



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

TEPELNÉ ČERPADLO PRO RODINNÝ DŮM

HEAT PUMP FOR THE FAMILY HOUSE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vojtěch Svatoň

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Vojtěch Svatoň**
Studijní program: Základy strojního inženýrství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.**
Akademický rok: 2023/24

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.1111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Tepelné čerpadlo pro rodinný dům

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Tepelná čerpadla jsou při splnění určitých podmínek považována za obnovitelný zdroj energie a jsou tedy účinným nástrojem při dekarbonizaci sektoru vytápění a přípravy teplé vody v budovách.

Cíle bakalářské práce:

Cílem práce je provést rešerši základních typů tepelných čerpadel, popsat jejich funkci a hlavní komponenty. Na základě provedené rešerše navrhnout vhodné tepelné čerpadlo pro rodinný dům a provést ekonomické zhodnocení instalace tepelného čerpadla v rodinném domě.

Seznam doporučené literatury:

KARLÍK, Robert, 2009. Tepelné čerpadlo pro váš dům. Praha: Grada. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-2720-2.

ŽERAVÍK, Antonín, 2003. Stavíme tepelné čerpadlo: [návratnost i za jeden rok]. Přerov: Antonín Žeravík, 311 s. ISBN 80-239-0275-X.

KOLEKTIV AUTORŮ., 2012. Chladicí a klimatizační technika. Praha: Svaz chladicí a klimatizační techniky, 181 s.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce popisuje činnost a typy tepelných čerpadel. Dále se práce zabývá nízkopotencionálními zdroji tepla a jednotlivými komponenty tepelných čerpadel. Pomocí těchto informací je zvolen systém pro konkrétní rodinný dům situovaný v horském prostředí Jeseníků. Celá práce je zakončena technickoekonomickým zhodnocením v porovnání s vytápěním plynovým a elektrickým kotlem.

Klíčová slova

Tepelné čerpadlo, potřeba tepla, vytápění rodinného domu, nízkopotencionální zdroj tepla, komponenty tepelných čerpadel

ABSTRACT

This bachelor thesis describes the operation and types of heat pumps. Furthermore, the thesis deals with low-grade heat sources and individual components of heat pumps. Based on this information, a system is chosen for a specific family house situated in the mountainous environment of the Jeseníky Mountains. The whole thesis is concluded with a technical-economic evaluation comparing the proposed heating system to heating with a gas and electric boiler.

Key words

Heat pump, heat demand, heating of a family house, low-grade heat source, components of heat pumps

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SVATOŇ, Vojtěch. *Tepelné čerpadlo pro rodinný dům* [online]. Brno, 2024 [cit. 2024-01-23]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/158036>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Jiří Hejčík.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Tepelné čerpadlo pro rodinný dům vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, které jsou uvedeny v seznamu v příloze této práce.

.....

Datum

.....

Jméno a příjmení

PODĚKOVÁNÍ

Tímto mockrát děkuji Ing. Jiřímu Hejčíkovi Ph.D. za věcné připomínky, cenné rady a vstřícné jednání při zpracování této práce. Také bych rád poděkoval svojí přítelkyni a rodičům za trpělivost a psychickou podporu po celou dobu studia.

Obsah

Úvod.....	10
1 Seznámení s TČ	11
1.1 Princip tepelného čerpadla	11
1.2 Efektivita, topný faktor	12
1.3 Typy tepelných čerpadel	12
2 Nízkopotencionální zdroje tepla	14
2.1 Vzduch-voda.....	14
2.2 Vzduch-vzduch	15
2.3 Voda-voda	15
2.4 Země-voda.....	16
3 Hlavní komponenty kompresorového TČ	18
3.1 Kompresor	18
3.1.1 Pístový kompresor.....	18
3.1.2 Scroll kompresor (spirálový)	18
3.1.3 Rotační kompresor	19
3.2 Expanzní ventil	20
3.3 Tepelný výměník	21
3.4 Další komponenty	22
4 Návrh TČ	24
4.1 Popis objektu a vyhodnocení vhodného typu TČ	24
4.2 TČ vzduch-voda	24
4.3 TČ země voda s vertikálním kolektorem	25
5 Technicko-ekonomické vyhodnocení	26
5.1 TČ vzduch-voda	26
5.2 TČ země-voda	26
5.3 Elektřina	27
5.4 Plyn	27
5.5 Návratnost	27
6 Závěr.....	29
Seznam použitých zdrojů	30
Seznam použitých symbolů a zkratk.....	35
Seznam obrázků.....	36

Úvod

Nárůst ceny elektrické energie, nejisté dodávky fosilních paliv (např. zemní plyn, ropa), nebo hledisko ekologie. To všechno jsou důvody proč spousta domácností hledá jiné možnosti vytápění domu a ohřívání teplé užitkové vody (TV). Ke snížení nákladů spojených s vytápěním nebo také k dekarbonizaci systému je vhodné použít tepelné čerpadlo (TČ), které je schopno čerpat energii z okolních zdrojů. Jakýkoliv rodinný dům vytopí s pomocí mnohem menšího množství elektrické energie. Mezi výhody TČ tedy patří ekologický provoz, úspora financí při provozu a v neposlední řadě pohodlí, což může být velkým benefitem. Mezi nevýhody však patří poměrně vysoké náklady na pořízení a následnou montáž.

Cílem této závěrečné práce je seznámení s funkcí TČ, dále rešeršním způsobem popsat zdroje tepla a základní komponenty tepelného čerpadla. Ze zjištěných informací poté vhodně zvolit TČ pro konkrétní dvoupatrový rodinný dům na Jesenicko-Šumpersku. Konečný návrh následně ekonomicky porovnat s ostatními možnostmi vytápění.

Hlavní motivací pro napsání této bakalářské práce je současné TČ a jeho blížící se výměna. TČ slouží již 16 let bez výměny komponentů a je pro mne otázkou, jak se vyplatí nové a jaká bude návratnost bez dotace Nové zelené úsporám (NZÚ) oproti ostatním možnostem vytápění. Dotace NZÚ už jednou byla čerpána (pro současné TČ) a bohužel není možné ji znovu využít.



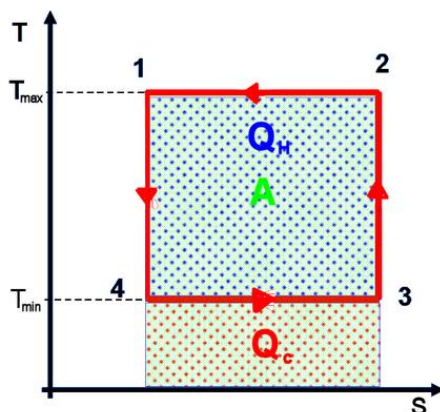
Obrázek 1: Rodinný dům, pro který je návrh určen

1 Seznámení s TČ

1.1 Princip tepelného čerpadla

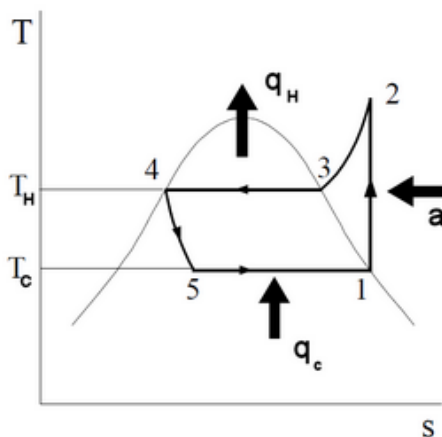
TČ je zařízení založené na využití nízkopotencionální energie, která se nachází všude kolem nás. energii nevyrábí, ale pouze přečerpává z nižší teploty do vyšší. TČ má také shodný princip funkce s chladničkou. Chladnička odebírá z vnitřního chlazeného prostoru teplo a předává jej o vyšší teplotě do místnosti, TČ odebírá teplo z venkovního, chladnějšího prostoru (toto prostředí zároveň ochlazuje) a předá ho s vyšší teplotou do topného systému [1]. Je také doporučeno, aby spotřebitel tepla (např. radiátory, podlahové topení, vytápění bazénů) byl spojen se spotřebitelem chladu, tedy aby se zařízení dalo přepínat mezi topnou a chladicí funkcí [2].

Toky energií můžeme zjednodušeně popsat pomocí T-s diagramu teoretického obráceného Carnotova cyklu. Q_C značí přivedené (nízkopotencionální) teplo do systému, které se poté ohřeje přes kompresor (3-2), Q_H naopak značí odváděné (vysokopotencionální) teplo do otopné soustavy objektu. Děj 2-1 znázorňuje kondenzátor a děj 4-3 výparník. Poslední děj 1-4 popisuje funkci škrťacího ventilu. Veličina A znázorňuje práci, kterou musíme systému dodat, aby mohl fungovat. T_{max} a T_{min} jsou teploty mezi kterými systém pracuje [3].



Obrázek 2: T-s diagram obráceného Carnotova cyklu [5]

Ve skutečnosti se však chování TČ znázorňuje Rankin-Clausiovým oběhem [3]. Význam veličin je na níže uvedeném grafu stejný, pouze jsou měrné, tedy vztažené na 1 kg látky. V tomto diagramu děj 1-2 znázorňuje kompresor, děj 2-4 kondenzátor, děj 4-5 škrťací ventil a děj 5-1 výparník [4]. Vše je blíže popsáno v následujících kapitolách.



Obrázek 3: T-s diagram obráceného Rankin-Clausiova cyklu [4]

1.2 Efektivita, topný faktor

Předním kritériem u TČ je efektivita, která se vyjadřuje topným faktorem (ε_T nebo také ε_H), většinou se značí podle anglické literatury COP (Coefficient of Performance) [3]. Topný faktor je poměr celkové výstupní energie (získané teplo) a energie pro pohon (elektrina pro pohon kompresoru) [1][3]. Jedná se o bezrozměrné číslo, jehož hodnota se pohybuje v mezích okolo (2,5 – 5,0). Výše hodnoty je ovlivněná hlavně druhem TČ a provozními podmínkami. Při mimořádně příznivých podmínkách by mohla být hodnota i vyšší než 5. V penězích tato hodnota znamená, že např. při topném faktoru 4 bude 1 kWh stát oproti 1 Kč jen 1/4 Kč [1].

$$\varepsilon_H = \frac{|q_H|}{|a_o|} = \frac{|q_H|}{|q_H| - q_C} \quad [5]$$

Je však nezbytné opět uvést, že topný faktor se mění podle podmínek. Teploty zdrojů energie (vzduch, země, voda) během roku nezůstávají stejné, a tak je důležité znát konkrétní teplotu vstupního a výstupního média, za kterých byl COP dosažen. Seriózní dodavatelé by měli vždy tento údaj uvádět [3]. U tepelných čerpadel vzduch-voda se většinou parametry uvádějí při podmínce A2/W35 (tedy 2 °C teplota vzduchu na vstupu a 35 °C teplota vody na výstupu z TČ do topného okruhu) nebo také A7/W35 [6][7].

1.3 Typy tepelných čerpadel

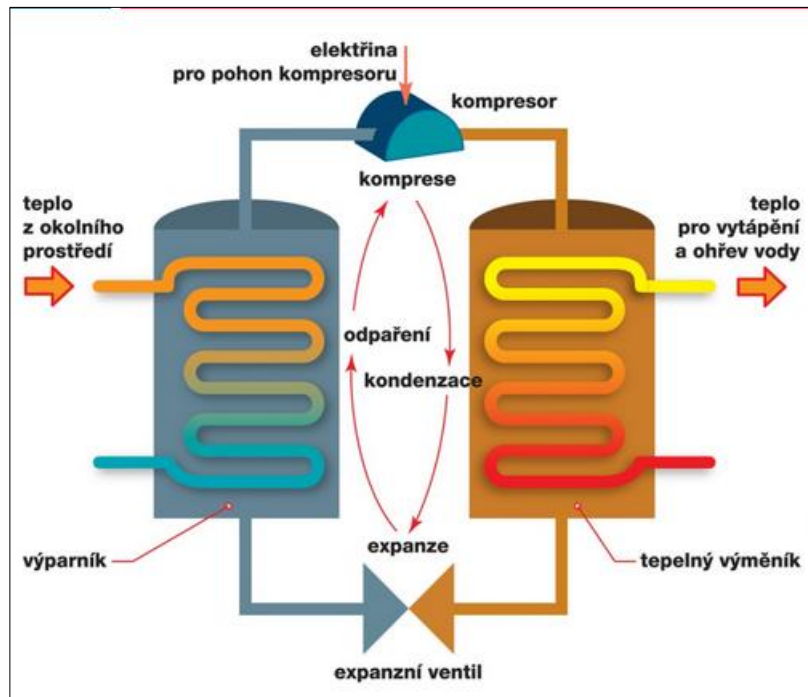
Hlavním rozdílem mezi typy TČ je způsob, jakým lze nízkopotencionální teplo přepravit do vysokopotencionálního tepla.

Absorpční

Absorpci můžeme vysvětlit jako fyzikální děj, při kterém dochází k rozpouštění plynné fáze v kapalině. Absorbentem je kapalina a absorbátem je plyn (např. amoniak). Tepelná energie se předává pomocí absorpce plynu do kapaliny, se kterou se mísí (často tedy amoniak-voda). Absorbentem také může být např. lithium bromid. [8][9]. Absorpční TČ není poháněno elektřinou, ale využívá jako zdroj např. plyn, páru, horkou vodu, spaliny nebo geotermální teplotu vodu. Může být také použito při využití odpadního tepla z chemických závodů nebo oceláren [9][10]. Mezi výhody absorpčních TČ rozhodně patří tichý a spolehlivý chod, naopak mezi nevýhody patří nižší efektivita. Absorpční okruh se tak spíše využívá u chladniček, klimatizačních jednotek, ale také u průmyslových tepelných čerpadel [3].

Kompresorové

Jedná se o nejvíce používaný typ TČ. Hlavním důvodem je nejspíš příchod kompresorů SCROLL na trh, protože jsou účinnější a mají vyšší životnost a spolehlivost než ty pístové [3]. Na vstupu do TČ je vždy výměník tepla, konkrétně výparník. Do výparníku se expanzním ventilem vstříkuje chladivo, které se následně odpařuje. Tím dokážeme zajistit to, že samotný výparník bude studenější než okolí, ze kterého odebíráme teplo. Chladivo v plynné formě z výparníku dále pokračuje do kompresoru, kde dojde k zahřátí. V kompresoru se také k energii, která je nesená plynem přidávají energie ztrátového tepla elektromotoru a také energie tepla z tření pohyblivých ploch. Stlačený plyn o vysoké teplotě na výstupu kompresoru pak vchází do druhého tepelného výměníku (kondenzátoru), kde zkapalní a předá své teplo vodě, která dále koloje v otopném systému. Již kapalně chladivo z kondenzátoru je potom vedeno do expanzního ventilu, aby mohl celý cyklus běžet stále dokola [1].



Obrázek 4: Schéma kompresorového TČ [4]

Fotovoltaika a TČ

V dnešní době je také velmi populárním řešením spojení fotovoltaické elektrárny a TČ a zvýšit tak nezávislost a ekologičnost obydlí. Pokud je systém dostatečně nadimenzován, mohou solární panely plně napájet TČ. Je však nutné počítat i s tzv. chladnými dny, kdy fotovoltaické panely stačit nebudou. Pro takové případy se nabízí více možností. Buď budeme systém TČ napájet ze sítě anebo zainvestujeme do akumulární baterie. Alternativním řešením je také použití slunečního záření pouze na ohřev vody [11]. V dnešní době se již také nabízí systémy, které dokáží tepelným čerpadlem topit i chladit, a zároveň zaručují komunikaci mezi TČ a fotovoltaickou elektrárnou, při čemž ovlivňují výkon kompresoru na základě aktuálního výkonu fotovoltaických panelů [12].

2 Nízkopotencionální zdroje tepla

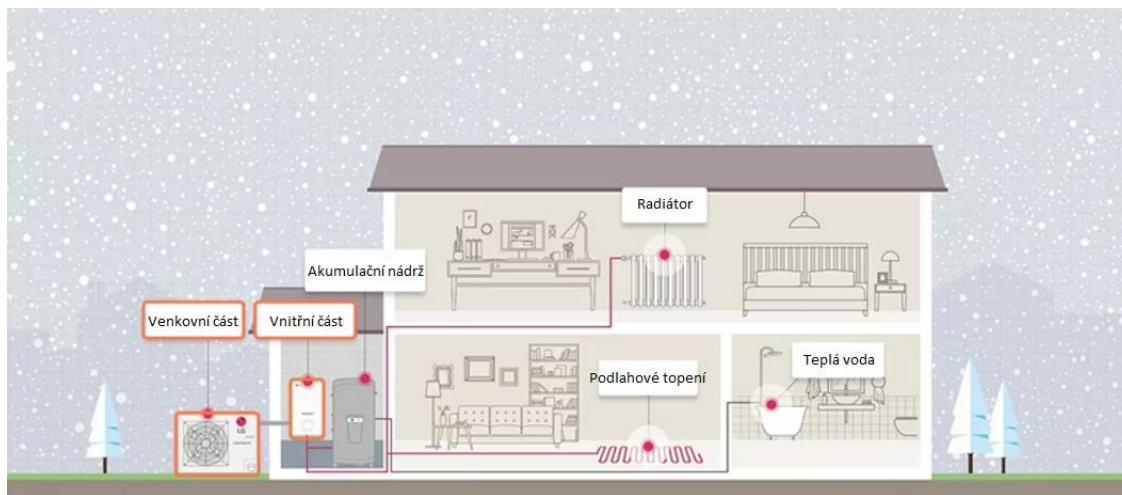
Další způsob dělení TČ je podle toho, jaký zdroj tepla používají.

2.1 Vzduch-voda

Jak už z názvu vyplývá tyto TČ používají jako zdroj tepla venkovní vzduch a vysokopotencionální teplo následně předávají do vody v otopné soustavě. Jedná se o jeden z nejpoužívanějších druhů TČ rodinných domů především kvůli jednoduchosti instalace, univerzálnosti a pořizovacím nákladům. Mají však jednu velkou nevýhodu a tou je klesající výkon spolu s klesající venkovní teplotou. Tento fakt je hlavním důvodem, proč jsou některá TČ navrhována v bivalentním provozu [6]. Bivalentní provoz znamená, že při dané venkovní teplotě (udává se okolo $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$) je dodávka tepla do topné soustavy nahrazena jiným zdrojem (většinou elektrický nebo plynový kotel). Provoz je možný zabezpečovat i oběma zdroji najednou [6][13]. Je také nutno uvést, že tento typ čerpadel je méně vhodný do podhorských a chladnějších oblastí s vyšším počtem dnů s tuhými mrazy [3]. TČ vzduch-voda dále můžeme rozdělit na dvě skupiny dle konstrukčního řešení:

Split

První možností konstrukčního řešení je dvoudílné provedení neboli split, kdy venkovní jednotka (preferuje se umístění na jižní straně domu) má za úkol nasávání vzduchu[6]. V některých případech je v ní umístěn jen výparník s expanzním ventilem a ventilátorem a někdy je v ní umístěn i kompresor. Umístění kompresoru převážně závisí na preferenci majitele objektu. Kompresor výrazně zvyšuje způsobovaný hluk a ten je menší, když je kompresor ve vnitřní jednotce – uzavřen v objektu. Vnitřní jednotka má na starost ohřev TUV a otopného systému. Dvoudílné provedení se zpravidla plní chladivem až po instalaci [6][1].



Obrázek 5: Dvoudílné provedení (split); přeloženo z [49]

Monoblok

Druhou možností je provedení kompaktní neboli monoblok. Jak už z názvu vyplývá všechny komponenty jsou umístěny v jedné jednotce, buď venku nebo vevnitř. Ačkoliv je instalace jednodušší a už od výrobce je TČ naplněno chladivem, má nevýhodu v potřebě zajištění nezamrznutí při výpadku elektrické energie (většinou se řeší nemrznoucí směsí). Další nevýhodou je také hluk. Systém dokáže být hlasitý a je potřeba počítat například s tím, že mít ho umístěn venku u okna do ložnice nebude vhodná volba [1][14].

U obou těchto řešení je nutné počítat se srážením vodní páry nebo tvorbě námrazy. Těchto problémů je nutno se zbavit buď pomocí chvilkové reverzace chodu TČ nebo vhodně umístěným topným tělesem. Obě možnosti znamenají ztrátu energie a pokles topného faktoru [1].

2.2 Vzduch-vzduch

Tento typ TČ pracuje velmi podobně jako výše uvedený vzduch-voda, avšak s jediným rozdílem. Vysokopotencionální teplo se nepředává vodě v topné soustavě, ale vzduchu v místnosti. Tato nástěnná TČ můžeme znát především z hotelových pokojů nebo malých bytů. Je nutné myslet na to, že se vnitřní jednotkou vytápí v první řadě místnost, ve které se jednotka nachází. Do dalších místností se teplo dostává obtížněji. Konstruktivní řešení vzduch-vzduch také velmi často bývají schopny reverzace chodu, tedy fungování jako klimatizace [6].



Obrázek 6: vnitřní jednotka TČ vzduch-vzduch od firmy Daikin; upraveno z [50]

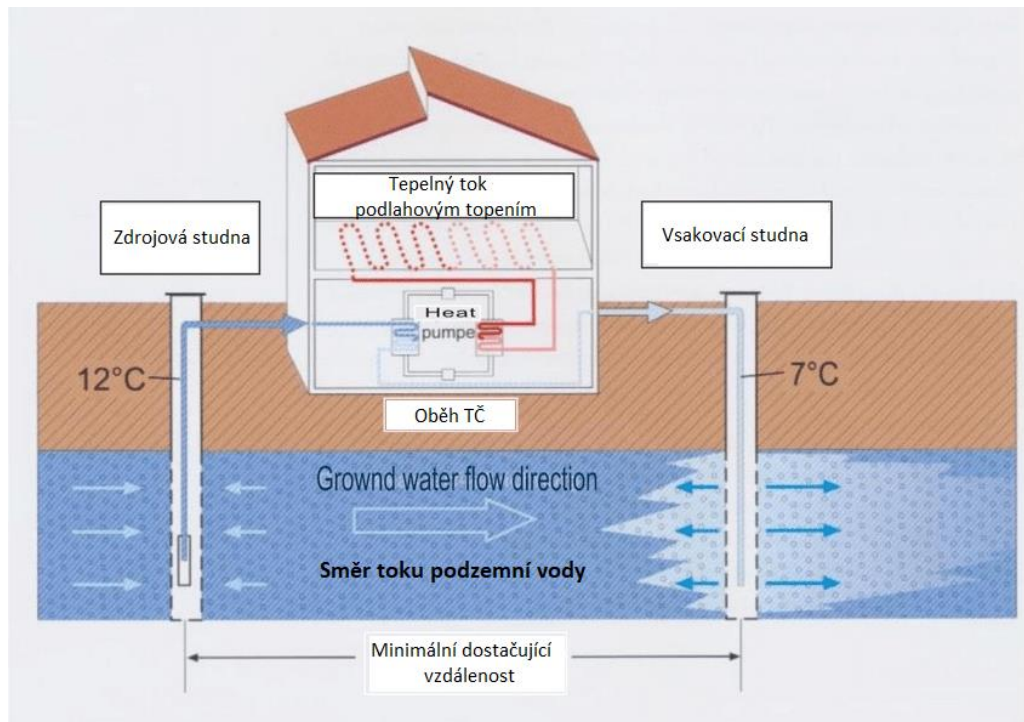
2.3 Voda-voda

Systém voda-voda řadíme mezi ty méně používané TČ (u rodinných domů). Jsou vhodné použít převážně u komerčních či státních nebo obecních objektů, kde je možné zaopatřit pravidelný dozor a údržbu. U rodinných domů se používají jen ve vhodných lokalitách, kde můžeme snadno najít dostatečné množství kvalitní podzemní vody anebo také v místě s přístupem k většímu množství povrchové vody (např. rybník na pozemku) [1][15]. Když je však vhodné prostředí pro provedení těchto systémů, nabízí TČ nejvyšší topné faktory [6].

Podzemní voda

TČ funguje tak, že přečerpáme spodní vodu nebo vodu ze studny do tepelného výměníku a pak ji ochlazenou vrátíme zpět do země [15]. Nádrže jsou dvě, z jedné vodu odebíráme (zdrojová) a do druhé (vsakovací) ji vracíme. Správně by měly být vzdáleny asi 10 m a vsakovací studna bude umístěna tak, aby tok spodní vody směřoval pryč od studny zdrojové. Voda se také nesmí ochladit příliš, protože nesmí dojít k zamrznutí. Zamrznutím se může poškodit výparník a mohlo by dojít k úniku chladiva [1][6]. Mezi výhody tedy patří vysoký topný faktor a také nižší nároky na prostor než vrty(země-voda). Naopak mezi nevýhody se řadí nutný častý servis a

menší životnost některých komponentů (především čerpadla, filtry). S hloubkou nádrže samozřejmě roste i čerpací práce nutná pro přemístění vody [15].



Obrázek 7: TČ voda-voda s využitím podzemní vody; přeloženo z [51]

Povrchová voda

Povrchová voda se pro rodinné domy používá velmi zřídka. Hlavním důvodem je její kolísající teplota, což je pro TČ nevhodné, navíc málokdo má u svého objektu možnost tohoto zdroje. Malé potoky využívat nelze, protože zamrzají, naopak vhodnější jsou rybníky, náhony a větší trvale tekoucí řečiště. Pro používání řečišť je samozřejmě nutné mít povolení správce povodí [3][1][6]. Kolektory se pokládají na dno. Instalace se dá provádět z plavidla, při vypuštění rybníku nebo také před vybudováním. Především se musí zajistit, aby hadice nevyplavaly. Kolektor (výměník) je naplněn nemrznoucí ekologicky nezávadnou směsí [16][1]. Mezi výhody můžeme zařadit nízkou finanční náročnost, dlouhodobou životnost, avšak nevýhodou je kolísavost teploty vody [6][16].

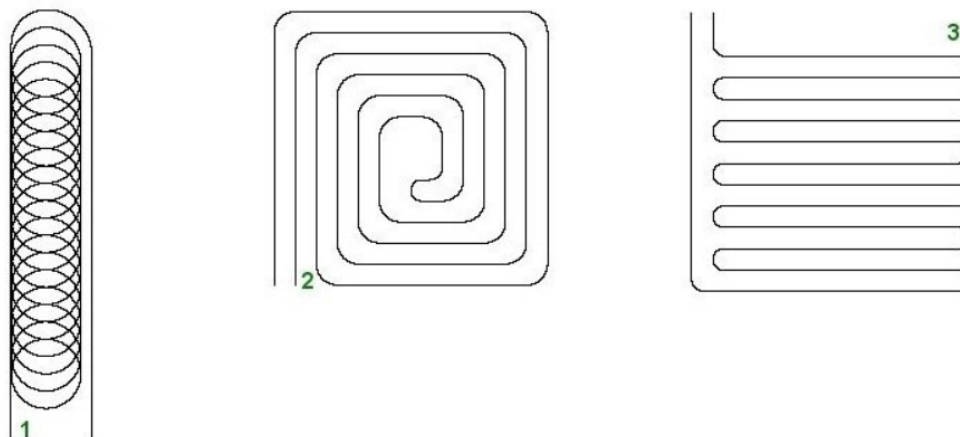
2.4 Země-voda

Hlavním důvodem využití země-voda je jeho stabilita, která se projevuje na topném faktoru při nepříznivých venkovních podmínkách a také v životnosti celého zařízení [6]. Tento typ bere ze země akumulovanou energii z letního období. Velmi výhodné je opět systém používat v létě jako klimatizaci, protože budeme v podstatě do půdy vracet teplo, které jsme ji v zimě vzali. [1]. Je také potřeba brát v úvahu složení půdy. Suché nezpevněné horniny nebo šterky, písky budou mít menší tepelnou vodivost než např. žula [3]. Pro funkci čerpání tepla opět použijeme kolektory, ty mohou být dvojího typu. Buď plošný povrchový kolektor (horizontální) nebo geotermální vrt (vertikální) [6].

Horizontální kolektor

Uvedený typ konstrukčního řešení je ten méně náročnější na finance, avšak více náročnější na prostor. Je potřeba mít na zahradě velkou plochu, na které nebude nic stát (aby mohlo na půdu svítit). Nad kolektor by se neměly ani sázet stromy, aby jej kořeny nepoškodily [3].

Kolektor je tvořen plastovými hadicemi napuštěnými nemrznoucí směsí a musí se pokládat do nezamrzné hloubky (1,2 – 1,5 m) [6][17]. Způsoby pokládání můžeme vidět na obrázku 7.



Obrázek 8: 1) spirálové uložení; 2) uložení do meandru; 3) klasické uložení [18]

Pokud to prostory dovolí, uložení do meandru je nejvýhodnější. Nejlépe rozloží energie, tzn. nejstudenější potrubí je ohříváno nejteplejším [18].

Vertikální kolektor

Je nejvyšší investicí u TC. Mezi jeho výhody jednoznačně patří vysoký topný faktor a nezávislost na změně počasí, avšak nevýhodou je náročná a drahá instalace. [6] Při investici však můžeme počítat s tím, že i životnost je delší, tedy zhruba 25 let [19]. Hloubky jednotlivých vrtů se liší podle potřeby domu a složení půdy (v ČR pro rodinný dům většinou 100–150 m [20]). Je také možnost udělat více kratších vrtů zhruba 10 m od sebe. Toto řešení se většinou volí, když geologické podmínky neumožní vrt dlouhý. Co se týče složení půdy, tak skála se provrtá snadno a drží, problémové jsou jílovité půdy, které se musí v průběhu vrtání zpevňovat [6].

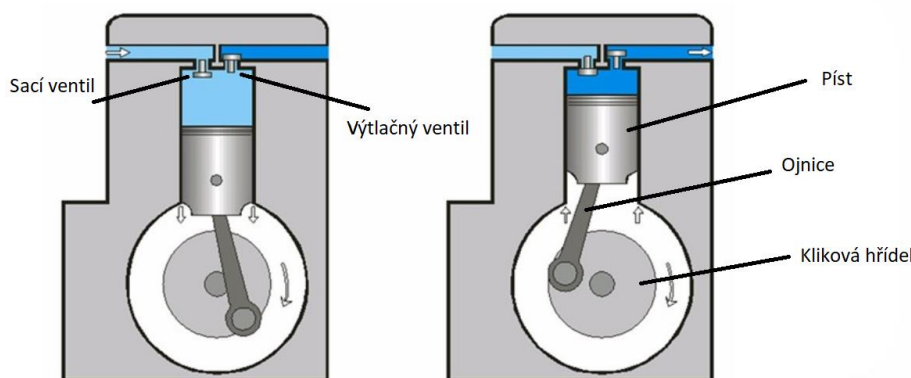
3 Hlavní komponenty kompresorového TČ

3.1 Kompresor

Dá se stručně charakterizovat jako zařízení sloužící ke stlačování plynů a par. Například stlačený vzduch nadále můžeme použít k pohonu strojů (vrtačka, pěchovačka, sbíječka). Abychom mohli látku stlačit, spotřebovává kompresor práci [21]. Kompresor v TČ má za úkol stlačovat chladivo v plynném stavu, čímž jej zahřeje, aby následně mohlo vést do kondenzátoru a předat teplo topné soustavě. Teplota par na vstupu může být -20 až $+10$ °C, teplota na výstupu 60 až 100 °C [1]. V tepelných čerpadlech se můžeme setkat s následujícími typy kompresorů.

3.1.1 Pístový kompresor

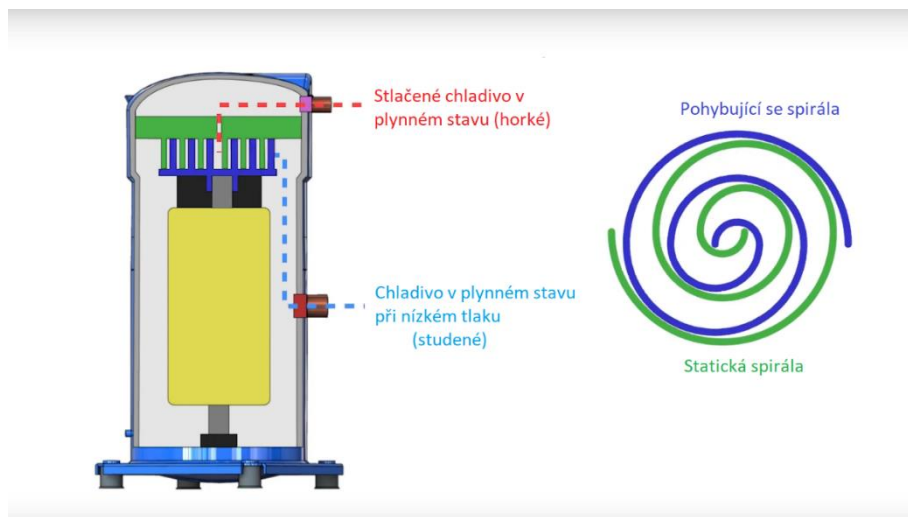
Jak můžeme vidět z následujícího obrázku, princip jednostupňového pístového kompresoru spočívá v otevření sacího ventilu a nasání látky do válce, když píst přechází z HÚ (horní úvratě) do DÚ (dolní úvratě). Proces nadále pokračuje stlačením látky a následným vytlačení ven z prostoru kompresoru přes výtlačný ventil. Oba tyto ventily jsou samočinné díky rozdílu tlaků potrubí a válce. Kompresory však nedokážeme vyrobit bez škodného (nevyužitého) prostoru. Škodný prostor se nachází mezi pístem v horní úvratě a deskou s ventily, čím větší tento prostor je, tím horší je účinnost kompresoru [22][21]. Pístové kompresory máme také dvou- a více-úvratňové. V porovnání s jinými kompresory jsou pístové sice levnější, avšak hlučnější, mívají menší topný faktor a životnost se udává na zhruba 15 let. Při jejich používání je tedy nutné počítat s výměnou minimálně jednou za život TČ [3].



Obrázek 9: Jednostupňový pístový kompresor; upraveno z [52]

3.1.2 Scroll kompresor (spirálový)

Kompresor typu Scroll vyčnívá od ostatních dlouhou životností (cca 20 let). Velkou výhodou je méně pohybujících se částí, díky tomu kompresor vydrží déle bez poruchy a je spolehlivější [3][23]. Konstrukce je vyrobena ze dvou spirál zapasovaných v sobě. Jedna spirála je statická a druhá se po ní odvaluje excentrickým pohybem. Chladivo se stlačuje a zahřívá směrem do středu, kde se nachází výtlačná trubka. Kompresory je také nezbytné provozovat v konstantních otáčkách, protože při nízkých se spirály špatně promazávají a dochází tak k brzkému opotřebení. Z tohoto důvodu je nevhodné volit předimenzované TČ v kombinaci se Scroll kompresory. TČ by pak kompresor méně vytěžovalo. U novějších modelů jsou tyto problémy pojištěny. [24][25].



Obrázek 10: Scroll kompresor; přeložený a popsany snímek obrazovky z [53]

Scroll kompresory se nadále upravovaly a vznikly následující další generace

EVI Scroll kompresor

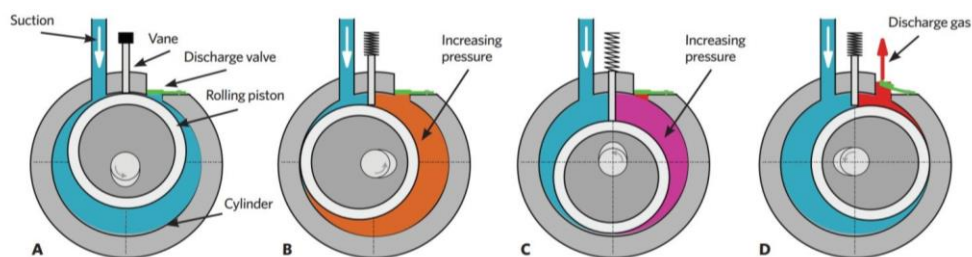
Podstatou systému EVI (Enhanced vapour injection) je přistříkávání chladiva odebraného za kondenzátorem do prostoru kompresoru. Tím se kompresor chladí a zvyšuje se jeho spolehlivost. Se spolehlivostí se však zvyšuje i příkon kompresoru (kvůli vyššímu množství chladiva), to ale většinou nevádí, protože vylepšená energetická účinnost je vyšší. Mínusem systému je větší mechanická zátěž [25][26].

Digital Scroll kompresor

Digitální verze dokáže přepínat mezi kompresí a chodem na prázdno. V chodu na prázdno se statická spirála lehce nadzvedne a jak bylo již zmíněno pohybuující se spirála se pohybuje na prázdno. Díky této schopnosti dokážeme přesně ovládat teploty i objem na výstupu kompresoru a v neposlední řadě zamezíme již zmíněnému vypínání a zapínání. Vše zmíněné je možné díky elektromagnetickému ventilu, který ovládá tlak v prostoru kompresoru a tím i nadzvednutí statické spirály. Novější generace dokáží ovlivňovat chod kompresoru regulací otáček motoru[27][26].

3.1.3 Rotační kompresor

Je podobný pístovému, co se týče použití, životnosti a dosahovaných topných faktorů. Funkce je zajištěna válcovým tělesem v prostoru kompresoru. Každé dvě otáčky tohoto tělesa stlačí kompresor určité množství chladiva [28][29]. Sání chladiva probíhá při převalení tělesa přes sací otvor a vytvoření podtlaku (A-B). Jakmile se chladivo dostane do prostoru kompresoru je postupně stlačováno otáčením válcového tělesa (B-C). V poslední fázi se již stlačené horké médium dostane až k výtlačnému ventilu, který se způsobeným tlakem otevře a vypustí chladivo ven (D) [28].



Obrázek 11: Jednotlivé fáze práce rotačního kompresoru [28]

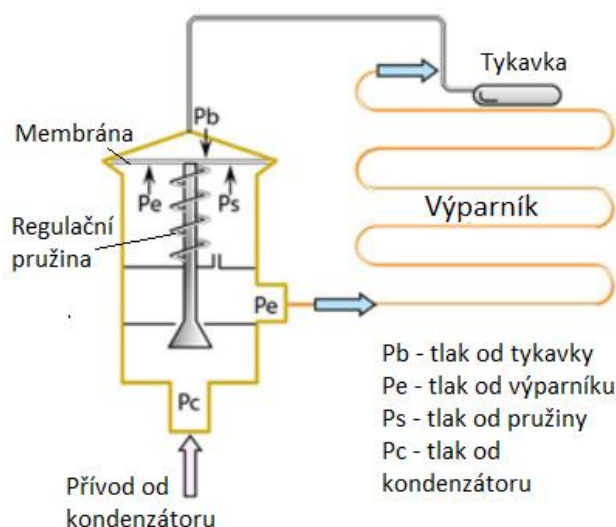
Další generací rotačních kompresorů je dvojitý rotační kompresor. Funkce je stejná, pouze komory s válcovými tělesy jsou dvě, a to na společné hřídeli. Získá se tím vyšší účinnost a také se sníží vibrace. Snížení vibrací má kladný vliv na životnost a celkovou hlučnost kompresoru. Výkon je možné regulovat pomocí změny otáček frekvenčním měničem. S touto generací rotačních kompresorů se můžeme setkat u tepelných čerpadel firem Toshiba nebo Daikin [25].

3.2 Expanzní ventil

Expanzní ventil má dvě hlavní úlohy. První úlohou je řízení, jaké množství chladiva bude vstříkáváno do výparníku. Plocha výparníku by měla být naplněna, aniž by se chladivo v kapalném stavu dostalo do kompresoru. Druhým úkolem je vyrovnávání tlaku, který způsobí kompresor. V kondenzátoru by měl být tlak vysoký a ve výparníku nízký. Tato součást přímo neovládá teploty chladiva, ale jen udržuje požadované přehřátí (superheat) změněním množství vstříkovaného chladiva [30][1].

Termostatický expanzní ventil (TEV)

Obecně často používaný expanzní ventil, kvůli jeho jednoduchosti a dostupnosti. Funguje pomocí teplotního snímače (tykavka, v anglické literatuře sensing bulb). Tykavka je pouzdro malého objemu naplněné chladivem a umístěno u výstupu z výparníku. V dnešní době se využívá většinou jiné chladivo než v oběhu TČ. Tyto různé druhy chladiva se nikdy nepotkají. Při zvyšování teploty se v tykavce zvyšuje tlak. Tento tlak působí na membránu z vrchní strany ve formě síly. Pod membránou se tvoří tlak, který roste s vypařovací teplotou a působí tak silou zesponu společně se silou pružiny ventilu. Působení těchto sil odpovídá přehřátí chladiva a ovládá zavírání/otevírání ventilu. Citlivost ventilu ovládáme pomocí regulační šroubu, který mění sílu, kterou vyvozuje pružina na spodní stranu membrány [1][31]. To je samozřejmě jen jedno z mnoha konstrukčních řešení TEV.



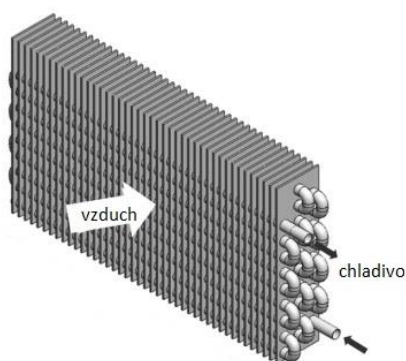
Obrázek 12: TEV ventil; přeloženo a popsáno z [54]

Elektronicky řízený expanzní ventil (EEV)

V dnešní době čím dál častěji používaný druh expanzního ventilu. Jeho výhodou oproti TEV je rychlejší a přesnější adaptace na aktuální potřebu proudění. V neposlední řadě je plusem také menší zatížení kompresoru a tím prodloužení jeho životnosti. Elektronika v EEV (např. stator krokového motoru) se také nachází mimo okruh s chladivem, takže se dá snadno vyměnit. Nevýhodou je větší cena [32][33]. EEV má sensory stejně jako TEV, akorát informace předává ovladači (driver), který podle potřeby ovládá cívky ve statoru. Statorem ovlivněný magnet na rotoru otočí rotorem a tedy otevře/zavře i samotný ventil [34][32].

3.3 Tepelný výměník

Je součástí, která dovoluje výměnu (přenos) tepla mezi médii, aniž by došlo k přímému kontaktu. Aby mohl výměník fungovat, musí mít média jiné teploty. Výměna probíhá vždy z vyšší teploty do nižší [1]. Počítáme s přenosem tepla v jednotlivých médiích (konvekce) a přenos tepla skrze stěnu, která média odděluje (kondukce). Mezi vstupní parametry pro navrhování tepelného výměníku se uvádí například: součinitel prostupu tepla (účinek kondukce + konvekce), plocha, na které dochází k výměně tepla, teploty tekutin, druh médií nebo také tlakové ztráty [1][35][36]. Existuje mnoho konstrukčních řešení, u TČ se setkáme zejména s těmi deskovými a trubkovými [1]. Tepelné výměníky se nachází v TČ hned dva.



Obrázek 13: Tube-fin kondenzátor; přeloženo a upraveno z [55]



Obrázek 14: Kondenzátor s ventilátorem pro TČ firmy Goodman [56]



Obrázek 15: Deskový kondenzátor nebo výparník firmy Swep [57]

Výparník

Prvním výměníkem tepla na vstupní straně do systému je výparník. Prochází ním chladivo o nízké teplotě, které přijímá teplo z okolí. Toto chladivo je v průběhu převáděno z kapalného stavu na páru [1][37]. Mezi možné poruchy výparníku patří zanesení nečistotami nebo také únik chladiva [37].

Kondenzátor

Druhý tepelný výměník se tentokrát nachází v sekundárním okruhu TČ. Naopak od výparníku, kondenzátorem prochází horké chladivo a předává teplo vodě v topné soustavě. Při předání tepla změni skupenství na kapalné (zkapalní). Pro funkci kondenzátoru se obvykle využívají deskové tepelné výměníky [38][1].

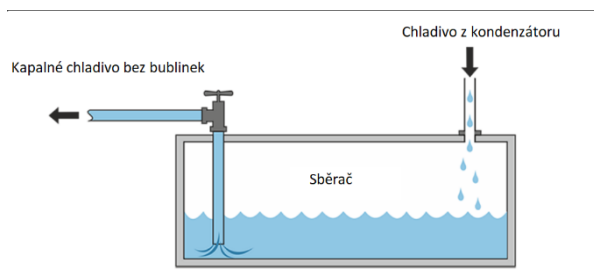
3.4 Další komponenty

Presostaty, Manometry a Kapiláry

Presostaty slouží k zabezpečení oběhu. Pokud dojde k jakémukoli poruše (např. oběhového čerpadla) presostat zaznamená vysoký tlak a vypne kompresor. Pokud má systém málo média (např. havárie a únik chladiva) presostat na sání kompresoru zaznamená nízký tlak a taktéž kompresor vypne [1][39]. Manometry jsou komponenty na měření tlaku. Setkáme se s nimi například na sacím nebo výtlačném potrubí kompresoru. Jednotkou na stupnici je nejčastěji bar nebo psi. Také se můžeme setkat s přídatnými teplotními stupnicemi [1][40]. Kapiláry jsou úzké trubky, které přivedou tlak k presostatu nebo manometru [1].

Sběrač kapalného chladiva (Liquid receiver)

Funguje jako tlakový zásobník k uskladnění kapalného chladiva v TČ a zároveň odlučuje z chladiva bubliny. Většinou je navrhován na výšku a jeho objem se u tepelných čerpadel pohybuje v rozmezí zhruba 1 až 5 litrů [1].



Obrázek 16: Sběrač kapalného chladiva; upraveno z [58]

Trojcestný ventil

Jedná se o ventil pro servisní účely. Když ventil ručně uzavřeme, můžeme uzavřít okruh nebo vyvést chladivo ven [1].

Čtyřcestný ventil

Čtyřcestný ventil najdeme v systémech s možností změny funkce oběhu z chlazení na ohřev a zpět. Můžeme se s ním však také setkat u TČ vzduch-voda, kde slouží k přepnutí režimu do zmíněné reverzace tedy režimu odtávání námrazy [1]. Elektromagneticky ovládaný ventil přepne výtlačný kompresor za sání a reverzuje směr proudění chladiva tedy i funkci celého oběhu [1][41].

Průhledítko

Je součástí pro sledování toku chladiva a ukazatel vlhkosti. Vlhkost poznáme změnou barvy v mezikruží okolo okénka. Díky průhledítku poznáme, že je s chladivem něco v nepořádku například: bublinky v chladivu nebo malý průtok [1].



Obrázek 17: Průhledítko [59]

Potrubí, fitinky, uchycení

Potrubí vedoucí chladivo je z bezkyslíkaté mědi a vydrží velmi vysoké tlaky. Měď může být tvrdá (pro rovné úseky) i měkká (snadno ohýbatelná dle potřeby) [1]. Trubky mohou být samozřejmě i zaizolované. Pro další potřeby instalace existuje celá řada fitinek (kolen, oblouků, redukci nebo T kusů). Když můžeme potrubí ohnout, měli bychom dát přednost ohybu před fitinkou [42][1]. Potrubí můžeme stabilizovat různými druhy uchycení například objímky s gumovou vložkou (tlumení vibrací) nebo hadicové spony [1].

Filtrdehydrátor

Slouží jako filtr oběhu, tedy ke zbavení se vlhkosti a nečistot v chladivu. Většinou je jednosměrný a je daný směr průtoku chladiva. V TČ vzduch-voda, kde potřebujeme možnost reverzace je potřebné mít obousměrný. U novějších modelů obousměrný filtrdehydrátor nezbytný není, vše je však jinak řešeno elektronikou i s ohledem na liquid receiver. [1].

4 Návrh TČ

4.1 Popis objektu a vyhodnocení vhodného typu TČ

Objekt, tedy rodinný dům, se nachází v Loučné nad Desnou v podhorské oblasti Jeseníků. Dům je dvoupatrový a celková zastavěná plocha činí 113,2 m². Daná hodnota byla vyhledána a převzata z projektové dokumentace. Stejně tak budou z projektu použity tepelné ztráty ($Q_{\text{celk}} = 7661 \text{ W}$) spolu s roční potřebou energie na vytápění a ohřev TV ($E_{\text{rok}} = 16,29 \text{ MWh/rok}$). Objekt byl postaven roku 2007 a dosavadně byl vytápěn TČ vzduch-voda WPL 10 IK od firmy Stiebel Eltron. Je možné využít stávající podlahové topení, které má velkou výhodu v potřebě menší teploty vody.

V první řadě vzhledem ke spolehlivosti, dostupnosti a také ceně zvolím kompresorové TČ. Kompresorová TČ jsou v široké nabídce většiny firem na trhu, tudíž bude snadné sehnat to vhodné. Nyní se přesuneme k volbě vhodného nízkopotencionálního zdroje tepla. Jako první můžeme úplně vyloučit vodní zdroj, jelikož na pozemku objektu není ani vodní plocha, ani dostatečné množství podzemní vody. Podzemní voda se nachází pouze na vedlejším pozemku a od souseda souhlas dán nebyl. Jako další můžeme vyřadit tepelná čerpadla vzduch-vzduch, protože topná jednotka by musela být v každém pokoji a nevyužili bychom již zmíněné podlahové topení. Jako poslední vyřadíme TČ země-voda s povrchovými kolektory, jelikož na pozemku není dostatek vhodného místa (dle internetové kalkulačky by bylo potřeba zhruba 350 m² [43]). Vhodným místem je myšleno prostor, kde se nenachází stromy ani přístřešek. Na zbytku pozemku je bohužel umístěna stará kanalizace, a to by znamenalo značné komplikace při výkopových pracích. Zůstává nám tedy TČ země-voda s vertikálním kolektorem (vrtem) a jedno z nejpoužívanějších TČ u rodinných domů vzduch-voda. Pro náš dům se pokusím zvolit oba systémy a následně ekonomické zhodnocení s návratností ukáže, co bude vhodnější.

4.2 TČ vzduch-voda

První volbou je tedy TČ se vzduchem za zdroj. Podle výše uvedeného parametru tepelných ztrát jsem vybíral samotné TČ v katalozích firem jako Daikin, Viessmann a IVT. Firmu Stiebel Eltron jsem hned ze začátku vyloučil, jelikož od nich máme nyní TČ a je velký problém zařídit jeho servis v našem okrese. Jejich technické parametry mě také nikterak neoslovily. Z katalogů mě spíše zaujala firma Viessmann, která používá u svých vzduchových čerpadel Vitocal 250A chladivo R290 (propan), který je mimo svoji šetrnost k životnímu prostředí vhodný do chladnějších oblastí [44]. Chladnější podnebí je právě v podhůří Jeseníků náš největší problém. I přes toto slibné chladivo měla nakonec při volbě převahu firma IVT, která ač za vyšší cenu nabízí vyšší topné faktory, a to i při nižších teplotách. Dle tabulky parametrů firmy IVT volím TČ AIR X 90, protože má vyšší topné faktory při nižších teplotách než slabší model AIR X 70 a také topný výkon 5,9 kW při -7 °C by nemusel stačit. Model AIR X 90 má sezónní topný faktor (SCOP) 4,93. Spolu s venkovní jednotkou také volím vnitřní jednotku Air Modul E9 s vestavěným nerezovým zásobníkem TV (185 l) a dotopovým/záložním zdrojem tepla 9 kW elektrokotlem.



Obrázek 18: AIR Modul E9 (vlevo) a IVT AIR X 90 (vpravo) [60]

4.3 TČ země voda s vertikálním kolektorem

Druhou volbou je TČ s vrtem. Pro odhadový výpočet hloubky vrtu jsem použil internetovou kalkulačku [43]. Pomocí vstupních dat jako například: tepelné ztráty objektu, typ objektu (byt, dům), jeho tvar nebo také nadmořská výška, parametry podloží a apod. mě kalkulačka navedla na nutnost jednoho vrtu o hloubce 130 m. Již výše uvedená firma IVT mi taktéž poslala prospekty k jejich zemním tepelným čerpadlům. Stejným způsobem tedy zvolím pro náš dům TČ IVT GEO 608C taktéž s vestavěným nerezovým zásobníkem TV (180 l) a elektrokotlem 9 kW. Firma IVT navíc nabízí zajištění výkopových prací.



Obrázek 19: IVT GEO 608C; screenshot z [58]

5 Technicko-ekonomické vyhodnocení

V této kapitole můžeme vidět roční náklady na vytápění a ohřev TV jednotlivými zdroji, ale samozřejmě také investice s nimi spojené. Pro výpočet ročních nákladů použiji již výše zmiňovanou hodnotu z projektové dokumentace ($E_{rok} = 16,29$ MWh/rok). V této práci nebudu uvažovat dřevo/uhlí jako možný zdroj tepla, jelikož majitelé domu nechtějí práci a starosti navíc s tímto zdrojem. Je tedy nárokem, aby systém pracoval samostatně bez vnější pomoci.

5.1 TČ vzduch-voda

Investice

Pro zjištění cenové nabídky jsem vyplnil krátký dotazník na stránkách IVT [45]. Firma mi následně na email poslala kompletní cenovou nabídku. Cena venkovní a vnitřní jednotky je 293 000 Kč a poté samotná doprava, montáž, připojovací materiál, uvedení do provozu a revize 70 900 Kč. Výsledná cena po přičtení DPH a odečtení slevové akce, pokud dojde k vyskladnění TČ do května činí 335 866 Kč. Jak už jsem zmínil v úvodu, dotace od NZÚ už není možno čerpat podruhé, tudíž je cena konečná.

Náklady na roční provoz

Náklady na roční provoz budu počítat podělením roční potřeby energie na vytápění a ohřev vody sezónním topným faktorem a následným vynásobením cenou za 1 MWh elektřiny. V našem případě je distributorem společnost ČEZ a za 1 MWh elektřiny zaplatíme 4 500 Kč. Celkové roční náklady na provoz tedy činí:

$$\text{Roční provoz}_{\text{vzduch-voda}} = \frac{E_{rok}}{SCOP} \cdot \text{Cena za 1 MWh} = \frac{16,29}{4,93} \cdot 4500 = 14.869 \text{ Kč}$$

5.2 TČ země-voda

Investice

Při uvažování návratnosti systému země-voda hlavním faktorem je větší investice spojená s výkopovými pracemi (v našem případě u vrtu). Pro odhad těchto nákladů jsem požádal již výše zmíněnou firmu IVT. Ta mi stejným způsobem jako u systému vzduch-voda poslala cenovou nabídku. Cena za vrtné práce (včetně instalace, odvozu vrtného odpadu, připojení k TČ a revize) se vyšplhá na 338.000 Kč. Cena samotného TČ a jeho montáž 307.900 Kč. Celková cena po přičtení DPH a odečtení stejné slevy činí 680.056 Kč. Dotace není možná realizovat ani u tohoto systému.

Náklady na roční provoz

K výpočtu budu přistupovat stejně jako u TČ vzduch-voda. Budu dělit sezónním topným faktorem pro 35 °C, jelikož máme k dispozici podlahové topení tato hodnota bude naprosto dostatečující. SCOP pro 35 °C je tedy 5,38.

$$\text{Roční provoz}_{\text{země-voda}} = \frac{E_{rok}}{SCOP} \cdot \text{Cena za 1 MWh} = \frac{16,29}{5,38} \cdot 4500 = 13\,625 \text{ Kč}$$

5.3 Elektřina

Investice

Za náklady na pořízení elektrokotle můžeme uvažovat: za elektrokotel 20 000 Kč + zásobník TV 10 000 Kč + montáž a revize 12 000 Kč [46]. Celkem tedy 42 000 Kč.

Náklady na roční provoz

Výpočet samotných nákladů na roční provoz je v tomto případě velice jednoduchý, stačí vynásobit roční potřebu energie na vytápění a ohřev vody cenou 1 MWh elektřiny. Při tomto výpočtu nebudu uvažovat účinnost elektrokotle, protože se účinnosti pohybují nad hranicí 99 % [47]. Celkové roční náklady na provoz tedy činí:

$$\text{Roční provoz}_{\text{Elektřina}} = 16,29 \cdot 4500 = 73\,305 \text{ Kč}$$

5.4 Plyn

Investice

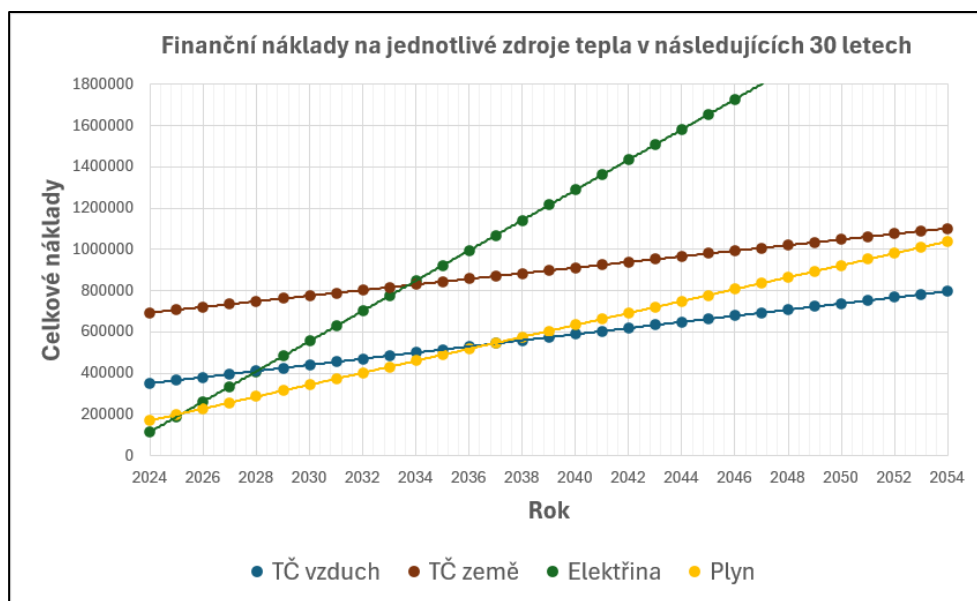
Cena pořízení plynového kotle činí zhruba 40 000 Kč + zásobník TV 15 000 Kč + montáž a revize 16 000 Kč. Také můžeme počítat s náklady na připojení plynu zhruba 40 000 Kč + 30 000 Kč za odkouření kotle [46]. Celková výše je 141 000 Kč.

Náklady na roční provoz

Vypočet nákladů učiním stejně jako u elektřiny, akorát s cenou plynu za 1 MWh a s účinností plynového kotle. Cena za 1 MWh v naší oblasti činí zhruba 1 600 Kč. Pro tento výpočtový model budu počítat se standardní účinností běžného plynového kotle 90 %. [48]. Celkové roční náklady na provoz tedy činí:

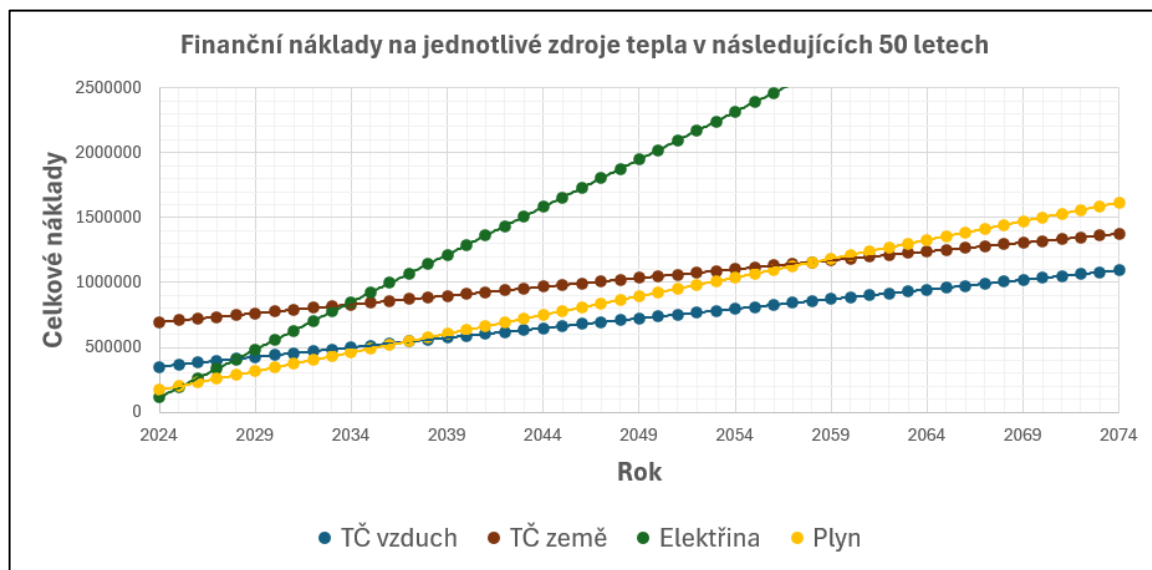
$$\text{Roční provoz}_{\text{Plyn}} = \frac{16,29}{0,9} \cdot 1600 = 28\,960 \text{ Kč}$$

5.5 Návratnost



Obrázek 20: Graf nákladů na vytápění v horizontu 30 let

Návratnost je hlavním faktorem při rozhodování o pořízení TČ. Když se nám investované peníze nevrátí dřív, než se stárím tepelné čerpadlo poškodí není (mimo ekologii) důvod do něj investovat. Jak vidíme v grafu investice do TČ vzduch-voda by se nám oproti elektřině vrátila již za 4 roky a oproti plynu za 13 let. Investice se stále určitě vyplatí (firma IVT mi na dotaz uvedla výdrž 20 až 25 let). Bohužel se však vyplatí o něco méně než u klasických novostaveb nebo rekonstrukcí, kde by šla čerpat dotace NZÚ. Pro informaci s dotací (zhruba 100 000 Kč) by se investice vrátila oproti plynu za 6 let. Už z prvního grafu můžeme vidět, že investice do TČ země-voda oproti TČ vzduch-voda je dlouhodobá. Náklady jsou vysoké a budou se vracet velmi pomalu.



Obrázek 21: Graf nákladů na vytápění v horizontu 50 let

Na druhém grafu můžeme lépe vidět návratnost TČ se zemním zdrojem. Tedy oproti elektřině se nám investice vrátí za 10 let a oproti plynu za 34 let. Investice do tohoto systému je bez dotací NZÚ pro rodinný dům s nízkými tepelnými ztrátami opravdu nadlouho. Je však nutné si uvědomit, že vytvořený hlubinný vrt vydrží dlouho a přetrvává i životnost dvou TČ.

6 Závěr

Bakalářská práce se zabývá návrhem TČ pro konkrétní rodinný dům. V první části práce je popsána funkce tepelného čerpadla a jeho typy. Poté je práce zaměřena na nízkopotencionální zdroje tepla. Především jejich výhody, nevýhody a náročnosti na instalaci s údržbou. Další kapitola se zabývá problematikou jednotlivých komponentů a jejich verzemi.

Po této rešeršní části práce následně popisuje objekt, pro který volíme tepelné čerpadlo. Spolu s popisem objektu je zvolen vhodný zdroj tepla. Díky hodnotám převzatých z projektové dokumentace rodinného domu následuje volba konkrétních dvou systémů. Následující kapitola se zabývá ekonomikou jednotlivých systémů. V této kapitole jsou popsány veškeré investice spojené s jednotlivými zdroji a jejich roční provoz. Pro výpočet nákladů na roční provoz obou tepelných čerpadel je použita metoda podělení celkové roční potřeby energie na vytápění a ohřev TV sezónním topným faktorem pro dané tepelné čerpadlo. Kapitulu zakončuje graf návratnosti s popisem.

Jak již bylo zmíněno u grafů v předchozí kapitole, investice do systému země-voda se bude vracet dlouho a navíc je skoro dvakrát vyšší než pro systém vzduch-voda. Pro nezáměr majitelů o tak vysokou investici nebude systém s vrtem použit. Jak už je z obou grafů patrné nejvíce se vyplatí investice do TČ vzduch-voda. Investovat do tohoto systému je vzhledem k dosavadnímu zdroji tepla mnohem jednodušší než opatření připojení na plyn. Plynovod také není k dispozici na pozemku, tudíž by museli být vykonány výkopové práce. Podle potřeb majitelů tedy bylo zvoleno tepelné čerpadlo vzduch-voda IVT Air X 90 s Air Modulem E9 s celkovou výší investice 335 866 Kč. Investice se vrátí oproti elektřině za 4 roky a oproti plynu za 13 let.

Seznam použitých zdrojů

- [1] ŽERAVÍK, Antonín. *Stavíme tepelné čerpadlo: [návratnost i za jeden rok]*. Přerov: Antonín Žeravík, 2003, 311 s. : il. ISBN 80-239-0275-X.
- [2] SARBU, Ioan a Calin SEBARCHIEVICI. General review of ground-source heat pump systems for heating and cooling of buildings. *Energy and buildings* [online]. Oxford: Elsevier B.V, 2014, **70**(70), 441-454 [cit. 2024-01-31]. ISSN 0378-7788. Dostupné z: doi:10.1016/j.enbuild.2013.11.068
- [3] SRDEČNÝ, Karel a Jan TRUXA. *Tepelná čerpadla*. Brno: ERA, 2005, vi, 68 s. : il. ISBN 80-7366-031-8.
- [4] ŠTĚTINA, Josef. *TT-JS2021-22Z-19-Chlazení* [online]. In: . [cit. 2024-01-31]. Dostupné z: https://docs.google.com/presentation/d/184pOpoq_7wYpJmCqXtPT6oB0l-1hb3AwD9sPEYCABo/edit#slide=id.p13
- [5] ŠTĚTINA, Josef. *TT-JS2021-22Z-09-Cykly* [online]. In: . [cit. 2024-01-31]. Dostupné z: <https://docs.google.com/presentation/d/1mYWWtqBP4Ft7gDHyRBdrFWjYNNPQlj8CNaVWgipKv2I/edit#slide=id.p9>
- [6] KARLÍK, Robert. *Tepelné čerpadlo pro váš dům*. Praha: Grada, 2009, 109 s. : il. ; 21 cm. ISBN 978-80-247-2720-2.
- [7] ABECEDA TEPELNÝCH ČERPADEL. *Topný faktor COP - účinnost tepelného čerpadla* [online]. 1 [cit. 2024-02-01]. Dostupné z: <https://www.abeceda-cerpadel.cz/cz/topny-faktor-cop-ucinnost-tepelneho-cerpadla>
- [8] KÁZMÉROVÁ, Kristína. *Sorpční chladicí zařízení a tepelná čerpadla* [online]. 2011, 8.8.2011, 1 [cit. 2024-02-01]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/7712-sorpcni-chladici-zarizeni>
- [9] SOKRA, S.R.O. *Absorpční tepelná čerpadla* [online]. 1 [cit. 2024-02-01]. Dostupné z: <https://www.sokra.cz/absorpcni-tepelna-cerpadla-1>
- [10] VINŠOVÁ, Nina. Absorpční tepelná čerpadla. *České nápady* [online]. 2023, 22.12.2023, 1 [cit. 2024-02-01]. Dostupné z: <https://www.ceskenapady.cz/absorpcni-tepelna-cerpadla-cnp-1038-6935-0q-glykemie.html>
- [11] ENERGOSOLAR. Je možné použít solární panely k napájení tepelného čerpadla? *EnergSolar* [online]. 2023, 7.3.2023, 1 [cit. 2024-02-01]. Dostupné z: <https://www.energolar.cz/je-mozne-pouzit-solarni-panely-k-napajeni-tepelneho-cerpadla>
- [12] S-POWER. S-POWER. Jak spojení fotovoltaiky a tepelného čerpadla funguje? *S-power* [online]. [cit. 2024-02-01]. Dostupné z: <https://www.s-power.cz/kombinace-fotovoltaiky-a-tepelneho-cerpadla/>
- [13] STIEBEL ELTRON SPOL. S R. O. Co je bivalentně alternativní způsob provozu. In: *Stiebel Eltron* [online]. [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://www.stiebel-eltron.cz/cs/sluzby/slovník/bivalentne-alternativni-zpusob-provozu.html>
- [14] HEATPUMPHOUSE. Pros and Cons of a Monobloc Heat Pump. *HEAT-PUMPHOUSE* [online]. [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://heatpumphouse.com/guides/what-is-a-monobloc-heat-pump/>
- [15] IVT TEPELNÁ ČERPADLA. Typy tepelných čerpadel: voda/voda. In: *IVT Tepelná čerpadla* [online]. [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-voda-voda-studny>

- [16] IVT TEPELNÁ ČERPADLA. Typy tepelných čerpadel: země/voda (vodní plocha). In: *IVT Tepelná čerpadla* [online]. [cit. 2024-02-05]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-zeme-voda-vodni-plocha>
- [17] IVT TEPELNÁ ČERPADLA. Typy tepelných čerpadel: země/voda - plocha. In: *IVT Tepelná čerpadla* [online]. [cit. 2024-02-07]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-zeme-voda-plocha>
- [18] GEROTOP. Zemní plošný kolektor a jeho instalace. In: *GEROtop* [online]. [cit. 2024-02-07]. Dostupné z: <https://www.gerotop.cz/instalace-plosneho-kolektoru>
- [19] HEATPUMPHOUSE. What is ground source heatpump. In: *HeatPumpHouse* [online]. [cit. 2024-02-07]. Dostupné z: <https://heatpumphouse.com/guides/what-is-ground-source-heat-pump/#how-ground-source-heat-pumps-work>
- [20] GEROTOP. Vrt pro tepelné čerpadlo. In: *GEROtop* [online]. [cit. 2024-02-07]. Dostupné z: <https://www.gerotop.cz/hloubkove-vrty-pro-tepelna-cerpadla>
- [21] PAVELEK, Milan. *Termomechanika*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-214-4300-6.
- [22] VAŠE SLUŽBY S.R.O. Teorie kompresoru: Škodlivý prostor. In: *Vaše služby s.r.o.* [online]. [cit. 2024-02-18]. Dostupné z: <http://www.vasesluzby.cz/klimatizace-brno/kompresory-pro-chladivove-kompresni-chlazeniteorie-kompresoru/>
- [23] LG COMPRESSOR & MOTOR. *What Are the Advantages of a Scroll Compressor?* [online]. 2023, 27.4.2023 [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/pulse/what-advantages-scroll-compressor-lgcompressormotor>
- [24] TEPELNÁ ČERPADLO INFO. Z čeho se skládá tepelné čerpadlo vzduch-voda. In: *Tepelná čerpadla* [online]. [cit. 2024-02-08]. Dostupné z: <https://www.tepelna-cerpadla-info.cz/caste-dotazy/slozeni-tepelneho-cerpadla.htm>
- [25] DAVID, Petr. Kompresory pro tepelná čerpadla. In: *TZB-info* [online]. 2015, 26.11.2015 [cit. 2024-02-08]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13498-kompresory-pro-tepelna-cerpadla>
- [26] COPELAND. *Copeland Scroll™ Compressors for Refrigeration Applications* [online]. 2011, 27. 7. 2011 [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=YNeoFebbU6I&ab_channel=Copeland
- [27] THE ENGINEERING MINDSET. *Scroll Compressor Exposed: Understanding Its Mechanical Magic* [online]. 2023, 3. 12. 2023 [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=e_4ITFCQvts&ab_channel=TheEngineeringMindset
- [28] DWYER, Tim. Module 163: Rolling-piston rotary refrigerant compressors for air conditioning applications. In: *Cibse Journal* [online]. Květen 2020 [cit. 2024-02-09]. Dostupné z: <https://www.cibsejournal.com/cpd/modules/2020-06-toshiba/>
- [29] Hot-Energy s.r.o. O kompresorech. In: *Hot-Energy* [online]. [cit. 2024-02-09]. Dostupné z: <https://hotenergy.cz/tepelna-cerpadla/o-kompresorech/>
- [30] SWEP. Expansion valves - General function and theory. In: *Swep - specialist in heat transfer* [online]. [cit. 2024-02-08]. Dostupné z: <https://www.swep.net/refrigerant-handbook/4.-expansion-valves/adf7/>
- [31] SWEP. Thermal expansion valves (TEVs). In: *Swep - specialist in heat transfer* [online]. [cit. 2024-02-08]. Dostupné z: <https://www.swep.net/refrigerant-handbook/4.-expansion-valves/adf6/>

- [32] SWEP. Electronic expansion valves. In: *Swep - specialist in heat transfer* [online]. [cit. 2024-02-08]. Dostupné z: <https://www.swep.net/refrigerant-handbook/4.-expansion-valves/adf2/>
- [33] TEPELNÁ ČERPADLA SPIRÁLA. ELEKTRONICKÝ EXPANZNÍ VENTIL. In: *Tepelná čerpadla Spirála* [online]. [cit. 2024-02-08]. Dostupné z: <https://www.tepelna-čerpadla-spirala.cz/elektronicky-expanzivni-ventil>
- [34] THE ENGINEERING MINDSET. *Electronic Expansion Valve - How it works ETS 5M HVAC* [online]. 2021, 20. 2. 2021 [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=LqUEIMl6bBM&ab_channel=TheEngineeringMindset
- [35] CENGEL, Yunus A. *Heat Transfer: A Practical Approach*. 2nd. McGraw-Hill Companies, 2002. ISBN 10: 0071151508.
- [36] ŠTĚTINA, Josef. *Termomechanika-6TT-Výměníky-tepla* [online]. In: . [cit. 2024-02-09]. Dostupné z: https://docs.google.com/presentation/d/18e8aAGkoIHPQFfV1whJ-vOZf8_U4tmtuUasZQQHeFkuA/edit#slide=id.g106e81a7a3b_0_258
- [37] SCHLIEGER. Výparník. In: *Schlieger - Jednička na fotovoltaiku a tepelná čerpadla* [online]. [cit. 2024-02-09]. Dostupné z: <https://web.schlieger.cz/slovník/vyparnik/>
- [38] VÝMĚNÍKY TEPLA OSTRAVA. Výměník pro tepelné čerpadlo. In: *Výměníky tepla Ostrava* [online]. [cit. 2024-02-09]. Dostupné z: <https://www.vymeniky-tepla.cz/čerpadla/>
- [39] DANFOSS. Pressure controls for heat pumps. In: *Danfoss - Engineering Tomorrow* [online]. [cit. 2024-02-10]. Dostupné z: <https://www.danfoss.com/en/service-and-support/case-stories/dcs/pressure-controls-for-heat-pumps/>
- [40] ČERPADLO ČERPADLA. Manometry. In: *Čerpadlo čerpadla* [online]. [cit. 2024-02-10]. Dostupné z: https://www.cerpadlo-čerpadla.cz/MANOMETRY-c11_83_2.htm
- [41] DANFOSS. Components for heat pumps – part 5: four-way reversing valves. In: *Danfoss - Engineering Tomorrow* [online]. [cit. 2024-02-10]. Dostupné z: <https://www.danfoss.com/en/service-and-support/case-stories/dcs/components-for-heat-pumps-part-5-four-way-reversing-valves/>
- [42] SINOP. Měděné trubky a fitinky. In: *Chladicí a výčepní technika Sinop CB a.s.* [online]. [cit. 2024-02-10]. Dostupné z: <https://www.esinop.cz/medene-trubky-a-fitinky>
- [43] GEOTERMIE CHYTŘE A JEDNODUŠE - ODBORNÝ WEB O ZEMNÍCH TEPELNÝCH ČERPADLECH. *Váš průvodce systémy TČ země/voda* [online]. [cit. 2024-03-07]. Dostupné z: <https://www.geothermalnienergie.cz/kalkulacka/>
- [44] TOPIN - TOPENÁŘSTVÍ INSTALACE. DTest ocenil Viessmann Vitocal 250-A. *Topenářství instalace* [online]. 2023, **2023**(6), 50-51 [cit. 2024-03-16]. Dostupné z: <https://www.topin.cz/clanky/dtest-ocenil-viessmann-vitocal-250-a-detail-14788>
- [45] IVT TEPELNÁ ČERPADLA. *Poptávka po návrhu tepelného čerpadla* [online]. [cit. 2024-03-16]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/poptavka-po-navrhu-tepelneho-čerpadla>

- [46] IVT TEPELNÁ ČERPADLA. *Rodinný dům: Kolik stojí pořízení zdroje tepla?* [online]. In: . [cit. 2024-03-16]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/rodinny-dum-5-5-kw>
- [47] E.ON. *Kdy se vyplatí elektrokotel* [online]. In: . [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/vytapeni-a-vetrani/vytapeni-elektrinou/kdy-se-vyplati-elektrokotel/>
- [48] VIESSMANN. *Účinnost a výkon plynového kotle* [online]. In: . [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.chcikotel.cz/blog/ucinost-a-vykon-plynoveho-kotle/>
- [49] LG ELECTRONICS. *Therma V split heat pump*. In: LG ELECTRONICS. *Which heat pump type is right for me* [online]. [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://www.lg.com/cz/business/klimatizace/blog-list/which-heat-pump-type-is-right-for-me>
- [50] DAIKIN. *Air-to-air heat pumps*. In: *Daikin* [online]. [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: https://www.daikin.eu/en_us/product-group/air-to-air-heat-pumps.html
- [51] PAVLOVA, A, J HANSEN, H OBERMEYER a I PAVLOVA. *Geothermal heat in a heat pump use*. *IOP conference series. Earth and environmental science* [online]. Bristol: IOP Publishing, 2016, **43**(1), 12025 [cit. 2024-02-04]. ISSN 1755-1307. Dostupné z: doi:10.1088/1755-1315/43/1/012025
- [52] BERAN, Bohuslav. *Prvky tekutinových mechanismů: Jednostupňový pístový kompresor*. In: *SlidePlayer.cz* [online]. [cit. 2024-02-18]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2744500/>
- [53] AIR CHANGE. *The Scroll Compressor - Basics & The Fixed Speed Type* [online]. 2021, 1. 6. 2021 [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=nDfXosZR_eA&ab_channel=AirChange
- [54] DANFOSS. *How thermostatic expansion valves work*. In: *Danfoss - Engineering Tomorrow* [online]. 2017, 15.12.2017 [cit. 2024-02-08]. Dostupné z: <https://www.danfoss.com/en-us/service-and-support/case-stories/dcs/how-thermostatic-expansion-valves-work/>
- [55] HERMES, Christian J.L., Waldyr DE LIMA E SILVA a Felipe A.G. DE CASTRO. *Thermal-hydraulic design of fan-supplied tube-fin condensers for refrigeration cassettes aimed at minimum entropy generation*. *Applied thermal engineering* [online]. OXFORD: Elsevier, 2012, **36**(1), 307-313 [cit. 2024-02-09]. ISSN 1359-4311. Dostupné z: doi:10.1016/j.applthermaleng.2011.10.038
- [56] NATIONAL AIR WAREHOUSE. *1.5 Ton Goodman 15.2 SEER2 R410A Single Stage Heat Pump Condenser*. In: *National Air Warehouse* [online]. [cit. 2024-02-09]. Dostupné z: <https://www.nationalairwarehouse.com/1-5-ton-goodamn-15-2-seer2-r410a-heat-pump-condenser.html>
- [57] SWEP. *FI22AS*. In: *Swep - specialist in heat transfer* [online]. [cit. 2024-02-09]. Dostupné z: <https://www.swep.net/products/fi22as/>
- [58] SWEP. *2.5 Other components: Refrigerant liquid receiver*. In: *Swep - specialist in heat transfer* [online]. [cit. 2024-02-10]. Dostupné z: <https://www.swep.net/refrigerant-handbook/2.-compression-cycle/zx/>
- [59] KAS. *Průhledítka MIA-078/M22 22 mm pájecí*. In: *KaS klient B2B shop* [online]. [cit. 2024-02-10]. Dostupné z: <https://shop.kas.cz:8443/detail?ALC.805887!/Pruhleditko-MIA-078/M22-22-mm-pajeci>

- [60] TOPENÍ LEVNĚ. *Tepelné čerpadlo IVT AIR X 90 AirModul E9* [online]. In: . [cit. 2024-03-16]. Dostupné z: <https://www.1-topeni-levne.cz/tepelne-cerpadlo-ivt-air-x-90-airmodul-e9-cena-levne>

Seznam použitých symbolů a zkratek

Symbol	Veličina	Jednotka
A	Práce potřebná pro funkci systému	J
a	Měrná práce potřebná pro funkci systému	$J \cdot kg^{-1}$
$COP, \varepsilon_T, \varepsilon_H$	Topný faktor	-
E_{rok}	Roční potřeba energie na vytápění a ohřev	MWh/rok
Q_C	Přivedené teplo do systému	J
q_C	Měrné přivedené teplo do systému	$J \cdot kg^{-1}$
Q_{celk}	Tepelné ztráty objektu	W
Q_H	Odváděné teplo do otopné soustavy	J
q_H	Měrné odváděné teplo do otopné soustavy	$J \cdot kg^{-1}$
S	Entropie	$J \cdot K^{-1}$
s	Měrná entropie	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
SCOP	Sezónní topný faktor	-
T	Termodynamická teplota	K
T_{MAX}, T_H	Výstupní teplota systému	K
T_{MIN}, T_C	Vstupní teplota systému	K

Zkratka	Význam
COP	Coefficient of Performance
ČR	Česká republika
DPH	Daň z přidané hodnoty
DÚ	Dolní úvrat'
EEV	Elektronický expanzní ventil
EVI	Enhanced vapour injection
HÚ	Horní úvrat'
NZÚ	Nová zelená úsporám
R290	Propan
SCOP	Seasonal Coefficient of Performance
TČ	Tepelné čerpadlo
TEV	Termostatický expanzní ventil
TV	Teplá užitková voda

Seznam obrázků

Obrázek 1: Rodinný dům, pro který je návrh určen.....	10
Obrázek 2: T-s diagram obráceného Carnotova cyklu [5].....	11
Obrázek 3: T-s diagram obráceného Rankin-Clausiova cyklu [4].....	11
Obrázek 4: Schéma kompresorového TČ [4].....	13
Obrázek 5: Dvoudílné provedení (split); přeloženo z [49].....	14
Obrázek 6: vnitřní jednotka TČ vzduch-vzduch od firmy Daikin; upraveno z [50].....	15
Obrázek 7: TČ voda-voda s využitím podzemní vody; přeloženo z [51].....	16
Obrázek 8: 1) spirálové uložení; 2) uložení do meandru; 3) klasické uložení [18].....	17
Obrázek 9: Jednostupňový pístový kompresor; upraveno z [52].....	18
Obrázek 10: Scroll kompresor; přeložený a popsáný snímek obrazovky z [53].....	19
Obrázek 11: Jednotlivé fáze práce rotačního kompresoru [28].....	19
Obrázek 12: TEV ventil; přeloženo a popsáno z [54].....	20
Obrázek 13: Tube-fin kondenzátor; přeloženo a upraveno z [55].....	21
Obrázek 14: Kondenzátor s ventilátorem pro TČ firmy Goodman [56].....	21
Obrázek 15: Deskový kondenzátor nebo výparník firmy Swep [57].....	21
Obrázek 16: Sběrač kapalného chladiva; upraveno z [58].....	22
Obrázek 17: Průhledítko [59].....	22
Obrázek 18: AIR Modul E9 (vlevo) a IVT AIR X 90 (vpravo) [60].....	25
Obrázek 19: IVT GEO 608C; screenshot z [58].....	25
Obrázek 20: Graf nákladů na vytápění v horizontu 30 let.....	27
Obrázek 21: Graf nákladů na vytápění v horizontu 50 let.....	28