr. 14 na provoz jsou okolo 20 500Kč. Tahle částka by měla být pouze na provoz tepelného čerpadla bez roční platby za jistič a elektroměr.

Obr. 18 – Náklady na 1 rok vytápění

Vstupní údaje pro výpočet nákladů na vytápění		Vstupní údaje pro výpočet nákladů na TUV	
tepelná ztráta:	23 kW	počet osob v domácnosti:	4
spotřeba tepla:	122,958 GJ = 34155 kWh	denní spotřeba TUV:	200 l
		spotřeba tepla za rok:	13,14 GJ = 3650 kWh

E-TČ elektřina tepelné čerpadlo 2,16 Kč/kWh 4 COP (topný faktor) 8 539 kWh 18 444 Kč 913 kWh 1 971 Kč

Zdroj: <http://www.mujskotel.cz/kalkulace-vytapeni/>

Rozdíl mezi zemním kolektorem a tepelným vrtem není zcela jednoznačně určit, který je lepší. Záleží na lokaci domu a dalších vlivech. Hlavním parametrem jsou finance a prostor, a lokace. Například je zřejmé, že v domě uprostřed města s malou zahradou není možné aplikovat tepelné čerpadlo, které získává nízkopotenciální energii zemním plošným kolektorem, protože kolektor by se na zahradu jednoduše nevešel.

Na zemní kolektor, musí být dostatečně rozlehlá zahrada. V mém příkladovém domě to je 668m². Vzhledem ke stoupající ceně pozemků a oblíbenosti parcel do 1000m². Je tato plocha poměrně velká a musí se vše dobře plánovat, kde bude vše rozmístěné. Na zemním kolektoru by nemělo nic být, co by zakrývalo přístup slunce, z důvodu dostatečné akumulace. U vrtu se toto zanedbává a není to podstatné. Vrt by měl být trochu předimenzován, aby nedošlo k vyčerpání vrtu. Proto je důležité, aby se vrt udělal technologicky správně. Po betonáži již není možná oprava. Není dobré šetřit na injektážní směsi, která nám dokonce může zvýšit i topný faktor tepelného čerpadla. Vrt je dobrý v létě akumulovat, když se tepelné čerpadlo pustí v režimu klimatizace. Ale problém je, že tyto čerpadla jsou o 100 000 Kč

dražší než normální. Celková finanční náročnost tepelného vrtu je hodně náročná. Životnost horizontálního i vertikálního výměníku by měla být u obou provedení by měla být stejná u obou provedení tzn. minimálně 100 let.

V tomto případě bych se přikláněl k zemnímu kolektoru, a lepšímu zateplení domu. Největší unik tepla je okny, vyměnil bych stará okna s dvojsklem za plastová eurookna, záleží na typu a výrobci ale tepelná ztráta se tím zmenší mezi 50-70%. Při zadání stejných hodnot při změně tepelné ztráty na 11,5 kWh/ jsou odhadované náklady na rok 11 500 Kč. Dalším zateplení střechy se sníží tepelná ztráta o 15% a při zateplení stěn a střechy je to 22%. Dále by došlo ke snížení plochy potřebná k získání nízkopotenciální energie a tepelné čerpadlo by bylo levnější v řádech desetitisíců.

Prognóza dalšího vývoje technologii tepelných čerpadel dle mého názoru je taková, že se bude snaha firem dále zabývat a snažit zvýšit topný faktor u plošných kolektorů, které jsou výhodnější u rodinných domů díky snazší instalaci a hlavně zaručenou akumulací tepla přes léto.

Tepelné čerpadla, které používají jako nízkopotenciální zdroj energie okolní vzduch, nejsou zcela výhodné z důvodu měnících se klimatických podmínek v zimě. Když potřebujeme vyšší topný faktor, je to přesně naopak a efektivnost tepelných čerpadel klesá. Vytápíme tak více elektřinou a to je ekonomicky nevýhodné. Aby tepelné čerpadlo bylo výhodné, potřebuje mít minimální topný faktor 4. Elektrickou energii vyrábíme s účinností 0,25 [-] tepelná čerpadla mají smysl pro společnost, když účinnost je větší než 4.

Teplota země u plošných výměníků tepla je na začátku topné sezony stejná. Zatímco tepelné výměníky s vertikálním výměníky je vhodné zvolit při nedostatku prostoru nebo při použití tepelného čerpadla v reverzním chodu. Tím zamezíme k vyčerpání energie zemního vrtu a dostatečně naakumulujeme teplo na další topnou sezonu. Tento způsob se provádí při vytápění sídliště nebo jiných velkých objektů. Proto jednoznačně nelze říct, který systém je lepší nebo horší vždy záleží na daných podmínkách a požadavcích.

7 Závěr

V době, kdy se zvyšují ceny energií a ostatních paliv se zvyšuje zájem o levná vytápění. Proto přicházejí na řadu zdroje vhodné pro nízkoteplotní otopné soustavy, které při správné aplikaci dokáží výrazně snížit náklady na vytápění celého objektu.

Tepelná čerpadla jsou založena na principu přeměny nízkopotenciální energie, které je na zemi v podstatě nevyčerpatelné množství. Pro využití této energie je potřeba pouze zhruba třetinové elektrické energie, čímž se provozní náklady výrazně snižují.

Tepelná čerpadla jsou šetrná k životnímu prostředí, díky výraznému snížení výdajů a větší informovanosti lidí se zvyšuje poptávka. Moderní tepelná čerpadla si získávají čím dál větší oblibu díky automatické regulaci, což znamená, že nevyžadují téměř žádnou obsluhu, pouze prvotní nastavení a po nějaké době, opětovné seřízení.

8 Seznam obrázků

Obr. 1 - Schéma tepelného čerpadla	6
Obr. 2- Znáznornění pracovního cyklu dle Carnotova cyklu.....	7
Obr. 3 - Lorenzův porovnávací cyklus tepelného čerpadla.....	9
Obr. 4.: C-Rankinův porovnávací cyklus tepelného čerpadla.....	10
Obr. 5 – Diagram monovalentního provozu.....	14
Obr. 6 – Diagram alternativně-bivalentní provoz.....	15
Obr.7 – Diagram paralelně-bivalentní provoz.....	15
Obr. 8 – Diagram částečně paralelně-bivalentního provozu.....	16
Obr.8. - Ukázka zemních kolektorů.....	22
Obr. 9 - Konfigurace horizontálních zemních výměníků	23
Obr. 10 - Ukázka zemních kolektorů	24
Obr. 12 - Rozdíl ve vrtech s instalovanými vymešovými díly a bez nich.....	28
Obr. 13 - Schéma vystrojení vrtu pro TČ s jednou a se dvěma smyčkami kolektoru	29
Obr. 14 - Schematické znázornění jednotlivých dílů ve výstroji vrtu pro TČ	30
Obr. 15 - Schéma sdílení tepla z hornin do vrtu.....	33
Obr. 18 – Náklady na 1 rok vytápění.....	43

9 Seznam tabulek

Tab.1. Norma ČSN EN 14825.....	13
Tab. 2 - Zobrazující jednotlivé porovnání GWP u chladiv používané v TČ	21
Tab. 3 – Extrakční kapacity.....	39
Tab. 4 – Náklady na výstavu plošného horizontálního výměníku	40
Tab. 5. Měrný odběrový tepelný tok.....	42

10 Příloha

IVT PremiumLine EQ E – země/voda

- Vhodné do maximální tepelné ztráty 25 kW
- Vestavěný elektrokotel a ventil pro připojení externího zásobníku
- Elektronicky řízená oběhová čerpadla na teplé i studené straně

TEPELNÉ ČERPADLO		E6	E8	E10	E13	E17
Energetická třída - produkt		A++	A++	A++	A++	A++
Výkon při 0°C / 35°C ¹	kW	5,8	7,8	10,4	13,3	17,0
Příkon	kW	1,32	1,63	2,19	2,80	3,64
Topný faktor při 0°C / 35°C		4,4	4,7	4,8	4,8	4,7
Výkon při 0°C / 45°C ²	kW	5,6	7,3	10,0	12,8	16,1
Příkon	kW	1,65	2,03	2,63	3,37	4,47
Topný faktor při 0°C / 45°C		3,4	3,6	3,8	3,8	3,6
Vestavěný elektrický kotel 9 kW		Kaskádně spínaný s výkony 3—8—9 kW				
Nominální průtok na studeném okruhu	l/s	0,36	0,47	0,64	0,83	1,06
Vestavěné čerpadlo - externí tlak	kPa	55	90	100	98	94
Max. tlak na studeném okruhu	bar	4				
Objem studeného okruhu v TČ	l	6				
Nominální průtok na teplém okruhu	l/s	0,20	0,26	0,36	0,46	0,58
Max. tlak na teplém okruhu	bar	3				
Objem teplého okruhu v TČ	l	7				
Pojistka při dotopu 3 / 6 / 9 kW	A	10/16/20	16/16/20	16/20/25	16/25/25	20/25/32
Štartovací proud bez softstartéru/ se softstartérem ³	A	27/-	38/27,5	46/29,5	63/28,5	65/-30
Max. příkon kompresoru	kW	2,5	3,0	4,1	5,5	7,0
Max. proud kompresoru	A	4,2	5,0	6,5	9,0	11,5
Hladina akustického výkonu Lw ⁴	dB(A)	45	46	47	49	47
Hmotnost	kg	144	157	167	185	192
Připojení na studeném okruhu	mm	Cu 28			Cu 35	
Připojení na teplém okruhu	mm	Cu 22			Cu 28	
Množství chladiva	kg	1,55	1,95	2,4	2,65	2,8
Chladicí médium		Bezfreonové chladivo R 410A				
Max. tlak kompresorového okruhu	bar	42				
Rozměry (š x h x v)	mm	600 x 645 x 1520				
Elektrické zapojení		400 V, N3 fáze				
Elektrické krytí		X1				
Výměníky		Nerezové deskové				
Kompresor		Scroll Copeland				
Rozsah teplot studeného okruhu		-5 až 20 °C				
Max. výstupní teplota topné vody		62°C				
Vestavěná ekvitermní regulace		Ekvitermní REGO 1000				

1) Při podmínkách +35 °C na výstupu z tepelného čerpadla a 0 °C na vstupu do tepelného čerpadla. (podle evropské normy EN 14511) 2) Při podmínkách +45 °C na výstupu z tepelného čerpadla a 0 °C na vstupu do tepelného čerpadla. (podle evropské normy EN 14511) 3) Tepelné čerpadlo možno objednat vč. softstartéru, vyjma modelu IVT PremiumLine EQ E6 4) Dle EN ISO 3743-1

11 Citace

- [1] KOLEKTIV. *Topenářská příručka*. Svazek 1. Praha: GAS s.r.o., 2001. ISBN 80-86176-82-7.
- [2] KLAZAR, L. *Nároky a náročnost, potřeba a spotřeba, teplo a energie*. 10. 3. 2003 [online]. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/1412-naroky-a-narocnost-potreba-a-spotreba-teplo-a-energie>>
- [3] Olga a Aleš Rubinovi. *Http://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/2650-vnitri-prostredi-budov-a-tepelna-pohoda-cloveka* [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/2650-vnitri-prostredi-budov-a-tepelna-pohoda-cloveka> <https://www.licon.cz/nizkoteplotni-vytapeni-konvektory.html>
- [4] *Https://vytapani.tzb-info.cz/* [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla>
- [5] Carnotův cyklus – Wikipedie. [online]. Copyright © 2014 [cit. 08.12.2017] Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Carnot%C5%AFv_cyklus
- [6] Historie tepelného čerpadla - Blue team, s.r.o.. *Tepelná čerpadla - Blue team, s.r.o.* [online]. Copyright © 2014 [cit. 08.12.2017]. Dostupné z: <http://tc.blueteam.cz/historie-tepelneho-cerpadla.html>
- [7] Historie a vývoj tepelných čerpadel v ČR a EU | Vytápění | Tzb | www.asb-portal.cz. *Odborný portál pro profesionály v oblasti stavebnictví* [online]. Copyright © JAGA GROUP, s. r. o. Všechna práva vyhrazena [cit. 08.12.2017]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/tzb/vytapeni/historie-avyvoj-tepelnych-cerpadel-vcr-aeu>
- [8] <http://www.zdrave-bydleni.com/wp-content/uploads/2016/02/tepelne-cerpadlo-04-cz.jpg> *Zdravé bydlení | Bez plísní a alergií* [online]. Copyright © [cit. 08.12.2017]. Dostupné z: <http://www.zdrave-bydleni.com/wp-content/uploads/2016/02/tepelne-cerpadlo-04-cz.jpg>
- [9] Princip tepelného čerpadla, jak funguje | OCHSNER. *Tepelná čerpadla Ochsner - komfort pro Váš dům | OCHSNER* [online]. Dostupné z: <http://www.ochsnercz.cz/cz/o-tepelnych-cerpadlech/princip-tepelneho-cerpadla.html>
- [10] Princip tepelného čerpadla | Kvalitní tepelná čerpadla. *Kvalitní tepelná čerpadla* [online]. Copyright © 2015 Vaillant [cit. 08.12.2017]. Dostupné z: <https://www.kvalitni-tepelna-cerpadla.cz/tepelna-cerpadla/jak-vlastne-funguji-a-vcem-je-vlastne-rozdil/>

- [11] Topný faktor COP - účinnost tepelného čerpadla : Abeceda tepelných čerpadel. *Abeceda tepelných čerpadel : Tepelná čerpadla* [online]. Dostupné z: <https://www.abeceda-cerpadel.cz/cz/topny-faktor-cop-ucinnost-tepelneho-cerpadla>
- [12] PANASONIC (DIVIZE TEPELNÁ ČERPADLA A KLIMATIZACE). *Jak správně vybrat tepelné čerpadlo? 5 parametrů pro optimální výběr tepelného čerpadla* [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/16326-jak-spravne-vybrat-tepelne-cerpadlo-5-parametru-pro-optimalni-vyber-tepelneho-cerpadla>
- [13] Chladiva – Encyklopedie BOZP. [online]. [cit. 11.12.2017]. Dostupné z: <http://ebozp.vubp.cz/wiki/index.php/Chladiva>
- [14] Jsou syntetická chladiva nezbytná? | Větrání a klimatizace | Tzb | www.asb-portal.cz. *Odborný portál pro profesionály v oblasti stavebnictví* [online]. Copyright © JAGA GROUP, s. r. o. Všechna práva vyhrazena [cit. 11.12.2017]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/tzb/vetrani-a-klimatizace/jsou-synteticka-chladiva-nezbytna>
- [15] KRAINER, Ing. Robert a Ing. Jiří DUDA. Legislativní situace v oblasti chladiv a výhledy do budoucna. <https://vytapani.tzb-info.cz/> [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12647-chladiva-pouzivana-v-tepelnych-cerpadlech>
- [16] SEDLÁŘ, Ing. Jan. Legislativní situace v oblasti chladiv a výhledy do budoucna. <https://vytapani.tzb-info.cz/> [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12647-chladiva-pouzivana-v-tepelnych-cerpadlech>
- [17] Chladivo | JDK, spol. s r.o.. *301 Moved Permanently* [online]. Copyright © 1991 [cit. 13.12.2017]. Dostupné z: <http://www.jdk.cz/cs/produkty/chladivo>
- [18] *Prodej a tvorba interaktivních e-knih - Publi* [online]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/93/02.html#2-5>
- [19] Tepelná čerpadla Země/voda | www.tepelna-cerpadla-info.cz. *Magazín o tepelných čerpadlech | Tepelná Čerpadla Info* [online]. Copyright © Všechna práva vyhrazena [cit. 27.01.2018]. Dostupné z: <https://www.tepelna-cerpadla-info.cz/princip-tepelneho-cerpadla/tepelna-cerpadla-zeme-voda.htm>
- [20] RYŠKA, Iig. Jiří. Vrty do horninového masivu - zdroj energie pro tepelná čerpadla (III). <https://vytapani.tzb-info.cz/> [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <https://www.tzb->

- info.cz/3658-vrty-do-horninoveho-masivu-zdroj-energie-pro-tepelna-čerpadla-iiiHlubinný vrt | Tepelná čerpadla NIBE. [online]. Copyright © 2012 [cit. 27.01.2018]. Dostupné z: [http://www.nibe.cz/cs/technologie/hlubinny-vrt i obrázek](http://www.nibe.cz/cs/technologie/hlubinny-vrt-i-obrazek)
- [21] Samuel, G. Robello; Liu, Xiushan: *Advance Drilling Engineering – Principles and Design*. Gulf Publishing Company, Houston, Texas, 2009. ISBN: 978-1-933762-34-0.
- [22] Pinka, Ján; Sidorová, Marina; Dudla, A. Nikolaj: *Vrtné súpravy a ich diagnostikovanie*. Fakulta BERG, TU Košice, Slovensko, 2009. ISBN: 978-80-89284-28-3
- [23] Hyne, J. Norman: *Dictionary of Petroleum Exploration, Drilling & Production*. Gulf Publishing Company, Houston, Texas. ISBN 0878143521
- [24] Byron, G. Ted: *Casing and Liners for Drilling and Completion – Design and Application*. Gulf Publishing Company, Houston, Texas, 2007. ISBN: 9781933762067
- [25] ŠTRAJT, Ladislav. Praktické zkušenosti s vrtem pro tepelné čerpadlo. <https://vytapeni.tzb-info.cz/> [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/12426-prakticke-zkusenosti-s-vrtem-pro-tepelne-čerpadlo>
- [26] Esterka, František: *Technologie vrtného výplachu*. SNTL Praha 1970, L15-B2-IV-41/41670/XII
- [27] Ryška, J.: *Vrty do horninového masivu – zdroj energie pro tepelná čerpadla*. TZB-info, technická zařízení budov, stavebnictví, úspory energií, Topinfo s.r.o., 2006. ISSN 1801-4399
- [28] TINTĚRA, L. Tepelná čerpadla. ABF. Praha 2003. ISBN 80-86165-61-2.
- [29] SRDEČNÝ, K. TRUXA J. Tepelná čerpadla. ERA Group. Brno 2005. ISBN 80-7366-031-8
- [30] Instalace zemního kolektoru . *Geotermální energie a tepelná čerpadla / GEROTop.cz* [online]. Copyright © 2018 GEROTop spol. s r.o. [cit. 10.02.2018]. Dostupné z: <http://www.gerotop.cz/instalace-plosneho-kolektoru>
- [31] Geothermal Resource Technologies, Inc. (2003): Formation Thermal Conductivity Test and Data Analysis. Webové stránky firmy.
- [32] Ryška J. (2005): Prováděcí projekt vrtů pro tepelné čerpadlo
- [33] Analysis on the Performance of Ground Heat Exchangers in Ground Source Heat Pump Systems based on Heat Transfer Enhancements - ScienceDirect. ScienceDirect.com |

- Science, health and medical journals, full text articles and books. [online]. Copyright © 2015 The Authors. Published by Elsevier Ltd. [cit. 10.02.2018]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815027411>
- [34] Spitler J. D., Rees S. J., Yavuzturk C. (2002): Recent Developments in Ground Source Heat Pump System Design, Modelling and Applications. Referát z webových stránek IGSHPA.
- [35] Stiebel-Eltron (2002): Tepelná čerpadla. Projektování a instalace. Firemní technické podklady.
- [36] Kunz, A., Ryška, J., Koníček, J., Bujok, P. (2002): Využití horninového prostředí jako stálého efektivního zdroje energie pro tepelná čerpadla. Str.69-75, ISBN 80-7099-895-4
- [37] RYŠKA, Ing. Jiří. Vrty do horninového masivu - zdroj energie pro tepelná čerpadla (V) Horniny jako zdroj tepla. <https://vytapani.tzb-info.cz/> [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/3665-vrty-do-horninoveho-masivu-zdroj-energie-pro-tepelna-cerpadla-v>
- [38] KALETA, Ján a Aleš Kisza. Základní zásady návrhu plošného zemního kolektoru pro tepelné čerpadlo země/voda. <https://vytapani.tzb-info.cz/> [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/10178-zakladni-zasady-navrhu-plosneho-zemniho-kolektoru-pro-tepelne-cerpadlo-zeme-voda>
- [39] ČSN EN 14511-2 (143010) - Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru - Část 2: Zkušební podmínky - duben 2014 - Technické normy - Ing. Jiří Hrazdil. *Internetová prodejna norem* [online]. Copyright © 2003 [cit. 17.03.2018]. Dostupné z: <https://shop.normy.biz/detail/95081> [online]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/dokument158127.html>
- [40] Ing. Jan Sedlář. <https://vytapani.tzb-info.cz/> [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13365-zkouseni-tepelnych-cerpadel-pro-vytapani>
- [41] Ing. Zdeněk Reinberk, Ing. Roman Šubrt, Ing. Lucie Zelená. <https://stavba.tzb-info.cz/> [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/128-on-line-kalkulacka-uspor-a-dotaci-zelena-usporam>

- [42] Ján Kaleta, Aleš Kiswa. *Https://vytapani.tzb-info.cz/* [online]. [cit. 2018-03-30].
Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/10178-zakladni-zasady-navrhu-plosneho-zemniho-kolektoru-pro-tepelne-cerpadlo-zeme-vodah>
- [43] Ing. Marek Bláha. *Https://vytapani.tzb-info.cz/i*[online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z:
<https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/5719-jak-funguji-plosne-zemni-kolektory-pro-tepelna-cerpadla-v-praxi>
- [44] P. NEUBERGER, D. ADAMOVSÝ, R. ADAMOVSÝ TERMOMECHANIKA
2009
- [45] HAVELSKÝ, V. MEČÁRIK, K. FÜRI, B. *Tepelné čerpadlá*. 1. Vydání. Bratislava: Alfa,
1988. 328s. 25,04 AH, 25,44 VH