ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRINIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh tepelného čerpadla pro rodinné domy

Jiří Kosobud **2017**

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**

Zásady pro vypracování:

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. Proveďte 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

L.S.

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 několika tepelných čerpadel 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 several heat pumps of the ground-water system and the air-water system. The last part of the thesis is the development of case studies of a 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 17.8.2017 Jiří Kosobud

Obsah

OBSAH **7**

ÚVOD **9**

1 TEPELNÉ ČERPADLO **10**

1.1 HISTORIE TEPELNÉHO ČERPADLA 10
1.2 PRINCIP TEPELNÉHO ČERPADLA 11
1.3 SOUČÁSTI TEPELNÉHO ČERPADLA 14
1.3.1 Kompresor *15*
1.3.2 Tepelné výměníky *18*
1.3.3 Expanzní ventil *21*
1.3.4 Chladivo *21*

2 SYSTÉMOVÁ ŘEŠENÍ TEPELNÝCH ČERPADEL **23**

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

3 NÁVRH TEPELNÉHO ČERPADLA A JEHO DIMENZOVÁNÍ **30**

3.1 TEPELNÁ ZTRÁTA OBJEKTU 30
3.2 VÝPOČET ROČNÍ SPOTŘEBY TEPLA RODINNÉHO DOMU 31
3.3 VÝPOČTY CELKOVÉ TEPELNÉ ZTRÁTY RODINNÉHO DOMU 32
3.4 VÝPOČET POTŘEBNÉHO VÝKONU TEPELNÉHO ČERPADLA 33
3.5 VÝPOČET TEPLA PRO VYTÁPĚNÍ RODINNÉHO DOMU 33
3.6 BOD BIVALENCE A PROVOZ TEPELNÝCH ČERPADEL 33
3.6.1 Bivalentní provoz tepelného čerpadla *33*
3.6.2 Monovalentní provoz tepelného čerpadla *35*

4 POROVNÁNÍ NĚKOLIK VARIANT TEPELNÝCH ČERPADEL **36**

4.1 TEPELNÉ ČERPADLO NIBE F1226 – ZEMĚ-VODA 36
4.2 TEPELNÉ ČERPADLO IVT GREENLINE HE E9 PLUS – ZEMĚ-VODA 37
4.3 TEPELNÉ ČERPADLO MITSUBISHI ZUBA-DAN 11 – VZDUCH-VODA 39
4.4 TEPELNÉ ČERPADLO IVT AIR X 130 – VZDUCH-VODA 40
4.5 POROVNÁNÍ NAVRHOVANÝCH ČERPADEL PRO RODINNÝ DŮM 41

5 PŘÍPADOVÉ STUDIE PRO RODINNÝ DŮM **42**

5.1 ENERGETICKÁ NÁROČNOST NA VYTÁPĚNÍ A OHŘEV TUV 42
5.2 VARIANTA ZEMĚ-VODA 43
5.3 VARIANTA VZDUCH-VODA 44
5.4 POROVNÁNÍ VARIANT ZEMĚ-VODA X VZDUCH VODA 45

ZÁVĚR **46**

SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ 1

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 popsané 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.

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 tepelném čerpadlo, tak jak ho známe dnes. V té době se začala objevovat první chladící technika, a to i v domácnostech. Používaným chladivem byl opět čpavek. Prakticky první chladící 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]

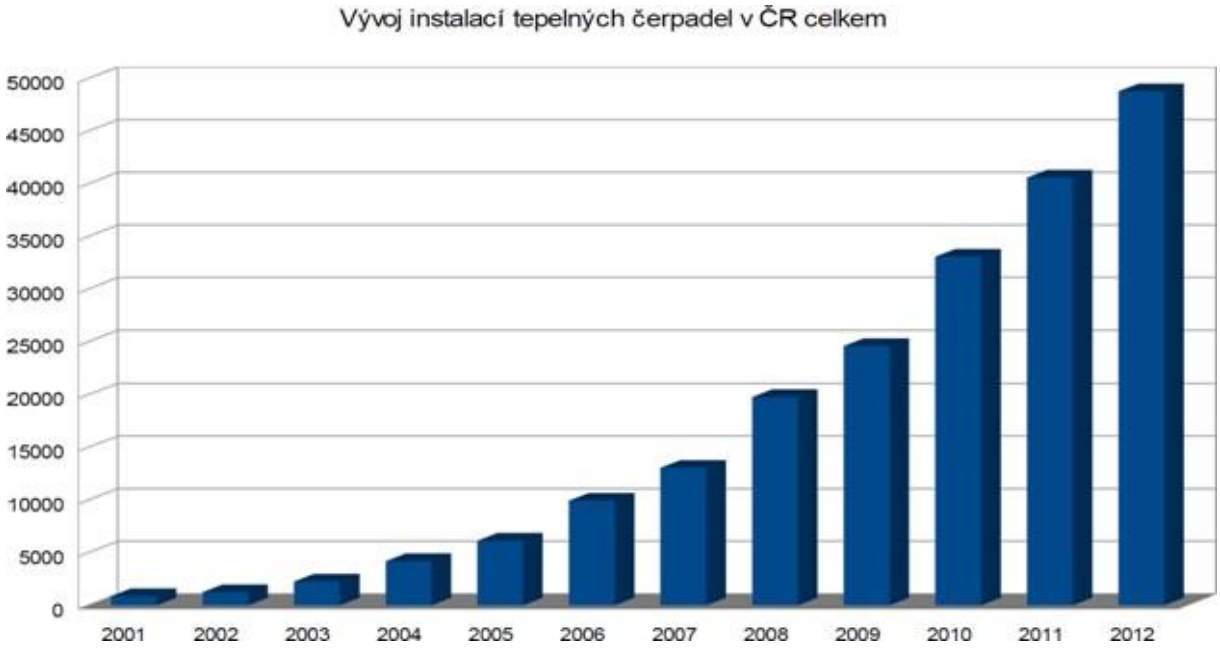
Protože se tehdy nevědělo o negativním vlivu freonu na životním prostředí, bylo bráno toto chladivo jako bezpečné, nejedovaté a chemicky velmi stálé. Proto také došlo k velkému rozmachu těchto látek.

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 měli 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 zjištění 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]

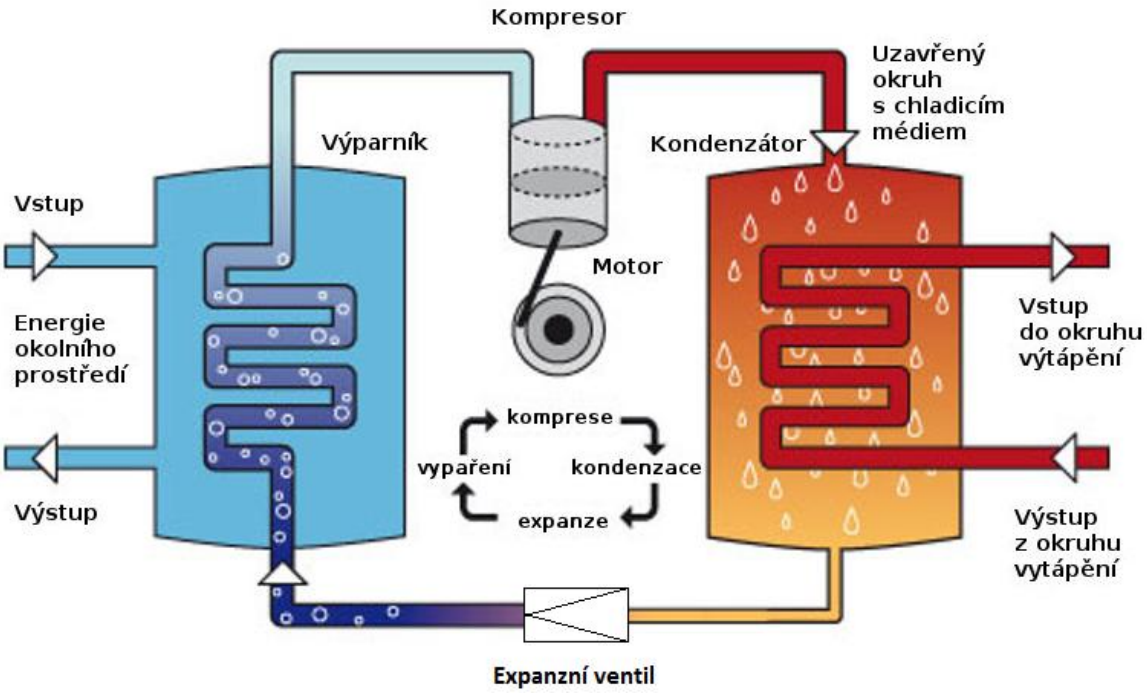
1.2 Princip tepelného čerpadla

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 NH_3 se při atmosférickým tlaku, tedy při 0,1 MPa, vaří při teplotě -33°C. Pokud ho však stlačíme na tlak 2MPa, začne čpavek vřít pří

teplotě 50°C. I když jsem uvedl čpavek jako příklad, již v dnešní době se tolik nepoužívá a byl nahrazen ekologickými chladivy 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).



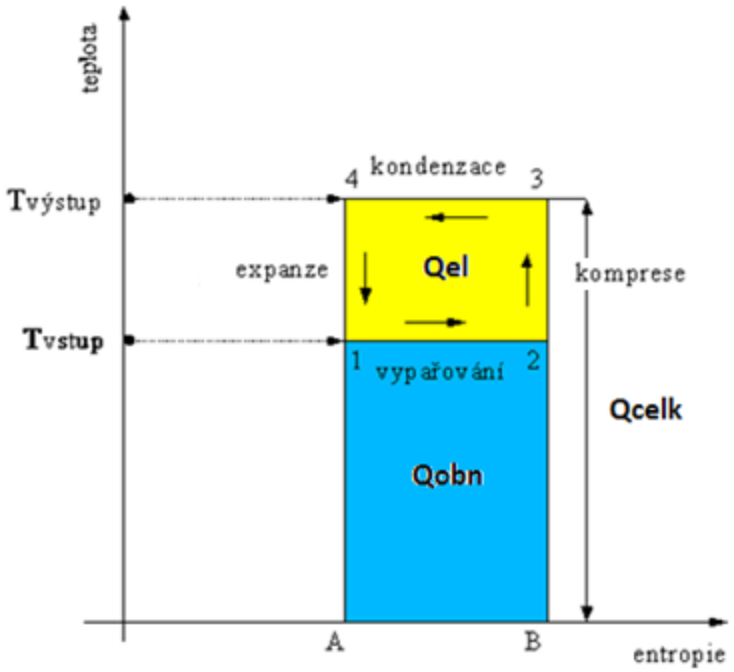
Obr. 2 – Obecný princip kompresorového tepelného čerpadla [3]

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 NH_3, se při 0,1 MPa, vaří při teplotě -33°C. Po stlačení na tlak 2MPa, začne čpavek vřít pří 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_{vstup} – Teplota zdroje tepla [K]

$T_{výstup}$ – Teplota na výstupu [K]

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

Q_{el} – Energie dodaná pro pohon kompresoru

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

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.

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

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

Q_{el} – Energie dodaná pro pohon kompresoru

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

T_{in} – Teplota zdroje tepla [K]

T_{out} – Teplota na výstupu [K]

Topný faktor COP musí vyjít vždy vyšší než 1, za podmínky, že T_{in} je menší než T_{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]

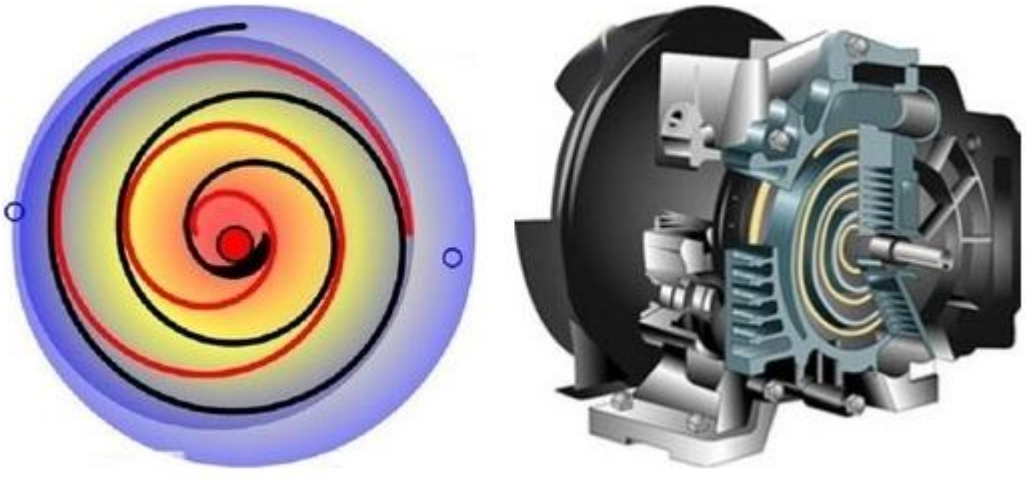
Konstrukce kompresoru se liší s provedení jejich umístění. Ve většině případů se jedná o hermetické provedení. U tohoto provedené je elektromotor a kompresor umístěn v jedné nádobě. Olejová náplň je pro obě části společná. Výhodou hermetického provedení je

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

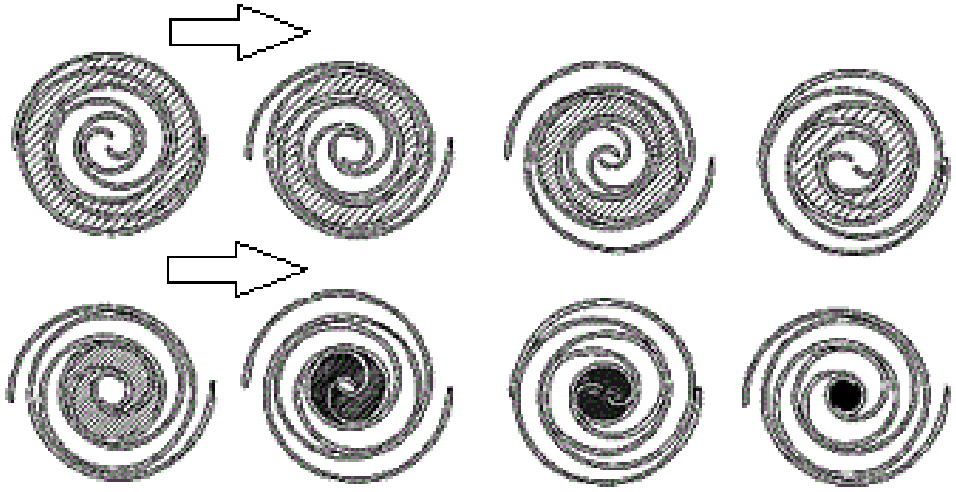
Počátkem 20. století byl vyvinut první kompresor typu SCROLL. Tvoří ho dvě spirály do sebe vložené, kdy jedna spirála je pevná a druhá pohyblivá, excentricky krouží. Umístění spirál je zřejmé z obrázku Obr. 4.



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 zařízení. 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 teplená 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 mnoho 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.

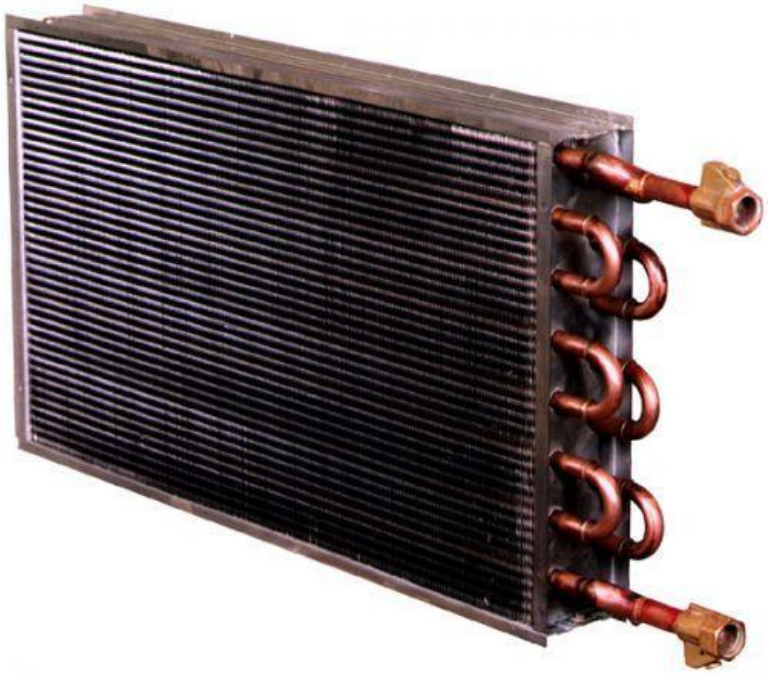
Tepelný výměník kapalina-kapalina

Jsou skládané z nerezových desek, které mají tvarované prolisy. Po spojení takových desek vzniknou díky těmto prolisům dvě řady kanálků, kterými proudí odděleně teplonosná média. Řez takovýmto výměníkem je na obrázku Obr. 6. Desky jsou k sobě pájeny nebo svařeny a tvoří tak ucelený kompakt, 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. Stejnosměrné 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 pospojovaný v sekcích paralelně, a pro rozdělení chladiva se používá rozdělovač. U použití lamelového výměníku jako kondenzátor se rozdělovač nepoužívá.

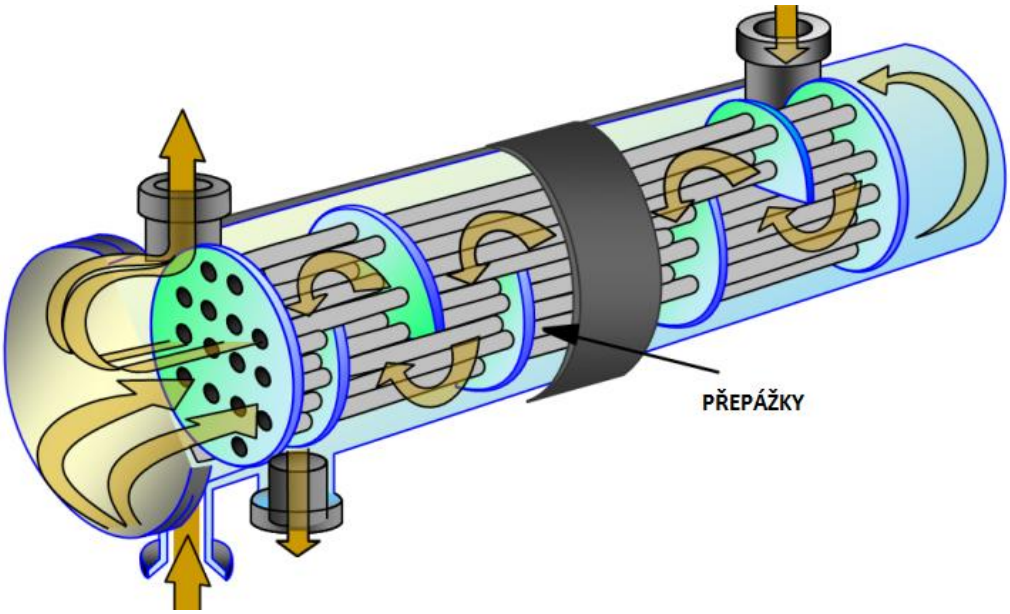


Obr. 7 – Lamelový výměník tepla

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 vložený 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_3		14800
	R32	CH_2F_2		675
	R125	C_2HF_5		3500
	R134a	CH_2FCF_3		1430
	R152a	$C_2H_4F_2$		124
	R143a	$C_2H_3F_3$		4470
	R227ea	C_3HF_7		3220
	R236fa	$C_3H_2F_6$		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_2H_6	6
	R290	Propan	C_3H_8	3
	R600a	Isobutan	$CH(CH_3)_2CH_3$	3
	R717	Amoniak (čpavek)	CH_3	0
	R744	Oxid uhličitý	CO_2	1
	R1270	Propylen	C_3H_6	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

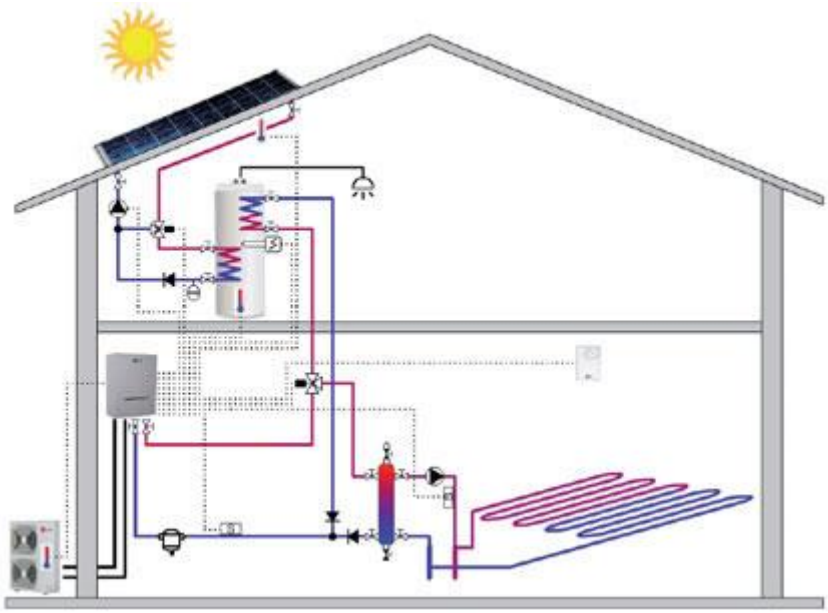
Tepelné čerpadlo systému vzduch-voda využívá nízkopotenciální teplo přímo z okolního vzduchu. Proto je jejich aplikace velmi jednoduchá, protože nepotřebují pro svoji funkčnost zemní kolektor nebo vrt. Jejich pořízení je levnější a jejich provozní náklady jsou menší než u plynových nebo elektrických 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 částí. 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 otápět na vyšší teplotu. [2] [10] [11]

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



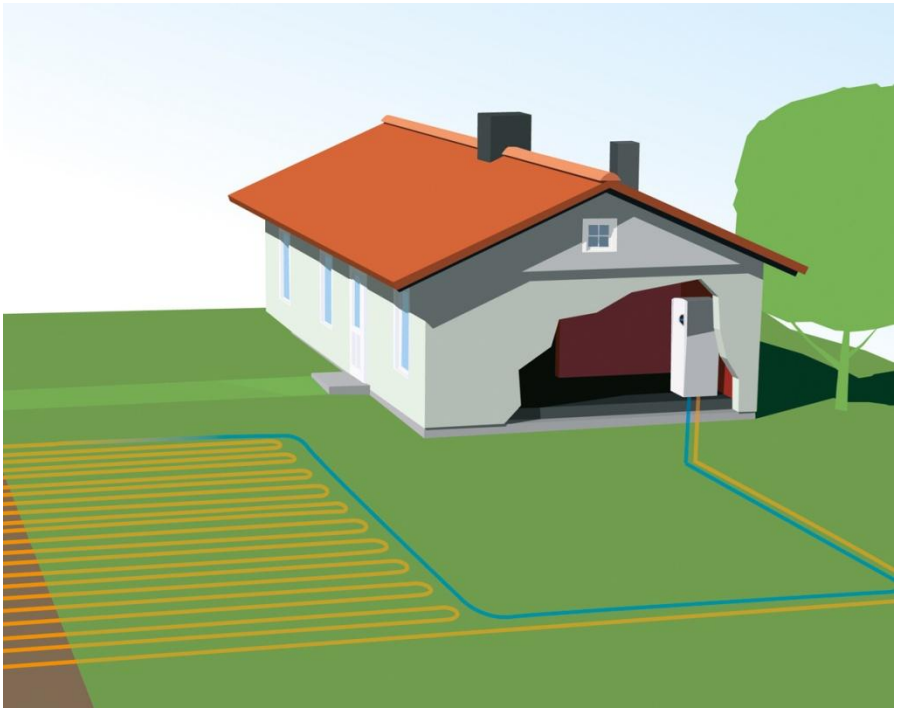
Obr. 10 – Schéma tepelného čerpadla vzduch-voda v kombinaci solárních kolektorů [10]

2.2 Tepelné čerpadlo vzduch-vzduch

Má stejní 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 typy 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 $W.m^{-2}$. 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

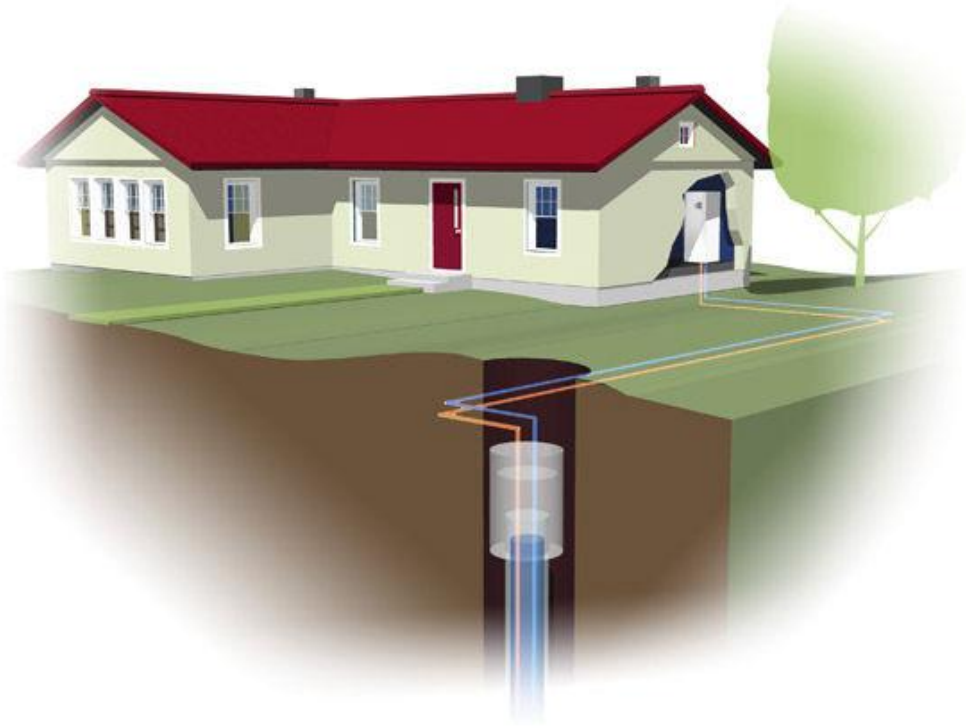
Tepelné čerpadlo země-voda je charakteristické svojí velkou účinností a vysokým topným faktorem. Jejich pořizovací cena je o něco dražší než u systému vzduch-voda, ale to nám vyváží účinnost a výkon tepelného čerpadla. Dále se obejdeme bez jiných topných systému na tuhá paliva, plyn či elektrickou energii 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 $1m^2$ 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

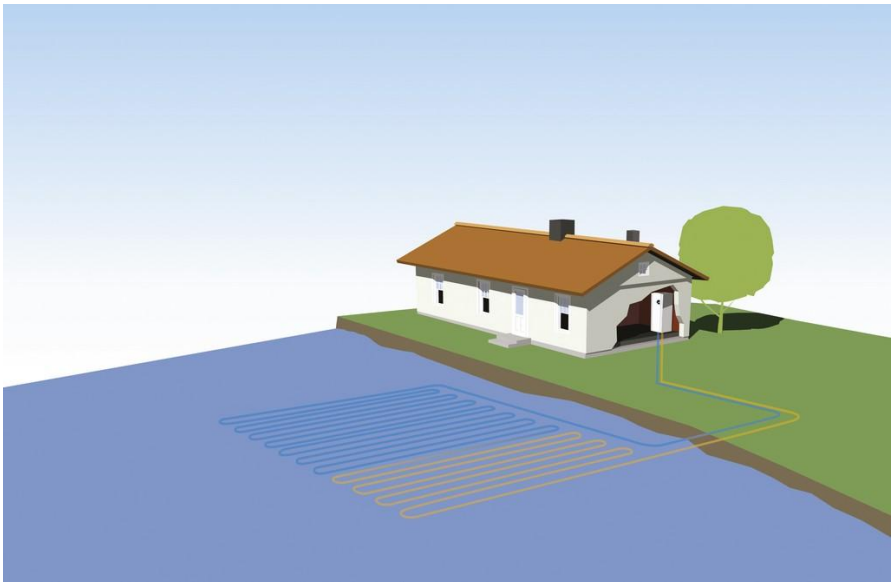
Tepelná čerpadla typu vodo-voda využívají jako nízkopotenciální zdroj tepla spodní vody nebo ne tolik využívané vodní plochy nebo toky. Tento typ je také vhodný využívat ve větších objektech, kde vzniká odpadní teplo z technologických procesů. Proto se s tímto typem moc nesetkáváme u rodinných domů.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

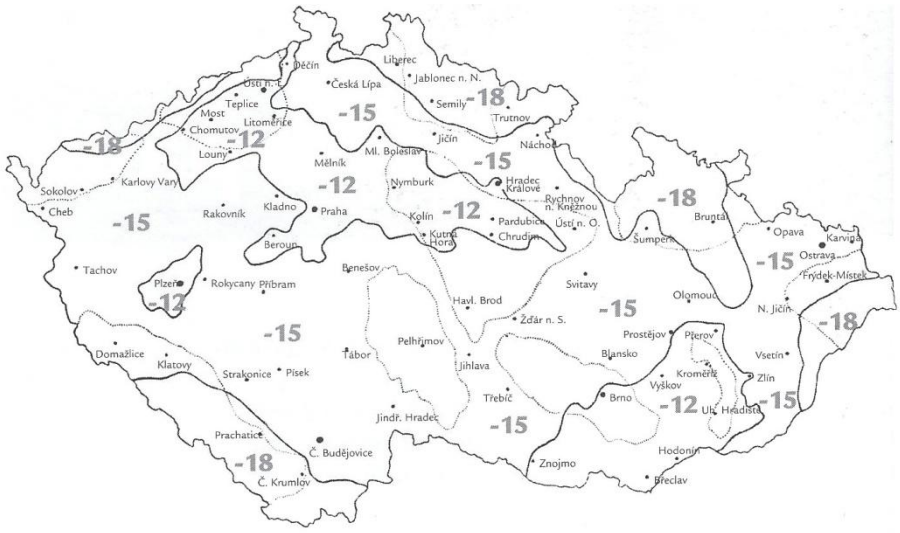
Pro realizaci tepelného čerpadla voda-voda je nutné získat povolení od správce vodního toku nebo nádrže. Protože po aplikaci tepelného čerpadla dochází k ochlazení nádrže nebo vodního toku. Toto ochlazení nesmí překročit určitou mez, kvůli ochraně fauny a flory žijící ve vodě. Proto je velmi obtížné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

3 Návrh tepelného čerpadla a jeho dimenzování

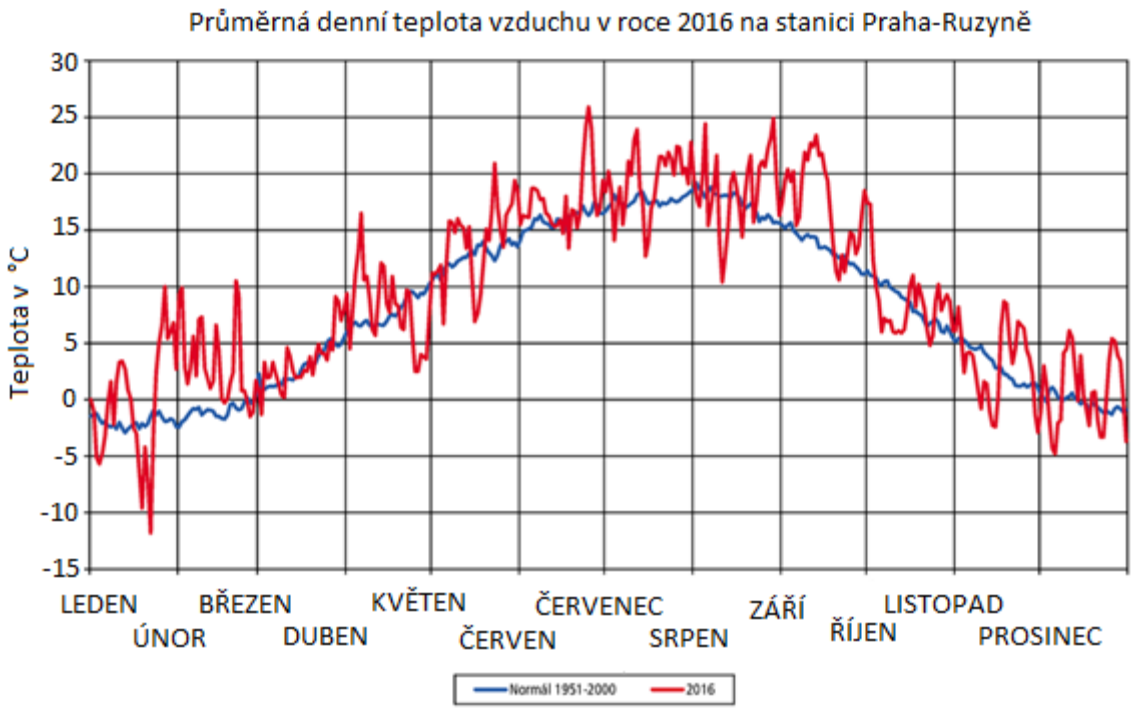
Návrh a dimenzování tepelného čerpadla je závislé na několika faktorech. Největším faktorem je tepelná ztráta objektu, dále výběr tepelného čerpadla podle jeho provozu. Tepelná ztráta objektu se vyjadřuje v kW a je základem pro návrh tepelného čerpadla. Důležitá je také celková roční energetická bilance.

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.



Obr. 16 – Teplotní mapa ČR [2]



Obr. 17 – Graf ročních teplot [15]

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, muže 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 Výpočet roční spotřeby tepla rodinného domu

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

$$Q_C = Q_{TOP} + Q_{TUV} \text{ [kWh/rok]} \quad (2)$$

Q_{TOP}… teplo potřebné pro vytápění [kWh/rok]

Q_{TUV}…teplo pro ohřev TUV [kWh/rok]

Vypočet potřeby tepla pro topení:

$$D = d.(t_{im} - t_{em}) \text{ [denostupňů]} \quad (3)$$

d … počet dní topné sezóny [225]

t_{im} … průměrná vnitřní teplota [20°C]

t_{em} … průměrná venkovní teploty topné sezóny [4,3°C]

To se rovná 3532,5 [denostupňů].

$$Q_{TOP} = (24.Q_H.D) / (t_i – t_e) \text{ [kWh/rok]} \quad (4)$$

Q_H… tepelná ztráta objektu [kW]

t_i… výpočtová vnitřní teplota [°C]

t_e… výpočtová venkovní teplota [°C]

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

$$Q_{TUV} = 4{,}3.\ o.\ D \text{ [kWh/rok]} \quad (5)$$

o…počet osob

D…počet dní v roce

3.3 Výpočty celkové tepelné ztráty rodinného domu

Celková tepelná ztráta je dána součtem tepelné ztráty prostupem a tepelné ztráty větráním podle vzorce (6). Výpočty podle normy ČSN 06 0210. Další normy ČSN EN 12 831, ČSN EN 15 521. [13]

$$Q_C = Q_P + Q_V \text{ [W]} \quad (6)$$

Q_P… tepelné ztráty prostupem [W]

Q_V…tepelné ztráty větráním [W]

$$Q_P = \sum_{j=1}^{n} Uj.Sj.(t_i - t_e) \text{ [W]} \quad (7)$$

U… součinitel prostupu tepla [$W.m^{-2}.K^{-1}$]

S… plocha ochlazované konstrukce [m^2]

t_i… výpočtová vnitřní teplota [K]

t_e… výpočtová venkovní teplota [K]

$$Q_V = 1300 . V_V . (t_i - t_e) \text{ [W]} \quad (8)$$

$$V_V = (n_h/3600) . V_m \quad (9)$$

V_V … objemový tok větraného vzduchu [$m^3.s^{-1}$]

V_m … vnitřní objem větraného prostoru [m^3]

n_h … intenzita výměny vzduchu [h^{-1}] (obvykle mezi hodnotami $n_h = 0{,}3\ h^{-1}$ až $n_h = 0{,}6\ h^{-1}$)

3.4 Výpočet potřebného výkonu tepelného čerpadla

$$Q_{TP} = Q_{TZ} . (24/22) . 0{,}7 \text{ [kW]} \quad (10)$$

Q_{TZ} … tepelná ztráta objektu

24/22 …sazba D56 levná pouze 22 hodin denně

0,7 … tepelné čerpadlo dimenzováno na 70% ztráty objektu [16]

3.5 Výpočet tepla pro vytápění rodinného domu

$$Q_{TOP} . D56 . (0{,}7/ \varepsilon) + 0{,}3) \text{ [Kč/rok]} \quad (11)$$

Q_{TOP} … Spotřeba tepla pro vytápění

ε … topný faktor

0,7 … tepelné čerpadlo dimenzováno na 70%

0,3 … dotop jiným zdrojem

D56 … cena tarifu za 1 kWh [16]

3.6 Bod bivalence a provoz tepelných čerpadel

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

3.6.1 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 mínus 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.

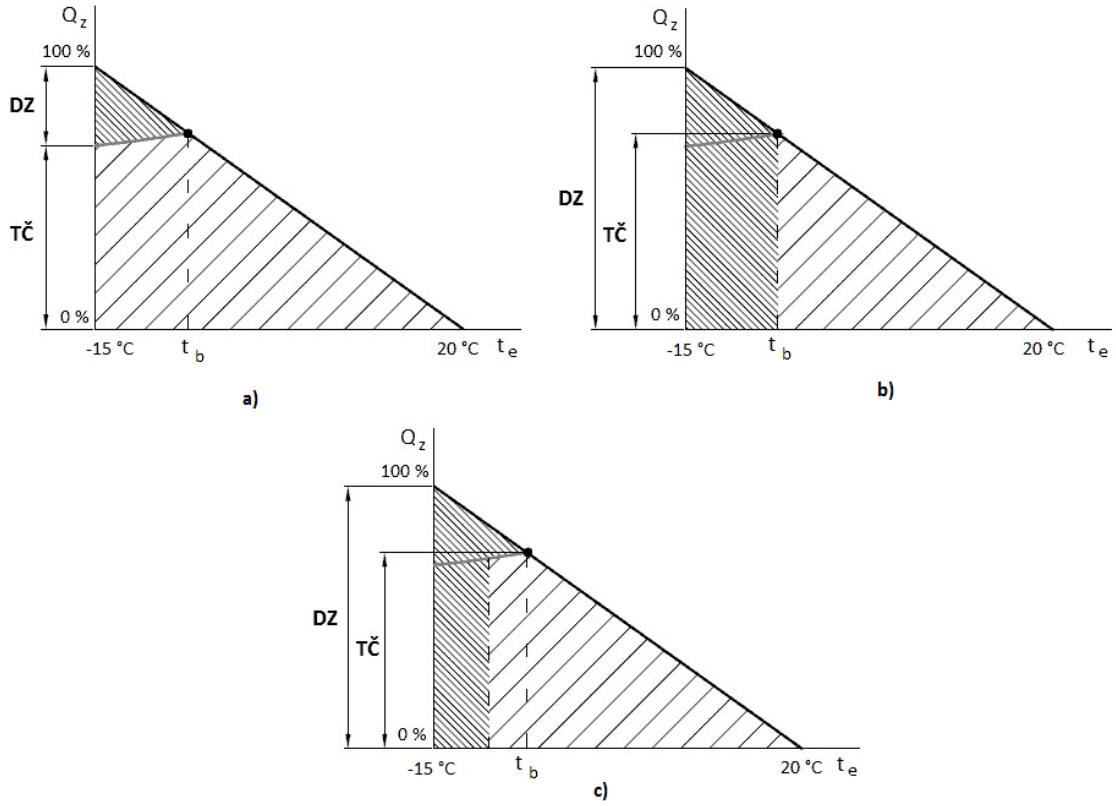
Krytí spotřeby tepla při různých výkonech tepelných čerpadel												
Podíl TČ (%)	*0*	*30*	*40*	*45*	*50*	*55*	*60*	*65*	*70*	*80*	*90*	*100*
Krytí spotřeby (%)	*0*	*61*	*72*	*78*	*82*	*86*	*89*	*91*	*93*	*96*	*98*	*100*

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.

Podíl tepelného čerpadla je menší než krytí spotřeby. To je dáno tím, že během topné sezony je počet dnů, kdy teplota klesne k výpočtové vnější teplotě jen několik. S větší vnější teplotou je tepelné čerpadlo výkonnější a má větší topný faktor. A pokryje nám více procent spotřeby tepla.

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)

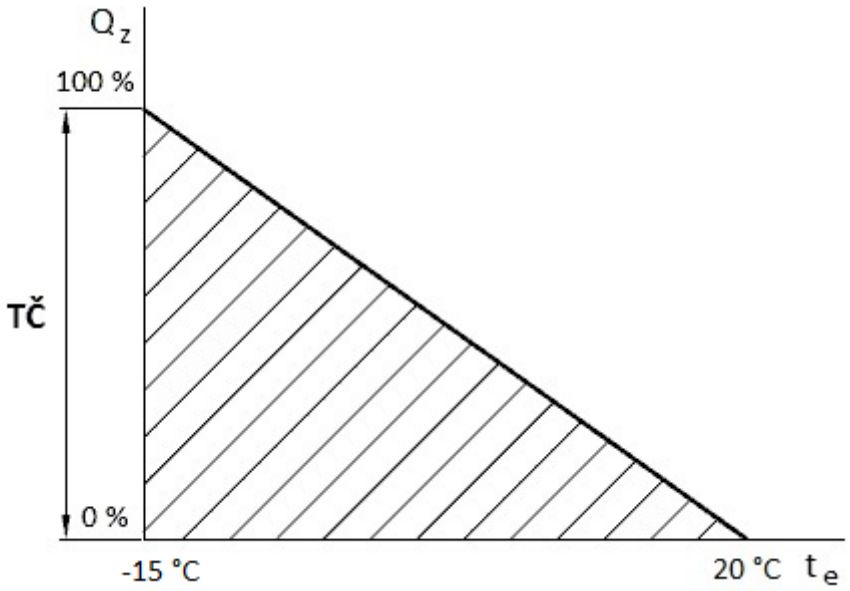


Obr. 18 – a) paralelně bivalentní, b) alternativně bivalentní c) bivalentně částečně paralelní[14]

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

3.6.2 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. Pokud máme instalovaný v objektu ještě jiný systém vytápění, například elektrokotel, tak ten nám slouží pouze jako záložní zdroj vytápění v případě poruchy čerpadla, nikoliv jako pomocný zdroj pro vytápění.



Obr. 19 – Monovalentní provoz tepelného čerpadla[14]

4 Porovnání několik variant tepelných čerpadel

4.1 Tepelné čerpadlo NIBE F1226 – země-voda

Tepelné čerpadlo NIBE F1226 se skládá z tepelného čerpadla, ohřívače vody, doplňkového elektrokotle, oběhových čerpadel, trojcestného ventilu pro ohřev teplé vody a inteligentní řídicí systém. Maximální teplota topné vody až 65°C. Hlučnost tepelného čerpadla je díky kompaktnímu řešení 44 dB.

Obr. 20 – Tepelného čerpadlo NIBE F1226 [17]

Technické údaje:

Typ NIBE F1226	**8**
Jmenovitý výkon při 0/35 °C* [kW]	7,72
Elektrický příkon při 0/35 °C* [kW]	1,59
COP při 0/35 °C*	4,85
Napájení [V]	3 x 400 V + N + PE
Minimální jištění (char, C) [A]	25
Vestavěný kotel max [kW]	9
Objem teplé vody [l]	180
Hmotnost [kg]	320
Výška [mm]	1800
Šířka [mm]	600
Hloubka [mm]	620

Tab. 4.1 – Technické údaje NIBE F1226 [17]

Pořizovací cena tepelného čerpadla je 160 000 Kč podle aktuálního ceníku. K tepelnému čerpadlu je nutné vybudovat plošný kolektor, jeho cena je ca 60 000. Další náklady na instalační materiál a montáž nejsou v ceníku uvedeny.

4.2 Tepelné čerpadlo IVT Greenline HE E9 Plus – 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 38 dB. Minimální jištění musí být 3x20 [A]. Kompresor Mitsubishi Scroll je již z nové generace kompresorů s životností až 30 let a výstupní teplotou do 65°C.

Tepelné čerpadlo IVT Greenline HE E9 Plus nemá integrovaný zásobník na TUV, je tedy nutné přikoupit například bojler IVT D200 o objemu 200 litrů. Skříň bojleru je rozměrově stejná jako skříň tepelného čerpadla.

Obr. 21 – Tepelného čerpadlo IVT Greenline HE E9 Plus[18]

Technické údaje:

TEPELNÉ ČERPADLO		HE E9 Plus
Výkon při 0 °C / 35 °C[1]	kW	8,8
Příkon	kW	2,1
Topný faktor při 0 °C / 35 °C		4,2
Vestavěný elektrický kotel		3 nebo 6 kW
Hmotnost	kg	155
Rozměry	mm	600 × 645 × 1520
Elektrické zapojení		400 V, N3 fáze

Tab. 4.2 – Technické údaje IVT Greenline HE E9 Plus [18]

Pořizovací cena tepelného čerpadla je 193 000 Kč podle aktuálního ceníku. K tepelnému čerpadlu je nutné vybudovat plošný kolektor, jeho cena je ca 60 000. Další náklady na instalační materiál a montáž nejsou v ceníku uvedeny.

4.3 Tepelné čerpadlo Mitsubishi Zuba-Dan 11 – vzduch-voda

Standardní tepelné čerpadlo ztrácí při poklesu venkovní teploty svůj výkon, nahrazovaný elektrickým dohřevem. Tepelné čerpadlo Zuba-Dan garantuje téměř 100% výkon až do -15ºC a garantovaná oblast vytápění je až -25ºC. díky provedení „invertor“ zajišťuje plynulým řízením výkonu kompresoru v rozsahu 3-11 kW další úspory energií a prodlužuje jeho životnost. Maximální teplota topné vody až 55°C. Hlučnost tepelného čerpadla je 52 dB. Ohřev TUV je řešen tepelným čerpadlem, který je nutno zvlášť přikoupit.

Obr. 22 – Tepelného čerpadlo Mitsubishi Zuba-Dan 11 [19]

Technické údaje:

TEPELNÉ ČERPADLO		Zubadan 11
Výkon při 2 °C / 35 °C[1] (ECO)	kW	11,2 (7,8)
Příkon (ECO)	kW	3,71 (2,4)
Topný faktor při 2 °C / 35 °C		3,02 (3,24)
Rozměry (H/L/B)	mm	1350/950/330
Hmotnost	kg	134
Doporučená velikost jističe	A	16
Hladina akustického tlaku[2]	db(A)	52
Elektrické napájení		380–415 V, N3, 50 Hz

Tab. 4.3 – Technické údaje Mitsubishi Zuba-Dan 11 [19]

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 pouhé 3 minuty v čase jednou za 150 minut a odteče až 12 litrů vody.

Pořizovací cena tepelného čerpadla je 228 930 Kč podle aktuálního ceníku. Další náklady na instalační materiál a montáž nejsou v ceníku uvedeny.

4.4 Tepelné čerpadlo IVT Air X 130 – vzduch-voda

Tepelné čerpadlo IVT Air X 130 je řešeno jako vnější jednotka v provedení monoblok s vnitřním zásobníkem teplé vody a vestavěným elektrokotlem o výkonu max. 9kW. Tepelné čerpadlo IVT Air X 130 nabízí možnost využití v letních měsících jako klimatizaci. Tepelné čerpadlo je možno výkonově řídit. Maximální teplota topné vody až 52°C. Hlučnost tepelného čerpadla je 57 dB.

Obr. 23 – Tepelného čerpadlo IVT Air X 130 s IVT AirModul [18]

Technické údaje:

Tepelné čerpadlo – venkovní jednotka		AIR X 130
Energetická třída - produkt		A++
Topný výkon při 2°C / 35°C[1)] 100%	kW	11,0
Topný výkon při 2°C / 35°C[1)] 60%	kW	6,49
Topný faktor při 2°C / 35°C[1)] 60%		4,03
Elektrické napájení		400 V, 3N, AC, 50 Hz
Jistič pro tepelné čerpadlo	A	13
Max. el. příkon	kW	7,2
Hladina akustického výkonu[4)]	dB(A)	57
Rozměry (šířka × výška × hloubka)	mm	1200 × 1680 × 580
Hmotnost	kg	130

Tab. 4.4 – Technické údaje IVT AIR X 130 [18]

Pořizovací cena tepelného čerpadla je 235 500 Kč podle aktuálního ceníku. Další náklady na montáž nejsou v ceníku uvedeny.

4.5 Porovnání navrhovaných čerpadel pro rodinný dům

Tepelné čerpadlo	**Plusy**	**Mínusy**
NIBE F1226	Integrovaný zásobník TUV Nízká hlučnost Vysoké COP	Bivalentní chod Velké rozměry Velká hmotnost Stavba zemního kolektoru
IVT Greenline HE E9 Plus	Nízká hlučnost Umístění tepelného čerpadla Vysoké COP Malé rozměry Menší nároky na jištění	Bivalentní chod Samostatný zásobník TUV Pořizovací náklady Stavba zemního kolektoru
Mitsubishi Zuda-Dan 11	Monovalentní chod Nižší pořizovací cena Invertorový chod Menší nároky na jištění	Umístění tepelného čerpadla Nutnost vyřešit odmrazování Hlučnost Záložní zdroj vytápění
IVT Air X 130	Nižší pořizovací cena Zásobník TUV s elektrokotlem Menší nároky na jištění Vysoké COP	Umístění tepelného čerpadla Nutnost vyřešit odmrazování Hlučnost Bivalentní chod

5 Případové studie pro rodinný dům

5.1 Energetická náročnost na vytápění a ohřev TUV

Rodinný dům je umístěn v západních Čechách, poblíž Krušných hor. Tepelnou ztrátu objektu jsem převzal z vypracované studie firmy zabývající se prodejem a instalací tepelných čerpadel. Tepelná ztráta objektu byla stanovena na 10,4 kW. V domě je počítáno s radiátorovým vytápěním s teplotním spádem 55/45 °C, což vyžaduje vetší plochu radiátorů. Rodinný dům obývají 3 osoby.

Výpočet spotřeby tepla pro vytápění a ohřev TUV Q_C [kWh/rok] :

$D = d.(t_{im} – t_{em})$ [denostupňů]
$D = 225. (20-4,3) = 3532,5$ [denostupňů]

$Q_{TOP} = (24.Q_H.D) / (t_i – t_e)$ [kWh/rok]
$Q_{TOP} = (24.10,4.3532,5) / (20 – (-18)) = 23\ 203$ [kWh/rok]

$Q_{TUV} = 4,3.\ o.\ D$ [kWh/rok]
$Q_{TUV} = 4,3.\ 3.\ 365 = 4708,5$ [kWh/rok]

$Q_C = Q_{TOP} + Q_{TUV}$ [kWh/rok]
$\underline{Q_C} = 23\ 203 + 4708,5 = \underline{27\ 911,5}$ [kWh/rok]

Výpočet potřebného výkonu tepelného čerpadla Q_{TP} [kW] :

Pokrytí 70% tepelných ztrát tepelným čerpadlem
$Q_{TP} = Q_{TZ}.(24/22).\ 0,7$ [kW]

Pokrytí 84% tepelných ztrát tepelným čerpadlem
$Q_{TP} = 10,4.(24/22).\ 0,84 = 9,5$ [kW]
Pokrytí 100% tepelných ztrát tepelným čerpadlem
$Q_{TP} = 10,4.(24/22).\ 1 = 11,3$ [kW]

5.2 Varianta země-voda

Z řady tepelných čerpadel jsem vybral tepelné čerpadlo IVT Greenline HE E9 Plus systému země-voda. Výkonově je dostačující a jeho uložení ve sklepních prostorách rodinného domu je elegantnější než mít venkovní jednotku umístěnou vedle domu. Toto tepelné čerpadlo již bylo v rodinném domě instalováno. 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 a výstupní teplotou do 65°C.

Výkon čerpadla E9 HE je 8,8 kW, příkon 2,1 kW a topný faktor 3,3 v režimu radiátorovém vytápění, při teplotách 0/45 °C. Podle výpočtů je potřeba tepelné čerpadlo o výkonu 9,5 kW, ale protože byl naddimenzován zemní kolektor, stačí nám výkon 8,8 kW. Tímto výkonem pokryje tepelné čerpadlo celoroční potřebu rodinného domu ve výši 97 %. Tepelné čerpadlo je doplněné o elektrokotel o výkonu 6 kW. Jde o bivalentní chod, kdy tepelné čerpadlo dopomáhá tepelnému čerpadlu ve zbylých 3 %.

Ohřev TUV je zajištěn tepelným čerpadlem, jako zásobník je instalován externí dvouplášťový bojler IVT D200. 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. Typ půdy byl zařazen mezi vlhkou až mokrou. Tento kolektor byl navržen o délce 450 metrů a byl naddimenzován, (plocha cca 440 m^2) viz Tab. 5.2. Výkopy byly provedeny rýhovačem

Vermeer, a proto nedošlo k velkému poškození nebo poničení zahrady výkopovými pracemi. Kolektor je tvořen hadicí HDPE GT 40x3,7.

Druh půdy	Délka [m] na 1 kW	Výkon [W] na 1 m^2
Suchá	160	10
Vlhká	55-85	20-30
Mokrá	40	35

Tab. 5.2 – Orientační délky zemního kolektoru ve vztahu k výkonu TČ [1]

Výpočet ceny za vytápění:

Q_{TOP}.D56. (0,7/ ε)+0,3) [Kč/rok]

Cena D56 je 2,71 za 1kW

Dimenzováno na 97% a 3 % jiný zdroj

COP je 3,3

23 203.2,71. (0,97/ 3,3)+0,03) = 20 369 [Kč/rok]

5.3 Varianta vzduch-voda

Jako druhou variantu jsem vybral tepelné čerpadlo Mitsubishi Zuba-Dan 11 vzduch-voda. Standardní tepelné čerpadlo ztrácí při poklesu venkovní teploty svůj výkon, nahrazovaný elektrickým dohřevem. Tepelné čerpadlo Zuba-Dan garantuje téměř 100% výkon až do -15ºC a garantovaná oblast vytápění je až -25ºC. díky provedení „invertor“ zajišťuje plynulým řízením výkonu kompresoru v rozsahu 3-11 kW další úspory energií a prodlužuje jeho životnost. Výkon čerpadla při +7º C je 11,2 kW a při venkovní teplotě -15ºC je 10,0kW, v Tab. 5.3 vidíme COP při takových hodnotách.

ZUBADAN 11	2/35°C	7/35°C	-7/35°C	-15/35°C	7/45°C	-7/45°C	-15/45°C	7/55°C	-7/55°C	-15/55°C
Výkon kW	**11,2**	11,2	11,2	10	11,2	11,2	10	11,2	11,2	10
COP	**3,02**	4,26	2,54	2,03	3,24	2,05	1,55	2,46	1,69	1,41
Příkon (kW)	**3,71**	2,63	4,41	4,93	3,46	5,46	6,45	4,55	6,63	7,09

Tab. 4.2 – Tabulka výkonů Mitsubishi Zuba-Dan 11 [19]

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 pouhé 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 štěrkovým 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 požívají speciální dvouplášťové nerezové bojlery. Voda je dohřívána po celý den na 53°C. Pro větší teplotu jsou do systému zařazeny elektrokotle. Nastavení a ovládání se provádí pokojovým termostatem Siemens.

Výpočet ceny za vytápění:
Q_{TOP}.D56. (0,7/ ε)+0,3) [Kč/rok]

Cena D56 je 2,71 za 1kW
Dimenzováno na 97% a 3 % jiný zdroj
COP je 3,3

23 203.2,71. (1/ 2,645) = 23 773 [Kč/rok]

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 dražší než cena tepelného čerpadla vzduch voda. Roční provozní náklady má o 3 404 Korun levnější tepelné čerpadlo země-voda.

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout tepelné čerpadlo jako zdroj tepla pro vytápění rodinného domu a ohřevu TUV. Tepelná ztráta rodinného domu byla stanovena na 10,4 kW. Z čehož jsem si dopočítal celkovou roční spotřebu na vytápění a ohřev TUV, která vyšla 27 911,5 kWh. Topení je v domě řešeno radiátory a spotřebu na ohřev TUV jsem počítal pro 3 osoby.

Pro vytápění rodinné domu bylo zvoleno tepelné čerpadlo IVT Greenline HE E9 Plus systému země-voda o výkonu 8,8 kW. Takto dimenzované tepelné čerpadlo pokryje 84 % tepelných ztrát a 97% spotřeby pro vytápění a ohřev TUV. Na zbylá procenta je integrován elektrokotel o výkonu 6 kW v tepelném čerpadle. Jedná se tedy o bivalentní chod.

Protože tepelné čerpadlo je již několik let instalováno v rodinném domě můžeme říci, že nám cena za elektrickou energii stoupla ca 21 000 Kč/rok, oproti rokům před instalací tepelného čerpadla. Roční náklady pro vytápění, které jsem vypočetl, činní 20 369 Kč.

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://vytapeni.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://vytapeni.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-chlazeni-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://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12401-postup-pri-navrhu-tepelnych-cerpadel

[15] NĚMEC, Luboš *Průměrná měsíční teplota vzduchu denostupně a suma globálního zážení ve druhém pololetí roku 2016*. [online]. [cit. 2.8.2017]. Dostupné z www: http://www.topin.cz/clanky/prumerna-mesicni-teplota-vzduchu-denostupne-a-suma-globalniho-zareni-ve-druhem-pololeti-roku-2016-detail-997

[16] Beller, Petr. *Návrh tepelného čerpadla pro vytápění objektu* [online]. [cit. 2.8.2017]. Dostupné z www: http://is.mendelu.cz/zp/portal_zp.pl?prehled=vyhledavani;podrobnosti=19363;...prace=1

[17] *Tepelná čerpadla NIBE*. [online]. [cit. 3.8.2017]. Dostupné z www: http://www.nibe.cz/cs

[18] *Tepelná čerpadla IVT*. [online]. [cit. 3.8.2017]. Dostupné z www: http://www.cerpadla-ivt.cz/

[19] *Tepelná čerpadla ZUBADAN*. [online]. [cit. 3.8.2017]. Dostupné z www: http://www.zubadan.cz/