



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

PLYNOVÉ TEPELNÉ ČERPADLO

GAS HEAT PUMP

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Marek Kulich

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Marek Kulich**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.**
Akademický rok: 2015/16

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

Plynové tepelné čerpadlo

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Plynová tepelná čerpadla využívají ke svému pohonu zemní plyn namísto elektřiny. Teplo vzniklé spalováním zemního plynu je přitom zužitkováno samotným tepelným čerpadlem a dodáno do otopného systému. Výhodou plynových tepelných čerpadel je nižší požadavek na elektrický příkon a možnost dosáhnout vyšší teploty otopné vody díky zužitkování tepla spalin.

Cíle bakalářské práce:

Cílem práce je provést rešerši technického řešení komerčně dostupných plynových tepelných čerpadel. Na základě zpracované rešerše porovnat vybraná plynová tepelná čerpadla s vhodně zvoleným elektrickým tepelným čerpadlem a kondenzačním plynovým kotlem.

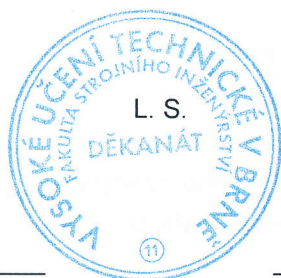
Seznam literatury:

Srdečný, K., Truxa, J. (2005): Tepelná čerpadla. ERA, Brno

Kolektiv autorů (2012): Chladicí a klimatizační technika. Svaz chladicí a klimatizační techniky, Praha.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 27. 10. 2015



J. Pospíšil

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

J. Katolický

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan

ABSTRAKT

Bakalárska práca sa v teoretickej časti zaoberá princípom funkcie tepelných čerpadiel, efektivitou a ich rozdelením podľa typu obehu a zdroja tepla. Ďalšia časť je venovaná technickej rešerši komerčne dostupných plynových tepelných čerpadiel, ktoré sú vo výpočtovej časti porovnané s elektrickým tepelným čerpadlom a kondenzačným plynovým kotlom na základe ich energetickej efektivity.

Kľúčové slová

Plynové tepelné čerpadlo, vykurovanie, tepelný výkon, zemný plyn, primárna energia, teplo, energetická efektivita, COP, PER

ABSTRACT

This bachelor thesis, in the theoretical section, explains the principle of functionality of heat pumps, their efficiency and distribution by type of circulation and heat source. The next part is devoted to technical research of commercially available gas heat pumps that are, in the calculation part, compared with electrical heat pump and with gas condensing boiler according to their energy efficiency.

Key words

Gas heat pump, heating, heating capacity, natural gas, primary energy, energy efficiency, COP, PER

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

KULICH, M. *Plynové tepelné čerpadlo*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 45 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Hejčík, Ph.D..

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému **Plynové tepelné čerpadlo** vypracoval samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov, uvedených na zozname, ktorý tvorí prílohu tejto práce.

V Brne, dňa 27. 05. 2016

Marek Kulich

POĎAKOVANIE

Ďakujem svojmu vedúcemu Ing. Jiřímu Hejčíkovi, Ph.D. za pripomienky a rady pri vypracovaní bakalárskej práce.

OBSAH

1	Úvod.....	15
2	Základné pojmy a princípy.....	16
2.1	Obrátený Carnotov cyklus.....	16
2.2	Efektivita.....	16
2.2.1	Účinnosť.....	16
2.2.2	Vykurovací faktor.....	17
2.2.3	Skutočný vykurovací faktor.....	17
2.2.4	Vykurovací faktor TČ s plynovým pohonom.....	17
2.2.5	Stupeň využitia primárnej energie (PER).....	18
3	Rozdelenie tepelných čerpadiel podľa typu obehu.....	19
3.1	Parný obeh – kompresorové TČ.....	19
3.2	Sorpčný obeh - Sorpčné tepelné čerpadlá.....	21
3.2.1	Absorpčné tepelné čerpadlá.....	21
3.2.2	Adsorpčné tepelné čerpadlá.....	21
3.3	Hybridné TČ.....	22
4	Typy tepelných čerpadiel podľa zdroja tepla.....	23
4.1	Zem/voda.....	23
4.2	Voda/voda.....	24
4.3	Vzduch/voda.....	25
4.4	Vzduch/vzduch.....	25
5	Rešerš technického riešenia PTČ.....	26
5.1	TEDOM Polo 100.....	26
5.2	Robur K18.....	29
5.3	Daikin/Rotex Altherma Hybrid.....	31
5.4	Toyota AISIN AXGP710D1-N.....	32
5.4.1	Millerov cyklus.....	33
5.5	Yanmar ANCP850J.....	34
6	Vybrané TČ s elektrickým pohonom a kondenzačný kotol k porovnaniu.....	35
6.1	Tepelné čerpadlo Dimplex LA 60TU.....	35
6.2	Kondenzačný plynový kotol Thermona THERM 90 KD.A.....	36
7	Porovnanie vybraných produktov.....	37
8	Záver.....	39
	Zoznam použitých zdrojov.....	40
	Zoznam použitých obrázkov.....	44
	Zoznam použitých značiek a skratiek.....	45

1 Úvod

Zabezpečenie tepelného komfortu človeka je neustále diskutovanou témou. Už oddávna sa ľudia snažili upraviť podmienky vo svojich obydliach, počnúc založením táboráku v jaskyni. V súčasnosti sú správne tepelné podmienky v domoch, bytoch, výrobných halách, reštauráciách, obchodných domoch či školách už samozrejmosťou. Plynie z toho, že sa zvyšujú aj nároky na dodávku tepla či chladu. Priamo úmerne rastie aj spotreba energií a negatívny vplyv na životné prostredie. Na trhu existuje stále väčšie množstvo produktov na vykurovanie, či chladenie priestorov.

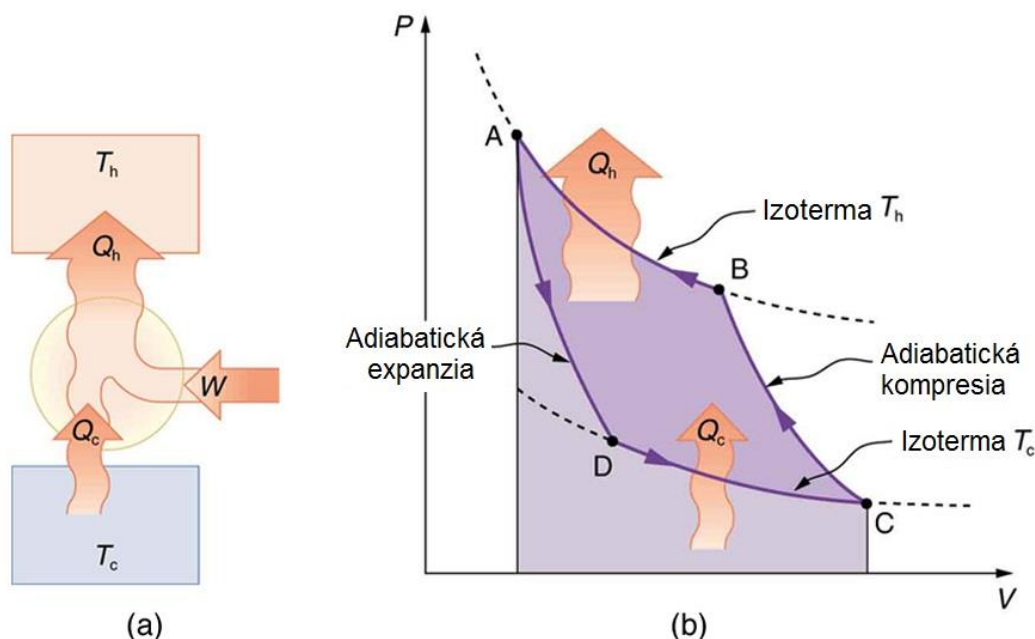
Jednou z kategórií, ktorá sa v posledných rokoch rozvíja, je kategória tepelných čerpadiel. Ceny energií stále rastú a fosílné palivá sa míňajú. Tepelné čerpadlá efektívne využívajú obnoviteľné zdroje energie a tak prevádzka tepelných čerpadiel spĺňa ako ekonomické, tak aj ekologické nároky. Za vhodných podmienok dokážu vyprodukovať až štyrikrát viac energie, než spotrebujú na svoju prevádzku.

Táto bakalárska práca sa bude zaoberať plynovými tepelnými čerpadlami, ktorých zvláštnosťou je, že na svoj pohon nevyužívajú elektrinu, ako normálne tepelné čerpadlá, ale plyn (napr. zemný plyn). Miesto elektrického motora majú teda spaľovací motor, kde pri procese spaľovania vzniká ďalšie teplo, ktoré môže byť využité pri vykurovaní alebo ohreve teplej úžitkovej vody.

2 Základné pojmy a princípy

2.1 Obrátený Carnotov cyklus

Tepelné čerpadlá pracujú na princípe obráteného Carnotovho cyklu. Na obr. 2.1 (a) je schéma prenosu tepla z chladnejšieho miesta s teplotou T_C na teplejšie miesto s teplotou T_H za vynaloženia vonkajšej mechanickej práce W , kde Q_C je nízkoenergetické teplo vstupujúce do cyklu a Q_H je teplo s vyšším potenciálom z cyklu vystupujúce. Na obr. 2.1 (b) je znázornený P-V diagram pre obrátený Carnotov cyklus (ADCBA – smer jednotlivých termomechanických dejov). Plocha ohraničená slučkou tvorenou dvomi adiabatami a dvomi izotermami je záporná, čo znamená, že práca sa spotrebúva na prečerpanie tepla z nižšej energetickej hladiny na vyššiu [5].



Obr. 2.1 Obrátený Carnotov cyklus [5]

2.2 Efektivita

Energetickú efektivitu u väčšiny zariadení posudzujeme podľa ich účinnosti, ktorá je z dôvodu strát vždy nižšia než 1. V problematike tepelných čerpadiel sa zavádza pojem vykurovací faktor. Je vždy väčší ako 1, obvykle sa pohybuje v rozsahu 2–5 [1].

2.2.1 Účinnosť

Účinnosť zariadenia (napr. kotla), v ktorom prebieha premena energií sa dá obecné vyjadriť ako pomer medzi energiou dodanou (elektrická energia, palivo) a energiou získanou (napr. vo forme tepla z radiátorov) (2.1).

$$\eta = \frac{Q}{E} \quad [-] \quad (2.1)$$

Účinnosť tepelného čerpadla, kde vstupná energia zahŕňa aj energiu okolitého prostredia, sa vypočíta zo vzťahu (2.2):

$$\eta = \frac{Q}{E + P} \quad [-] \quad (2.2)$$

η – účinnosť [-]

Q – výstupná energia (teplo) [kWh]

E – vstupná energia (palivo) [kWh]

P – energia okolitého prostredia [kWh] [1]

2.2.2 Vykurovací faktor

Vykurovací faktor určuje pomer energie pre pohon čerpadla k energii získanej (2.3). Označuje sa skratkou COP¹. Vykurovací faktor sa v priebehu roka mení, čiže závisí od podmienok okolia. Čím väčší je rozdiel teplotných hladín, tým viac energie TČ spotrebuje. Z toho vyplýva, že je nutné uvádzať podmienky, za ktorých bol vykurovací faktor dosiahnutý. Jedná sa o teplotu vstupného média a teplotu výstupného média [1].

$$\text{COP} = \frac{Q}{E} \quad [-] \quad (2.3)$$

COP – vykurovací faktor [-]

Q – výstupná energia (teplo dodané do vykurovacieho systému) [kWh]

E – vstupná energia (energia pre pohon tepelného čerpadla) [kWh]

2.2.3 Skutočný vykurovací faktor

Okrem energie pre pohon kompresoru sa v praxi nesmie zanedbávať energia pre pohon obehového čerpadla a ventilátorov. Táto energia je síce nízka ale nezanedbateľná a spôsobuje rozdiel medzi vykurovacím faktorom a skutočným vykurovacím faktorom. Skutočný COP je dôležitý pri uplatňovaní dotačného programu, kde je vyžadovaný minimálny vykurovací faktor [1].

2.2.4 Vykurovací faktor TČ s plynovým pohonom

Vykurovací faktor je u TČ s motorom, ktorý spaľuje zemný plyn malý (cca. 1,3). Je to dôsledkom toho, že pri elektrických TČ sa do vykurovacieho faktora nezahŕňa účinnosť výroby elektriny, ktorá je v Českej republike cca 29 %. Pri výrobe elektrickej energie totižto vznikajú straty v podobe tepla a straty pri prenose. S touto účinnosťou je vykurovací faktor elektrických TČ iba 0,6 – 1,2 a preto je potrebné pri zrovnávaní COP u tepelných čerpadiel

¹ Z angl. Coefficient of Performance

s elektrickým pohonom a u PTČ² zjednotiť energie vynaložené na pohon kompresora a prepočítať elektrickú energiu na primárnu energiu [1].

2.2.5 Stupeň využitia primárnej energie (PER³)

Pre porovnanie efektívnosti energetických systémov s rôznymi druhmi pohonnej energie sa používa tzv. stupeň využitia primárnej energie a označuje sa skratkou PER (2.4). Udáva pomer všetkých dodávaných energií do systému k vyrobenej užitočnej energii. Systém s nižšou hodnotou PER spotrebuje menej primárnej energie na jednotku vyrobenej užitočnej energie a tým pádom je daný systém energeticky efektívnejší [12].

$$PER = \frac{\frac{W_p}{\eta_p} + \frac{W_e}{\eta_e}}{Q} \quad [-] \quad (2.4)$$

PER – stupeň využitia primárnej energie [-]

W_p – vstupná energia v podobe plynu z plynovej prípojky [kWh]

W_e – vstupná energia v podobe elektriny zo siete [kWh]

η_p – účinnosť distribúcie plynu (straty a náklady pri doprave do plynovej prípojky) [-]

η_e – účinnosť výroby elektrickej energie [-]

Q – výstupné teplo [kWh]

² Plynové tepelné čerpadlo

³ Z angl. Primary Energy Rate

3 Rozdelenie tepelných čerpadiel podľa typu obehu

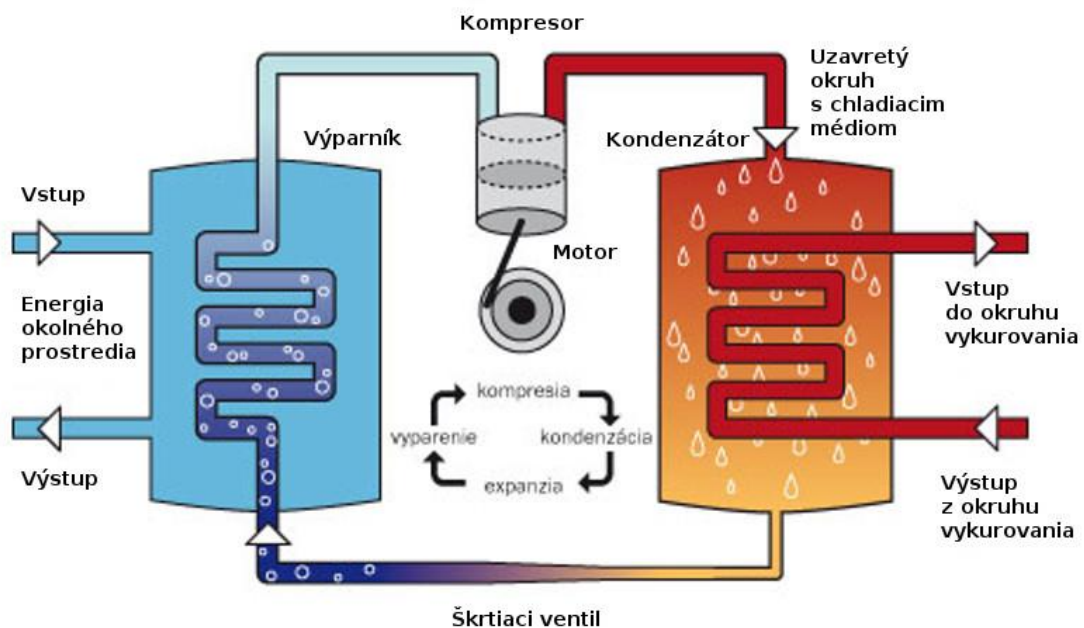
Tepelné čerpadlá možno rozdeliť podľa hnacieho mechanizmu na čerpadlá kompresorové (mechanický kompresor) a na čerpadlá sorpčné (termokompresor). Zvláštnou kategóriou sú hybridné tepelné čerpadlá, ktoré sú vlastne kombináciou plynového kotla a tepelného čerpadla [1], [3], [14].

3.1 Parný obeh – kompresorové TČ

Podľa pohonu kompresoru sa ďalej delia na TČ poháňané elektromotorom a na PTČ poháňané spaľovacím motorom na zemný plyn. Hlavný rozdiel je v tom, že PTČ využívajú aj teplo odobrané motoru a spalinám, ktoré vzniká pri spaľovacom procese. Práve plynovým tepelným čerpadlám je venovaná hlavná časť práce [1].

Princíp fungovania kompresorových TČ je znázornený na obr. 3.1 a vysvetlený postupne na jednotlivých komponentoch.

Základné komponenty kompresorových TČ



Obr. 3.1 Parný obeh tepelného čerpadla [7]

Kompresor

Kompresor nasáva plyn chladiva z výparníku pri tlaku odpovedajúcej výparnej teplote a stlačuje ho na tlak odpovedajúci kondenzačnej teplote. Dodaním práce tj. elektrickej energie pre pohon kompresoru dochádza k zvýšeniu tlaku a tým aj zvýšením teploty chladiva. Energia je týmto prečerpaná z nižšej teplotnej hladiny na vyššiu a môže byť využitá na prípravu teplej vody alebo na vykurovanie. V súčasnosti najpoužívanejšími typmi kompresorov sú piestové alebo scroll kompresory. Kompresory sú hermeticky uzavreté - motor aj samotný

kompresor sú v jednej nerozoberateľnej tlakovej nádobe. Dôvodom je najmä zabránenie úniku chladiva do atmosféry.

Najbežnejšie typy kompresorov v TČ: piestový, skrutkový, špirálový – scroll

Rozdelenie podľa pohonu

- klasický elektrický (poháňaný elektromotorom) – elektrické tepelné čerpadlo
- poháňaný plynovou turbínou – plynové tepelné čerpadlo [4]

Expanzný ventil

Expanzný ventil alebo tzv. škrtiaci ventil sa nachádza medzi výparníkom a kondenzátorom a slúži na udržiavanie tlakového rozdielu medzi vysokotlakovou a nízkotlakovou stranou obehu. Reguluje prietok chladiva z výparníku podľa výstupnej teploty z výparníku. Udržiava prehriatie chladiva za výparníkom, čím je zaručené, že do kompresoru vstupuje chladivo v plynnom skupenstve. Expanzné sú riadené termostaticky alebo elektronicky [4].

Výparník

Výparník odoberá teplo z nízkopotenciálneho zdroja tepla. Pri nízkom tlaku a teplote je výparná teplota chladiva veľmi nízka (napr. $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$), a tým pádom je chladivo schopné odobrať teplo z ochladzovanej látky aj pri nízkych teplotách. Výmenníky sú zvyčajne doskové (pre kvapaliny) a rebrované s trúbkami (pre vzduch) [4].

Kondenzátor

Kondenzátor slúži na odovzdávanie tepla do vykurovacej sústavy. Pri vysokom tlaku a teplote dochádza ku kondenzácii pár chladiva a teplo z tohto deja ohreje teplotonosnú látku (voda, vzduch). Výmenníky sú doskové alebo trúbkové a sú uložené vnútri zásobníka pre ohrievanú vodu. [4].

Chladivo

Nositeľom tepelnej energie v okruhu je chladivo. Zmenou tlaku sa mení aj jeho vyparovacia či kondenzačná teplota a dochádza k jeho vyparovaniu alebo naopak k jeho kondenzácii. Chemických látok použiteľných ako chladivo je mnoho, avšak nie vždy sú vhodné pre praktické použitie. Medzi kladné vlastnosti, ktoré rozhodujú pri voľbe chladiva, patria napríklad rozsah pracovných teplôt a tlakov, jednoduchá výroba či dostupnosť, bezpečná manipulácia a v neposlednom rade aj šetrnosť voči životnému prostrediu – to sa v posledných rokoch stáva stále väčšou prioritou. Medzi negatívne vlastnosti chladív patria výbušnosť, horľavosť, jedovatosť, chemická nestálosť a nepriaznivý vplyv na životné prostredie. Nesmie sa zabúdať ani na nepriaznivé pôsobenie chladiva na ostatné komponenty TČ. Bežne používané chladivá sú čpavok ($\text{R717} - \text{NH}_3$)⁴, R134a, R407C, alebo oxid uhličitý ($\text{R744} - \text{CO}_2$) ako perspektívne chladivo pre TČ [2].

⁴ V zátvorke je medzinárodné označenie chladiva začínajúce na písmeno R (z angl. refrigerant) a za pomlčkou je chemický vzorec danej látky

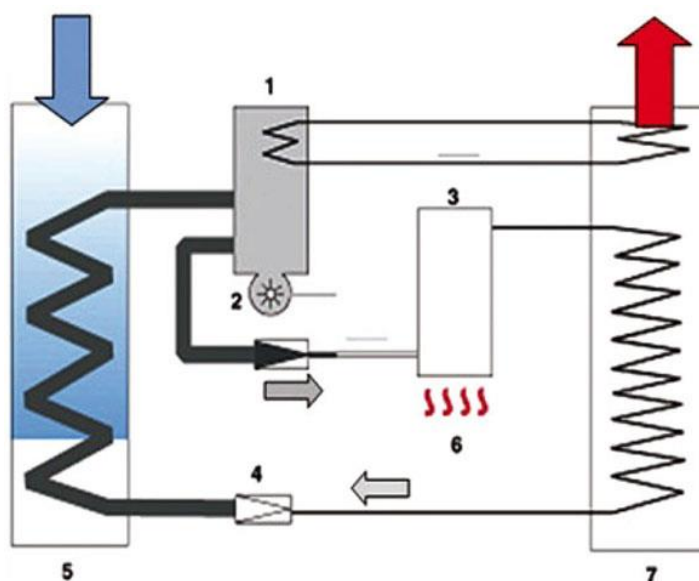
3.2 Sorpčný obeh - Sorpčné tepelné čerpadlá

Sorpčné TČ používajú podobne ako aj kompresorové TČ pracovnú kvapalinu – chladivo, ktoré sa odparuje pomocou nízkoenergetického tepla z vonkajšieho prostredia. Rozdiel je avšak v tom, že klasický elektrický kompresor je nahradený termokompresorom. Pre chod pracovného cyklu sa používa teplo. Chladivo je v okruhu nasávané ďalšou látkou (absorbentom), ktorá ho absorbuje a následne uvoľní pri prechode tepla.

Absorpčné systémy využívajú schopnosť tekutín absorbovať pary chladiva. Najčastejšie vyskytujúce sa látky u absorpčných systémov sú: voda ako pracovná látka a bromid lítny (LiBr) ako absorbent alebo amoniak (NH_3) ako pracovná látka a voda ako absorbent [3][4][3].

3.2.1 Absorpčné tepelné čerpadlá

Princíp funkcie absorpčného TČ je znázornený na obr. 3.2. Para o nízkom tlaku z výparníka (5) je pohlcovaná absorbentom, pričom vzniká teplo. Čerpadlo (2) zvyšuje tlak roztoku, ktorý potom vstupuje do generátora (3), kde sa kvapalnú chladivo pomocou externého zdroja (6) za vysokej teploty odparuje. Pary pracovnej kvapaliny sa v kondenzátore (7) skvapalňujú, zatiaľ čo absorbent sa vracia do absorbéru (1) prechodom cez termodynamický expanzný ventil (4). Teplo je odoberané tepelnému zdroju (z okolia) vo výparníku. Užitočné teplo je odovzdávané do vykurovacieho systému teplotou média v kondenzátore a absorbéru. Teplo s vysokou teplotou v generátore je hnacou zložkou celého procesu. Činnosť čerpadla roztoku môže vyžadovať malé množstvo elektrickej energie [3].



Obr. 3.2 Schéma absorpčného cyklu [3]

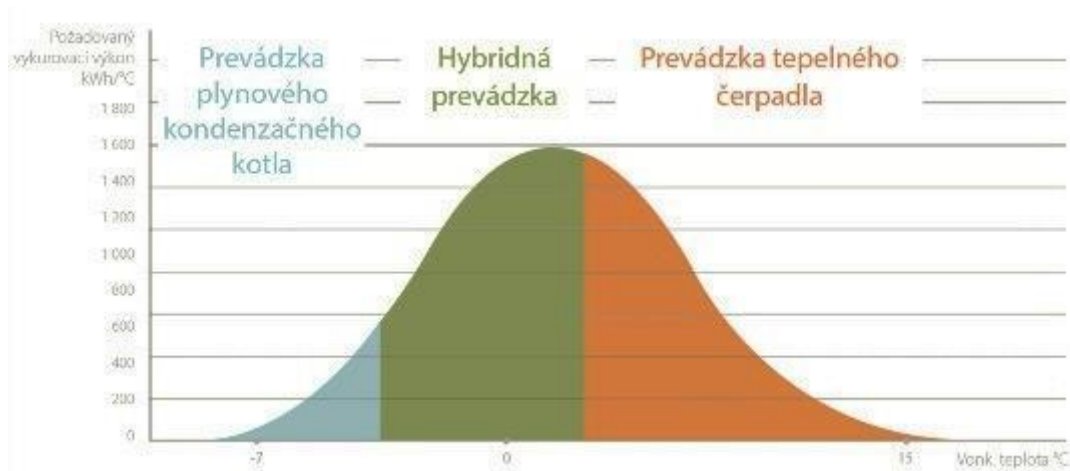
3.2.2 Adsorpčné tepelné čerpadlá

Podobne ako absorpčné používajú na svoj pohon tepelnú energiu. Jediný rozdiel medzi absorpčným a adsorpčným systémom je v tom, že adsorpčné TČ využívajú schopnosť tuhých látok, namiesto kvapalných látok, pohlcovať a viazať plyn alebo paru. Najbežnejšie látky

u adsorpčných systémov sú: aktívne uhlie, silikagél alebo zeolit. Pri adsorpcii – pohlcovaní vodnej pary tuhú látkou vznikajú vysoké teploty, ktoré môže TČ využívať [3].

3.3 Hybridné TČ

Hybridné tepelné čerpadlo v sebe spája výhody tepelného čerpadla a plynového kotla. Pri veľmi nízkych vonkajších teplotách funguje iba v režime plynového kotla, kedy je prevádzka lacnejšia než prevádzka tepelného čerpadla. Za miernych klimatických podmienok beží plynový kotol aj TČ súčasne a pri vyšších vonkajších teplotách je v prevádzke iba tepelné čerpadlo (obr. 3.3). Voľbu najhospodárnejšieho režimu zabezpečuje riadiaca jednotka [13], [14].



Obr. 3.3 Graf prevádzky hybridného TČ [15]

4 Typy tepelných čerpadiel podľa zdroja tepla

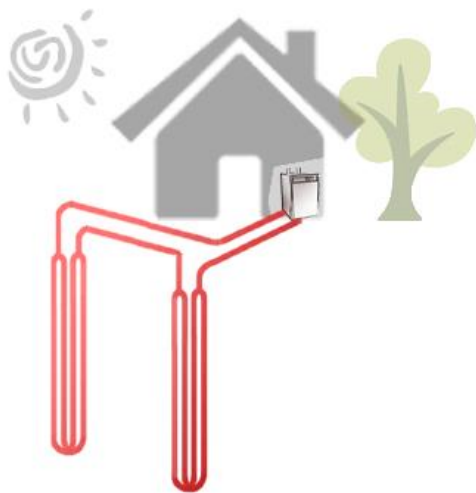
Prvé slovo v názve podkapitoly znamená odkiaľ TČ berie energiu a druhé slovo označuje ako je teplo dodané do objektu [1].

4.1 Zem/voda

Typ zem/voda je univerzálny systém pre ohrev vody, zdrojom tepla je najčastejšie hlbinný vrt alebo pôdny kolektor [1].

Pri posudzovaní lokality pre **hlbinný vrt** (obr. 4.1) je dôležitým parametrom tepelná vodivosť hornín. Má hĺbku 50–150 m a pri väčšom počte vrtov je nutný rozstup aspoň 10 m. Na 1 kW výkonu je potrebný 12–18 m hlboký vrt. Vykurovací faktor je celkom vysoký (4–5) to vďaka celoročne stálej teplote okolo 10 °C. Vrt musí byť dostatočne dimenzovaný, aby nedošlo k zamrznutiu horniny [1].

Plošný pôdny kolektor (obr. 4.2) sa umiestňuje do hĺbky 1,5–2 m. Rúrky s chladivom sú z polyetylénu, uložené „hadovito“ s doporučeným rozstupom 1 m. Zriaďovacie náklady sú nižšie v porovnaní s hlbinným vrtom, avšak za cenu horšieho vykurovacieho faktora. Ten sa v priebehu roka mierne mení, z dôvodu kolísania teplôt v zemine [1].

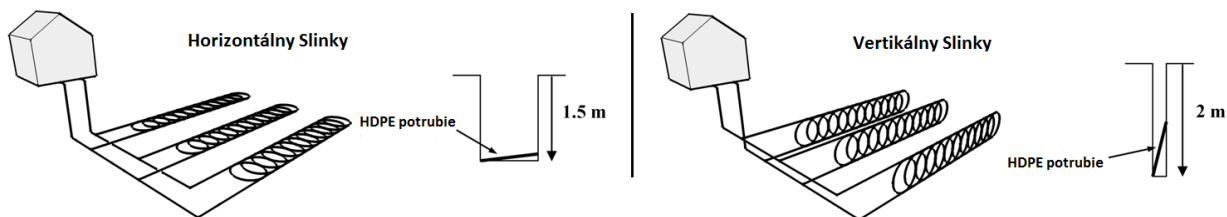


Obr. 4.1 Hlbinný vrt [16]



Obr. 4.2 Plošný kolektor [16]

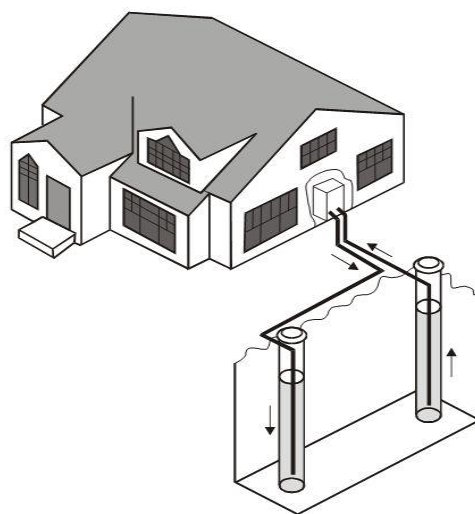
Pôdny kolektor typu Slinky je tvorený slučkami potrubia, ktoré vzniknú rozťahnutím zvinutého potrubia. Možné sú dve varianty uloženia – vodorovne alebo „na stojato“ (obr. 4.3). Pri vertikálnom uložení, sa požaduje hlbší výkop než pri vodorovnom uložení [1].



Obr. 4.3 Pôdny kolektor typu Slinky [8]

4.2 Voda/voda

Podzemná voda ako nízopotenciálny zdroj tepla sa odoberá zo zdrojovej studne a po ochladení sa vypúšťa do tzv. vsakovacej studne (obr. 4.4). Vďaka vysokej teplote spodnej vody, ktorá sa od hĺbky 10 m pohybuje celoročne v rozmedzí 8–10 °C, má tento systém najvyšší priemerný ročný vykurovací faktor. Započítava sa do neho ale aj pohon čerpadla vodného zdroja. Využívanie podzemnej vody má aj svoje nevýhody. Zdroj vody musí byť dostatočne výdatný a podložie vsakovacej studne musí byť schopné vodu neustále prijímať. Pred navrtaním studne je nutný geologický prieskum, aby nedošlo k narušeniu hydrogeologických pomerov. Vlastný vrt je považovaný za vodné dielo, a tak ho môže zhotoviť iba firma s oprávnením Banského úradu [1].



Obr. 4.4 Zdrojová a vsakovacia studňa [10]

Povrchová voda nie je veľmi vhodnou voľbou ako zdroj tepla pre tepelné čerpadlo. Jej teplota je nízka a často zamrzá. Vo väčšine prípadov je znečistená, čo spôsobuje zanášanie výmenníka i potrubia. Vhodnejšie sú trvale tečúce toky, než stojaté vody. Obr. 4.5 znázorňuje uloženie kolektora do rybníka. S uložení kolektora na dno musí súhlasiť správca toku (prípadne majiteľ rybníka). Kvôli rade nevýhod sa tento systém v praxi nevyužíva často [1].



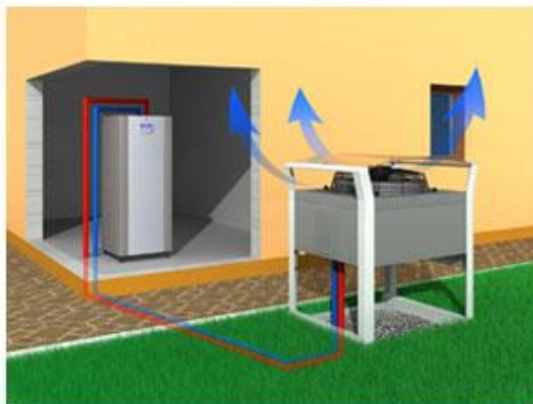
Obr. 4.5 Kolektor na dne rybníka [11]

4.3 Vzduch/voda

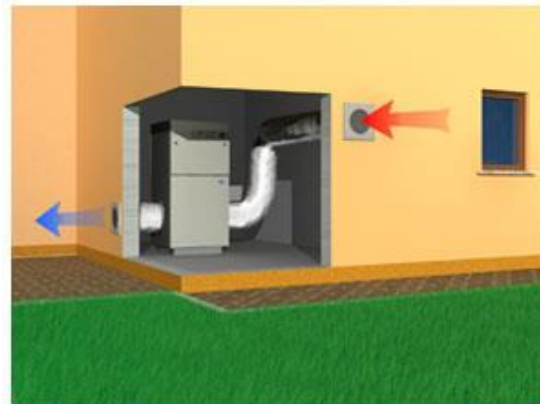
Okolité vzduch ako nízkopotenciálny zdroj tepla je vhodný najmä pre tepelné čerpadlá v klimaticky miernejšom pásme s menším počtom mrazových dní, kde nadobúdajú dostatočne dobré parametre. Keďže nepotrebujú vrty ani zemné kolektory, je inštalácia jednoduchšia a zriaďovacie náklady nižšie. Obsah energie vo vzduchu závisí veľmi na jeho vlhkosti. Chladný vzduch obsahuje málo vody a tak v dňoch, kedy je vonkajšia teplota najnižšia a požadovaný prísun tepla do objektu najvyšší, pracuje tepelné čerpadlo s najnižším vykurovacím faktorom a zvyčajne aj s najnižším výkonom. Súčasné TČ, ktoré nasávajú vonkajší vzduch sú schopné pracovať až do teplôt $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. K nevýhodám patrí aj tvorba námrazy na výparníku spojená s nižším výkonom a nutnosťou odmrazovania výparníka [1], [4].

Možné varianty inštalácie:

- Split systém (obr. 4.6) – vnútorná časť obsahujúca kompresor, kondenzátor a radiaciu jednotku sa umiestňuje do vnútorného priestoru a vonkajšia časť tvorená výparníkom sa umiestňuje do voľného priestoru v blízkosti vykurovaného objektu.
- Kompaktný systém (obr. 4.7) – všetky časti TČ sa umiestňujú do vnútorných priestorov objektu. S vonkajškom sa tento systém prepojuje tepelne a akusticky izolovanými vzduchovodmi, ktoré sú zakončené krycou mriežkou [9].



Obr. 4.6 Split systém [9]



Obr. 4.7 Kompaktný systém [9]

4.4 Vzduch/vzduch

Jedná sa o najčastejšie vyskytované zapojenie tepelného čerpadla, keďže sa sem radia klimatizácie. Vonkajší vzduch je využívaný ako doplnkový zdroj tepla, teplovzdušné vykurovanie v zime alebo ako klimatizácia v lete [1].

5 Rešerš technického riešenia PTC

Táto časť bude venovaná technickej rešerši vybraných modelov plynových tepelných čerpadiel

5.1 TEDOM Polo 100

Spoločnosť TEDOM bola založená v roku 1991 so zámerom vývoja a výroby kogeneračných jednotiek s plynovými spaľovacími motormi. Firma sa rozrastala a v roku 2012 vznikol prototyp tepelného čerpadla s plynovým motorom pod názvom TEDOM Polo 100 (obr. 5.1). V súčasnosti je to ich jediný model plynového tepelného čerpadla [21].

TEDOM Polo 100 (obr. 5.1) je PTC s vyšším výkonom pre efektívnu výrobu tepla a chladu. Vďaka zmysluplnému využívaniu tepla motoru a spalín dosahuje vysokej účinnosti. Je vhodné najmä do objektov s požiadavkou na dodávku chladu pri súčasnom využití odčerpaného tepla. Tepelné čerpadlo Polo 100 môže pracovať aj v čisto vykurovacom režime. Nasadenie vhodné pre väčšie objekty, ako napr. potravinárske závody, priemyslové podniky, nemocnice, hotely, kancelárske budovy, školy a pod [19].



Obr. 5.1 TEDOM Polo 100 [18]

Základné parametre sú uvedené v tab. 5.1 a popis súčastí jednotky je na obr. 5.2.

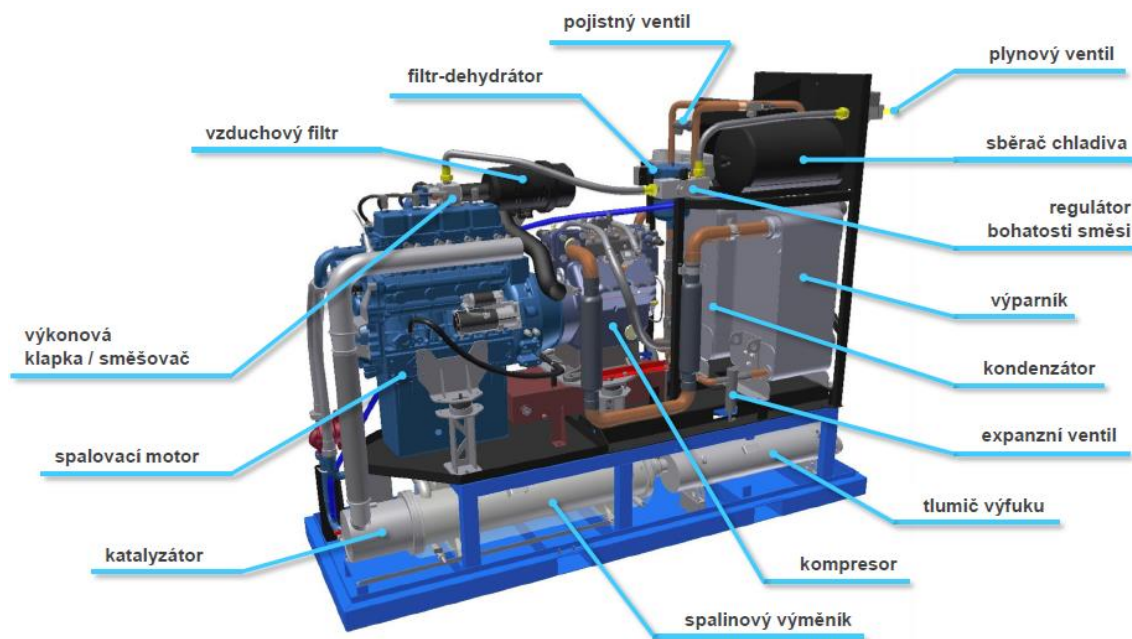
Tab. 5.1 Tedom Polo 100 [17]

Základné parametre TEDOM Polo 100	
Chladiaci výkon	až 136 kW *
Tepelný výkon (vrátane využitia tepla spalín)	až 250 kW *
Spotreba plynu	142 kW **
Elektrický príkon	1,7 kW
COP	2,5
Typ kompresoru	piestový
Chladivo	R407C, R507, R134a
Teplota vykurovacej vody (strana kondenzátora)	až +75 °C
Teplota vykurovacej vody (strana motoru)	+90°C
Teplota ľadovej vody	až -18°C
Prevádzková teplota okolia	-10 °C až +45 °C
Hmotnosť jednotky	1 530 kg
Rozmery (šírka × výška × dĺžka)	0,8 × 1,8 × 2,3 m

*) výkon jednotky vždy závisí na jej nastavení pre konkrétnu aplikáciu a použitom chladive

***) spotreba plynu závisí na požadovanom výstupnom výkone jednotky

PTČ TEDOM Polo 100 je použiteľné s tromi rôznymi chladivami: R407C, R507, R134a. Voľba chladiva závisí od konkrétnej aplikácie jednotky. Prevedenie jednotky je vnútorné i vonkajšie [17].

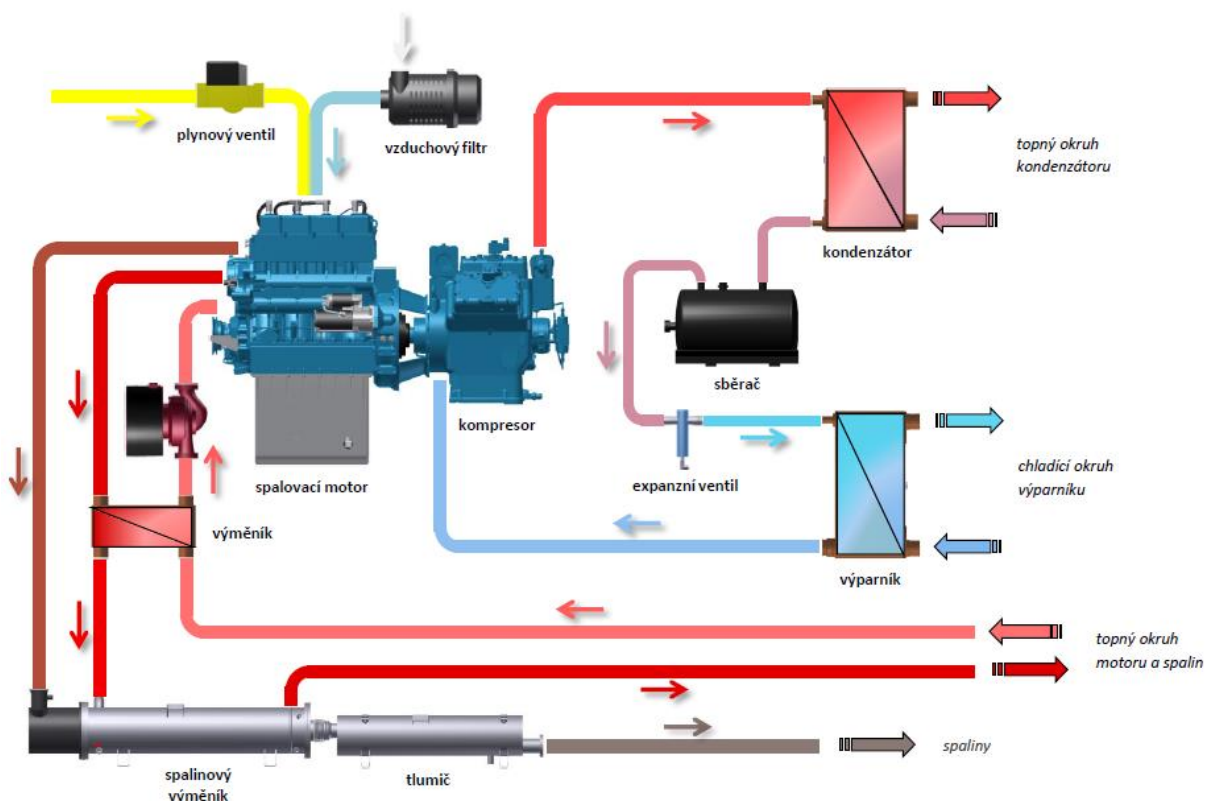


Obr. 5.2 Popis súčastí jednotky TEDOM Polo 100 [20]

Popis pracovného cyklu z obr. 5.3:

Štandardný okruh s chladivom je doplnený o okruh so systémom výmenníkov, ktoré odoberajú teplo z bloku motora a zo spalín. Elektrický motor je nahradený spaľovacím motorom, do ktorého je privedené plynné palivo. Podľa úpravy motora to môže byť zemný plyn, LPG⁵ alebo bioplyn. Spaľovaním sa energia paliva premieňa na mechanickú energiu, ktorá poháňa kompresor a na tepelnú energiu, ktorú je potreba odvieť z motora pre zachovanie jeho pracovných podmienok. Teplo z motora sa odvádza v okruhu, na ktorý je napojený výmenník. Takto predhriata voda ďalej prechádza cez spalínový výmenník. V ňom sa spaliny vystupujúce z motora s teplotou cca 400 °C ochladzujú na teplotu cca 120 °C [22].

Príklad: Voda o teplote 70 °C vstupujúca do výmenníka sa ohreje teplom odobraným motoru a následne aj teplom odobraným spalínám. Výstupná teplota vody je potom približne 90 °C [22].



Obr. 5.3 Schéma jednotky TEDOM Polo 100 [20]

⁵ Zmes propán -bután

5.2 Robur K18

Firma Robur s.r.o. bola založená v Českej republike ako obchodný partner talianskej značky Robur. Model K18 bol predstavený na oficiálnej prezentácii v apríli roku 2015 ako plynové absorpčné tepelné čerpadlo navrhnuté pre sektor bývania vhodné pre rodinné alebo bytové domy, hotely, penzióny a pod. [6], [23], [24].

Základné prevádzkové parametre sú uvedené v tab. 5.2, vzhľad je na obr. 5.4.

Tab. 5.2 Robur K18 [23]

Základné parametre absorpčného PTČ Robur K18	
Tepelný výkon – (A7/W50) ⁶	17,6 kW
Tepelný výkon – (A7/W35)	18,9 kW
Tepelný príkon	11,2 kW
G.U.E. ⁷ (1) – (A7/W50) ⁸	157 %
G.U.E.(1) – (A7/W35)	169 %
Chladivo	Čpavok (R717), voda
Maximálna výstupná teplota vody pre TÚV ⁹	70 °C
Maximálna výstupná teplota vody pre ÚK ¹⁰	65 °C
Menovitý elektrický príkon (2)	280 W
Maximálna spotreba zemného plynu (3)	1,2 m ³ /h
Rozmery (výška × šírka × hĺbka)	1360 × 1129 × 606 mm
Hmotnosť jednotky	250 kg

(1) Ekvivalentný COP 4.13 počítaný s vykurovacím faktorom 2.5 premeny energie

(2) Údaje bez spotreby dodávaného štandardného obehového čerpadla (75 W)

(3) PCI 34,02 MJ/m³ (9,45 kWh/m³) a 15 °C - 1013 mbar .

- TČ Robur K18 odoberá nízkopotenciálne teplo zo vzduchu a odovzdáva ho vode (zapojenie vzduch/voda).
- Absenciou chladív na báze F-plynov dosahuje veľmi dobré výsledky v oblasti dopadu na životné prostredie.
- Maximálna spotreba elektrickej energie je 280 W. Z toho vyplýva jednoduchá inštalácia, keďže nie je potreba posilňovať existujúcu elektrickú prípojku. Inštaluje sa rovnako ako kondenzačný kotol – potrebný prívod vody, plynu a elektriny.

⁶ Pracovný bod – teplota vzduchu na vstupe 7 °C a teplota vody na výstupe 35 °C

(A – z angl. Air, W – z angl. Water)

⁷ Z angl. Gas Utilization Technology – technológia využitia plynu

⁸ Pracovný bod – teplota vzduchu na vstupe 7 °C a teplota vody na výstupe 50 °C

⁹ Teplá úžitková voda

¹⁰ Ústredné kúrenie

- Maximálna výstupná teplota zariadenia Robur K18 pre ÚK je 65 °C a to bez ohľadu na klimatické podmienky.
- Vo svojej výkonovej kategórii je najtichšie TČ (cca 65 dB) a to vďaka menšiemu prúdeniu vzduchu oproti potrebe elektrických kompresorových TČ. Hlučnosť je ekvivalentná k elektrickému TČ s výkonom 3–4 kW [25].

V nasledujúcich tabuľkách tab. 5.3 a tab. 5.4 je prehľad nameraných parametrov pre rôzne vstupné a výstupné podmienky.

Tab. 5.3 Robur K 18 - účinnosť využitia plynu [25]

Účinnosť využitia plynu – G.U.E [%]			
Teplota vzduchu na vstupe [°C]	Teplota vody na výstupe [°C]		
	35	45	55
-7	144	131	113
2	161	153	134
7	169	161	146
12	173	166	155

Tab. 5.4 Robur K 18 – tepelný výkon [25]

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



Obr. 5.4 Robur K18 [26]

5.3 Daikin/Rotex Altherma Hybrid

Altherma Hybrid je hybridné tepelné čerpadlo od spoločnosti Daikin vyrobené v spolupráci s dcérskou spoločnosťou Rotex [15].

Hybridný systém tepelného čerpadla Daikin Altherma kombinuje výhody tepelného čerpadla (vonkajšia jednotka na obr. 5.5) s plynovou kondenzačnou technológiou (vnútorná jednotka na obr. 5.6) a hľadá optimálne ekonomické podmienky pre svoju prevádzku tým, že porovnáva parametre, ktorými sú: náklady na energiu (elektrina, plyn), účinnosť tepelného čerpadla a požiadaviek na tepelné zariadenie. O tom, z ktorej jednotky a ako veľa tepla sa bude získavať rozhoduje logika „Hybrid control logic“. Vďaka tomu sa zvyšuje účinnosť vykurovania až o 35 %. V prípade, že hybridný režim už nebude dostatočný a ekonomicky efektívny, prejde TČ do režimu 100% kondenzačného kotla, aby sa zaistila najlacnejšia prevádzka počas mrazivých dní [27], [28].



Obr. 5.5 Vonkajšia jednotka Daikin Altherma Hybrid [29]



Obr. 5.6 Vnútorná jednotka Daikin Altherma Hybrid [28]

V nasledujúcich tabuľkách sú uvedené základné parametre vonkajšej jednotky, konkrétne model EVLQ08CV3 (tab. 5.5) a vnútornej jednotky, konkrétne model EHY-KOMB33AA (tab. 5.6)

Tab. 5.5 Vonkajšia jednotka Daikin Altherma Hybrid EVLQ08CV3[29]

Základné parametre vonkajšej jednotky EVLQ08CV3	
Vykurovací výkon (A7/W35)	7,4 kW
Elektrický príkon (A7/W35)	1,66 kW
COP (A7/W35)	4,45
Teplota výstupnej vody	65 °C
Rozmery (šírka × výška × dĺžka)	735 × 832 × 307 mm
Hmotnosť	56 kg

Tab. 5.6 Vnútoraná jednotka Daikin Altherma Hybrid EHYKOMB33AA [30], [31]

Základné parametre vnútornej jednotky EHYKOMB33AA	
Vykurovací výkon	26,3 kW
Tepelný príkon	24,6 kW
Elektrický príkon	55 W
Výstupná teplota vody	80 °C
Spotreba plynu	3,39 m ³ /h
Palivo	Zemný plyn
Rozmery (šírka × výška × dĺžka)	710 × 450 × 240 mm
Hmotnosť	36 kg

5.4 Toyota AISIN AXGP710D1-N

Hnacím prvkom PTČ Toyota AISIN je endotermický motor spaľujúci plyn (zemný plyn, LPG). Tento motor bol vyvinutý vo výskumno-vývojovom stredisku spoločnosti Toyota špeciálne pre plynové tepelné čerpadlá. Motor pracuje s Millerovým cyklom a poháňa dva alebo štyri scroll kompresory. Millerov cyklus znižuje emisie a spotrebu paliva a zvyšuje výkon. Vďaka maximálnej účinnosti motora sa dosiahol vysoký COP. Chladiaci okruh využíva chladivo R410A – bezfreónové chladivo s nulovým koeficientom rozpadu ozónu [32].

Na náš trh sa dodáva v šiestich výkonových radách (8, 10, 13, 16, 20 a 25 HP¹¹) s tepelným výkonom od 22,4 kW až po 84,0 kW. Pri motoroch s výkonom 8, 10 a 13 koní sú poháňané 2 scroll kompresory, zvyšné tri modely poháňajú 4 scroll kompresory [33].

Tab. 5.7 Toyota Aisin AXGP710D1-N [35]

Základné parametre Toyota Aisin AXGP710D1-N	
Vykurovací výkon (A7/W35)	84,0 kW
Chladiaci výkon (A7/W35)	71,0 kW
Spotreba elektrickej energie na vykurovanie (A7/W35)	1,44 kW
Maximálna spotreba plynu na vykurovanie	53,7 kW
Chladivo	R410A
Rozmery (výška × šírka × hĺbka)	2100 × 2120 × 890 mm
Hmotnosť	890 kg

¹¹ Z angl. *Horse Power* – jednotka výkonu, slovensky kôň

Najvýkonnejší zvolený model (tab. 5.7) Toyota AISIN AXGP710D1-N obsahuje motor o výkone 19,0 kW (25 HP) a jedná sa o vodu chladený vertikálny 4-valec, 4-takt o objeme 1998 cm³ [35].

- Jednotka (obr. 5.7) je minimálne závislá od elektrickej energie – tá sa používa iba na štart, riadenie a monitoring zariadenia.
- Nezávislosť na vonkajšej teplote umožňuje zariadeniu pracovať do -20 °C bez straty výkonu [36].



Obr. 5.7 Toyota AISIN AXGP450D1-N [34]

5.4.1 Millerov cyklus

Millerov cyklus je princíp spaľovania, ktorý sa vyznačuje vyšším výkonom pri znížení spotreby paliva a redukcii emisií. Tento princíp sa uplatňuje v klasickom štvordobom motore, kde doby sanie, expanzia a výfuk sú rovnaké, až na kompresnú dobu. Kompresia oproti klasickému cyklu prebieha tak, že sací ventil zostáva otvorený a zatvára sa tesne pred expanziou. Počas toho ako je ventil otvorený, vytlačí sa časť zmesi mimo spaľovaciu komoru. Tu je zmes stlačovaná kompresorom, ktorý prevedie kompresiu efektívnejším spôsobom, než piest v spaľovacej komore. Takto stlačená zmes je veľmi dobre premiešaná so vzduchom a privedená tesne pred expanziou naspäť do spaľovacej komory. Týmto spôsobom sa dosiahne vyššieho kompresného pomeru, a teda vyššieho výkonu. Úspora paliva sa u motorov s Millerovým cyklom dosahuje 10 – 15 % [37].

5.5 Yanmar ANCP850J

Yanmar je japonská spoločnosť s vyše storočnou históriou, zaoberajúca sa najmä výrobou dieselových motorov pre lode, stavebné a poľnohospodárske stroje a generátory [38].

Výrobca ponúka 4 modely s tepelnými výkonmi 50 kW, 63 kW, 80 kW a 95 kW. K bližšej technickej špecifikácii, ktorá je v tab. 5.8 bol zvolený najvýkonnejší z nich (95 kW) [40].

Tab. 5.8 Yanmar ANCP850J [40]

Základné parametre PTČ Yanmar ANCP850J	
Vykurovací výkon (A7/W35)	95,0 kW
Chladiaci výkon	85,0 kW
Spotreba elektrickej energie na vykurovanie (A7/W35)	1,29 kW
Spotreba plynu na vykurovanie (A7/W35)	66,3 kW
Chladivo	R407C
Rozmery (výška × šírka × hĺbka)	2170 × 1690 × 800 mm
Hmotnosť	1020 kg

- Vodou chladený motor na zemný plyn (4-takt, 2198 cm³) pracuje s Millerovým cyklom a poháňa 2 scroll kompresory.
- Schopné prevádzky až do -21 °C
- Vonkajšie prevedenie, zapojenie vzduch/voda.
- Vhodné aj pre veľké priestory vďaka kaskádovému zapojeniu viacerých jednotiek. Príklad možného riešenia z praxe: 14 PTČ Yanmar o celkovom vykurovacom výkone 1285 kW zvládne vykurovať haly s plochou 25000 m² [39].



Obr. 5.8 Yanmar ANCP850J [39]

6 Vybrané TČ s elektrickým pohonom a kondenzačný kotol k porovnaniu

6.1 Tepelné čerpadlo Dimplex LA 60TU

Ako TČ s elektrickým pohonom bol zvolený produkt Dimplex LA 60TU (obr. 6.1), jeho základné prevádzkové parametre na vykurovanie sú uvedené v tab. 6.1.

Tab. 6.1 Dimplex LA 60TU [41], [42]

Základné prevádzkové parametre TČ Dimplex LA 60TU	
Vykurovací výkon (A7/W35)	60,1 kW
Elektrický príkon (A7/W35)	15,0 kW
COP (A7/W35)	4,1
Teplota výstupnej vody	Až do 65 °C
Chladivo	R417A
Rozmery (šírka × výška × dĺžka)	1900 × 2300 × 1000 mm
Hmotnosť	915 kg



Obr. 6.1 Dimplex LA 60TU [41]

6.2 Kondenzačný plynový kotol Thermona THERM 90 KD.A

Základné prevádzkové parametre závesného kondenzačného plynového kotla značky Thermona, model THERM 90 KD.A (obr. 6.2) uvažované pri plnom výkone sú uvedené v tab. 6.2.

Tab. 6.2 Thermona THERM 90 KD.A [43]

Základné prevádzkové parametre Thermona THERM 90 KD.A	
Vykurovací výkon	95 kW
Tepelný príkon	89,7 kW
Elektrický príkon	288 W
Výstupná teplota vody	80 °C
Spotreba plynu	9,53 m ³ /h
Palivo	Zemný plyn
Rozmery (šírka × výška × dĺžka)	970 × 530 × 500 mm
Hmotnosť	71 kg



Obr. 6.2 Thermona THERM 90 KD.A [43]

7 Porovnanie vybraných produktov

V tejto kapitole sú zrovnané vybrané PTČ s TČ s kompresorom na elektrický pohon a s kondenzačným kotlom.

K porovnaniu boli vybrané nasledujúce plynové tepelné čerpadlá:

- Toyota Aisin AXGP450D1-N (kategória PTČ)
- Robur K18 (kategória absorpčné PTČ)
- Daikin Altherma Hybrid (kategória hybridné PTČ)

Porovnávať sa bude s TČ Dimplex LA 60TU a plynovým kondenzačným kotlom Thermana THERM 90 KD.A.

Jednotlivé produkty budú porovnané na základe ich hodnoty PER. Docielím tým započítanie strát pri výrobe a taktiež zjednotenie vstupných energií, keďže koeficient PER v sebe zahŕňa aj spotrebu elektrickej energie PTČ.

Prepočet na primárne energie

Referenčné hodnoty faktoru energetickej premeny pre prepočet na hodnoty primárnej energie z neobnoviteľných zdrojov sú uvedené v tab. 7.1.

Príklad: Na 1 kW vyrobenej elektrickej energie v ČR sa spotrebujú 3 kW primárnej energie (uhlie, zemný plyn).

Tab. 7.1 Faktor energetickej premeny [44]

Zdroj	Faktor energetickej premeny (FEP) [kWh/kWh]
Zemný plyn a iné fosílné palivá	1,1
Elektrická energia (zo siete)	3

Vzorový výpočet pre Toyota Aisin AXGP450D1-N:

Pre výpočet je použitá upravená rovnica (7.1) na výpočet koeficientu PER. Namiesto podelenia vstupných energií ich účinnosťami budú tieto vstupné energie násobené odpovedajúcim faktorom energetickej premeny.

$$PER = \frac{FEP_p * W_p + FEP_e * W_e}{Q} \quad [-] \quad (7.1)$$

Dosadenie konkrétnych hodnôt pre Toyota Aisin AXGP450D1-N v rovnici (7.2):

$$PER = \frac{1,1 * 53,7 + 3 * 1,44}{84} \doteq 0,755 \quad [-] \quad (7.2)$$

PER – stupeň využitia primárnej energie [-]

W_p – vstupná energia v podobe plynu z plynovej prípojky [kWh]

W_e – vstupná energia v podobe elektriny zo siete [kWh]

FEP_p – faktor energetickej premeny pre plyn [kWh/kWh]

FEP_e – faktor energetickej premeny pre elektrickú energiu [kWh/kWh]

Q – výstupné teplo [kWh]

Tab. 7.2 Výsledky výpočtov hodnoty PER

Produkt		PER
Toyota Aisin AXGP450D1-N		0,755
Robur K18		0,696
Daikin Altherma Hybrid	Vonkajšia jednotka	0,674
	Vnútornej jednotka	1,034
Dimplex LA 60TU		0,749
Thermona THERM 90 KD.A		1,048

Výsledky výpočtov hodnoty PER sú uvedené v tab. 7.2. Vstupné a výstupné energie, z ktorých sa počítal koeficient PER, boli podľa výrobcov namerané za rovnakých podmienok u všetkých porovnávaných tepelných čerpadiel. Jediné výrobca Tedom neuvádza, za akých podmienok bol nameraný maximálny vykurovací výkon ich produktu Polo 100, a preto neprichádzalo do úvahy zvoliť tento produkt k porovnávaniu.

Hybridné PTČ Daikin Altherma Hybrid nebolo možné porovnávať v hybridnom režime s ostatnými modelmi, pretože výrobca neuvádza parametre prevádzky v tomto režime. Počítalo sa teda zvlášť s hodnotami pre maximálny výkon vonkajšej jednotky a zvlášť pre maximálny výkon vnútornej jednotky.

Ak by sme brali v úvahu pracovný bod A7/W35, tak z vybraných produktov je energeticky najefektívnejšia vonkajšia jednotka (TČ) od Daikin, keďže má najnižší koeficient PER, čo znamená, že spotrebuje najmenej vstupných energií k energii vyrobenej. Dá sa teda skonštatovať, že ak je v prevádzke len táto vonkajšia jednotka, tak z porovnávaných produktov je práve toto plynové tepelné čerpadlo (Daikin Altherma Hybrid) energeticky najefektívnejšie.

U tepelných čerpadiel je hodnota koeficientu PER podstatne nižšia, než u plynového kondenzačného kotla, čo je spôsobené využívaním energie z okolitého prostredia.

8 Záver

V prvej časti tejto bakalárskej práce sú vysvetlené základné pojmy potrebné pri stanovovaní efektívnosti tepelných čerpadiel a princíp funkcie. Teoretická časť pokračuje ďalej rozdeľovaním tepelných čerpadiel podľa typu obehu a podľa zdroja tepla. Časť týkajúca sa zdrojov tepla popisuje aj rôzne možnosti inštalácie pri využití rovnakého zdroja. Pri obehoch je vysvetlený aj princíp práce prostredníctvom jednotlivých komponentov. Ďalej je tu vysvetlený základný rozdiel medzi normálnym tepelným čerpadlom a plynovým tepelným čerpadlom a s tým súvisiacim aj rozdielnym vykurovacím faktorom.

V rešeršnej časti bolo vybraných niekoľko tepelných čerpadiel, medzi nimi aj produkt od českého výrobcu Tedom, ďalej novinka od talianskeho výrobcu Robur alebo produkty japonskej výroby (Daikin, Aisin, Yanmar). U vybraných produktov bola spracovaná technická rešerš týkajúca sa najmä ich princípu prevádzky. Mimo rešeršnú časť bolo zvolené aj normálne plynové tepelné čerpadlo a kondenzačný kotol k porovnaniu. U všetkých výrobkov boli zostavené tabuľky so základnými parametrami pri vykurovaní, ktoré boli ďalej použité pre porovnanie vo výpočtovej časti. Do tejto časti bolo vybraných celkom päť produktov, z každej kategórie jeden.

Výpočtová časť obsahuje porovnanie tepelných čerpadiel podľa koeficientu PER, ktorý určuje ako efektívne sú energie využité. Zo zostavenej tabuľky je zreteľné, že všetky tepelné čerpadlá sú efektívnejšie ako plynový kondenzačný kotol (v danom pracovnom bode A7/W35). Pri porovnávaní bol problém s hybridným PTČ od Daikin-u, pretože výrobca neuvádza parametre počas hybridnej prevádzky a preto musela byť každá jeho jednotka porovnaná zvlášť. Rátajúc s týmto faktom, je zo všetkých piatich produktov výrobok od Daikin-u najefektívnejší. Osobne by som ho avšak z porovnávaní vylúčil a v tom prípade by bolo najefektívnejšie absorpčné PTČ od výrobcu Robur.

Všeobecnou výhodou tepelných čerpadiel je, že v objektoch s požiadavkou na teplo aj chlad zároveň je možné prečerpávať teplo z jednej miestnosti do druhej. Všeobecnou nevýhodou je, že pri veľmi nízkych teplotách je nutné dodať viac energie na prečerpanie tepla z nižšej energetickej hladiny na vyššiu a tým pádom klesá ich efektívnosť (klesá výkon i COP). Ďalšou nevýhodou môže byť ich hlučnosť.

Hlavnou výhodou plynových tepelných čerpadiel je, že časť energie z plynu využijú ako mechanickú energiu pre pohon kompresora a zvyšná časť v podobe tepla spalín a motora môže byť využitá na ďalší ohrev vody a teda dokážu ohriať vodu na vyššie teploty. Elektrické tepelné čerpadlá túto vlastnosť nemajú. Nevýhodou plynových tepelných čerpadiel môže byť pre niekoho to, že vyžadujú okrem elektrickej prípojky ešte aj prípojku na plyn. Tým sa znižuje počet potenciálnych užívateľov.

Aj napriek vyšším prvotným investíciám a drobným nevýhodám sú tepelné čerpadlá, či už elektrické alebo plynové, úspornejší spôsob výroby tepla v porovnaní s klasickými zariadeniami na vykurovanie.

Zoznam použitých zdrojov

- [1] SRDEČNÝ, Karel a Jan TRUXA. *Tepelná čerpadla*. 1. vyd. Brno: ERA, 2005. ISBN 8073660318.
- [2] Kolektiv autorů. *Chladicí a klimatizační technika*. Praha: Svaz chladicí a klimatizační techniky, 2012. Učební texty Svazu CHKT.
- [3] Princíp funkcie sorpčných tepelných čerpadiel. *TZB portal* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.tzbportal.sk/kurenie-voda-plyn/princip-funkcie-sorpcnych-tepelnych-čerpadiel.html>
- [4] Tepelná čerpadla. *Tzb-info* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla>
- [5] Applications of Thermodynamics: Heat Pumps and Refrigerators. *Open stax CNX* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: https://cnx.org/contents/LzKO_Zdu@3/Applications-of-Thermodynamics
- [6] ABSORPČNÍ TEPELNÉ ČERPADO K18 (VZDUCH/VODA). *Robur* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.robur.cz/produkty/rodinne-domy/absorpcni-tepelne-čerpadlo-k18-vzduch-voda>
- [7] Ako funguje tepelné čerpadlo? Oplatí sa? *Zdravé-bývanie* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.zdrave-byvanie.com/ako-funguje-tepelne-čerpadlo-oplati-sa/>
- [8] GroundHeatExchanger:Slinky. *Bigladder* [online]. [cit. 2016-05-27]. Upravené. Dostupné z: <http://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-3/input-output-reference/group-condenser-equipment.html>
- [9] Tepelná čerpadla VZDUCH – VODA, split systém. *Tepelná technika* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.ekotep.cz/vzduch-voda/>
- [10] Vrty pre tepelné čerpadlá. *Ekogeos* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://ekogeos.sk/vrty-pre-teplene-čerpadla/>
- [11] Heat from the Ground. *Rutland plastics limited* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.rutlandplastics.co.uk/advice/geothermal.html>
- [12] JANDAČKA, Jozef a kol. Experimentálne merania prevádzkových parametrov tepelných čerpadiel poháňaných spaľovacím motorom na zemný plyn. *Slovgas* [online]. 2013, **2013**(5), 6 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: http://www.szn.sk/slovgas/Casopis/2013/5/2013_5_08.pdf
- [13] Hybridní tepelné čerpadlo. *Abeceda* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.abeceda-čerpadel.cz/cz/hybridni-tepelne-čerpadlo>
- [14] Kombinace tepelného čerpadla a kondenzačního plynového kotle. *Ekologické bydlení* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.ekobydleni.eu/domy/novinka-kombinace-tepelneho-čerpadla-a-kondenzacniho-plynoveho-kotle>
- [15] Tepelné čerpadlá Daikin Altherma HYBRID s integrovaným plynovým kondenzačným kotlom. *Daikin Altherma* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://daikin->

altherma.tepelnecerpadlo.co/vysokoteplotn%C3%A9-tepeln%C3%A9-%C4%8Derpadl%C3%A1-daikin-altherma-s-plynom

- [16] Tepelná čerpadla země / voda. *Euronom* [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.euronom.cz/tepelna-cerpadla-zeme-voda>
- [17] TEDOM Polo 100. *Tedom* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/tedom-polo-100.html>
- [18] Plynové tepelné čerpadlo TEDOM Polo 100 - nový produkt v nabídce. *Tedom* [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/clanek-plynovye-tepelne-cerpadlo-tedom-polo-100-novy-produkt-v-nabidce-105.html>
- [19] Plynové tepelné čerpadlo TEDOM Polo 100. *Tedom* [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/down/1030.pdf>
- [20] TEDOM Polo 100 - Schémata. *Tedom* [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/down/944.pdf>
- [21] Vývoj firmy. *Tedom* [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/hp-tedom-vyvoj.html>
- [22] 02 - Jak funguje plynové tepelné čerpadlo. *Tedom* [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/youtube/video?idvideo=2>
- [23] Prospekt čerpadlo K18. *Robur* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: http://www.robur.cz/spc_dwn.php?dl=fwdvn&d=6/&f=21.pdf&h=b1136e1d5c&ns=1
- [24] O firmě. *Robur* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.robur.cz/o-firme>
- [25] Úspora nákladů na vytápění s plynovým tepelným čerpadlem. *Tzb-info* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/14067-uspora-nakladu-na-vytapani-s-plynovym-tepelnym-cerpadlem>
- [26] Odborný seminář Plynové vytápění s využitím obnovitelných zdrojů energie. *Tzb-info* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12468-odborny-seminar-plynovye-vytapani-s-vyuzitim-obnovitelnych-zdroju-energie>
- [27] Hybridní tepelné čerpadlo Daikin Altherma získalo 1. místo v soutěži TOP Energie 2015. *Stavební noviny* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://tvstav.cz/clanek/3382-hybridni-tepelne-cerpadlo-daikin-altherma-ziskalo-1-misto-v-soutezi-top-energie-2015>
- [28] Daikin / Rotex - hybridní plynové tepelné čerpadlo. *Klimatizace Daikin* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.klimatizace-daikin.cz/daikin-rotex-hybridni-plynovye-tepelne-cerpadlo.html>
- [29] Technical Data Daikin Altherma hybrid heat pump EVLQ-CV3. *E2e* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.e2e.si/wp-content/uploads/Data-book-Hybrid-zunanja-enota.pdf>

- [30] Installer reference guide Daikin Altherma hybrid heat pump. *Daikin* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: https://www.daikin.es/docs/4PEN355634-1_2013_05-tcm478-307064.pdf
- [31] SYSTÉM HYBRIDNÍHO TEPELNÉHO ČERPADLA DAIKIN ALTHERMA VYTÁPĚNÍ A OHŘEV TEPLÉ UŽITKOVÉ VODY. *Klimatizace Daikin* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: http://www.klimatizace-daikin.cz/files/produkty_cerpadla/tepelne-cerpadlo-daikin-altherma-hybrid-katalog.pdf
- [32] Plynové tepelné čerpadlo AISIN TOYOTA. *Tzb portal* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.tzbportal.sk/sprava-budov/plynove-tepelne-cerpadlo-aisin-toyota.html>
- [33] Modely plynových tepelných čerpadel. *ESM YZAMER* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.yzamer.sk/produkty/tepelne-cerpadla/modely-plynovych-tepelnych-cerpadel>
- [34] GAS HEAT PUMPS WORKSHOP. *Marcogaz* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: http://www.marcogaz.org/downloads/GasHeatPumpsWorkshop/2_Tecnocasa%20workshop%20%20Paris%20December%2001-02%20th%20rev3.pdf
- [35] Plynové tepelné čerpadlo Aisin 25 HP. *ESM YZAMER* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.yzamer.sk/produkty/tepelne-cerpadla/modely-plynovych-tepelnych-cerpadel/plynove-tepelne-cerpadlo-aisin-25hp>
- [36] Plynová tepelná čerpadla GHP. *GEOCORE* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.geocore.cz/plynova-tepelna-cerpadla-ghp/>
- [37] Millerův cyklus. *GEOCORE* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.geocore.cz/milleruv-cyklus/>
- [38] Yanmar. *Wikipedia* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Yanmar>
- [39] YANMAR PLYNOVÉ TEPELNÉ ČERPADLO VZDUCH/VODA. *GT Energy* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.gt-energy.cz/cz/yanmar-plynove-vzduch-voda>
- [40] GAS POWERED VRF. *Yanmar* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: https://d2b43dz1g2nmfn.cloudfront.net/uploads/media/documents/2014/10/27/GA001_Yanmar_Gas_Powered_VRF_2104.pdf
- [41] LA 60TU. *Dimplex* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.dimplex.de/en/heat-pumps/air-to-water/outdoor-installation/la-60tu.html>
- [42] LA 60TU. *Termo komfort* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.termokomfort.cz/technicke-informace/LA60TU.pdf>
- [43] THERM 90 KD.A. *Thermona* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.thermona.cz/plynove-kotle/plynove-kondenzacni-kotle/pouze-pro-topeni/kotel-therm-90-kd-a>

- [44] RUBINOVÁ, Olga. *Budova a energie: Energetická náročnost a legislativa ČR* [online]. Brno [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.fce.vutbr.cz/TZB/rubinova.o/prednasky/tp08.pdf>. Výukové materiály predmetu Technika prostředí. Fakulta stavební, VUT.

Zoznam použitých obrázkov

Obr. 2.1 Obrátený Carnotov cyklus [5]	16
Obr. 3.1 Parný obeh tepelného čerpadla [7]	19
Obr. 3.2 Schéma absorpčného cyklu [3].....	21
Obr. 3.3 Graf prevádzky hybridného TČ [15]	22
Obr. 4.1 Hlbinný vrt [16].....	23
Obr. 4.2 Plošný kolektor [16].....	23
Obr. 4.3 Pôdny kolektor typu Slinky [8]	24
Obr. 4.4 Zdrojová a vsakovacia studňa [10].....	24
Obr. 4.5 Kolektor na dne rybníka [11]	24
Obr. 4.6 Split systém [9]	25
Obr. 4.7 Kompaktný systém [9].....	25
Obr. 5.1 TEDOM Polo 100 [18].....	26
Obr. 5.2 Popis súčastí jednotky TEDOM Polo 100 [20]	27
Obr. 5.3 Schéma jednotky TEDOM Polo 100 [20]	28
Obr. 5.4 Robur K18 [26]	30
Obr. 5.5 Vonkajšia jednotka Daikin Altherma Hybrid [29]	31
Obr. 5.6 Vnútorná jednotka Daikin Altherma Hybrid [28]	31
Obr. 5.7 Toyota AISIN AXGP450D1-N [34]	33
Obr. 5.8 Yanmar ANCP850J [39]	34
Obr. 6.1 Dimplex LA 60TU [41].....	35
Obr. 6.2 Thermona THERM 90 KD.A [43]	36

Zoznam použitých značiek a skratiek

Značka/skratka	Popis	Jednotka
η	Účinnosť	[-]
Q	Výstupná energia	[kWh]
E	Vstupná energia (palivo)	[kWh]
P	Vstupná energia (z okolia)	[kWh]
COP	Vykurovací faktor	[-]
PER	Stupeň využitia primárnej energie	[-]
W_p	Vstupná energia v podobe plynu z plynovej prípojky	[kWh]
W_e	Vstupná energia v podobe elektriny zo siete	[kWh]
η_p	Účinnosť distribúcie plynu	[-]
η_e	Účinnosť výroby elektrickej energie	[-]
FEP _p	Faktor energetickej premeny pre plyn	[kWh/kWh]
FEP _e	Faktor energetickej premeny pre elektrickú energiu	[kWh/kWh]
	Výkon	[kW], [HP]
	Príkon	[kW] ([W])
	Teplota	°C
	Hmotnosť	kg
	Intenzita hluku	dB
FEP	Faktor energetickej premeny	[kWh/kWh]
TČ	Tepelné čerpadlo	
PTČ	Plynové tepelné čerpadlo	