

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Návrh tepelného čerpadla pro rodinné domy**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2016/2017

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří KOSOBUD**

Osobní číslo: **E14B0014K**

Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**

Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**

Název tématu: **Návrh tepelných čerpadel pro rodinné domy**

Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište fyzikální princip tepelných čerpadel, základní komponenty a systémová řešení.
2. Popište metodiku návrhu a výpočet dimenzování tepelného čerpadla.
3. Vypracujte případové studie včetně variantních řešení pro demonstraci funkce na typických aplikacích.
4. Provedte technicko-ekonomické zhodnocení a srovnání variant vypracovaných případových studií.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Stavíme tepelné čerpadlo, Ing. Antonín Eravík, ISBN: 80-239-0275-X.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Sirový, Ph.D.

Regionální inovační centrum elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: 14. října 2016

Termín odevzdání bakalářské práce: 8. června 2017

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.  
vedoucí katedry

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá problematikou vytápění rodinných domů tepelným čerpadlem. Vysvětluje princip a činnost tepelných čerpadel. Rozebírá jednotlivé konstrukční prvky. Popisuje rozdělení tepelných čerpadel podle systému získávání nízkopotenciálního zdroje tepla. V další části se zabývá jejich návrhem a dimenzováním tepelného čerpadla.

V druhé polovině práce nalezneme teoretické srovnání systému země-voda a vzduch-voda. V poslední části práce je vypracování případových studií tepelného čerpadla pro konkrétní objekt a jejich vzájemné porovnání.

## **Klíčová slova**

Tepelné čerpadlo, systémová řešení, topný faktor, bod bivalence, tepelné ztráty, ekonomická a energetická náročnost

**Abstract**

The bachelor thesis deals with the issue of heating of family houses by heat pump. Explains the principle and operation of heat pumps. It analyzes individual design elements. Describes the distribution of heat pumps according to the low-potential heat source system. The next part deals with their design and design of the heat pump.

In the second half of the thesis, we find a theoretical comparison of ground-water and air-water systems. The last part of the thesis is the development of case studies of the heat pump for a particular object and their mutual comparison.

**Key words**

Heat pump, system solutions, heating factor, bivalence point, heat loss, economic and energy demand

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 4.6.2017

Jiří Kosobud

## Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>7</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>1 TEPELNÉ ČERPADLO</b> .....	<b>10</b>
1.1 HISTORIE TEPELNÉHO ČERPADLA .....	10
1.2 PRINCIP TEPELNÉHO ČERPADLA .....	11
1.3 SOUČÁSTI TEPELNÉHO ČERPADLA.....	14
1.3.1 <i>Kompresor</i> .....	15
1.3.2 <i>Tepelné výměníky</i> .....	18
1.3.3 <i>Expanzní ventil</i> .....	21
1.3.4 <i>Chladivo</i> .....	21
<b>2 SYSTÉMOVÁ ŘEŠENÍ TEPELNÝCH ČERPADEL</b> .....	<b>23</b>
2.1 TEPELNÉ ČERPADLO VZDUCH-VODA .....	23
2.2 TEPELNÉ ČERPADLO VZDUCH-VZDUCH.....	25
2.3 TEPELNÉ ČERPADLO ZEMĚ-VODA (PLOŠNÝ KOLEKTOR) .....	25
2.4 TEPELNÉ ČERPADLO ZEMĚ-VODA (VRT).....	26
2.5 TEPELNÉ ČERPADLO VODA-VODA .....	28
<b>3 NÁVRH TEPELNÉHO ČERPADLA A JEHO DIMENZOVÁNÍ</b> .....	<b>30</b>
3.1 TEPELNÁ ZTRÁTA OBJEKTU .....	30
3.2 VÝPOČTY CELKOVÉ TEPELNÉ ZTRÁTY RODINNÉHO DOMU .....	31
3.3 VÝPOČET ROČNÍ SPOTŘEBY TEPLA PRO DOMÁCNOST .....	32
3.4 BOD BIVALENCE A PROVOZ TEPELNÝCH ČERPADEL .....	33
3.4.1 <i>Bivalentní provoz tepelného čerpadla</i> .....	33
3.4.2 <i>Monovalentní provoz tepelného čerpadla</i> .....	34
<b>4 POROVNÁNÍ TEPELNÝCH ČERPADEL ZEMĚ-VODA X VZDUCH VODA</b> .....	<b>35</b>
4.1 PROVOZNÍ NÁKLADY .....	35
4.2 POŘIZOVACÍ NÁKLADY .....	36
4.3 SWOT ANALÝZA.....	38
4.4 NÁVRATNOST .....	38
<b>5 PŘÍPADOVÉ STUDIE PRO RODINNÝ DŮM</b> .....	<b>39</b>
5.1 ZADÁNÍ .....	39
5.2 VARIANTA ZEMĚ-VODA .....	39
5.3 VARIANTA VZDUCH-VODA.....	41
5.4 POROVNÁNÍ VARIANT ZEMĚ-VODA X VZDUCH VODA .....	42
5.5 REALIZOVANÁ VARIANTA TEPELNÉHO ČERPADLA ZEMĚ-VODA .....	42
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>44</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....	<b>1</b>

<b>PŘÍLOHA A</b> .....	<b>2</b>
<b>PŘÍLOHA B</b> .....	<b>3</b>
<b>PŘÍLOHA C</b> .....	<b>4</b>



## Úvod

Pro vytápění budov a ohřev užitkové vody se čím dál tím více využívají tepelná čerpadla. Za poslední roky jejich počet mnohonásobně vzrostl. Rostoucí ceny paliv a energií jsou hlavním důvodem, proč se lidé uchylují k pořízení tepelného čerpadla. Tomu také napomáhá dotační program na zařízení pro vytápění budov, které využívají obnovitelné zdroje energie a další bonusy po jejich nainstalování. Roční provoz takových to zařízení je nejlevnější, ale nevýhodou je vyšší počáteční investice.

Tepelné čerpadlo využívá nízkopotenciální zdroj tepla, které dokáže převést na vyšší teplotní hladinu. Těmi zdroji jsou nejčastěji vzduch, země a voda. Podle toho jsou také rozděleny na systémy vzduch-voda, vzduch-vzduch, země-voda a voda-voda. První slovo nám říká, z jakého prostředí odebíráme energii a druhé do jakého média jí vkládáme.

Tepelné čerpadlo je zařízení skládající se z několika komponentů, které tvoří jeden funkční celek. Základními součástmi jsou kompresor, výměníky (výparník a kondenzátor), redukční ventil, chladivo. Tyto součásti jsou podrobněji popsány v první části této práce, kde mimo jiné najdeme vývoj tepelných čerpadel, princip činnosti a rozdělení do jednotlivých systémů.

Návrh a dimenzování tepelného čerpadla se uvádí vždy na konkrétní objekt, kdy je nám známa celková energetická náročnost a tepelné ztráty objektu. V druhé polovině této práce se právě návrhem a dimenzováním tepelných čerpadel zabývám, nejprve teoreticky a poté na konkrétním objektu, kterým je rodinný dům. Pro srovnání jsem použil dvě případové studie a předešlý zdroj vytápění rodinného domu.

# 1 Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo je stále častěji vyhledávaným zařízením pro vytápění rodinných domů a ohřev vody. Jde o alternativní zdroj tepelné energie šetrný k životnímu prostředí. energii získáváme z vnějšího prostředí (voda, vzduch, země) za minimálních provozních nákladů.

## 1.1 Historie tepelného čerpadla

Historie tepelného čerpadla sahá až do roku 1824, kdy S.N.L. Carnot publikoval své dílo „*Úvahy o hybné síle ohně a strojích vyvolávající tuto sílu*“, kde popsal již známější Carnotův cyklus. Touto prací se nechal inspirovat William Thomson (lord Kelvin), který v roce 1852 formuloval princip tepelného čerpadla. Avšak na první funkční tepelné čerpadlo jsme si museli počkat do roku 1859. Tehdejší tepelné čerpadlo využívalo čpavek a pracovalo na absorpčním principu. O jeho širokém využití se však ještě nejednalo.

Počátky tepelného čerpadla jsou datována k dvacátým letům 20. století. Ovšem nelze říci, že se jednalo o tepelné čerpadlo, tak jak ho známe dnes. V té době se začala objevovat první chladicí technika, a to i v domácnostech. Používaným chladivem byl opět čpavek. Prakticky první chladicí zařízení bylo uvedeno do provozu v roce 1924 ve Švýcarsku. S dalším vývojem se dostáváme do roku 1932, kdy americká firma Kinetic Chemicals Inc. vyrobila první chladivo pod obchodním názvem Freon R12. [1] [3]

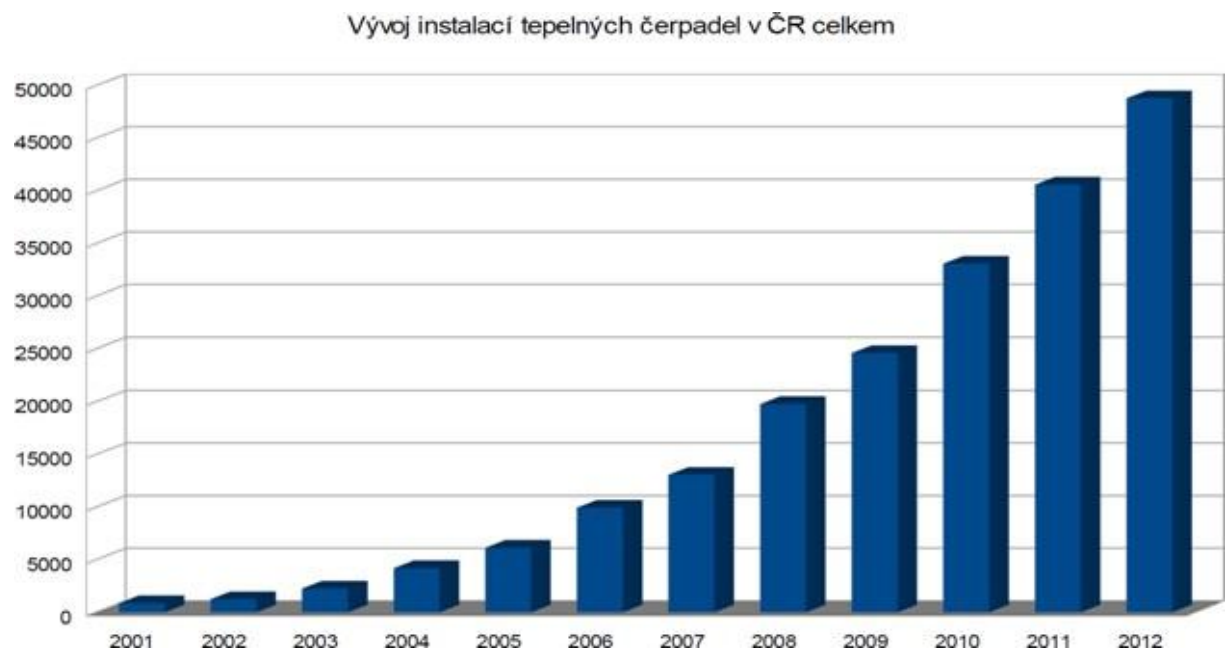
Protože se tehdy nevědělo o negativním vlivu freonu na životní prostředí, bylo bráno toto chladivo jako bezpečné, nejedovaté a chemicky velmi stálé. Proto také došlo k velkému rozmachu těchto látek.

V osmdesátých letech 20. století se již přišlo na škodlivost freonů a docházelo k útlumu těchto látek. Proto se začali hledat nové méně škodlivé látky, které ale měly stejné termodynamické vlastnosti jako freony. V dnešní době je celá řada ekologických chladiv.

K prvnímu tepelnému čerpadlu došel zcela náhodou americký vynálezce Robert C. Weber, když prováděl pokus hlubokého mrazení. Omylem se dotknul výstupního potrubí

chladícího zařízení a to jej popálilo. Weber začal experimentovat s tímto zjištěním a začal zařízení využívat pro vytápění domu a propojil jej také s bojlerem. Následně úspěšně zkoušel čerpat teplo ze země pomocí zemních kolektorů. [1] [3]

Kvůli levným energiím a palivům se tepelné čerpadlo velmi nerozšířilo kvůli velmi vysoké pořizovací ceně. Avšak v osmdesátých letech 20. století se tento trend obrací, ceny paliv a energií rostou a to pomáhá většímu rozšíření a využití tepelných čerpadel pro vytápění domů a ohřevu vody. V současné době tomu ještě více napomáhají dotační programy ČR a EU na pořízení tepelného čerpadla. Rostoucí trend můžeme také vidět na obrázku Obr. 1.



Obr. 1 – Vývoj instalovaných TČ v ČR celkem [4]

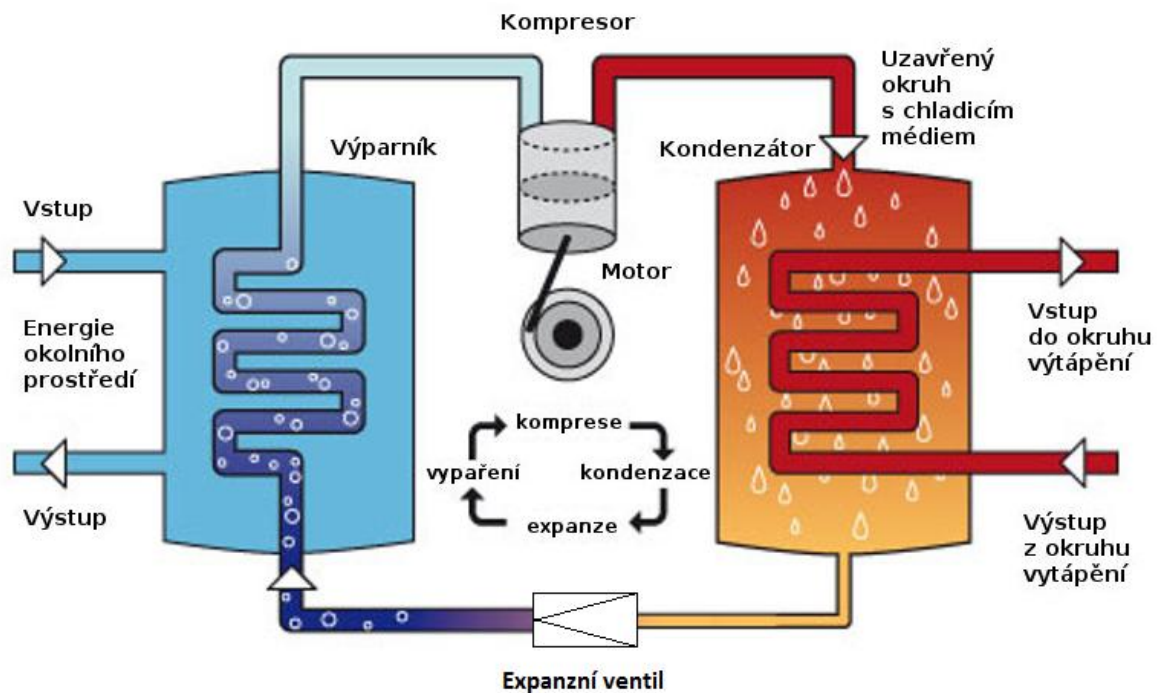
## 1.2 Princip tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo je zařízení, které teplo získané z nízkopotenciálního zdroje dokáže převést na vyšší tepelnou hladinu. Ke svému provozu potřebuje určité množství elektrické energie.

Velmi důležitým faktorem je, že tepelné čerpadlo využívá skutečnost, že bod varu kapalin je závislý na tlaku. Například čpavek  $\text{NH}_3$  se při atmosférickém tlaku, tedy při 0,1 MPa, vaří při teplotě  $-33^\circ\text{C}$ . Pokud ho však stlačíme na tlak 2MPa, začne čpavek vřít při

teplotě 50°C. I když jsem uvedl čpavek jako příklad, již v dnešní době se tolik nepoužívá a byl nahrazen ekologickými chladivými šetrnými k životnímu prostředí.

Velmi rozšířenou a používanou skupinou tepelných čerpadel jsou kompresorová tepelná čerpadla. Schéma obecného principu takového tepelného čerpadla je na obrázku Obr. 2 [3]. Existují také jiné tepelné čerpadla založená na jiných principech (absorpční, hybridní).



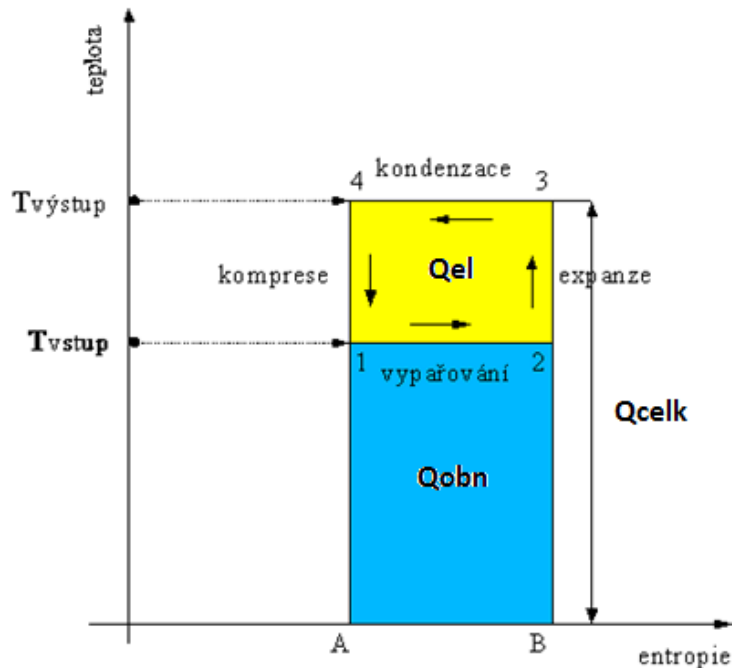
Obr. 2 – Obecný princip kompresorového tepelného čerpadla [3]

Nejčastěji se takové čerpadlo přirovnává k chladničce. Obě zařízení totiž pracují na stejném principu. U chladničky užitkujeme chlad pro uchování potravin a u tepelného čerpadla využíváme naopak teplo pro vytápění domů a ohřevu užitkové vody.

Popišme si tedy děj podle obrázku Obr. 2. Přiváděné chladivo do výměníku (výparníku) absorbuje tepelnou energii z okolního prostředí. Za nízkého tlaku se chladivo z kapalného stavu mění na stav plynný (páru). Pomocí kompresoru takto ohřáté páry stlačíme. Stlačením par dojde k velkému zvýšení teploty. Konkrétně čpavek, chemický vzorec  $\text{NH}_3$ , se při 0,1 MPa, vaří při teplotě -33°C. Po stlačení na tlak 2MPa, začne čpavek vřít při teplotě 50°C. Pro zvýšení účinnosti lze také využít ztrátové teplo vznikající na motoru kompresoru. Takto ohřáté páry jsou přiváděné do kondenzátoru. V kondenzátoru dojde k předání tepla do

chladnější topné vody. Toto teplo je potom odváděno nejčastěji ústředním topením domu nebo do ohřívače vody. Z kondenzátoru je již zas kapalné chladivo přiváděno přes expanzní ventil, kterým dojde ke snížení tlaku chladiva, do výparníku a celý cyklus se opakuje. [5]

Pracovní cyklus tepelného čerpadla je popsán tzv. T-S diagramem nazývaným Carnotův cyklus. Grafický popis teoretického pracovního cyklu tepelného čerpadla je na obrázku Obr.3.



Obr. 3 – Grafické znázornění teoretického pracovního cyklu TČ [6]

Teplota – T [K]

Entropie – S [kJ/kg]

$T_{\text{vstup}}$  – Teplota zdroje tepla [K]

$T_{\text{výstup}}$  – Teplota na výstupu [K]

$Q_{\text{obn}}$  – Energie získaná při teplotě  $T_{\text{vstup}}$  z venkovního prostředí

$Q_{\text{el}}$  – Energie dodaná pro pohon kompresoru

$Q_{\text{celk}}$  – Celková energie získaná sečtením  $Q_{\text{obn}}$  a  $Q_{\text{el}}$  při teplotě  $T_{\text{výstup}}$

Entropie popisuje degradaci tepla, při které dochází u nevratných změn. Teplo nelze zcela převádět v práci, obráceně však to lze. Entropie může při samovolných změnách izolovaných systémů pouze zůstat beze změn, nebo růst.

Pracovní cyklus se skládá ze čtyř fází:

1-2 izotermická expanze – vypařování chladiva při konstantní teplotě

2-3 adiabatická komprese – stlačení par pomocí kompresoru, vzrůst tepla

3-4 izotermická kondenzace – kondenzace par při stálé teplotě, odvod užitečného tepla

4-1 adiabatická expanze – cyklus se vrací na začátek

Důležitou hodnotou je tzv. topný faktor – COP. Zkratka COP je přejatá z anglického názvu „Coefficient of Performance“. COP udává poměr získaného výkonu a dodaného elektrického výkonu (1). U COP chceme, aby byla hodnota co největší, čím je vyšší, tím tepelné čerpadlo pracuje efektivněji.

$$\varepsilon = Q_{\text{out}} / Q_{\text{el}} = Q_{\text{in}} + Q_{\text{el}} / Q_{\text{el}} = T_{\text{out}} / (T_{\text{out}} - T_{\text{in}}) [-] \quad (1)$$

$Q_{\text{in}}$  – Energie získaná při teplotě  $T_{\text{in}}$  z venkovního prostředí

$Q_{\text{el}}$  – Energie dodaná pro pohon kompresoru

$Q_{\text{out}}$  – Celková energie získaná sečtením  $Q_{\text{in}}$  a  $Q_{\text{el}}$  při teplotě  $T_{\text{out}}$

$T_{\text{in}}$  – Teplota zdroje tepla [K]

$T_{\text{out}}$  – Teplota na výstupu [K]

Topný faktor COP musí vyjít vždy vyšší než 1, za podmínky, že  $T_{\text{in}}$  je menší než  $T_{\text{out}}$ .

### 1.3 Součásti tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo se skládá z několika částí. Nejdůležitějšími součástmi jsou kompresor, tepelné výměníky – výparník, kondenzátor, expanzní ventil a chladivo. Tyto části jsou dále

doplněny o další pomocné a regulační části, např. regulace, sběrač kondenzátu a tepelná izolace.

### 1.3.1 Kompresor

Kompresor je aktivní část tepelného čerpadla vykonávající práci. Slouží ke stlačování par, které přichází z výparníku. Takto stlačené páry se silně zahřejí a putují do kondenzátu, kde předávají teplo to topné vody a poté zkapalní. Tlak, na který kompresor stlačí páry, se liší s druhem použitého chladiva. Obvykle se takové tlaky pohybují v mezích 0,1 až 0,5 MPa pro sací tlak a 0,5 až 2,5 MPa pro výtlak, tab. 1.1. Kompresor při chodu na prázdno dokáže dosahovat tlaku přes 3 MPa a proto jsou vybaveny ochrannými prvky, nejčastěji to jsou přetlakové ventily.

Teplota [°C]	R12	R22	R502	R134a	R404a	R407c	R410a	R507	R290	R600a	R290+R600a	R290+R170 (etan)
-60		0,0374		0,0160				0,0530				
-55		0,0509		0,0210				0,0770				
-50	0,0391	0,0643	0,0814	0,0295	0,0851	0,0735	0,1123	0,0882				0,097
-45	0,0504	0,0834	0,1033	0,0391	0,1081	0,0939	0,1417	0,1119				0,120
-40	0,0641	0,1049	0,1296	0,0512	0,1358	0,1187	0,1770	0,1404	0,107	0,029	0,071	0,147
-35	0,0806	0,1324	0,1610	0,0661	0,1688	0,1483	0,2191	0,1743	0,133	0,037	0,088	0,179
-30	0,1003	0,1635	0,1979	0,0844	0,2077	0,1833	0,2689	0,2143	0,164	0,047	0,108	0,216
-25	0,1236	0,2020	0,2410	0,1064	0,2532	0,2246	0,3273	0,2611	0,199	0,059	0,132	0,258
-20	0,1508	0,2448	0,2910	0,1327	0,3061	0,2728	0,3954	0,3155	0,241	0,073	0,160	0,306
-15	0,1825	0,2965	0,3486	0,1638	0,3671	0,3288	0,4743	0,3782	0,288	0,089	0,191	0,361
-10	0,2190	0,3543	0,4143	0,2004	0,4371	0,3933	0,5651	0,4501	0,342	0,109	0,228	0,424
-5	0,2608	0,421	0,4889	0,2431	0,5167	0,4673	0,6690	0,5320	0,403	0,131	0,269	0,494
0	0,3084	0,4976	0,5731	0,2925	0,6070	0,5518	0,7872	0,6249	0,472	0,157	0,316	0,572
5	0,3624	0,5840	0,6676	0,3492	0,7088	0,6475	0,9211	0,7295	0,549	0,187	0,369	0,659
10	0,4231	0,6807	0,7730	0,4141	0,8229	0,7557	1,0719	0,8470	0,636	0,221	0,427	0,756
15	0,4911	0,7882	0,8092	0,4878	0,9504	0,8772	1,2410	0,9872	0,732	0,259	0,493	0,863
20	0,5670	0,9099	1,0197	0,5710	1,0922	1,0132	1,4299	1,1243	0,838	0,302	0,566	0,981
25	0,6513	1,041	1,1623	0,6647	1,2493	1,1647	1,6399	1,2861	0,956	0,351	0,646	1,110
30	0,7446	1,192	1,3189	0,7695	1,4229	1,3327	1,8725	1,4649	1,084	0,405	0,734	1,251
35	0,8474	1,349	1,4901	0,8863	1,614	1,5182	2,1293	1,6618	1,225	0,465	0,831	1,404
40	0,9603	1,534	1,6770	1,0159	1,8237	1,7222	2,4116	1,8779	1,379	0,532	0,937	1,571
45	1,0839	1,721	1,8803	1,1594	2,0533	1,9455	2,7211	2,1144	1,547	0,605	1,052	1,752
50	1,2189	1,942	2,1013	1,3176	2,3041	2,1891	3,0592	2,3726	1,729	0,686	1,177	1,947
55	1,3725	1,933	2,3512	1,4995	2,5730	2,4327		2,6542	1,926	0,775	1,312	2,157
60	1,5260	2,427	2,6010	1,6813	2,8695			2,9594	2,138	0,871	1,459	2,383
65		2,677		1,8987				3,2911	2,367	0,977	1,616	2,624
70		2,926		2,1162					2,614	1,091	1,786	
75		3,294		2,3640						1,215	1,968	
80		3,662		2,6353						1,350		

Tab. 1.1 – Tlaky v MPa jednotlivých chladiv při různých teplotách [1]

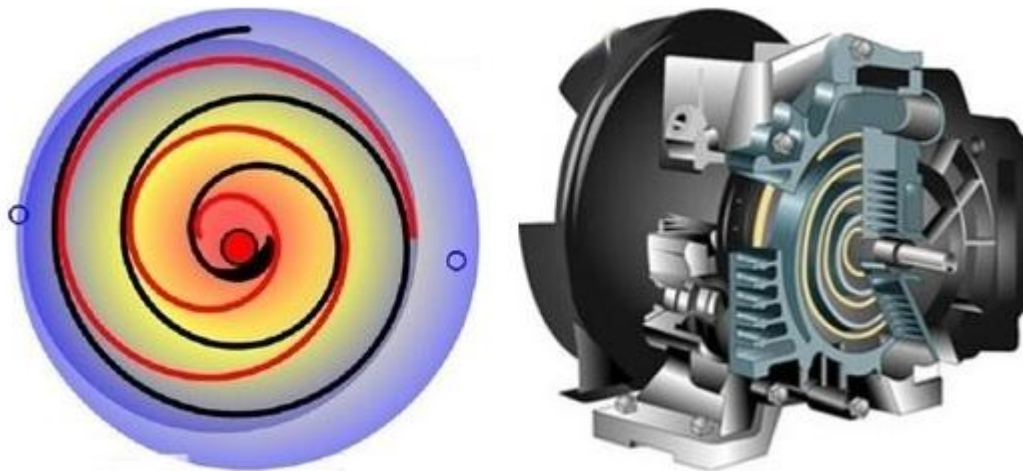
Konstrukce kompresoru se liší s provedení jejich umístění. Ve většině případů se jedná o hermetické provedení. U tohoto provedení je elektromotor a kompresor umístěn v jedné nádobě. Olejová náplň je pro obě části společná. Výhodou hermetického provedení je

naprostá těsnost, kdy z nádoby vychází pouze sací a výtlačné potrubí. Únik chladiva je za běžného provozu nemožný. Dalšími provedeními jsou polohermetické, kdy motor i kompresor jsou na jedné hřídeli v jedné nádobě, ale pomocí demontování vík se lze dostat k elektromotoru, klikové hřídeli a ventilům. Toto bývá nejčastější provedení u pístových kompresorů. A posledním provedením je otevřené provedení. Uvnitř nádoby je pouze samotný kompresor, který má vyvedenou utěsněnou hřídel proti úniku chladiva ven z nádoby. Proto otevřené provedení umožňuje použití jiného motoru než pouze elektromotoru, např. spalovacího.

Dále dělíme motory podle principu funkčnosti. Jde o kompresory spirálové tzv. SCROOL, pístové kompresory, rotační kompresory a šroubové kompresory. Poslední dva zmiňované typy nejsou příliš používané a vyskytují se zřídka pro jejich specifické použití.

### Hermetický spirálový kompresor SCROLL

Počátkem 20. století byl vyvinut první kompresor typu SCROLL. Tvoří ho dvě spirály do sebe vložené, kdy jedna spirála je pevná a druhá pohyblivá, excentricky krouží. Umístění spirál je zřejmé z obrázku Obr. 4.

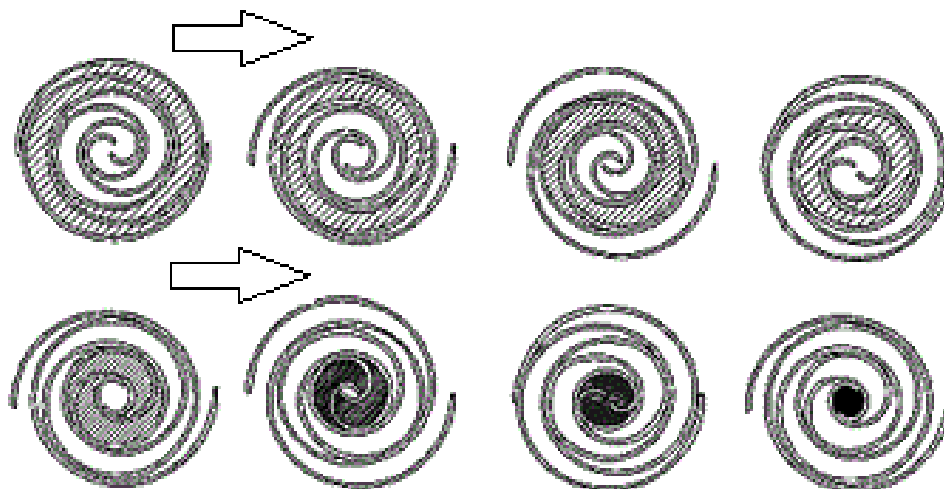


Obr. 4 – Umístění spirál a konstrukční provedení kompresoru SCROLL [7]

Pohyblivá spirála nasává páru a pomocí kapsy je dopraví do středu spirály, kde je vyveden výfukový otvor pro výstup stlačených par. Pohybující se kapsa směrem ke středu



spirály se stále zmenšuje viz. Obr. 5, tím roste tlak a teplota par. Během cyklu je takto ve spirálách několik takových kapes. Proto je proces sání a výfuku téměř plynulý.



Obr. 5 – Proces stlačení par v kompresoru SCROLL

Pro stálou těsnost spirál je nutné nepřetržitě mazat, aby se zamezilo úniku par. Při nízkých otáčkách dochází ke sníženému mazání, proto kompresor SCROLL pracuje pouze za konstantních otáček. Díky jeho konstrukci je ale použitelný pro různé typy chladiv. Životnost těchto kompresorů se udává přibližně kolem 20 let. [7]

### Hermetický pístový kompresor

Jsou nejběžnější a nejrozšířenější pro malé výkony od 50 W do několika set kW. Používají se v chladničkách a mrazících zařízeních. Vyrábějí se několik desítek let, a proto není výjimkou, že jejich životnost dosahuje 20 let.

Elektromotor je chlazen chladivem při nasávání a mají společnou olejovou nádrž. Pro menší výkony je napájení jednofázové s pomocnou fází pro rozběh motoru. U větších výkonů se volí třífázové napájení a také bývají vybaveny tepelnou ochranou vinutí motoru a přetlakovým ventilem.

Oproti kompresoru typu SCROLL jsou hlučnější a mají horší topný faktor, to ovšem vyvažuje jejich pořizovací cena, která je nižší. Dnešní pístové kompresory už díky své propracované konstrukci nejsou příliš hlučná. Menší hlučností můžeme docílit také zvukovou izolací (krytem), který také funguje jako tepelná izolace.

### 1.3.2 Tepelné výměníky

Výměník tepla se používá pro předání tepla mezi chladivem a otopnou látkou. Teplo se předává vždy z teplejší látky na tu chladnější látku a platí tedy druhý zákon termodynamiky. Účinnost takových výměníků není 100%, a proto musíme pečlivě volit velikost takového výměníku. Návrh v tomto případě je velmi důležitý. Tepelné výměníky rozdělujeme podle použití na výparník, kde dochází k oteplení chladiva a jeho vypařování a na kondenzátor, kde páry předávají teplo do otopné vody a zkapalní.

Nejdůležitějším parametrem každého výměníku je předávací schopnost. Ten je však ovlivněn mnoha faktory. Jedním z nich je vzájemná plocha, kterou látky protékají. Rozdílem teplot obou medií nebo průtokem medií v systémech.

Existuje několik druhů tepelných výměníků, které se liší konstrukcí, základními parametry a použitím. Jsou to deskové, trubkové, lamelové a ventilátory.

#### **Tepelný výměník kapalina-kapalina**

Jsou skládané z nerezových desek, které mají tvarované prolisy. Po spojení takových desek vzniknou díky těmto prolisům dvě řady kanálků, kterými proudí odděleně teplotná média. Řez takovýmto výměníkem je na obrázku Obr. 6. Desky jsou k sobě pájeny nebo svařeny a tvoří tak ucelený kompaktní celek, který dobře snáší provozní tlaky až 4MPa. Deskové výměníky mají velmi dobré předání topného výkonu. U tepelného čerpadla se používají pospojované, obvykle nad 30 desek, deskové výměníky. Stejnoseměrné rozdělení chladiva zaručuje distributor (rozdělovač), který je součástí výměníku.



Obr. 6 – Řez deskovým tepelným výměníkem [8]

### Tepelný výměník vzduch-kapalina

Do této skupiny patří lamelový tepelný výměník. Ten je složen z měděných trubek, které jsou proloženy hliníkovými lamelami viz. obrázek Obr. 7. Lamely zajišťují lepší tepelný přenos. Větší výměníky bývají pospojovány v sekcích paralelně, a pro rozdělení chladiva se používá rozdělovač. U použití lamelového výměníku jako kondenzátor se rozdělovač nepoužívá.

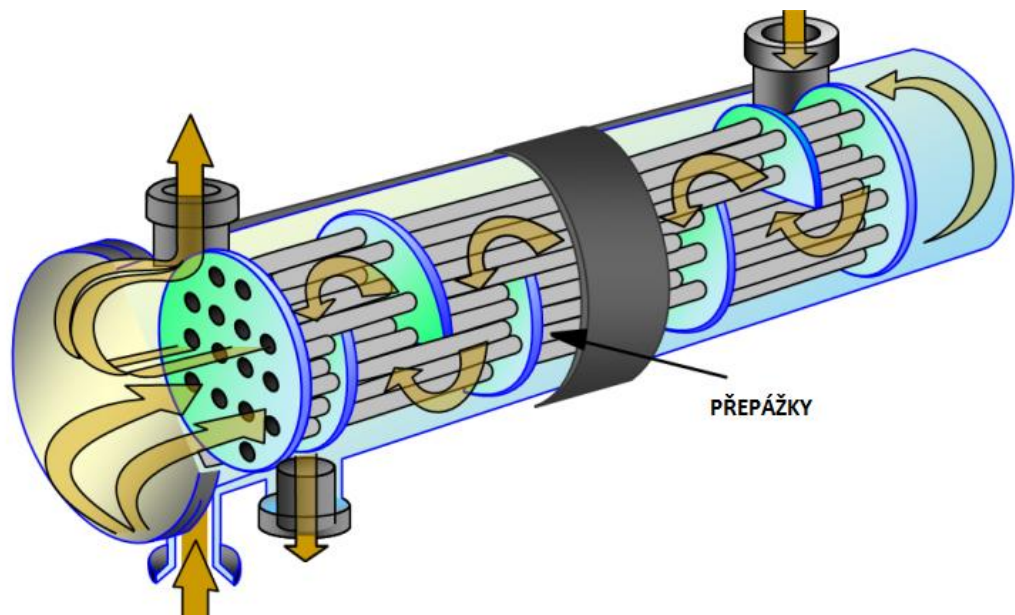


Obr. 7 – Lamelový výměník tepla

U těchto výměníků se používá ventilátor. Ve většině případů se používá klasický axiální ventilátor, ale existují i radiální. Pro větší účinnost u velkých výkonů bývají použity i dva ventilátory. Důležitým parametrem kromě výkonu a účinnosti bývá také jejich hlučnost. Jako pohon se nejčastěji používají asynchronní jednofázové motory s rozběhovým kondenzátorem.

### **Trubkový výměník tepla**

Výměník je složen z válcové nádoby většího průměru, do kterého jsou vloženy trubky. V trubkách obvykle proudí chladivo a v nádobě otopná voda, schéma proudění médií je na Obr. 8. Dalším provedením bývá trubka v trubce. Obě trubky mají rozdílný průměr a po vložení do sebe vznikne mezi trubkami prostor pro proudění otopné vody a vně vnitřní trubky proudí chladivo. Pro větší účinnost se používá u trubek žebrování, a tím vzniká větší plocha pro výměnu tepla mezi médii.



Obr. 8 – Proudění médií v trubkovém výměníku

### 1.3.3 Expanzní ventil

Slouží k vstřikování kondenzátu do výparníku a snižuje tlak. Ventilem proudí tolik kondenzátu, kolik může kompresor stlačit, protože se jedná o uzavřený okruh. K regulaci trysky expanzního ventilu slouží regulační člen, který v závislosti na teplotě přivírá nebo otvírá trysku ventilu.

### 1.3.4 Chladivo

Chladivo je spojovacím prvkem všech částí tepelného čerpadla a je nositelem tepelné energie, kterou odevzdává v kondenzátu otopné vodě. U těchto kapalin se využívá velmi nízkého bodu varu. Chladiva se rozdělují podle fyzikálních vlastností a chemických vlastností. Dále se určuje jejich vliv na životní prostředí, zkratka ODP – vliv na ozonovou vrstvu a GWP – vliv na oteplování země. U ODP platí, čím menší číslo, tím je vliv na ozonovou vrstvu nižší. U GWP je tomu naopak, čím vyšší číslo, tím vyšší negativní vliv na oteplování Země.

Pro označování chladiv slouží jednotné značení. Používají se jednoduché čisté kapaliny nebo sloučeniny několika druhů. V dnešních tepelných čerpadlech bývají nejčastěji používány směsi několika HFC uhlovodíků (R410A, R407C, R134a), které mají negativní vliv na ozonovou vrstvu, ale mají vysoký vliv na oteplování Země. Tyto látky jsou v tab. 2.1.

Proto se zvyšuje zájem o přírodní chladiva s nižším GWP (Global Warming Potential) - tab. 2.2. Proto se s velmi běžně používaným čpavkem (R717) začíná používat oxid uhličitý, který má GWP rovno 1, ale je nutno použít speciálního kompresoru pro vysoký tlak. [9]

Fluorované skleníkové plyny			GWP	
Chladiva HFC	R23	CHF <sub>3</sub>	14800	
	R32	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	675	
	R125	C <sub>2</sub> HF <sub>5</sub>	3500	
	R134a	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	1430	
	R152a	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> F <sub>2</sub>	124	
	R143a	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> F <sub>3</sub>	4470	
	R227ea	C <sub>3</sub> HF <sub>7</sub>	3220	
	R236fa	C <sub>3</sub> H <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	9810	
Směsi obsahující chladiva HFC	R404A	R125 / R134a / R143a	44 / 4 / 52 %	3922
	R407A	R32 / R125 / R134a	20 / 40 / 40 %	2107
	R407B	R32 / R125 / R134a	10 / 70 / 20 %	2804
	R407C	R32 / R125 / R134a	23 / 25 / 52 %	1774
	R410A	R32 / R125	50 / 50 %	2088
	R417A	R125 / R134a / R600	46,6 / 50 / 3,4 %	2346
	R422D	R125 / R134a / R600	65,1 / 31,5 / 3,4 %	2729
	R427A	R32 / R125 / R143a / 134a	15 / 25 / 10 / 50 %	2138
	R437A	R134a / R125 / R600 / R601	78,5 / 19,5 / 1,4 / 0,6 %	1805
	R507	R125 / R143a	50 / 50 %	3985
	R508A	R23 / R116	39 / 61 %	13214
	R508B	R23 / R116	46 / 54 %	13396

Tab. 2.1 – Chladiva nepoškozující ozonovou vrstvu [9]

				GWP
Přírodní chladiva	R170	Ethan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	6
	R290	Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	3
	R600a	Isobutan	CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	3
	R717	Amoniak (čpavek)	CH <sub>3</sub>	0
	R744	Oxid uhličitý	CO <sub>2</sub>	1
	R1270	Propylen	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	2

Tab. 2.2 Chladiva s negativním vlivem na oteplování Země [9]

## 2 Systémová řešení tepelných čerpadel

Velký vliv na konstrukci a vlastnosti tepelného čerpadla má zvolený nízkopotenciální zdroj. Existuje několik tepelných čerpadel, které rozdělujeme podle toho, jaký zdroj nízkopotenciálního tepla využívají a podle druhu ohřívaného média. Tepelná čerpadla se rozdělují na systémy:

- vzduch-voda
- vzduch-vzduch
- země-voda (zemní plošný kolektor)
- země-voda (vrt)
- voda-voda

### 2.1 Tepelné čerpadlo vzduch-voda

Tepelné čerpadlo systému vzduch-voda využívá nízkopotenciální teplo přímo z okolního vzduchu. Proto je jejich aplikace velmi jednoduchá, protože nepotřebují pro svoji funkčnost zemní kolektor nebo vrt. Jejich pořízení je levnější a jejich provozní náklady jsou menší než u plynových nebo elektrických kotlů.

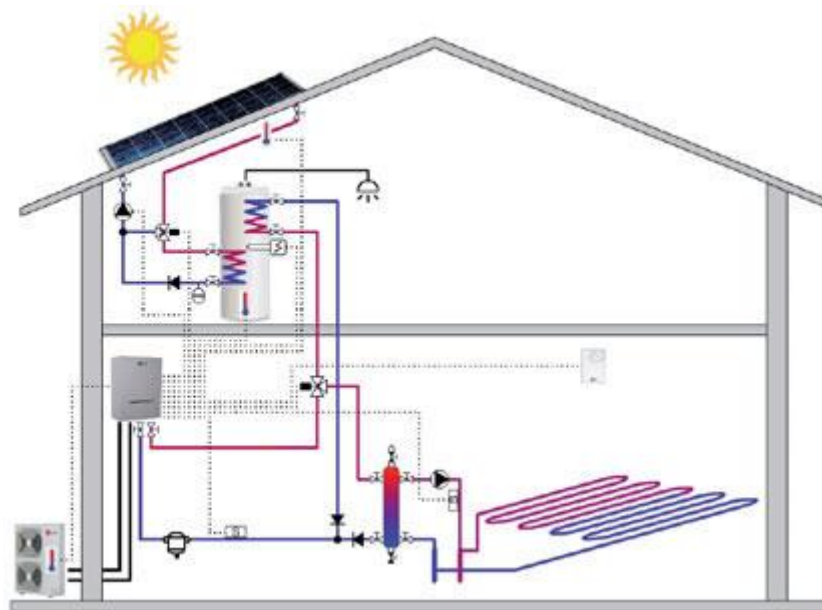
Tepelné čerpadlo vzduch-voda nemá příliš velkou účinnost a výkon v chladných zimních měsících, kdy venkovní teplota klesá. Velký vliv na účinnost má také vlhkost vzduchu, pokud je vzduch chladný a má i malou vlhkost, potom energie ve vzduchu je málo. Naopak v teplejších měsících, kdy je podzim nebo jaro, má tepelné čerpadlo vzduch-voda lepší účinnost a výkon jako systém země-voda. Proto se tepelné čerpadla vzduch-voda spíše používají v mírných oblastech, kde nedochází k velkému poklesu teplot nebo jako sezóní ohřev bazénů.

Princip tepelného čerpadla vzduch-voda využívá ventilátor k ohřevu chladiva ve výparníku, viz první kapitola, jeho konstrukce bývá nejčastěji rozdělená (nenašel jsem statistiku, která by to dokazovala). Výparník se nachází ve vnějších prostorech u domu Obr. 9 a kompresor s kondenzátorem se nachází v rodinném domě, tzv. split jednotka. U této konstrukce je důležitá tepelná izolace potrubního vedení propojující tyto dvě části. Tepelné čerpadlo lze kombinovat se střešními solárními kolektory. Schéma takového řešení je na obrázku Obr. 10. Ještě lepší účinnosti dosáhneme, když jako otopný systém zvolíme

podlahové topení. Použitím podlahového topení vytápíme celou místnost stejnoměrně na rozdíl od radiátorů. Další výhodou je, teplo z podlahového topení sálá, a hovoříme tedy o nízkoteplotním vytápění. U radiátorů je přenos tepla prouděním – neefektivní a navíc je musíme otáčet na vyšší teplotu. [2] [10] [11]



Obr. 9 – Umístění venkovní části tepelného čerpadla vzduch-voda [12]



Obr. 10 – Schéma tepelného čerpadla vzduch-voda v kombinaci solárních kolektorů [10]

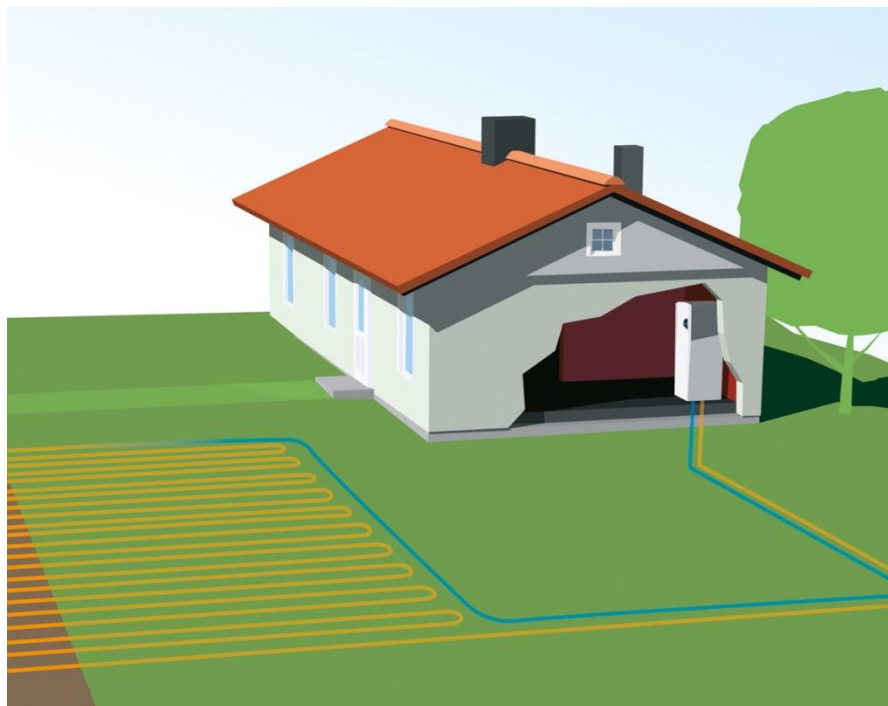


## 2.2 Tepelné čerpadlo vzduch-vzduch

Má stejný příjem nízkopotenciálního tepla jako tepelné čerpadlo vzduch-voda. Získanou energii v podobě tepla ale už nepředává topné vodě, nýbrž přímo vzduchu uvnitř objektu. Tento typ tepelného čerpadla je účinnější, protože dochází o jednu tepelnou výměnu méně a jeho pořizovací a provozní náklady jsou velmi malé. Používá se jako doplňující zdroj vytápění k plynovému nebo elektrickému kotli. Tím dokáže snížit spotřebu plynu nebo elektrické energie a ušetří nemalé částky.

## 2.3 Tepelné čerpadlo země-voda (plošný kolektor)

U tohoto typu dochází k získávání nízkopotenciálního tepla z povrchu země Obr. 11. Do země se instaluje plošný kolektor tvořený plastovým potrubím, který je naplněn nemrznoucí směsí. Tyto směsi jsou na bázi etylalkoholu, glycerínové, monoethylenglykoru, atd. Tak přivádí teplo do výparníku, kde otepluje chladivo. Kolektor je umístěn do výkopu od 1m do 1,5m. Dosažitelný výkon se udává u zemního kolektoru v mezích od 20 do 25 W.m<sup>-2</sup>. Potřebná délka kolektoru na 1kW výkonu tepelného čerpadla se udává od 40 do 160m. Velmi závisí na vlastnostech půdy. Půda funguje jako akumulátor, která během letního období akumuluje sluneční energii, tuto energii my potom čerpáme v zimním období.



Obr. 11 – Tepelné čerpadlo země-voda s plošným zemním kolektorem

Tepelné čerpadlo země-voda je charakteristické svojí velkou účinností a vysokým topným faktorem. Jejich pořizovací cena je o něco dražší než u systému vzduch-voda, ale to nám vyváží účinnost a výkon tepelného čerpadla. Dále se obejdeme bez jiných topných systému na tuhá paliva, plyn či elektrickou energii a jsme tak zcela nezávislí.

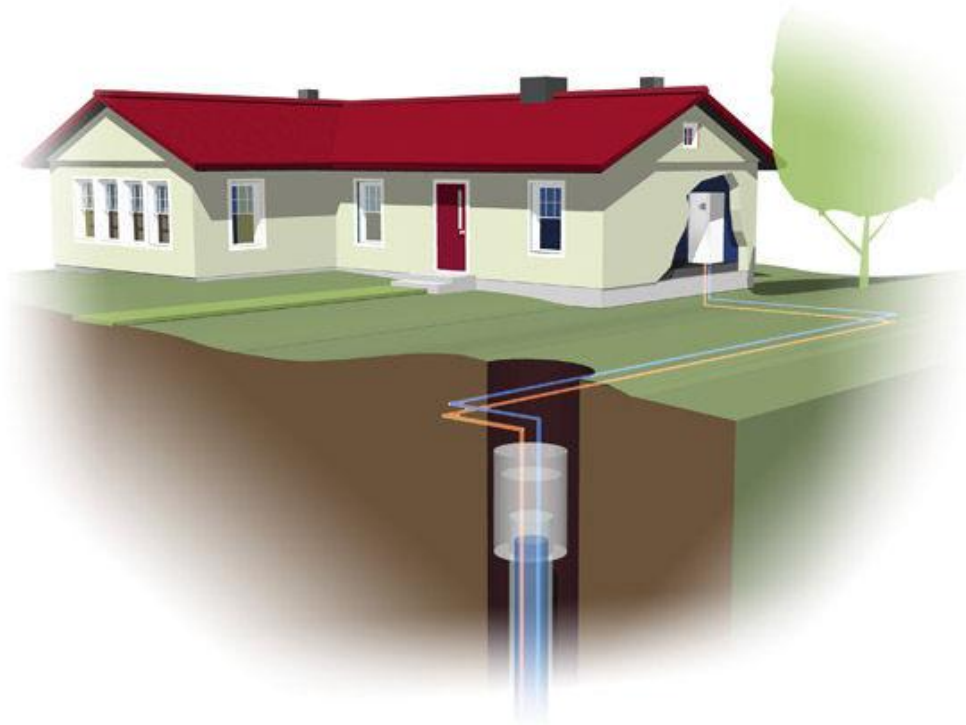
Pro realizaci tepelného čerpadla s plošným kolektorem potřebuje poměrně velkou plochu pozemku. Pokud jsme omezeni prostorem, lze volit úspornější variantu realizací slinkami Obr. 12. Tepelné čerpadlo je v jednotné konstrukci umístěno v rodinném domu. [2] [10] [11]



*Obr. 12 – Kolektor realizovaný slinkami*

## **2.4 Tepelné čerpadlo země-voda (vrt)**

K příjmu nízkopotenciálního tepla se využívá geotermální teplo. Vertikální zemní kolektor je vložen do hlubokého vrtu o průměru 12 až 16cm, Obr. 13. Pro větší výkon je možné použití několika vrtů, avšak platí podmínka, že vrty by měli být od sebe vzdáleny minimálně 5 až 10m. Lépe je zvolit jeden hlubší, protože od 10m je teplota ve vrtu po celý rok stabilní. Na 1kW výkonu tepelného čerpadla potřebujeme ca 10 až 18m hloubky vrtu.



*Obr. 13 Tepelné čerpadlo země-voda s vrtem*

Tepelná čerpadla s horizontálním kolektorem jsou velmi výkonově stabilní a mají nejlepší topný faktor ze všech tepelných čerpadel. Jejich provozní náklady jsou výrazně levnější než u tepelných čerpadel vzduch-voda. Další výhodou je jejich nenáročnost na plochu pozemku, tím že vrtáme do země, a vrt zabere pouze  $1\text{m}^2$  plochy.

Největším problémem je však pořizovací cena a realizace vrtu. Pro vyhloubení vrtu jsou také nutná specifická stavební povolení pro hloubkové vrty. Možné je využít specializovanou firmu, která za nás vyřídí veškerou administrativu a vyhloubá vrt.

Pokud při vrtání narazíme na spodní vody, je lepší upustit od projektu tepelného čerpadla země-voda a realizovat tak systém voda-voda. Získáme lepší účinnost čerpadla a ušetříme za hloubení vrtu. [2] [10] [11]

## 2.5 Tepelné čerpadlo voda-voda

Tepelná čerpadla typu vodo-voda využívají jako nízkopotenciální zdroj tepla spodní vody nebo ne tolik využívané vodní plochy nebo toky. Tento typ je také vhodný využívat ve větších objektech, kde vzniká odpadní teplo z technologických procesů. Proto se s tímto typem moc neseťkáváme u rodinných domů. Jsou zde také kladeny velké nároky na kvalitu vody.

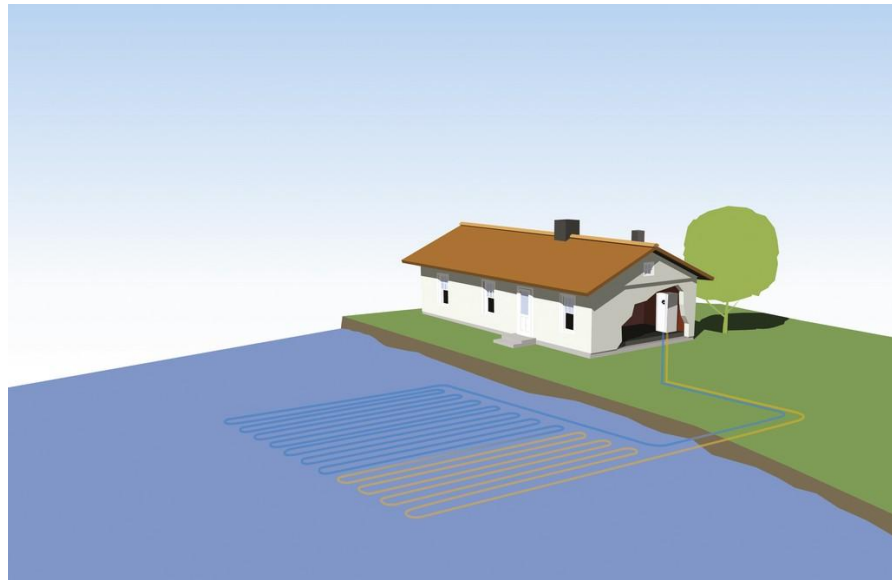
U využití spodních vod musíme mít dvě studny, zdrojovou, ze které odebíráme spodní vody a vsakovací studnu pro vypouštění ochlazené vody Obr. 14. V tomto systému musíme také zajistit potřebný průtok vody, aby nedocházelo k zamrznutí vody ve výparníku. Tím by došlo k poškození tepelného čerpadla. Potřebný průtok se vypočte, pokud víme požadovaný výkon čerpadla. Zdrojová studna musí mít bohatý podzemní zdroj, to především přes zimní období, kdy je období sucha. [2] [10] [11]



Obr. 14 – Tepelné čerpadlo voda-voda (spodní voda)

Realizace takových studen je opět nákladná obdobně jako při hloubení vrtu a potřebujeme stavební povolení. To zase vyvažuje stabilní výkon a vysoký topný faktor.

U využívání vodních ploch nebo toků potřebujeme v blízkosti objektu nebo rodinného domu mít nějakou vodní nádrž nebo říčku Obr. 15. Do vody se instaluje plošný kolektor, který je uzavřený a naplněný nemrznoucí kapalinou, obdobně jako u tepelného čerpadla země-voda. Výhoda takového řešení oproti systému se spodní vodou a dvěma studnami je, že nehledíme na kvalitu vody, protože se jedná o uzavřený systém.



*Obr. 15 – Tepelné čerpadlo voda-voda (vodní plocha)*

Pro stabilní výkon a vysoký topný faktor je potřebná a stabilní hladina nádrže, při poklesu hladiny se snižuje teplota dna, kde máme uložený kolektor a tím klesá účinnost tepelného čerpadla.

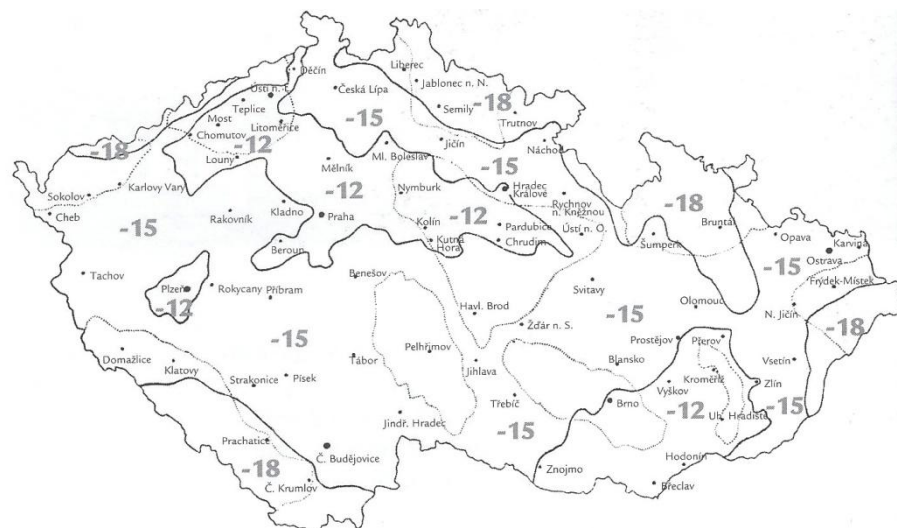
Pro realizaci tepelného čerpadla voda-voda je nutné získat povolení od správce vodního toku nebo nádrže. Protože po aplikaci tepelného čerpadla dochází k ochlazení nádrže nebo vodního toku. Toto ochlazení nesmí překročit určitou mez, kvůli ochraně fauny a flory žijící ve vodě. Proto je velmi obtížné získat takové povolení.

### 3 Návrh tepelného čerpadla a jeho dimenzování

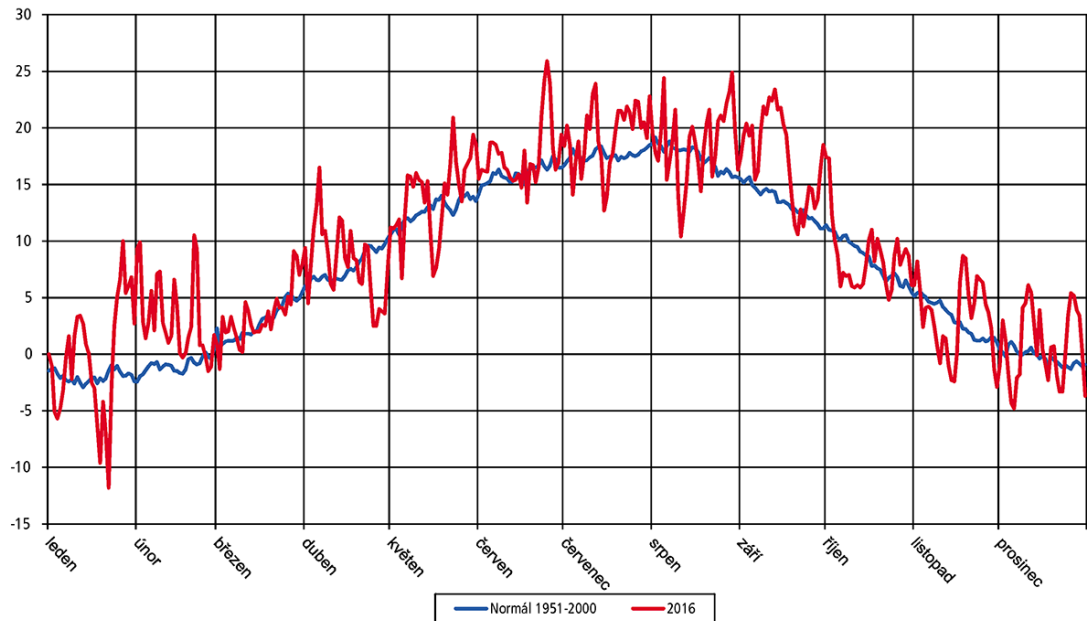
Návrh a dimenzování tepelného čerpadla je závislé na několika faktorech. Největším faktorem je tepelná ztráta objektu, dále výběr tepelného čerpadla podle jeho provozu. Tepelná ztráta objektu se vyjadřuje v kW a je základem pro návrh tepelného čerpadla. Důležitá je také celková roční energetická bilance.

#### 3.1 Tepelná ztráta objektu

Výkon tepelné soustavy a zdroj tepla se dimenzuje na 20°C, která odpovídá standartu pokojové teploty (každý další stupeň navíc představuje 6% výkonu zdroje) i za podmínek, že venkovní teplota je rovna výpočtové -15°C. Pro výpočet tepelné ztráty se projektanti řídí podle teplotní mapy Obr. 16. Výpočty jsou dle normy ČSN 06 0210. Proto je možné, že dva stejné typy domů, ale každý v jiné lokalitě, budou mít rozdílné tepelné ztráty. Do výpočtu se zahrnuje vytápěná plocha objektu, ale také materiál použitý pro stavbu, druh oken a to jak byl postaven. Je však nutné si uvědomit, že není potřeba dimenzovat výkon tepelného čerpadla na 100% tepelných ztrát u bivalentního provozu. Podle grafu (Obr. 17) je zřejmé, že počet dní, kdy klesne teplota k mínus 15°C je jen několik do roka. Proto stačí dimenzovat výkon čerpadla na 70-80% tepelných ztrát. Ušetříme tím výrazně při investování do tepelného čerpadla, protože úspory při 100% pokrytí ztrát nevyváží počáteční investování.



Obr. 16 – Teplotní mapa ČR



Obr. 17 – Graf ročních teplot

Pro monovalentní provoz, kdy je zdrojem vytápění pouze tepelné čerpadlo musíme výkon dimenzovat na 100% pokrytí tepelných ztrát. Pokud ještě připojíme k systému ohřev TUV, může být tento výkon i vyšší. Tato varianta je výhodná pokud máme k dispozici nízkopotenciální zdroj tepla o vysoké teplotě a v dostatečném množství, poté není potřeba velkých drahých tepelných výměníků.

### 3.2 Výpočty celkové tepelné ztráty rodinného domu

Celková tepelná ztráta je dána součtem tepelné ztráty prostupem a tepelné ztráty větráním podle vzorce (2). [13]

$$Q_C = Q_P + Q_V \text{ [W]} \quad (2)$$

$Q_P$ ... Tepelné ztráty prostupem [W]

$Q_V$ ...Tepelné ztráty větráním [W]

$$Q_P = \sum_{j=1}^n U_j \cdot S_j \cdot (t_i - t_e) \text{ [W]} \quad (3)$$

$U$ ... Součinitel prostupu tepla [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

$S$ ... Plocha ochlazované konstrukce [ $\text{m}^2$ ]

$t_i$ ... Výpočtová vnitřní teplota [K]

$t_e$ ... Výpočtová venkovní teplota [K]

$$Q_V = 1300 \cdot V_V \cdot (t_i - t_e) \text{ [W]} \quad (4)$$

$$V_V = (n_h/3600) \cdot V_m \quad (5)$$

$V_V$  ... Objemový to větraného vzduchu [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$V_m$  ... Vnitřní objem větraného prostoru [ $\text{m}^3$ ]

$n_h$  ... intenzita výměny vzduchu [ $\text{h}^{-1}$ ]

### 3.3 Výpočet roční spotřeby tepla pro domácnost

Vychází z tzv. deňostupňové metody a je součtem potřeby tepla na vytápění a ohřev TUV.

$$Q_C = Q_{TOP} + Q_{TUV} \text{ [W]} \quad (6)$$

$Q_{TOP}$ ... Teplo potřebné pro vytápění [W]

$Q_{TUV}$ ... Teplo pro ohřev TUV [W]

Vypočet potřeby tepla pro topení:

$$D = d \cdot (t_{im} - t_{em}) \text{ [deňostupňů]} \quad (7)$$

$d$  ... Počet dní topné sezóny [261]

$t_{im}$  ... Průměrná vnitřní teplota [ $20^\circ\text{C}$ ]

$t_{em}$  ... Průměrná venkovní teploty topné sezóny [ $3,6^\circ\text{C}$ ]

To se rovná 4280,4 [deňostupňů].

$$Q_{TOP} = (24 + Q_H + D) / (t_i - t_e) \text{ [kWh/rok]} \quad (8)$$

$Q_H$ ... Tepelná ztráta objektu [kW]

$t_i$ ... Výpočtová vnitřní teplota [ $^\circ\text{C}$ ]

$t_e$ ... Výpočtová venkovní teplota [ $^\circ\text{C}$ ]

Výpočet potřeby tepla pro ohřev TUV se používá norma ČSN 06 0320. Počítá se se spotřebou teplé vody  $0,082\text{m}^3/\text{den}$  pro 1 osobu, čemuž odpovídá spotřeba tepla  $4,3\text{ kWh/osobu za den}$ . [13]



$$Q_{TUV} = 4,3 \cdot o \cdot D \quad (9)$$

o...počet osob

D...počet dní v roce

### 3.4 Bod bivalence a provoz tepelných čerpadel

Bod bivalence nastává tehdy, když už výkon tepelného čerpadla není schopno pokrýt tepelné ztráty rodinného domu nebo jiného objektu. Proto jsou tepelná čerpadla dimenzována s ohledem na nastavení bodu bivalence a provozu tepelného čerpadla.

#### 3.4.1 Bivalentní provoz tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo je dimenzováno na hodnotu bivalentního bodu. To znamená, že ve většině topné sezony výkon topného čerpadla vystačí pokrýt tepelné ztráty rodinného domu. Tedy pokrývá většinovou část tepelných ztrát. Na tu druhou zbývající menší část, když teploty klesnou k minus 15°C, a výkon tepelného čerpadla již nestačí, používá se jiný zdroj tepla, např. elektrokotel, který pokrývá 100% tepelných ztrát. Elektrokotel již u některých typů tepelných čerpadel bývá vestavěn. Elektrokotel spíná jen zřídka při velkém poklesu venkovních teplot, proto nenarušuje ekonomiku provozu tepelného čerpadla. Důvodů pro bivalentní chod je hned několik – ušetříme při počáteční investici, snižuje intervaly zapínání tepelného čerpadla, tedy prodlužuje životnost a slouží jako záložní zdroj tepla při odstavení tepelného čerpadla. Krytí spotřeby tepla při různých výkonech tepelných čerpadel udává tab. 3.1. To znamená v praxi, že většina systémů pracuje v bivalentním chodu. Instalovaný tepelný výkon tepelného čerpadla je nižší, než je potřeba.

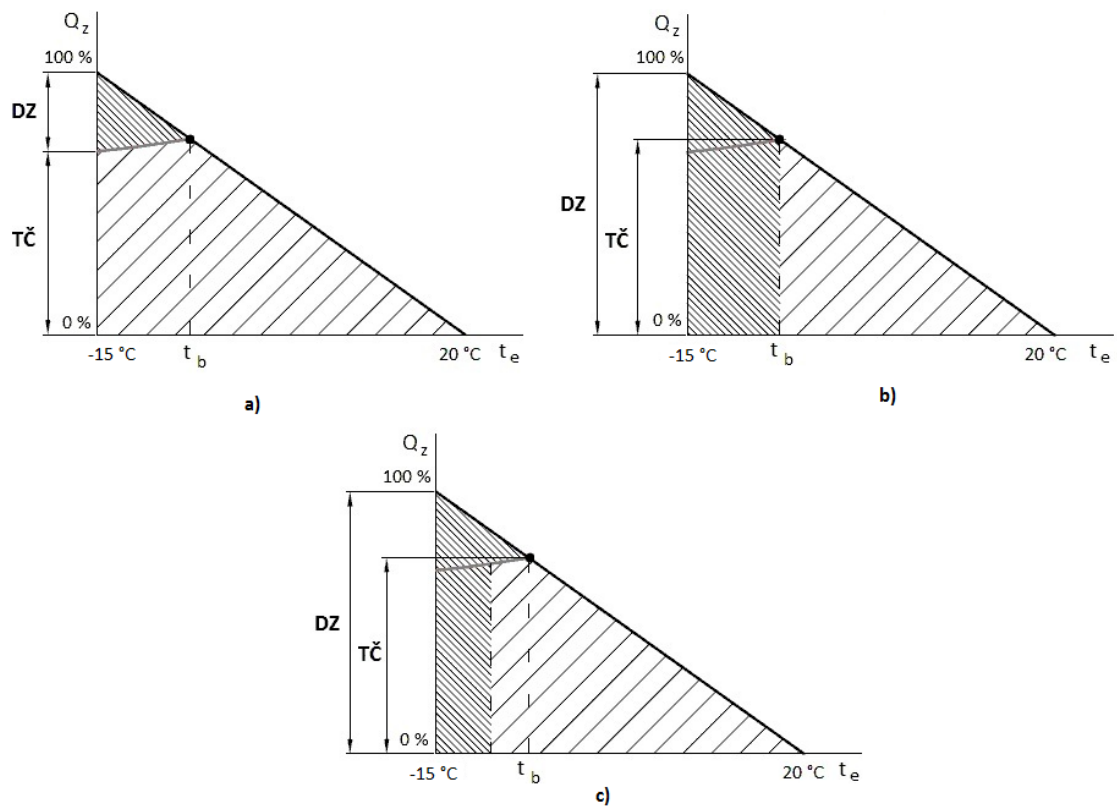
Podíl TČ (%)	0	30	40	45	50	55	60	65	70	80	90	100
Krytí spotřeby (%)	0	61	72	78	82	86	89	91	93	96	98	100

Tab. 3.1 – Krytí spotřeby tepla při různých výkonech tepelných čerpadel[2]

Podíl tepelného čerpadla je poměr výkonu tepelného čerpadla a tepelné ztráty objektu.

Krytí spotřeby je podíl tepelné energie dodané do objektu tepelným čerpadlem.

Bivalentní provoz je rozdělen dále podle činnosti tepelného čerpadla pro překročení bivalentního bodu. Jsou to paralelně bivalentní, dále alternativně bivalentní a bivalentně částečně paralelní, kdy jeho provozy jsou patrné na Obr. 18 a) b) c)

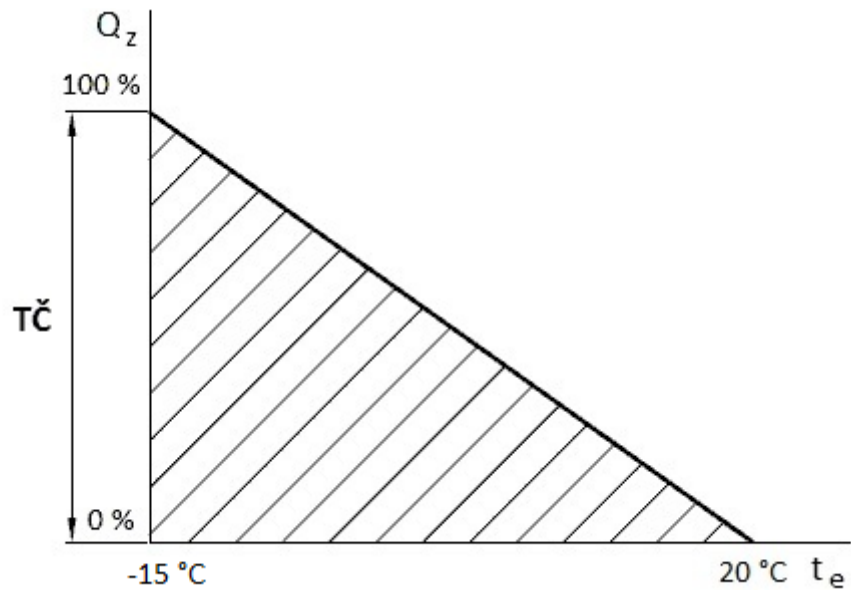


Obr. 18 – a) paralelně bivalentní, b) alternativně bivalentní c) bivalentně částečně paralelní[14]

Teplota bivalence je na diagramech označena jako  $t_b$ . Po překročení této hodnoty se spíná doplňující zdroj tepla.

### 3.4.2 Monovalentní provoz tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo pracuje samostatně bez jiných doplňujících tepelných zdrojů. Výkon tepelného čerpadla je dimenzován na pokrytí 100% tepelných ztrát rodinného domu Obr. 19.



Obr. 19 – Monovalentní provoz tepelného čerpadla[14]

## 4 Porovnání tepelných čerpadel země-voda x vzduch voda

Obecně je známo, že tepelné čerpadlo země-voda, popřípadě voda-voda, jsou nejúčinnější tepelná čerpadla. Jejich průměrná účinnost se pohybuje kolem 3,5 až 4,5. U tepelných čerpadel systému vzduch-voda se účinnost pohybuje kolem 3 až 4,2. Na první pohled to nejsou velké rozdíly, je nutné si uvědomit ale fakt, že tepelné čerpadlo si pořizujeme jako zdroj vytápění na několik desítek let. A dále musíme započítat počáteční investici.

### 4.1 Provozní náklady

Při porovnání zařízení pro vytápění domu (Tab. 4.1) je rozdíl v ročních nákladech mezi tepelnými čerpadly pouze 4 700 Kč. Tato částka není až tak závratná. Mnohem důležitější je, že oba systémy tepelných čerpadel šetří značnou část z původních nákladů při vytápění domu elektrokotlem nebo plynovým kotlem. Nenahrazujeme tepelné čerpadlo jiným tepelným čerpadlem, nýbrž elektrické tepelné vytápění nebo plynové vytápění. A zde už úspora nákladů od těch původních je značná.

Další úsporu tvoří změna ceny elektrické energie. Pro vytápění domácnosti tepelným čerpadlem nabízejí energetické společnosti zvýhodněné tarify pro celou domácnost a všechny elektrické spotřebiče.

Pro názornost ročních nákladů pro vytápění rodinného domu s tepelnou ztrátou 16 kW a ohřevem TUV poslouží níže uvedená Tab. 4.1.

	Tepelné čerpadlo země/voda	Tepelné čerpadlo vzduch/voda	Elektrokotel a krbová vložka	Kondenzační plynový kotel
Náklady na vytápění	16 800,-	19 500,-	44 500,-	36 500,-
Náklady na ohřev vody	3 300,-	3 900,-	9 800,-	6 500,-
Ostatní elektřina v domě	9 500,-	9 500,-	9 500,-	17 000,-
Náklady na dřevo	-	-	5 000,-	-
Paušální platba za plyn	-	-	-	1 300,-
Paušální platba za elektřinu	6 500,-	7 900,-	7 900,-	1 900,-
Roční revize a prohlídky	-	-	2 000,-	2 000,-
<b>CELKEM</b>	<b>36 100,-</b>	<b>40 800,-</b>	<b>78 700,-</b>	<b>65 200,-</b>

Tab. 4.1 – Náklady pro vytápění RD a ohřev TUV[15]

## 4.2 Pořizovací náklady

Pořizovací náklady pro realizaci tepelného čerpadla v rodinném domě se velmi liší. Velmi však ovlivňují návratnost celé investice.

U systému vzduch-voda jsou počáteční investice výrazně menší. Zaplatíme pouze tepelné čerpadlo a jeho instalaci. Na rozdíl od tepelných čerpadel země-voda nepotřebujeme hloubit vrt, který stojí téměř 50% z celkových nákladů nebo kopání zemního kolektoru.

Další výhodou jsou tepelná čerpadla vzduch-voda s invertorovou technologií, a monovalentním chodem. Jsou to čerpadla dimenzována na 100 % tepelných ztrát rodinného domu. Invertorové tepelné čerpadlo snižuje svůj výkon podle potřeby, vzniká výhodnější poměr vstupních a výstupních hodnot a tím zvyšuje svojí účinnost. Nezvyšujeme tedy pořizovací náklady koupí jiného zdroje, např. elektrokotle, pro dotápění rodinného domu.

V tab. 4.2 máme porovnání pořizovacích nákladů pro jednotlivá systémová vytápění rodinného domu s tepelnou ztrátou 16kW.

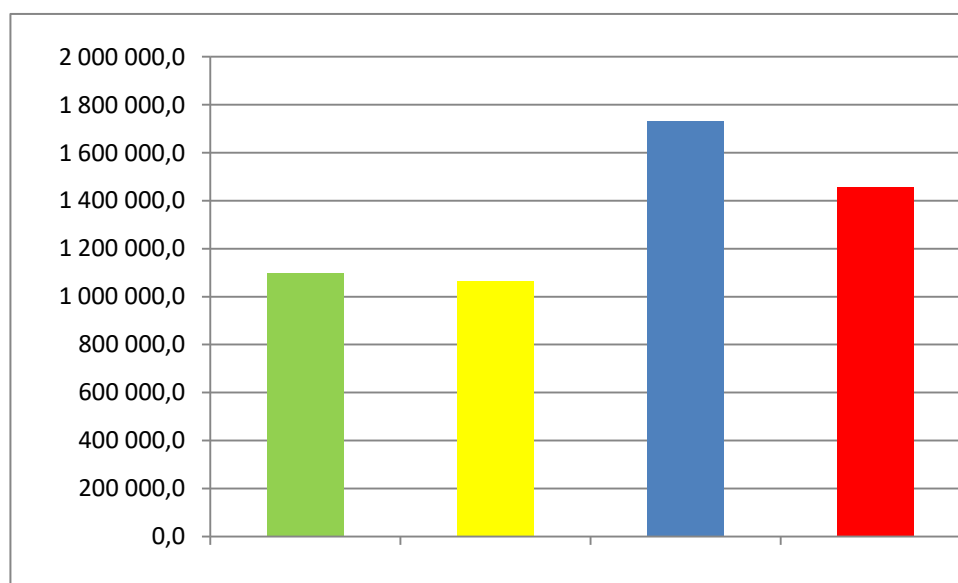
	Tepelné čerpadlo země/voda	Tepelné čerpadlo vzduch/voda	Elektrokotel a krbová vložka	Kondenzační plynový kotel
Hlavní zdroj tepla	201 000,-	219 000,-	25 000,-	50 000,-
Zásobník teplé vody	28 000,-	V ceně	10 000,-	15 000,-
Montáž, revize plynu a elektro	39 000,-	29 000,-	12 000,-	16 000,-
Plošný kolektor	105 000,-	-	-	-
Plynofikace pozemku a domu, projekt plynu	-	-	-	40 000,-
Odkouření kotle nebo komín	-	-	30 000,-	30 000,-
Kotel, připojení na topení	-	-	80 000,-	-
<b>Celkem</b>	<b>373 000,-</b>	<b>248 000,-</b>	<b>157 000,-</b>	<b>151 000,-</b>

Tab. 4.2 – Pořizovací náklady tepelného čerpadla[15]

### 4.3 SWOT analýza

	Tepelné čerp. země/voda	Tepelné čerp. vzduch/voda	Elektrokotel a krbová vložka	Kondenzační plynový kotel
náklady za období 20ti let	722 000,0	816 000,0	1 574 000,0	1 304 000,0
pořizovací náklady	373 000,0	248 000,0	157 000,0	151 000,0
Cena celkem	1 095 000,0	1 064 000,0	1 731 000,0	1 455 000,0

Tab. 4.3 – Celkové náklady za 20 let



Graf 2 – Grafické znázornění nákladů jednotlivých druhů vytápění

Z předchozích tabulek jsem si vypočítal celkové náklady za období 20ti let. Z grafu je patrné, že náklady obou tepelných čerpadel jsou téměř stejné. Když porovnáme náklady tepelného čerpadla země-voda a elektrokotle, celkový rozdíl je 636 000 Kč.

### 4.4 Návratnost

V předchozích tabulkách lze vyčíst, že tepelná čerpadla jsou velmi finančně náročná na zařízení než např. elektrokotel a krbovou vložkou. Ovšem provoz tepelných čerpadel a roční náklady jsou o téměř 50 % nižší u jiných zdrojů vytápění. Době, za kterou se nám vyšší počáteční investice vyplatí, říkáme návratnost. U tepelných čerpadel je návratnost kolem 3 až 5 let. A s rostoucími cenami za energie a paliva tato návratnost ještě klesá.

Vzorec pro návratnost NPV je:

$$NPV = \sum_0^T \frac{CF}{(1+r)^T} \quad (10)$$

T...doba životnosti

r...diskontová míra

CF...generovaný peněžní tok v daném roce

## 5 Případové studie pro rodinný dům

### 5.1 Zadání

Vytvořit případové studie vytápění rodinného domu s tepelným čerpadlem země-voda a vzduch-voda a následně tyto studie porovnat. Víme, že rodinný dům má tepelné ztráty 10,4 kW a celkovou roční spotřebu 23 760 kWh. Vzhledem k rozsáhlé zahradě je možno u systému země-voda realizovat zemní kolektor.

### 5.2 Varianta země-voda

Z řady tepelných čerpadel jsem vybral pro daný objekt nejvhodnější tepelné čerpadlo IVT Greenline E9 HE systému země-voda. Tepelné čerpadlo je vybaveno vestavěným elektrokotlem, oběhovými čerpadly a dalšími armaturami, takže zabírá v objektu minimum prostoru (rozměry 60x65x155cm). Díky vestavěným pružným hadicím, kompresoru Mitsubishi Scroll s protihlukovým krytem a kvalitní zvukovou izolací pláště má toto tepelné čerpadlo velmi nízkou hlučnost. Kompresor Mitsubishi Scroll je již z nové generace kompresorů s životností až 30 let, špičkovou účinností a výstupní teplotou až 65°C.

Výkon čerpadla E9 HE je 8,2 kW, příkon 2,5 kW a topný faktor 3,3 v režimu radiátorovém vytápění 0/45 °C. Tímto výkonem pokryje tepelné čerpadlo celoroční potřebu rodinného domu ve výši 97 % a uspoří energii cca 16 500 kWh. Tepelné čerpadlo je doplněné o elektrokotel o výkonu 6 kW. Jedná se o bivalentní chod, kdy tepelné čerpadlo dopomáhá tepelnému čerpadlu ve zbylých 3 %.

Teplá voda může být rovněž zajišťována tepelným čerpadlem – externím dvouplášťovým bojlerem IVT D200 nebo D300 podle objemu zásobníku. Skříň bojleru je stejná jako skříň tepelného čerpadla.

Ke komfortu obsluhy a nízkým provozním nákladům přispívá i ekvitermní regulace REGO 1000. Tato regulace byla vyvinuta přímo pro tepelná čerpadla IVT a zajišťuje proměnlivý výkon v závislosti na venkovním počasí. Tzn., nepřetápí zbytečně místnosti v teplejším období a naopak zajišťuje dostatek energie v období zimy. Regulátor komunikuje v českém jazyce a umožňuje ekvitermní řízení 2 topných okruhů (radiátory a podlahové topení), ohřev TUV na 65°C, automatické zapnutí vestavěného elektrokotle pro temperaci při poruše tepelného čerpadla, registraci poruch pro jejich snadné odstranění a mnoho dalších funkcí pro snadnou obsluhu.

Pro získání nízkopotenciální energie se realizoval plošný zemní kolektor. Tento kolektor byl navržen o délce 405 metrů (plocha cca 380 m<sup>2</sup>, odstup hadic 1 m, hloubka výkopu 1,2 m). Při dimenzování kolektoru byla ve výpočtech zohledněna také spotřeba 4000 kWh pro ohřev TUV pro 4 osoby. Výkopy byly provedeny rýhovačem Vermeer, a proto nedošlo k velkému poškození nebo poničení zahrady výkopovými pracemi viz. Obr. 21. Kolektor je tvořen hadicí HDPE GT 40x3,7.

Energetická bilance:

Celková spotřeba energie topení + TUV je 23 760 kWh.

Pokrytí tepelné ztráty ...	87%
Teplo dodané tepelným čerpadlem...	97%
Teplo dodané dotopným zdrojem...	3%

Celková spotřeba elektřiny tepelného čerpadla a elektrokotle je 7 296 kWh. To dostáváme po odečtu od celkové spotřeby energetickou úsporu 16 463 kWh.

Celkové roční náklady jsou s vytápěním tepelného čerpadla země-voda 31 128 Kč.



Celková pořizovací cena tepelného čerpadla s externím zásobníkem TUV, včetně výkopů pro kolektor a všech prací až po uvedení tepelného čerpadla do provozu činí 341 545 Kč. Celkový rozpis položek a jejich cena je uvedena v příloze A

### 5.3 Varianta vzduch-voda

Jako druhá varianta je navrženo tepelné čerpadlo vzduch-voda. Z řady tepelných čerpadel systému vzduch-voda je pro vytápěný objekt nejvhodnější Mitsubishi Zuda-Dan 11. Standardní tepelné čerpadlo ztrácí při poklesu venkovní teploty svůj výkon, nahrazovaný elektrickým dohřevem. Tepelné čerpadlo Zuda-Dan garantuje téměř 100% výkon až do  $-15^{\circ}\text{C}$  a garantovaná oblast vytápění je až  $-25^{\circ}\text{C}$ . díky provedení „invertor“ zajišťuje plynulým řízením výkonu kompresoru v rozsahu 3-11 kW další úspory energií a prodlužuje jeho životnost. Výkon čerpadla při  $+7^{\circ}\text{C}$  je 11,2 kW a při venkovní teplotě  $-15^{\circ}\text{C}$  je 10,0kW.

Venkovní jednotka se může umístit až do vzdálenosti 70m od objektu, nejčastějším řešením je zavěšení konzole na fasádu RD nebo na nastavitelné stojiny vedle RD. Pro každé vzduchové tepelné čerpadlo musí být zajištěn odvod kondenzátu. Defrostace trvá pouze 3 minuty v čase jednou za 150 minut a odteče až 12 litrů vody. Nejlépe se osvědčil v praxi samovolný odtok pod tepelným čerpadlem, kde nehrozí zamrznutí kondenzátní vany. Minimální výška TČ nad terénem je 40cm. Aby se zabránilo vzniku ledovky v okolí TČ, řeší se podle možností umístění TČ nad šterkovým vsakovacím ložem nebo poblíž kanalizace, kam lze odvod kondenzátu svést (při zaručení podmínek nezámrznosti potrubí).

Pro případ záložního zdroje vytápění by zůstal zachován stávající kotel na tuhá paliva. Ten by fungoval pouze jako záloha, nikoliv jako pomocný zdroj.

Pro ohřev TUV tepelným čerpadlem se používají speciální dvouplášťové nerezové bojler. Voda je dohřívána po celý den na  $53^{\circ}\text{C}$ . Pro větší teplotu jsou do systému zařazeny elektrokotle. Nastavení a ovládání se provádí pokojovým termostatem Siemens.

Roční provozní náklady domu s tepelným čerpadlem vzduch-voda jsou 35 341 Kč. Celková pořizovací cena tepelného čerpadla s ohřevem TUV činí 313 514 Kč. Roční celkové provozní náklady lze očekávat vyšší než u systému vzduch-voda. Celkový rozpis položek a jejich cena je uvedena v příloze B.

## 5.4 Porovnání variant země-voda x vzduch voda

Výkonnostně byla tato tepelná čerpadla navržena tak, aby bylo zajištěno pokrytí celkové roční tepelné spotřeby rodinného domu a byl zajištěn ohřev TUV.

Pořizovací cena tepelného čerpadla země-voda je o 27 614 Kč dražší než cena tepelného čerpadla vzduch voda. Roční provozní náklady má o 4 213 Kč levnější tepelné čerpadlo země-voda.

## 5.5 Realizovaná varianta tepelného čerpadla země-voda

Investor je rozhodl pro realizaci varianty tepelného čerpadla země-voda a díky jeho pečlivosti zapisuje, od pořízení tepelného čerpadla, měsíční spotřeby elektrické energie. Proto mohu provést porovnání roční spotřeby elektrické energie před instalací a po instalaci tepelného čerpadla.

Pro výpočet průměrné roční spotřeby celé domácnosti včetně vytápění a ohřevu TUV mi poslouží tab. 5.2 (Příloha C) s měsíčními hodnotami spotřeby elektrické energie v kWh.

V období od roku 2005 do roku 2009 nemám k dispozici měsíční hodnoty, ale víme celkové roční spotřeby. Dále je v tabulce patrné, že nezapočítávám do průměru hodnotu z období 2014-2015. To proto, že byl přiučpaný výměník a roční spotřeba byla 17 310 kWh.

Ze získaných průměrů mohu porovnat roční náklady před instalací tepelného čerpadla a po instalaci tepelného čerpadla. Pro výpočty jsem použil aktuální ceník společnosti ČEZ. Při změně zdroje vytápění tepelným čerpadlem jsme získali výhodnější tarif.

Z tab. 5.3 je patrné, že roční náklady na energii stouply o 50 %. Vyčísleno v penězích o 20 707,7 Kč. Takto to ovšem nevypadá, že bychom něco ušetřili. Pojďme si tedy porovnat předchozí zdroj vytápění a tepelné čerpadlo.

			před instalací TČ Tarif - D26d	po instalaci TČ Tarif - D56d
distribuce	sazba	jednotky		
		<b>VT</b>	<b>2 919</b>	<b>1 339</b>
		<b>NT</b>	<b>3 868</b>	<b>13 912</b>
		<b>NT+VT</b>	<b>6 787</b>	<b>15 251</b>
	Jistič 25A	Kč/měsíčně	200,00	311,00
	VT	MWh	596,28	254,84
	NT	MWh	64,01	64,01
	Systémové služby	Kč/měsíčně	93,94	93,94
	OZE	Kč/měsíčně	495,00	495,00
	OTE	Kč/měsíčně	4,90	4,90
	Jistič 25A	Kč/rok	2 400,00	3 732,00
	VT	Kč/rok	1 740,54	341,23
	NT	Kč/rok	247,59	890,51
	Systémové služby	Kč/rok	637,57	1 432,68
OZE	Kč/rok	3 359,57	7 549,25	
OTE	Kč/rok	58,80	58,80	
		<b>8 444,07</b>	<b>14 004,46</b>	
silová elektřina		Kč/měsíčně	60,00	60,00
	VT	MWh	1 511,00	1 313,00
	NT	MWh	895,00	1 263,00
	daň	MWh	28,30	28,30
		Kč/rok	720,00	720,00
	VT	Kč/rok	4 410,61	1 758,11
	NT	Kč/rok	3 461,86	17 570,86
daň	Kč/rok	192,07	431,60	
		<b>8 784,54</b>	<b>20 480,57</b>	
<b>celkem</b>	<b>Kč</b>	<b>17 228,61</b>	<b>34 485,03</b>	
<b>celkem s DPH</b>	<b>Kč</b>	<b>20 674,33</b>	<b>41 382,03</b>	

Tab. 5.3 – Porovnání nákladů el. energie před instalací a po instalaci TČ

Staré vytápění bylo tvořeno kotlem na tuhá paliva. Roční spotřeba paliva, v našem případě briket, byla 8 tun (při aktuálních cenách briket 500 Kč za 100 kg), činní roční náklady 43 000 Kč, pokud počítám ještě dopravu 3 000 Kč.

Po sečtení všech nákladů před instalací tepelného čerpadla se dostáváme k celkovým ročním nákladům za vytápění, ohřev TUV a spotřebu el. energie na částku přibližně 64 000 Kč. Po odečtení ročních nákladů před a po instalaci tepelného čerpadla dostáváme, že každoročně ušetříme přibližně 23 000 Kč. Návratnost investice bude v tomto případě delší než obvykle, protože pořizovací cena je vyšší (předimenzování kolektoru, větší výkon elektrokotle z projektovaných 3kW na 6kW a zařízení zásobníku pro TUV) a předešlý zdroj vytápění nebyl například elektrokotel nebo plynový kotel, kde roční náklady jsou ještě vyšší.

## Závěr

Vytápění rodinných domů tepelnými čerpadly zažívá v dnešní době „Boom“. Proto je dobré se i o tomto trendu co nejvíce informovat. Materiálů a publikací již najdeme na internetu mnoho. I já jsem zde čerpal. V mé bakalářské práci se zabývám rozborem tepelných čerpadel od jejich počátků až po realizovaný projekt na konkrétním rodinném domě. V takovém rozsahu však do mé práce nebylo možné vše popsat, vysvětlit a zapsat.

Z první části bychom měli vědět, že tepelná čerpadla, nejsou zas takovou novinkou na trhu. Byla tady již od 80. let 20. století. Tepelné čerpadlo získává teplo z nízkopotenciálního zdroje a převádí „přečerpává“ ho na vyšší teplotní hladinu, za podmínky, že do tepelného čerpadla nejčastěji vkládáme také část elektrické energie. Poměr těchto energií nám udává topný faktor COP. Tepelná čerpadla dělíme na základní systémy země-voda, vzduch-voda a voda-voda.

Tepelná čerpadla jsou zařízení složená z několika částí. Těmi základními jsou kompresor, tepelné výměníky, redukční ventil a chladivo. Dále tam jsou pomocné systémy jako například oběhová čerpadla, ventilátory, regulační a řídicí jednotka, atd. Tepelné čerpadlo navrhujeme a dimenzujeme podle celkové energetické náročnosti pro vytápění a teplené ztráty objektu.

Takový návrh na konkrétní rodinný dům řeším v druhé polovině mé práce. Pro tento dům jsem vytvořil dvě studie. Jedna řeší vytápění tepelným čerpadlem země-voda a druhá tepelné čerpadlo vzduch-voda. Pro připomenutí byla pořizovací cena tepelného čerpadla země-voda o 27 614 Kč dražší než cena tepelného čerpadla vzduch voda a roční provozní náklady má o 4 213 Kč levnější tepelné čerpadlo země-voda.

Z výše uvedených výsledků vyplývá, že rozdíly mezi tepelnými čerpadly jsou malé. Svoje opodstatnění nachází tepelná čerpadla ve chvíli, kdy jejich provozní a pořizovací náklady srovnám s vytápěním pomocí elektrokotle nebo plynového kotle. Zde jsou velké úspory energií a financí při vytápění rodinného domu tepelným čerpadlem.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] ŽERAVÍK, Antonín. *Stavíme tepelné čerpadlo*. 1. vyd. Přerov. Vydáno vlastním nakladatel, 2003. 312 s.
- [2] SRDEČNÝ, Karel. TRUXA, Jan. *Tepelná čerpadla*. 1. vyd. Praha. EkoWATT, 2009. 70 s.
- [3] KARLÍK, Josef. *Tepelné čerpadlo pro váš dům*. vyd. 1. Praha: Grada Publishing a.s., 2009. 112 s.
- [4] SLOVÁČEK, Josef. *Tepelná čerpadla v souvislostech*. [online]. [cit. 16.4.2017]. Dostupné z www: <http://slideplayer.cz/slide/1982169/>
- [5] BLUETEAM, *Princip tepelného čerpadla*. [online]. [cit. 20.4.2017]. Dostupné z www: <http://tc.blueteam.cz/princip-tepelneho-cerpadla.html>
- [6] RYŠKA, Jiří. *Využití a princip funkce tepelného čerpadla*. [online]. [cit. 20.4.2017]. Dostupné z www: <http://www.tzb-info.cz/3634-vrty-do-horninoveho-masivu-zdroj-energie-pro-tepelna-cerpadla-ii>
- [7] DAVID, Petr. *Kompresory pro tepelná čerpadla*. [online]. [cit. 23.4.2017]. Dostupné z www: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13498-kompresory-pro-tepelna-cerpadla>
- [8] KUBÍN, Milan. HIRŠ, Jiří. *Ztrátový tepelný tok nerozebíratelného deskového výměníku do okolí*. [online]. [cit. 23.4.2017]. Dostupné z www: <http://www.tzbportal.sk/kurenie-voda-plyn/ztratovy-tepelny-tok-nerozebiratelneho-deskoveho-vymeniku-do-okoli.html>
- [9] KRAINER, Robert. DUDA, Jiří. *Chladiva používaná v tepelných čerpadlech* [online]. [cit. 27.4.2017]. Dostupné z www: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12647-chladiva-pouzivana-v-tepelnych-cerpadlech>
- [10] EKOMPLEX, *Tepelná čerpadla*. [online]. [cit. 27.4.2017]. Dostupné z www: <http://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-alternativni/tepelna-cerpadla.php>
- [11] VELIČKA, Marek. *Vytápění a klimatizace*. vyd.1. Ostrava. VŠB, 2013. 57 s.
- [12] JÍCHA, Zdeněk. *Podlahové topení/chlazení za užití tepelného čerpadla vzduch-voda*. [online]. [cit. 27.4.2017]. Dostupné z www: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/podlahove-topeni-chlazení-za-uziti-tepelneho-cerpadla-vzduch-voda/>
- [13] PANÁČEK, Jaromír. *Návrh tepelného čerpadla pro vytápění RD* [online]. [cit. 27.5.2017]. Dostupné z www: <https://core.ac.uk/download/pdf/30292068.pdf>
- [14] KRAINER, Robert. ŠOUREK, Bořivoj. *Postup při návrhu tepelných čerpadel* [online]. [cit. 27.5.2017]. Dostupné z www: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12401-postup-pri-navrhu-tepelnych-cerpadel>
- [15] IVT, *Tepelná čerpadla*. [online]. [cit. 29.5.2017]. Dostupné z www: <http://www.cerpadla-ivt.cz/cz/starsi-rodinny-dum-16-kw>

## Příloha A

Popis položek	Ks	Cena / jedn.	Celkem
<b>Tepelné čerpadlo IVT Greenline E9 HE s výbavou</b> - kompresor Mitsubishi Scroll - ekvitemní regulace Rego1000 s grafickým displejem - oběhová elektronicky řízená čerpadla WILO PARA - záložní elektrokotel 6kW	1	189 000,- Kč	189 000,- Kč
<b>Bojler DVB200FR</b>	1	28 000,- Kč	28 000,- Kč
<b>Doprava tepelného čerpadla a bojleru</b>	1	3 880,- Kč	3 880,- Kč
<b>Sleva v akci IVT Květen, Září, Prosinec</b>	1	-30 000,- Kč	-30 000,- Kč
<b>Nemrzoucí kapalina TL 440</b>	158	39,- Kč	6 162,- Kč
<b>Izolace primárního okruhu</b> - izolace KF 28x25 - izolační páska samolepicí KF - lepidlo KF - izolace Protectube Flexalen pro vstup kolektoru domem do tech.m.	8 1 1 4	212,- Kč 512,- Kč 247,- Kč 562,- Kč	1 696,- Kč 512,- Kč 247,- Kč 2 248,- Kč
<b>Materiál</b> - Cu potrubí 28,22mm - uzavírací a plnicí armatury - Cu tvarovky Viega press - expanzní nádoba 25 / 3	1	19 200,- Kč	19 200,- Kč
<b>Montážní práce</b> - montáž primárního okruhu s napouštěcí soustavou - montáž sekundárního okruhu s napojením na rozvody topení a vody - tlaková zkouška dodávaných rozvodů - koordinace s ostatními profesemi	1	9 900,- Kč	9 900,- Kč
<b>Elektroinstalace</b> - silové připojení zařízení, propojení regulace, propojení snímacích čidel - elektromateriál	1 1	2 500,- Kč 1 900,- Kč	2 500,- Kč 1 900,- Kč
<b>Spuštění tepelného čerpadla</b> - nastavení regulace - hydraulické vyregulování teplé a studené strany tepelného čerpadla - topná zkouška zdroje tepla - zaškolení obsluhy	1	5 500,- Kč	5 500,- Kč
<b>Zemní kolektor</b> - dodávka a pokládka hadice PE GT - zemní práce rýhovačem Vermeer v homině III - ruční zához	450	155,- Kč	69 750,- Kč
<b>Celkem bez DPH</b>			310 495,- Kč
<b>Celkem vč. 10% DPH</b>			341 545,- Kč

## Příloha B

Popis položek	Ks	Cena / jedn.	Celkem
<b>Tepelné čerpadlo Mitsubishi Zuda-Dan 11 s výbavou</b> - kompresor s frekvenčním měničem 30-100% - ekvitemní regulace Mitsubishi IF 031 - ovládací displej Mitsubishi W21 - pokojový termostat Siemens - filtrball	1	197 000 ,- Kč	197 000 ,- Kč
Konzole nastavitelná	1	4 215 ,- Kč	4 215 ,- Kč
Bojler ACV Smart SLE 240	0	32 000 ,- Kč	0 ,- Kč
Doprava tepelného čerpadla	1	2 770 ,- Kč	2 770 ,- Kč
<b>Propojení venkovní jednotky s výměníkem v kotelně</b> - izolace Kaimanflex - Cu kapilární potrubí - vyvakuování, naplnění chladivem - průraz, napojení výměníku	6	1 450 ,- Kč	8 700 ,- Kč
<b>Ostatní materiál</b> - Cu potrubí 28,22mm - oběhové čerpadlo WILO - uzavírací armatury - Cu tvarovky Viega press - ostatní drobný materiál - expanzní nádoba 25 / 3	1	19 200 ,- Kč	19 200 ,- Kč
<b>Montážní práce</b> - napojení výměníku na přívody vody a TUV - izolování primárního okruhu ( izol. KF, lepení, páska KF ) - tlaková zkouška dodávaných rozvodů - koordinace s ostatními profesemi	1	8 100 ,- Kč	8 100 ,- Kč
<b>Elektroinstalace</b> - silové připojení zařízení, propojení regulace, propojení snímacích čidel - elektromateriál	1 1	3 600 ,- Kč 2 100 ,- Kč	3 600 ,- Kč 2 100 ,- Kč
<b>Spuštění tepelného čerpadla servisem Mitsubishi</b> - zapojení a nastavení regulace - hydraulické vyregulování teplé a studené strany tepelného čerpadla - topná zkouška zdroje tepla - zaškolení obsluhy	1	6 600 ,- Kč	6 600 ,- Kč
<b>celkem bez DPH</b>			<b>252 285 ,- Kč</b>
<b>celkem vč. 10% DPH</b>			<b>277 514 ,- Kč</b>

Pro ohřev teplé vody nutno přičíst částku 36 000 Kč.

## Příloha C

Spotřeba elektrické energie celé domácnosti							
	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	leden	únor
<b>průměr</b>	<b>340</b>	<b>739</b>	<b>1 060</b>	<b>1 461</b>	<b>2 226</b>	<b>2 374</b>	<b>2 153</b>
2010-2011	314	615	1 248	1 570	2 697	2 298	2 208
2011-2012	311	587	968	1 356	1 820	2 046	2 302
2012-2013	368	799	974	1 429	2 127	2 210	2 101
2013-2014	388	843	1 028	1 507	1 815	2 382	1 733
2014-2015	320	850	1 080	1 439	2 681	2 940	2 421
2015-2016	342	737	1 061	1 464	2 215	2 366	2 152
	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	
<b>průměr</b>	<b>1 686</b>	<b>1 219</b>	<b>890</b>	<b>636</b>	<b>602</b>	<b>209</b>	<b>15 251</b>
2010-2011	1 529	944	699	585	584	306	15 597
2011-2012	1 566	1 197	829	645	726	113	14 466
2012-2013	1 966	1 343	854	734	735	86	15 726
2013-2014	1 600	1 253	885	780	529	142	14 885
2014-2015	1 771	1 358	1 187	430	430	403	
2015-2016	1 686	1 220	887	642	607	205	15 583
2005-2006	7 475						
2006-2007	6 246						
2007-2008	6 388						
2008-2009	7 038						
<b>průměr</b>	<b>6 787</b>						

Tab. 5.2 – Měsíční spotřeby elektrické energie