



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Využití tepelného čerpadla pro zásobování teplem

Usage of a heat pump for heat supply

Bakalářská práce

Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**

Studijní obor: **Elektrotechnika a management**

Vedoucí práce: **Ing. Tomáš Králík**

Jméno studenta: **Lucie Pacholíková**

Praha 2016

Prohlášení:

„Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

V Praze dne 27. 5. 2016

.....
Lucie Pacholíková

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu této bakalářské práce panu Ing. Tomáši Králíkovi za poskytnuté rady a cenný čas, který mi věnoval a vedl přípravu této problematiky.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá výběrem vhodného zdroje vytápění pro rodinný dům. Základními informacemi jsou tepelné ztráty, které jsou zde vypočítány podle normy ČSN EN 12831 a srovnány s výsledky kalkulačky z webu tzb-info.cz. Je nutné znát spotřebu energie pro vytápění, která je spočítána pomocí kalkulačky pro potřebu tepla na vytápění a ohřev užitkové vody. V následné části porovnáme výhody a nevýhody různých zdrojů pro vytápění objektu. Z hodnot investičních a ročních nákladů porovnáme efektivnost investice, ze které poté vyjde vhodný zdroj pro vytápění objektu.

Klíčová slova

Tepelné čerpadlo, ČSN EN 12831, tepelné ztráty, tzb-info.cz

Abstract

The bachelor thesis is focused on an appropriate supplier for family house. Basic informations are heat loses, which are calculated according to standard ČSN EN 12831 and compared with output of calculator from tzb-info.cz web. It's necessary to know energy consumption for heating, which is calculated via calculator for the need of warm for heating and warming water supply. In the following part we compare advantages and disadvantages of variable sources for heating of building. From values of investment and annual costs we compare efficiency of investment and based on this we find an appropriate source for heating of building.

Keywords

Heat pump, ČSN EN 12831, heat loses, tzb-info.cz

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Pacholíkova Lucie**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Elektrotechnika a management

Název tématu:

Využití tepelného čerpadla pro zásobování teplem

Pokyny pro vypracování:

1. Princip a technické parametry různých typů tepelných čerpadel
2. Potřeba tepelné energie pro vybraný objekt
3. Optimalizace výkonu tepelného čerpadla
4. Ekonomické vyhodnocení

Seznam odborné literatury:

1. Freund P., Zeach S.J. & Seymour-Walker K.(1976): Heat pumps for use in building. BRE CP 19/76, Garston: BRE.
2. Karlík R.: Tepelné čerpadlo pro váš dům. 1. vydání, GRADA, Praha 2009.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Tomáš Králík

Platnost zadání: do konce letního semestru 2016/2017

L.S.

Prof.Ing. Jaroslav Knápek, CSc.

vedoucí katedry

Prof.Ing. Pavel Ripka, CSc.

děkan

V Praze dne 10.2.2016

Obsah

1.	Úvod.....	8
2.	Princip a technické parametry TČ.....	10
2.1.	Princip fungování tepelného čerpadla.....	10
2.2.	T-S diagram	11
2.3.	Komponenty tepelného čerpadla	12
2.3.1.	Elektrokotel.....	12
2.3.2.	Kompresor	12
2.3.3.	Výměník tepla - kondenzátor.....	12
2.3.4.	Expanzivní ventil.....	13
2.4.	Topný faktor	13
3.	Typy tepelných čerpadel	14
3.1.	Voda – Voda.....	14
3.2.	Vzduch – Vzduch	15
3.3.	Země – Voda	16
3.4.	Vzduch – Voda	17
4.	Výpočet tepelných ztrát objektu.....	18
4.1.	Popis objektu	18
4.2.	Výpočet tepelných ztrát	20
4.2.1.	Použité vzorce pro výpočet	21
	První patro	22
	Druhé patro.....	23
	Tepelná ztráta okny	23
	Ztráta stropem.....	23
	Tepelná ztráta větráním	23
	Tepelné zisky.....	24
4.2.2.	Celková tepelná ztráta objektu.....	24
4.3.	Tepelné ztráty podle kalkulačky z tzb-info.cz	25
4.4.	Porovnání výsledků	26
5.	Celková roční spotřeba tepla.....	27
6.	Výběr tepelného čerpadla pro daný objekt.....	29
6.1.	Výběr typu TČ	29

6.2.	Podrobný popis TČ vzduch-voda	29
6.2.1.	Venkovní kompaktní.....	29
6.2.2.	Vnitřní kompaktní.....	30
6.2.3.	Dělená konstrukce (split)	30
6.3.	Průzkum trhu	30
6.3.1.	IVAR – CS.....	31
6.3.2.	NIBE.....	32
6.3.3.	MasterTherm.....	33
6.4.	Závěr výběru tepelného čerpadla.....	34
7.	Ekonomické vyhodnocení.....	36
7.1.	Zdroje vytápění pro objekt.....	36
7.2.	Současná cena paliv.....	38
7.3.	Budoucí prognóza vývoje ceny paliv.....	41
7.3.1.	Budoucí vývoj cen uhlí	41
7.3.2.	Budoucí vývoj cen elektřiny	42
7.4.	Roční výdaje na vytápění.....	43
8.	Možné scénáře a jejich dopad na výdaje.....	45
8.1.	První scénář	46
8.2.	Druhý scénář.....	46
8.3.	Třetí scénář	47
8.4.	Citlivostní analýza	47
9.	Závěr	48
10.	Seznam použité literatury.....	49
11.	Použité zkratky.....	51
12.	Seznam příloh	52

1. Úvod

Dřívější hlavní zdroj vytápění pro domácnosti, a zároveň velmi neekologické spalování černého a hnědého uhlí, postupně nahrazují alternativní zdroje, mezi něž patří právě vytápění pomocí tepelného čerpadla. Z důvodu zvyšování cen elektřiny a plynu, a také kvůli budoucímu vyčerpání fosilních zdrojů, se zdá tento výběr jako nejvhodnější. Vstupní výdaje na výstavbu jsou vysoké, ty jsou ale kompenzovány nízkými provozními výdaji a možností dotací od Ministerstva životního prostředí. Díky vhodnému dimenzování tepelného čerpadla pro daný objekt ušetříme na ročních nákladech několik tisíc korun (v závislosti na parametrech objektu).

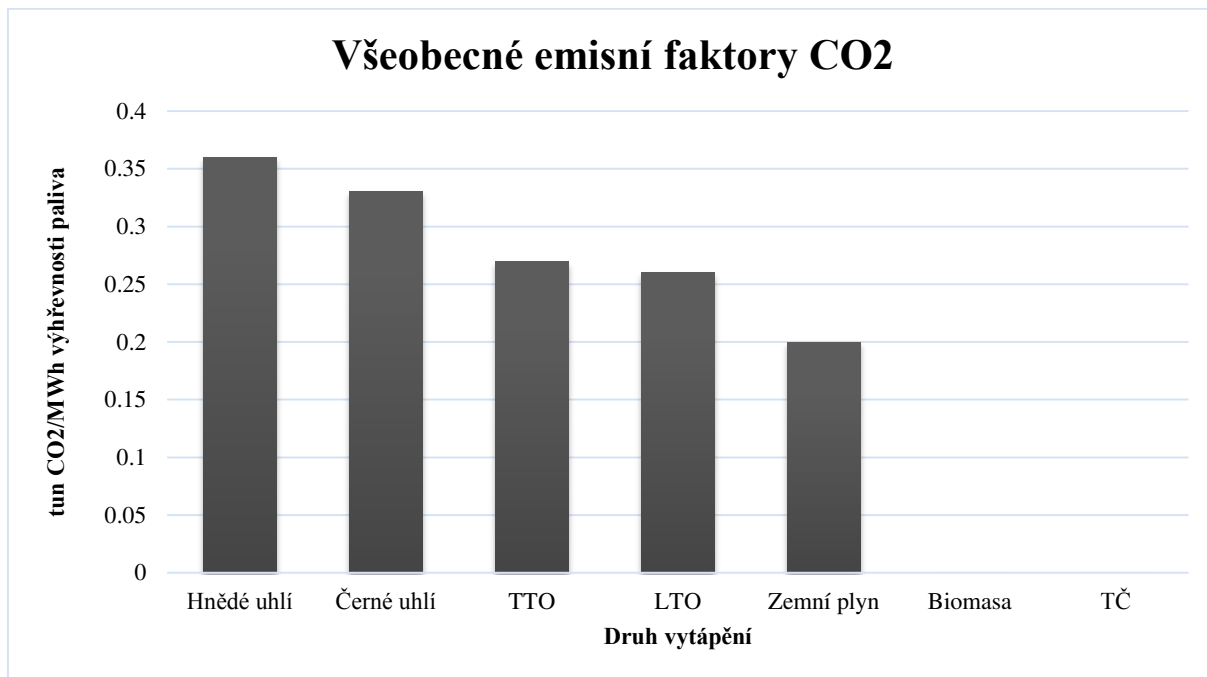
Velkou prioritou pro naše rozhodování, je volba zdroje vytápění, který nezatěžuje životní prostředí. Je jisté, že i pro výrobu elektřiny, kterou tepelné čerpadlo spotřebovává, je nutné využít paliva, která produkují odpad, tvorba odpadu není tak velká, jako při vytápění pomocí kotle na tuhá paliva. Do budoucna lze také očekávat vysoké poplatky za užívání fosilních paliv, proto je vhodná investice do ekologičtějších způsobů vytápění. Ministerstvo životního prostředí tento rok (r. 2015) spustilo již 3. kolo dotací pro rodinné domy s názvem Nová zelená úsporám. Cílem je podpořit občany k zateplení domů, výměny oken či k výměně stávajícího kotle za výhodnější a ekologičtější typ. Lze také využít kotlíkovou dotaci, která umožňuje výměnu kotle za ekologický typ nebo za tepelné čerpadlo.

Velká část montáží nových tepelných čerpadel je do nízkoenergetických novostaveb, kde se již při plánování projektu počítá s užitím tepelného čerpadla pro vytápění objektu, ohřev vody, případně i ochlazování objektu v letních měsících. Díky kvalitnímu zateplení lze dosáhnout průměrné ztráty v domě okolo 6 kW, což již nevyžaduje tak vysoký výkon, a velikost technického zázemí tepelného čerpadla zabírá jen malou část pozemku. Pokud se instaluje tepelné čerpadlo do staršího objektu, je vhodné zvážit zateplení domu, či výměnu oken a jiných stavebních úprav pro snížení tepelných úniků v domě.

Zákon č. 425/2004 Sb. popisuje všeobecné emisní faktory oxidu uhličitého [1]:

„Emisní faktory uhlíku uvádí množství uhlíku, respektive oxidu uhličitého, připadající na jednotku energie spáleného paliva.“

V následujícím grafu jsou uvedeny všeobecné emisní faktory oxidu uhličitého – kolik vyprodukovaných tun CO₂ na MWh výhřevnosti paliva. Vidíme, že TČ má nulové vyprodukované emise CO₂[2]. Pokud počítáme produkci CO₂ v koncovém odběrném místě (např. v rodinném domě), je nulová. Ale při výrobě elektřiny v elektrárně jsou vyprodukované emise, proto se toto číslo nedá považovat za konečně nulové.



GRAF 1 - VŠEOBECNÉ EMISNÍ FAKTORY CO₂ [2]

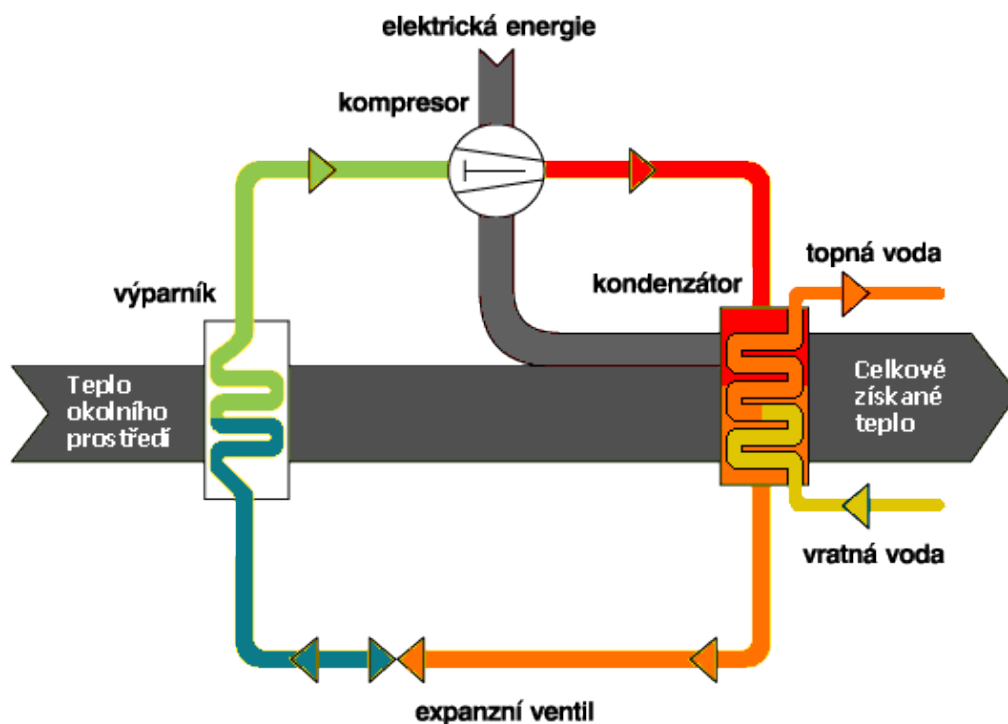
2. Princip a technické parametry TČ

Existuje několik typů tepelných čerpadel v různých kombinacích, jenž využívají vlastností základních elementů - voda, země, vzduch. Liší se způsobem předávání tepla, technologiemi a způsobem výstavby či zdrojem získávání tepla pro ohřev média. Princip volně převzat z uvedených zdrojů [3], [4], [5].

2.1. Princip fungování tepelného čerpadla

Na první pohled by se mohlo zdát, že tepelné čerpadlo je kotel, avšak princip funkce je založen na fungování obyčejné lednice, pouze žádoucím produktem není chlad, ale odpadové teplo, které se z lednice vypouští jako neúžitný prvek. Toto teplo dále zpracováváme pro vytápění našeho obydlí.

Princip fungování je velice prostý: tepelné čerpadlo získává teplo z okolí, teplo se předá médiu, pomocí kompresoru se médium dostává na vyšší tlakovou hladinu, kde jak je známo z termodynamického zákona - při vyšším tlaku stoupá teplota.

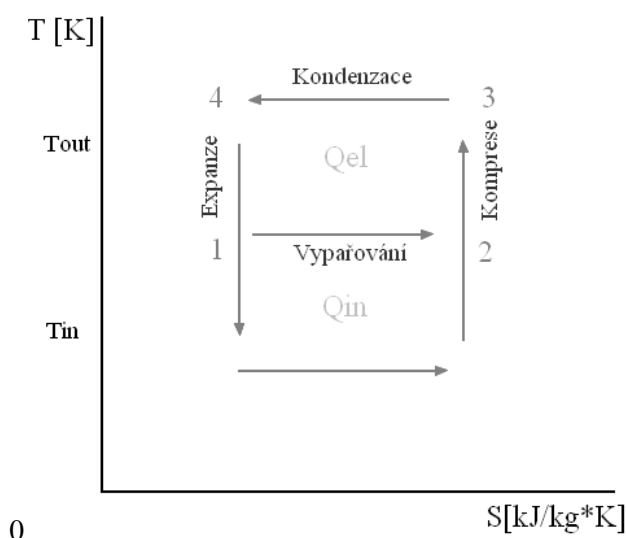


OBRÁZEK 1 - PRINCIP FUNGOVÁNÍ TČ[6]

Na obr. 1 je vidět zjednodušený princip funkce. Na primární straně se teplo dostává do oběhové soustavy z okolního prostředí pomocí výparníku. Nemrznoucí směs ohřátá okolním teplem se odvede do výparníku, kde se teplo předá chladivu kolujícímu v topné soustavě. Chladivo je ze speciální směsi, jehož nejdůležitější vlastností je nízký bod varu. Chladivo se ve výparníku vypaří a vzniklý plyn se prudce stlačí kompresorem, díky vyššímu tlaku stoupá teplota. Zahřáté chladivo se dostane do kondenzátoru, kde se teplo předá do topné soustavy pro vytápění objektu. Plynné chladivo se vlivem předání tepla změní na kapalné. Po odevzdání tepla do okolí kapalné chladivo propuťuje přes expanzivní ventil, kde se prudce ochladí, zpět do výparníku a celý proces může začít znovu.

2.2. T-S diagram

Pro lepší vysvětlení pracovního děje tepelného čerpadla nám poslouží T-S diagram (teplota – entropie) na grafu 2. Ten ukazuje tepelný oběh vodní páry, ve kterém je znázorněna energetická bilance oběhu. Diagram přejet z [7] a upraven.



GRAF 2 - T-S DIAGRAM [7]

kde	T	teplota,
	S	entropie,
	T_{in}	teplota zdroje tepla,
	T_{out}	teplota na výstupu,
	Q_{in}	energie získaná z okolí,
	Q_{el}	energie potřebná pro pohon kompresoru.

Pracovní cyklus:

- 1-2 izotermické vypařování (vypařování při konstantní teplotě),
- 2-3 adiabatická (izoentropická) komprese (při stálém tlaku),
- 3-4 izotermická kondenzace (kondenzace při stálé teplotě),
- 4-1 adiabatická (izoentropická) expanze (při stálém tlaku).

2.3. Komponenty tepelného čerpadla

Nejdůležitějšími součástmi tepelného čerpadla je kompresor, kondenzátor, výparník a expanzivní ventil.

Ke každému tepelnému čerpadlu je vhodné, pro stálé vytápění objektu, přidat i elektrokotel jako bivalentní zdroj. Např. u vytápění vzduch-voda, když okolní teplota klesne pod -5°C , se dostane pod bod bivalence a je nutné dodávat teplo pomocí elektrokotle.

2.3.1. Elektrokotel

Je velice nevýhodné dimenzovat tepelné čerpadlo na plné tepelné ztráty domu, a to z důvodu vysokých nákladů na provoz. Proto se provozují v bivalentním provozu, jinak zvaný jako záložní zdroj tepelné energie (elektrokotel, plynový kotel). Do určité venkovní teploty (TČ vzduch-voda cca -5°C) lze používat jen tepelné čerpadlo, ale pod bodem bivalence je výkon nedostačující, proto se zapojí elektrokotel a ten dodává chybějící tepelnou energii.

K tomuto složitějšímu způsobu vytápění je již zapotřebí inteligentního systému spínání, kde lze již libovolně nastavit spínání či zákaz používání bivalentního provozu.

2.3.2. Kompresor

Je základem tepelného čerpadla a slouží ke stlačování a oběhu chladiva v uzavřeném okruhu mezi dvěma výměníky tepla. V uzavřeném okruhu je zajištěná čistota chladiva a tím i životnost 15 a více let. Při chodu jsou nasáány páry chladiva a stlačovány na cca 2MPa. Problém je při použití obyčejné vody jako chladiva, její bod varu je vysoký a kompresor by nedokázal natolik stlačit vodu, aby se vypařila a postoupila dál do kondenzátoru. Proto se používají speciální chladiva s nižším bodem varu. Běžně používaná chladiva jsou stlačována na cca 2,6MPa, výstupní teplota okolo 55°C . Pokud chceme vyšší výstupní teplotu, jsou výdaje na výrobu kompresoru velice vysoké, jeho životnost se zkracuje a výdaje na provoz jsou vyšší.

2.3.3. Výměník tepla - kondenzátor

V kondenzátoru probíhá výměna mezi chladivem a médiem v topném systému, chladivo se poté ochladí a přes expanzivní ventil je převedena zpět do kapalného skupenství. Z důvodu častého kolísání tlaku z hodnot 0 až 2,5MPa je nutná konstrukční pevnost materiálu. V dnešní době jsou používány deskové výměníky tepla vyrobené z hliníku či mědi pro jejich mechanickou a chemickou odolnost, mají také nejvyšší tepelnou vodivost.

2.3.4. Expanzivní ventil

Jeho úkolem je regulace tlakového rozdílu mezi vysokotlakou (sekundární) a nízkotlakou (primární) částí oběhové soustavy tepelného systému. Usměrnjuje protékání chladiva z kondenzátoru, prudce ho ochladí a poté putuje zpět do výparníku, kde chladivo znovu přijímá teplo z okolního prostředí.

2.4. Topný faktor

Topný faktor, také jako Coefficient Of Performance (COP), je jeden z nejdůležitějších parametrů tepelného čerpadla, vyjadřuje poměr spotřebované elektřiny na produkci tepla.

$$TF = \frac{Q}{E} [-] \quad (1.)$$

kde	TF	[-]	topný faktor,
	Q	[J]	vyprodukované teplo do topného systému,
	E	[J]	energie dodaná pro pohon TČ.

Topný faktor se mění v závislosti na teplotě okolí. Nejstabilnější TF je u typu země-voda, kde je stálá teplota vody v hlubinném vrtu. Hodnota TF se dá lehce pozměnit pomocí vstupních a výstupních parametrů, výrobci tudíž uvedou takové parametry, které vytvoří ideální výsledek.

Velikost TF dimenzujeme na základě výpočtů tepelných ztrát, poté vybereme odpovídající TČ ale i celou otopnou soustavu. Pokud velikost TF předdimenzujeme, provoz zařízení bude velice nákladný.

3. Typy tepelných čerpadel

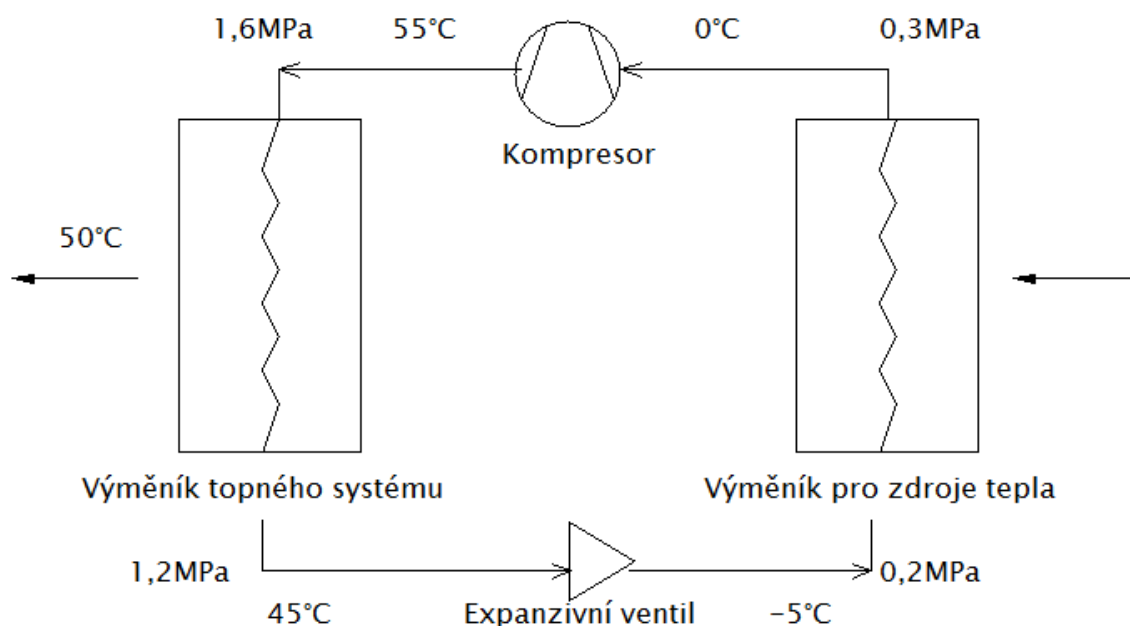
Poznanky v následující kapitole jsou volně přejaty z uvedených zdrojů [3], [7].

Tepelná čerpadla se rozdělují podle způsobu přijímání tepla z okolí a jeho následným předáváním do topné soustavy. Základní rozdělení typů je následující:

- voda – voda (vodní zdroj),
- vzduch – vzduch (okolní vzduch),
- země – voda (hlubinný vrt),
- vzduch – voda (okolní vzduch).

3.1. Voda – Voda

Zdrojem pro výměnu tepla je zde voda odebíraná z povrchového nebo podzemního vodního zdroje. Tento typ čerpadla má nejvyšší topný faktor, ale pro realizaci jsou nutné vhodné podmínky, těchto lokalit je však málo. Podzemní voda poskytuje celoročně stálou teplotu kolem 10°C. Před výstavbou TČ je nutné provést testování vodního zdroje (pramene), nutná je vydatnost alespoň 0,5l/s a příslušné geologické podmínky. Nevýhodou jsou vyšší pořizovací výdaje a pravidelná výměna filtrů výměníku, z důvodu usazování minerálů a případného ucpání a zničení techniky, což by poté vedlo k mnohem vyšším výdajům na opravu. Voda je používána jako topné médium již od primárního okruhu, tudíž je potřeba použití nemrznoucí směsi. Sekundární strana je přiváděna do topného systému (např. radiátory, podlahové topení). Princip uveden na obrázku 2.

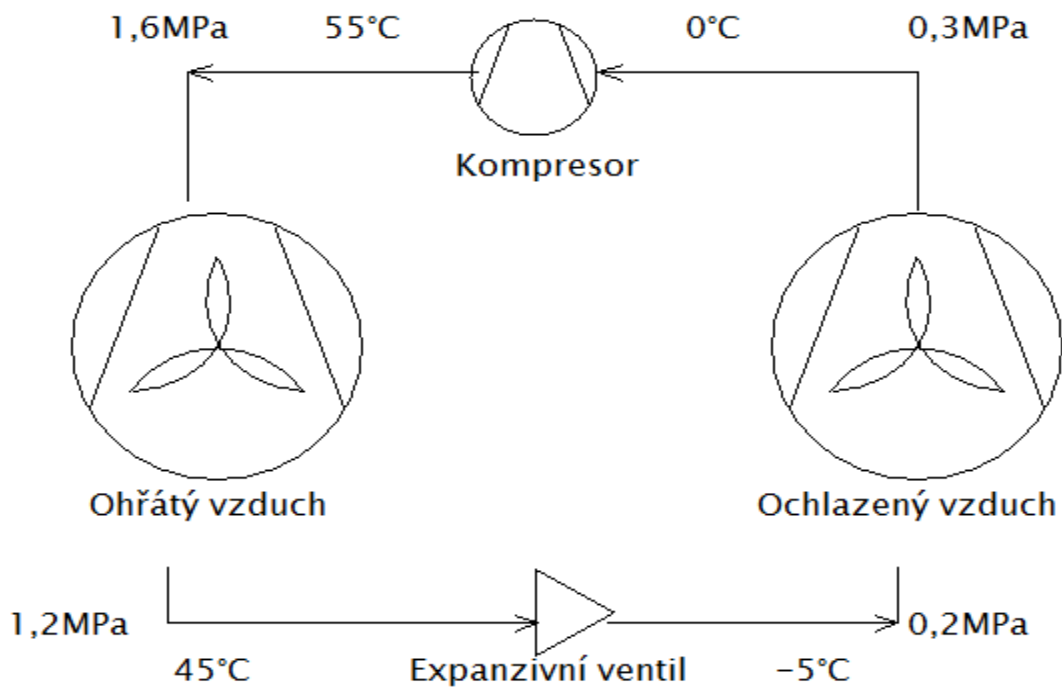


OBRÁZEK 2 - TČ VODA-VODA

3.2. Vzduch – Vzduch

Tento typ čerpadla, kde je jako primární médium využíván vzduch, se využívají spíše k vytápění jednotlivých místností nebo sezónních objektů, jako jsou chaty. Topný faktor je nízký, ale malé rozměry dovolují použití v místnosti, mohou sloužit k vytápění např. bazénových hal.

TČ může být umístěno např. na střeše domu, kde odebírá okolní vzduch. Účinnost je maximálně do -15°C , ale už při -5°C se snižuje topný faktor. Okolní vzduch lze filtrovat, dezinfikovat a upravovat jeho vlhkost – poté funguje jako klimatizační jednotka. Princip uveden na obrázku 3.

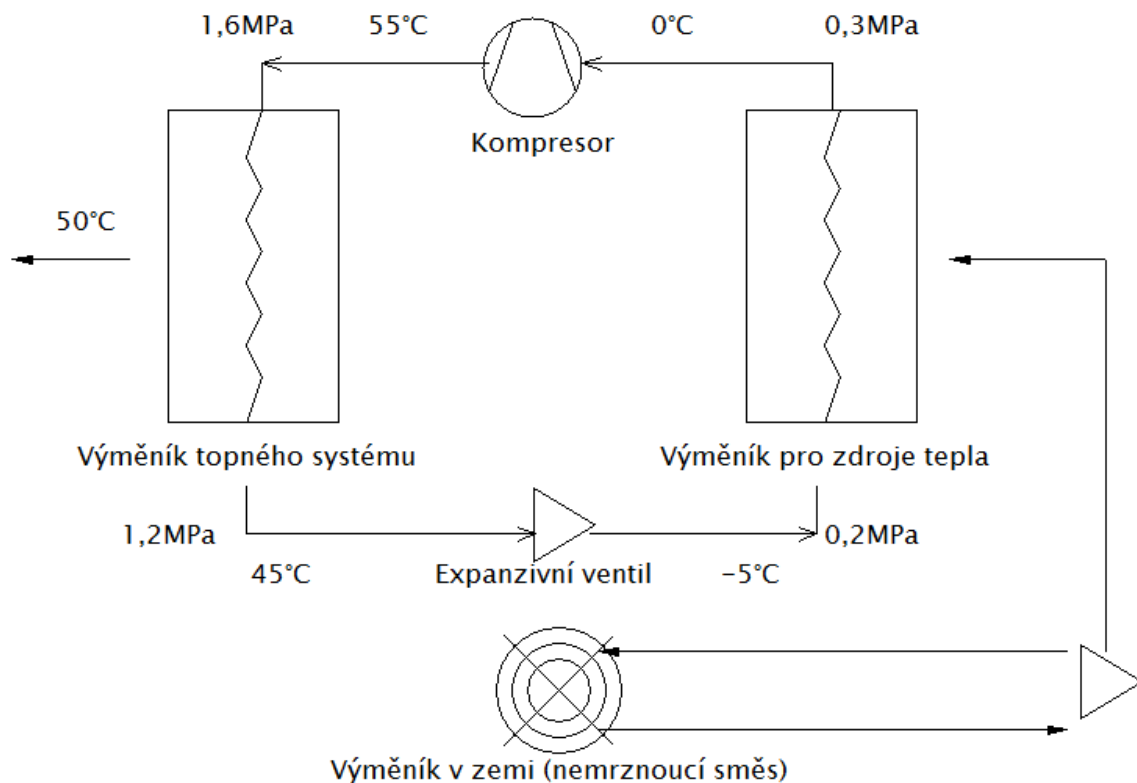


OBRÁZEK 3 - TČ VZDUCH-VZDUCH

3.3. Země – Voda

Typ země - voda patří mezi nejspolehlivější díky stabilní teplotě v hlubinném vrtu. Stejně jako u typu voda - voda je zapotřebí zemních prací, ale zde se můžeme rozhodnout mezi geotermálním vrtem (vertikální kolektor) nebo zemním kolektorem (horizontální kolektor). Musí být k tomu ale vhodné geologické podmínky, proto je nutné před výstavbou vypracovat příslušné studie. Jeho velkou výhodou je celoroční využití (viz. níže), stabilita a dlouhá životnost. Úspora oproti tradičnímu topnému systému je až 70%. Lze využít i v průběhu léta pro ohřev užitkové vody nebo chlazení objektu.

Výdaje na výstavbu jsou vyšší než u ostatních, ty ale kompenzují výhody tohoto typu TČ. Poskytuje stabilní výkon a topný faktor, i pokud teploty klesnou do bodů mrazu. Má nižší spotřebu elektrické energie než ostatní tepelná čerpadla. Nevýhodou plošného kolektoru je velká nezastavěná plocha pro jeho vybudování. Princip uveden na obrázku 4.



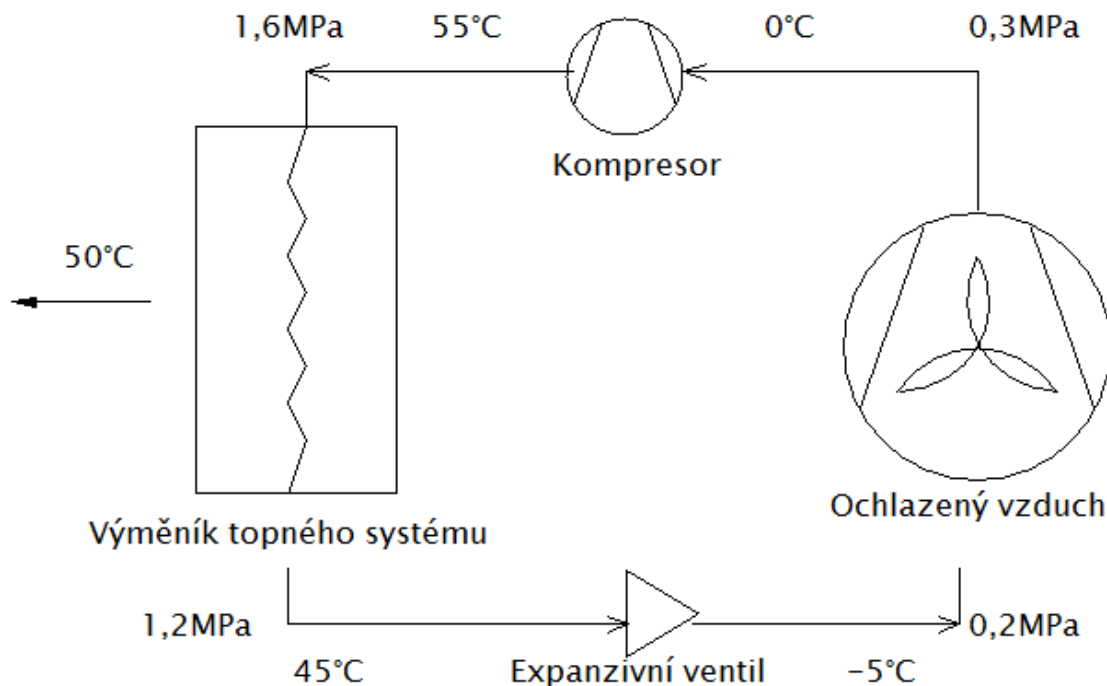
OBRÁZEK 4 - TČ ZEMĚ-VODA

3.4. Vzduch – Voda

Velkou výhodou je snadná instalace a použití ve všech možných podmínkách. Protože nemusíme hloubit vrt jako je u typu voda – voda nebo země-voda, pořizovací cena se sníží. Výkon TČ je dán teplotou okolního vzduchu, do bodu bivalence se dostává okolo -5°C , proto je nutné mít další zdroj tepla, např. elektrokotel nebo plyn, aby se dosáhlo v objektu požadované teploty.

Pro tento typ čerpadla je nutná technická místnost uvnitř objektu, kde bude napojení na radiátorové trubky pro rozvod tepla do domu a případně umístěna řídicí jednotka. Primární vzduchovou část je nutné umístit ven pro přívod okolního vzduchu, na trhu jsou také TČ s umístěním primární části uvnitř objektu, ale zde se musí vyřešit potrubním systémem přívod a odvod vzduchu. Primární část nasává okolní vzduch – s tím je spojena hlučnost. Proto se doporučuje umisťovat venkovní jednotku na místo, kde hlučnost nebude příliš vadit, např. střecha nebo dvorek. Kvalitní TČ mají ve vzdálenosti 5 metrů hlučnost cca 40 dB, což lze přirovnat k normálnímu hovoru.

Primární okruh je vzduchový a pro rozvod v sekundárním okruhu je použita voda. Díky přímému ohřevu lze teplou vodu využít i ve vodovodu nebo v bazénu. Princip uveden na obrázku 5.



OBRÁZEK 5 - TČ VZDUCH-VODA

4. Výpočet tepelných ztrát objektu

Abychom správně dimenzovali tepelné čerpadlo, je nutné znát tepelné ztráty objektu. Podrobným popisem budovy, jaké materiály se pro výstavbu stěn a zateplení použily, rozměry a materiály oken a samozřejmě velikost objektu a rozměry místností, kde jsou ochlazované stěny, či dotyk s půdou aj. Tepelné ztráty následujícího objektu vypočítáme podle zjednodušeného přepisu technické normy ČSN EN 12831.

4.1. Popis objektu

Analyzovaný objekt – dvoupatrový rodinný dům přestavený v roce 1980 z původní opukové stodoly. Leží v okrese Rakovník, kraj Středočeský, nadmořská výška obce 398 m. Podle Českého hydrometeorologického ústavu [8] se průměrné teploty pro Středočeský kraj za rok 2014 liší od dlouhodobého normálu o celé 2°C. Začátek hranice pro vytápění domu budeme uvažovat, když venkovní teplota klesne na cca 10°C, to je období měsíců říjen až duben, celkem 212 dnů topné sezony. Průměrná venkovní teplota pro toto období je 5,82°C. Pokud ale spočítáme průměrné teploty těchto měsíců pro rok 2004, dostaneme 3,41°C, zde je pak vidět nárůst průměrné roční teploty.

Kraj		Měsíc												Rok
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	
Česká republika	T	0,5	2,1	6,2	9,8	12,1	16,0	19,2	15,7	14,1	10,0	6,0	1,6	9,4
	N	-2,8	-1,1	2,5	7,3	12,3	15,5	16,9	16,4	12,8	8,0	2,7	-1,0	7,5
	O	3,3	3,2	3,7	2,5	-0,2	0,5	2,3	-0,7	1,3	2,0	3,3	2,6	1,9
Praha a Středočeský	T	1,1	2,7	6,9	10,6	12,6	16,7	20,1	16,6	14,7	10,6	6,4	2,5	10,2
	N	-2,0	-0,4	3,4	8,1	13,0	16,3	17,8	17,2	13,6	8,6	3,3	-0,2	8,2
	O	3,1	3,1	3,5	2,5	-0,4	0,4	2,3	-0,6	1,1	2,0	3,1	2,7	2,0

TABULKA 1 - PRŮMĚRNÉ TEPLoty 2014 [8]

kde T [°C] teplota vzduchu,
 N [°C] dlouhodobý normál teploty vzduchu 1961-1990,
 O [°C] odchylka od normálu.

Dříve se pro výpočet tepelné ztráty používala norma ČSN 06 0210¹ z roku 1994, kde jsou také uvedeny výpočtové venkovní teploty pro všechny oblasti České republiky. I přesto, že náš objekt leží v Rakovnickém okrese, jeho poloha a nadmořská výška se více blíží k městu Kladno. Následující údaje jsou převzaty z tabulky rozdělení dle lokalit [9].

Lokalita	Nadmořská výška [m]	Venkovní výpočtová teplota [°C]
Kladno (Lány)	380	-15

TABULKA 2 - VÝPOČTOVÁ VENKOVNÍ TEPLota [8]

¹ Norma byla roku 2008 zrušena. Zrušenou normu nahrazuje nová evropská norma ČSN EN 12831z roku 2003.

Budova je přestavěná stodola - dolní patro je z původního opukového materiálu, součinitel tepelné vodivosti $\lambda_{uopuka}=1,583[\text{W/mK}]$ (bez izolace), nástavba druhého patra je zdivo z pálených cihel o rozměrech 290x140x65mm, součinitel tepelné vodivosti $\lambda_{ucihla}=0,78[\text{W/mK}]$ (bez izolace). Celý objekt je zateplen kamennou izolací Isover NF 333 100mm, jehož součinitel tepelné vodivosti je $\lambda_{uizolace}=0,041 [\text{W/mK}]$. Omítnut vápennou omítkou $\lambda_{uomítka}=0,88 [\text{W/mK}]$. Tloušťka stěn dolního patra je 90 cm, horní patro 50 cm. Půdorys, umístění místností a počet oken je u obou pater totožné. Objekt je v chráněné nevětrné oblasti obklopen ostatními domy a stromy.

V objektu se nachází předdimenzovaná radiátorová soustava pro teplotu topné vody až 75°C. Pokud budeme chtít instalovat do objektu tepelné čerpadlo, platí, že čím nižší teplotu topné vody máme, tím ekonomičtější provoz je. Tzn., čím větší radiátory jsou, tím lépe vytopí místnost. Díky tomu, že je soustava předdimenzovaná, odpadá problém s případnou výměnou radiátorů, která je finančně velice náročná.

Základní soupis parametrů objektu

Počet pater	2
1. patro	96,3 m ²
Tloušťka stěn 1. patro	0,9 m
2. patro	96,3 m ²
Tloušťka stěn 2. patro	0,5 m
Výška stěn	3,2 m
Obvodová plocha stěn	282,77 m ²
Výpočtová venkovní teplota (dle ČSN 06 0210)	-15 °C
Průměrná vnitřní teplota objektu	22 °C

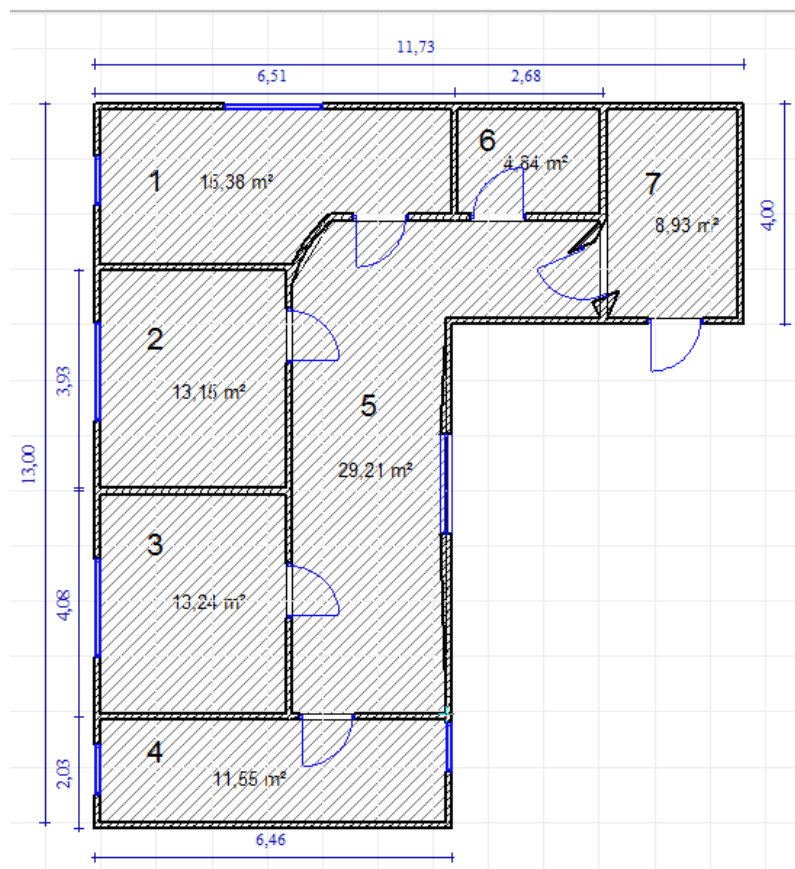
TABULKA 3- ZÁKLADNÍ PARAMETRY

4.2. Výpočet tepelných ztrát

Abychom se přiblížili co nejvíce ke skutečným ztrátám objektu, musíme pro každou místnost zvlášť vypočítat tepelné ztráty. Na obrázku 6 je zobrazen půdorys a rozmístění místností, který je pro obě patra totožný. V tabulce 4 je soupis místností a rozměry oken v nich umístěných.

Číslo místnosti	Plocha [m ²]	Objem [m ³]	Okna [m]
1	15,38	49,22	1,5x0,95m 0,95x1,2m
2	13,15	42,08	1,5x0,95m
3	13,24	42,37	1,5x0,95m
4	11,55	36,96	0,95x1,2m 0,95x1,2m
5	29,21	93,47	1,5x0,95m
6	4,84	15,49	bez oken
7	8,93	28,58	bez oken

TABULKA 4 - ROZPIS MÍSTNOSTÍ



OBRÁZEK 6 - HORNÍ/DOLNÍ PATRO

4.2.1. Použité vzorce pro výpočet

Následující postup výpočtu je zjednodušená forma dle normy ČSN EN 12831 [9].

$$R_t = R_{si} + \sum R_j + R_{se} \quad (2.)$$

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j} \quad (3.)$$

$$U_k = R_t^{-1} \quad (4.)$$

kde	θ_{int}	[°C]	Vnitřní výpočtová teplota (interiérová) = 20°C,
	θ_{ext}	[°C]	Venkovní výpočtová teplota (exteriérová) = -15°C,
	θ_g	[°C]	Výpočtová teplota přilehlé zeminy = -3°C,
	θ_{me}	[°C]	Průměrná roční teplota = 6°C,
	θ_j	[°C]	Průměrná teplota pod střechou = 7°C,
	A_k	[m ²]	Plochy přilehlých konstrukcí,
	R_t	[m ² *K/W]	Tepelný odpor konstrukce celkový,
	R_j	[m ² *K/W]	Tepelný odpor materiálu,
	R_{si}	[m ² *K/W]	Tepelný odpor přestupu tepla z int do konst. = 0,13,
	R_{se}	[m ² *K/W]	Tep. odpor přestupu tepla z konst. do ext. = 0,04,
	d_j	[m]	Tloušťka materiálu,
	λ_j	[W/m*K]	Výpočtová tepelná vodivost materiálu,
	U_k	[W/m ² *K]	Součinitel prostupu tepla.

$$\Phi = (H_{t,ie} + H_{t,ig} + H_{t,ij}) * (\theta_{int} - \theta_{ext}) \quad (5.)$$

$$H_{t,ie} = \sum A_k * U_k * e_k \quad (6.)$$

$$H_{t,ig} = f_{g1} * f_{g2} * (\sum A_k * U_k) * G_w \quad (7.)$$

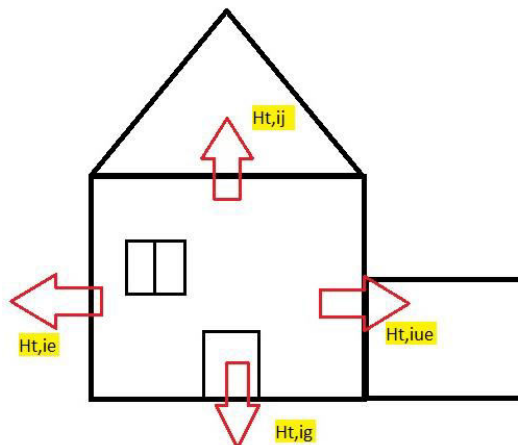
$$f_{g2} = \frac{\theta_{int} - \theta_{me}}{\theta_{int} - \theta_{ext}} \quad (8.)$$

$$H_{t,ij} = \sum A_k * b_{ij} * U_k \quad (9.)$$

$$b_{ij} = \frac{\theta_{int} - \theta_j}{\theta_{int} - \theta_{ext}} \quad (10.)$$

kde	Φ_i	[W]	Celkové tepelné ztráty prostupem konstrukcí,
	$H_{t,ie}$	[W/K]	Tepelná ztráta venkovní stěny,
	$H_{t,ig}$	[W/K]	Tepelná ztráta přes podlahou s kontaktem se zemí,
	$H_{t,ij}$	[W/K]	Tep. ztráta do sousedního nevytápěného prostoru,
	e_k	[-]	Korekční činitel klimatických jevů = 1,0,
	f_{g1}	[-]	Korekční činitel ročního kolísání teploty = 1,45,
	f_{g2}	[-]	Redukce teploty,
	G_w	[-]	Zohledňuje spodní vody, >1m pod podlahou = 1,0,
	b_{ij}	[-]	Činitel rozdílu teplot mezi místnostmi.

Na obr. 7 je znázorněn prostup tepla do exteriéru, nevytápěného interiéru, do země a do střechy.



OBRÁZEK 7 - SMĚRY TEPELNÝCH ZTRÁT OBJEKTU

První patro

1. patro	Tepelná ztráta venkovní stěny			Tepelná ztráta přes podlahu s kontaktem se zemí					
	$H_{t,ie}$ [W/K]	A_{kie} [m ²]	U_k [W/m ² *K]	$H_{t,ig}$ [W/K]	A_{kig} [m ²]	U_k [W/m ² *K]	f_{g1} [-]	f_{g2} [-]	
Místnost	1	9,76	30,30	0,32	3,66	15,38	0,41	1,45	0,40
	2	4,05	12,58	0,32	3,13	13,15	0,41	1,45	0,40
	3	4,20	13,06	0,32	3,15	13,24	0,41	1,45	0,40
	4	10,84	33,66	0,32	2,75	11,55	0,41	1,45	0,40
	5	9,94	30,88	0,32	6,95	29,21	0,41	1,45	0,40
	6	2,76	8,58	0,32	1,15	4,84	0,41	1,45	0,40
	7	9,36	29,06	0,32	2,12	8,93	0,41	1,45	0,40
Celkem	50,91	158,11		22,90	96,30				

TABULKA 5 - TEPELNÉ ZTRÁTY 1. PATRO

$$\Phi_{i1} = (H_{t,ie} + H_{t,ig}) * (\theta_{int} - \theta_{ext}) = 2583,42 \text{ W} \quad (11.)$$

Druhé patro

2. patro		Tepelná ztráta venkovní stěny			Tepelná ztráta do střechy		
		$H_{t,ie}$ [W/K]	A_{kie} [m ²]	U_k [W/m ² *K]	$H_{t,ij}$ [W/K]	A_{kij} [m ²]	b_{ij} [-]
Místnost	1	9,33	30,30	0,31	1,91	15,38	0,41
	2	3,87	12,58	0,31	1,64	13,15	0,41
	3	4,02	13,06	0,31	1,65	13,24	0,41
	4	10,37	33,66	0,31	1,44	11,55	0,41
	5	9,51	30,88	0,31	3,63	29,21	0,41
	6	2,64	8,58	0,31	0,60	4,84	0,41
	7	8,95	29,06	0,31	1,11	8,93	0,41
Celkem		48,70	158,11		11,97	96,30	

TABULKA 6 - TEPELNÉ ZTRÁTY 2. PATRO

$$\Phi_{i2} = (H_{t,ie} + H_{t,ij}) * (\theta_{int} - \theta_{ext}) = 2123,49 \text{ W} \quad (12.)$$

Tepelná ztráta okny

Mezi velkou část tepelných ztrát patří i únik tepla okny, proto je nutné je ve výpočtu nezanedbat. V objektu máme dva druhy oken o rozměrech (1500x950 mm) po 8 kusech a (950x1200mm) po 6 kusech, tloušťka $d = 70$ mm. Okno je s dvojitým sklem, s pokovením a dutinou plněnou argonem, tepelný součinitel $\lambda_{argon}=0,016$ [W/mK]. Pro zjednodušený výpočet tepelných ztrát okny použijeme následující vzorec:

$$\Phi_{okny} = \sum P_{j,okno} = \lambda_{argon} * \frac{S * \Delta t}{d} \quad (13.)$$

$$\Phi_{okny} = 1459 \text{ W} \quad (14.)$$

Ztráta stropem

Veliká část tepelných úniků prochází stropem (střechou), který je nezateplený. Jeho tepelný součinitel je $\lambda_{strop}=1,4$ [W/mK]. Výpočet provedeme podle následujícího vzorce:

$$\Phi_{strop} = (\sum Ak * b_{ij} * U_k) * (\theta_{int} - \theta_{ext}) = 3682 \text{ W} \quad (15.)$$

Tepelná ztráta větráním

Důležitou součástí správného vytápění domu je větrání. Jeho nevýhodou jsou tepelné ztráty unikající otevřenými okny. Pro výpočet je použit vzorec:

$$\Phi_{větrání} = \frac{V}{3600} * \rho * c * (\theta_{int} - \theta_{ext}) = 2903 \text{ W} \quad (16.)$$

kde V objem průtoku vzduchu = 616 m³,
 ρ hustota vzduchu = 1,2 kg/ m³,
 c měrná tepelná kapacita = 1010 kJ/kg*K.

Tepelné zisky

Protože je objekt stále obývaný, je nutné zahrnout i tepelné zisky od spotřebičů a osob v domě. Do tepelných zisků započítáváme i sluneční svit, který působí na obálku budovy a objekt ohřívá. U starších budov, např. postavené z opuky, se můžeme setkat s tepelnou setrvačností. O letních dnech s vysokými teplotami se budova zahřeje, a poté, i když venkovní teplota klesne, postupně uvolňuje teplo, které ohřívá místnosti uvnitř. Měřením hodnot v terénu a jejich následným výpočtem pomocí počítačového programu získáme hodnoty tepelných zisků, které se mohou pohybovat od pár desítek W až k několika kW. Bohužel je tato činnost velice finančně i časově náročná, podle expertního odhadu budeme uvažovat přibližnou teoretickou hodnotu:

$$\Phi_{zisk} = 1000 \text{ W} \quad (17.)$$

4.2.2. Celková tepelná ztráta objektu

Pokud sečteme tepelnou ztrátu každého patra, stropu, oken, větráním a tepelné zisky, získáme celkovou tepelnou ztrátu objektu Φ :

$$\Phi = \Phi_{i1} + \Phi_{i2} + \Phi_{okny} + \Phi_{strop} + \Phi_{větrání} - \Phi_{zisk} = 11750 \text{ W} \quad (18.)$$

4.3. Tepelné ztráty podle kalkulačky z tzb-info.cz

Server tzb-info.cz nabízí zjednodušenou kalkulačku [10] pro výpočet tepelných ztrát budov. Výpočet je nastaven pro dotační program Zelená úsporám z roku 2009, dostaneme tedy porovnání výsledných hodnot pomocí normy ČSN EN 12831 a použitého postupu pro dotační program Zelená úsporám. Průběh výpočtu je velice podobný, liší se pouze v určitých hodnotách. První odlišnost je venkovní navrhovaná teplota pro lokalitu Kladno, liší se o 1°C, jak je vidět na obrázku 8. Další zadávané hodnoty jsou rozměry objektu a vnitřní teplota, hodnoty důležité pro další výpočet.

Město / obec / lokalita	Kladno
Venkovní návrhová teplota v zimním období θ_e	-14 °C
Délka otopného období d	243 dní
Průměrná venkovní teplota v otopném období θ_{em}	4 °C

OBRÁZEK 8 - LOKALITA OBJEKTU

Převažující vnitřní teplota v otopném období θ_{in} obvyklá teplota v interiéru se uvažuje 20 °C	20 °C
Objem budovy V vnější objem vytápěné zóny budovy, nezahnuje nevytápěné podkrovní, garáž, sklepy, lodžie, římsy, atiky a základy	616 m ³
Celková plocha A součet vnějších ploch ochlazovaných konstrukcí ohraničujících objem budovy (automaticky, z níže zadaných konstrukcí)	528.72 m ²
Celková podlahová plocha A_g podlahová plocha všech podlaží budovy vymezená vnitřním lícem obvodových stěn (bez neobyvatelných sklepů a oddělených nevytápěných prostor)	192.4 m ²
Objemový faktor tvaru budovy A / V	0.86 m ⁻¹
Trvalý tepelný zisk H_+ Obvyklý tepelný zisk zahrnuje teplo od spotřebičů (cca 100 W/obyt), teplo od lidí (70 W/os.) apod.	380 W
Solární tepelné zisky H_{s+} <input type="radio"/> Použít velice přibližný výpočet dle vyhlášky č. 291/2001 Sb <input checked="" type="radio"/> Zadati vlastní hodnotu vypočtenou ve specializovaném programu	1663 kWh / rok

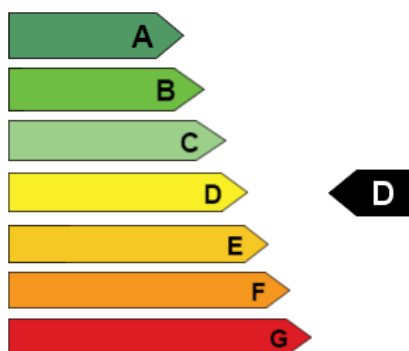
OBRÁZEK 9 - CHARAKTERISTIKA OBJEKTU[10]

Nutné je zadat plochu a součinitel prostupu tepla stěn, oken, podlahy a stropu, které jsou ochlazované (obr. 10).

Konstrukce	Součinitel prostupu tepla před zateplením U_i [W/m ² K]	Tloušťka zateplení d [mm] / nová okna U_i [W/m ² K]	Plocha A_i [m ²]	Činitel teplotní redukce b_i [-]		Měrná ztráta prostupem tepla $H_{Ti} = A_i \cdot U_i \cdot b_i$ [W/K]	
				Před úpravami	Po úpravách	Před úpravami	Po úpravách
Stěna 1	0.32		158.11	1.00	1.00	50.6	50.6
Stěna 2	0.31		158.11	1.00	1.00	49	49
Podlaha na terénu	0.41		96.3	0.40	0.40	15.8	15.8
Podlaha nad sklepem (sklep je celý pod terémem)				0.45	0.45	0	0
Podlaha nad sklepem (sklep částečně nad terémem)				0.65	0.65	0	0
Střecha	1.4		96.2	1.00	1.00	134.7	134.7
Strop pod půdou				0.80	0.95	0	0
Okna - typ 1	2.35		18	1.00	1.00	42.3	42.3
Okna - typ 2				1.00	1.00	0	0
Vstupní dveře	3.5		2	1.00	1.00	7	7
Jiná konstrukce - typ 1				1.00	1.00	0	0
Jiná konstrukce - typ 2				1.00	1.00	0	0

OBRÁZEK 10 - OCHLAZOVANÉ KONSTRUKCE OBJEKTU[10]

Po vyhodnocení výsledků dostáváme energetický štítek budovy a tepelné ztráty každou částí konstrukce. Celkové tepelné ztráty jsou 13 564 W.



OBRÁZEK 11 - ENERGETICKÝ ŠTÍTEK BUDOVI[10]

Typ konstrukce (větrání)	Tepelná ztráta [W]
Obvodový plášť	3 387
Podlaha	537
Střecha	4 579
Okna, dveře	1 676
Jiné konstrukce	0
Tepelné mosty	360
Větrání	3 025
--- Celkem ---	13 564

OBRÁZEK 12 - TEPELNÉ ZTRÁTY JEDNOTLIVÝMI KONSTRUKCEMI[10]

4.4. Porovnání výsledků

Konečné tepelné ztráty vypočítané různými metodami se liší asi o 1,8 kW, rozdíl způsobily jiné hodnoty teploty, které nelze na začátku výpočtu uzpůsobit podle vlastního, a jiné faktory úniků. Hodnota se pohybuje okolo reálné výše tepelných ztrát. Staré domy, i když jsou zateplené, budou mít tepelné ztráty více jak 10 kW, oproti pasivním domům ztráta o více jak půlku větší, pasivní domy mohou mít i 5kW.

5. Celková roční spotřeba tepla

Výpočet roční spotřeba tepla ukazuje množství energie potřebné pro vytápění objektu a ohřev užitkové vody [11]:

$$Q_r = Q_{vyt,r} + Q_{tuv,r} \quad (19.)$$

$$Q_{vyt,r} = \frac{\varepsilon}{\eta} * \frac{24 * Q_c * D}{t_{is} - t_e} * 3,6 * 10^{-3} \quad (20.)$$

$$D = d * (t_{is} - t_{em}) \quad (21.)$$

$$Q_{tuv,d} = (1 + z) * \frac{\rho * c * V_{2p} * (t_2 - t_1)}{3600} \quad (22.)$$

$$Q_{tuv,r} = Q_{tuv,d} * d + 0,8 * Q_{tuv,d} * \frac{t_2 - t_{sv1}}{t_2 - t_{sv2}} * (N - d) * 10^{-3} \quad (23.)$$

kde	Q_r	[Wh/rok]	Roční spotřeba tepla,
	$Q_{vyt,r}$	[MWh/rok]	Roční spotřeba tepla pro vytápění,
	$Q_{tuv,d}$	[Wh/den]	Denní spotřeba tepla pro ohřev TUV,
	$Q_{tuv,r}$	[MWh/rok]	Roční spotřeba tepla pro ohřev TUV,
	D	[K*dny]	Denostupeň ,
	d	[dní]	Počet topných dnů = 212,
	t_{is}	[°C]	Průměrná vnitřní výpočtová teplota = 20°C,
	t_e	[°C]	Venkovní výpočtová teplota = -15°C,
	t_{em}	[°C]	Sř. teplota zač./kon. topné období = 12°C,
	ε	[-]	Opravný součinitel = 0,765,
	η	[-]	Účinnost obsluhy a rozvodu = 0,855,
	Q_c	[kW]	Tepelná ztráta objektu = 11,75 kW,
	z	[-]	Koeficient energetických ztrát = 0,8,
	ρ	[kg/m ³]	Měrná hmotnost vody = 1000 kg/m ³ ,
	c	[J/kg*K]	Měrná tepelná kapacita vody = 4186 J/kg*K,
	V_{2p}	[m ³ /den]	Spotřeba teplé vody za den = 0,3 m ³ /den,
	t_1	[°C]	Teplota studené vody = 10°C,
	t_2	[°C]	Teplota teplé vody = 55°C,
	t_{sv1}	[°C]	Teplota studené vody v létě = 15°C,
	t_{sv2}	[°C]	Teplota studené vody v zimě = 5°C,
	N	[dní]	Počet pracovních dní soustavy = 350.

Roční spotřeba tepla pro vytápění

Celková roční spotřeba objektu při tepelných ztrátách 11,75 kW a 212 topných dnů.

$$Q_{vyt,r} = 21,3 \text{ MWh/rok}$$

Roční spotřeba tepla pro ohřev TUV

Denní spotřeba energie na ohřev vody o denní spotřebě 0,3 m³ je 28,255 kWh. Pro roční spotřebu je nutné dodat tuto hodnotu energie:

$$Q_{tuv,r} = 7,4 \text{ MWh /rok}$$

Celková roční spotřeba energie

$$Q_r = Q_{vyt,r} + Q_{tuv,r} = 28,7 \text{ MWh/rok}$$

Celková roční spotřeba energie je cca 28,7 MWh, resp. 103 GJ.

6. Výběr tepelného čerpadla pro daný objekt

V následující části krok po kroku vybereme podle tepelných ztrát a potřeby energie pro vytápění ideální typ tepelného čerpadla. Budeme uvažovat finanční a prostorové možnosti, ale i výběr podle vlastních požadavků na náročnost a technické prostředky daného zařízení.

6.1. Výběr typu TČ

Z důvodu montáže TČ do objektu ve starší zástavbě, máme omezené prostory pro umístění. Velká část pozemku je zastavěna, nebo jsou v zemi uloženy kabely, z tohoto důvodu je vjezd těžké techniky a následné hloubení vrtu prakticky nemožné. Můžeme tedy volit mezi typy vzduch-vzduch nebo vzduch-voda. Vyřadíme typ vzduch-vzduch, sice má nejnižší pořizovací výdaje, lze používat i pro chlazení vzduchu, ale jeho záběr funkce je omezen na jednu místnost. Proto bychom museli instalovat do každé místnosti minimálně jednu jednotku. Zbývá tedy typ vzduch-voda, kde v následující kapitole detailně popíšu jeho funkci, výhody a nevýhody.

6.2. Podrobný popis TČ vzduch-voda

Tepelné čerpadlo vzduch-voda využívá okolní vzduch k odebrání energie pro ohřev vody v topném systému. Jeho velkou výhodou je rychlá instalace a nemusíme mít hlubinné vrty. Nevýhodou je vyšší spotřeba elektřiny než u TČ země-voda, kratší životnost kompresoru, nižší topný faktor ale i případná hlučnost zařízení. Tento typ TČ je rozdělen na další podtypy podle umístění [12]:

- Venkovní kompaktní,
- Vnitřní kompaktní,
- Dělená konstrukce (split).

6.2.1. Venkovní kompaktní

Jak už název říká, je celé tepelné čerpadlo umístěno venku mimo objekt. Tento typ se volí, pokud nemáme vnitřní prostory pro umístění jednotky. Pokud je objem topné vody dostatečný, nebo je využíváno podlahové topení, stačí pouze nainstalovat do vnitřních prostor bojler pro ohřev vody. Také je nutné ochránit součástky, proto musí být venkovní část z nerezového materiálu, aby odolal změnám klimatických podmínek a také IP ochranu, aby se zabránilo vniknutí vody.

6.2.2. Vnitřní kompak

Vnitřní instalace se provádí například u řadových domů, kde není volné místo na pozemku. Celé zařízení je umístěno v technické místnosti, aby nezohyzovalo okolí domu. Venkovní vzduch se přivádí a odvádí vzduchovody přes obvodovou zeď.

Výhodou vnitřního kompaktu je nevystavení zařízení nepříznivým vlivům počasí, lze využít teplo v místnosti, tím se vysušuje a nehromadí se zde vlhkost. Můžeme také rekuperovat odpadní teplo. Uložení jednotky v domě snižuje hluk.

6.2.3. Dělená konstrukce (split)

Tato dělená konstrukce se využívá, pokud máme dostatečné prostory pro vnitřní a vnější umístění. Jeho části jsou rozdělené na venkovní jednotku (výparník s ventilátorem) a vnitřní jednotku (kompresor, regulátor, řídicí jednotka...), ty jsou spojené odizolovaným potrubím, ve kterém koluje chladivo. Pokud máme radiátorový okruh, je nutné přidat i akumulární nádobu pro větší zásobu teplé vody, která je v radiátorových trubkách.

6.3. Průzkum trhu

Při výběru dodavatelské firmy budeme brát v ohledu tradici (delší historie → více zkušeností), doporučení, poskytované služby a cenu zařízení. Jako první krok bych uvedla výběr několika firem na českém trhu, které mají letitou tradici a vyskytují se ve Středočeském kraji a v Praze:

- IVAR-CS, <http://www.ivarcs.cz/>,
- NIBE, <http://www.nibe.cz/>,
- MasterTherm, <http://www.masterthrem.cz/>.

Všechny tyto firmy provádějí veškeré montáže a servis tepelných čerpadel, jsou tedy obeznámeny s funkcí konkrétních výrobků a nejsou pouze překupníky zboží.

V druhém kroku je nutné zmapovat nabídku firem v kategorii TČ vzduch-voda. Z konstrukčního uspořádání objektu a prostorů vnitřních a venkovních, budeme volit split konstrukci, která má lepší vlastnosti a je oblíbenější u zákazníků.

6.3.1. IVAR – CS

Na výběr je několik podtypů, s různým tepelným faktorem (COP) a výkonem 8-24 kW. Podle zásady výše uvedené, nebudeme dimenzovat TČ na plné tepelné ztráty, které jsou v našem případě 11,7 kW, ale zvolíme s menším výkonem. Díky split dělení máme vyšší COP, než kdybychom měli venkovním provedení. Je možné přidat patronové topné těleso o výkonu 6kW, které pracuje v bivalentním provozu a je schopno zajistit pod teplotou bivalence vysoký výkon. Nejvhodnější bude TČ IVAR. HP EHPOCA 912Ko výkonu 8,2 kW. Výkonově nám postačí, a to díky elektronické patroně o 6 kW. Cena tepelného čerpadla činí 149 000 Kč, další příslušenství vyjde cca na 40 000 Kč, možnost prodloužení záruky na 5 let [13].



OBRÁZEK 13 - IVAR. HP EHPOCA 912K[14]

6.3.2. NIBE

Kombinace tepelného čerpadla F2040 12kW od firmy NIBE a vnitřní systémové jednotky VVM320 dostáváme split dělení s pohodlným ovládním pro vytápění a ohřev vody. Kombinací s různými výrobky od společnosti NIBE, jako jsou externí zdroje tepla, vytápění vody v bazénu, ventilační jednotky nebo čidla a senzory, docílíme sofistikovaného systému řízeného pomocí NIBE up-link, které nám umožňuje dálkově řídit parametry celého systému. Aplikaci řídíme výkon kompresoru, který se přizpůsobuje k aktuální spotřebě tepla. Cena tepelného čerpadla je 155 000 Kč, systémové jednotky 95 000 Kč, prodloužená záruka 5 let [15].



OBRÁZEK 14 - NIBE F2040 [16]

6.3.3. MasterTherm

MasterTherm, se sídlem v Praze, je český výrobce tepelných čerpadel s dlouholetou tradicí dodávající své produkty do celé Evropy. Poskytuje servis a záruku až 7 let. Pro naše účely zvolíme levnější variantu - AirMaster-3021Z-2016, ostatní převyšují cenu 200 000 Kč. Tento model má výkon 8,7 kW. Jak je zvykem, lze zařízení ovládat pomocí mobilní aplikace, tím odpadá nutnost stále fyzické kontroly. Cena tepelného čerpadla je 174 900 Kč, cena instalace a příslušenství vyjde cca na 50 000 Kč, pokud zařízení připojíme k internetu, TČ bude monitorováno a prodlouží se poskytovaná záruka na 7 let [17].



OBRÁZEK 15 - AIRMASTER-3021Z-2016 [18]

Elektronický expanzivní ventil

Jako jedna z prosazovaných funkcí tepelných čerpadel od firmy MasterTherm je aplikování elektronického expanzivního ventilu (EEV) místo klasického termostatického expanzivního ventilu (TEV). Jedná se o elektronicky řízenou součástku, která pomocí krokového motoru přizpůsobuje množství vstřikovaného chladiva do výparníku, elektronicky vyhodnotí parametry tlaku a teploty, a poté pomocí logické jednotky tyto parametry upravuje pro lepší efektivnost regulace systému.

Výhody elektronického expanzivního ventilu:

- Maximalizace provozní účinnosti,
- Jednodušší konstrukce – menší závadnost,
- Prodlužuje životnost kompresoru,
- Případná výměna součástky je jednodušší.

6.4. Závěr výběru tepelného čerpadla

Pokud porovnáme základní údaje zvolených tepelných čerpadel od různých firem, dojdeme k závěru, že cena i technické parametry jsou velice podobné, proto bude záležet pouze na malých detailech při rozhodování. Jako první vyřadíme tepelné čerpadlo od firmy NIBE, a to z důvodu drahé systémové jednotky a nemožnost snížení topného výkonu a přidání bivalentního zdroje.

Typ	IVAR. HP EHPOCA 12k	NIBE F2040-12 + VVM320	AirMaster-3021Z-2016
Topný výkon [kW]	8,2	12	8,7
COP [7/35]	4,61	4,52	4,5
Bivalentní zdroj [kW]	6	-	2x4,5kW
Max výstupní teplota	52	58	55
Elektrický příkon [kW]	1,78	3	2,0
Jmenovité napětí [V]	3x400	230	3x400
Hladina hluku [dB]	50	63,5	65
Cena [Kč]	149 000	187 000	174 900

TABULKA 7- POPIS TČ[PLATNÉ K 16.4.2016]

Mezi TČ od firmy IVAR-CS a MasterTherm je nepatrný rozdíl v COP[7/35]. MasterTherm nabízí delší záruční dobu, což by ulehčilo nákladům na případné opravy. Součástí MasterTherm je EEV, jehož výhody jsou popsány výše. Cena je nepatrně vyšší, ale vyplatí se investovat do lepších technických komponentů a nabízených služeb. Jeden z důvodů je i prodloužená záruka, která by nám finančně ulehčila, pokud by nastal problém u některé z komponent.

MasterTherm AM3021Z MINI			
Výkonové údaje při [7/35]		Připojení a rozměry	
Topný výkon	8,7 kW	Topná voda	1 "OD
Bivalentní zdroj	2x4,5 kW	Výška x šířka x hloubka VEN	91x125x46 cm
Chladicí výkon	7 kW	Výška x šířka x hloubka VNI	120x53x72 cm
Příkon	2 kW	Hmotnost VEN/VNI	70/170 kg
Topný faktor	4,5	Regulace	
Provozní proud	3,1A	Regulátor	pCO5
Napájení		EEV	Ano
Napětí	3x400 V	Čidlo topné vody	Ano
Max. proud	8A	Čidlo TUV	Ne
Chladicí okruh		Venkovní čidlo	Ano
Chladivo	R407C	Ekvitermní regulace	Ano
Hmotnost	5,7 kg	Chladivo	1xPT

TABULKA 8 - MASTER THERM AM3030Z MINI [19]

Firma MasterTherm poskytla cenovou nabídku tepelného čerpadla, jeho příslušenství a následné montáže. Mezi příslušenství patří akumulční nádrž pro větší objem vody topné soustavy. Ta slouží k akumulaci tepelné energie, kterou lze následně využít v topné soustavě. Nádrž na TUV máme v objektu již stávající, proto ji nemusíme pořizovat. Jak vidíme z následující tabulky, průměrný roční topný faktor, při provozu na 55°C, SCOP 3. Také můžeme uvažovat dotaci, kterou je možné získat. V této bakalářské práci se však celým procesem zabývat nebudeme, uvažujeme maximální hodnotu poskytnuté dotace 60 000 Kč.

Parametry a specifikace	
Název kotle	AirMaster-3021Z-2016
Typ	vzduch-voda
Topný výkon [kW]	8,7
Bivalentní zdroj [kW]	2x4,5kW
Jmenovité napětí [V]	3x400
COP [7/35]	4,3
Elektrický příkon [7/35] [kW]	2
Pořizovací cena [Kč]	174 900
SCOP při provozu na 55°C	3
Životnost [rok]	15
Investiční výdaje [Kč]	
TČ vzduch-voda	174 900
Instalace a zkoušky	18 700
Přepínací ventil, expanzní nádoba	8 661
Akumulační nádrž 200l	6 990
Oběhové čerpadlo topného okruhu	4 590
Připojení na internet + 7 let záruka	9 800
Ostatní [Kč]	
Záruční servis (1., 3., 5. rok)	2 500
Dotace NZÚ [Kč]	
Max. výše podpory na TČ vzduch-voda	60 000

TABULKA 9 - AIRMASTER 3021Z POPIS A VÝDAJE

7. Ekonomické vyhodnocení

Porovnání vytápění pomocí tepelného čerpadla a jiných druhů kotlů získáme lepší pohled na ekonomickou stránku investice, a tím lepší rozhodovací prostředky, který druh kotle zvolit pro vytápění daného objektu. Mezi vhodné zdroje vytápění uvažujeme kotel na tuhá paliva, plyn a elektřinu. Plynový kotel můžeme hned vyřadit z rozhodování, protože v daném objektu se nevyskytuje plynovod, a ani není do budoucna uvažována jeho realizace. Budeme tedy porovnávat investiční a provozní výdaje mezi tepelným čerpadlem, kotlem na tuhá paliva a elektrickým kotlem.

7.1. Zdroje vytápění pro objekt

Mimo tepelné čerpadlo můžeme objekt vytápět i jinými zdroji pro výrobu tepla. Např. elektrický kotel je podle investičních výdajů levná záležitost, ale provozní a roční výdaje spojené se spotřebou elektřiny jsou vysoké. Obslužnost zařízení z naší strany je ale minimální. Instalaci je nutné přenechat odborné firmě, aby bylo korektně zapojené na topnou soustavu. Roční výdaje zahrnují pouze revizní kontrolu, kterou je nutné mít [20].

Parametry a specifikace	
Název kotle	THERM EL 14
Typ	Elektrokotel
Tepelný výkon [kW]	13,5
Účinnost kotle [%]	99,5
Napájení	3 x 400
Roční spotřeba energie [kWh]	29712
Roční spotřeba energie [GJ]	107
Pořizovací cena [Kč]	26499
Předepsané palivo	elektřina
Životnost [rok]	15
Investiční výdaje [Kč]	
Elektrokotel	26 499
Montáž	4 000
Ostatní [Kč/rok]	
Revize	800

TABULKA 10 - THERM EL 14

Kotel na tuhá paliva je jeden z nejstarších způsobů získávání tepla. Je ale nutná častá kontrola a plnění zásobníku kotle požadovaným palivem. Je vysoce neekologický z důvodu vypouštění zplodin do ovzduší, proto se postupně, pomocí zákonů a zdanění fosilních paliv, vytlačuje a nahrazuje modernějšími a ekologičtějšími způsoby vytápění. Pro naše výpočtové účely zvolím automatický kotel s násypníkem od firmy Dakon [21]. V tabulce 11 jsou popsány technické parametry a finanční výdaje. Pro výstavbu kotle je nutné opatřit nový kouřovod a nechat odborně zapojit kotel na topnou soustavu. Nevýhodou jsou velké nároky na prostory – je nutné z bezpečnostních důvodů mít oddělenou místnost kotle a uskladnění uhlí. Mezi roční provozní výdaje patří pravidelná revize komínů a kotle, a také cena za dopravu uhlí a odvoz popela, který počítáme do částečných nákladů pro komunální odpad. Různá cena dopravy je zapříčiněna různou hmotností paliva a jeho účtování za tunu. Dále je zahrnuto do provozu i oběhové čerpadlo a elektrický podavač, dohromady o výkonu 285W, zpoplatněno klasickým tarifem pro domácnosti Akumulace 8.

Parametry a specifikace	
Název kotle	Dakon FB2 25 Automat L
Typ	Automatický kotel s násypníkem
Topný výkon [kW]	24
Účinnost kotle [%]	80
Životnost [rok]	10
Pořizovací cena [Kč]	78 529
Spotřeba paliva [kg/hod]	
černé uhlí	4,2
hnědé uhlí	5
Předepsané palivo	černé, hnědé uhlí
Příslušenství	
Elektrický podavač - šnek [Kč]	v ceně
Příkon [W]	240
Oběhové čerpadlo [Kč]	2 900
Příkon [W]	45
Investiční výdaje [Kč]	
Kotel na tuhá paliva	81 429
Kouřovod	25 000
Montáž	10 000
Ostatní [Kč/rok]	
odvoz popela	850
revize	1 500
doprava černé uhlí	1 155
doprava hnědé uhlí	1 796

TABULKA 11 - DAKON FB2 25 AUTOMAT L

7.2. Současná cena paliv

Pro výše uvedená topná zařízení budeme využívat fosilní tuhá paliva a elektřinu, v tabulce 12 je uvedena cena a výhřevnost zvoleného druhu uhlí. Ceny přejaty z nejbližšího uhelného skladu firmy Karbonia v Kladně, v jehož oblasti se nachází bývalá důlní zařízení. Doprava je vyúčtována 250 Kč/tunu [22].

	Cena paliva [Kč/t]	Výhřevnost[MJ/kg]
Černé uhlí	5 400	28
Hnědé uhlí	2 850	18

TABULKA 12 - CENY UHLÍ

Distribuční zónu v oblasti objektu z větší části pokrývá firma ČEZ. Tarify elektřiny jsou přizpůsobeny na příslušná odběrná zařízení. Poskytuje výhodné tarify pro tepelná čerpadla D55d/D56d, provozující na nízký tarif 22 hodin denně, všechny údaje uvedeny v tabulce 13. Příslušná zařízení spotřebovávající elektřinu pro kotel na tuhá paliva žádný speciální tarif nemají, účtuje se podle běžného tarifu pro domácnosti Akumulace 8 – D25d, podrobněji uvedeno v tabulce 14. Pro výpočet ceny elektřiny na MWh je použit aktuální tarifový ceník pro domácnosti, platný k 1. 1. 2016 [23].

Tarif ČEZ		Tarif ČEZ	
Tepelné čerpadlo	D55d/D56d	Elektrické topení	D57d
Jistič	3x25A	Jistič	3x25A
Měsíční plat za příkon [Kč]	381,15	Měsíční plat za příkon [Kč]	319,44
Stálé měsíční platby [Kč]	72,60	Stálé měsíční platby [Kč]	72,60
Ostatní měsíční služby [Kč]	7,97	Ostatní měsíční služby [Kč]	7,97
Platba VT [Kč/MWh]	312,69	Platba VT [Kč/MWh]	171,49
Platba NT [Kč/MWh]	73,76	Platba NT [Kč/MWh]	158,76
Služby [Kč/MWh]	120,65	Služby [Kč/MWh]	120,65
Silová elek. VT [Kč/MWh]	1 622,97	Silová elek. VT [Kč/MWh]	1 622,97
Silová elek. NT [Kč/MWh]	1 562,47	Silová elek. NT [Kč/MWh]	1 560,05
NT [hod/den]	22	NT [hod/den]	20
Podpora OZE [Kč/MWh*rok]	495,00	Podpora OZE [Kč/MWh*rok]	495,00
Roční paušální platby [Kč/rok]	5 540,64	Roční paušální platby [Kč/rok]	4 800,12
Celková cena VT [Kč/MWh]	2 056,31	Celková cena VT [Kč/MWh]	1 915,11
Celková cena NT [Kč/MWh]	1 756,88	Celková cena NT [Kč/MWh]	1 839,46

TABULKA 13 - TARIF ČEZ D55D/D56D A D57D

Tarif ČEZ	
Akumulace 8	D25d
Jistič	3x25A
Měsíční plat za příkon [Kč]	146,41
Stálé měsíční platby [Kč]	72,60
Ostatní měsíční služby [Kč]	7,96
Platba VT [Kč/MWh]	1 993,52
Platba NT [Kč/MWh]	73,77
Služby [Kč/MWh]	120,65
Silová elek. VT [Kč/MWh]	1 862,55
Silová elek. NT [Kč/MWh]	1 117,19
NT [hod/den]	60% spotřeby
Podpora OZE [Kč/MWh*rok]	495,00
Roční paušální platby [Kč/rok]	2 723,64
Celková cena VT [Kč/MWh]	3 976,72
Celková cena NT [Kč/MWh]	1 311,61

TABULKA 14- TARIF ČEZ D25D

Konečná částka ceny za MWh se skládá ze základní ceny pro VT/NT za 1 MWh a dalších poplatků jako je měsíční plat za příkon hlavního jističe (v našem případě pro hlavní jistič 3x25A) a ostatní služby operátora a distributora. Výpočet ročních paušálních plateb a ceny při NT za MWh je znázorněn v níže uvedených vzorcích:

$$\text{Stálé roční platby} = (\text{Plat za příkon} + \text{Stálé platby} + \text{Ostatní služby}) * 12 \quad (24.)$$

$$\text{cena NT (VT) za MWh} = 1 * (\text{Platba NT} + \text{Služby} + \text{Silová elektřina}) \quad (25.)$$

Cena elektřiny pro sazbu D55d/D56d

Pokud dosadíme naše hodnoty do vzorců, stálé roční platby pro naši hodnotu proudového jističe činí 5 540,64Kč, cena nízkého tarifu je 1 756,88 Kč/MWh, pro vysoký tarif 2 056,31Kč/MWh.

Cena elektřiny pro sazbu D57d

Jak vidíme, sazba pro elektrické topení není už tak výhodná, jako předchozí sazba pro tepelné čerpadlo. Stálá roční platba je sice nižší, ale je to jen v řádech stovek korun českých. Roční platba pro hodnotu jističe 3x25A je 4 800,12Kč, kdežto cena nízkého tarifu pro sazbu D57d je 1839,46Kč/MWh, vysokého tarifu 1 915,11 Kč/MWh. Nevýhodou je nižší počet hodin pro nízký tarif, zde je poskytnut po dobu 20 hodin denně.

Cena elektřiny pro sazbu D25d

Pokud využijeme kotel na tuhá paliva, potřebujeme elektřinou napájet oběhové čerpadlo a zásobník se šnekem pro přísun paliva. Cena za spotřebu elektřiny bude zahrnuta do nákladů na provoz. Běžný tarif pro domácnosti, Akumulace 8, poskytuje NT pouze po dobu 8 hodin denně. Roční platba za příkon jističe je 2 723,64 Kč, cena nízkého tarifu činí 1 311,61Kč/MWh, vysoký tarif 3976,22Kč/MWh.

Podpora OZE

Vyúčtování poplatků obnovitelných zdrojů elektřiny se vypočítává z hodnot hlavního jističe. Pro náš případ hlavního jističe 3x25A by se cena vypočítala, podle vzorce 26, takto:

$$\text{Roční podpora OZE podle jističe} = 23,96 \text{ Kč} * 25 \text{ A} * 3 \text{ fáze} * 12 \text{ měsíců} \quad (26.)$$

Pokud by se účtovalo podle tohoto vzorce, platili bychom ročně 21 564 Kč. To je vysoká hodnota, proto se používá druhý vzorec, který říká:

$$\text{Roční podpora OZE za MWh} = \text{Roční spotřeba MWh} * 495 \text{ Kč} \quad (27.)$$

7.3. Budoucí prognóza vývoje ceny paliv

Problematika odhadu budoucích cen paliv je velice složitá, závisí na spoustě faktorech, jako jsou ekonomické a politické důsledky, tak i situace kolem životního prostředí a ekologie, ale i zákonem dané poplatky ve státě. Nejlépe můžeme odhadovat a analyzovat z průběhu vývoje historických cen na burze nebo od dodavatele.

7.3.1. Budoucí vývoj cen uhlí

Pokud zanalyzujeme vývoj cen uhlí na evropské burze (příloha 1) [24], ze které se následně cena promítá až ke konečným odběratelům, uvidíme velký nárůst ceny v roce 2008. V té době byl růst způsoben začínající světovou finanční krizí, jež se dokázala o tento skok cen na burze, a to nejen u komodity uhlí. Od roku 2013 cena uhlí klesá z původní špičkové hodnoty v roce 2008. Zaznamenala menší kolísání až k hranici 15 USD za tunu. Cena se postupně stabilizuje k 40 USD za tunu, na předchozí hodnotu ceny před finanční krizí, jak je patrné z grafu 3. Od začátku roku 2016 cena pozvolna stoupá podle obvyklé míry inflace. Pokud nenastane další ekonomický ořes burzy, očekáváme, že se cena bude pohybovat mezi 40-45 USD za tunu. Procentuálně by se hodnota meziročního růstu mohla pohybovat pod hranicí inflace 2%, pokud se burza dostane na stejný průběh vývoje cen jako v 90. letech před finanční krizí.



GRAF 3-VÝVOJ CEN UHLÍ ZA OBDOBÍ 5/2015-4/2016 [25]

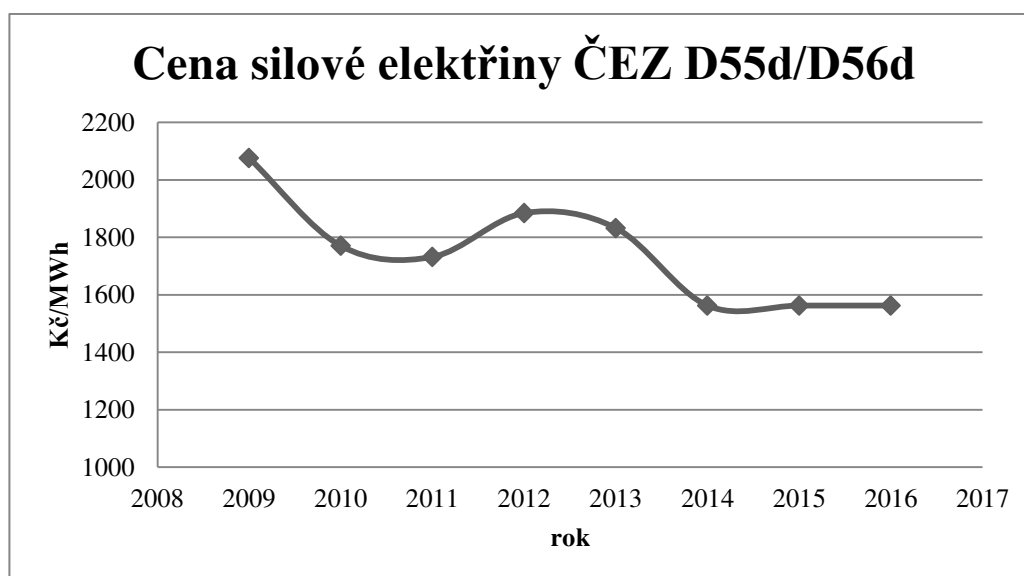
Pokud budeme uvažovat, že cena uhlí poroste meziročně o 1% (pokud předpokládáme hodnotu inflace 2%, bude roční růst cen uhlí nižší než inflační růst), bude následující desetiletý vývoj roční spotřeby vypadat takto:

Palivo [Kč/rok]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Černé uhlí	24 940	25 189	25 441	25 695	25 952	26 212	26 474	26 739	27 006	27 276
Hnědé uhlí	20 475	20 680	20 887	21 096	21 307	21 520	21 735	21 952	22 172	22 393

TABULKA 15 - PŘEDPOKLÁDANÝ VÝVOJ CEN UHLÍ

7.3.2. Budoucí vývoj cen elektřiny

Do vývoje cen elektřiny se promítá cena za odběr silové elektřiny a platby za velikost jističe. Pokud zhodnotíme vývoj cen silové elektřiny z grafu 4 pro nízký tarif D55d/D56d, vidíme pokles cen silové elektřiny [26].



GRAF 4 - VÝVOJ CEN TARIFU D55D/D56D [27]

Jeden z faktorů, který v rozmezí několika let může přinést změnu konečné ceny, je nově navrhovaná tarifní struktura, kterou připravuje Energetický regulační úřad (ERÚ). Návrh se setkal s velkou kritikou, proto se v první polovině roku 2016 odstoupilo od původního projektu a začal se vypracovávat jiný, který by mohl přijít v platnost v roce 2019. Proto není jisté, jak se změna projeví, ale je docela jisté, že se změna projeví na navýšení poplatků za příkon [27].

Budoucí tarifní poplatky by se měly skládat ze tří položek:

- Cena za rezervovaný příkon, v Kč/A podle jmenovité hodnoty jističe,
- Cena za místo připojení, v Kč/místo,
- Cena za použití sítí distribuce vztažená za množství elektřiny, v Kč/MWh.

7.4. Roční výdaje na vytápění

Kotel na tuhá paliva:

Na výběr máme černé nebo hnědé uhlí, každé má jinou výhřevnost, a podle toho se odvíjí spotřeba a cena za rok. Jak vidíme v tabulce 16, pokud použijeme černé uhlí s vyšší výhřevností, roční spotřeba bude menší než u uhlí hnědé, které má nižší výhřevnost. Při ceně uhlí přepočtené na kilogramy je černé uhlí pomalu jedenkrát tak dražší než hnědé, ale právě kvůli výhřevnosti vychází roční výdaje o 4 500 Kč rozdílně.

Palivo	Cena paliva [Kč/kg]	Účinnost spalování [%]	Cena tepla [Kč/kWh]	Roční spotřeba [tun]	Roční výdaje [Kč]	Spotřeba na výhřevnost [tun]
černé uhlí	5,400	80	0,868	4,62	24 940	3,7
hnědé uhlí	2,850	80	0,713	7,18	20 475	5,7

TABULKA 16- SPOTŘEBA UHLÍ

Kotel na tuhá paliva má i mimo jiné zařízení, které spotřebovávají elektřinu. Je to za účelem dopravení paliva pomocí šnekového podavače a dopravení vody do topného systému pomocí oběhového čerpadla. Odběr elektřiny je malý, používá se pouze NT, tj. 6 hodin denně v topném období, výpočet ceny je z tarifu D25d - Akumulace 8, roční výdaje zaznamenány v tabulce 17. Paušální poplatky nejsou započítány, to je již uvedeno v hodnotě ostatní spotřeby.

Palivo	Spotřeba elektřiny [kWh]	Cena energie [Kč/kWh]		Roční výdaje elektřiny [Kč]
		VT	NT	
černé uhlí	0,285	3,97	1,31	476
hnědé uhlí	0,285	3,97	1,31	476

TABULKA 17 - SPOTŘEBA ELEKTRINY PRO KOTEL NA TUHÁ PALIVA

Elektrokotel a tepelné čerpadlo:

Elektrokotel se řídí podle ceníku D57d pro Elektrické topení, tepelné čerpadlo tarifem D55d/D56d. Tarify se liší podle počtu hodin poskytovaného nízkého tarifu. Cena ročních nákladů pro elektrokotel je vysoká proto, že tepelné čerpadlo pracuje s průměrným ročním topným faktorem (SCOP), který snižuje celkovou spotřebu roční energie. Jinak řečeno – při spotřebě elektřiny 1 Kč a SCOP 3, vyrobí tepelné čerpadlo energie o hodnotě 3 Kč. Do konečných cen je započítána i podpora OZE, která se účtuje podle spotřeby MWh, ale cena je bez paušálních poplatků, která je započítána níže do ostatní spotřeby. Proto nám tyto hodnoty ukazují jen čistou spotřebu elektřiny potřebnou pro vytápění.

	Cena energie [Kč/kWh]		Roční výdaje [Kč]	Spotřeba elektřiny [kWh]
	VT	NT		
tepelné čerpadlo D55d	2,022	1,723	21 571	9579
elektrokotel D57d	1,881	1,805	67 086	28737

TABULKA 18- SPOTŘEBA ELEKTRINY ELEKTROKOTEL A TČ

Ostatní spotřeba energie pro domácnost:

Do výsledných nákladů můžeme započítat i celkovou spotřebu energie domácnosti, a to z důvodu, že pokud začneme využívat tarif např. pro tepelné čerpadlo D55d/D56d, přejde nám veškerá spotřeba elektrické energie za jističem na tento tarif. Ten pak poskytuje dobu nízkého tarifu po 22 hodin denně. Spotřebu energie zjistíme z vyúčtování posledních let, průměrně se pohybuje okolo 7,5 MWh za rok. Spotřeba na vysoký tarif pokrývá cca 40% při běžném tarifu pro domácnosti Akumulace 8 D25d. Pokud provedeme výpočet rozložení vysokého/nízkého tarifu, tak u D55d pokrytí vysokého tarifu činí cca 8% celkové spotřeby. U D57d je pokrytí vysokého tarifu cca 17%. V tabulce 19 vidíme roční výdaje pro ostatní spotřebu elektřiny v domácnosti, nejlépe vychází tarif Elektrické topení D57d, který má malý cenový rozdíl mezi vysokým a nízkým tarifem a poskytuje NT po dobu 20 hodin denně. Ceny jsou započítány s ročním paušálním poplatkem.

Elektřina	Cena energie [Kč/kWh]		Roční výdaje [Kč]	Spotřeba elektřiny [kWh]
	VT	NT		
Tarif D25d	3,98	1,31	24 269	7500
Tarif D55d	2,06	1,76	22 617	7500
Tarif D57d	3,98	1,31	21 681	7500

TABULKA 19 - OSTATNÍ SPOTŘEBA ELEKTRINY

8. Možné scénáře a jejich dopad na výdaje

V následující části ukážeme, jak se nám vyvine čistá současná hodnota (NPV) a roční ekvivalentní peněžní tok (RCF), pokud budeme měnit vstupní parametry, jako jsou meziroční vzrůsty cen paliv či hodnota inflace (α) nebo reálného (r_R) a nominálního diskontu (r_N). Podle těchto údajů snadno vyhodnotíme efektivnost investice. Jelikož počítáme pouze s výdaji, výhodnější investice znamená nižší RCF . Každý z projektů má různou životnost (T), proto nemůžeme použít NPV , která je zkreslená právě různou dobou životnosti T . RCF nám ukazuje věrnější velikost ročních výdajů dané investice. Pořadí umístění je stupňováno od 1-nejlepší, 5-nejhorší.

$$r_N = r_R + \alpha + r_R * \alpha \quad (28.)$$

$$NPV = \sum_{n=0}^t \frac{CF_n}{(1 + r_N)^n} \quad (29.)$$

$$RCF = \frac{r_N}{(1 - (1 + r_N)^{-T})} * NPV \quad (30.)$$

kde	r_N	nominální diskont,
	r_R	reálný diskont,
	α	roční míra inflace,
	$t (T)$	životnost projektu,
	CF_n	cash flow ročních výdajů za n-tý rok,
	RCF	roční ekvivalentní cash flow,
	NPV	čistá současná hodnota.

8.1. První scénář

Zadané vstupní parametry:

- Roční míra inflace 2%, reálný diskont 1%, nominální diskont 3%,
- Meziroční vývoj ceny uhlí 1%,
- Meziroční vývoj ceny elektřiny 1%.

Pořadí výběru podle RCF		
	RCF [Kč]	Umístění
Černé uhlí	43 693	4
Hnědé uhlí	39 675	2
Elektrokotel	74 954	5
Tepelné čerpadlo	42 358	3
Tepelné čerpadlo s dotací	37 324	1

TABULKA 20 - VÝBĚR PODLE RCF

Pokud vyhodnotíme investice podle *RCF*, vidíme, že nejlepší je investovat do tepelného čerpadla s dotací, u něhož jsou roční ekvivalentní výdaje nejnižší, a to z důvodu delší životnosti, než má kotel na tuhá paliva a rozpočítání vstupní investice do více let.

8.2. Druhý scénář

Zadané vstupní parametry:

- Roční míra inflace 2%, reálný diskont 1%, nominální diskont 3%,
- Meziroční vývoj ceny uhlí 7%,
- Meziroční vývoj ceny elektřiny 1%.

Pořadí výběru podle RCF		
	RCF [Kč]	Umístění
Černé uhlí	51 556	4
Hnědé uhlí	46 131	3
Elektrokotel	74 954	5
Tepelné čerpadlo	42 358	2
Tepelné čerpadlo s dotací	37 324	1

TABULKA 21 - VÝBĚR PODLE RCF

Pokud dojde k velkému omezení zásob uhlí, či k ekologickému zdanění využívání fosilních paliv, může cena uhlí vyrůst o několik procent. Budeme uvažovat meziroční vzrůst cen uhlí o 7%, při této hodnotě stoupne *RCF* pro kotel na tuhá paliva.

8.3. Třetí scénář

Zadané vstupní parametry:

- Roční míra inflace 2%, reálný diskont 1%, nominální diskont 3%,
- Meziroční vývoj ceny uhlí 1%,
- Meziroční vývoj ceny elektřiny 7%.

Pořadí výběru podle RCF		
	RCF [Kč]	Umístění
Černé uhlí	43 843	2
Hnědé uhlí	39 825	1
Elektrokotel	111 637	5
Tepelné čerpadlo	54 153	4
Tepelné čerpadlo s dotací	49 120	3

TABULKA 22 - VYBĚR PODLE RCF

Na vzrůst cen elektřiny můžou působit jak politické a ekonomické aspekty, tak přírodní katastrofy nebo odstavení provozovatele od zdroje velké výroby elektřiny. V našem případě budeme uvažovat meziroční vzrůst cen elektřiny o 7%, při této hodnotě se promění hodnocení pořadí podle *RCF*. Jak vidíme z tabulky 22, roční ekvivalentní cash flow pro elektrokotel vzroste nad 100 000 Kč.

8.4. Citlivostní analýza

Citlivostní analýzu projektu provedeme pomocí změny nominálního diskontu nebo meziročního vývoje ceny paliv, a tím ohodnotíme vývoj *RCF* v závislosti na procentuálních změnách těchto vstupních hodnot.

Příloha 2 nám ukazuje závislost *RCF* na nominálním diskontu. Vidíme, že zlom mezi elektrokotlem a TČ nastává přibližně v 23% nominálního diskontu, kde za touto hodnotou je již výhodnější použití elektrokotle. Taktéž pro hodnotu 35% nominálního diskontu, kde je výhodnější použití elektrokotle než TČ s dotací. V rozmezí 0-5% má nejnižší *RCF* hnědé uhlí a tepelné čerpadlo zafinancované dotačním programem.

Příloha 3 ukazuje růst *RCF* při změnách cen paliv. Opět nejméně se projeví při změnách cen elektřiny pro kotel na tuhá paliva, a to z důvodu nízké spotřeby elektřiny pro podavač a oběhové čerpadlo. Největší nárůst má opět elektrokotel.

9. Závěr

Cílem práce bylo stručně popsat jednotlivé typy tepelných čerpadel, jejich funkci a popis jednotlivých komponent čerpadla. Na zvoleném objektu jsme provedli dva druhy výpočtu tepelných ztrát, podle normy ČSN EN 12831 a online kalkulačky ze serveru tzb-info.cz. Tepelné ztráty objektu vypočítané dvěma druhy dostupných výpočtů jsou rozdílné o 1,8 kW, uvažovali jsme hodnotu 11,7 kW, která je reálná s přihlédnutím k aktuálnímu stavu objektu. Majiteli doporučíme zateplení střechy vatou, poté se sníží únik tepla tímto prostorem.

Pomocí výpočtu ročních nákladů na provoz zdrojů vytápění můžeme zhodnotit a porovnat efektivnost investic. Ekvivalentním cash flow (*RCF*) zjistíme roční výdaje, pokud mají investice různou dobu životnosti, jak se stalo v našem případě. Pro běžné hodnoty vývoje cen paliv a nominálního diskontu nejlepší hodnota *RCF* vychází pro tepelné čerpadlo s dotací, kde je jeho hodnota 37 324 Kč. Za nejhorší investici považujeme elektrokotel, který má sice nízké investiční výdaje, ale roční spotřeba elektřiny pro objekt je velice vysoká. Pro 28,7 MWh za rok činí *RCF* 74954 Kč. Citlivostní analýzou zobrazíme průběh hodnot *RCF* při změně vstupních parametrů jako jsou meziroční vzrůsty cen paliv a nominálního diskontu. Pokud přihlídneme k vývoji nominálního diskontu, elektrokotel se nejvíce vyplatí při hodnotě cca 35%, bohužel je velmi nepravděpodobné, že tato procentuální hodnota někdy nastane.

V následující tabulce jsou uvedeny výhody a nevýhody konkrétních zdrojů tepla pro objekt. Je velice důležité znát všechny faktory pro rozhodování. Mezi hlavní faktory patří nutná obslužnost zařízení, ekologie a budoucí vývoj cen. Vidíme, že tepelné čerpadlo má mnoho kladů, které jsou podle našeho rozhodování z ekonomické a ekologické stránky výhodnější.

	Výhody	Nevýhody
Kotel na tuhá paliva	nejlevnější provoz	emise neustálá obsluha zařízení nutné roční revize a čištění doprava paliva vyčerpání zásob -> možný nárůst cen uhlí skladování uhlí odvoz popela vysoké prostorové nároky
Elektrokotel	nízké investiční náklady vysoká účinnost minimální kontrola provozu malé prostorové nároky přechod na výhodný tarif	vysoké roční náklady nutné roční revize vysoká spotřeba elektřiny -> méně ekologické
TČ vzduch/voda	nízké roční náklady vysoká účinnost minimální kontrola provozu ekologie provozu přechod na výhodný tarif ovládání pomocí telefonu regulace výkonu -> teploty	vysoké investiční náklady drahé opravy

TABULKA 23 - VÝHODY/NEVÝHODY POROVNÁVANÝCH ZDROJŮ TEPLA

10. Seznam použité literatury

- [1] Sbíрка zákonů – 425/2004 Sb.. *MVČR*. [online]. 16.11.2015 [cit. 2015-11-16]. Dostupné z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?typed=4444>
- [2] MPO [online]. 17.11.2015 [cit. 2015-11-17]. Dostupné z: <http://www.mpo.cz/dokument6794.html>
- [3] NAVRÁTIL, Jan. *Domácí kůtil a- tepelné čerpadlo*. Vyd. 1. Prostějov: Jan Navrátil, 1997, 153 s. ISBN 80-902244-1-5.
- [4] KARLÍK, Robert. *Tepelné čerpadlo pro váš dům*. 1. vyd. Praha: Grada, 2009, 109 s. Profi&hobby. ISBN 978-80-247-2720-2.
- [5] Freund P., Zeach S.J. & Seymour-Walker K.(1976): Heat pumps for use in building. BRE CP 19/76, Garston: BRE.
- [6] Ekovy. [online]. 16.11.2015 [cit. 2015-11-16]. Dostupné z: <http://www.ekovy.cz/jak-funguje-tepelne-cerpadlo.htm>
- [7] ŽERAVÍK, Antonín. *Stavíme tepelné čerpadlo: [návratnost i za jeden rok]*. Vyd. 1. Přerov: Antonín Žeravík, 2003, 311 s. ISBN 80-239-0275-x.
- [8] Český hydrometeorologický ústav. *Portál ČHMI*. [online]. 18.12.2015 [cit. 2015-12-18]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty>.
- [9] ČSN EN 12831: *Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu*. Česká technická norma, 2003.
- [10] Online kalkulačka tepelných ztrát. *tzb-info.cz* [online]. 3.1.2016 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/128-on-line-kalkulacka-uspor-a-dotaci-zelena-usporam>
- [11] *TZB-info*. [online]. 3.4.2016 [cit. 2016-04-03]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>
- [12] Tepelná čerpadla IVT. . [online]. 7.3.2016 [cit. 2016-03-07]. Dostupné z: <http://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-vzduch-voda>
- [13] IVAR – CS. Tepelné čerpadlo vzduch-voda IVAR.HP EHPOCA. [online]. 12.3.2016 [cit. 2016-03-12]. Dostupné z: <http://www.ivarcs.cz/cz/tepelne-cerpadlo-vzduch-voda-ivar-hp-ehpoca?ws=pdf>

- [14] IVAR – CS. *Splitová čerpadla*. [online]. 13.3.2016 [cit. 2016-03-13]. Dostupné z: <http://www.ivarcs.cz/cz/splitova-tepelna-cerpadla>
- [15] NIBE [online]. 16.4.2016 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <http://www.nibe.cz/cs/tepelna-cerpadla-vzduch-voda/tepelne-cerpadlo-nibe-f2040>
- [16] NIBE. *Sortiment* [online]. 16.4.2016 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <http://www.nibe.cz/images/sortiment/SPLIT.jpg>
- [17] MasterTherm [online]. 16.4.2016 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <http://www.mastertherm.cz/tepelne-cerpadlo-easymaster>
- [18] MasterTherm. *Katalog*. [online]. 16.4.2016 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: http://www.mastertherm.cz/sites/default/files/downloads/mttc_katalog_tc_2016-2017.pdf
- [19] MasterTherm. *AM3030Z*. [online]. 16.4.2016 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: http://www.mastertherm.cz/_data/Docs/technicke_listy/AirMaster_mini/MTTC_am3030z_14511.pdf
- [20] Thermona [online] 16.4.2016 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <http://www.thermona.cz/elektrokotle/nastenne-elektrokotle-s-dotykovym-displejem/kotel-therm-el-14>
- [21] Dakon [online] 16.4.2016 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <http://www.dakon.cz/produkty/fb2-automat/>
- [22] Karbonia. *Kladno*. [online]. 16.4.2016 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <http://www.karboniakladno.cz/maloobchod/>
- [23] ČEZ. *Ceník pro domácnosti*. [online]. 16.4.2016 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: https://www.cez.cz/ede/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2016/cez_cz_ele_cenikmoo_2016-01-01_comfort.pdf
- [24] Quandl. *Coal prices*. [online]. 27.4.2016 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: https://www.quandl.com/data/BP/COAL_PRICES-Coal-Prices
- [25] Kurzy.cz. *Index uhlí*. [online]. 27.4.2016 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: http://www.kurzy.cz/komodity/index.asp?SEO=UHLI-US-INDEX&A=5&IDK=116&OD=29.9.2003&CURR=&DEFAULT_CURR=&UNIT=&LG=1
- [26] ČEZ. ČEZ archiv. [online]. 27.4.2016 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/sluzby-pro-zakazniky/ceniky/elektrina/domacnosti-archiv.html>
- [27] ERÚ. *Energetický regulační úřad*. [online]. 2.5.2016 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/cs/tarify>

11. Použité zkratky

<i>TČ</i>	–	tepelné čerpadlo
<i>TF</i>	–	topný faktor
<i>LTO</i>	-	lehké topné oleje
<i>TTO</i>	-	těžké topné oleje
<i>TUV</i>	-	technická užitková voda
<i>COP</i>	-	Coefficient Of Performance (topný faktor)
<i>COP [7/35]</i>	-	COP pro teplotu vstupní 7°C a výstupní 35°C
<i>TEV</i>	-	termostatický expanzivní ventil
<i>EEV</i>	-	elektronický expanzivní ventil
<i>ERÚ</i>	-	Energetický regulační úřad

12. Seznam příloh

Příloha 1: Vývoj cen uhlí

Příloha 2: RCF a nominální diskont

Příloha 3: RCF a cena uhlí, elektřiny

