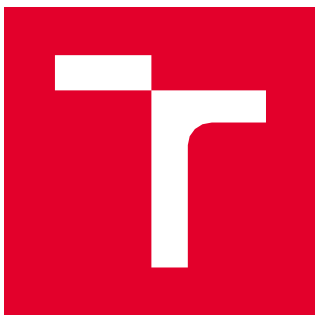




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

**OPTIMALIZACE A INOVACE VE VYTÁPĚNÍ POMOCÍ
TEPELNÝCH ČERPADEL**

OPTIMIZATION AND INNOVATION OF HEATING BY THERMAL PUMPS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Petr

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Lisý, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: Jan Petr
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: Ing. Martin Lisý, Ph.D.
Akademický rok: 2017/18

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:

Optimalizace a inovace ve vytápění pomocí tepelných čerpadel

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Tepelná čerpadla jsou progresivně se rozvíjející technologií v oblasti vytápění rodinných domů. Jedná se o vysoce účinné a ekologické zdroje tepelné energie. Existuje celá řada variant a technických řešení. Práce bude tedy zaměřena na rešerži posledních vývojových trendů v oblasti tepelných čerpadel a jejich aplikace na modelový dům.

Cíle bakalářské práce:

- Zpracování rešerže oblasti tepelných čerpadel pro vytápění rodinných domů.
- Porovnat jednotlivé technologie z hlediska uživatele.
- Pro modelový dům zpracovat technicko–ekonomické porovnání vybraných variant vytápění.

Seznam doporučené literatury:

BERANOVSKÝ, Jiří. Energie prostředí, geotermální energie, tepelná čerpadla. Praha: EkoWATT, c2005.

SRDEČNÝ, Karel a Jan TRUXA. Tepelná čerpadla. Praha: EkoWATT, 2009. ISBN 978-80-87333-02-0. Dostupné také z:
<http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:d1b78e30-240a-11e7-9efd-005056827e52>

BAŠTA, Jiří. Regulace vytápění. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02582-9.

BROŽ, Karel. Vytápění. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02536-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

děkan fakulty

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá tepelnými čerpadly, jejich popisem, srovnáním a následným zhodnocením vytápění modelového domu. V první části je provedena rešerše, která popisuje na jakých principech tepelná čerpadla fungují a jak se odlišují. V druhé části je popsán modelový dům. Jsou vypočítány jeho tepelné ztráty. Pro dva vybrané typy tepelných čerpadel je spočítána návratnost investic.

Klíčová slova

Tepelné čerpadlo, návratnost, topný faktor, vytápění

Abstract

The Bachelor's Thesis addresses heat pumps, its description, comparison and assessment of heating of the model house. In the first part the research is done. The research describes on what principles the heat pump works and how they differ. In the second part, the model house is described. Heat losses are calculated. For two types of heat pumps are calculated returns on investments.

Key words

Heat pump, return, Coefficient of Performance, heating

Bibliografická citace

PETR, J. *Optimalizace a inovace ve vytápění pomocí tepelných čerpadel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 35 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Lisý, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Optimalizace a inovace ve vytápění pomocí tepelných čerpadel** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Jméno a příjmení

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Martinu Lisému, PhD. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce.

Obsah

Úvod	10
1 Historie tepelných čerpadel	11
1.1 První zmínka	11
1.2 Počátky	11
1.3 Vynález tepelného čerpadla	11
1.4 Vývoj instalací v Evropě	11
1.5 Situace v ČR	12
2 Princip fungování tepelného čerpadla	13
2.1 Kompresorové tepelné čerpadlo	13
2.2 Absorpční tepelné čerpadlo	14
2.3 Topný faktor a sezónní topný faktor	16
2.4 Chladiva	17
3. Základní typy tepelných čerpadel	19
3.1 Tepelná čerpadlo typu země/voda	19
3.2 Tepelné čerpadlo typu vzduch/voda	21
3.3 Tepelné čerpadlo typu voda/voda	22
3.4 Celkové porovnání tepelných čerpadel	24
4. Tepelné ztráty objektu	25
4.1 Popis domu	25
4.2 Vytápění domu	26
4.3 Výpočet tepelných ztrát objektu	26
5. Náklady na vytápění objektu a ohřev TUV	29
5.1 Skutečné náklady při použití stávajícího systému kotel + kamna	29
5.2 Náklady při použití TČ vzduch/voda (Air X 90)	29
5.3 Náklady při použití TČ země/voda (GEO 312C)	30
6. Náklady na pořízení	30
6.1 Náklady na pořízení plynového kotle	30
6.2 Náklady na pořízení TČ vzduch/voda	30
6.3 Náklady na pořízení TČ země/voda	31
7. Návratnost investic	32

7.1 Úspora za rok.....	32
7.2 Návratnost investic (AIR C 90)	32
7.3 Návratnost investice (GEO 312C)	32
7.4 Zhodnocení.....	32
Závěr	33
Seznam použitých zdrojů.....	34
Seznam použitých symbolů a zkratek.....	36

Úvod

Současná doba se jeví jako vhodná pro inovaci typu vytápění v rodinném domě. Ceny tepelných čerpadel se s jejich rozvojem snižují a ceny za energie rostou. Proto může být pořízení tepelného čerpadla vhodné z hlediska finanční stránky. Dalším faktorem, který hovoří pro tepelná čerpadla, je jejich přínos životnímu prostředí. Využíváním naakumulovaného tepla ve vzduchu, vodě a půdě se řadí k přístrojům, které využívají obnovitelné zdroje energie.

Tato práce je rozdělena do dvou hlavních částí. V první části je popsáno tepelné čerpadlo z hlediska historického. Je vysvětlen princip činnosti, a nakonec jsou popsány rozdíly mezi typy tepelných čerpadel. V části druhé se práce zaměřuje na popis modelového domu, výpočet tepelných ztrát a výpočet roční spotřeby energie na vytápění a ohřev teplé užitkové vody. Následuje výpočet nákladů a návratnosti investic u dvou zvolených typů tepelných čerpadel.

Účelem této bakalářské práce je posouzení vhodnosti dvou daných typů tepelných čerpadel. Hodnoty budou porovnávány se stávajícím vytápěcím systémem. Výsledkem práce bude určení přínosu tepelných čerpadel pro modelový dům z finanční stránky i ze stránky životního prostředí.

1 Historie tepelných čerpadel

1.1 První zmínka

V díle S. N. L. Carnota *"Úvahy o hybné síle ohně a strojích vyvolávající tuto sílu"*, z roku 1824 se poprvé objevuje cyklus, který je později pojmenován jako Carnotův cyklus. Na základě Carnotova díla formuloval roku 1852 lord Kelvin princip tepelného čerpadla. Větší pozornost však v této době byla věnována klimatizačním zařízením, která jsou tepelným čerpadlem v reverzním chodu. Sedm let po formulaci lorda Kelvina bylo vyrobeno zařízení pracující se čpavkem. Lze jej považovat za první tepelné čerpadlo. [2]

1.2 Počátky

Počátkem 20. století se začala objevovat chladicí zařízení pro domácnosti. Konkrétně první v roce 1924 ve Švýcarsku. S vynálezem freonu v roce 1932 můžeme zaznamenat rozmach dané techniky, která právě freonová chladiva používala. Útlum používání nastal v osmdesátých letech minulého století, vlivem zjištění a prokázání negativních vlivů freonů na ozonovou vrstvu Země. [2]

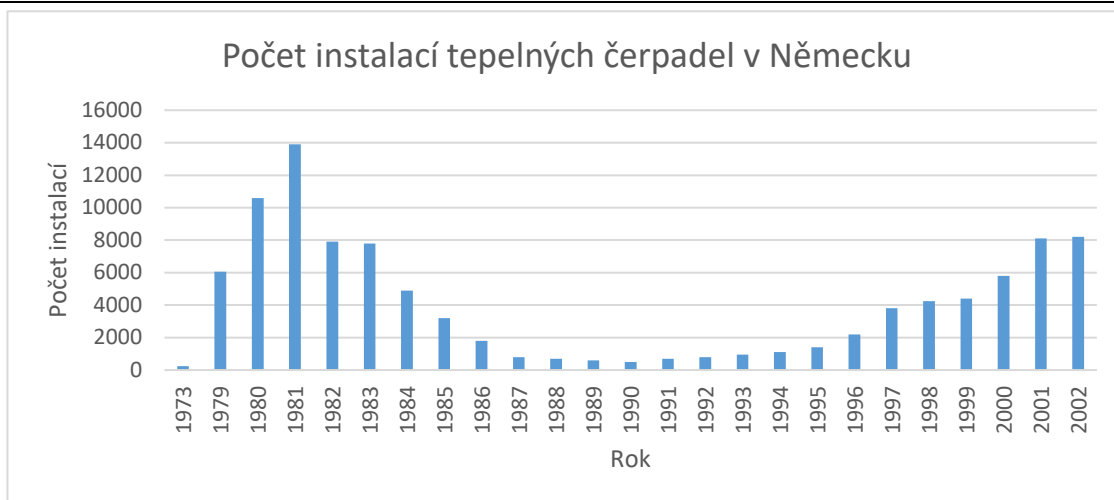
1.3 Vynález tepelného čerpadla

Na konci čtyřicátých let 20. století se při pokusu s hloubkovým zmrazením vynálezce Robert C. Webber dotkl rukou výstupního potrubí chladicího zařízení a popálil si ji. To vedlo Webbera k propojení výstupu ze zařízení k bojleru na teplou vodu, a následně horkou vodu vháněl do potrubní smyčky a větrákem vháněl ohřátý vzduch do místností.

1.4 Vývoj instalací v Evropě

Mimořádný nárůst, který můžeme vidět na diagramu znázorňujícího počet instalací v Německu (Obr.1), je kolem roku 1980, následuje prudký pokles a opětovné zvyšování kolem roku 2000.

Diagramy z Francie a Rakouska mají stejný průběh. Důvodem byly dva faktory. Zaprvé, čerpadla neměla dořešené technické provozní stavy, jejich poruchovost byla vysoká a neplnila očekávání majitelů. Druhým faktorem byly instalace. Kolem 80. let se běžně používaly k vytápění olejové kotle, jejichž otopné systémy při zapojení s TČ nevytápěly objekt stejně jako při zapojení s kotlem.



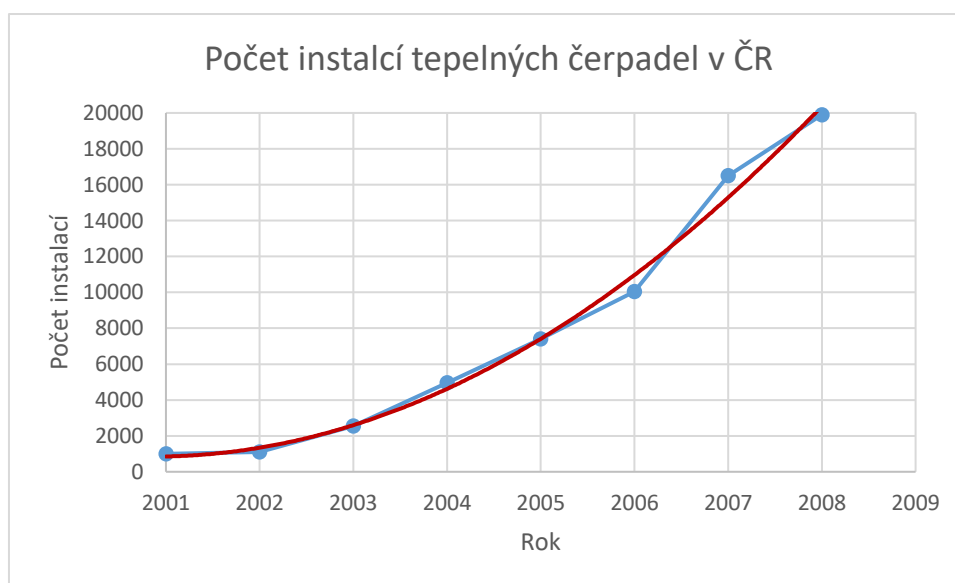
Obrázek 1: Počet instalací tepelných čerpadel v Německu [23]

Po několika letech se TČ začínají znovu objevovat, díky celkově efektivnějšímu chodu, který znamenal lepší ekonomické podmínky, a také díky kladení většího důrazu společnosti na ekologii. [1]

1.5 Situace v ČR

Rokem 0 lze v ČR označit rok 2000. Praha a Plzeň začala poskytovat dotace na TČ. Vznikly speciální sazby elektřiny pro rodinné domy a podnikatelské objekty s TČ. Vytvoření Asociace pro využití tepelných čerpadel, která jednala s orgány a iniciovala podporu v dané věci.

Ekonomická návratnost klesla na polovinu, hlavně kvůli vzrůstajícím cenám fosilních paliv. Odborná školení a semináře pro všechny spojené s TČ, od instalačních firem po dovozce, s cílem odstranění poruchovosti a nárůstu provozu za ideálních podmínek. Výsledky vidíme na obrázku 2. [1]



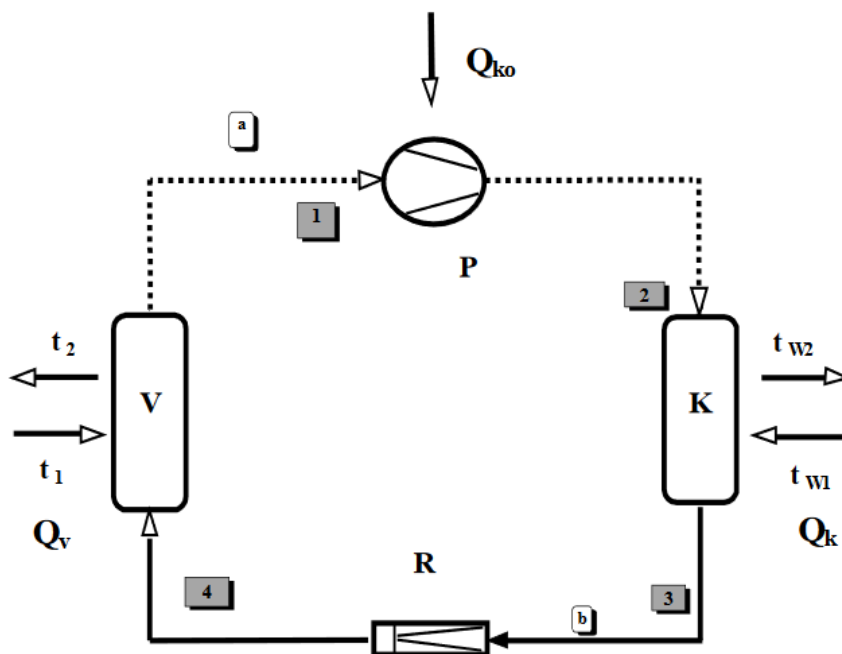
Obrázek 2: Počet instalací tepelných čerpadel v ČR [23]

2 Princip fungování tepelného čerpadla

TČ zhodnocuje tepelnou energii přečerpáním energie o nízké teplotě z nízkopotenciálních zdrojů (ze slunečních kolektorů, geotermálních zdrojů, odpadního tepla, okolního vzduchu apod.) na hodnotnější vysokopotenciální energii o vyšší teplotě. [4]

2.1 Kompresorové tepelné čerpadlo

„V pracovním okruhu TČ obíhá chladivo. Za nízké teploty a tlaku ve výparníku je teplo o množství Q_v odnímáno látce s nízkým tepelným potenciálem. Tím se chladivo odpařuje. Chladivo v plynném stavu je nasáváno kompresorem. Kompresor spotřebuje energii Q_{ko} a chladivo stlačí na daný kondenzační tlak, stoupá i teplota. Tlačené chladivo je zavedené do kondenzátoru, kde předává teplo topné vodě (popř. ohřívá vzduch). Předáním tepla Q_k chladivo kondenzuje. Za kondenzátorem prochází redukčním ventilem a tím se okruh uzavírá.“ [3]



Obrázek 4: Schéma kompresorového tepelného čerpadla [25]

V – výparník, **P** – kompresor, **K** – kondenzátor, **R** – redukční ventil, **a** – páry chladiva,
b – zkapalněné chladivo

Pracovní cyklus se skládá z několika fází:

1-2 Adiabatická komprese-dochází ke stlačování plynu, který je dokonale tepelně izolován. Nedochází k výměně tepla s okolím.

2-3 Izotermická kondenzace-stlačování plynu při konstantní teplotě

3-4 Adiabatická expanze-expanze plynu bez výměny tepla s okolím, díky dokonalé tepelné izolaci

4-1 Izotermické vypařování-plyn se izotermicky rozpíná.

2.2 Absorpční tepelné čerpadlo

Absorpční oběh, který se využívá jako jediný ze sorpčních oběhů, využívá dvě pracovní látky. První látka koná funkci chladiva a druhá látka koná funkci absorbentu. V dnešní době se používají dvojice čpavek (chladiivo) a voda (absorbent) nebo bromid lithný (absorbent) a voda (chladiivo).

Téměř čisté chladivo (roztok vysoké koncentrace) se vypařuje ve výparníku, za tlaku daného vypařovací teplotou. Do absorbéru proudí páry, z vypuzovače přitéká roztok. Roztok dané páry pohlcuje, koncentrace se mění na požadovanou hodnotu a vzniká roztok bohatý. Právě při absorpci se uvolňuje teplo, které je odváděno.

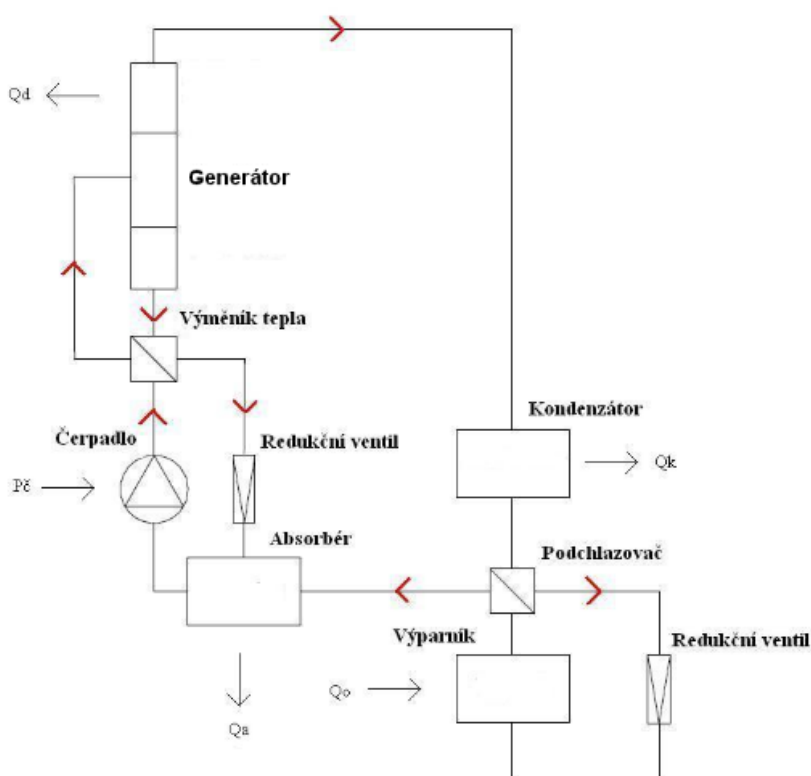
Bohatý roztok se dostává do vypuzovače, tlak odpovídá tlaku kondenzačnímu. Chladivo je z roztoku vypuzeno přivedeným teplem. Koncentrace klesá a vzniká chudý roztok, který je odváděn do absorbéru.

Z vypuzovače je vedeno chladivo v plynném stavu do kondenzátoru. Zde za teploty kondenzace, která odpovídá kondenzačnímu tlaku, zkapalní. Kapalně chladivo je vedeno škrtícím ventilem do výparníku.

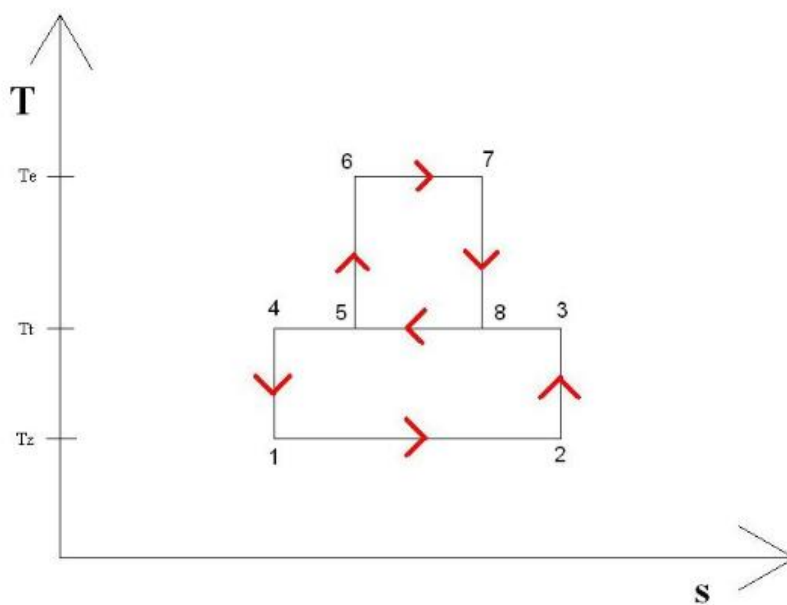
Přechod chladiva na vyšší energetickou hladinu probíhá za nižší spotřeby mechanické energie, což je velkou výhodou oproti parním kompresorovým cyklům.

Oběh čpavek-voda: koncentrace roztoku ve výparníku se postupně snižuje, kvůli odchodu smíšené páry s parami absorbentu a její následné kondenzaci. To vede k postupnému nárůstu vypařovací teploty za stálého vypařovacího tlaku. Tzv. zvodnatěly čpavek se po čase musí přepouštět do absorbéru.

Daný oběh je ne hospodárný a jeho zefektivnění je třeba přidat do oběhu další prvky (rektifikační kolona a deflegmátor). [19]



Obrázek 5: Schéma absorpčního tepelného čerpadla [19]



Obrázek 6: Dvojitý Carnotův cyklus [19]

Dvojitý Carnotův cyklus se skládá z levotočivého a pravotočivého cyklu. K předání energie

ze zdroje dochází mezi body 1 a 2. Cykly si předávají energii mezi body 5 a 8. Výstupní teplo je předáváno do systému mezi body 6 a 7. Musí platit základní podmínka $\Delta s=0$. [15,16]

2.3 Topný faktor a sezónní topný faktor

Topný faktor COP (Coefficient of Performance) je základní parametr TČ. Tento ukazatel se dnes řídí normou EN 14 511. Jedná se o bezrozměrné číslo popisující účinnost. Je to poměr mezi teplem, které je vyprodukováno a energií, kterou k dané produkci musíme dodat. S rostoucím COP klesá finanční náročnost provozu. Pohybuje se kolem hodnot 2,5 až 5.

Je závislý na provozních podmínkách. S ročním obdobím kolísá, proto je dobré uvádět hodnotu průměrného ročního topného faktoru SCOP (Seasonal coefficient of performance). Tento ukazatel se dnes řídí normou EN 14 825. [11,12]

Sezonní topný faktor SCOP v sobě zahrnuje efektivitu produkce tepla tepelným čerpadlem v aktivním chodu, ztráty způsobené předimenzováním čerpadla (zacyklováním), spotřebu energie bivalentního zdroje, spotřebu energie tepelného čerpadla při rozběhu a při běhu v pohotovostním režimu, udržování teploty kompresoru a v neposlední řadě ztráty při vychládání výměníku.

SCOP lze počítat ve třech předdefinovaných pásmech.

Název pásma	Poloha	Teplota [°C]	Otopná sezóna [dny]
Tepější	Atény	+2	150
Průměrné	Štrasburk	-10	205
Chladnější	Helsinki	-22	269

COP je vhodný pro porovnání dvou konstrukcí stejného druhu tepelných čerpadel, zatímco SCOP vhodnější pro srovnání více faktorů (tepelná čerpadla od různých firem, odlišné druhy řízení tepelného výkonu). [14]

2.4 Chladiva

Chladivo obíhá v tepelném okruhu. Nejprve změní své skupenství z kapalného na plynné ve výparníku při odebírání energie. Skupenství se mění zpět na kapalné v kondenzátoru při předání energie. Chladiva jsou připravována synteticky, nebo se nalézají běžně v přírodě.

Dnes se používají chladiva na bázi fluorovaných uhlovodíků a jejich směsí (HFC). Vzhledem k neznalosti škodlivých vlivů daných chemických látek, především na ozonovou vrstvu, se dříve používala chladiva na bázi plně halogenových uhlovodíků (CFC), později částečně halogenované uhlovodíky (HFCF).

GWP-Global warming potential-potenciál skleníkového plynu zvýšit teplotu klimatu v poměru k potenciálu CO₂, počítaný jako stoletý potenciál oteplování 1 kg skleníkového plynu v poměru k 1 kg CO₂.

V současnosti se používají hlavně chladiva R410A (GWP=2088), R407C (GWP=1774), R404A (GWP=3988) a R32 (GWP=675).

Tabulka 1 [26]

Přírodní chladiva	Název	Vzorec	GWP
R170	Ethan	C ₂ H ₆	6
R290	Propan	C ₃ H ₈	3
R717	Amoniak	CH ₃	0
R744	Oxid Uhličitý	CO ₂	1
R1270	Propylen	C ₃ H ₆	2

Tabulka 2 [27]

Syntetické chladivo	Vzorec	GWP
R23	CHF ₃	14800
R32	CH ₂ F ₂	675
R125	C ₂ HF ₅	3500
R410A	R32/R125	2088
R507	R125/R143a	3985

Z Tab. 1 a Tab. 2 je jasné vidět, že přírodní chladiva mají GWP mnohonásobně nižší. Z ekologických důvodů probíhá vývoj v oblasti technologií používajících přírodní chladiva jako například amoniak a oxid uhličitý. [13]

3. Základní typy tepelných čerpadel

Typy se dělí podle prostředí, ze kterého se čerpá nízkopotenciální teplo, a podle způsobu, kterým je teplo předáno do objektu.

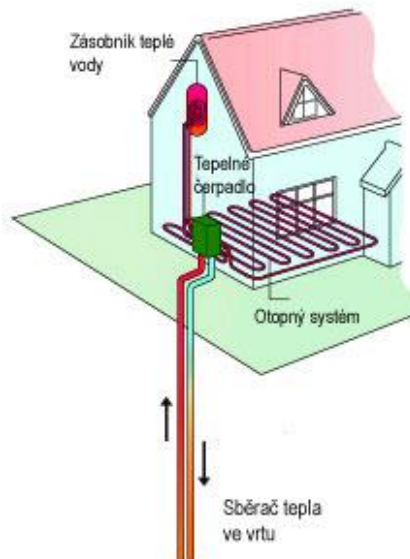
3.1 Tepelná čerpadlo typu země/voda

Tento typ využívá půdu jako vysoce objemový zdroj tepla. Vyznačují se nejstabilnějším topným faktorem. Je možné teplo odebírat:

- A) Z vrtu – využití hloubek kolem 100 metrů (Na 1kW výkonu tepelného čerpadla potřebujete cca. 12 metrů vrtu. [6])

Vrty se provádějí v blízkosti vytápěné budovy, nebo přímo pod základovou desku, pokud se s tepelným čerpadlem počítá již před začátkem stavby. Vhodné je tvrdé podloží, měkké podloží jako např. písky a štěrky se nedoporučuje. Moderní technika dokáže provádět vrty s minimálním poškozením zahrady a v těsné blízkosti objektu.

Potřebnou dokumentaci pro povolení vrtných prací je možné získat od firmy, která bude vrty provádět. [8]



Obrázek 7: TČ země/voda (vrt) [24]

Výhodou systému je úspora pozemku vzhledem k velikosti vrtu. Účinnost je velmi stabilní, vzhledem k absenci vnějších podmínek, které by ovlivňovaly topný výkon. Vyznačuje se dlouhou životností a nízkými náklady na provoz.

Nevýhodou je vysoká pořizovací cena způsobená nákladným provedením vrtu a zkušebními vrtů. Může nastat problém se získáváním stavebního povolení od stavebního úřadu a povolení od vodohospodářského úřadu.

Důležitým faktorem pro výběr kolektoru je Tepelná vodivost hornin T_s . Ta se pro každý druh hornin liší. Viz tabulka 3.

Hornina/Podloží	Tepelná vodivost [W/m.K]	Měrný výkon [W/m]
Suché horniny (nezpevněné)	<1,5	20
Vodou nasycené nebo pevné horniny	1,5 - 3,0	50
Pevné horniny s vysokou vodivostí	>3,0	70
Suché štěrky a písky	0,4	<20
Zvodnělé štěrky a písky	1,8 - 2,4	55 - 65
Vlhký jíl	1,7	30 - 40
Masivní vápenec	2,8	45 - 60
Pískovec	2,3	55 - 65
Kyselé vyvřeliny (Žula)	3,4	55 - 70
Rula	2,9	60 - 70
Čediče	1,7	35 - 55

Tabulka 3: Tepelná vodivost hornin [29]

- B) Plošně (plošné uspořádání) – plocha o rozloze stovek metrů čtverečních slouží v malé hloubce jako uložisko pro médium, to odebírá z velké plochy teplo. (Při dimenzování spirálových výměníků platí orientační hodnota získaného tepla přibližně 1 kW na 10 metr výkopu. [5])



Obrázek 8: TČ země/voda (plošný kolektor) [22]

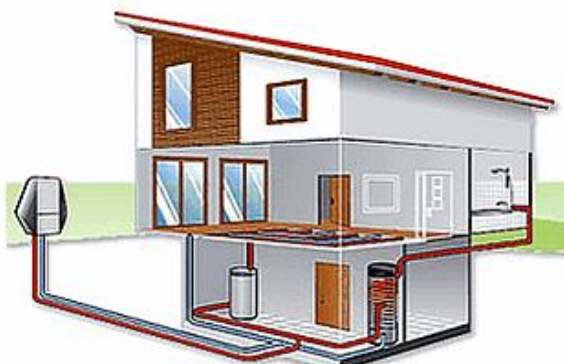
Výhodou daného systému je jeho stabilita. Pokud se výkop provede před začátkem stavebních prací na domě, pak je instalace snadná a vyhneme se poničení pozemku. Chybí zde nutnost provádění jakýchkoliv zkušebních vrtů, což redukuje investiční náklady.

Nevýhodou je potřeba velké plochy k uložení výměníku (lze zmenšit spirálovým výměníkem). Tato plocha nemůže být v budoucnu zastavěna a může mít nižší teplotu než plocha v okolí

3.2 Tepelné čerpadlo typu vzduch/voda

Zdrojem tepla je okolní vzduch. Získaným teplem se ohřívá voda v topném systému nebo zásobník teplé vody. Dělí se na typ:

- A) Monoblok – uzavřený okruh s chladivem umístěn ve venkovní jednotce. Propojení venkovní a vnitřní části potrubím s topnou vodou.
- B) Split – chladicí okruh tepelného čerpadla se instaluje a plní chladivem až v místě instalace. Propojení mezi venkovní a vnitřní částí tepelného čerpadla je pomocí chladivového potrubí. Pro instalaci SPLIT systémů je nutná odborná firma. [8]



Obrázek 9: TČ vzduch/voda [21]

Moderní tepelná čerpadla se na rozdíl od svých předchůdců vyznačují spolehlivým chodem i při nízkých teplotách, až pod 15°C.

Pro největší využití potenciálu tohoto typu čerpadel je doporučované, aby se vnější jednotka umístila k jižní stěně domu.

Výhodou tepelného čerpadla vzduch/voda je nejnížší pořizovací cena i díky minimálním stavebním pracím. Snadná instalace.

Nevýhodou je jeho účinnost, která je velmi ovlivněna okolní teplotou. Dříve bylo nutné bivalentní zapojení, k tepelnému čerpadlu byl připojen elektrický kotel. Toto v dnešní době bývá často řešeno vlastním elektrokotlem čerpadla. [8;10]

3.3 Tepelné čerpadlo typu voda/voda

A) Studna [8] – teplo je odebíráno ze spodní nebo geotermální vody. Voda je ze studny čerpána do výměníku tepelného čerpadla a po ochlazení vrácena zpět do země.

Tato čerpadla je vhodné instalovat v komerčních a obecních objektech. V rodinných domech se doporučuje použít tento typ jen v místech, kde se hojně vyskytuje snadno dostupná spodní voda.

Jsou schopna využívat odpadní teplo z chladicí vody hydraulických procesů při výrobě piva a vína.



Obrázek 10: TČ voda/voda (studna) [22]

Hlavní výhoda systému využívající studny je ta, že voda ve zdrojové studni má teplotu kolem 10 °C, což má za následek samostatné fungování čerpadla bez nutnosti bivalentního zapojení. Dále vysoký topný faktor, nižší pořizovací cena (pokud nezapočítáváme výkop studní), a s tím spojená kratší návratnost.

Nevýhodou je nutnost zajistit, aby nezamrzl výměník, k čemuž dochází při nedostatku vody. Dále je nutná dostačující vydatnost pramene (kolik vody vyvěrá za jednotku času). [8;9]

B) Vodní plocha [7] – teplo je odebíráno z vodní plochy. Plastové hadice s nemrznoucí směsí, přenášející teplo mezi vodou a tepelným čerpadlem, jsou umístěné na dně rybníka, řeky apod.

Hadice se pokládají z plavidla na hladině, následně se zatíží, aby nevyplavaly. Vodní plocha, kterou zabírají hadice (systém výměníku), musí být přesně vypočtena pro každý vodní objekt individuálně.

Výhodou tohoto tepelného čerpadla je nízká pořizovací cena, a tím i poměrně krátká návratnost. Čerpadlo není hlučné, je třeba pouze minimální údržba a má vysoký topný faktor.

Největší nevýhoda je nedostatek vhodných míst, neboť se objekt musí nacházet nedaleko vodní plochy. Je nutné získat povolení od vodohospodářů k využití plochy jako zdroje tepla. [9,10]



Obrázek 11: TČ voda/voda (vodní plocha) [28]

3.4 Celkové porovnání tepelných čerpadel

Pokud se vytápěný dům nachází v blízkosti vodní plochy a splňuje všechna povolení, pak se jasnou volbou stává tepelné čerpadlo typu vodní plocha/voda. Snadná montáž, relativně nízká pořizovací cena, kterou nenavyšuje nutnost výkopových prací a stabilní topný faktor naznačují velkou šanci výhodné investice. Obdobné podmínky platí i pokud se nedaleko domu nachází studna s dostatečnou vydatností pramene.

Pro výběr typu vzduch/voda jsou zásadní tři faktory. Počáteční nejnižší investice, snížení nutnosti stavební plochy na minimum a rychlá montáž. Kolísavý, nízký topný faktor má však za následek dlouhou dobu návratnosti, která překračuje životnost tepelného čerpadla.

V případě, že je dům v procesu plánování a stavební práce ještě nezačaly, je vhodné zahrnout do možností výběru i typ země/voda. Hloubkové vrty mohou být umístěny pod základovou desku domu. Nutností je samozřejmě v tomto případě vhodné podloží. Pokud výkopy pro plošné odebírání tepla probíhají zároveň se stavbou domu, pak odpadá jedna z nevýhod, poníčení pozemku. U typu země/voda se počítá s vyššími pořizovacími náklady. Avšak díky stabilnějšímu a vyššímu topnému faktoru lze reálně uvažovat o výhodné investici z pohledu finanční návratnosti

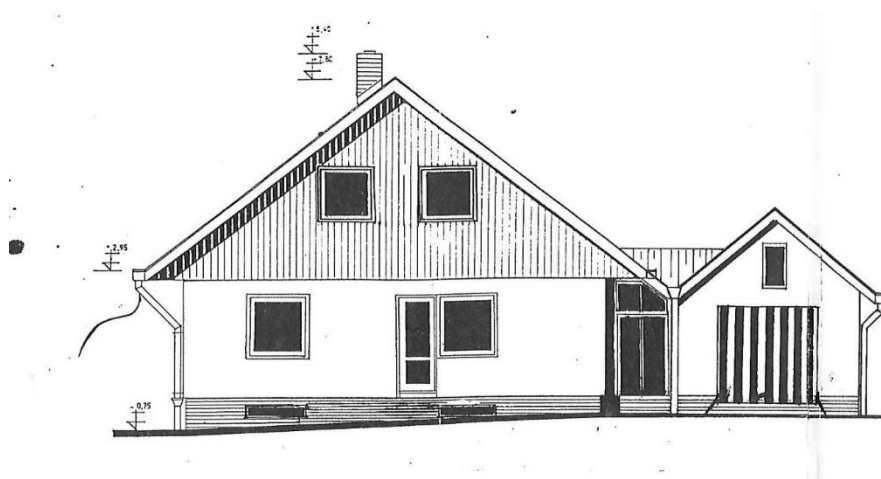
Když budeme uvažovat o vlivu vytápění tepelnými čerpadly na životní prostředí, pak jsou všechny tyto typy považovány za přínosné, protože využívají obnovitelnou energii.

4. Tepelné ztráty objektu

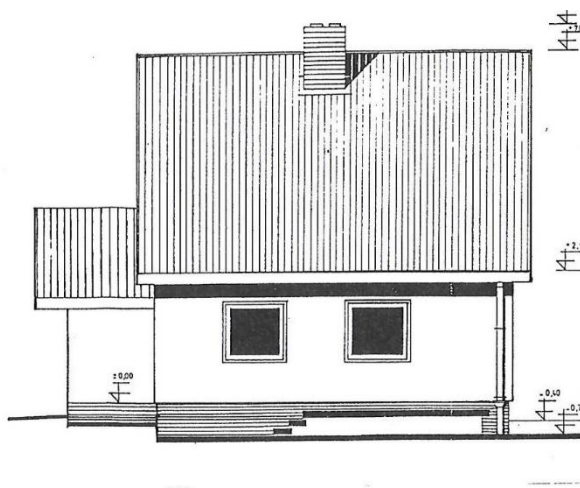
4.1 Popis domu

Dvoupatrový podsklepený dům se nachází ve vesnici Rovečné v okrese Žďár nad Sázavou. Stavba je stará přibližně dvacet let, není zateplená polystyrénem. Obvodové zdi domu jsou z cihel Porotherm šířky 40 cm. Hlavní dveře přední jsou dřevěné s dvojsklem a dveře zadní jsou celodřevěné. Okna byla zvolena s trojsklem a rám je dřevěný. Budova se nachází na okraji vesnice, ze severu a západu není krytá.

Dům využívá stabilně pět osob.



Obrázek 12: Modelový dům, jižní stěna



Obrázek 13: Modelový dům, západní stěna

4.2 Vytápění domu

V současnosti se dům vytápí plynovým kotlem Destila ekolit s výkonem 25 kW, jedná se o kotel ocelový stacionární. Místnosti jsou vytápěny deskovými radiátory Korado.

K přídatnému vytápění se používají kachlová kamna Romotop o výkonu 6 kW.

4.3 Výpočet tepelných ztrát objektu

Lokalita a vlastnosti budovy

Žďár nad Sázavou Tabulka		Poloha budovy	Nechráněná <input button"="" type="button" value="Nastavit teplotu u stěn"/>	Druh budovy	Osamělá <input button"="" type="button" value="??"/>	Charakteristické číslo budovy B	12 Pa ^{0.67} <input 2"="" type="button" value="???</td> </tr> <tr> <td colspan="/>	Přirážka p_2 na urychlení zátoku	0 <input 124="" 455="" 468"="" 487="" data-label="Section-Header" type="button" value="???</td> </tr> </table> </div> <div data-bbox="/> Místnost (u obálkové metody to jsou další vlastnosti budovy)
---	--	---------------	--	-------------	--	---------------------------------	--	------------------------------------	---

Číslo a název místnosti			
Zvětšení char. čísla budovy ΔB	0 Pa ^{0.67} <input 2"="" type="button" value="???</td> <td colspan="/>		
Venkovní výpočtová teplota t_e	-15 °C <input 2"="" type="button" value="???</td> <td colspan="/> Nastavit teplotu u stěn		
Vnitřní výpočtová teplota t_i	20 °C Tabulka		
Orientace místnosti	vnitřní místnost <input button"="" type="button" value="??"/>		
Počet těsných dveří	1 <input 2"="" type="button" value="???</td> <td colspan="/>		
Počet netěsných dveří	2 <input 2"="" type="button" value="???</td> <td colspan="/>		
Charakteristické číslo místnosti M	0.7 <input 2"="" type="button" value="???</td> <td colspan="/>		
Tepelný zisk Q_z		W <input 124="" 183="" 647="" 660"="" data-label="Section-Header" type="button" value="???</td> </tr> </table> </div> <div data-bbox="/> Rozměry	

Půdorysný rozměr a	8,2 m	Půdorysný rozměr b	10,2 m	Půdorysná plocha místnosti P	83.64 m ² <input 485="" 511="" 896="" 913"="" button"="" data-label="Page-Footer" type="button" value="???</td> </tr> </table> </div> <div data-bbox="/> 26
--------------------	-------	--------------------	--------	------------------------------	--

Teplota větracího vzduchu t_{vv}	-15 °C ???
☒ Intenzita výměny vzduchu n	1 h ⁻¹ ???
☐ Objemový průtok	m ³ /h ???

Parametry obálkové konstrukce (místnosti / budovy)

	Typ ??? konstr.	Počet	$t_{e,i}$??? [°C]	U ??? [W/m ² K]	Plocha konstrukce						Q_o [W]	Infiltrace	
					d ??? [m]	v ??? [m]	S ??? [m ²]	S_d ??? [m ²]	S_v ??? [m ²]	$S-S_d-S_v$ [m ²] ???		i_L (Tabulka) [m ³ /m.s.Pa ^{0.67}]	L ??? [m]
1. vložit smazat	SCH	1	-15	0,25	0	0	114	0	0	114	997.5	x 10 ⁻⁴	
2. vložit smazat	SO	3	-15	0,25	0	0	60	0	47.2	132.8	1162	x 10 ⁻⁴	
3. vložit smazat	OD	1	-15	1,2	0	0	39,2	0	0	39.2	1646.4	x 10 ⁻⁴	
4. vložit smazat	DO	2	-15	1,2	0	0	4	0	0	8	336	x 10 ⁻⁴	
5. vložit smazat	PDL	1	5	0,3	0	0	88,8	0	0	88.8	399.6	x 10 ⁻⁴	
6. vložit smazat	SN	1	0	0,5	0	0	7,4	0	0	7.4	74	x 10 ⁻⁴	

Tepelná ztráta prostupem

ΣQ_o	4616 W ???
Průměrný součinitel prostupu tepla k_c	0.338 W/m ² K ???
Přirážka p_1	0.05 ???
Přirážka p_2	0 ???
Přirážka p_3	0 ???
Q_p	4849 W ???

Tepelná ztráta větráním / infiltrací

Tepelná ztráta infiltrací Q_{inf} =	0 W ???
Tepelná ztráta větracím vzduchem $Q_{v,v}$ =	3171 W ???
Tepelná ztráta větráním Q_v =	3171 W ???
Vypočtená intenzita výměny vzduchu $n_{vypočtená}$ =	1 ???

Celková tepelná ztráta místnosti

Tepelná ztráta místnosti Q_c =	8021 W ???
Měrná tepelná ztráta místnosti q_c =	27.4 W/m ³ ???

Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody

Výpočet potřeba tepla na vytápění a ohřev teplé vody počítá celkovou roční potřebu energie na vytápění a ohřev vody GJ/rok i MWh/rok dle lokality, venkovní výpočtové teploty, délky otopného období a dalších okrajových podmínek.

Lokalita (Tabulka) Město: Žďár nad Sázavou Venkovní výpočtová teplota $t_e = -15$ °C		☐ $t_{em} = 12$ °C ☒ $t_{em} = 13$ °C ☐ $t_{em} = 15$ °C ??? Délka topného období: $d = 215$ [dny] Prům. teplota během otopného období $t_{es} = 3.1$ °C	
--	--	---	--

☒ Vytápění Tepelná ztráta objektu $Q_c = 8,021$ kW Průměrná vnitřní výpočtová teplota $t_{is} = 20$ °C ??? Vytápěcí denostupně $D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) = 3633$ K.dny Opravné součinitele a účinnosti systému $e_i = 0.85$??? $\eta_o = 0.95$??? $e_t = 0.90$??? $\eta_r = 0.95$??? $e_d = 1.00$??? Opravný součinitel ε ??? ☒ $\varepsilon = e_i \cdot e_t \cdot e_d = 0.765$ ☐ $\varepsilon = 0.765$ $Q_{VYT,r} = \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}$ $Q_{VYT,r} = \left(\begin{array}{c} 61 \text{ GJ/rok} \\ 16.9 \text{ MWh/rok} \end{array} \right)$	☒ Ohřev teplé vody $t_1 = 10$ °C ??? $\rho = 1000$ kg/m ³ ??? $t_2 = 55$ °C ??? $c = 4186$ J/kgK ??? $V_{2p} = 0.328$ m ³ /den ??? Koefficient energetických ztrát systému $z = 0.5$??? Denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody $Q_{TUV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} = 25.7$ kWh Teplota studené vody v létě $t_{svl} = 9$ °C Teplota studené vody v zimě $t_{svz} = 8$ °C Počet pracovních dní soustavy v roce $N = 365$ [dny] $Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0.8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d)$ $Q_{TUV,r} = \left(\begin{array}{c} 30.8 \text{ GJ/rok} \\ 8.6 \text{ MWh/rok} \end{array} \right)$
Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody $Q_r = Q_{VYT,r} + Q_{TUV,r} = \left(\begin{array}{c} 91.8 \text{ GJ/rok} \\ 25.5 \text{ MWh/rok} \end{array} \right)$	

Skutečné množství spotřebovaného zemního plynu za rok (vytápění, ohřev TUV a vaření) činí 16 200 kWh. Při uvažované účinnosti kotle 80% to znamená, že se využije 13 000 kWh. Když přičteme 10 000 kWh z kamen, tak se dostáváme na hodnotu 23 000 kWh.

Pro zhodnocení výpočtu Q_r porovnáme teoretickou a skutečnou hodnotu. Skutečná hodnota $Q_r(\text{skut}) = 23\,000$ kWh. Vypočítaná hodnota $Q_r(\text{teor}) = 25\,500$ kWh.

Poměr hodnot:

$$P = \frac{Q_r(\text{skut})}{Q_r(\text{teor})} = \frac{23\,000}{25\,500} = 0,90 \quad (4.3.1)$$

Rozdíl mezi teoretickou a skutečnou energií činí 10%. Lze proto brát vypočtenou hodnotu Q_r jako hodnotu, která reálně popisuje modelový dům.

5. Náklady na vytápění objektu a ohřev TUV

5.1 Skutečné náklady při použití stávajícího systému kotel + kamna

V období od 15.12.2016 do 11.12.2017 bylo spotřebováno 15 800 kWh zemního plynu na vytápění objektu a ohřev TUV. Cena za toto množství činila 23 905 Kč.

Účinnost kotle při zakoupení byla 0,86. V dnešní době se jeho účinnost pohybuje kolem 0,8. Z toho plyne, že bylo do domu dodáno 12 640 kWh tepelné energie.

V prvním roce užívání kachlových kamen klesla spotřeba zemního plynu o 10 000 kWh, tato hodnota se posledních pět let pohybuje na podobné úrovni. Typy dřeva využívané k topení byly smrk, dub a topol. Jejich průměrná výhřevnost je 4,2 kW/kg. Z toho vyplývá, že bylo spáleno přibližně 2400 kg dřeva. V našem případě je cena za dřevo příznivá, 1 Kč za 1 Kg. Za rok tedy 2400 Kč. [20]

Po sečtení částek za oba typy vytápění dojdeme k částce 26 305 Kč. ($=N_{KK}$)

5.2 Náklady při použití TČ vzduch/voda (Air X 90)

Vypočítaná celková roční spotřeba energie na vytápění a ohřev TUV $Q_r = 24\,100$ kWh/rok.

Firma udává topný faktor (EN 14 511) $\varepsilon_1 = 4$.

$$\text{Spotřeba elektrické energie } E_{el}(vo/vz) = \frac{Q_r}{\varepsilon_1} = \frac{25\,500}{4} = 6375 \text{ kWh/rok} \quad (5.2.1)$$

Bylo by možné využít sazbu elektrické energie D56d-2,40 Kč/kWh.

Náklady na rok by v tomto případě byly:

$$N(vz/vo) = E_{el}(vo/vz) \times 2,40 = 6375 \times 2,40 = 15\,300 \text{ Kč} \quad (5.2.2)$$

5.3 Náklady při použití TČ země/voda (GEO 312C)

Topný faktor SCOP pro studené klima $\epsilon_2 = 5,6$.

$$\text{Spotřeba elektrické energie } E_{el}(z/v_o) = \frac{Q_r}{\epsilon_2} = \frac{25\,500}{5,6} = 4553 \text{ kWh} \quad (5.3.1)$$

Sazba je opět D56d-2,40 Kč/kWh.

Náklady na rok v případě tepelného čerpadla GEO 312C:

$$N(z/v_o) = E_{el}(z/v_o) \times 2,40 = 4553 \times 2,40 = 10\,928 \text{ Kč} \quad (5.3.2)$$

6. Náklady na pořízení

6.1 Náklady na pořízení plynového kotle

Plynový kotel Destila ekolit DPL 25 A-H	32 585 Kč
Bojler TUV, OKC 125 NTR	9 560 Kč
Čerpadlo Willo Yones Pico 25/1-4-180	4 000 Kč
Ventil (2x)	7 000 Kč
Celkem	53 145 Kč (=N _{ipK}) [17]

6.2 Náklady na pořízení TČ vzduch/voda

Pro náš objekt bylo vybráno tepelné čerpadlo Air X 90 od firmy IVT. V ceně čerpadla je i 9 kW elektrokotel a 185 l zásobník.

IVT AIR X 90	201 840 Kč
Cena za montáž a nutné příslušenství	42 000 Kč
Celková cena s DPH	279 726 Kč (=N _{ivz}) [18]

6.3 Náklady na pořízení TČ země/voda

Jako nejvhodnější pro náš objekt bylo zvoleno tepelné čerpadlo IVT GEO 312C s plošným kolektorem do 8kW. V ceně je zásobník teplé vody, 9kW elektrokotel a montáž

IVT GEO 312C	250 800 Kč
Cena za práce na plošném kolektoru a potřebné materiály	73 400 Kč
Celková cena s DPH	372 830 Kč (=N _{iZE}) [18]

7. Návratnost investic

7.1 Úspora za rok

Při použití tepelného čerpadla vzduch/voda ušetříme za rok:

$$Nu1 = N_{kk} - N(vz/v_o) = 26\,305 - 15\,300 = 11\,005 \text{ Kč} \quad (7.1.1)$$

Při použití tepelného čerpadla země/voda ušetříme za rok:

$$Nu2 = N_{kk} - N(z/v_o) = 26\,305 - 10\,928 = 15\,377 \text{ Kč} \quad (7.1.2)$$

7.2 Návratnost investic (AIR C 90)

Návratnost vyjádříme jako podíl celkových nákladů (N_{ivz}) a úspore za jeden rok ($Nu1$)

$$K1 = \frac{N_{ivz}}{Nu1} = \frac{279\,726}{11\,005} = 25,41 \text{ let} \quad (7.2.1)$$

7.3 Návratnost investice (GEO 312C)

Návratnost vyjádříme jako podíl celkových nákladů (N_{ize}) a úspore za jeden rok ($Nu2$)

$$K2 = \frac{N_{ize}}{Nu2} = \frac{372\,830}{15\,377} = 24,25 \text{ let} \quad (7.2.2)$$

7.4 Zhodnocení

Průměrná životnost obou typů tepelných čerpadel stanovená výrobcem (firma IVT) je 20 let. U typu vzduch/voda návratnost investic přesahovala životnost o 5,41 let, u typu země/voda přesahovala návratnost investic životnost o 4,25 let. Lze proto oba typy čerpadel uvažovat jako neefektivní z hlediska finanční návratnosti.

Dlouhá doba návratnosti je zapříčiněna převážně vysokou pořizovací cenou obou tepelných čerpadel. A také faktem, že se dům částečně vytápí kachlovými kamny, která využívají levné palivo.

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo shromáždit základní informace o tepelných čerpadlech a provést zhodnocení efektivity určitých druhů tepelných čerpadel. V tomto případě jsem se zaměřil na typy vzduch/voda a země/voda.

Rešerši se věnuji první tři kapitoly. Rozebírá se hlavně vznik, princip fungování a popis různých druhů tepelných čerpadel.

Ve výpočtové části byla stanovena tepelná ztráta objektu a následně celková roční spotřeba energie na vytápění a ohřev TUV. Byly spočítány náklady na vytápění stávajícím systémem v modelovém domě a náklady na vytápění dvěma typy čerpadel. Při všech těchto výpočtech byly vzaty v potaz současné ceny energií. Dále byly spočítány náklady na pořízení tepelných čerpadel.

Na základě spočítaných údajů lze konstatovat, že u tepelného čerpadla IVT AIR X 90 (systém vzduch/voda) je celková návratnost 25,41 let a u tepelného čerpadla IVT GEO 312C (systém země/voda) je návratnost 24,25 let. V obou případech hodnota převyšuje průměrnou životnost stanovenou výrobcem čerpadel, která činí 20 let.

Daná informace mě přesvědčuje o neefektivnosti investice z finančního hlediska. Jediný důvod pro přechod na vytápění tepelným čerpadlem v modelovém domě by byl důvod ekologický.

Výsledky výpočtů mě vedou k názoru, že vhodnou variantou pro daný dům by byl přechod z kotle stacionárního na kotel kondenzační, jehož účinnost se pohybuje kolem 95%. A poslední úpravou, která by vedla ke snížení energetických ztrát, by bylo kompletní zateplení fasády domu.

Seznam použitých zdrojů

- [1] Historie a vývoj tepelných čerpadel v ČR a EU. *Www.asb-portal.cz* [online]. [cit. 2018-02-06]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/tzb/vytapeni/historie-avyvoj-tepelnych-cerpadel-vcr-aeu>
- [2] Vznik tepelného čerpadla. *Tc.blueteam.cz* [online]. [cit. 2018-02-06]. Dostupné z: <http://www.tc.blueteam.cz/historie-tepelneho-cerpadla.html>
- [3] Tepelná čerpadla. *Http://www.mpo-efekt.cz* [online]. [cit. 2018-02-05]. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/1185.pdf>
- [4] PAVELEK, Milan. *Termomechanika*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. s. 142. ISBN 978-80-214-4300-6.
- [5] Tepelná čerpadla země/voda - Zemní plošný kolektor. *Solarencvi* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.solarencvi.cz/a-46-tepelna-cerpadla-zeme-voda-zemni-plosny-kolektor.html>
- [6] Tepelná čerpadla země - voda. *MasterTherm* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.mastertherm.cz/tepelna-cerpadla-zeme-voda>
- [7] Tepelná čerpadla. *Oenergetice* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/teplarenstvi/tepelna-cerpadla/>
- [8] Typy tepelných čerpadel. *Cerpadla-ivt* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/typy-tepelnych-cerpadel>
- [9] KARLÍK, Robert. *Tepelné Čerpadlo pro váš dům*. První vydání. Praha : Grada Publishing, a.s., 2009. 112 s. ISBN 978-80-247-2720-2.
- [10] ŽERAVÍK, Antonín. *Stavíme tepelné čerpadlo: [návratnost i za jeden rok]*. 1. vyd. Přerov: Antonín Žeravík, 2003, 311 s. ISBN 80-239-0275-X.
- [11] Topný faktor tepelného čerpadla. *Kalkulačka energie* [online]. [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://kalkulackaenergie.com/topny-faktor-tepelneho-cerpadla/>
- [12] *Topný faktor COP - účinnost tepelného čerpadla: Abeceda čerpadel* [online]. [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://www.abeceda-cerpadel.cz/cz/topny-faktor-cop-ucinnost-tepelneho-cerpadla>
- [13] Chladiva používaná v tepelných čerpadlech. *Tzbinfo* [online]. [cit. 2018-02-15]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12647-chladiva-pouzivana-v-tepelnych-cerpadlech>

- [14] ČSN EN 14511 – Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru, soubor norem pro zkoušení tepelných čerpadel, ÚNMZ 2014.
- [15] Plynová absorpční tepelná čerpadla GAHP. *Robur: šetrný k prostředí* [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: http://www.robur.cz/spc_dwn.php?dl=fwdvn&d=6/&f=533.pdf&h=8a80028693&ns=1
- [16] Absorpční tepelná čerpadla BROAD. *Broad air conditioning* [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <http://www.broad.cz/broad2013/box7.php>
- [17] Ceník kotlů Destila od 1.9.2017. *DESTILA* [online]. 2017 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.destila.cz/media/cache/file/86/cenik-kotlu-od-192017.pdf>
- [18] *IVT: Tepelná čerpadla* [online]. 2018 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/>
- [19] Plynová absorpční tepelná čerpadla GAHP. *Robur* [online]. 2018 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: http://www.robur.cz/spc_dwn.php?dl=fwdvn&d=6/&f=533.pdf&h=8a80028693&ns=1
- [20] Výhřevnost dřeva. *Avydon* [online]. 2017 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.avydon.cz/vyhrevnost-dreva>
- [21] Tepelná čerpadla VZDUCH VODA. *Tezamo* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://tezamo.cz/tepelna-cerpadla-vzduch-voda>
- [22] Vyberáme tepelné čerpadlo. *Tzb-info* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/8295-vybirame-tepelne-cerpadlo>
- [23] Historie a vývoj tepelných čerpadel v ČR a EU. *Abs-portal* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/tzb/vytapani/historie-avyvoj-tepelnych-cerpadel-vcr-aeu>
- [24] Vytápění tepelným čerpadlem. *Ekomplex* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-alternativni/tepelna-cerpadla/zeme-voda.php>
- [25] Princíp činnosti kompresorového tepelného čerpadla. *Topstavebne* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://kurenje.topstavebne.sk/tipy/princip-cinnosti-kompresoroveho-tepelneho-cerpadla/>
- [26] Zjednodušený výťah z nové legislativy o chladičoch. *AllKlimaServis* [online]. 2014 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: [http://www.servis-klimatizace-vzduchotechnika.cz/all-klima-servis/files/vytah_z_narizeni_EP_a_Rady_\(EU\)_517_2014.pdf](http://www.servis-klimatizace-vzduchotechnika.cz/all-klima-servis/files/vytah_z_narizeni_EP_a_Rady_(EU)_517_2014.pdf)
- [27] Chladiča používané v tepelných čerpadlách. *Tzb-info* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://bit.ly/2s3kFbu>
- [28] Vrty do horninového masívu. *Tzb-info* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3658-vrty-do-horninoveho-masivu-zdroj-energie-pro-tepelna-cerpadla-iii>

[29] Geologie a tepelné vlastnosti hornin. VAK [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z:
http://www.vak.cz/soubory/tepelne%20vlastnosti%20hornin_havlik.pdf

Seznam použitých symbolů a zkratk

Qr	[kWh/rok]	Celková roční energie na vytápění a ohřev TUV
Eel	[kWh/rok]	Spotřeba elektrické energie
N	[Kč]	Roční náklady na vytápění
Nu	[Kč]	Úspora TČ za rok
Ni	[Kč]	Náklady na pořízení
K	[Rok]	Návratnost investic
ε	[-]	Topný faktor