



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

VYTÁPĚNÍ DOMU TEPELNÝM ČERPADLEM

HEATING THE HOUSE BY A HEAT PUMP

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Zuzana Najbrtová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Filip Toman

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Energetický ústav
Studentka:	Zuzana Najbrtová
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Filip Toman
Akademický rok:	2018/19

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:

Vytápění domu tepelným čerpadlem

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V posledních letech se tepelná čerpadla (TČ) stále více používají k vytápění budov jako zdroj tepelné energie. Náplní této bakalářské práce bude navrhnout typ TČ pro vytápění konkrétního rodinného domu z dostupné nabídky na trhu a provést ekonomické zhodnocení návratnosti použitého řešení.

Cíle bakalářské práce:

- Popsat princip TČ.
- Uvést přehled používaných typů TČ.
- Výpočet tepelných ztrát vybraného objektu.
- Návrh TČ.
- Provést technicko–ekonomické zhodnocení konkrétní instalace TČ.

Seznam doporučené literatury:

PETRÁŠ, Dušan, Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie. Bratislava: Jaga. 2008. Vytápění. ISBN 9788080760694

PAVELEK, Milan, Termomechanika. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 2011. ISBN 9788021443006.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce věnující se problému vytápění rodinného domu tepelným čerpadlem je rozdělena do dvou hlavních částí. Teoretická část se věnuje krátkému představení principu tepelného čerpadla a jeho různým typům, dle zdroje používané nízkopotenciální energie.

Praktická část se pak věnuje dimenzování tepelného čerpadla na základě výpočtu tepelných ztrát zvoleného objektu a následně ekonomicko-technickému porovnání tepelného čerpadla a plynového kotle.

Klíčová slova

Tepelné čerpadlo, vytápění, tepelné ztráty, návratnost

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the issue of heating a house by a heat pump. It has two parts: The theoretical part describes the principle of heat pump and its types, according to the source of low-potential energy used. The practical part outlines the dimensioning of the heat pump, based on the calculation of the heat loss of the selected building. Finally, the economic-technical comparison of the heat pump and the gas boiler is drawn.

Key words

heat pump, heating, heat loss, return of investments

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NAJBRTOVÁ, Zuzana. *Vytápění domu tepelným čerpadlem* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116686>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Filip Toman.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Vytápění domu tepelným čerpadlem** vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Jméno a příjmení

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Filipovi Tomanovi za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce.

OBSAH

ÚVOD	13
1 TEPELNÉ ČERPADLO	15
1.1 Historie	15
1.2 Princip.....	16
1.2.1 Části tepelného čerpadla	17
1.2.2 Chladivo.....	18
1.3 Carnotův cyklus	18
1.4 Topný faktor	19
2 ENERGIE PROSTŘEDÍ.....	21
2.1 Vzduch.....	21
2.1.1 Vnější vzduch.....	21
2.1.2 Vnitřní vzduch	22
2.2 Voda.....	22
2.2.1 Podzemní voda.....	23
2.2.2 Povrchová voda.....	24
2.3 Zemský masiv	24
2.3.1 Podloží	25
2.3.2 Půdní vrstva	25
2.4 Srovnání systémů tepelných čerpadel.....	26
3 TEPELNÉ ZTRÁTY OBJEKTU	29
3.1 Popis objektu	29
3.1.1 Parametry objektu	29
3.1.2 Klimatické údaje	30
3.1.3 Materiálové charakteristiky	30
3.2 Celková tepelná ztráta vytápěného prostoru.....	32
3.2.1 Ztráty prostupem tepla	32
3.2.2 Ztráty větráním.....	34
3.2.3 Celková tepelná ztráta objektu.....	35
3.3 Roční spotřeba tepla vytápěním	36
4 EKONOMICKO – TECHNICKÉ ZHODNOCENÍ.....	39
4.1 Tepelná čerpadla.....	39
4.2 Plynový kotel.....	40
4.3 Pořizovací náklady	40
4.3.1 Náklady na pořízení tepelných čerpadel	40
4.3.2 Náklady na pořízení plynového kotle	41

4.4	Provozní náklady	42
4.4.1	Náklady na vytápění tepelným čerpadlem	42
4.4.2	Náklady na vytápění plynovým kotlem	42
4.4.3	Roční úspora	43
4.5	Návratnost tepelného čerpadla.....	43
ZÁVĚR.....		45
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ		47
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....		50
SEZNAM OBRÁZKŮ		52
SEZNAM TABULEK.....		53

ÚVOD

Snaha o nalezení nejefektivnějšího a finančně nenáročného způsobu vytápění objektů provází lidstvo již po několik staletí. Princip tepelného čerpadla vychází z druhého termodynamického principu zveřejněného již v 19. století. Z tohoto principu plyne důležitý poznatek pro celou funkci tepelného čerpadla, a to, že teplo je předáváno pouze z teplejší látky do chladnější.

Trend instalace tepelných čerpadel zaznamenává v posledních desetiletích prudký nárůst. Tato skutečnost je mimo jiné ovlivněna klesající zásobou neobnovitelných zdrojů energie a snahou o zlepšení životního prostředí.

Teoretická část se věnuje principu tepelného čerpadla s uvedením jeho důležitých částí. Je zde objasněn pojem topný faktor, který je důležitým ukazatelem při volbě tepelného čerpadla. Dále je v práci uvedeno rozdělení tepelných čerpadel dle zdroje nízkopotenciálního tepla a teplonosného média, jejich základní charakteristiky, výhody a nevýhody.

Hlavním cílem praktické části je ekonomicko-technické zhodnocení tepelného čerpadla. Pro toto zhodnocení byl proveden výpočet tepelných ztrát objektu, na jehož základě je zvoleno tepelné čerpadlo.

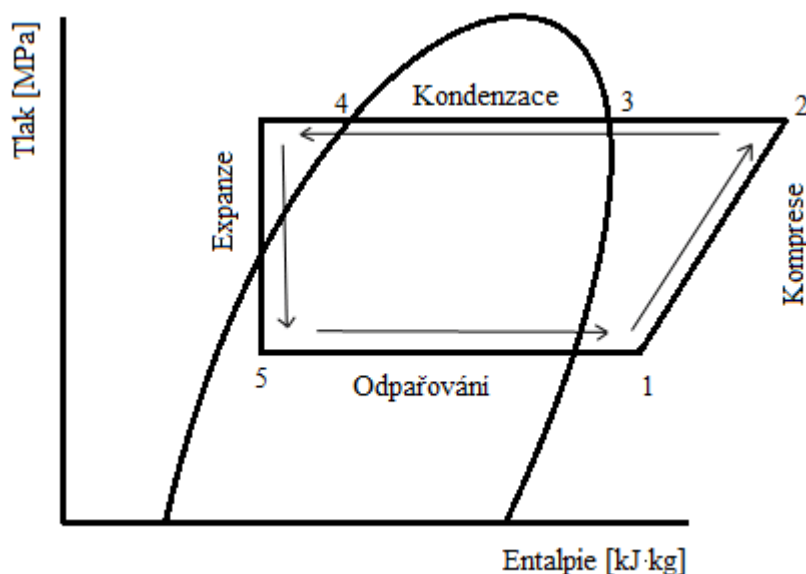
*Energetický ústav
FSI VUT v Brně*

*Zuzana Najbrtová
Vytápění domu tepelným čerpadlem*

1 TEPELNÉ ČERPADLO

V dnešní době se uplatňuje, vzhledem k vysoké úrovni znečišťování planety, rozšířená koncepce využívání obnovitelných zdrojů energie, a to nejen při výrobě elektrické energie, ale v posledních desetiletích i ve způsobech vytápění.

V oblasti vytápění objektů je snahou získat zařízení, které bude účinně získávat a využívat energii prostředí a nebude z ekologického hlediska škodlivé. Jedním z takových zařízení je tepelné čerpadlo¹. Průběh tepelného čerpadla je možné zaznačit do p-h diagramu (obr. 1.1).



Obr. 1.1 - Znáornění pracovního cyklu tepelného čerpadla v p-h diagramu [1]

Tepelná čerpadla můžeme rozdělit na kompresorová a sorpční. Sorpční čerpadla mají, na rozdíl od kompresorových, další látku, která zajišťuje přenos a vstřebávání chladiva. Velkou výhodou tohoto typu tepelného čerpadla je téměř nulová hlučnost a spolehlivý chod [2].

1.1 Historie

Myšlenka výměny tepla mezi vnějším prostředím a topným zařízením byla poprvé zveřejněna v roce 1824 Nicolasem Léonardem Sadi Carnotem v díle "Úvahy o hybné síle ohně a strojích vyvolávající tuto sílu." Této studii využil v roce 1852 William Thomson, lord Kelvin, který formuloval princip tepelného čerpadla, vycházející z druhého termodynamického principu.

Během 20. století došlo k úspěšnému zkonstruování provozuschopných čerpadel. Jedním z prvních konstruktérů byl americký vynálezce Robert C. Webber, který si všiml vlastností chladících zařízení vést teplo [3,4].

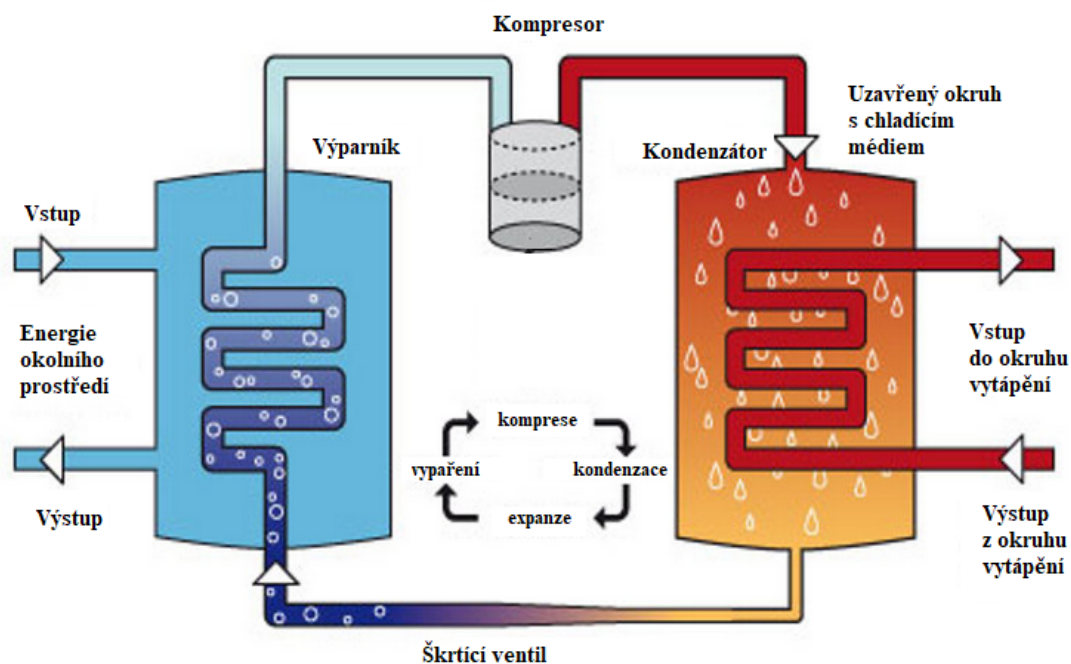
¹ V celé práci je pojem tepelné čerpadlo použit pro kompresorové tepelné čerpadlo

První tepelné čerpadlo bylo sestaveno již roku 1834, ale prakticky se čerpadla začala využívat až v 80. letech 20. století [3]. Důvodem byly vysoké náklady na pořízení a celkově byla čerpadla ekonomicky nevýhodná. S příchodem ropné krize se však tato situace změnila [5]. V dnešní době jsou však tyto stroje, sloužící k vytápění, využívány v hojné míře.

1.2 Princip

Tepelné čerpadlo je stroj, který ideálně funguje podle obráceného Carnotova cyklu [6]. Jeho funkcí je transformace nízkoteplotní energie na vyšší teplotní úroveň.

Teplo z okolního prostředí, odebírané zdarma, je přivedeno do výparníku, kam je zároveň vháněna chladicí kapalina. Ve výparníku nastává postupné předávání nízkopotenciálního tepla chladnější substanci. Dodáním tepla dochází, za konstantní teploty, ke skupenské přeměně chladiva z kapalného na plynné. Plyn je nasáván do kompresoru. V kompresoru, pro jehož provoz potřebujeme dodat elektrickou energii, dochází ke stlačení plynu a prudkému teplotnímu nárůstu. Horký stlačený plyn je veden do kondenzátoru. Zde dochází ke snížení teploty, zkapalnění plynu a předání tepla danému zdroji určenému k vytápění. Kapalné chladivo je hnáno do expanzního ventilu, kde dochází k prudkému snížení tlaku a teploty. Odtud je chladivo opět vstříkováno do výparníku (viz obr. 1.2) [3,7].



Obr. 1.2 - Schéma oběhu tepelného čerpadla [8]

1.2.1 Části tepelného čerpadla

Výparník

Výparník je přístroj zajišťující přenos tepla mezi dvěma tepelnými medii. U tepelných čerpadel je prvním mediem zdroj nízkopotenciální energie a druhým chladicí kapalina [3]. Nejčastěji se používají výparníky trubkovitého tvaru nebo letované desky [9].

Kompresor

Funkcí kompresoru je stlačení plynů chladiva s cílem zvýšit jejich teplotní úroveň [4,9]. U tepelných čerpadel se setkáváme s tzv. hermetickým kompresorem, tj. kompresor je společně s motorem, který je ve většině případů poháněn elektrickou energií, uložen v ocelové nádobě [2]. Toto uložení má za úkol zamezit únikům chladiva do okolí [3].

Nejčastější druhy kompresorů:

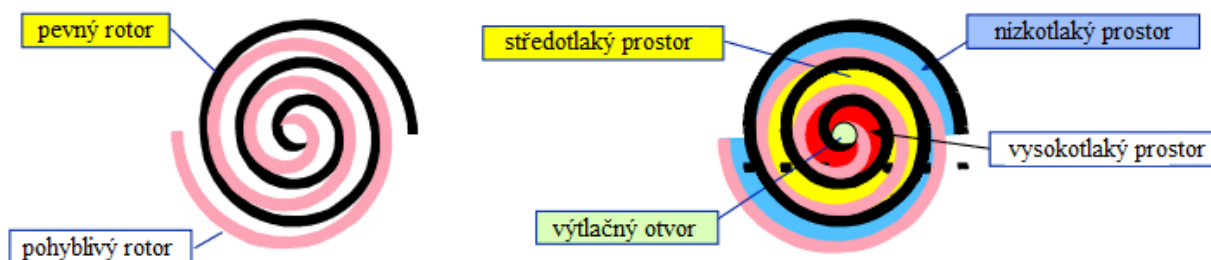
Pístový kompresor

Tento typ najdeme hlavně u starších strojů, a to díky své cenové dostupnosti a jednoduché údržbě. Mezi jeho nevýhody patří nízká účinnost a hlučnost [2,3]. Průměrná životnost pístového kompresoru bývá 15 let, po této době je nutné jej vyměnit [2].

SCROLL kompresor

SCROLL kompresor patří k nejpoužívanějším druhům. Vzhledem ke své konstrukci je použitelný v širokém teplotním rozpětí pro různé druhy chladiv. V porovnání s pístovým kompresorem je sice dražší, nicméně jeho účinnost a životnost dosahuje vyšších hodnot, než u ostatních typů [2].

Kompresor typu SCROLL je složen ze dvou do sebe vložených spirál (viz obr.1.3). Horní spirála je pevně uchycena, druhá excentricky krouží v první. Tím dochází ke vzniku plynových kapes, které pohybem ke středu snižují svůj objem [2,7].



Obr. 1.3 - schéma SCROLL kompresoru [10]

Rotační kompresor

Kompresor má rotující kruhový píst umístěn v komoře s různými typy upevnění. Využívá se spíše v klimatizačních zařízeních. Jeho vhodné použití je pro malé výkony. Mezi nevýhody patří nízká objemová účinnost.

Šroubový kompresor

Tento kompresor je využíván hlavně v průmyslu, kde je potřeba dosáhnout velkých výkonů. Principem tohoto typu je vzájemné odvalování dvou rotorů.

Jeho předností je malá hlučnost a větší účinnost, než u pístových kompresorů. Použití pro tepelné čerpadlo do rodinného domu není vhodné, vzhledem k velikosti a ceně kompresoru [2,3].

Kondezátor

Výměník, ve kterém dochází k přenosu tepla mezi chladivem a topným systémem [2]. Plynné chladivo předává teplo během kondenzačního procesu. Nejčastěji je zhotoven v trubkovitém tvaru nebo jako letovaná deska [9].

Expanzní ventil

Úkolem expanzního ventilu je udržení tlakového rozdílu mezi vysokotlakou a nízkotlakou stranou oběhu. Dochází zde k poklesu teploty. Ventil je řízen termostaticky (TEV) nebo elektronicky (EEV) [3,9].

1.2.2 Chladivo

Chladivo je směs, která koluje celým oběhem tepelného čerpadla a přenáší teplo. Během celého procesu dochází ke změně skupenství. Ve výparníku se chladivo mění z kapalného na plynné a v kondenzátoru z plynného na kapalné. [9]. Používané směsi se označují R2.

V první polovině 20. století se začala vyrábět první chladiva ze skupin CFC a HCFC. Tato chladiva byla pro použití bezpečná, nejedovatá a stálá. Jednou z hlavních složek těchto směsí byl chlor, který, jak ukázaly pozdější výzkumy v 80. letech má negativní dopad na ozonovou vrstvu [3]. Z tohoto důvodu se od používání těchto chladiv ustoupilo a začalo se hledat jiné řešení.

V dnešní době se využívají chladiva na bázi fluoru (HFC) a přírodní chladiva (ethan, propan, amoniak, CO₂). Velké oblíbenosti se těší přírodní chladiva, jejichž GWP3 (Global Warming Potential) je mnohonásobně nižší než u HFC [9].

1.3 Carnotův cyklus

Vratný cyklický děj, který byl poprvé popsán v 19. století nese název po svém objeviteli Nicolasi Léonardu Sadi Carnotovi. Princip tepelného čerpadla využívá obrácený Carnotův cyklus [11]. Cyklu je dodáváno teplo Q_C , které má nižší teplotu než teplo odevzdané Q_H . Celý

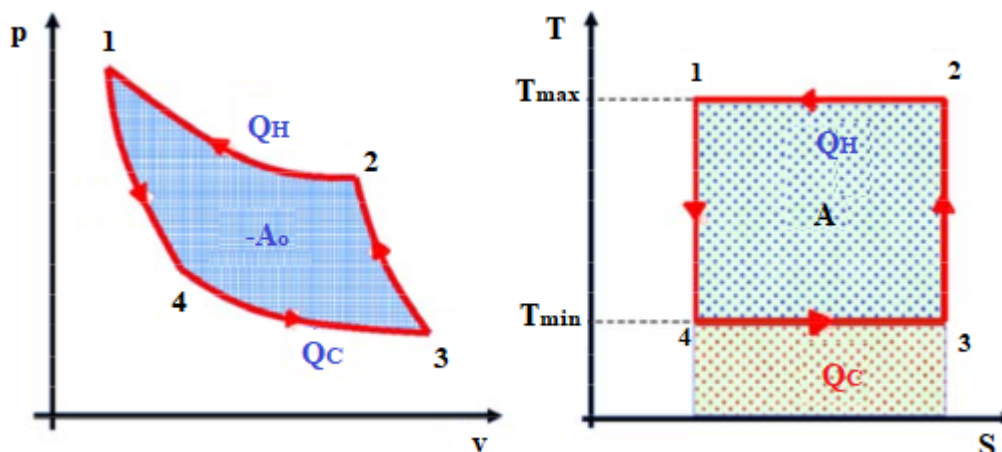
2 Z anglického refrigerant = chladivo.

3 Potenciál skleníkového plynu zvýšit teplotu klimatu v poměru k potenciálu oxidu uhelnatého, počítaný jako stoletý potenciál oteplování 1 kg skleníkového plynu v poměru k 1 kg CO₂ [4].

cyklus se skládá ze dvou kompresních a dvou expanzních změn, pro adiabatický a izotermický děj [12].

Celkově můžeme popsat čtyři fáze (viz obr. 1.4):

1. Adiabatická expanze (1-4) – pokles teploty z T_1 na T_4
2. Izotermická expanze (4-3) – při teplotě T_4 , odběr tepla Q_C
3. Adiabatická komprese (3-2) – růst teploty z T_3 na T_2
4. Izotermická komprese (2-1) – odevzdání tepla Q_H , teplejšímu mediu



Obr. 1.4 - Obrácený Carnotův cyklus v p-v diagramu a T-S diagramu [12]

1.4 Topný faktor

Jedním z nejdůležitějších údajů pro provoz tepelného čerpadla je topný faktor COP (Coefficient Of Performance) [13]. Hodnota COP udává poměr topného výkonu čerpadla a energetického příkonu (1.1)

$$COP = \frac{\Phi}{P_p} \quad (1.1)$$

Velikost COP závisí na teplotních podmínkách pro daný provoz, proto je nutné kontrolovat hodnoty COP k daným teplotám. Proto použijeme vztah (1.2).

$$COP = \frac{T_k}{T_k - T_0} \cdot \eta \quad (1.2)$$

V praxi nabývá hodnota COP rozmezí 2-7. Z daných vzorců vyplývá, že čím větší hodnota COP, tím účinnější bude tepelné čerpadlo. Údaj COP však není úplně věrohodný, k jeho určování dochází v laboratorních podmínkách bez přispění vnějších vlivů.

Pro přesnější charakteristiky se používá SCOP (sezonní průměrný topný faktor), který je složen z laboratorních a klimatických údajů. Jeho obvyklé hodnoty se pohybují v rozmezí 2-5 [7].

*Energetický ústav
FSI VUT v Brně*

*Zuzana Najbrtová
Vytápění domu tepelným čerpadlem*

2 ENERGIE PROSTŘEDÍ

Z prostředí kolem nás můžeme získat velké množství nízkopotenciální energie. Ta je však pro přímé použití nevhodná, a proto je nutné ji převést na energii vysokopotenciální za pomoci tepelných čerpadel. Nízkopotenciální teplo získáváme z obnovitelných zdrojů energie (zemský masiv, voda, vítr atd.) nebo odpadních zdrojů [7]. Pro určení nejvhodnějšího energetického zdroje je důležité dbát na následující faktory: hmotnostní tok, teplotní úroveň, chemické a fyzikální vlastnosti, dostupnost, ekologický a ekonomický dopad [13].

2.1 Vzduch

Nejrozšířenějším a nejdostupnějším zdrojem obnovitelné energie je atmosferický vzduch. Při využití vzduchu, jako zdroje energie, je nutné dbát na teplotní vlivy. S klesající teplotou dochází ke snižování výkonu tepelného čerpadla a nárůstu tepelných ztrát objektu. Z tohoto důvodu se často využívá tzv. bivalentních čerpadel [13]. Jedná se o doplnění systému čerpadla tzv. špičkovým zdrojem (obvykle elektrokotel), který zvyšuje výkon a slouží jako náhradní zdroj. Použitím bivalentních čerpadel roste cena za spotřebu elektrické energie [2].

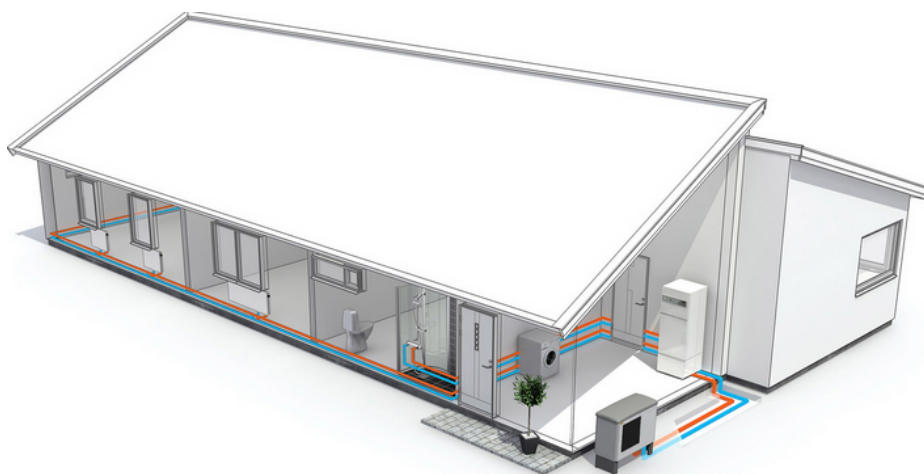
Při pořizování tepelného čerpadla je nutné pamatovat na klimatické podmínky. Při teplotách kolem 0 °C totiž dochází k tvorbě námrazy, vlivem přítomnosti vodní páry ve vzduchu, na výparníku, která musí být odstraněna [13]. Tepelná čerpadla mohou jako zdroj nízkopotenciální energie využívat vnější nebo vnitřní vzduch [2,9].

2.1.1 Vnější vzduch

Využití venkovního vzduchu je častou využívanou variantou při realizaci tepelného čerpadla [1,5]. Oproti dalším typům jsou pořizovací výdaje nižší, vzhledem k dostupnosti vzduchu a nákladům na postavení čerpadla [10]. Pro získání tepla bývá nejčastěji využíván systém vzduch/voda (viz obr.2.2) a vzduch/vzduch (viz obr. 2.1).



Obr. 2.1 - Schéma tepelného čerpadla vzduch/vzduch [14]



Obr. 2.2 - Schéma tepelného čerpadla vzduch/voda [14]

V našich podmínkách se nejčastěji setkáváme s konstrukčním typem SPLIT. Jedná se o "rozdělení" tepelného čerpadla na dvě části, vnější a vnitřní. Obě tyto části jsou propojeny měděným potrubím s chladivem. Klasifikace částí tepelného čerpadla do vnější nebo vnitřní složky se liší různými konstrukčními řešeními. Ve vnější složce vždy nalezneme ventilátor a výparník. Při určování vhodného provedení je dobré pamatovat na hlučnost ventilátoru a kompresoru [3].

Další možností je umístění stroje zcela mimo dům, nebo naopak do domu. Toto provedení je nazýváno jako kompaktní. Při umístění čerpadla zcela mimo objekt je nutné dbát na jeho izolaci. Ve druhém případě musí být vytvořen přívodní otvor [2,3].

2.1.2 Vnitřní vzduch

Dalším nositelem tepla je odpadní vzduch, který vzniká jako produkt strojního větrání. Tento zdroj navíc dosahuje vyšších teplot než vzduch venkovní, čímž čerpadlo dosahuje vyšší účinnosti. Při využití vnitřního vzduchu musí být počítáno s "konečným" množstvím vzduchu, což vede ke kombinaci s dalším zdrojem energie [2]. Výhodou tohoto typu je nízká nákladovost a možnost dalšího využití při klimatizaci objektu. Naopak nevýhodou je vyšší hlučnost čerpadla [9].

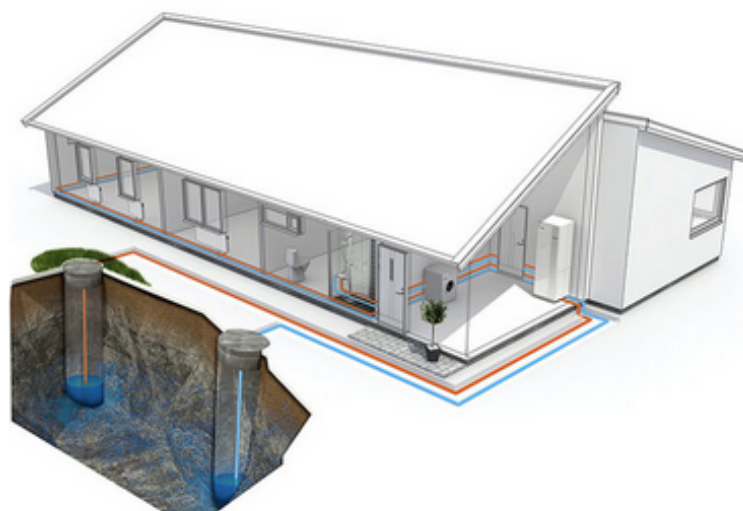
2.2 Voda

Voda je nejvyužívanějším obnovitelným zdrojem. Vyskytuje se ve třech skupenstvích – led, kapalná voda, vodní pára. Zemský povrch je ze 71 % tvořen vodou. Z této celkové hodnoty je pouze 2,6 % vody sladké [7], kterou je možné využívat jako zdroj energie pro tepelné čerpadla. Oproti vzduchu teploty vod nekolísají ve velkém rozpětí, proto je voda stabilnějším zdrojem nízkopotenciální energie.

V důsledku vyšších teplot je i topný faktor čerpadla dostatečně velký, a proto není nutné přidávat další zdroj energie. Jedná se tedy o monovalentní provoz [3,13]. Získanou vodu tvoří z 0,65 % podzemní toky a z 0,02 % vody povrchové [7].

2.2.1 Podzemní voda

Podzemní voda je velmi významným zdrojem energie, zvláště pro své vlastnosti, které jsou vlivem povrchu téměř konstantní [13]. V našich podmínkách se pohybují v rozmezí 8-10 °C. Nejlepším zdrojem jsou geotermální vody, jejichž teplota může dosahovat až 30 °C. Tyto vody mají většinou vysoký obsah minerálních látek, proto je nutné provést chemický rozbor, který určí vhodnost daného zdroje [2]. Ze stálých teplot vody plyne, že i výkon tepelného čerpadla bude stálý a jeho hodnota COP bude téměř neměnná [3].



Obr. 2.3 - Schéma tepelného čerpadla voda/voda – dvě studny [14]

Pro zisk a další využití podzemní vody je nutné provedení hloubkových zásahů s předchozím hydrogeologickým průzkumem. Nejčastěji používaným způsobem jsou dvě studny, zdrojová a vsakovací (viz obr. 2.3), obě umístěny v dostatečné vzdálenosti. Tato vzdálenost musí být taková, aby nedošlo k zanesení vodních cest [13]. Do zdrojové studny je umístěno ponorné čerpadlo, jehož průtok musí být pravidelně kontrolován. Pokud dojde k detekci nežádoucího poškození, musí být tepelné čerpadlo vypnuto [2,3]. Nebezpečí hrozí v případě zamrznutí výparníku. V případě jeho poškození hrozí únik chladiva a následné znečištění vody [2,13]. Pro zajištění správného chodu čerpadla je nutné stanovit množství průtoku vody v závislosti na výkonu⁴. (2.1)

$$P = dt \cdot m \cdot 1,163 \quad (2.1)$$

Vyčerpaná voda se vrací zpět do podloží přes vsakovací studnu. Tato studna má být umístěna tak, aby tok spodní vody nesměřoval k čerpací studni. Další podmínkou je vhodnost podloží, které musí mít schopnost vodu trvale přijímat [3]. Nevýhodou použití těchto čerpadel je vyšší nákladovost, hlavně díky hlubinným vrtům [3,9].

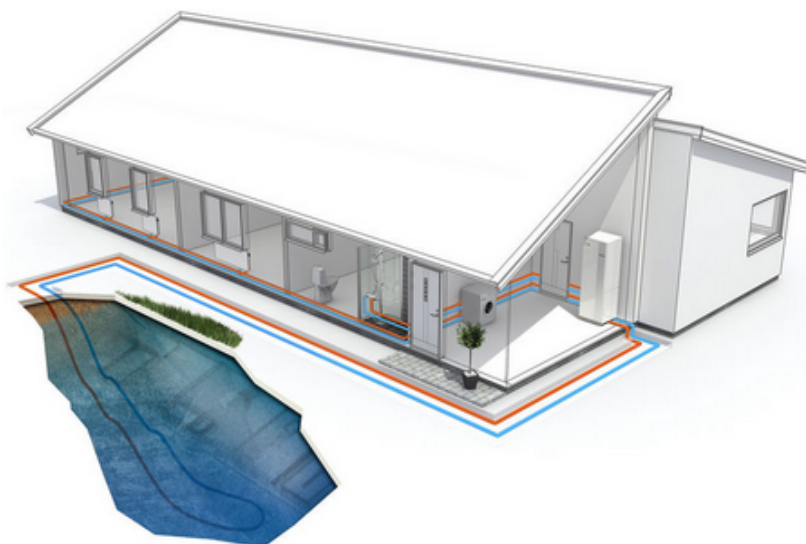
4 Výkon 1,163 odpovídá ohřátí 1 C vody při průtoku 1 l vody za 1 hodinu [3]

2.2.2 Povrchová voda

Využití povrchových vod pro tepelné čerpadla nepatří mezi hojně zastoupené. Důvody jsou špatná dostupnost zdroje vody, tepelná nestálost vody, špatná čistota vody a větší nákladovost na provoz [2]. Změny teplot, zvláště v zimních měsících, mají za následek zamrzání povrchu vod, v důsledku čehož se snižuje průtok vody a tím i výkon tepelného čerpadla [13].

Nejideálnější je využívání trvale tekoucího vodního toku o větším průtoku, kam lze vhodně umístit výměník tepla (viz obr. 2.4). Dochází k vícenásobnému předání tepla mezi tokem vody, nemrznoucí směsí a chladivem. Voda může být přiváděna i přímo k výparníku. Před použitím musí být přefiltrována, aby nedocházelo k usazování nečistot a tvorbě nežádoucích vrstev na částech čerpadla [3,13].

Využívání povrchové vody v praxi je téměř nulové. Důvodem je existence dalších vhodnějších zdrojů nízkopotenciální energie a také riziko nepovolení využívání toku [2].



Obr. 2.4 - Schéma tepelného čerpadla voda/voda – výměník do povrchové vody [14]

2.3 Zemský masiv

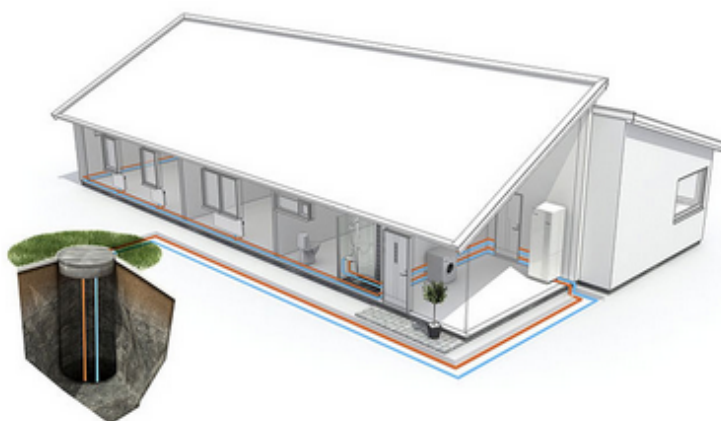
Zemská kůra je významným zdrojem energie prostředí. Celkové teplo zemského povrchu je tvořeno teplem slunečního záření a teplem zemského jádra. Pro získání tepla nemůže být využíván libovolný kus povrchu [7]. Termo-fyzikální vlastnosti půdy jsou dány jejím druhem, vlhkostí a minerálním složením, které určuje použitelnost daného povrchu [13]. Tepelná čerpadla využívají dvou způsobů získání nízkoteplotní energie pocházející ze zemského masivu. První je pomocí hlubinných vrtů, druhý získává teplo z podzemních kolektorů⁵ [2,3,13].

5 Kolektor je trubice vedená pod povrchem v různých hloubkách, která slouží k vedení teplotního média.

2.3.1 Podloží

Zemské jádro má teplotu kolem 6 500 °C, kterou si udržuje v důsledku nukleárního rozpadu prvků, který uvolňuje velké množství energie. Tato energie se dostává na povrch ve formě tepla. S rostoucí vzdáleností od zemského povrchu stoupá teplota [7]. Z tohoto důvodu se pro získání tepla využívá hlubinných vrtů (viz obr. 2.5).

Pro odběr tepla se používají dvě až tři hloubkové sondy, které mají průměr do 150 mm a jsou schopné brát teplo z hloubky až 150 m [13]. Do vrtů jsou následně umístěny hadice kolektoru, kterými proudí nemrznoucí směs. Celý vrt je na konec zasypán vhodnou směsí. Tepelné čerpadlo využívající hlubinné vrty má velmi dobrou účinnost, a to v důsledku celoročně stálých teplot zdroje [2,3,13]. Nevýhodou je vysoká realizační cena projektu [9].



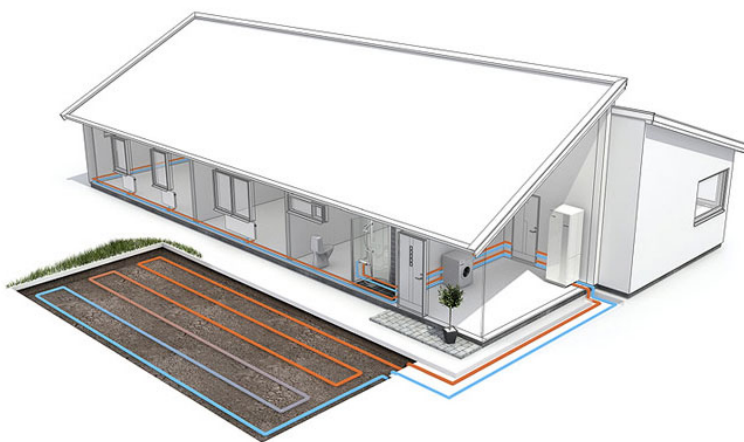
Obr. 2.5 - Schéma tepelného čerpadla země/voda – vrt [14]

2.3.2 Půdní vrstva

Využívání plošných kolektorů je druhým způsobem získávání energie ze země (viz obr. 2.6). Instalace kolektoru se, na rozdíl od hlubinných vrtů, nerealizuje do hloubky nýbrž do šířky. Jedním ze základních požadavků je tedy dostatečná plocha, kterou je možno určit ze vzorce (2.2).

$$S = \frac{\Phi_0 \cdot k_b}{q_z} \quad (2.7)$$

Teplota povrchu není tak vysoká, jako v předchozím případě, ale v hloubce kolem 1 metru neklesne pod bod mrazu. Do hloubky kolem dvou metrů jsou plošně instalovány trubky s nemrznoucí směsí spolu s expanzní nádobou a pojistným ventilem [13].



Obr. 2.6 - Schéma tepelného čerpadla země/voda – plošný kolektor [14]

2.4 Srovnání systémů tepelných čerpadel

Tabulka 2-1 - Srovnání provedení čerpadel využívající jako zdroj nízkopotenciální energie vzduch

Typ čerpadla	Zdroj tepla	Tepelné medium	Výhody	Nevýhody
vzduch/vzduch	venkovní vzduch	vzduch	Nejnižší pořizovací cena Čištění, odvlhčení vzduchu	Hlučnost Neohřívá vodu
vzduch/voda	venkovní vzduch	voda	Jednoduchá a rychlá instalace Nízké provozní a pořizovací náklady	Kolísavý výkon Větší spotřeba elektrické energie
	vnitřní vzduch	voda	Rekuperace tepla Jednoduchá instalace	Nízký výkon Vhodné pro pasivní domy

Tabulka 2-2 - Srovnání provedení čerpadel využívající jako zdroj nízkopotenciální energie vodu

Typ čerpadla	Zdroj tepla	Tepelné medium	Výhody	Nevýhody
voda/voda	podzemní voda	voda	Vysoký COP Další využití odpadního tepla	Vhodnost lokality Náklady na údržbu (filtr, výměník, ...)
	povrchová voda	voda	Nízké náklady na kolektor Bezhluchnost	Vhodná lokace Povolení ke stavbě

Tabulka 2-3 - Srovnání provedení čerpadel využívající jako zdroj nízkopotenciální energie zemské teplo

Typ čerpadla	Zdroj tepla	Tepelné medium	Výhody	Nevýhody
země/voda	země – plošný kolektor	voda	Nízká spotřeba elektřiny Dlouhá životnost Bezhluchnost	Velký pozemek Vhodné podloží
	země-vrt	voda	Vysoký COP Stálé podmínky Bezhluchnost	Vysoké pořizovací náklady Stavební povolení

*Energetický ústav
FSI VUT v Brně*

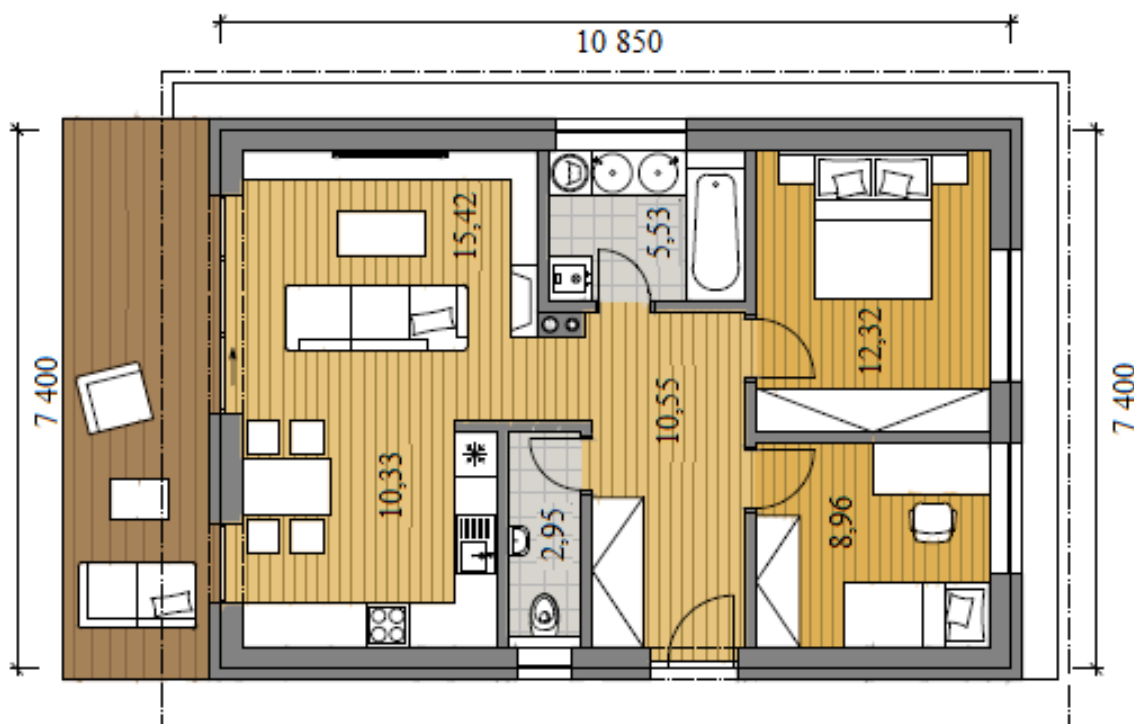
*Zuzana Najbrtová
Vytápění domu tepelným čerpadlem*

3 TEPELNÉ ZTRÁTY OBJEKTU

3.1 Popis objektu

Modelovým objektem zvoleným pro normovaný výpočet tepelných ztrát budovy byl zvolen rodinný dům i65 z katalogu firmy DJ Sarchitecture (viz obr. 3.1). Jedná se o samostatný jednopodlažní dům s dispozicí 3+1, jehož celková obytná plocha zaujímá 66,06 m². Objekt byl umístěn do města Polička v Pardubickém kraji.

Obvodové zdi jsou postaveny z tvárnic Ytong P2-400/300, které jsou zvenku izolovány minerální vlnou o tloušťce 160 mm a pokryty fasádou. Vnitřní příčky jsou z tvárnic Ytong P2-500/150 pro strop byl zvolen materiál Ytong Klasic P2-200. Okna v celém domě jsou plastová. Výška stropů je 2,6 metru [15].



Obr. 3.1 - Půdorys rodinného domu i65 [15]

3.1.1 Parametry objektu

K výpočtu tepelných ztrát objektu může být použito více normalizovaných způsobů. Pro tento objekt byl zvolen postup dle normy ČSN EN 12 831 *Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu*. Důležité hodnoty pro výpočet dle dané normy jsou zaznamenány v tabulce 3.1

Tabulka 3-1 - Výpočtové parametry objektu

Místnost	$\Theta_{in,t}$ [°C]	A_k [m ²]	V_i [m ³]	P_o [m]
Chodba	20	10,55	27,43	2,05
Ložnice malá	20	8,96	23,30	6,03
Ložnice velká	20	12,35	32,00	7,05
Koupelna	24	5,53	14,38	2,70
WC	20	2,95	7,67	1,02
Kuchyně	20	10,33	26,86	6,53
Obývací pokoj	20	15,42	40,10	7,77
Celý dům		66,06	171,76	36,5

3.1.2 Klimatické údaje

Jedním z faktorů ukazující tepelné ztráty objektů je teplota. V normalizovaném výpočtu se počítá s výpočtovou venkovní teplotou Θ_e a průměrnou roční teplotou $\Theta_{m,e}$. Venkovní teplota je normalizovaná hodnota, která se vztahuje k dané lokaci a udává nejnižší zimní teplotu. Průměrná roční teplota je stanovena na základě počtu dnů otopné sezony d a výpočtové teploty $\Theta_{s,e}$.

Tabulka 3-2 - Klimatické údaje dané lokality

Klimatické údaje	Označení	Jednotka	Hodnota
Výpočtová venkovní teplota	Θ_e	[°C]	- 15
Průměrná roční teplota	$\Theta_{m,e}$	[°C]	3,4
Počet dnů topné sezony	d	[-]	248

3.1.3 Materiálové charakteristiky

Součinitel tepelné vodivosti λ [W · K⁻¹ · m⁻¹]

Tepelná vodivost je veličina, která vyjadřující schopnost stejnorodého izotropního materiálu vést teplo v závislosti na teplotě. Z rovnice 3.1 plyne, že součinitel λ je přímo závislý na hustotě tepelného toku a teplotě. Dalším významným faktorem ovlivňující výslednou hodnotu součinitele tepelné vodivosti je vlhkost.

Ve výpočtech se součinitel používá pro určení tepelného odporu R . Součinitel tepelné vodivosti se stanovuje pomocí normalizovaných zkoušek a jeho hodnoty nalezneme v normách nebo na stránkách výrobce [9].

$$\lambda = \frac{\vec{q}}{-grad\theta} \quad (3.1)$$

Tepelný odpor R [$W \cdot K^{-1} \cdot m^2$]

Tepelný odpor vyjadřuje izolační schopnost materiálu, která je závislá na teplotě a tloušťce vrstvy materiálu (3.2) [9,16].

$$R_i = \sum_1^n \frac{d_i}{\lambda_i} \quad (3.2)$$

Pro určení tepelných ztrát objektu se používá odpor konstrukce při přestupu tepla R_T . Tato veličina zahrnuje odpor mezní vzduchové vrstvy přiléhající bezprostředně k vnitřní straně konstrukce R_{si} , odpor mezní vzduchové vrstvy přiléhající bezprostředně k vnější/venkovní straně konstrukce R_{se} a tepelný odpor R (3.3) [9].

$$R_T = R_{si} + R + R_{se} \quad (3.3)$$

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

Pro normalizovaný výpočet tepelných ztrát objektu je jednou z nejdůležitějších veličin součinitel prostupu tepla U , který vyjadřuje izolační schopnost konstrukce. Z rovnice 3.4 vyplývá, že tento součinitel stanovíme jako obrácenou hodnotu odporu konstrukce při přestupu tepla R_T [9].

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_1^n R_i + R_{se}} \quad (3.4)$$

Tabulka 3-3- Součinitel prostupu tepla pro jednotlivé části domu

Část domu	U [$W \cdot K^{-1} \cdot m^2$]
Obvodová stěna	0,129
Vnitřní stěna	0,578
Strop	0,714
Podlaha	0,32
Okna	0,57
Vchodové dveře	1,2
Vnitřní dveře	1,61

3.2 Celková tepelná ztráta vytápěného prostoru

Pojmem tepelné ztráty je označován tok tepelné energie, který uniká při prostupu tepla objektem. Celková tepelná ztráta Φ_i (3.5), která slouží k určení otopných ploch a zdroje tepla, je určena ztrátami prostupem tepla $\Phi_{T,i}$ a ztrátami vzniklými větráním $\Phi_{V,i}$ [17].

3.2.1 Ztráty prostupem tepla

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{in,t} - \theta_e) \quad (3.6)$$

Součinitel tepelných ztrát $H_{T,ie}$

Tento součinitel se využívá pro prostory na pomezí vytápěného prostoru a venkovního prostředí a určuje ztráty mezi těmito prostory. Při výpočtu musejí být uvažovány teplotní mosty⁶, a to s využitím korekčního součinitele U_{kc} (3.7) nebo přímým výpočtem prostupu tepla přes tepelné mosty.

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_{kc} \cdot e_k \quad (3.7)$$

Pro výpočet ztrát byl použit zjednodušený výpočet dle rovnice 3.8 [18].

$$U_{kc} = U + \Delta U_{tb} \quad (3.8)$$

Tabulka 3-4 - Výpočet součinitele tepelných ztrát do venkovního prostředí pro koupelnu

Objekt	$A_k [m^2]$	$U_{kc} [W \cdot K^{-1} \cdot m^2]$	$e_k [-]$	$H_{T,ie} [W \cdot K^{-1}]$
Vnější stěna	6,14	0,179	1	1,1
Okno	0,92	1,07	1	0,94
Celkový součinitel tepelné ztráty do venkovního prostředí				2,04

Součinitel tepelných ztrát $H_{T,iue}$

Je úbytek vzniklý prostupem tepla z vytápěného prostoru přes nevytápěný prostor, který se nachází v objektu [17,18]. Ve zvoleném domě se žádný takový prostor nenachází, proto je tento součinitel zanedbán.

Součinitel tepelných ztrát $H_{T,ig}$

Značí ztráty prostupem do zeminy z vytápěného prostoru do zeminy v ustáleném stavu. K těmto ztrátám dochází v místě kontaktu stěny nebo podlahy se zeminou.

⁶ Tepelný most je místo, kde dochází k zvýšenému průniku tepla mezi prostředími s rozdílnou teplotou [9].

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot \left(\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k} \right) \cdot G_w \quad (3.9)$$

Pro výpočet rovnice 3.8 se stanoví součinitel prostupu tepla konstrukce v kontaktu se zemínou $U_{equiv,k}$, který je závislý na charakteristickém čísle B' vycházející z rozměrů prostoru (3.10).

$$B' = \frac{A_g}{0,5 \cdot P} \quad (3.10)$$

Dalšími parametry jsou korekční činitel zohledňující vliv ročních změn teploty f_{g1} a korekční činitel zohledňující rozdíl mezi roční průměrnou venkovní teplotou a výpočtovou venkovní teplotou (3.11).

$$f_{g2} = \frac{\theta_{in,t} - \theta_{m,e}}{\theta_{in,t} - \theta_e} \quad (3.11)$$

Tabulka 3-5 - Výpočet součinitele tepelných ztrát zeminou pro koupelnu

Místnost	f_{g1} [-]	f_{g2} [-]	B [-]	$U_{equiv,k}$ [$W \cdot K^{-1} \cdot m^2$]	G_w [-]	$H_{T,ig}$ [$W \cdot K^{-1}$]
Koupelna	1,45	0,53	4	0,3	1	1,27

Součinitel tepelných ztrát $H_{T,ij}$

Udává úbytek tepla vzniklý prostupem z vytápěného prostoru do prostoru s jinou teplotou. K těmto tepelným ztrátám dochází v objektu, v důsledku rozdílné teploty některých místností. Tyto teploty se stanovují na základě výpočtové teploty a jsou normalizovány. Určení tepelných ztrát z vytápěných prostor do prostor s jinou teplotou je dle rovnice 3.12.

$$H_{T,ij} = \sum_k A_k \cdot f_{i,j} \cdot U_k \quad (3.12)$$

Kde, $f_{i,j}$ - redukční teplotní součinitel (3.13).

$$f_{i,j} = \frac{\theta_{in,t} - \theta_{sousední\ vytápěný\ prostor}}{\theta_{in,t} - \theta_e} \quad (3.13)$$

Tabulka 3-6 - Výpočet hodnot celkového součinitele tepelné ztráty do sousedních místností

Ztrátová plocha	f_{ij} [-]	A_k [m^2]	U_k [$W \cdot K^{-1} \cdot m^2$]	$H_{T,ij}$ [$W \cdot K^{-1}$]
Vnitřní stěna	-0,1	15,565	0,714	-1,11
dveře	-0,1	2,095	1,61	-0,34
Celkový součinitel tepelné ztráty do sousedních místností				-1,45

3.2.2 Ztráty větráním

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{in,t} - \theta_e) \quad (3.14)$$

Měrná tepelná ztráta větráním $H_{V,i}$

$$H_{V,i} = 0,34 \cdot \dot{V}_i \quad (3.15)$$

Množství větracího vzduchu V_i se stanovuje podle daného typu větrání. Jedná se o větrání přirozené nebo nucené. Při přirozeném větrání se uvažuje vzduch s vlastnostmi venkovního vzduchu a k určení množství větracího vzduchu použijeme rovnici 3.16.

$$\dot{V}_i = \max(V_{inf,i}; V_{min,i}) \quad (3.16)$$

Infiltrace obvodovým pláštěm budovy $V_{inf,i}$ zahrnuje ztráty vzniklé v důsledku proudění vzduchu štěrbinami a spárami pláště budovy, pro výpočet použijeme rovnici 3.17 [18].

$$V_{inf,i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \quad (3.17)$$

Hygienické množství vzduchu $V_{min,i}$ se stanovuje jako minimální množství vyměněného vzduchu v místnosti. Velikost tohoto množství je možné najít v normách nebo použít výpočet dle rovnice 3.18 [17,18].

$$V_{min,i} = n_{min} \cdot V_i \quad (3.18)$$

Ke konečnému výpočtu ztrát větráním, je nutné znát výpočtovou venkovní teplotu θ_e a výpočtovou vnitřní teplotu $\theta_{in,t}$. Potřebné hodnoty jednotlivých teplot jsou stanoveny z norem.

Výpočet tepelných ztrát větráním pro koupelnu o ploše 5,53 m² vyjádřený pomocí hodnot v tabulce 3.7.

Tabulka 3-7 - Zvolené hodnoty teplot dle ČSN 12 831

Intenzita výměny vzduchu při 50 Pa	$n_{50} = 4 \text{ h}^{-1}$
Nejmenší hygienická intenzita výměny vzduchu	$n_{min} = 1,5 \text{ h}^{-1}$
Výškový korekční činitel	$\varepsilon_i = 1$
Činitel zaclonění	$e_i = 0,02$
Výpočtová venkovní teplota	$\theta_e = -15 \text{ }^\circ\text{C}$
Výpočtová vnitřní teplota	$\theta_{in,t} = 24 \text{ }^\circ\text{C}$
Objem místnosti	$V_i = 14,38 \text{ m}^3$

Výpočet:

Nejmenší hygienické množství vzduchu	$V_{min,i} = n_{min} \cdot V_i = 1,5 \cdot 14,38 = 21,57m^3$
Množství vzduchu infiltrací	$V_{infi} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i = 2 \cdot 14,38 \cdot 0,02 \cdot 1 \cdot 4 = 2,3m^3 \cdot hod^{-1}$
Zvolená výpočtová hodnota	$\dot{V}_i = \max(V_{infi}; V_{mini}) = \max(2,3; 21,57) = 21,57m^3$
Návrhový součinitel tepelné ztráty	$H_{Vi} = 0,34 \cdot \dot{V}_i = 0,34 \cdot 21,57 = 7,3W \cdot K^{-1}$
Návrhová tepelná ztráta větráním	$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{in,t} - \theta_e) = 7,3 \cdot (24 - (-15)) = 284,7W$

Tabulka 3-8 - Tepelné ztráty větráním pro jednotlivé místnosti

Místnost	$V_i [m^3]$	$H_{V,i} [W \cdot K^{-1}]$	$\Phi_{V,i} [W]$
Chodba	19,72	4,67	163,28
Ložnice malá	11,65	3,96	138,60
Ložnice velká	16,00	5,44	190,40
Koupelna	14,38	7,3	284,7
WC	3,84	1,31	136,85
Kuchyně	6,45	4,67	159,95
Obývací pokoj	9,92	6,82	283,7

3.2.3 Celková tepelná ztráta objektu

Tabulka 3-9 - Celkové tepelné ztráty do venkovního prostředí

Místnost	$H_{T,ie} [W \cdot K^{-1}]$	$H_{T,ig} [W \cdot K^{-1}]$	$H_{T,ij} [W \cdot K^{-1}]$	$(\theta_{in,t} - \theta_e) [^\circ C]$	$\Phi_{T,i} [W]$
Chodba	3,94	2,16	-	35	213,50
Ložnice malá	3,62	1,83	-	35	190,75
Ložnice velká	4,40	2,52	-	35	242,20
Koupelna	2,04	1,27	- 1,45	39	72,54

Tabulka 3-10 - Celkové tepelné ztráty do venkovního prostředí

Místnost	$H_{T,ie}$ [W·K ⁻¹]	$H_{T,ig}$ [W·K ⁻¹]	$H_{T,ij}$ [W·K ⁻¹]	$(\theta_{in,t,i} - \theta_e)$ [°C]	$\Phi_{T,i}$ [W]
WC	1,55	0,60	-	35	75,25
Kuchyně	4,81	2,11	-	35	242,2
Obývací pokoj	9,04	3,15	-	35	447,65
Strop	51,39	-	-	35	51,39

Tabulka 3-11 - Celkové tepelné ztráty objektu

Místnost	$\Phi_{T,i}$ [W]	$\Phi_{V,i}$ [W]	Φ_i [W]
Chodba	213,50	163,28	376,78
Ložnice malá	190,75	138,60	329,35
Ložnice velká	242,20	190,40	432,60
Koupelna	72,54	284,7	357,24
WC	75,25	136,85	212,10
Kuchyně	242,2	159,95	402,15
Obývací pokoj	447,65	283,7	731,35
Strop	51,39	-	51,39
Celkové tepelné ztráty objektu			2892,96

3.3 Roční spotřeba tepla vytápěním

Pro výpočet celkových ročních nákladů je nutné vyjádřit celkovou spotřebu tepla vytápěním. Tu vypočítáme dle rovnice 3.19.

$$Q_{VYT} = \frac{e_i \cdot e_t \cdot e_d}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot D \cdot \Phi_i}{(\theta_{min,t} - \theta_e)} \quad (3.19)$$

Hodnotu D určující závislost teploty a dnů otopné sezony stanovíme dle rovnice 3.20.

$$D = d \cdot (\theta_{min,t} - \theta_{m,e}) \quad (3.20)$$

Pro výpočet byly zvoleny hodnoty zanesené v tabulce 3.12.

Tabulka 3-12 Zvolené hodnoty pro výpočet celkové roční spotřeby tepla

Nesoučasnost tepelné ztráty infiltrací a tepelné ztráty prostupem	$e_i = 0,85$
Snížení teploty v místnosti během dne, respektive noci	$e_t = 0,9$
Zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami v provozu	$e_d = 1,0$
Účinnost možnosti regulace soustavy	$\eta_0 = 0,98$
Účinnost rozvodu vytápění	$\eta_r = 0,98$
Průměrná vnitřní výpočtová teplota	$\Theta_{m,int} = 19 \text{ } ^\circ\text{C}$

Výpočet celkové roční spotřeby tepla [9]:

Hodnota D $D = d \cdot (\Theta_{min,t} - \Theta_{m,e}) = 284 \cdot (19 - 3,4) = 4430,4K \cdot dny$

Roční spotřeba tepla $Q_{VVT} = \frac{0,85 \cdot 0,9 \cdot 1}{0,98 \cdot 0,98} \cdot \frac{24 \cdot 4430,4 \cdot 2,893}{(19 - (-15))} = 7206,6 kWh \cdot rok^{-1}$

Celková roční spotřeba tepla na vytápění v modelovém domě i65 je $7\,206,6 kWh \cdot rok^{-1}$.

4 EKONOMICKO – TECHNICKÉ ZHODNOCENÍ

4.1 Tepelná čerpadla

Dle vypočtených tepelných ztrát objektu byly dle doporučení prodejců zvoleny dvě tepelná čerpadla země/voda.

Prvním čerpadlem je Alpha innotec WZSV 62H3M (obr. 4.1 s vestavěným zásobníkem TUV o obsahu 200 l. Součástí tepelného čerpadla sloužící ke krytí maximálních tepelných ztrát je vestavěné elektrické topné těleso o výkonu 6 kW. Topný výkon čerpadla je 3,32 kW a COP 4,86⁷. Tepelné čerpadlo pokryje svým výkonem 99,2 % spotřeby energie.

Jako nejvhodnější způsob odběru tepla byl zvolen plošný kolektor, který bude dle doporučení uložen v hloubce přibližně 1,3 m. Hadice mají rozteč v rozmezí 0,8–1,0 m. Jako jejich materiál je zvolen HDPE⁸ o rozměru 40x3,9 mm PN 10 a jako chladivo je užito R407c [19].

Druhým čerpadlem určeným k porovnání je Regulus EcoHeat 406 (viz obr. 4.2) s topným výkonem 5,9 kW a COP 4,57⁶. Výkon daného čerpadla je pro daný modelový případ zbytečně vysoký. Důvodem volby tohoto tepelného čerpadla je to, že firma Regulus nevyrábí tepelná čerpadla země/voda s nižším výkonem. K provedení instalace tepelného čerpadla je zvolen plošný kolektor uložen v hloubce v rozmezí 1,2 -1,5 metrů. Rozteč použitých trubek kolektoru je 0,5 – 1,1 m [20].



Obr. 4.2 - Tepelné čerpadlo WZSV 62H3M [19]



Obr. 4.1 - Tepelné čerpadlo EcoHeat 406 [20]

7 Při B0/W35

8 High density polyethylene = polyethylen s vysokou hustotou [21].

4.2 Plynový kotel

Rodinný dům i65 je možné vytápět pomocí elektrického nebo plynového kotle. Pro tento případ byl zvolen plynový kondenzační kotel Vaillant ecoTEC plus VU 146/5-5 s vestavěným zásobníkem teplé vody actoSTOR VIH CL 20 S (viz obr. 4.3) o jmenovitém tepelném výkonu 4,2– 20 kW. Jedná se o kotel energetické třídy A s účinností spalného tepla 108 % [22].



Obr. 4.3 - Plynový kotel Vaillant ecoTEC plus VU 146/5-5 [22]

4.3 Pořizovací náklady

4.3.1 Náklady na pořízení tepelných čerpadel

Při zhodnocení výdajů na pořízení⁹ tepelného čerpadla je zanedbána cena za výkopové práce, která je zahrnuta v ceně domu. Celková cena pro čerpadlo Alpha innotec WZSV 62H3M je zanesena v tabulce 4.1 [19], pro čerpadlo Regulus EcoHeat 406 v tabulce 4.2 [20].

Tabulka 4-1- Cena tepelného čerpadla Alpha innotec WZSV 62H3M

Tepelné čerpadlo WZSV 62H3M	225 900 Kč
Potrubí pro plošný kolektor	14 000 Kč
Izolace	2 500 Kč
Hydraulické připojení strojovny	7 000 Kč
Montáž strojovny regulace	9 000 Kč
Rozdělovač/sběrač regulace	7 000 Kč
Spuštění, zaškolení, vyregulování	5 000 Kč
Cena bez DPH	273 900 Kč
Cena celková s DPH 15 %	314 985 Kč

⁹ Ceny jsou orientační, pro přesné stanovení nákladů je nutné zvážit daný stavební pozemek.

Tabulka 4-2 - Cena tepelného čerpadla Regulus EcoHeat 406

Tepelné čerpadlo EcoHeat 406	
Expanzní nádoba HS 040	
Držák expanzní nádoby konzola komplet	194 216 Kč
Ventil pro expanzní nádoby 3/4" M/F	
Čerpadlová skupina CSE OTS W	
Materiál pro zemní kolektor	20 000 Kč
Montáž	21 000 Kč
<hr/>	
Cena bez DPH	235 216 Kč
<hr/>	
Cena celková s DPH 15 %	272 598 Kč

4.3.2 Náklady na pořízení plynového kotle

Celkové pořizovací náklady na plynový kotel jsou převzaty ze zdroje [22] a uvedeny v tabulce 4.3

Tabulka 4-3 - Cena plynového kotle

Kotel Vaillant ecoTEC plus VUI 246/5-5	
VUW ecoTEC plus	64 050 Kč
actoSTOR VIH CL 20 S, 20 l	
Regulátor eRELAX	5 600 Kč
Uvedení do provozu	1 500 Kč
Montáž	11 990 Kč
Sleva výrobce	11 160 Kč
<hr/>	
Cena bez DPH	71 980 Kč
<hr/>	
Cena celková s DPH 21 %	87 095,8 Kč

4.4 Provozní náklady

4.4.1 Náklady na vytápění tepelným čerpadlem

Z důvodu nepřetržitého odběru elektrické energie pro provoz tepelného čerpadla je distributory elektrické energie nabízena zvýhodněná sazba d57. Tato sazba je dvou tarifní a je možné ji využívat po dobu 20 hodin. Při uvažování celodenního vytápění je nutné počítat pro čtyři hodiny s klasickou sazbou. Ceny za elektřinu v kWh jsou uvedeny v následující tabulce 4.4.

Tabulka 4-4 - Ceny za 1 kWh elektřiny ČEZ [9]

	Počet hodin	Cena za kW/h [Kč]
Celodenní spotřeba	20	2,594

Z daných údajů je možné vyjádřit náklady na provoz tepelného čerpadla na celý rok. Pro získání nákladů byl použit výpočet [23] dle rovnice 4.1 a výpočet z online kalkulačky [24].

$$N_{T\check{c}} = \text{cena kWh} \cdot \frac{Q_{VYT}}{COP} \quad (4.1)$$

Tabulka 4-5 Výpočet celkových provozních nákladů čerpadla

	Provozní náklady [Kč]
Tepelné čerpadlo WZSV 62H3M	3 846,5
Tepelné čerpadlo EcoHeat 406	4 090,6
Výpočet z online kalkulačky	4 674

4.4.2 Náklady na vytápění plynovým kotlem

Ve výpočtech byla použita cena zemního plynu dodávaného společností E. ON [9]

Tabulka 4-6 - Cena za 1 kWh zemního plynu dle tarifu E.ON

	Cena za kW/h [Kč]
Tarif E. ON	1,51

Náklady na vytápění objektu plynovým kotlem se vyjádří z následujícího vztahu 4.2. Vypočtené hodnoty jsou zaznamenány v tabulce 4.5.

$$N_P = Q_{VYT} \cdot \text{cena kWh} \quad (4.2)$$

Tabulka 4-7 - Výpočet celkových provozních nákladů plynového kotle

	Provozní náklady [Kč]
ecoTEC plus VU 146/5-5	10 882
Výpočet z online kalkulačky	11 855

4.4.3 Roční úspora

Roční úspora vyjadřuje rozdíl nákladů vynaložených na provoz tepelného čerpadla a plynového kotle dle rovnice 4.3. Celková roční úspora je zaznamenána v tabulce 4.6.

$$N = N_P - N_{T\check{c}} \quad (4.3)$$

Tabulka 4-8 - Celková roční úspora

	Roční úspora [Kč]
Tepelné čerpadlo WZSV 62H3M	7 035,5
Tepelné čerpadlo EcoHeat 406	6 791,4
Online kalkulačka	7 181

4.5 Návratnost tepelného čerpadla

Návratnost tepelného čerpadla je dána z rovnice 4.4. Udává podíl rozdílu pořizovacích nákladů a roční úspory peněz a pro vybraná média zaznamenána v tabulce 4.7.

$$N_a = \frac{C_{T\check{c}} - C_P}{N} \quad (4.4)$$

Tabulka 4-9 - Návratnost tepelných čerpadel

	Návratnost [rok]
Tepelné čerpadlo WZSV 62H3M	32,4
Online kalkulačka pro tepelné čerpadlo WZSV 62H3M	31,7
Tepelné čerpadlo EcoHeat 406	27,3
Online kalkulačka pro tepelné čerpadlo EcoHeat 406	25,8

Životnost tepelného čerpadla je ovlivněna životností jeho kompresoru. Ta se pohybuje v průměru kolem dvaceti let. Z vypočtených návratností plyne, že volba tepelného čerpadla jako způsobu vytápění zvoleného objektu není neekonomičtější a dříve by pravděpodobněji

došlo k jejich poruše než navrácení nákladů. Z tohoto důvodu byl pro vytápění rodinného domu zvolen plynový kondenzační kotel Vaillant coTEC plus VU 146/5-5.

Významným ukazatel návratnosti je pořizovací cena a roční úspora za energie, která se určí z tepelných ztrát zvoleného domu. V důsledku velmi dobrých izolačních podmínek objektu jsou tyto ztráty velmi malé, což má za následek nižší provozní náklady jak pro tepelné čerpadlo, tak i pro plynový kondenzační kotel. Při vyšších hodnotách tepelných ztrát by se využití tepelného čerpadla vyplatilo.

Významnou položkou pořizovacích nákladů tepelného čerpadla, která sníží jeho cenu, mohou být dotace. V České republice je možnost využít dotačního programu Kotlíkové dotace a Nová zelená úsporám. V bakalářské práci s nimi nemohlo být počítáno v důsledku nenaplnění dotačních podmínek. Kotlíková dotace se primárně vztahuje na výměnu stávajících kotlů na pevná paliva za ekologičtější způsoby vytápění. Dotační program Nová zelená úsporám by bylo možné využít v případě stavby patrového domu, při současném pořízení rekuperační jednotky či použití systémů pracujících s odpadním teplem. S ohledem na pořizovací cenu rekuperační jednotky a výši požadované dotace je využití dotačního titulu v tomto modelovém případě neefektivní.

ZÁVĚR

Cíle bakalářské práce se dají rozdělit do teoretické a praktické části. Teoretickým cílem bylo popsat princip tepelného čerpadla, uvést typy tepelných čerpadel. Hlavním cílem bylo provést výpočet tepelných ztrát na základě kterých byla zvolena vhodná tepelná čerpadla a plynový kotel. V závislosti na pořizovacích a provozních nákladech daných topných zařízení byla stanovena návratnost každého z nich.

Princip tepelného čerpadla využívá znalosti Druhé věty termodynamiky. Jeho základní činností je tedy přeměna energie prostředí na energii využitelnou k vytápění objektu a ohřevu vody. Tepelná čerpadla můžeme dělit podle různých kritérií. Nejhojněji používané rozdělení je na základě zdroje nízkopotenciální energie a teplotního média.

V další části bakalářské práce je proveden výpočet tepelných ztrát zvoleného modelového domu dle normy ČSN EN 12831. Na základě této vypočtené hodnoty byla vybrána dvě tepelná čerpadla Alpha innotec WZSV 62H3M a Regulus EcoHeat 406 a plynový kondenzační kotel Viessmann VITODENS 222-W. Obě tepelná čerpadla mají systém země/voda a pro získání energie ze země byl zvolen plošný kolektor. S ohledem na rozlohu modelového domu jsou pořizovací náklady poměrně vysoké, a v případě realizace stavebního projektu by bylo možné zvolit levnější zařízení.

Při výpočtech ročního nákladu hraje významnou roli topný faktor tepelných čerpadel a ceny elektřiny a plynu od různých dodavatelů. Pro výpočet návratnosti ceny tepelného čerpadla byl použit výhodnější tarif elektrické energie d57 od společnosti ČEZ a. s, který umožňuje využívat nižší sazbu po dobu 20 hodin denně.

Z porovnání návratností pro daná čerpadla a plynový kotel plyne, že volba tepelného čerpadla jako způsobu vytápění je pro modelový objekt ekonomicky nevýhodná. Při zvažování životnosti kompresorů, která se pohybuje kolem dvaceti let, by dříve došlo k poruše čerpadla než jeho návratnosti.

*Energetický ústav
FSI VUT v Brně*

*Zuzana Najbrtová
Vytápění domu tepelným čerpadlem*

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] GlobalSpec: Engineering 360. Dostupné z: https://www.globalspec.com/learnmore/building_construction/hvac/ventilation/refrigeration_compressors_air_conditioning_compressors/
- [2] SRDEČNÝ, Karel a Jan TRUXA. Tepelná čerpadla. Praha: EkoWATT, 2009. ISBN 978-80-87333-02-0
- [3] ŽERAVÍK, Antonín. Stavíme tepelné čerpadlo: [návratnost i za jeden rok]. Přerov: Antonín Žeravík, 2003. ISBN 80-239-0275-X.
- [4] IClima: Tepelná čerpadla I – princip a historie užitečného vynálezu. Dostupné z: <http://iclima.cz/tepelna-čerpadla-princip-historie-uzitecneho-vynalezu/>
- [5] Svět bydlení: Představujeme tepelná čerpadla, 1. díl: Pohled do historie, aneb jak to vše vzniklo. Dostupné z: <https://www.svet-bydleni.cz/predstavujeme-tepelna-čerpadla-1-dil-pohled-do-historie-aneb-jak-to-vse-vzniklo/>
- [6] Tepelné čerpadlo. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Tepeln%C3%A9_%C4%8Derpadlo
- [7] QUASCHNING, Volker. Obnovitelné zdroje energií. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3
- [8] Zdravé bydlení. Dostupné z: <http://www.zdrave-bydleni.com/jak-funguje-tepelne-čerpadlo-vyplati-se/>
- [9] TZB info. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz>
- [10] In: Docplayer: Copeland Skrol kompresory, Alfaco s.r.o.
- [11] Carnotův cyklus. In: Wikipedia: the free encyclopedia . San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Carnot%C5%AFv_cyklus

- [12] ŠTĚTINA, Josef. Tepelné cykly, 2018. Dostupné z:
https://moodle.vutbr.cz/pluginfile.php/452903/mod_label/intro/TT-JS2018-19Z-09-Cykly.pdf
- [13] PETRÁŠ, Dušan. Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie. Bratislava: Jaga, 2008. Vytápění. ISBN 978-80-8076-069-4.
- [14] NIBE ESEL. Dostupné z:<http://nibe.esel.cz/w/6604/tepelne-cerpadla-nibe>
- [15] DJSarchitecture: Architektonická a projekční kancelář DJS. Dostupné z:
<https://www.djsarchitecture.cz/projekt-i65>
- [16] Izolace - info: Informace o izolacích a zateplení. Dostupné z: <https://www.izolace-info.cz>
- [17] POČINKOVÁ, Marcela. Vytápění: Výpočet tepelného výkonu, Tepelné soustavy a otopné soustavy v budovách. Dostupné z:
https://www.fce.vutbr.cz/tzb/pocinkova.m/vytapeni_soubory/BT01_P2.pdf
- [18] ČSN EN 12831. Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [19] STOJASPAL, Lukáš. Nabídka na dodávku a montáž tepelného čerpadla země/voda Alpha innotec WZSV 62H3M. 2019.
- [20] MRÁZ, Antonín. Nabídka na tepelné čerpadlo Regulus: Tepelné čerpadlo EcoHeat 406. 2019.
- [21] Polyethylen s vysokou hustotou. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné z:
https://cs.wikipedia.org/wiki/Polyethylen_s_vysokou_hustotou
- [22] Plynové kotle Vaillant: Officialní e-shop značky Vaillant. Dostupné z:
<https://topenionline.cz/konfigurator/?dum=4&dumext=3&kotel=4/>
- [23] ABRAHÁM, Jan. Vytápění rodinného domu tepelným čerpadlem. Brno, 2018. Bakalářská. VUT v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

[24] Moje čerpadlo: Kalkulace nákladů. Dostupné z:
<http://www.mojecerpadlo.cz/kalkulator.asp?menux=kalkulator/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Veličina	Jednotka
A_i	Plocha místnosti	$[m^2]$
A_k	Plocha stavební části	$[m^2]$
A_q	Plocha podlahové konstrukce	$[m^2]$
B'	Charakteristické číslo	$[-]$
D	Vytápěcí dennostupně	$[K \cdot dny]$
d	Počet dnů otopné sezony	$[den]$
d_i	Tloušťka materiálu	$[m]$
dt	Rozdíl teplot	$[K]$
e_i	Stínící činitel	$[-]$
e_k	Korekční činitel vystavení povětrnostním vlivům	$[-]$
f_{g1}	Korekční činitel zohledňující vliv ročních změn venkovní teploty	$[-]$
f_{g2}	Teplotní redukční činitel zohledňující rozdíl mezi roční průměrnou venkovní teplotou a výpočtovou venkovní teplotou	$[-]$
f_{ij}	Redukční teplotní činitel	$[-]$
$Grad\theta$	Gradient teploty	$[K \cdot m^{-1}]$
G_w	Korekční činitel zohledňující vliv spodní vody	$[-]$
g_z	Zemský tepelný tok	$[-]$
$H_{T, ie}$	Součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí (e) pláštěm budovy	$[W \cdot K^{-1}]$
$H_{T, ig}$	Součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do zeminy (g)	$[W \cdot K^{-1}]$
$H_{T, ij}$	Součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru (i) do sousedního prostoru vytápěného na jinou teplotu (j)	$[W \cdot K^{-1}]$
$H_{T, iue}$	Součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí (e) nevytápěným prostorem (u)	$[W \cdot K^{-1}]$
$H_{V, i}$	Součinitel návrhové tepelné ztráty větráním	$[W \cdot K^{-1}]$
k_b	Součinitel bivalentního provozu	$[-]$
N	Roční úspora	$[K\check{c}]$
n_{50}	Intenzita výměny vzduchu při rozdílu tlaků 50 Pa mezi vnitřkem a vnějškem budovy	$[h^{-1}]$
N_A	Návratnost	$[rok]$
n_{min}	Minimální intenzita výměny venkovního vzduchu	$[h^{-1}]$
N_P	Náklady na provoz plynového kotle	$[K\check{c}]$
$N_{T\check{c}}$	Náklady na provoz tepelného čerpadla	$[K\check{c}]$

$P; \Phi$	Výkon	[W]
P_o	Obvod podlahové konstrukce	[m]
P_p	Energický příkon	[W]
Q	Vektor hustoty ustáleného tepelného toku sdíleného vedením	[W·m ⁻²]
Q_C	Dodané teplo	[J]
Q_H	Odevzdané teplo	[J]
Q_{VYT}	Roční spotřeba tepla	[kWh·rok ⁻¹]
R	Tepelný odpor konstrukce proti vedení tepla	[m ² ·K·W]
R_{se}	Návrhová hodnota odporu při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	[m ² ·K·W]
R_{si}	Návrhová hodnota odporu při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	[m ² ·K·W]
T_0	Teplota zdroje tepla	[K]
T_k	Teplota na výstupu	[K]
U	Součinitel prostupu tepla	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]
$U_{equiv,k}$	Ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební částí	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]
U_{kc}	Korekční součinitel	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]
V_i	Objem místnosti	[m ³]
V_i	Výměna vzduchu vytápěného prostoru	[m ³ ·h ⁻¹]
$V_{inf, i}$	Množství vzduchu infiltrací	[m ³ ·h ⁻¹]
$V_{min, i}$	Hygienické množství vzduchu	[m ³ ·h ⁻¹]
ΔU_{tb}	Přirážka na vliv tepelných mostů	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]
ε_i	Výškový korekční činitel	[-]
ε_o	Opravný součinitel	[-]
η	Účinnost	[-]
η_o	Účinnost obsluhy	[-]
η_r	Účinnost rozvodu vytápění	[-]
θ_e	Výpočtová venkovní teplota	[°C]
$\theta_{in,i}$	Výpočtová vnitřní teplota	[°C]
$\theta_{j,i}$	Teplota vytápěného sousedního prostoru	[°C]
$\theta_{m,e}$	Roční průměrná teplota vzduchu	[°C]
$\Theta_{min, t}$	Průměrná teplota interiéru domu	[°C]
λ	Součinitel tepelné vodivosti	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Φ_0	Potřeba nízkopotenciálního tepla	[W]
Φ_i	Celková tepelná ztráta	[W]
$\Phi_{T,i}$	Návrhová tepelná ztráta prostupem	[W]
$\Phi_{V,i}$	Návrhová tepelná ztráta větráním	[W]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 - Znázornění pracovního cyklu tepelného čerpadla v p-h diagramu [1]	15
Obr. 1.2 - Schéma oběhu tepelného čerpadla [8]	16
Obr. 1.3 - schéma SCROLL kompresoru [10]	17
Obr. 1.4 - Obrácený Carnotův cyklus v p-v diagramu a T-S diagramu [12]	19
Obr. 2.1 - Schéma tepelného čerpadla vzduch/vzduch [14].....	21
Obr. 2.2 - Schéma tepelného čerpadla vzduch/voda [14]	22
Obr. 2.3 - Schéma tepelného čerpadla voda/voda – dvě studny [14].....	23
Obr. 2.4 - Schéma tepelného čerpadla voda/voda – výměník do povrchové vody [14]	24
Obr. 2.5 - Schéma tepelného čerpadla země/voda – vrt [14]	25
Obr. 2.6 - Schéma tepelného čerpadla země/voda – plošný kolektor [14].....	26
Obr. 3.1 - Půdorys rodinného domu i65 [15]	29
Obr. 4.1 - Tepelné čerpadlo EcoHeat 406 [20]	39
Obr. 4.2 - Tepelné čerpadlo WZSV 62H3M [19]	39
Obr. 4.3 - Plynový kotel Vaillant ecoTEC plus VU 146/5-5 [22]	40

SEZNAM TABULEK

Tabulka 2-1 - Srovnání provedení čerpadel využívající jako zdroj nízkopotenciální energie vzduch	26
Tabulka 2-2 - Srovnání provedení čerpadel využívající jako zdroj nízkopotenciální energie vodu	27
Tabulka 2-3 - Srovnání provedení čerpadel využívající jako zdroj nízkopotenciální energie zemské teplo	27
Tabulka 3-1 - Výpočtové parametry objektu	30
Tabulka 3-2 - Klimatické údaje dané lokality	30
Tabulka 3-3- Součinitel prostupu tepla pro jednotlivé části domu	31
Tabulka 3-4 - Výpočet součinitele tepelných ztrát do venkovního prostředí pro koupelnu	32
Tabulka 3-5 - Výpočet součinitele tepelných ztrát zeminou pro koupelnu.....	33
Tabulka 3-6 - Výpočet hodnot celkového součinitele tepelné ztráty do sousedních místností	33
Tabulka 3-7 - Zvolené hodnoty teplot dle ČSN 12 831	34
Tabulka 3-8 - Tepelné ztráty větráním pro jednotlivé místnosti	35
Tabulka 3-9 - Celkové tepelné ztráty do venkovního prostředí	35
Tabulka 3-10 - Celkové tepelné ztráty do venkovního prostředí	36
Tabulka 3-11 - Celkové tepelné ztráty objektu	36
Tabulka 3-12 Zvolené hodnoty pro výpočet celkové roční spotřeby tepla	37
Tabulka 4-1- Cena tepelného čerpadla Alpha innotec WZSV 62H3M	40
Tabulka 4-2 - Cena tepelného čerpadla Regulus EcoHeat 406	41
Tabulka 4-3 - Cena plynového kotle	41
Tabulka 4-4 - Ceny za 1 kWh elektřiny ČEZ [9]	42
Tabulka 4-5 Výpočet celkových provozních nákladů čerpadla	42
Tabulka 4-6 - Cena za 1 kWh zemního plynu dle tarifu E.ON	42
Tabulka 4-7 - Výpočet celkových provozních nákladů plynového kotle.....	43
Tabulka 4-8 - Celková roční úspora	43
Tabulka 4-9 - Návratnost tepelných čerpadel	43