



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

**NÁVRH TEPELNÉHO ČERPADLA PRO OHŘEV TEPLÉ
VODY**

DESIGN OF HEAT PUMP

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ján Daxner

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Filip Toman

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Ján Daxner**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Filip Toman**
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh tepelného čerpadla pro ohřev teplé vody

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

S rostoucími cenami energií a díky různým druhům dotací případně tarifových slev, jsou pro vytápění nebo ohřívání teplé vody v posledních letech stále více používány tepelná čerpadla. A to jak v rodinných domech, tak ve veřejných stavbách. Práce bude zaměřená na termodynamický návrh hlavních komponent tepelného čerpadla využitého pro vytápění rodinného domu.

Cíle bakalářské práce:

- Popsání principu tepelného čerpadla
- Stručný přehled typů TČ
- Návrh hlavních komponentů TČ

Seznam doporučené literatury:

ŽERAVÍK, Antonín. Stavíme tepelné čerpadlo: [návratnost i za jeden rok]. Přerov: Antonín Žeravík, 2003. ISBN 802390275X.

TINTĚRA, Ladislav. Tepelná čerpadla. Praha: ARCH, 2003. ISBN 80-86165-61-2.

SRDEČNÝ, Karel a Jan TRUXA. Tepelná čerpadla. Praha: EkoWATT, 2009. ISBN 978-80-87333-02-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

děkan fakulty

Abstrakt:

Cieľom bakalárskej práce je navrhnúť hlavné komponenty tepelného čerpadla na základe zadaných parametrov. Prvá teoretická časť tvorí úvod do problematiky tepelných čerpadiel. Opisuje typy tepelných čerpadiel, zdroje energií a ich výhody a nevýhody. V druhej výpočtovej časti bol prevedený výpočet podľa zadaných parametrov, na základe ktorého boli vhodne zvolené hlavné komponenty tepelného čerpadla.

Kľúčové slová:

Tepelné čerpadlo, energia, nízkopotenciálne teplo, chladivo, tepelný výmenník

Abstract:

The aim of this thesis is to design the main components of the heat pump on the basis of specified parameters. The first theoretical part is an introduction to the problem of heat pumps. It describes types of heat pumps, energy sources and their advantages and disadvantages. In the second calculation part, the calculation was performed according to the entered parameters on the basis of which the heat pump components were suitably selected.

Key words:

Heat pump, energy, low potential heat, refrigerant, heat exchanger

Bibliografická citácia

DAXNER, Ján. *Návrh tepelného čerpadla pro ohřev teplé vody*. Brno, 2020. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Filip Toman.

Prehlásenie

Prehlasujem, že som svoju bakalársku prácu na tému: *Návrh tepelného čerpadla pro ohřev teplé vody* vypracoval samostatne. K jej vypracovaniu boli použité zdroje informácií uvedené v zozname použitých zdrojov.

V Brne dňa 20.6. 2020

Ján Daxner

Pod'akovanie

V prvom rade by som chcel poďakovať môjmu vedúcemu práce pánovi Ing. Filipovi Tomanovi za cenné rady a pripomienky. Ďalej by som chcel poďakovať pánovi Petrovi Javanskému z firmy HENNLICH, s.r.o. za rady pri výbere ideálnych výmenníkov tepla.

Obsah

Úvod	11
1 Tepelné čerpadlo	12
1.1 História a vývoj	12
1.2 Princíp fungovania.....	13
1.2.1 Vykurovací faktor COP	14
1.2.2 Sezónny vykurovací faktor SCOP	15
1.3 Chladivový okruh TČ	15
1.3.1 Kompresor	15
1.3.2 Expanzný ventil.....	18
1.3.3 Výparník	18
1.3.4 Kondenzátor	19
1.4 Chladivo	20
2 Typy tepelných čerpadiel	22
2.1 Tepelné čerpadlo zem-voda	22
2.1.1 Podložie	22
2.1.2 Pôdna vrstva.....	23
2.2 Tepelné čerpadlo vzduch-voda	24
2.2.1 Vonkajší vzduch.....	24
2.2.2 Odpadný vzduch.....	25
2.3 Tepelné čerpadlo voda-voda	25
2.3.1 Povrchová voda	25
2.3.2 Podzemná voda.....	26
2.4 Tepelné čerpadlo ako klimatizácia	26
3 Návrh tepelného čerpadla	27
3.1 Zadané hodnoty	27
3.2 Tarifa D25d	27
3.3 Výpočet technických parametrov tepelného čerpadla	28
3.4 Kompresor.....	33
3.5 Expanzný ventil	34
3.6 Výparník	35
3.7 Kondenzátor	35
4 Záver	36

5	Zoznam použitých zdrojov	37
6	Zoznam skratiek a symbolov	40

Úvod

Tepelná energia je pre ľudí veľmi dôležitá. Umožňuje im fungovanie v mnohých odvetviach, či to je chemický, technický alebo energetický priemysel. Zabezpečuje aj každodenné fungovanie, s čím je spojené vykurovanie objektov alebo ohrev vody. V dnešnej dobe sa na vykurovanie a ohrev ponúka mnoho možností. Používajú sa plynové kotle, kotle na tuhé palivá a ako jedno z moderných riešení tepelné čerpadlá (ďalej TČ). Počet nainštalovaných TČ v uplynulých 10 rokoch niekoľkonásobne vzrástol a to má viac dôvodov. Jedným z nich sú stúpajúce ceny energií. Priemerná cena za kWh elektrickej energie v Českej republike je aktuálne 4,58 Kč. Tá rastie s neustálym čerpaním neobnoviteľných zdrojov energií. Jedno z riešení je použitie vhodného zdroja tepla, s ktorým klesá aj spotreba energie a náklady na vykurovanie. Ďalší dôvod sú práve obnoviteľné zdroje, ktoré boli spomenuté vyššie. TČ využíva na svoje fungovanie energiu zo vzduchu, vody alebo zeme, čím znižuje emisie CO₂, použitie fosílnych palív a šetrí cenné zdroje. Významný faktor sú samozrejme financie. Pri TČ sa náklady na zaobstaranie a inštaláciu pohybujú v státisícoch korún českých. Vlastník však môže zažiadať o dotáciu od štátu, ktorá vie pokryť až 85 % ceny TČ. Cena ďalej závisí aj od typu čerpadla.

Teoretická časť sa zaoberá princípom fungovania TČ a jeho hlavnými komponentami. Rozoberá typy TČ, vhodnosť použitia, výhody a nevýhody. Ďalej sú riešené zdroje energie, ktoré sú pri konkrétnych typoch TČ využívané. Praktická časť rieši výpočet technických parametrov, na základe ktorých boli následne vybrané hlavné komponenty TČ.

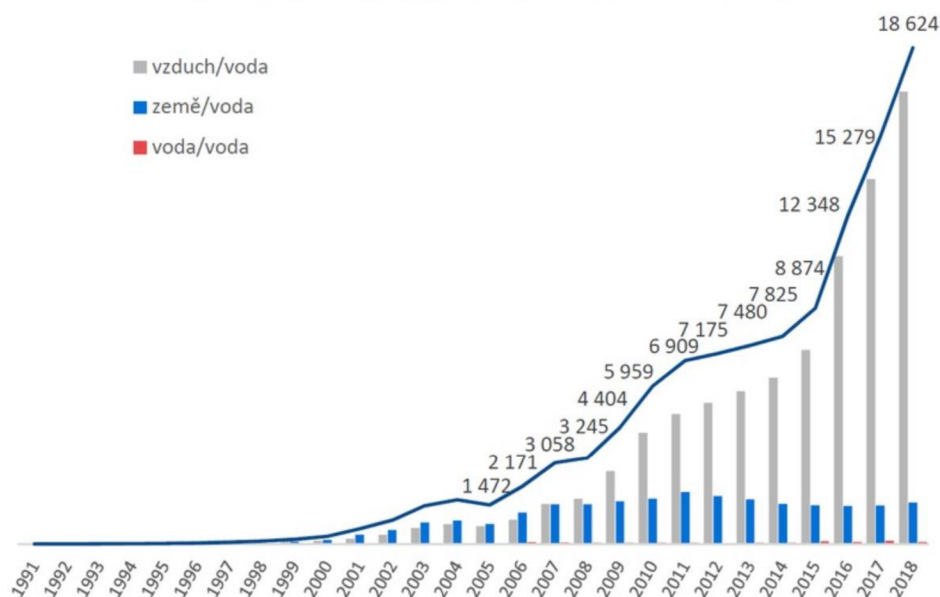
1 Tepelné čerpadlo

Je to zariadenie, ktoré dokáže využívať nízkopotenciálnu energiu okolitého prostredia a previesť ju na užitočnú formu s vynaložením vonkajšej práce. Účelom TČ je túto energiu previesť vykurovacím telesám na prípravu teplej úžitkovej vody, celoročné vykurovanie objektu, ohrev vody v bazéne alebo klimatizáciu objektu. Veľkou výhodou je, že TČ zabraňuje spaľovaniu fosílnych palív, znižuje náklady na spotrebu energie a výrazne znižuje produkciu splodín CO₂ [1].

1.1 História a vývoj

Princíp TČ ako prvý popísal William Thompson Kelvin v roku 1852. Jedno z prvých funkčných čerpadiel skonštruoval slovenský vynálezca a fyzik prof. Ing. Aurel Stodola v roku 1921 a v roku 1928 ho uviedol do chodu v Zürichu. Typ tohto TČ bol voda-voda. Ďalšou významnou osobnosťou v oblasti tepelných čerpadiel bol Robert C. Webber. Jeho TČ bolo zostrojené v podstate náhodou. Pri testoch s hlbokým zamrazením sa dotkol výstupného potrubia mraziaceho prístroja a popálil sa. Webber na základe tohto zistenia prepojil výstup z mrazničky s bojlerom na teplú vodu.

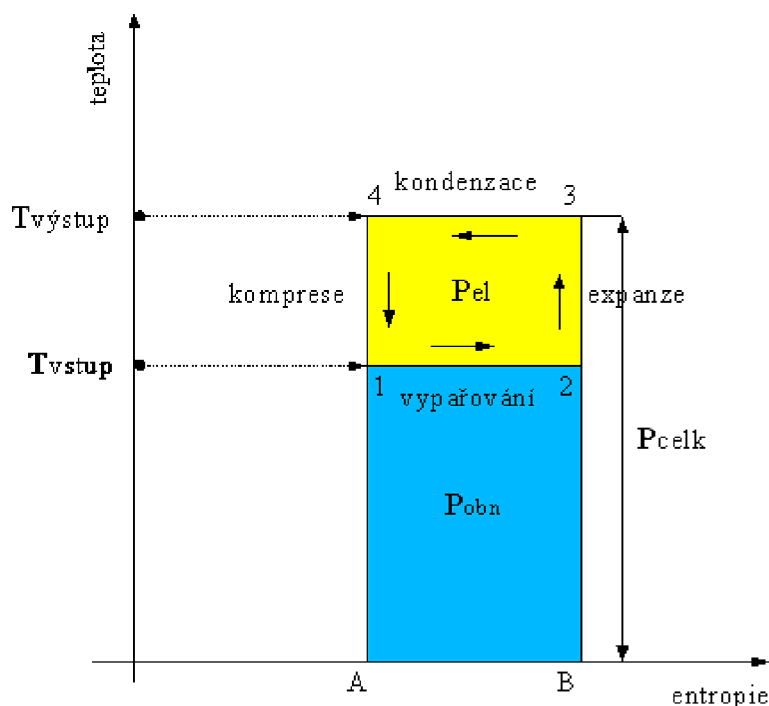
Maximálny rozmach dosiahli tepelné čerpadlá okolo roku 1980. Hlavným dôvodom bola ropná kríza a ľudia hľadali vhodné alternatívy fosílnych palív. Po prudkom náraste nasledovalo utlmenie na približne 10 rokov. Dôvodom bola nekvalifikovanosť firiem a poruchovosť tepelných čerpadiel. Na trhu sa udržalo len pár kvalitných firiem. Problém bol, že návratnosť trvala dlhšie ako samotná životnosť TČ. Nárast inštalácií prišiel až na konci dvadsiateho storočia. Ten bol spôsobený zvyšovaním záujmu o životné prostredie a zvyšovaním cien energií. V Českej Republike prispel k popularizácii TČ príchod výhodných paušálov dodávateľov energií a zavedenie dotačnej politiky na inštaláciu TČ. Pre príklad v roku 2010 malo iba 5 % novostavieb TČ. Toto číslo narástlo do roku 2017 na 12% [1], [4].



Obr. 1: Počet predaných TČ celkom a podľa typu v rokoch 1991 až 2018 [4].

1.2 Princíp fungovania

TČ funguje na rovnakom princípe ako chladnička alebo klimatizácia. Rozdiel je ten, že proces je obrátený. Účelom chladničky je teplo zo sústavy odčerpať a odovzdať ho do okolia. TČ naopak čerpá teplo z okolitého prostredia z tzv. nízkopotenciálneho zdroja tepla (ďalej NZT) a premieňa ho na vyššiu teplotnú hladinu, ktorú dokážeme využiť. Všetky spomenuté zariadenia patria do kategórie chladiarenských zariadení. Obrátený Carnotov cyklus je pracovný cyklus všetkých ideálnych chladiarenských zariadení. Zo všetkých teoretických cyklov má najvyššiu teoretickú účinnosť. Prvý krát ho popísal Nicolas L. S. Carnot. Prebieha medzi dvoma zásobníkmi tepla o rozdielnej teplote. Cyklus sa skladá zo 4 dejov, ktoré sú popísané na obrázku 2 [1], [3].

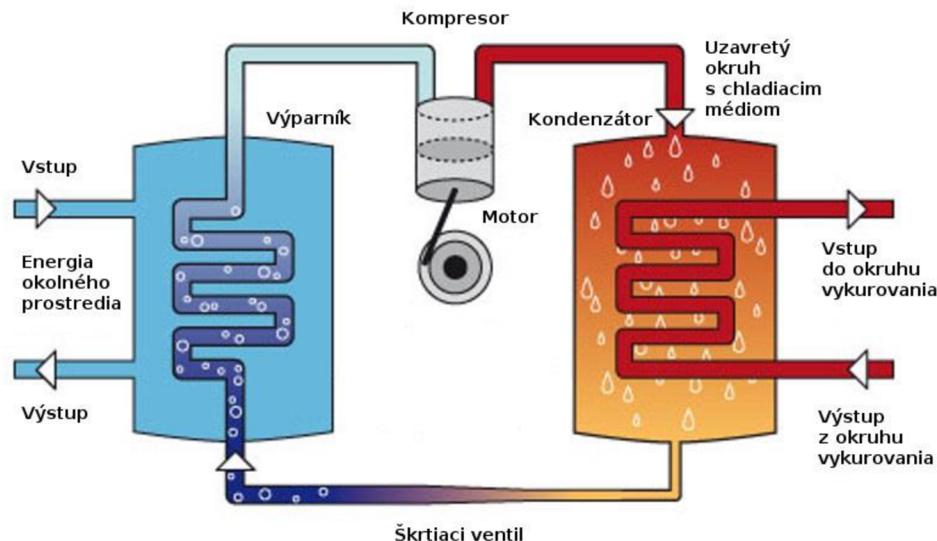


Obr. 2: Pracovný cyklus TČ [1].

Na začiatok je dobre povedať, že TČ neporušuje žiaden fyzikálny, alebo termodynamický zákon. Je dodržaný zákon zachovania energie, ktorý hovorí o tom, že „Energia nemôže vzniknúť ani zaniknúť, môže sa len premeniť na inú formu energie“. Druhý termodynamický zákon má viacero formulácií. Pre tento prípad bola vybraná Clausiova formulácia. Tá hovorí, že „Teplo nemôže pri styku dvoch telies s rôznymi teplotami samovoľne prechádzať z telesa chladnejšieho na teleso teplejšie“ [1].

Samotné TČ môžeme rozdeliť na 2 časti. Vonkajšiu časť a chladičový okruh. Vonkajšia časť odoberá nízkopotenciálne teplo, ktoré je prevádzané pomocou vhodného teplotnosného média. V systéme vzduch-vzduch alebo vzduch-voda je teplotnosné médium priamo vzduch. V prípade systému voda-voda a zem-voda je teplotnosné médium nemrznúca zmes, prípadne voda. Vo výparníku sa spája vonkajšia časť a chladičový okruh. Chladič absorbuje teplo privedené z okolia. Ohriate chladič vo forme pary je nasaté do kompresoru, kde je stlačené a zahriate na vysokú teplotu. Z kompresoru putuje chladič do kondenzátora, kde je teplo vzniknuté po kompresii odovzdané ďalšiemu médiu. Chladič počas tohto procesu skondenzuje a v kvapalnej

forme pokračuje do expanzného ventilu. Po odovzdaní tepla je chladivo stále zahriate na vysokú teplotu a tak sa musí pred vstupom do výparníku schladit'. Priechodom cez expanzný ventil klesne tlak, zvýši sa objem a chladivo sa prudko schladí. Takto ochladené chladivo sa z expanzného ventilu vstrekuje do výparníku a celý proces sa začína odznova [1], [6].



Obr. 3: Princíp fungovania TČ [5].

1.2.1 Vykurovací faktor COP

Vykurovací faktor z anglického slovného spojenia Coefficient of Performance je základným parametrom účinnosti TČ. Je to bezrozmerné číslo, ktoré je z pravidla väčšie ako 1. Vyjadruje pomer medzi vyrobeným teplom a spotrebovanou elektrickou energiou. Čím je vykurovací faktor vyšší, tak tým je vyššia zaobstarávacía cena tepelného čerpadla. Počas vykurovacej sezóny sa hodnota vykurovacieho faktoru mení. Ovpływujú ju podmienky okolitého prostredia. Najväčšie výkyvy sa vyskytujú pri tepelnom čerpadle vzduch-voda v závislosti na teplote. Pri výpočte sa tepelný výkon kondenzátora porovnáva s výkonom dodávaným do kompresora. Dôležitý je aj rozdiel medzi výparnou a kondenzačnou teplotou chladiva čo ovpływuje vykurovací faktor podľa Carnota. Vykurovací faktor ovpływuje výber chladiva a komponentov. Teoretický vykurovací faktor môže byť až 20, reálny so stratami sa pohybuje v rozmedzí 3-5. Počíta sa podľa nasledujúcich vzťahov [7].

Vykurovací faktor:

$$COP_h = \frac{Q_{celk}}{Q_{kom}} \quad (1.1)$$

Vykurovací faktor podľa Carnota:

$$COP_{h,c} = \frac{T_K}{T_K - T_V} \quad (1.2)$$

1.2.2 Sezónny vykurovací faktor SCOP

Sezónny vykurovací faktor pochádza z anglického Season Coefficient of Performance (SCOP). Spočíva v presnom definovaní COP pre celú vykurovaciu sezónu. Je presne definovaný normami EN 14825, EN 14511. Určuje presnejšie náklady na prevádzku TČ. Zohľadňuje energetickú spotrebu TČ za chodu, udržanie TČ na minimálnej teplote, prehriatie vody nad 72 °C, účinnosť TČ, tepelnú stratu budovy a teplotné zmeny okolia. SCOP sa podľa normy EN 14825 počíta v 3 rôznych klimatických podmienkach:

- Chladnejšie podnebie: 6446 hodín za sezónu
- Mierne podnebie: 4910 hodín za sezónu
- Teplé podnebie: 3590 hodín za sezónu

Zohľadňuje taktiež ekvitermickú reguláciu. Tá spočíva v nastavení teploty na základe vonkajšej teploty. Keď je von chladnejšie, regulátor pustí do obehu teplejšiu vodu. V opačnom prípade pustí do obehu chladnejšiu vodu. Pre SCOP je tiež dôležité určiť bod bivalencie. Je to vykurovací výkon a vykurovací faktor za podmienky, že sa výkon TČ rovná tepelnej strate vykurovaného objektu. SCOP sa používa pre klasifikáciu TČ do tried energetickej účinnosti podľa nariadenia Európskej komisie 811/2013 a 813/2013 [2], [8].

1.3 Chladivový okruh TČ

Chladivový okruh tepelného čerpadla sa skladá zo štyroch základných komponentov. Tie sú kompresor, výparník, kondenzátor a expanzný ventil. Správne fungovanie TČ je úzko späté s vhodnou voľbou týchto komponentov. Tieto komponenty sú doplnené o ďalšie, ktoré majú regulačnú, pomocnú alebo bezpečnostnú funkciu. Takými sú napríklad presostat, zberač kvapalného chladiva, termostat alebo priesor [1].

1.3.1 Kompresor

Je to najdôležitejší, ale aj najdrahší komponent TČ. Hlavné parametre, ktoré ovplyvňujú výber kompresoru sú kompresný pomer a sací výkon. Kompresný pomer udáva pomer medzi tlakom na saní a tlakom na výtlaku. Sací výkon je hodnota objemového toku nasávaných pár vzhľadom na sací tlak. Taktiež sa kladie dôraz na tesnosť. V prípade netesností by mohol možný únik chladiva nenávratne poškodiť kompresor. Do kompresora je nasatý plyn, ktorý je následne stlačený. Spôsob stláčania plynu závisí na princípe kompresora. Pri kompresii plynu sa plyn zahreje a postupuje ďalej do kondenzátora. V závislosti na princípe, prevedení a konštrukcie môžeme kompresory rozdeliť do viacerých skupín [1], [6].

a) podľa princípu

- **objemové:** Nasaté pary chladiva sa v uzavretom priestore postupne stláčajú na objem, ktorý odpovedá výstupnému tlaku chladiva z kompresora, poprípade veľkosti výtláčnej komory kompresora.
- **rýchlostné:** Tlak je zvýšený urýchlením pár chladiva na vysokú rýchlosť. Kinetická energia sa následne v difúzore premení na tlakovú [1].

b) podľa prevedenia

- **hermetické:** Elektromotor a kompresor majú spoločný hriadeľ a spoločnú olejovú náplň. Toto prevedenie je nerozoberateľné a v prípade poškodenia nie je možné kompresor opraviť. Z kompresorovej skrine je vyvedené sacie a výtlačné potrubie s napájaním.
- **polohermetické:** Kompresor a elektromotor sú uzavreté v hermetickej skrini. Prevedenie je rozoberateľné za pomoci demontovateľných viek. Elektromotor je prístupný a kompresor je možné v prípade potreby opraviť. Používa sa pri väčších chladiacich zariadeniach.
- **otvorené:** Hriadeľ vychádza zo skrine cez upchávku. Pohon je realizovaný pomocou rôznych typov motorov. Kompresor je s motorom spojený spojku. Používa sa pri klimatizáciách v automobiloch [1].

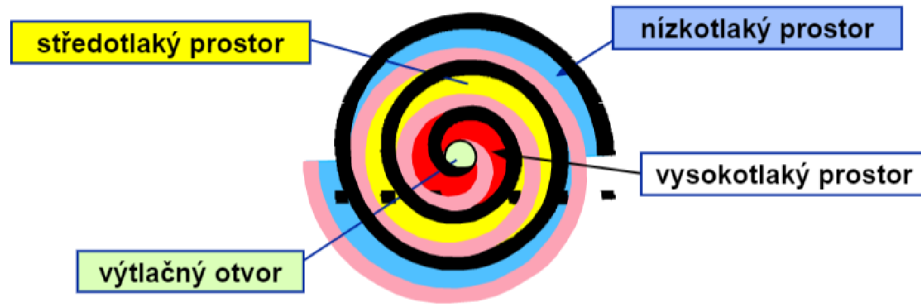
c) podľa konštrukcie

- **piestové:** Pary chladiva sú stláčané priamočiarym vratným pohybom piestu. Prevedenie môže byť hermetické, polohermetické, ale aj otvorené. Je pomerne lacný. Negatívami sú nižšia účinnosť, vyššia hlučnosť a škodný priestor kompresoru. Taktiež musí byť zaručená dokonalá tesnosť. V prípade, že by chladivo vniklo do priestoru zničilo by to kompresor. Pre TČ nie je vhodný a používa sa v bielej technike ako napríklad chladničky, mrazničky.
- **rotačné:** Pri tomto type kompresorov dochádza ku kompresii pár chladiva rotáciou jedného alebo dvoch rotorov okolo svojej osi vo valcovej komore. Prevedenie s dvoma rotormi je tichšie a spôsobuje menšie vibrácie. Obvykle sa konštruuje v hermetickom prevedení. Majú nižšiu účinnosť a sú vhodnejšie pre zariadenia, kde je požadovaný menší výkon.



Obr. 4: Asymetrické rotory [9].

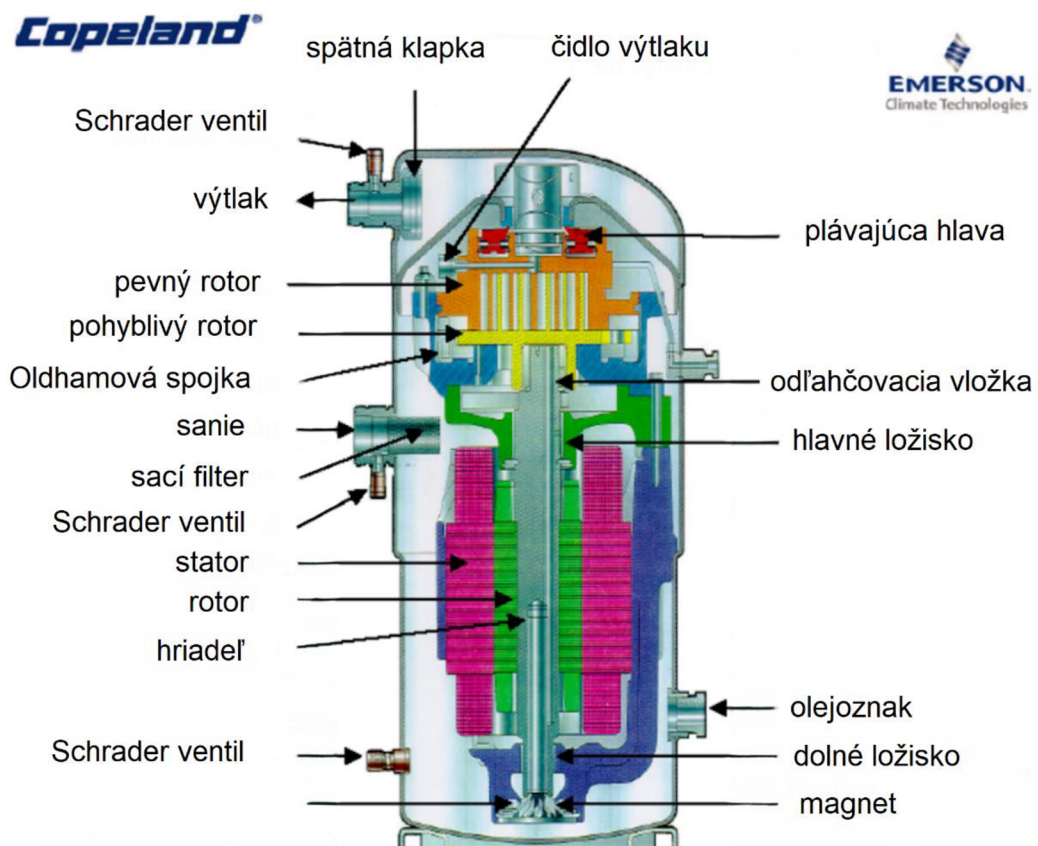
- **Scroll:** Tento typ kompresora je v súčasnosti u tepelných čerpadiel najrozšírenejší. Princíp spočíva v dvoch tzv. Archimedových špirálach vložených do seba, pričom jedna je nepohyblivá a je pripevnená k telu kompresora. Druhá, pohyblivá, je pripevnená ku kľukovému hriadeľu. Celková konštrukcia kompresora je zobrazená pomocou rezu na obrázku 6.



Obr. 5: Princíp funkcie kompresora SCROLL [10].

Pohyblivá špirála chladivo presúva k stredu, čím ho neustále stláča. Jej pohyb je definovaný nepohyblivou špirálou. V strede je medzi špirálami najmenšia medzera, čo znamená, že tam je najvyšší tlak a teplota. Scroll kompresory sú tiché a dosahujú dobrý výkon. Môžu sa používať pre širokú škálu chladív a majú vysokú životnosť. Nevýhodou je vyššia obstarávacía cena [1], [10].

- **Iné:** lopatkové, zubové, axiálne, radiálne, krídlové [11].



Obr. 6: Rez kompresorom SCROLL [10].

1.3.2 Expanzný ventil

Ďalej EV, je ďalší dôležitý komponent TČ. Hlavnou úlohou je regulovať správne množstvo vstrekaného chladiva do výparníku, čo optimalizuje prevádzku TČ. Taktiež udržiava tlakový rozdiel medzi vyparovacím a kondenzačným tlakom. Je nainštalovaný pred vstupom do výparníku. EV je vystavovaný vysokým teplotám a napätiam čo spôsobuje rýchlejšie opotrebovanie. Vyrába sa viac typov EV, ale pri TČ sa najčastejšie používajú termostatické EV, alebo elektronické EV [12].



Obr. 7: TEV Honeywell TMVX-00101 [13].

1.3.3 Výparník

Je to výmenník tepla. Nachádza sa na nízkotlakovej strane chladivového okruhu. Slúži na predanie tepla odobraného z okolia do chladiva. Vo výmenníku sa vzduch hýbe pomocou ventilátora. V prípade, že sa jedná o tekutinu, jej pohyb je zaručený čerpadlom. Výber typu výmenníku je závislý na type TČ. Pre systém voda-voda a zem-voda sa najčastejšie používajú doskové výmenníky. Pre systém vzduch-voda a vzduch-vzduch sa používajú lamelové výmenníky [1], [14].

- **Lamelový výmenník:** Je malý, kompaktný a ľahký. Má veľkú teplosmennú plochu. Tlakovú stratu je možné regulovať rozstupom trubiek. Chladivo prúdi v trubkách a vzduch prúdi pomedzi lamely. Používa sa pri TČ, kde sa teplo čerpá zo vzduchu [14].

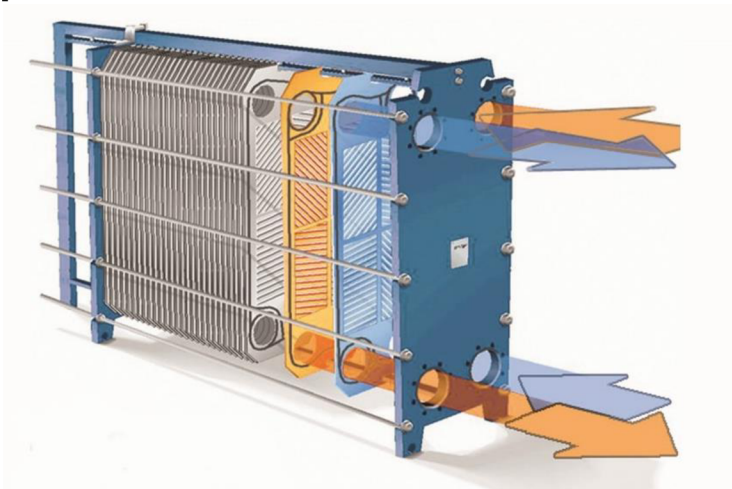


Obr. 8: Lamelové výmenníky tepla od firmy GTB coils [15].

1.3.4 Kondenzátor

Je to tepelný výmenník. V TČ je na vysokotlakovej strane okruhu a zabezpečuje prenos tepla z chladivového okruhu do vykurovacieho okruhu. Proces prenosu tepla prebieha počas procesu kondenzácie chladiva. Voľba typu výmenníka tepla je závislá na type média, ktoré prúdi vo vykurovacom okruhu. Pri kompresorových tepelných čerpadlách, kde je teplo odovzdávané vode sa používajú najčastejšie doskové alebo kotlové výmenníky tepla [16].

- **Doskový výmenník:** Pri TČ sa používa najčastejšie. Skladá sa z nerezových dosiek s prelismi a konštruje sa v rozoberateľnom a nerozoberateľnom prevedení. Chladivo a ohrievaná kvapalina prúdia vo výmenníku protiprúdne. Výhodou tohto typu zapojenia je, že protiprúd potrebuje na rovnaký tepelný výkon menšiu teplosmennú plochu ako súprúdne zapojenie. Vzhľadom na to je možné konštruovať doskové výmenníky v menších rozmeroch. Zvládajú vysoké prevádzkové tlaky, sú kompaktné, chemicky odolné a koeficient prestupu tepla je až 10x vyšší ako pri kotlových. Negatívom je malá medzera medzi jednotlivými doskami. Ohrievaná kvapalina preto musí byť čistá, aby nedochádzalo k zanášaniam výmenníku [16].



Obr. 9: Stavba doskového výmenníka tepla [18].

- **Kotlový výmenník:** Inak nazývaný aj trubkový. Chladivo prúdi v medzitrubkovom priestore a ohrievaná kvapalina prúdi v trubkách. Oproti doskovým výmenníkom má trubkový nižšiu účinnosť a nižšie tlakové straty. Avšak sú menej náchylné na zanesenie vzhľadom na vyššie rozostupy trubiek. Používajú sa v priemysle pre vyššie vykurovacie výkony [16], [17].

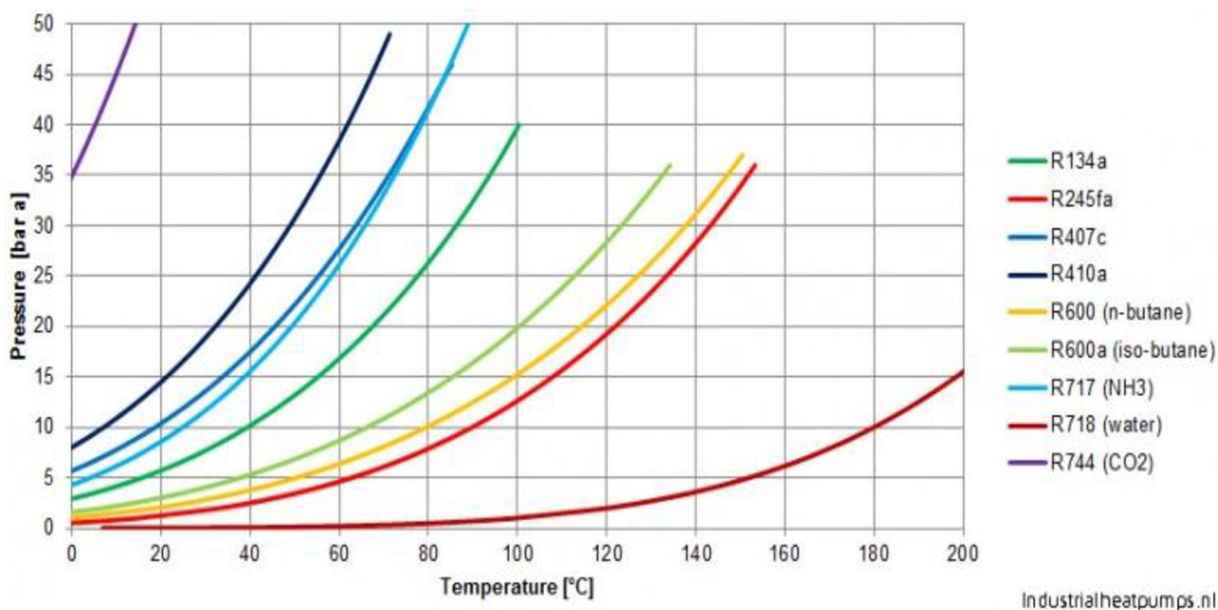
1.4 Chladivo

Chladivo cirkuluje v tepelnom okruhu, kde odoberá energiu vo výparníku pri nízkej teplote a predáva túto energiu kondenzátoru pri vysokej teplote, ktorá vznikne kompresiou v kompresore. Chladivo je vo výparníku v plynnom skupenstve a v kondenzátore v kvapalnom skupenstve. Pre použitie v TČ je na výber veľké množstvo chladív. Každé z nich má svoje určité výhody, ale aj nevýhody a výber chladiva závisí od viacerých kritérií. Vhodné chladivo musí byť chemicky a teplotne stabilné, dobre miesiteľné s olejom a malo by mať dobrý pomer ceny a výkonu. Veľmi dôležitou vlastnosťou pri výbere chladiva je aj jeho ekologickosť. To sa spája s pojmom Global Warming Potential. GWP je číselná hodnota priradená každému chladivu, ktorá charakterizuje jeho potenciál globálneho otepľovania. Pre príklad chladivo R134a má $GWP=1430$ to znamená, že jeho potenciál klimatického oteplenia zeme je rovnaký ako vypustenie 1430 kg CO_2 do atmosféry [1].

Od 1.1.2015 je v platnosti Nariadenie európskeho parlamentu a rady EÚ č. 517/2014. Jeho cieľom je chrániť životné prostredie znižovaním emisií fluorovaných skleníkových plynov. Nahradzuje nariadenie č. 842/2006. Od 1.1.2017 je taktiež v platnosti nariadenie, ktoré stanovuje limit, nie len pre množstvo chladiva v zariadení, ale aj hodnotu GWP. Súčin hmotnosti chladiva a GWP nám dáva hodnotu ekvivalentu CO_2 (ďalej eq). Limitná hodnota je pre hermeticky uzavreté zariadenia 10 ton eq CO_2 . Tieto normy sú doplnené o mnohé iné [21].

Rozdelenie chladív:

- **Halogénové uhl'ovodíky:** Označujú sa CFC. V dnešnej dobe sú úplne zakázané. Majú vysokú hodnotu GWP. Medzi tieto chladivá patria R11, R12, R113 a iné.
- **Čiastočne halogénové uhl'ovodíky:** Označujú sa HCFC. Ich používanie je zakázané od 31.12.2014. Majú stredne vysokú hodnotu GWP. Patria sem napríklad R21, R123, R502 alebo R221.
- **Fluórové uhl'ovodíky a ich zmesi:** Majú značenie HFC. Niekedy sú nazývané ako skleníkové F-plyny. Neobsahujú žiaden chlór. Patria sem napríklad R134a, R407c, R32, R125. Niektoré z nich sa v dnešnej dobe prestávajú používať.
- **Prírodné chladivá:** Značíme ich HC. Neobsahujú žiadne halogény a majú nízku hodnotu GWP, čím nepoškodzujú ozónovú vrstvu a životné prostredie. Môžu byť horľavé a agresívne [19].



Obr. 10: Závislosť tlaku ma teplote pre rôzne chladivá [22].

Vlastnosti niektorých chladiv:

- **R410a:** Patrí medzi chladivá HFC. Je to zmes R32 a R125 v pomere 1:1. Je nehorľavé, nevýbušné a netoxické. Má vyšší chladiaci faktor, ktorý však vyžaduje vysoké tlaky, čo znamená modifikácie kompresoru a kondenzátoru. Má GWP=2088.
- **R134a:** (CH_2FCF_3) patrí medzi chladivá HFC, je nehorľavé, nevýbušné, nie je jedovaté, v kvapalnej forme je bezfarebné, GWP=1430, používa sa ako v tepelných, tak v chladiacich zariadeniach. Typicky sa používa v TČ voda-voda.
- **R407C:** Patrí medzi zmesi HFC chladiv, skladá sa z R32, R125 a R134a v pomere 23:25:52, má GWP=1774. Bolo vyvinuté ako náhrada za R22, má výrazný teplotný sklz, ktorý sa dá eliminovať použitím dlhých doskových výmenníkov. Nedokáže pracovať s POE olejom.
- **R717:** (NH_3) alebo aj čpavok. Radí sa medzi prírodné chladivá. V priemysle je veľmi rozšírený. Používa sa v kompresoroch s otvorenou konštrukciou. Má nulovú hodnotu GWP. Problém čpavku je, že pri kompresii dosahuje príliš veľké teploty. Je nehorľavý a toxický so špecifickým štiplavým zápachom [1], [20].

2 Typy tepelných čerpadiel

Tepelné čerpadlá môžeme rozdeliť do viacerých skupín podľa toho, aký NZT využívajú a podľa toho, do akého média teplo ďalej predávajú. Zdroj tepla je faktor, ktorý zásadne ovplyvňuje konštrukciu TČ. Prvé slovo pri tepelných čerpadlách znamená zdroj odkiaľ je nízkopotenciálne teplo čerpané a druhé slovo je médium, do ktorého je teplo predané. Výber vhodného typu záleží na viacerých faktoroch. Najhlavnejšími sú dostupnosť zdrojov tepla, investičné a prevádzkové náklady a prevádzkyschopnosť [1].

Základné rozdelenie:

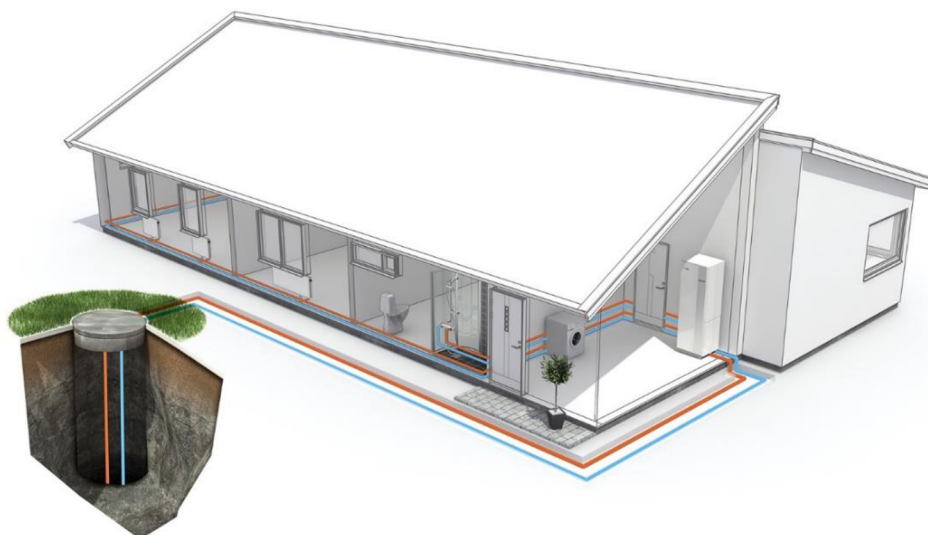
- **Voda-voda:** Teplo je odoberané zo stojatej, tečúcej alebo podzemnej vody. Voda je v priamom kontakte s výmenníkom tepla, čo znamená, že primárny okruh je otvorený.
- **Zem-voda:** Teplo je odoberané z podlažia pomocou kolektorov. Primárny okruh je otvorený.
- **Vzduch-voda, vzduch-vzduch:** Teplo je odoberané z vonkajšieho alebo odpadného vzduchu [1].

2.1 Tepelné čerpadlo zem-voda

Tento typ využíva ako NZT pôdu. V našich klimatických podmienkach pôda v hĺbke viac ako 80cm nezamrzá. Vďaka tomu má čerpadlo stabilný vykurovací faktor. Odber tepla sa uskutočňuje pomocou zemného kolektora. Ten tvoria PE hadice naplnené nemrznúcou zmesou. Hadice majú obvykle priemer 32 až 40 mm a hrúbku steny 3 mm. Pohyb nemrznúcej zmesi je zabezpečený obehovým čerpadlom. Zemný kolektor odoberá teplo z pôdnej vrstvy alebo z podlažia. TČ zem-voda sa vyznačuje vysokou životnosťou a bezúdržbovým chodom [2], [6].

2.1.1 Podložie

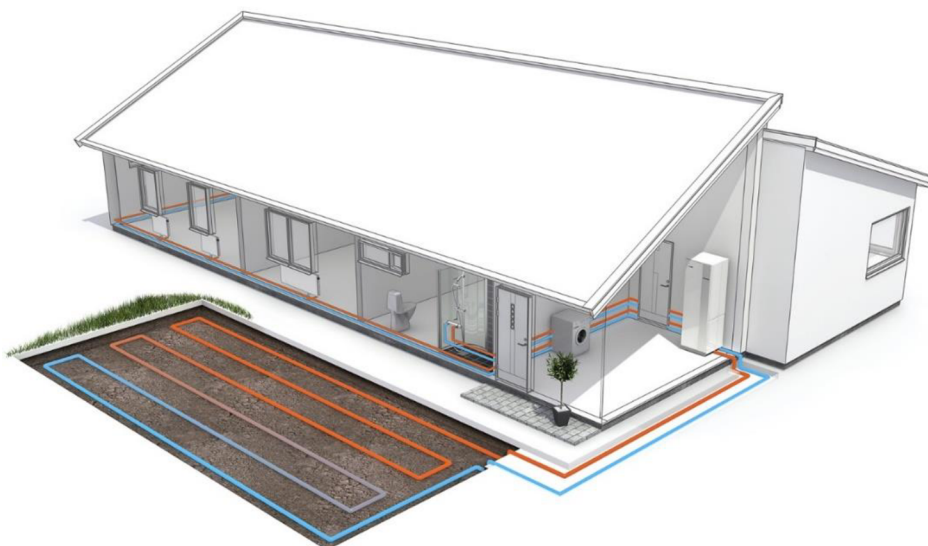
Pri tomto spôsobe sa používa plastový výmenník vložený do hlbokého vrtu. Výmenník je vo forme slučky tvaru U. Po vložení LDPE trubíc je vrt vyplnený vhodnou plastickou hmotou, ktorá kompenzuje statický tlak od horniny. Trubice majú obvykle priemer 32-40 mm a hrúbku steny 3 mm. Vrty mávajú hĺbku 50-120 m o priemere obvykle 15 cm. V prípade, že je potreba zhotoviť viac vrtov, doporučuje sa rozstup 5-10 m. V hĺbke nad 10 m je teplota počas celého roku takmer stabilná. Pred vyhotovením vrtu je potrebný geologický prieskum. Ten presnejšie určí, aká bude cena vrtu a tepelný výkon, ktorý bude možné z podlažia čerpať. V našich klimatických podmienkach sa teplota pohybuje v rozmedzí 10-13 °C. Negatívom sú nákladné vrtné práce. Sú závislé na hĺbke vrtu a na geologických podmienkach. Cena sa pohybuje v rozmedzí 700-1200 Kč/m hĺbky vrtu [1], [2].



Obr. 11: NZT zemské podložie [25].

2.1.2 Pôdna vrstva

Teplo je odoberané pomocou zemného kolektora. Na rozdiel od systému s hlbinným vrtom má nižšie obstarávacie náklady. Zemný kolektor je závislý na type pôdy. Od toho sa odráža plocha kolektora a výkon, ktorý vieme z daného typu pôdy čerpať. Inštaluje sa v prevedení plošných kolektorov alebo slieniok. Plošný kolektor sa umiestňuje do hĺbky 1,5-2 m v dostatočnej vzdialenosti od základov domu, aby nedošlo k ich premrznutiu. Jednotlivé hadice by mali byť od seba umiestnené v rozstupoch 1 m. Veľkosť takto hadicami vytvorenej plochy by mala byť 3-4x väčšia ako je plocha vykurovaného priestoru [2], [23].



Obr. 12: NZT pôdna vrstva [25].

Ďalší variant je pomocou slieniok. Sú to zvinuté kolesá PE hadíc rozťahnuté po dne výkopu. Jednotlivé slučky slieniok nemôžu presiahnuť dĺžku 200 m. V prípade, že je potrebná väčšia dĺžka, je pripojená ďalšia slučka, pričom by mali mať rovnakú dĺžku. Samostatné slučky sú potom privedené do domu, kde sú spojené pomocou spojovacích armatúr. Slinky môžu byť do zeme položené vertikálne alebo horizontálne. V prípade horizontálneho uloženia je potrebná 1 m široká a 1,5-2 m hlboká výkopová

jama. Samotné jamy by mali byť od seba vzdialené 5m. Pri vertikálnom uložení je potreba 0,4 m širokú a 2-2,5 m hlbokú výkopovú jamu. Väčšia hĺbka je potrebná, aby celá slinka bola v dostatočnej hĺbke. Jednotlivé jamy by mali byť od seba vzdialené 3-4 m [2].

S týmto zdrojom tepla sú spojené niektoré nevýhody. Z praxe vyplýva, že pôda v okolí kolektoru môže mať nižšiu teplotu. To môže mať negatívny dopad na rastliny. Pre tento dôvod je tento typ vhodnejší pre slnečný pozemok, aby sa počas slnečných dní pôda znovu vyhriala. Obmedzenie nastáva v stavebných prácach v okolí na pozemku. Stavby, ktoré potrebujú základy nemôžu byť realizované v okolí kolektora. Rovnako nie je vhodné aby boli v okolí kolektora pestované stromy [2], [26].

2.2 Tepelné čerpadlo vzduch-voda

Tento typ disponuje najpriateľnejším pomerom ceny a výkonu. Náklady na obstaranie a prevádzku sú nízke. Má jednoduchú inštaláciu a nevyžaduje žiadne stavebné povolenie. Ibaže oproti ostatným typom má nižšiu účinnosť. Je univerzálne použiteľné na akýkoľvek typ stavby. Vonkajšia jednotka sa nachádza mimo budovy. Teplo je čerpané z vonkajšieho alebo vnútorného odpadného vzduchu [2], [6].



Obr. 13: NZT vzduch [25].

2.2.1 Vonkajší vzduch

V tomto prípade je teplo čerpané z okolitého vzduchu. TČ vzduch-voda s týmto zdrojom tepla sa v poslednej dobe využíva najčastejšie. Dôvodom je, že v miernom klimatickom pásme dosahujú tieto TČ dobré pracovné parametre. Toto prevedenie je rozdelené na vonkajšiu a vnútornú časť. Tie sú spolu spojené medenými trúbkami, v ktorých prúdi chladiivo. Vonkajšia časť nasáva vzduch pomocou nízko otáčkových ventilátorov rádovo v tisícoch m³ za hodinu. Môžeme sa stretnúť aj s prevedením, kedy je výmenník umiestnený v budove. V tomto prípade TČ nasáva vzduch a vypúšťa ho otvormi v stene [2].

To, aký tepelný výkon vieme čerpať zo vzduchu, závisí na jeho vlhkosti. Keď je vzduch chladný má nízku vlhkosť. Množstvo energie vtedy rýchlo klesá. Súčasný čerpadlá sú schopné pracovať v teplotách -15 °C, pričom niektorí výrobcovia udávajú teplotu

až $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. V týchto prípadoch je ale vykurovací faktor TČ natoľko nízky, že je potrebné systém vybaviť, napríklad elektrickým kotlom. Tento typ TČ by mal byť namontovaný na mieste, kde nebude prekážať hluk. Ventilátor totiž vydáva hluk približne 50 dB [2], [27].

2.2.2 Odpadný vzduch

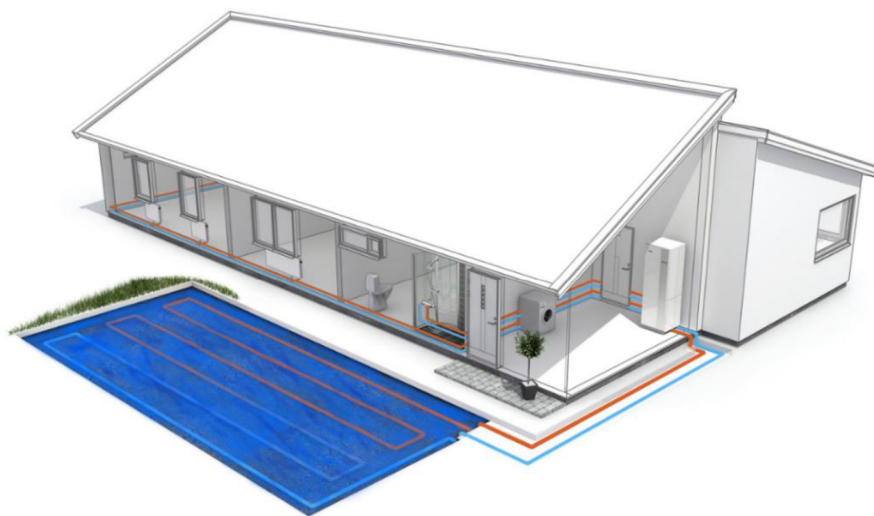
V prípade, že využívame odpadný alebo ventilačný vzduch je výparník umiestnený v budove. Je to výhodný zdroj tepla s vysokou tepelnou úrovňou. Nevýhodou je, že odpadného vzduchu nie je neobmedzené množstvo. Pre dostatočné vykurovanie je potrebná kombinácia s iným zdrojom nízkopotenciálneho tepla. Často krát to je napríklad zemný kolektor. Takéto TČ sú vhodné pre nízkoenergetické stavby [24].

2.3 Tepelné čerpadlo voda-voda

TČ voda-voda, dosahuje zo všetkých uvedených typov tepelných čerpadiel medzi užívateľmi najlepšie hodnotenie. Dosahuje najvyšší priemerný ročný vykurovací faktor, s čím je spojená krátka doba návratnosti investičných nákladov. K dobrému hodnoteniu prispieva aj pomerne nízka obstarávacia cena. Nevýhodou pri tomto type TČ je málo vhodných lokalít, ktoré by disponovali dostatočným množstvom vody o odpovedajúcej kvalite. Teplo je pri tomto type získavané dvoma spôsobmi. Pri prvom spôsobe sa teplo získava z povrchovej vody a pri druhom z podzemnej vody [2], [6].

2.3.1 Povrchová voda

S tepelnými čerpadlami, ktoré používajú ako NZT povrchové vody sa v praxi často nestretáme. Hlavným problémom je častokrát nevhodná lokalita. Tento typ potrebuje rozsiahlu vodnú plochu alebo vodný tok, ktorý ani v zime nezamrzá. Takou plochou môže byť napríklad rybník alebo rieka. Pre využívanie plochy je ale potrebné povolenie od správcu. Ďalší dôvod je pomerne nízka teplota vody. Teplota stojatej vody sa pohybuje okolo $4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pri vychladení môže dochádzať k namrzaniu výparníka. Dôležité je aj zloženie a čistota vody, aby nedochádzalo k zanášaniam výparníka [2].



Obr. 14: NZT povrchová voda [25].

2.3.2 Podzemná voda

NZT je spodná voda. Tento systém funguje pomocou dvoch studní. Jedna sa nazýva vsakovacia a jedna zdrojová. V hĺbke väčšej ako 10 m sa teplota spodnej vody celoročne pohybuje medzi 8 až 10 °C. To zaručuje stály a vysoký vykurovací faktor počas celého roka. Voda je čerpaná zo zdrojovej studne pomocou ponorného čerpadla. Následne je po prechode cez výparník vypustená do vsakovacej studne. Tepelné čerpadlo musí byť zabezpečené voči výpadku. V prípade prerušenia dodávky vody do výmenníku by nastalo jeho zamrznutie a poškodenie TČ. Nevýhodou tohto typu je, že na pozemku musí byť vhodné podložie, ktoré by bolo schopné vsakovať vodu. Taktiež voda musí mať vhodné chemické zloženie. Voda nemôže mať vysoký obsah minerálov, pretože by mohlo dochádzať k zanášaniam výmenníka. Vsakovacia studňa je realizovaná formou hlbinného vrtu. S týmto typom nastáva problém v určitých lokalitách minerálnych vôd a kúpeľov. Lokality môžeme rozdeliť následne.

- lokality 1. ochranného pásma – úplný zákaz
- lokality 2. ochranného pásma – vrt možný s povolením ČIL
- lokality 3. ochranného pásma – ohlasovacia povinnosť vrtu do 30 m [2], [26].



Obr. 15: NZT podzemná voda [25].

2.4 Tepelné čerpadlo ako klimatizácia

Pri pojme klimatizácia si mnoho ľudí predstaví zariadenie, ktoré ochladzuje vzduch. Treba ale poznamenať, že je s ňou možné nie len chladenie, ale aj rekuperácia, zvlhčovanie, prípadne filtrácia vzduchu. Keďže je TČ chladiace zariadenie, môžeme ho zapojiť podľa našej potreby aby v zime vykurovalo a v lete chladilo. Tento mód nazývame tzv. reverzný mód. Väčšina klimatizácií disponuje týmto reverzným režimom. Výkon je však natoľko malý, že nie sú schopné vykúriť miestnosť, v ktorej sa nachádzajú. Pri tomto systéme sa primárne využívajú TČ vzduch-vzduch, ktoré čerpajú teplo z odpadového vzduchu. Tento typ má najnižšiu obstarávaciu cenu. Dá sa jednoducho a rýchlo nainštalovať. Negatívom je, že sa s ním nedá ohrievať teplá úžitková voda (ďalej TUV) [27].



Obr. 16: Vonkajšia klimatizačná jednotka LG [28].

3 Návrh tepelného čerpadla

Táto časť bakalárskej práce sa zaoberá návrhom hlavných komponentov TČ. Najprv bol prevedený výpočet technických parametrov. Následne boli na základe výsledkov vybrané konkrétne komponenty.

3.1 Zadané hodnoty

Hlavným zadaním BP bolo ohriatie 1000 l teplej úžitkovej vody v akumuláčnej nádrži z 15 °C na 50 °C. K nádrži bude pripojený externý zdroj tepla, pretože raz za čas je potrebné nádrž prehriať nad 72 °C, kvôli baktériám vznikajúcim vo vode. Ohrev vody bude prebiehať počas tarify D25d. Bol zvolený typ TČ zem-voda so zemným kolektorom. Ako chladivo bolo vybrané R134a.

3.2 Tarifa D25d

Pre získanie tejto tarify musí byť v domácnosti nainštalovaný spotrebič na akumuláčný ohrev vody. Nízka tarifa platí počas ôsmich hodín denne. Je možné ju rozdeliť až do troch časových úsekov, pričom každý musí byť dlhší ako 1 hodina. Táto tarifa je vhodná pri vyššej spotrebe elektriny. Odoberateľ je povinný zablokovať akumuláčnú zariadenie počas vysokej tarify. Pre výpočet boli zvolené 2 štvorhodinové sadzby [29].

3.3 Výpočet technických parametrov tepelného čerpadla

Potrebná energia na ohriatie vody:

$$Q_k = \Delta t \cdot V \cdot t \cdot 1,163, \quad (3.1)$$

kde: Q_k potrebná energia na ohriatie vody,
 Δt rozdiel teplôt vody,
 V objem vody,
 t doba ohrevu,
 1,163 výkon potrebný na ohriatie 1m³ vody o 1°C,

$$Q_k = (50 - 15) \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,163,$$

$$Q_k = 35 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,163,$$

$$Q_k = 40,7 \text{ kW}.$$

Energia na ohriatie 1m³ vody z 15 °C na 50 °C za 1 hodinu je 40,7 kW. Ohrev avšak trvá 4 hodiny, takže vypočítaná hodnota sa vydolí 4. Výsledný výkon Q_k je rovný výkonu kondenzátora Q_{kon} .

$$Q_k = \frac{40,7}{4}, \quad (3.2)$$

$$Q_k = Q_{kon} = 10,1 \text{ kW}.$$

Pre výpočet bolo zvolené chladivo R134a. Výparná teplota bola určená -5 °C a kondenzačná teplota 55 °C. Entalpie pre jednotlivé teploty a skupenstvá chladiva sú v tabuľke 1.

Tab. 1: Entalpie chladiva R134a [30].

Entalpia [kJ·kg ⁻¹]	
$h_1 (-5^\circ\text{C})_{\text{para}}$	395,7
$h_2 (55^\circ\text{C})_{\text{para}}$	425,2
$h_3=h_4 (55^\circ\text{C})_{\text{kvap}}$	279,5

Hmotnostný prietok chladiva získame vyjadrením z rovnice 3.3. Za výkon bol dosadený výkon kondenzátora.

$$Q = \dot{m} \cdot \Delta h, \quad (3.3)$$

kde: Q výkon [kW],
 \dot{m} hmotnostný prietok [kg·s⁻¹],
 Δh zmena entalpií [kJ·kg⁻¹].

$$Q_{kon} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_3), \quad (3.4)$$

$$10,176 = \dot{m} \cdot (425,2 - 279,5),$$

$$10,176 = \dot{m} \cdot (145,7),$$

$$\dot{m} = \frac{10,176}{145,7},$$

$$\dot{m} = 0,069842 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} = 251,4312 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}.$$

Pomocou vypočítaného hmotnostného prietoku, ktorý je v celom obehu konštantný bol dopočítaný výkon výparníku podľa rovnice 3.5 a výkon kompresora podľa rovnice 3.6.

(3.5)

$$Q_{vyp} = \dot{m}_{ch} \cdot (h_1 - h_4),$$

$$Q_{vyp} = 0,069842 \cdot (395,7 - 279,5),$$

$$Q_{vyp} = 8,11 \text{ kW}.$$

$$Q_{kom} = \dot{m}_{ch} \cdot (h_2 - h_1), \quad (3.6)$$

$$Q_{kom} = 0,069842 \cdot (425,2 - 395,7),$$

$$Q_{kom} = 2,1 \text{ kW}.$$

Všeobecné rovnica pre objemový prietok chladiva je uvažovaná rovnica 3.7. Pomocou hmotnostného prietoku chladiva a merných objemov chladiva z tabuľky 2, bol dopočítaný objemový prietok chladiva v jednotlivých častiach TČ z rovníc 3.8, 3.9 a 3.10.

$$\dot{V} = \dot{m}_{ch} \cdot v, \quad (3.7)$$

kde \dot{V} objemový prietok [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$],

\dot{m}_{ch} hmotnostný prietok chladiva [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$],

v merný objem [$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$].

Tab. 2: Merné objemy chladiva R134a [31].

Merný objem [$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$]	
$v_1 (-5^\circ\text{C})_{\text{para}}$	0,0824
$v_2 (55^\circ\text{C})_{\text{para}}$	0,0131
$v_3 (55^\circ\text{C})_{\text{kvap}}$	0,00093

Objemový prietok na saní:

$$\dot{V}_1 = \dot{m}_{ch} \cdot v_1, \quad (3.8)$$

$$\dot{V}_1 = 251,4312 \cdot 0,0824,$$

$$\dot{V}_1 = 20,7173 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}.$$

Objemový prietok na výtlaku:

$$\dot{V}_2 = \dot{m}_{ch} \cdot v_2, \quad (3.9)$$

$$\dot{V}_2 = 251,4312 \cdot 0,0131,$$

$$\dot{V}_2 = 3,2936 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}.$$

Objemový prietok kvapaliny:

$$\dot{V}_3 = \dot{m}_{ch} \cdot v_3, \quad (3.10)$$

$$\dot{V}_3 = 251,4312 \cdot 0,00093,$$

$$\dot{V}_3 = 0,2338 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}.$$

Z rovnice 3.11 pre objemový prietok, bola vyjadrená plocha prierezu S a vypočítané plochy prierezov v jednotlivých častiach TČ. Hodnoty boli zvolené podľa obrázku 17 pre chladivo R134a. Pre rýchlosť chladiva na saní bola uvažovaná $w_1=9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, pre rýchlosť chladiva na výtlaku $w_2=8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a pre rýchlosť v kvapalinovom potrubí $w_3=0,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

$$\dot{V} = S \cdot w \cdot 3600, \quad (3.11)$$

kde \dot{V} objemový prietok kvapaliny [$\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$],
 S plocha prierezu [m^2],
 w rýchlosť chladiva [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$].

$$S = \frac{\dot{V}}{w \cdot 3600}. \quad (3.12)$$

Plocha sacieho potrubia vyšla $S_1=0,00071935 \text{ m}^2$, plocha výtláčného potrubia $S_2=0,0001076 \text{ m}^2$, plocha kvapalinového potrubia $S_3=0,0001298 \text{ m}^2$. Zo vzorca na výpočet plochy kruhového prierezu 3.13 boli vyjadrené a dopočítané priemery potrubí v jednotlivých častiach TČ podľa rovnice 3.14.

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (3.13)$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}}. \quad (3.14)$$

Chladivo	Sací potrubí	Výtlačné potrubí	Kapalinové potrubí	Potrubí kondenzátu
R 22	5,5 až 11	4,0 až 11	0,2 až 0,8	< 0,5
R 134a	5,0 až 11	3,0 až 14	0,2 až 0,8	< 0,5
R 404A	5,0 až 15	2,0 až 15	0,3 až 0,8	< 0,5
R 407C	5,0 až 11	4,0 až 11	0,3 až 0,8	< 0,5
R 410A	4,0 až 18	3,0 až 16	0,4 až 0,8	< 0,5
R 507	5,0 až 16	2,0 až 16	0,3 až 0,8	< 0,5
NH ₃	15 až 20	16 až 25	0,5 až 2	< 0,5

Obr. 17: Doporučené rýchlosti chladiva v potrubí [32].

Priemer sacieho potrubia vyšiel po zaokrúhlení $d_1=30$ mm, priemer výtlačného potrubia $d_2=12$ mm, priemer kvapalinového potrubia $d_3=13$ mm. Z daných hodnôt boli vypočítané plochy podľa rovnice 3.13. Hodnoty boli spätne dosadené do rovnice 3.11, z ktorej boli vypočítané reálne rýchlosti chladiva v jednotlivých častiach TČ. Tie vyšli nasledovne. Reálna rýchlosť chladiva na saní $w_{1R}=8,141$ m · s⁻¹, na výtlačku $w_{2R}=8,089$ m · s⁻¹ a rýchlosť v kvapalinovom potrubí $w_{3R}=0,489$ m · s⁻¹.

Zemný kolektor

TČ zem-voda odoberá nízkopotenciálové teplo pomocou zemného kolektora. Ten musí byť naplnený správnou kvapalinou, aby bol zaručený správny chod tepelného čerpadla. Vzhľadom na skutočnosť, že výparná teplota chladiva v systéme je -5 °C, nemôže byť ako náplň zemného kolektora zvolená voda. Mohlo by totiž dochádzať k namŕzaniu výparníka. Ako náplň bol preto zvolený roztok vody a propán-1,2-diolu alebo inak propylenglykolu. Pomer vody a propylenglykolu v zmesi bude 3:1. Merné tepelné kapacity vody a propylenglykolu, môžeme vidieť v tabuľke 3 [34]. Pre výpočet bolo potrebné vypočítať hmotnostné zlomky vody a propylenglykolu podľa rovníc 3.15 a 3.16, pomocou ktorých bola následne vypočítaná merná kapacita zmesi podľa rovnice 3.17

$$w_{H_2O} = \frac{M_{H_2O} \cdot x_{H_2O}}{M_{prop} \cdot x_{prop} + M_{H_2O} \cdot x_{H_2O}}, \quad (3.15)$$

kde: M_{H_2O} molárna hmotnosť vody [kg · mol⁻¹],
 x_{H_2O} objemový zlomok vody [-],
 M_{prop} molárna hmotnosť propylenglykolu [kg · mol⁻¹],
 x_{prop} objemový zlomok propylenglykolu [-],

$$w_{H_2O} = \frac{0,0180529 \cdot 0,75}{0,0760956 \cdot 0,25 + 0,0180529 \cdot 0,75}$$

$$w_{H_2O} = 0,41528.$$

$$w_{prop} = \frac{M_{prop} \cdot x_{prop}}{M_{prop} \cdot x_{prop} + M_{H_2O} \cdot x_{H_2O}}, \quad (3.16)$$

$$w_{prop} = \frac{0,0760956 \cdot 0,25}{0,0760956 \cdot 0,25 + 0,0180529 \cdot 0,75}$$

$$w_{prop} = 0,58471.$$

Tab. 3: Merné tepelné kapacity [33].

Merná tepelná kapacita [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$]	
c_p voda	4180
c_p propylenglykol	2890

Merná tepelná kapacita zmesi:

$$c_{p,25prop} = w_{prop} \cdot c_{p,prop} + w_{H_2O} \cdot c_{p,H_2O}, \quad (3.17)$$

kde:

- $c_{p,25prop}$ merná tepelná kapacita zmesi [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$],
- w_{prop} hmotnostný zlomok propylenglykolu [-],
- $c_{p,prop}$ merná tepelná kapacita propylenglykolu [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$],
- w_{H_2O} hmotnostný zlomok vody [-],
- c_{p,H_2O} merná tepelná kapacita vody [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$],

$$c_{p,25prop} = 0,58471 \cdot 2890 + 0,41528 \cdot 4180,$$

$$c_{p,25prop} = 3425,6823 J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}.$$

Prietok kvapaliny v kolektore:

$$Q_{vyp} = \dot{m}_{ch} \cdot c_{p,25prop} \cdot \Delta t, \quad (3.18)$$

$$\dot{m}_{ch,k} = \frac{Q_{vyp}}{c_{p,25prop} \cdot \Delta t}$$

$$\dot{m}_{ch,k} = \frac{8,1154}{3,4256823 \cdot (2,8 - (-1,7))}$$

$$\dot{m}_{ch,k} = 0,5264 kg \cdot s^{-1} = 1895,19 m^3 \cdot h^{-1}.$$

Pri výpočte plochy zemného kolektora bola uvažovaná vlhká, súdržná pôda pre ktorú je maximálna špecifická extrakčná kapacita $20\text{-}30 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ [1]. Plocha zemného kolektora bola dopočítaná podľa rovnice 3.19.

$$S_k = \frac{Q_{vyp}}{25}, \quad (3.19)$$

kde: Q_{vyp} výkon výparníku [kW],
 S_k plocha kolektora [m^2],
 25 maximálna špecifická extrakčná kapacita pre súdržnú vlhkú pôdu [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$],

$$S_k = \frac{8,1154 \cdot 1000}{25},$$

$$S_k = 324,6 \text{ m}^2.$$

Teoretický COP pre navrhnuté TČ:

$$COP_h = \frac{Q_k}{Q_{kom}}, \quad (3.20)$$

$$COP_h = \frac{10,176}{2,06},$$

$$COP_h = 4,94.$$

3.4 Kompresor

Na základe výpočtu objemového prietoku, ktorý vyšiel $20,717 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ bol vybraný kompresor ZH40KCE-TFD-455 od firmy Copeland s maximálnym objemovým prietokom $22,1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. ZH v značení symbolizuje typovú radu využívanú pri TČ pracujúcich s chladivami R407C a R134a. Hodnota 40 je menovitý chladiaci výkon v $\text{BUT} \cdot \text{h}^{-1}$ a K je koeficient, ktorým je menovitý výkon násobený. Vynásobením týchto dvoch hodnôt dostaneme menovitý výkon kompresora v kW. C je modelová rada a E popisuje druh oleja, s ktorým kompresor pracuje. V tomto prípade sa jedná o POE olej. TFD značí trojfázový motor s vnútornou tepelnou ochranou pre napätie siete 380-420 V a 50 Hz. Posledné trojčíslenie vyjadruje typ pripojenia kompresoru [34], [35].



Obr. 18: Kompresor Copeland ZH40KCE-TFD-455 [36].

3.5 Expanzný ventil

Hlavným faktorom ovplyvňujúcim výber expanzného ventilu je výkon vloženej trysky. Ten by mal byť čo najbližší tepelnému výkonu čerpadla. Tu nastáva problém, pretože v praxi sa výkon trysky často nezhoduje s tepelným výkonom tepelného čerpadla. Expanzný ventil je vhodné zvoliť tak, aby jeho chladiaci výkon odpovedal tepelnému výkonu čerpadla pri 50-80 % otvorení ventilu. Musíme ale dávať pozor na prípadné predimenzovanie alebo poddimenzovanie. Predimenzovanie by spôsobilo, že ventil by stratil citlivosť a po dosiahnutí nastaveného prehriatia by sa opakovane otváral a zatváral. V prípade poddimenzovania by stratil výkon. Na základe týchto skutočností bol vybraný pulzný elektronicky expanzný ventil EX2 od firmy ALCO. Chladiaci výkon je pri úplnom otvorení ventilu 13,3 kW [37].



Obr. 19: Pulzný EEV od firmy ALCO typu EX2 [37].

3.6 Výparník

Na základe výpočtu bol vybraný výmenník tepla SWEP F85x44 s výkonom 8,2 kW. Telo je z nerezovej ocele o hmotnosti 8,65 kg. Výmenník má 44 dosiek s teplosmennou plochou 2,52 m². Jedná sa o protiprúdne prevedenie s 22 kanálmi na prechod na strane zemného kolektora a 21 kanálmi na prechod na strane chladivového okruhu. Tlaková strata na strane chladivového okruhu je 7,5 kPa a na strane zemného kolektora je 12,8 kPa [38].

3.7 Kondenzátor

Ako kondenzátor bol vybraný SWEP B86x50 s výkonom 11,9 kW. Nerezové telo o hmotnosti 8,92 kg má rozmery 526x119x63 mm. Opäť sa jedná o protiprúdne prevedenie s 50 doskami a teplosmennou plochou o veľkosti 2,88 m². Na strane chladivového okruhu je 24 kanálov na prechod a na strane vykurovacieho okruhu je 25 kanálov na prechod. Tlaková strata na strane chladivového okruhu je 0,597 kPa a na strane vykurovacieho okruhu je 18,8 kPa. Pri výpočte výmenníka bol uvažovaný teplotný spád 4 °C. V prípade výpočtu s teplotným spádom 15/50 °C by boli podmienky poddimenzované a výmenníku tepla by značne klesol tepelný výkon, ktorý by bolo potrebné preniesť [38].



Obr. 20: Tepelný výmenník SWEP B86 [38].

4 Záver

Hlavným cieľom tejto záverečnej práce bolo vypracovať návrh hlavných komponentov tepelného čerpadla. Práca je rozdelená na dve časti a to teoretickú časť a praktickú časť.

Teoretická časť bola rozdelená na dve časti. V prvej časti bola spracovaná teória tepelných čerpadiel čo sa týka histórie, princípu fungovania, hlavných komponentov a chladiva. Ďalej boli spomenuté nariadenia a vyhlášky, ktoré presne definujú vykurovací faktor a sezónny vykurovací faktor, ale aj tie, ktoré sú spojené s výberom chladiva. V druhej časti boli podrobne popísané typy tepelných čerpadiel, ich výhody a nevýhody a nízkopotenciálne zdroje tepla, ktoré dané typy čerpadiel využívajú.

Praktická časť bola rozdelená na výpočtovú a návrhovú. Vo výpočtovej bol na základe zadaných parametrov prevedený výpočet pre tepelné čerpadlo zem-voda. Výkon kondenzátora vyšiel $Q_{kon}=10,1$ kW, výkon výparníku $Q_{výp}=8,1$ kW a výkon kompresora $Q_{kom}=2,1$ kW. Z merných objemov chladiva R134a, boli vypočítané objemové prietoky chladiva, na základe ktorých boli určené priemery potrubí v jednotlivých častiach TČ. Pre zemný kolektor bude potrebná plocha o rozlohe 325m^2 a kolektor bude naplnený zmesou propylenglykolu a vody, ktorá zabezpečí odolnosť kvapaliny voči zamrznutiu až do -12 °C. Výpočtová časť práce bola zakončená výpočtom vykurovacieho faktoru, ktorý vyšiel 4,94.

V návrhovej časti boli na základe vypočítaných objemových prietokov z predchádzajúcej časti vybrané hlavné komponenty tepelného čerpadla. Bol zvolený kompresor ZH40KCE-TFD-455 od firmy Copeland. Z ponuky expanzných ventilov vyhovoval výpočtu pulzný elektronický expanzný ventil ALCO EX2, ktorý má pri 75% otvorení dostatočný chladiaci výkon. Pri výbere tepelných výmenníkov som požiadal o pomoc pána Petra Javanského z firmy HENNLICH, s.r.o. Na základe jeho doporučení a poznámok bol pre výparník vybraný výmenník tepla SWEP F85x44 a pre kondenzátor SWEP B86x50.

5 Zoznam použitých zdrojov

- [1] ŽERAVÍK, Antonín. *Stavíme tepelné čerpadlo: [návržnosť i za jeden rok]*. Pře rov: Antonín Žeravík, 2003. ISBN 80-239-0275-X.
- [2] SRDEČNÝ, Karel a Jan TRUXA. *Tepelná čerpadla*. Brno: ERA, 2005. 21. sto letí. ISBN 80-7366-031-8.
- [3] TINTĚRA, Ladislav. *Tepelná čerpadla*. Praha: ARCH, 2003. ISBN 80-861-6561-2.
- [4] Vytapeni.tzb-info. *Tepelná čerpadla v letech 1981–2018 - druhy, vývoj, prodeje, výkony, tepelné faktory* [online]. [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelná-čerpadla/19284-tepelná-čerpadla-v-letech-1981-2018-druhy-vyvoj-prodeje-vykony-tepelne-faktory>
- [5] Zdrave-byvanie.com. *Ako funguje tepelné čerpadlo? Oplatí sa?* [online]. [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <http://www.zdrave-byvanie.com/ako-funguje-tepelne-čerpadlo-oplati-sa/>
- [6] *Tepelné čerpadlo* [online]. , 20 [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: https://www.sosstavebna.sk/wp-content/uploads/2017/11/zosit_čerpadlo-1.pdf
- [7] Industrialheatpumps.nl. *Coefficient of Performance* [online]. [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: https://industrialheatpumps.nl/en/how_it_works/cop_heat_pump/?fbclid=IwAR37H6lcxuuuzdBnTwKFNP7Nkpy50CgLac1KCcd6qzJs8M3NY05q_B_cgI0
- [8] Klimainfo.sk. *Čo je to SCOP* [online]. [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: https://www.klimainfo.sk/faq/co-je-scop-nejde-mi-o-definiciu-ktore-scop-je-sku-tocne-bezne-sa-scop-lisi?fbclid=IwAR2WQRZhpK2Opt5T6WA_YtBuc3DrgvBrQ7vKjm2AuN9VOqkg8XSUWQL4504
- [9] Wikiwand.com. *Vapor-compression refrigeration* [online]. [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: https://www.wikiwand.com/en/Vapor-compression_refrigeration
- [10] Docplayer.cz. *COPELAND SKROL KOMPRESORY* [online]. [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/8131375-Copeland-skrol-kompresory.html>
- [11] Wikipedia.org. *Kompresor (plyn)* [online]. [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: [https://sk.wikipedia.org/wiki/Kompresor_\(plyn\)](https://sk.wikipedia.org/wiki/Kompresor_(plyn))
- [12] Mastertherm.sk. *Elektronický expanzný ventil* [online]. [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: <http://www.mastertherm.sk/elektronicky-expanzny-ventil/>
- [13] Beijerref.sk. *TERMOSTATICKÝ EXPANZNÝ VENTIL HONEYWELL TMVX-00101* [online]. [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: http://beijerref.sk/honeywell?product_id=982
- [14] Ciat.sk. *Lamelové výmenníky* [online]. [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <http://www.ciat.sk/vymenniky/lamelove-vymenniky>
- [15] Gtbgroupp.cz. *O NÁS* [online]. [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://www.gtbgroupp.cz/cz/coils/o-nas.php>
- [16] Energie-portal.sk. *Je lepší doskový výmenník tepla alebo rúrkový ?* [online]. [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: <https://www.energie-portal.sk/Dokument/je-lepsi-doskovy-vymennik-tepla-alebo-rurkovy-104317.aspx>
- [17] Kchsz.sjf.stuba.sk. *VÝMENNÍKY TEPLA* [online]. [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: http://kchsz.sjf.stuba.sk/download/Procesne_strojnictvo/Kapitoly/PS2_02_Vymenniky%20tepla.pdf

- [18] Kostech.sk. [online]. [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <http://www.kostech.sk/data/article/image/00000236/vymennik.jpg>
- [19] Vytapeni.tzb-info.cz. *Chladiva používaná v tepelných čerpadlech* [online]. [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12647-chladiva-pouzivana-v-tepelnych-cerpadlech>
- [20] Westfalen.cz. *Příručka pro výběr chladiv* [online]. [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: http://www.westfalen.cz/fileadmin/user_uploads/Westfalen_Tschechien/Prospekte/IP5_CZ_verze_pro_Web.pdf
- [21] Szchkt.org. *UDRŽTE VAŠE PODNIKANIE PRIPRAVTE SA NA HORĽAVÉ CHLADIVÁ!* [online]. [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: <https://www.szchkt.org/a/docs/news/496/show>
- [22] Industrialheatpumps.nl. *Refrigerants* [online]. [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: https://industrialheatpumps.nl/en/how_it_works/refrigerants/
- [23] Vytapeni.tzb-info.cz. *Základní zásady návrhu plošného zemního kolektoru pro tepelné čerpadlo země/voda* [online]. [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/10178-zakladni-zasady-navrhu-plosneho-zemniho-kolektoru-pro-tepelne-cerpadlo-zeme-voda>
- [24] Viessmann.sk. *Typy tepelných čerpadiel* [online]. [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: <https://www.viessmann.sk/sk/informacie-pre/typy-tepelnych-cerpadiel.html>
- [25] Termowatt.cz. *Tepelná čerpadla* [online]. [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <http://www.termowatt.cz/tepelna-cerpadla-zakladni-informace.aspx>
- [26] Szchkt.org. *Čo treba vedieť o tepelných čerpadlách* [online]. [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: <https://szchkt.org/a/docs/news/232>
- [27] Ivt.sk. *Typy tepelných čerpadiel* [online]. [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: <https://www.ivt.sk/sk/typy-tepelnych-cerpadiel>
- [28] Trasko.cz. *Klimatizace, Hotel Tomeček* [online]. [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://www.trasko.cz/klimatizace-hotel-tomecek>
- [29] Elektrina.cz. *Distribuční sazba D25d* [online]. [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/slovník/distribucni-sazba-d25d>
- [30] Peacesoftware.de. *Calculation of thermodynamic state variables of Tetrafluoroethane - R134a in saturation state, boiling curve* [online]. [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: http://www.peacesoftware.de/einigewerte/r134a_e.html
- [31] Theengineeringmindset.com. *Thermodynamic properties of refrigerant R-134a* [online]. [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: <https://theengineeringmindset.com/thermodynamic-properties-refrigerant-r-134a/>
- [32] Stpcr.cz. *Potrubní systémy chladících zařízení* [online]. [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: http://www.stpcr.cz/?download=articles/vvi-2008-05_s262.pdf
- [33] Engineeringtoolbox.com. *Propylene Glycol based Heat-Transfer Fluids* [online]. [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: https://www.engineeringtoolbox.com/propylene-glycol-d_363.html?fbclid=IwAR16pbb4gmOJQa1xRmsrO9_iWs_y-ZwNW7Pt8P3-xNGv7NJJaSs5MScQ2hjg
- [34] Climate.emerson.com. *General Product Guide 2020* [online]. [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: <https://climate.emerson.com/documents/copeland-alco-controls-general-product-catalogue-2020-en-gb-5288442.pdf>
- [35] Schiessl.cz. *Systém značení kompresorů Copeland Scroll* [online]. [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: <https://www.schiessl.cz/soubor-copeland-scroll-system-znacen-6292-.pdf>

- [36] Alfaco.cz. *COPELAND ZH KCE PRO R134A* [online]. [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://www.alfaco.cz/copeland-zh-kce-r134a/>
- [37] Alfaco.cz. *Electronic Expansion Valves Series EX2* [online]. [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: <https://www.alfaco.cz/alco/katalog/ex2.pdf>
- [38] Swep.net. *Products* [online]. [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: <https://www.swep.net/products/>

6 Zoznam skratiek a symbolov

Skratka/symbol:	Názov:	Jednotka:
455	Pájkovacie pripojenie	[-]
COP	Vykurovací faktor	[-]
COP _h	Vykurovací faktor	[-]
COP _{h,c}	Vykurovací faktor podľa Carnota	[-]
C _{p,25prop}	Merná tepelná kapacita zmesi	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]
C _{p,H₂O}	Merná tepelná kapacita vody	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]
C _{p,prop}	Merná tepelná kapacita propylenglykolu	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]
ČIL	Český inšpektorát kúpeľov a žriediel	[-]
d	Priemer potrubia	[m]
eq. CO ₂	Ekvivalent CO ₂	[t]
EV	Expanzný ventil	[-]
EEV	Elektronický expanzný ventil	[-]
GWP	Global Warming Potential	[-]
h ₁	Entalpia plynného chladiva R134a pri -5°C	[kJ·kg ⁻¹]
h ₂	Entalpia plynného chladiva R134a pri 55°C	[kJ·kg ⁻¹]
h ₃	Entalpia kvapalného chladiva R134a pri 55°C	[kJ·kg ⁻¹]
h ₄	Entalpia kvapalného chladiva R134a pri 55°C	[kJ·kg ⁻¹]
LDPE	Polyetylen s nízkou hustotou	[-]
m _{ch}	Hmotnostný prietok	[kg·s ⁻¹]
m _{ch,k}	Hmotnostný prietok chladiva	[kg·s ⁻¹]
M _{H₂O}	Molárna hmotnosť vody	[kg·mol ⁻¹]
M _{prop}	Molárna hmotnosť propylenglykolu	[kg·mol ⁻¹]
PE	Polyetylen	[-]
Q	Výkon	[kW]
Q _{celk}	Celkový výkon	[kW]
Q _k	Potrebná energia na ohriatie vody	[kW]
Q _{kon}	Výkon kondenzátoru	[kW]
Q _{vyp}	Výkon výparníku	[kW]
S	Plocha prierezu potrubia	[m ²]
S _k	Plocha zemného kolektora	[m ²]
SCOP	Sezónny vykurovací faktor	[-]
t	Doba ohrevu vody	[s]
T _k	Teplota kondenzačná	[K]
T _v	Teplota vyparovacia	[K]
TČ	Tepelné čerpadlo	[-]
TEV	Termostatický expanzný ventil	[-]
TUV	Teplá úžitková voda	[-]
V	Objem vody	[m ³]
v	Merný objem vody	[m ³ ·kg ⁻¹]
v ₁	Merný objem plynného chladiva R134a pri -5°C	[m ³ ·kg ⁻¹]
v ₂	Merný objem plynného chladiva R134a pri 55°C	[m ³ ·kg ⁻¹]
v ₃	Merný objem kvapalného chladiva R134a pri 55°C	[m ³ ·kg ⁻¹]

\dot{V}	Objemový prietok kvapaliny	$[\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$
\dot{V}_1	Objemový prietok chladiva na saní	$[\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$
\dot{V}_2	Objemový prietok chladiva na výtlaku	$[\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$
\dot{V}_3	Objemový prietok kvapaliny	$[\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$
w	Rýchlosť chladiva	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$
w_1	Rýchlosť chladiva na saní	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$
w_2	Rýchlosť chladiva na výtlaku	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$
w_3	Rýchlosť chladiva v kvapalinovom potrubí	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$
w_{1R}	Reálna rýchlosť chladiva na saní	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$
w_{2R}	Reálna rýchlosť chladiva na výtlaku	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$
w_{3R}	Reálna rýchlosť chladiva v kvapalinovom potrubí	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$
$w_{\text{H}_2\text{O}}$	Hmotnostný zlomok vody	[-]
w_{prop}	Hmotnostný zlomok propylenglykolu	[-]
$X_{\text{H}_2\text{O}}$	Objemový zlomok vody	[-]
X_{prop}	Objemový zlomok propylenglykolu	[-]
ZNT	Zdroj nízkopotenciálneho tepla	[-]
Δh	Rozdiel entalpií	$[\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$
Δt	Rozdiel teplôt	$[\text{°C}]$