

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ
ELEKTRONIKY**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Využití plynového tepelného čerpadla pro vytápění
a přípravu teplé vody v objektech bydlení**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Michal LIŠKA

Osobní číslo: E15B0081K

Studijní program: B2644 Aplikovaná elektrotechnika

Studijní obor: Aplikovaná elektrotechnika

Název tématu: Využití plynového tepelného čerpadla pro vytápění
a přípravu teplé vody v objektech bydlení

Zadávací 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 druhy plynových tepelných čerpadel a jejich funkci.
2. Navrhněte zapojení plynového TČ do systému rozvodů topení a přípravy TUV včetně cenového návrhu.
3. Porovnejte plynové TČ s klasickým tepelným čerpadlem, výhody a nevýhody, ekonomika provozu.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.


Vedoucí bakalářské práce: **Prof. Ing. Jan Škorpil, CSc.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: **10. října 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2018**


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




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 10. října 2017

Abstrakt

Tato práce je zaměřena na tepelná čerpadla, na jejich princip funkce, jednotlivé části a zdroje nízkopotenciálního tepla. Jsou zde popsány hlavní rozdíly absorpčních a kompresorových plynových tepelných čerpadel. Dále se v práci zabývám jejich porovnáním s elektrickými tepelnými čerpadly a shrnutím jejich výhod a nevýhod při použití k vytápění a přípravě teplé vody v objektech bydlení.

Klíčová slova

ekologie, kompresor, plynové tepelné čerpadlo, nízkopotenciální zdroje energie, tepelné čerpadlo, teplá užitková voda, vytápění, zemní plyn

Abstract

The thesis focuses on heat pumps, their function principle, individual parts and sources of low-potential heat. The work presents a description of the main differences between absorption and compressor gas heat pumps and a comparison with electric heat pumps. The summary explains the advantages and disadvantages of heat pumps when they are used for heating and hot water preparation in residential buildings.

Key words

ecology, compressor, gas heat pump, low-potential energy sources, heat pump, warm supply water, heating, natural gas

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 31.5.2018

Michal Liška

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce panu profesorovi Ing. Janovi Škorpilovi, CSc. za cenné připomínky a odborný dohled při zpracování bakalářské práce.

Obsah

ÚVOD	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
1 TEPELNÉ ČERPADLO	10
1.1 PRINCIP TEPELNÉHO ČERPADLA	10
1.2 KOMPONENTY TEPELNÉHO ČERPADLA	13
1.2.1 <i>Kompresor</i>	13
1.2.2 <i>Kondenzátor</i>	15
1.2.3 <i>Výparník</i>	15
1.2.4 <i>Sběrač kapalného chladiva</i>	15
1.2.5 <i>Termostatický expanzní ventil</i>	16
1.2.6 <i>Filtrdehydrátor</i>	16
1.2.7 <i>Elektromagnetický ventil</i>	16
1.2.8 <i>Průhledítko</i>	16
1.2.9 <i>Presostaty</i>	17
1.3 CHLADIVA PRO TEPELNÁ ČERPADLA	17
1.4 ZDROJE NÍZKOPOTENCIÁLNÍHO TEPLA	19
1.4.1 <i>Země</i>	19
1.4.2 <i>Voda</i>	21
1.4.3 <i>Vzduch</i>	22
2 PLYNOVÉ TEPELNÉ ČERPADLO	23
2.1.1 <i>Kompresorové plynové tepelné čerpadlo</i>	23
2.1.2 <i>Absorpční plynové tepelné čerpadlo</i>	25
3 VYUŽITÍ PLYNOVÉHO TEPELNÉHO ČERPADLA PRO TOPENÍ A PŘÍPRAVU TUV	26
3.1 VYTÁPĚNÍ TEPELNÝM ČERPADLEM	26
3.1.1 <i>Určení teploty a návrh topného systému</i>	26
3.2 POUŽITÍ TEPELNÉHO ČERPADLA PRO OHŘEV TUV	28
3.3 NÁVRH ZAPOJENÍ PLYNOVÉHO ABSORPČNÍHO TEPELNÉHO ČERPADLA	31
4 POROVNÁNÍ PLYNOVÉHO A ELEKTRICKÉHO TEPELNÉHO ČERPADLA	35
4.1 POROVNÁNÍ TEPELNÝCH ČERPADEL	35
4.2 VÝHODY A NEVÝHODY PLYNOVÝCH TEPELNÝCH ČERPADEL	36
ZÁVĚR	37
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	38

Úvod

V současné době je neustále diskutované téma zabezpečení tepelného komfortu člověka. Vhodné tepelné podmínky pro život v rodinném domě, bytovém domě, ve škole, v obchodních domech a výrobních prostorech jsou v současnosti již samozřejmostí. Důsledkem toho jsou zvyšující se nároky na dodávku tepla a s tím zároveň rostoucí spotřeba energie. To má v nemalé míře negativní vliv na životní prostředí.

Jednou z možností, jak snížit negativní vliv na životní prostředí, jsou tepelná čerpadla. Tepelná čerpadla efektivně využívají obnovitelné zdroje energie. Za vhodných podmínek dokáží vyprodukovat několikrát větší množství energie, než spotřebují na svůj provoz.

Cílem této bakalářské práce je popsat princip, druhy a možnost použití tepelného čerpadla. Hlavní částí je využití plynového tepelného čerpadla jako zdroje vytápění a zdroje pro přípravu teplé užitkové vody v objektech bydlení.

Seznam symbolů a zkratek

COP	Topný faktor
EMV	Elektromagnetický ventil
GHP	Plynové tepelné čerpadlo
LDPE	Polyetylen s nízkou hustotou
TEV	Termostatický expanzní ventil
TČ	Tepelné čerpadlo
TUV	Teplá užitková voda
ÚT.....	Ústřední topení

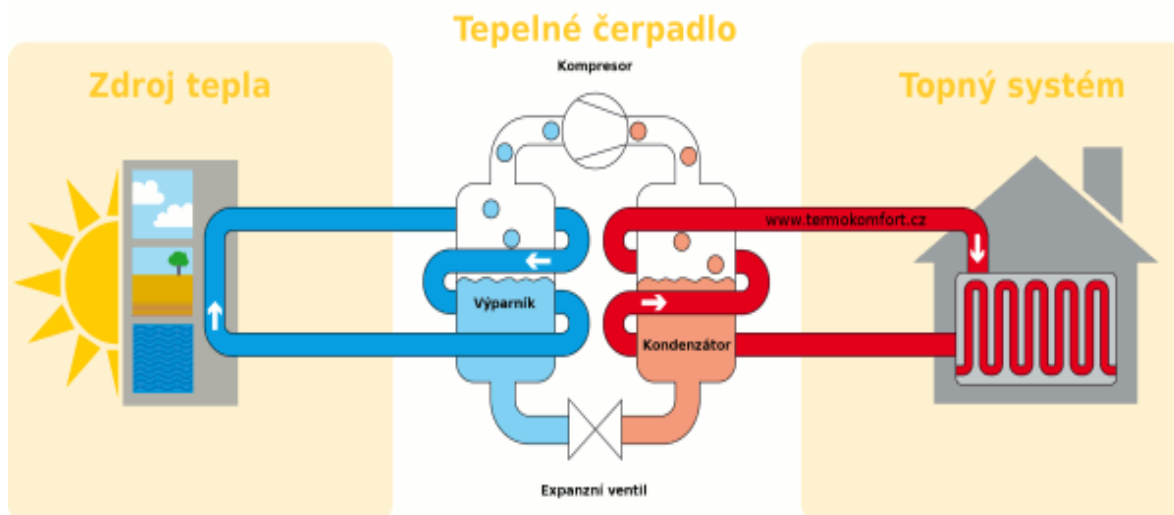
1 Tepelné čerpadlo

1.1 Princip tepelného čerpadla

Na základě druhé věty termodynamiky dochází k přenosu tepla z prostředí s vyšší teplotou do prostředí s nižší teplotou. V prostředí, které nás obklopuje, je obrovské množství takovýchto zdrojů přírodní energie o nízké teplotní úrovni. Tepelné čerpadlo (TČ) umožňuje odnímat teplo okolnímu prostředí a přeměnit ho na teplo využitelné k vytápění a ohřevu teplé užitkové vody.

Tepelné čerpadlo pracuje na principu chladničky. Chladnička odebírá teplo z ochlazovaného prostoru s potravinami a na následně jej vyzařuje do místnosti. Tepelné čerpadlo odebírá teplo z chladného prostředí (z půdy, podzemní nebo povrchové vody, okolního vzduchu) a předává ho při vyšší teplotě do otopného systému. Princip tepelného čerpadla znázorňuje obr. 1.1.

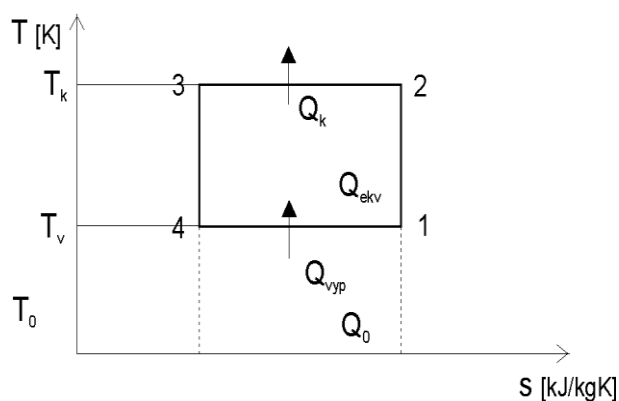
Na vstupní, tzv. primární straně tepelného čerpadla, je vždy výměník tepla, nazývaný výparník. Sem se pomocí vhodného teplotnosného média (vzduch, voda, nemrznoucí směs) přivádí nízkopotenciální teplo zvenku a do jeho druhé poloviny se tryskou termostatického expanzního ventilu (TEV) vstříkují pod velkým tlakem kapalné chladivo. Tlak ve výparníku za TEV je nižší a kapalné chladivo se proto rychle odpařuje. Tím se celý výparník podchlazuje na teplotu nižší, než je teplota prostředí, ze kterého se odebírá teplo. Tak je dosaženo toho, že teplo ze studené strany ohřívá podchlazený plyn a tento ohřátý, ale stále ještě studený plyn je nasáván kompresorem. Tady samozřejmě platí druhá věta termodynamického zákona. Nasávaný plyn si s sebou nese zvenku získanou energii. Po stlačení kompresorem se plyn silně zahřeje. V kompresoru se k energii nesené plynem přidá další část energie ve formě ztrátového tepla z kompresoru a tepla vzniklého třením jeho pohyblivých ploch. Stlačený plyn na výtlaku kompresoru dosáhne vyšší teploty než voda v topném systému a je veden do sekundárního výměníku, tzv. kondenzátoru, kterým topná voda proudí. Tam horký plyn zkapalní a předá teplo chladnější topné vodě. I tady platí druhá věta termodynamického zákona. Kapalina je zase vedena do expanzního ventilu. Celý cyklus běží spojitě stále dokola. [1]



Obr. 1.1 Princip tepelného čerpadla [2]

Tepelné čerpadlo představuje z hlediska termodynamiky obrácený Carnotův cyklus, tzv. levotočivý chladicí obr. 1.2. Součet tepla přijatého výparníkem Q_{vyp} a tepelná hodnota vnitřní práce Q_{ekv} je rovna teplo Q_k odevzdanému při vyšším tlaku a teplotě T_k topnému médium v kondenzátoru.

$$Q_k = Q_{vyp} + Q_{ekv} \quad [W] \quad (1.1)$$



Obr. 1.2 Levotočivý Carnotův cyklus [1]

Pracovní cyklus se skládá z následujících fází:

4 - 1 izotermické vypařování s přívodem tepla Q_{vyp} při vypařovací teplotě T_v

1 - 2 adiabatická komprese s kompresní prací Q_{ekv} – tepelný ekvivalent spotřebované práce

2 - 3 izotermická kondenzace s odvodem tepla Q_k při kondenzační teplotě T_k

3 - 4 adiabatická expanze pracovního média ve škrtícím ventilu

Efektivnost pracovního cyklu tepelného čerpadla vyjadřuje topný faktor (COP, z anglického Coefficient of Performance). Udává poměr topného výkonu v kW a energetického příkonu tepelného čerpadla v kW. Topný faktor je tím vyšší, čím je vyšší teplota zdroje tepla a čím nižší je teplota média v topném systému.

$$\varepsilon_T = \frac{Q}{E} \quad [-] \quad (1.2)$$

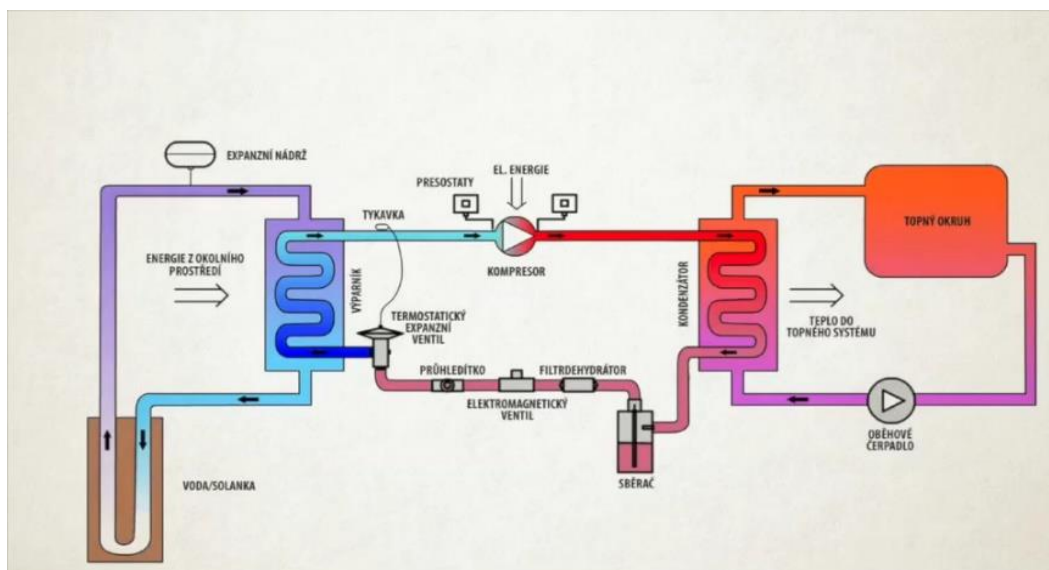
Kde Q – teplo dodané do vytápění [kWh]

E – energie pro pohon tepelného čerpadla [kWh]

1.2 Komponenty tepelného čerpadla

1.2.1 Kompresor

Kompresor je nejdůležitější částí tepelného čerpadla. Na jeho výkonu záleží dosažitelná hodnota topného faktoru a životnost celého systému. Kompresor nasává páry z chladiva výparníku, které následně stlačí. Na základě použité chladicí látky lze dosáhnout tlaku až 2,6 MPa a výstupní teplotě cca 55°C. Jednou z nejdůležitějších vlastností kompresorů je jejich naprostá těsnost, aby stlačované médium neunikalo do okolí. Za předpokladu, že je vypařovací tlak nižší než tlak okolí, nedochází k vnikání vzduchu a vlhkosti do pracovního prostoru kompresoru. Kompresorů pro tepelná čerpadla je celá řada a jejich konstrukce se liší na základě požadavků, provozu a údržbě tepelného čerpadla a v neposlední řadě i provozu a údržbě samotného kompresoru. [1]



Obr. 1.3 Chladivový okruh tepelného čerpadla voda (země)-voda [3]

Pro tepelné výkony 0,5 až 500 kW se nejvíce používají kompresory pístové a šroubové. Šroubové kompresory mají velmi tichý chod, zhruba o 20 % delší životnost a vyšší pořizovací náklady než pístové kompresory. V současné době jsou nejpoužívanější Scroll kompresory. Dosahují dobrých topných faktorů, jsou méně hlučné a hospodárnější.

Pístové kompresory

Tyto kompresory se vyskytují především u starších typů tepelných čerpadel. Pístové kompresory mají vyšší hlučnost a horší topný faktor než ostatní TČ. Jejich životnost se pohybuje kolem 15 let.

Principem je píst pohybující se ve válci, roztáčený motorem přes klikový hřídel. Ten následně stlačuje plyn, který odchází z válce otevřeným výfukovým ventilem. Sací a výtláčné ventily se otevírají samovolně působením tlaku. Pro dosažení co nejvyšší účinnosti mají kompresory co nejmenší hluché prostory mezi pístem v horní úvrati a stropem válce.

Scroll kompresory

V kombinaci s tepelným čerpadlem jsou tyto typy kompresorů v dnešní době nepoužívanější. Jsou efektivnější, hospodárnější a méně hlučné než pístové kompresory. Jejich životnost se pohybuje kolem 20 let, ale pořizovací náklady jsou vyšší.

Oproti pístovému kompresoru s mnoha pohyblivými částmi má tento kompresor pouze jednu spirálu (scroll), která obíhá po dráze definované další nepohyblivou spirálou upevněnou k tělu kompresoru. Pohyblivá spirála je spojena s klikovou hřídelí způsobující kývavý excentrický pohyb, který vytváří řady plynových kapes. Tyto kapsy se při přemísťování dovnitř spirály zmenšují, čímž se zvyšuje teplota i tlak na potřebnou hodnotu.

Rotační kompresory

Nejméně používaným typem jsou rotační kompresory, vhodné především do klimatizačních jednotek. Mají nižší účinnost, nedosahují vysokých topných faktorů a v kombinaci s kratší životností se hodí spíše pro malé výkony TČ.

Rotační lamelové kompresory jsou tvořeny válcovým statorem a excentricky umístěným rotorem. Ten je opatřen štěrbinami, ve kterých se pohybují zasunovatelné lamely. Při otáčení rotoru na lamely působí odstředivé síly, objem mezi nimi se zmenšuje a při dostatečném tlaku na konci cyklu dojde k výtlaku.

Šroubové kompresory

Šroubové kompresory se používají především v průmyslu, kde je potřeba vysoký výkon, proto mají také nejvyšší pořizovací náklady.

Principem je komprese plynu, ke které dochází zmenšováním objemu párových komůrek mezi zuby obou rotorů. Ty se otáčejí proti sobě, čímž se objem pracovních komůrek na straně sání postupně zvětšuje a na straně výtlačné postupně zmenšuje. Plyn je neustále sacím kanálem nasáván do komůrek mezi rotory, postupně stlačován a trvale otevřeným výtlačným kanálem dopravován do výtlačného potrubí.

1.2.2 Kondenzátor

Kondenzátor je výměník tepla a slouží k výměně tepla mezi chladivem a médiem v topném systému. Tím je nejčastěji voda nebo vzduch. Kondenzátory jsou konstrukčně navrženy na trvalé kolísání tlaku chladiva. Materiál kondenzátorů musí odolat požadovaným tlakům a chemickým vlastnostem média. Mezi nejčastěji používané materiály patří měď, hliník, nerezová ocel a polyetylen.

1.2.3 Výparník

Výparník je, stejně jako kondenzátor, výměník tepla a slouží k odebrání tepla z okolního prostředí (z vhodného nízkopotenciálního zdroje). Tímto zdrojem mohou být vzduch, voda nebo země. Z konstrukčního hlediska je výparník ze stejných materiálů jako kondenzátor. Musí taktéž odolávat kolísání tlaku, koroznímu a chemickému působení.

1.2.4 Sběrač kapalného chladiva

Sběrač kapalného chladiva je malá tlaková nádoba. Slouží jako zásobník kapalného chladiva a odlučovač bublin. Zajišťuje, aby do termostatického expanzního ventilu (TEV) přicházela pouze kapalina. Sběrač má objem obvykle několik litrů a musí být dimenzován na nejvyšší možný provozní tlak v systému (např. 3 MPa). Pro tepelné čerpadlo s výkonem 10 kW vyhovuje sběrač o objemu asi 5 l. [1]

1.2.5 Termostatický expanzní ventil

Úkolem TEV je vstříkovat do výparníku správné množství kapalného chladiva tak, aby byl výparník správně plněn a měl optimální provozní režim. Hlavní částí TEV je tryska, která je otevírána silou, vytvořenou vzájemným působením několika veličin. Tyto síly jsou vytvářeny tlakem plynů na membránu ventilu a pružinou regulačního šroubu. Důležitou částí TEV je teplotní čidlo, nazývané tykavka. Je to malá nádobka naplněná vhodným médiem, u kterého se při zvyšování teploty zvyšuje tlak a ten je kapilárou přenášen do TEV. Tlak nad membránou se zvyšuje s rostoucí teplotou tykavky, tlak pod membránou roste s vypařovací teplotou. Rozdíl těchto tlaků odpovídá přehřátí chladiva a vytváří sílu, která působí proti síle pružiny ventilu a otevírá či zavírá trysku ventilu. [1]

1.2.6 Filtrdehydrátor

Filtrdehydrátor slouží k ochraně systému před znečištěním pevnými látkami nebo kapalnými nečistotami. Pokud se v systému objeví vlhkost, musí se filtrdehydrátor vyměnit. Na obalu je šipkou označen směr průtoku kapalného chladiva, ten se musí dodržet. Pro tepelné čerpadlo vzduch-voda s nutností reverzace chodu se dodávají filtrdehydrátory pro obousměrný provoz. [1]

1.2.7 Elektromagnetický ventil

Elektromagnetický ventil zajišťuje uzavření přívodu kapalného chladiva v okamžiku vypnutí kompresoru a znemožní tím následné poškození výparníku. Při spuštění kompresoru dojde znovu k otevření EMV. V některých případech můžeme tímto ventilem dosáhnout tzv. odsávacího cyklu. Elektromagnetický ventil uzavře přívod kapalného chladiva, zatímco kompresor zůstane v chodu. Tlak v sacím potrubí klesá a při dosažení dané hodnoty se kompresor vypne.

1.2.8 Průhledítko

Průhledítko slouží ke sledování toku kapaliny v potrubí. Součástí bývá také indikátor vlhkosti, která se projevuje změnou barvy mezikruží. Po vysušení chladiva, např. po výměně filtrdehydrátoru, dojde ke změně barvy na původní. [1]

1.2.9 Presostaty

Presostaty jsou nastavitelná tlaková čidla, která udržují pracovní tlak v požadovaných hodnotách. Rozdělují se na sací (pro nízký tlak) a výtlačné (pro vysoký tlak). Liší se pouze rozsahem nastavení vypínacích tlaků.

Výtlačný presostat se aktivuje tehdy, přeruší-li se odvádění tepla z kondenzátu tepelného čerpadla vinou poruchy oběhového čerpadla nebo z jiné příčiny, která způsobí omezení průtoku otopného média. Teplota v kondenzátoru se začne zvyšovat a bude narůstat i kondenzační tlak. Ten může překročit povolenou hranici pracovního tlaku, například 2,5 MPa, kdy presostat vypíná kompresor. [1]

Sací presostat plní pojistnou funkci na primární straně TČ. Pokles sacího tlaku je zaviněn poklesem teploty vstupního média. Dojde-li například k přerušení nebo omezení primární vody u tepelného čerpadla voda-voda, teplota ve výparníku silně poklesne. Pokles teploty je provázen poklesem sacího tlaku a nízkotlaký presostat vypne. Další příčinou poruchy může být úplný unik chladiva ze systému nebo porucha elektromagnetického ventilu. [1]

1.3 Chladiva pro tepelná čerpadla

Každá látka, která je schopna určitému zdroji odebrat tepelnou energii při nízké teplotě a tlaku a poté ji při vyšší teplotě a tlaku odevzdat, je nazývána chladivem. Odevzdávání a přijímání tepla je spojeno se změnou skupenství. Výjimkou jsou plynové oběhy.

Chladiva pro tepelná čerpadla jsou volena a vyvíjena s ohledem na problematiku poškozování ozónové vrstvy a vyvolávání skleníkového efektu. Z těchto důvodů musí mít chladivo přesně specifikované fyzikální, termodynamické a chemické vlastnosti, aby bylo ekologické, provozně ekonomické a bezpečné.

Mezi nejdůležitější chemické vlastnosti chladiv patří hořlavost, výbušnost, stabilita a působení na konstrukční materiály. Za obvyklých provozních podmínek je stabilita chladiv dostatečná. Ve většině případů se zvětšuje působení na konstrukční materiály při výskytu vlhkosti v zařízení. Problém hořlavosti a výbušnosti chladiv je nutné uvažovat zvláště v oblasti klimatizace.

Elektrické vlastnosti a vzájemná rozpustnost s oleji a s vodou patří mezi nejdůležitější fyzikální vlastnosti chladiv. Elektrická pevnost a dielektrická konstanta umožňují bezchybnou funkci elektromotorů v prostředí par chladiva. U chladiv dáváme přednost nerozpustnosti s olejem z důvodu usazování oleje v aparátech a následného možného odvedení z okruhu.

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

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

Tab.1 Seznam chladiv [4]

Z tepelných vlastností je důležitá hlavně závislost tlaku na teplotě při kondenzaci a vypařování. Vhodné chladivo je takové, u kterého se při provozní teplotě pohybuje tlak v rozmezí 0,1 – 2 MPa. Při nižším tlaku, než je atmosférický tlak, hrozí nebezpečí vniknutí vody na nízkotlaké straně nebo přísávání vzduchu. Neméně důležitou tepelnou vlastností je objemová chladivost. Ta velmi ovlivňuje velikost a cenu zařízení.

Vliv plynů, par a tedy i chladiv na poškozování ozónové vrstvy Země popisuje koeficient ODP (Ozone Depletion Potential). Je to relativní číslo. Za jeho základ byl vzat freon R11. Jeho koeficient byl stanoven jako 1. Kolikrát je koeficient ODP dané látky menší, tolikrát je vliv na poškozování ozónové vrstvy nižší. [3]

Vliv látek na skleníkový efekt, který je jednou z příčin dlouhodobého oteplování Země, se označuje pomocí koeficientu GWP (Global Warming Potential). Číslo je vztahováno k CO₂ za 100 let, u kterého je stanoven koeficient 1. Kolikrát je koeficient GWP dané látky vyšší, tolikrát vyšší je její negativní vliv. [3]

1.4 Zdroje nízkopotenciálního tepla

Na topný faktor tepelného čerpadla a na efektivitu provozu má zásadní vliv volba zdroje nízkopotenciálního tepla. Tyto zdroje můžeme rozdělit na tři základní skupiny:

- země
- voda
- vzduch

1.4.1 Země

K odběru tepla ze země se používají dva způsoby. Teplo z podloží získané z hloubkového vrtu a teplo z půdní vrstvy získané z půdního kolektoru. Půdní kolektor je vhodný pro uživatele s dostatečnou plochou zeminy. V případě nedostatku prostoru je vhodným řešením hloubkový vrt.



Obr. 1.4 Tepelné čerpadlo země-voda se zemním vrtem [6]

Tepelná vodivost hornin je nejdůležitějším parametrem při volbě umístění vrtu. Teplu se čerpá z podloží pomocí vrtu (resp. několika vrtů) o hloubce od 50 do 150 m. Pokud je potřeba více vrtů, měly by mít od sebe odstup minimálně 10 m, aby se vzájemně neovlivňovaly. Tepelné čerpadlo o výkonu 10 kW vyžaduje přibližně 140 m hluboký vrt. Tato hloubka odpovídá potřebě 12-18 m hloubky vrtu na 1 kW výkonu tepelného čerpadla. Obecně platí, že je lepší zvolit jeden hlubší vrt než více kratších. Délka a množství vrtů záleží převážně na geologických podmínkách. Průměr vrtu je obvykle 130–220 mm. Do vrtu se ihned po odvrtání zasune polyetylenová (LDPE) hadice kolektoru. V hadici kolektoru proudí nemrznoucí směs, nejčastěji vodní roztok monoproplynglykolu nebo monoetylglykolu. Z důvodu možného rizika, že vrt narazí na zásobárnu podzemní vody a naruší tak geologické poměry, musí být pro zhotovení vrtu povolení příslušného stavebního a vodoprávního úřadu. Tepelné čerpadlo s hlubinnými vrty má velmi dobrý topný faktor, který se během roku téměř nemění. [5]

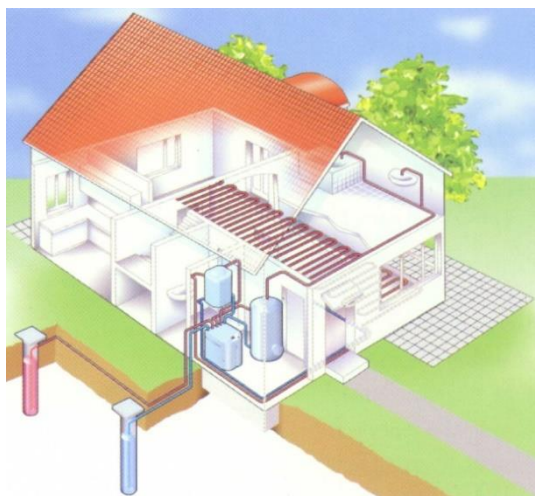


Obr. 1.5 Tepelné čerpadlo země-voda s půdním kolektorem [6]

Dalším, poměrně rozšířeným systémem, který má oproti hlubinným vrtům nižší pořizovací náklady za cenu mírně horšího ročního topného faktoru, je využití půdního kolektoru. Půda se ochlazuje tepelným výměníkem z LDPE potrubí plněného nemrznoucí směsí a umístěného v nezamrzné hloubce 1,2–2 m. Z důvodů možného promrznutí základů budov se plošný půdní kolektor umísťuje v dostatečné vzdálenosti. Trubky, v nichž proudí nemrznoucí směs, se mohou pokládat na vzdálenost 0,6 m od sebe. Pokud je TČ využíváno jen pro vytápění, může být kolektor menší, jelikož se přes léto regeneruje přestupem tepla z okolních vrstev zeminy, slunečním zářením a teplem z venkovního prostoru. Při celoročním využívání je nutné plochu kolektoru zvětšit. [5]

1.4.2 Voda

Spodní voda je ideální nízkopotenciální zdroj tepla. Voda se odebírá ze zdrojové studny a po ochlazení se vypouští do druhé, takzvané vsakovací studny. Výhodou tohoto systému je nejvyšší průměrný roční topný faktor při nejnižších nákladech. To je dáno relativně vysokou teplotou spodní vody, která je v hloubkách větších než 10 m celoročně okolo 8-12 °C. Tepelné čerpadlo musí být, z důvodu zamrznutí výměníku, případně jeho poškození, chráněno proti výpadku dodávky zdrojové vody. Nevýhodou je, že na pozemku musí být zdrojová studna s celoročně dostatečnou vydatností vody a vsakovací studna pro vrácení ochlazené vody do podloží. Tuto vodu musí být podloží schopno neustále přijímat. Vypouštění ochlazené vody do povrchových vodotečí se v zásadě nedovoluje. Před zhotovením vrtu pro čerpání podzemní vody je nutné provést odborný hydrogeologický průzkum. Na základě tohoto průzkumu dostaneme od vodoprávního úřadu povolení k provedení vrtu a povolení k čerpání a vypouštění podzemních vod. Přírodní podmínky omezují využití toho systému, z tohoto důvodu je nutné ověřit vydatnost vrtu dlouhodobou čerpací zkouškou. [5]



Obr. 1.6 Tepelné čerpadlo voda-voda [6]

Dobře dostupným zdrojem vody je povrchová voda. Její teplota je ale poměrně nízká, občas zamrzá a obvykle je i znečištěná. Z těchto důvodů se příliš nehodí pro využití v tepelném čerpadle. Do dna vodoteče nebo vodní nádrže lze umístit kolektor, který by vodu ochlazoval. Malé, zamrzající potoky nelze využívat. Vhodnější jsou trvale tekoucí vody. Ideální je např. náhon malé vodní elektrárny, kam lze bez problémů umístit výměník pro tepelné čerpadlo. [5]

Jen málo domů se nachází přímo na břehu rybníka nebo vodoteče. S uložení potrubí přes cizí pozemky nemusí jejich majitelé souhlasit. S uložení kolektoru do dna vodního toku musí také souhlasit správce toku. Největší překážkou je znečištění povrchové vody a její mineralizace. V praxi na využití povrchové vody téměř nenarazíme. [5]

1.4.3 Vzduch

V současné době je jedním z nejvíce využívaných zdrojů nízkopotenciálního tepla okolní vzduch. Tepelné čerpadlo využívající okolní vzduch nepotřebuje zemní kolektor ani vrty a z tohoto důvodu jsou pořizovací náklady a instalace jednodušší. Energie obsažená ve vzduchu silně závisí na jeho vlhkosti. Je-li vzduch chladný, je v něm i málo vody. V době nejnižších venkovních teplot, kdy je potřeba tepla v objektu nejvyšší, pracuje tepelné čerpadlo s nižším topným faktorem a obvykle s nižším výkonem.

Tepelná čerpadla dokáží v současné době pracovat i při venkovní teplotě $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. V případě, že je venkovní teplota nižší a tepelné čerpadlo není schopno pracovat, je nutné vybavit celý systém vytápění dalším zdrojem, např. elektrokotlem. [5]



Obr. 1.7 Tepelné čerpadlo vzduch-voda [6]

2 Plynové tepelné čerpadlo

2.1.1 Kompresorové plynové tepelné čerpadlo

Kompresorová plynová tepelná čerpadla (GHP, z anglického Gas-engine Heat Pump) pracují na podobném principu jako klasická TČ. Základem je plynový spalovací motor a průmyslový kompresor. Ty jsou zapojeny do chladivového okruhu společně s výparníkem a kondenzátorem. Jednotka dodává chlad z okruhu výparníku a teplo uvolněné z kondenzátoru, bloku motoru a spalin. [7]

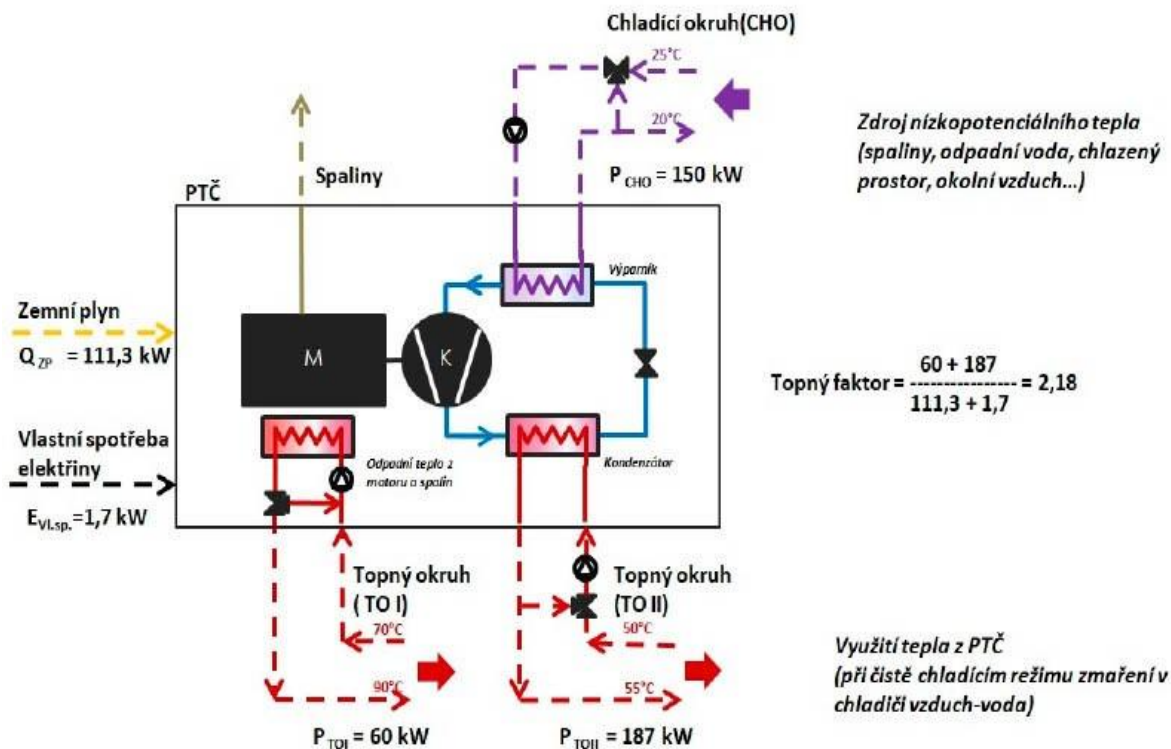
Plynový motor spaluje zemní plyn, tím se zahřívá, produkuje spaliny a otáčí pístovým kompresorem. Spalovací motor je nutné chladit, ale toto teplo můžeme odebírat přes výměník a použít jej k vytápění nebo k ohřevu užitkové vody (TUV, 90 °C). Produkované spaliny v sobě také nesou značné množství využitelné energie, kterou lze zužít díky přidavnému kondenzačnímu spalínovému výměníku. [7]

Kompresor svou činností vytváří v chladivovém okruhu rozdílné fyzikální podmínky na vstupu a výstupu z kompresoru – působením expanzního ventilu je celý kompresorový okruh rozdělen na stranu kondenzátoru a stranu výparníku. V kompresorovém okruhu obíhá chladivo v plynném či kapalném skupenství. Na výtlaku z kompresoru je chladivo zvýšením tlaku donuceno ke kondenzaci. V kondenzátoru dochází ke kondenzaci par chladiva doprovázené uvolňováním tepla. Toto nízkopotenciální teplo (teplota okolo 50 °C) můžeme následně využít pro vytápění. [7]

Expanzní ventil umístěný před výparníkem uvolňuje tlak v okruhu sání kompresoru, zabezpečuje nástřik chladiva do výparníku, ve kterém se chladivo i při poměrně nízké teplotě vypařuje a tím odebírá z okolí teplo (ochlazuje okolní prostředí). Tuto část kompresorového okruhu využíváme k chlazení – prostřednictvím ní odebíráme nežádoucí teplo. [7]

Obecně jsou plynová TČ určena především pro dodávky chladu, resp. chladu a tepla. Pracovat mohou i v čistě topném režimu, kdy dodávají pouze tepelnou energii. Za příznivých klimatických podmínek může TČ odebírat teplo z okolního prostředí, čímž se ještě navýší topný výkon. Toho se využívá především ve velkých napájecích rozvodech – v průmyslových halách, kancelářích, nemocnicích, hotelích nebo školách. V porovnání s tepelným čerpadlem na elektřinu je tato technologie mimořádně výhodná, neboť využívá cenově příznivou primární energii – plyn a má rychlejší návratnost investice. Často nejsou

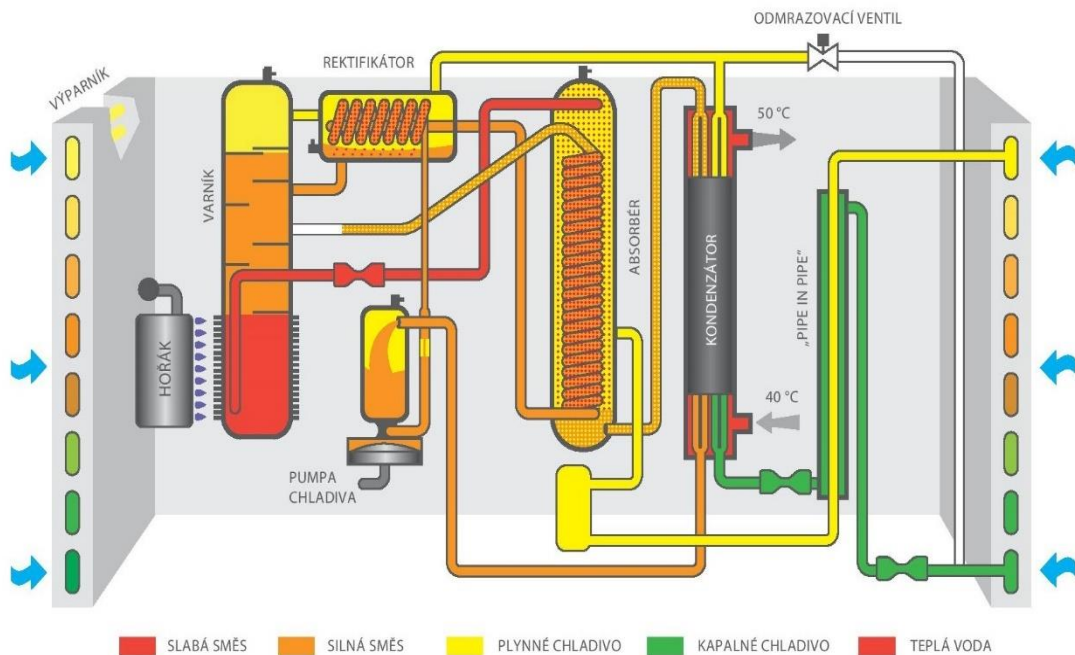
zapotřebí další investice do kotlů pro zátěžové časy ve špičkách nebo do větších trafostanic potřebných pro elektrinou poháněná tepelná čerpadla.



Obr. 2.1 Příklad energetické bilance pro teplotní spád $25/20^\circ\text{C}$ v chladícím okruhu a $50/55^\circ\text{C}$ v topném okruhu tepelného čerpadla [7]

2.1.2 Absorpční plynové tepelné čerpadlo

Z důvodu absence kompresoru jsou tato tepelná čerpadla velmi tichá. Zároveň nemají ve svém zařízení mechanicky pohyblivé části, a proto jsou konstrukčně jednoduchá a spolehlivá.



Obr. 2.2 Princip absorpčního plynového tepelného čerpadla [8]

Absorpční tepelná čerpadla jsou založena na podobném principu jako absorpční chladicí zařízení. Spalováním plynu získáme potřebnou tepelnou energii. Do absorberu, kde je roztok s nízkou koncentrací chladiva v kapalině, tzn. chudý roztok, proudí páry chladiva o nízkém tlaku, které jsou pohlcovány absorbentem. Během tohoto procesu se uvolňuje teplo, které je nutno odvést do okolního prostředí. Po nasycení chladivem se roztok s vysokou koncentrací chladiva (bohatý roztok) dopravuje čerpadlem do vypuzovače. Zde se roztoku dodá teplo o vysoké teplotě, za vysokého tlaku dojde k varu a roztok se rozdělí na dvě fáze. Páry s vysokým obsahem chladiva a kapalný chudý roztok. Chudý roztok se vrací přes škrtkový ventil zpět do absorberu a stlačené páry chladiva postupují do kondenzátoru. Odnímáním tepla páry chladiva zkapalní a kondenzát se odvádí přes škrtkový ventil do výparníku, kde odnímá teplo prostředí (zdroji) a za nízkého tlaku se vypaří.

3 Využití plynového tepelného čerpadla pro topení a přípravu TUV

3.1 Vytápění tepelným čerpadlem

Předpokladem použití TČ na vytápění objektů bydlení je možnost napojení na nízkoteplotní vytápěcí soustavu s maximální teplotou přívodní vody 50–55 °C. Pro efektivní provoz tepelného čerpadla je vhodné, aby teplota otopné vody, cirkulující v topné soustavě, byla co možná nejnižší. Tím se dosáhne většího topného faktoru, a tedy i nižší spotřeby elektrické energie. Aby byla zajištěna vyšší střední teplota topné vody při nízkoteplotním vytápění, používá se menších teplotních spádů než při běžných teplotách, u kterých jsou rozdíly až 20 °C. Například topná voda s teplotou 80 °C se v radiátorech ochladí na 60 °C, kdežto u nízkoteplotního vytápění se z 50 °C ochladí jen o 5 °C na 45 °C – teplotní spád je tedy 50/45 °C. Při takto malých rozdílech teplot se pro přenesení stejného topného výkonu musí zajistit větší průtok topného média. Oproti klasickým způsobům vytápění to činí více než dvojnásobek. S tím se tedy musí počítat i při návrhu cirkulačních čerpadel a rozvodů v dané topné soustavě. Uvedené skutečnosti vyplývají ze vzorce pro získané teplo z otopného tělesa:

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta t \quad [\text{W}] \quad (3.1)$$

kde	m – množství vody dodávané čerpadlem	[kg]
	c_p – měrná tepelná kapacita vody	[J/kgK]
	Δt – rozdíl teplot v otopném tělese (teplotní spád)	[K]

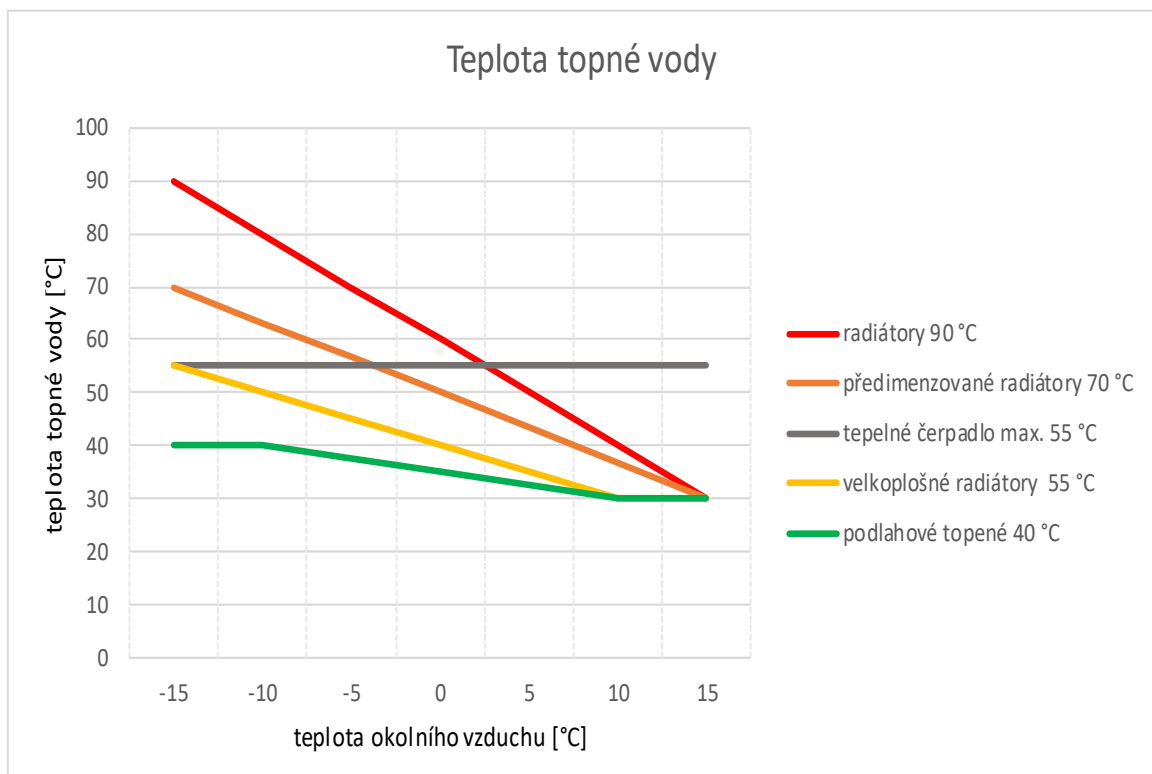
3.1.1 Určení teploty a návrh topného systému

Protože výkon, topný faktor a teplota bivalentního bodu tepelného čerpadla přímo závisí na teplotě topné vody, je vhodné navrhnout pro dosažení optimálních parametrů nízkoteplotní topný systém.

Z grafu (obr. 3.1) je patrné, že tepelné čerpadlo, které má maximální teplotu topné vody 55 °C, je schopno pracovat do následujících venkovních teplot:

- u vysokoteplotní soustavy by tepelné čerpadlo pracovalo do venkovní teploty +2 °C
- u běžné soustavy s radiátory (70 °C) by TČ pracovalo do venkovní teploty –5 °C

- při použití radiátorů se spádem 55/45 °C není provoz TČ omezen max. teplotou topné vody, záleží pouze na jeho výkonu
- podlahové topení je pro spolupráci s TČ ideální, protože díky nižší teplotě topné vody je dosažen i vyšší topný faktor a tím větší úspory nákladů na provoz tepelného čerpadla



Obr. 3.1 Teplota topné vody v topných systémech

Teplota topné vody v topných systémech s radiátory byla v minulosti dimenzována na 90 °C. U těchto systémů byly ve většině případů velikosti radiátorů předdimenzovány, protože při stálém celodenním topení je při výpočtové teplotě potřeba teplota topné vody pod 70 °C. U nových soustav je už obvyklé nízkoteplotní řešení s velkoplošnými radiátory a s teplotou topné vody 55 °C, nebo podlahové topení s teplotami pod 40 °C. Hlavní výhody podlahového vytápění spočívají v tepelné pohodě, která je dána rozložením tepla v místnosti a tím i lepším pocitem tepelného komfortu. Dalším nesrovnatelným přínosem je fakt, že vzhledem k charakteru topné plochy je teplota vzduchu v místnosti potřebná o 2–4 °C nižší ve srovnání s radiátory při zachování stejné tepelné pohody. Toto snížení znamená v důsledku dosažení úspory 10–24 % ve srovnání s radiátorovým topným systémem.

Metodika hodnocení potřeby energie pro vytápění budov je velmi podrobná a složitá, stanovení spotřeby tepla je uvedeno v řadě legislativních předpisů, a lze tedy použít mnoho různých výpočtových postupů.

- ČSN EN ISO 52016-1 – Energetická náročnost budov - Energie potřebná pro vytápění a chlazení vnitřních prostor a citelné a latentní tepelné zatížení – Část 1: Postupy výpočtu
- ČSN 73 0540-3 – Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin
- ČSN 38 3350/88 – Zásobování teplem všeobecné zásady
- ČSN EN 15316-4-8 - Energetická náročnost budov - Výpočtová metoda pro stanovení potřeb energie a účinností soustavy - Část 4-8: Výroba tepla pro vytápění, teplovzdušné vytápění a stropní sálavé vytápění, včetně kamen
- + související předpisy – zákony a vyhlášky

Počet dnů topného období je dán vnějšími atmosférickými podmínkami. Zahájení a ukončení topné sezóny je dáno vyhláškou č. 194/2007 Sb. Topné období začíná 1.9. a končí 31.5. následujícího roku. Vytápění je zahájeno, pokud klesne teplota dva po sobě jdoucí dny pod 13 °C a topení je ukončeno, když průměrná teplota vnějšího vzduchu je ve dvou po sobě jdoucích dnech nad 13 °C a podle vývoje počasí nelze očekávat pokles této teploty pro následující den.

3.2 Použití tepelného čerpadla pro ohřev TUV

Požadavky na množství a teplotu připravované teplé užitkové vody jsou celoročně stálé, takže i podmínky na kondenzační straně TČ jsou během roku v podstatě konstantní. Tepelné čerpadlo v tomto zapojení nemůže být využíváno jako špičkový zdroj, ale systém musí být vybaven akumulacním zásobníkem. Je důležité, aby voda byla, pokud možno ohřívána jen na nezbytně nutnou teplotu, protože tak TČ pracuje s lepším topným faktorem.

Zařízení pro ohřívání užitkové vody se obvykle navrhuje tak, aby teplota TUV v místě odběru dosahovala trvale hodnot 50–55 °C. V době odběrové špičky je povolen krátkodobý pokles teploty až na 45 °C. K zamezení tvorby bakterií (např. Legionelly pneumophily) se doporučuje u zásobníkových ohřevů v bezpodmínečně nutných případech na přechodnou dobu periodicky zvyšovat teplotu TUV nejméně na 70 °C, ale možný je i jiný způsob

desinfekce. Velikost zásobníků se řídí podle špičkové denní spotřeby, ke které se navíc připočítá 20 % (užitkové množství). Akumulační zásobníky bývají vybaveny elektrickými přímotopy na „noční“ sazbu, které mají za úkol dohřívát vodu na potřebnou teplotu nebo zajistit ohřev vody při poruše TČ. Nabíjení probíhá obvykle v době, kdy je minimální nebo žádný odběr TUV, přičemž z energetického hlediska (při zanedbání tepelných ztrát povrchem zásobníku) je jedno, zda je naakumulováno větší množství studenější vody nebo menší množství vody teplejší, která je při použití ředěna studenou vodou.

Znalost očekávané spotřeby teplé vody je základním předpokladem pro volbu vhodného zařízení nebo potřebného objemu zásobníku. Z tohoto důvodu se doporučuje při určování výhledové spotřeby teplé vody brát do úvahy orientační hodnoty spotřeby, které vycházejí ze zkušenosti a jsou užitečné zejména z hlediska individuálních zvyklostí u koupelen a sprch. Následující tab. 2 a tab. 3 umožňují zjištění spotřeby teplé vody v domácnosti vztažené k výstupní teplotě teplé vody 60 °C a teplotě studené vody 10 °C. Údaje slouží jako orientační hodnoty a naleznou uplatnění v případě, kdy nejsou k dispozici žádné přesnější údaje o předpokládané spotřebě vody.

spotřeba teplé vody [l/den.osobu]	teplota teplé vody 60 °C	teplota teplé vody 45 °C	měrné užitečné teplo [kWh na den a osobu]
průměrná hodnota v domácnosti	20	30	1,2

spotřeba teplé vody [l/den.osobu]	teplota teplé vody 60 °C	teplota teplé vody 45 °C	měrné užitečné teplo [kWh na den a osobu]
nižší spotřeba [l]	10 až 20	15 až 30	0,6 až 1,2
střední spotřeba [l]	20 až 40	30 až 60	1,2 až 2,4
vyšší spotřeba [l]	40 až 80	60 až 120	2,4 až 4,8

Tab.2 Domácnost

odběrové místo	množství vody [l]	užitná teplota [°C]	množství teplé vody o teplotě 60°C
dřez	10 až 20	50	8 až 16 l
koupelnová vana	150 až 180	40	90 až 108 l
sprcha	30 až 50	37	16 až 27 l
mycí stůl	10 až 15	37	5 až 8 l
umyvadlo na ruce	2 až 5	37	1 až 3 l

Tab.3 Jednotlivé příklady spotřeby

Pokud máme potřebná data, lze spotřebu tepla na přípravu TUV spočítat. Výpočet je uveden v normě ČSN 06 0320 - Tepelné soustavy v budovách-Příprava teplé vody – Navrhování a projektování, která obsahuje všechny potřebné údaje.

- spotřeba energie na ohřátí požadovaného množství vody

$$E = \frac{m \cdot c_p \cdot \Delta t}{\eta} [\text{Wh}] \quad (3.2)$$

kde m – množství [kg]
 c_p – měrná tepelná kapacita vody [Wh/kgK]
 Δt – rozdíl teplot v otopném tělese (teplotní spád) [K]

$$\Delta t = t_2 - t_1 [^\circ\text{C}] \quad (3.3)$$

t_1 – teplota studené vody [°C]

t_2 – teplota teplé vody [°C]

η – stupeň účinnosti [-]

- doba ohřevu

$$t = \frac{m \cdot c_p \cdot \Delta t}{P \cdot \eta} [\text{h}] \quad (3.4)$$

kde P – příkon [W]

- teplota smíšené vody

$$t_M = \frac{m_1 \cdot t_1 + m_2 \cdot t_2}{m_1 + m_2} [^\circ\text{C}] \quad (3.5)$$

kde m_1 – množství studené vody [W]

m_2 – množství teplé vody [W]

- množství smíšené vody

$$m_M = \frac{m_2 \cdot (t_2 - t_1)}{t_M - t_1} [\text{kg}] \quad (3.6)$$

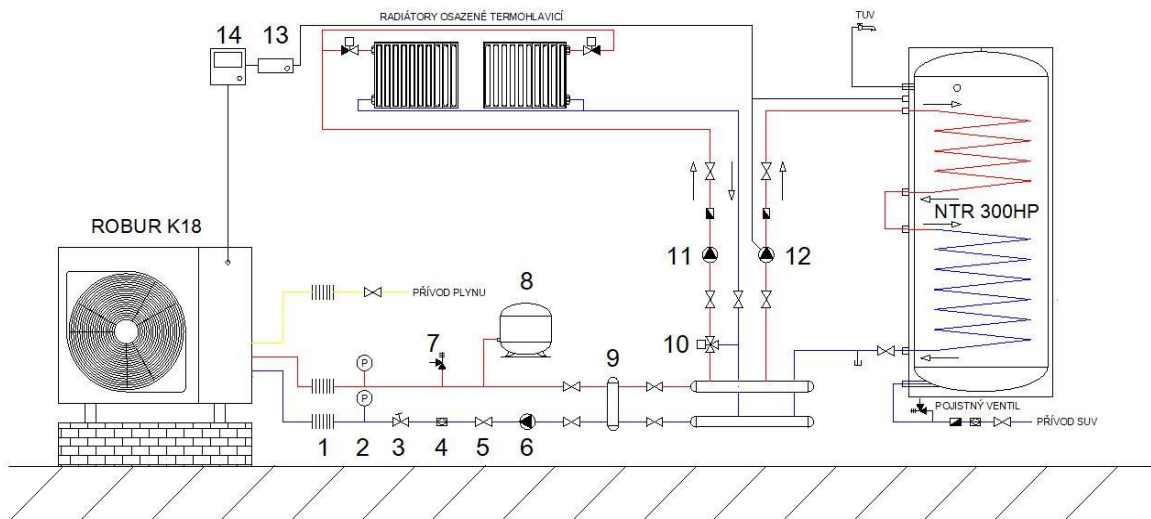
$$m_M = m_1 + m_2 [\text{kg}] \quad (3.7)$$

- průtočné množství

$$m_D = \frac{P}{c_p \cdot \Delta t} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} [\text{kg/min}] \quad (3.8)$$

3.3 Návrh zapojení plynového absorpčního tepelného čerpadla

Pro návrh zapojení plynového tepelného čerpadla do rodinného domu byl použit stávající rodinný dům. Rodinný dům je vybaven otopnou soustavou s plynovým kondenzačním kotlem a radiátory. Tepelná ztráta objektu je 9,0 kW.



- | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 antivibrační spoje | 8 expanzní nádoba |
| 2 manometr | 9 hydraulický oddělovač |
| 3 regulační ventil | 10 třicestný směšovací ventil |
| 4 vodní filtr | 11 vodní čerpadlo (okruh vytápění) |
| 5 kulový ventil | 12 vodní čerpadlo (okruh TUV) |
| 6 vodní čerpadlo (primární okruh) | 13 digitální ovladač zdroje GAHP |
| 7 bezpečnostní ventil | 14 modul RB-100 |

Obr. 3.2 Schéma zapojení TČ do otopné soustavy

Vzhledem k tepelné ztrátě tohoto objektu bylo navrženo absorpční plynové tepelné čerpadlo K18 od italské firmy ROBUR. Tepelné čerpadlo K 18 je kompaktní řešení vše v jednom, které zásadně zjednodušuje instalaci respektováním všech technických norem. Při instalaci není nutné žádné složité sladění se stávajícím zdrojem, jako je tomu například při instalaci solárních systémů. Pouze malé množství mechanických komponentů vyžaduje minimální údržbu. Na zařízení se nevztahují požadavky legislativy týkající se F-plynů, protože používá přírodní chladivo, které nemá vliv na globální oteplování či poškozování ozónové vrstvy. Toto tepelné čerpadlo patří zároveň k nejtišším tepelným čerpadlům na trhu. Je všestranně vhodným řešením pro rekonstrukci nebo zefektivnění stávajícího

vytápění domu, a to díky možnosti integrace do tradičního vytápěcího systému s ohřevem vody na vyšší teploty (radiátory). S tepelným čerpadlem K 18 je možné rychle a jednoduše nahradit stávající plynový kotel. [9]



Obr. 3.3 Tepelné čerpadlo Robur K18[9]

Tepelný výkon - (A7/W50) ¹	17,6 kW
Tepelný výkon - (A7/W35) ¹	18,9 kW
Maximální tepelný příkon	11,2 kW
Chladivo	čpavek (R717), voda (H ₂ O)
G.U.E. účinnost využití plynu (A7/W50) ¹	157 %
G.U.E. účinnost využití plynu (A7/W35) ¹	169 %
Maximální teplota výstupní vody pro TUV	70 °C
Maximální teplota výstupní vody pro ÚT	65 °C
Elektrický příkon	280 W
Spotřeba zemního plynu	1,2 m ³ /h
Rozměry (výška × šířka × hloubka)	1360 × 1129 × 606 mm
Váha	250 kg

(1) Dle normy EN12309

Tab.4 Technické parametry čerpadla ROBUR K18 [10]

Zvolené tepelné čerpadlo je určeno pro venkovní montáž a jeho zdrojem nízkopotenciálního tepla je vzduch. Toto tepelné čerpadlo má pro zvolený objekt dostatečný výkon i při nízkých teplotách a není třeba použít bivalentní zdroj. Maximální výstupní teplota zařízení je 65 °C a to bez ohledu na klimatické podmínky. Vzhledem k menšímu

proudění vzduchu má toto tepelné čerpadlo ve své výkonové kategorii nejnižší hlučnost (65 dB).

V následující tabulce je přehled naměřených parametrů pro různé vstupní a výstupní podmínky.

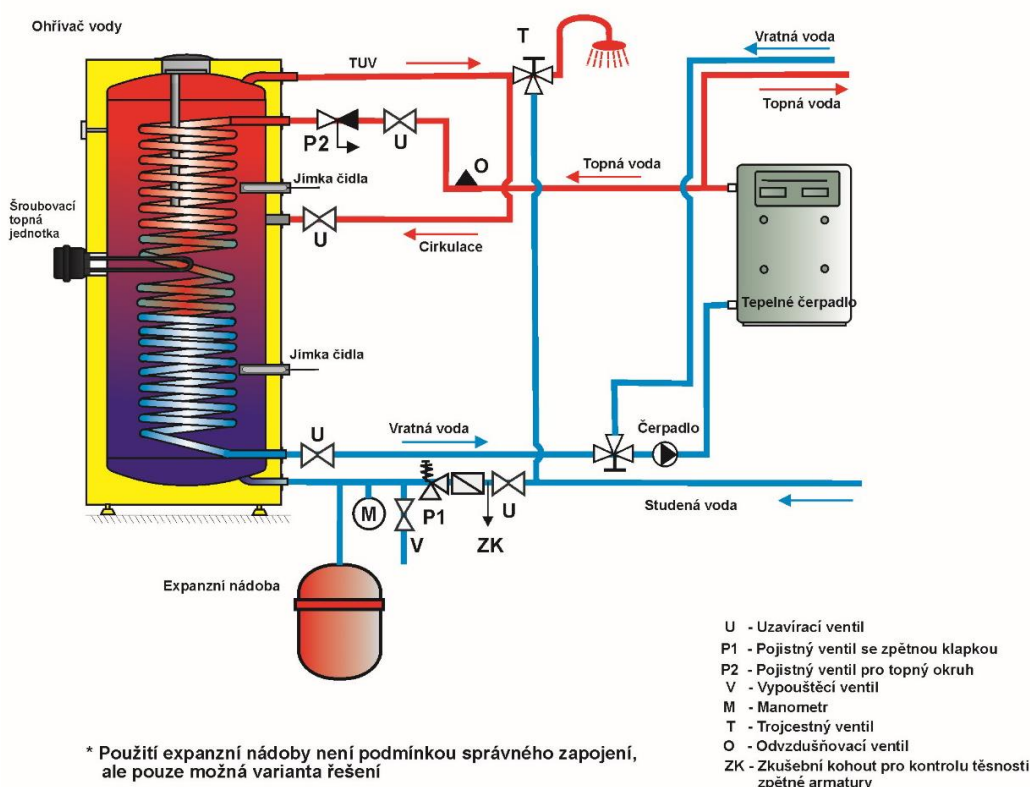
Účinnost využití plynu [%]			
Teplota vzduchu na vstupu	Teplota vody na výstupu		
	35 °C	45 °C	55 °C
-7 °C	144	131	113
2 °C	161	153	134
7 °C	169	161	146
12 °C	173	166	155

Tab.5 Účinnost využití plynu ROBUR K18 [10]

Tepelný výkon [kW]			
Teplota vzduchu na vstupu	Teplota vody na výstupu		
	35 °C	45 °C	55 °C
-7 °C	17,5	15,4	13,3
2 °C	18,4	17,4	15,3
7 °C	18,9	18,0	16,3
12 °C	19,0	18,3	17,0

Tab.6 Tepelný výkon ROBUR K18 [10]

Pro ohřev teplé užitkové vody byl do otopného systému použit nepřímotopný zásobník vody OKC NTR 300HP. Tento zásobník zároveň umožňuje instalaci nezávislé topné jednotky pro případ nedostatečného výkonu tepelného čerpadla. Jeho objem 286 litrů je dostačující pro čtyřčlennou rodinu. Ohřívač má smaltovanou nádobou a výkonný výměník se zvýšenou předávací plochou pro ohřev TUV.



Obr. 3.4 Připojení zásobníku k rozvodu TUV [11]

Cenový návrh na instalaci tepelného čerpadla (Tab. 7) byl stanoven na základě skutečnosti, že se jedná o stávající rodinný dům osazený plynovým kondenzačním kotlem. V objektu se již nachází přípojka zemního plynu s dostatečným výkonem. Pro usazení tepelného čerpadla je nutné předem připravit betonový fundament a průrazy zdi o průměru min. 80 mm pro vedení vodoinstalace. Veškeré stavební úpravy nejsou zahrnuty v cenovém návrhu a budou hrazeny investorem.

Název	Množství (ks)	Cena za ks (Kč) bez DPH	Cena (Kč) bez DPH
Absorpční tepelné čerpadlo ROBUR K18, varianta C1, vč. oběhového čerpadla	1	198 750	198 750
Nepřímotopný zásobník vody OKC NTR 300HP	1	11 000	11 000
Pevná stojanová konzole 40 cm-pod tepelné čerpadlo	1	2 100	2 100
Odtah spalin	1	2 800	2 800
Instalace, nastavení, odzkoušení, uvedení do provozu	1	5 900	5 900
Elektroinstalace, materiál, práce	1	2 500	2 500
Výchozí revize	1	1 200	1 200
Vodoinstalace a připojení na otopnou soustavu	1	11 200	11 200
Předpokládaná dopravní režie	30	12,5	375
Celková cena bez DPH			235 825
Celková cena vč. 15 % DPH			271 199

Tab.7 Cenový návrh instalace tepelného čerpadla

4 Porovnání plynového a elektrického tepelného čerpadla

4.1 Porovnání tepelných čerpadel

Různé systémy tepelných čerpadel můžeme srovnávat pomocí průměrného ročního topného faktoru (RTF). K tomuto porovnání využijeme vzorec:

$$\text{náklady} = \frac{\text{cena energie}}{\text{kWh} * \text{RTF}} \quad (4.1)$$

Cena elektřiny pro rok 2018		Sazba D02d
Cena za 1 kWh [Kč] - ČEZ	3,609	
Cena plynu pro rok 2018		
Cena za 1 kWh [Kč] - ČEZ	0,934	

Tab.8 Cena elektřiny a plynu pro rok 2018 [13]

Plynové tepelné čerpadlo			
Provoz	RTF [roční topný faktor]	Cena energie [Kč]	Náklady [kWh]
Vytápění	1,35	0,93	0,68
Chlazení	1,25	0,93	0,74
Elektrické tepelné čerpadlo			
Provoz	RTF [roční topný faktor]	Cena energie [Kč]	Náklady [kWh]
Vytápění	3,30	3,61	1,09
Chlazení	3,00	3,61	1,20
Kotel a klimatizace			
Provoz	RTF [roční topný faktor]	Cena energie [Kč]	Náklady [kWh]
Vytápění	1,00	0,93	0,93
Chlazení	3,00	2,06	0,69

Tab.9 Srovnání tepelných čerpadel [12]

Při porovnání nákladů na 1 kWh tepelného výkonu (Tab.9) je zřejmé, že je u plynového tepelného čerpadla jsou náklady nižší než u elektrického tepelného čerpadla. U stávajících budov s radiátory dochází u elektrických tepelných čerpadel ke snížení RTF až k hodnotě 2,6, čímž vzrůstají celkové náklady. S ohledem na tuto skutečnost je nutné správně navrhnout tepelné čerpadlo a otopný systém v celém objektu.

4.2 Výhody a nevýhody plynových tepelných čerpadel

Výhody, které získáme s plynovým tepelným čerpadlem:

- nižší náklady na energii
- nejvýhodnější řešení vytápění pro zlepšení energetické klasifikace budov
- stálý výkon nezávislý na venkovní teplotě (v rozmezí +10 °C až -10 °C)
- možnost chlazení (u kompresorových TČ)
- v případě standardních tarifů jsou náklady na provoz poloviční
- vyšší výkon
- nízké emise CO₂

Nevýhody plynových tepelných čerpadel:

- vysoké náklady na pořízení
- úzký sortiment tepelných čerpadel pro rodinné domy
- pravidelná údržba u kompresorových tepelných čerpadel
- nutný odtah spalin
- dostupná plynová přípojka

Závěr

V první části této bakalářské práce jsem vysvětlil základní princip funkce tepelného čerpadla. Dále jsem pokračoval rozdělením tepelných čerpadel podle zdroje nízkopotenciálního tepla a popisoval zde i jednotlivé komponenty potřebné pro správnou funkci.

V další části jsem popsal dva druhy plynových tepelných čerpadel a následné využití tepelného čerpadla pro přípravu TUV v konkrétním objektu rodinného domu. Z dodávaných plynových tepelných čerpadel jsem vybral absorpční tepelné čerpadlo od společnosti ROBUR, které je díky svému poměrně nízkému výkonu vhodné i pro vytápění rodinných domů.

V poslední části jsem porovnával plynové a elektrické tepelné čerpadlo na ekonomické úrovni. Zároveň jsem zde shrnul výhody a nevýhody obou typů čerpadel. Hlavní výhodou plynových tepelných čerpadel jsou jejich nízké náklady na provoz a přímé využití plynu, kdy nedochází ke ztrátám vzniklým při výrobě a distribuci oproti elektrické energii. Nevýhodou plynových tepelných čerpadel je nutnost vlastnit kromě elektrické přípojky i přípojku plynu a tím se snižuje počet potenciálních uživatelů.

I přes vyšší prvotní investice a drobné nevýhody jsou tepelná čerpadla úspornější způsob výroby tepla v porovnání s ostatními druhy vytápění rodinných domů. V případě absorpčních plynových tepelných čerpadel je nutné zohlednit nejen efektivitu, ale použití přírodního chladiva, které nemá vliv na poškozování ozónové vrstvy a globální oteplování.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] ŽERAVÍK, Antonín. *Stavíme tepelné čerpadlo: [návratnost i za jeden rok]*. Přerov: Antonín Žeravík, 2003. ISBN 80-239-0275-x.
- [2] *Princip tepelného čerpadla* [online]. [cit. 29.4.2018]. Dostupný na WWW: <https://www.tzb-info.cz/1271-tepelna-cerpadla-a-jejich-pouziti-v-otopnych-soustavach-i>
- [3] *Tepelné čerpadlo* [online]. [cit. 30.4.2018]. Dostupný na WWW: <https://publi.cz/books/93/02.html>
- [4] *Chladiva* [online]. [cit. 06.5.2018]. Dostupný na WWW: <http://tech.kostecka.eu/jak-to-funguje/chladiva/>
- [5] SRDEČNÝ, Karel a Jan TRUXA. *Tepelná čerpadla*. Praha: EkoWATT, 2009. ISBN 978-80-87333-02-0.
- [6] *Tepelná čerpadla* [online]. [cit. 10.5.2018]. Dostupný na WWW: <https://www.apekpraha.cz/nase-sluzby-tepelna-cerpadla/>
- [7] *TEDOM-plynové tepelné čerpadlo* [online]. [cit. 11.5.2018]. Dostupný na WWW: <https://www.tedom.com/cs/plynove-tepelne-cerpadlo/princip-plynoveho-tepelneho-cerpadla/>
- [8] *Plynová absorpční tepelná čerpadla GAHP-produktový katalog*. ROBUR, 2017.
- [9] *ROBUR CZ-absorpční tepelné čerpadlo K18* [online]. [cit. 22.5.2018]. Dostupný na WWW: <http://www.robur.cz/produkty/rodinne-domy/absorpcni-tepelne-cerpadlo-k18-vzduch-voda>
- [10] *Manuál pro instalaci, užívání a údržbu-K18-produktový katalog*. ROBUR, 2017.
- [11] *Návod k obsluze a instalaci OKC NTR HP-produktový katalog*. DZD s.r.o., 2017.
- [12] *Plynová tepelná čerpadla Schwank* [online]. [cit. 22.5.2018]. Dostupný na WWW: <http://www.schwank.cz/cz/produkty/produktova-rada/tepelne-cerpadlo.html>
- [13] *Skupina ČEZ – ceníky, podpora* [online]. [cit. 22.5.2018]. Dostupný na WWW: <https://www.cez.cz/cs/podpora/ceniky.html>