

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2015

Pavel KLABAN

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Využití tepelného čerpadla pro zásobování panelového domu
teplem

(Heat pump usage for heating of block house)

Student:

Bc. Pavel Klaban

Vedoucí práce:

Ing. Miroslav Vítek, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

„Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů pro vypracování závěrečných prací, a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.“

V Praze dne

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Miroslavu Vítkovi, CSc., za cenné rady a poskytnutí všech potřebných materiálů. Rád bych také poděkoval rodině za podporu.

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: Pavel Klaban

Studijní program: elektrotechnika, energetika a management
Obor: ekonomika a řízení energetiky

Název tématu: Využití tepelného čerpadla pro zásobování panelového domu teplem

Pokyny pro vypracování:

- popis dosavadního stavu tepelného hospodářství bytového domu
- varianty tepelných čerpadel lišících se pohonem (plyn, elektřina)
- vyčíslení investičních a provozních výdajů variant
- ekonomické porovnání navrhovaných variant oproti dosavadnímu stavu

Seznam odborné literatury:

Pivrnec, J.: Finanční management, Grada, Praha 1995
Vítek, M.: Ekonomika dopravních energetických systémů, Skriptum FEL ČVUT, Praha, 2008

Vedoucí diplomové práce: Ing. Miroslav Vítek, CSc. – ČVUT FEL, K 13116

Platnost zadání: do konce letního semestru akademického roku 2015/2016
L.S.

Doc.Ing. Jaroslav Knápek, CSc.
vedoucí katedry

Prof.Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 4.11.2014

ANOTACE

Tato diplomová práce se zabývá analýzou, která má za cíl zjistit, zda je tepelné čerpadlo vhodným zdrojem pro přípravu teplé vody a vytápění pro bytový dům v Praze v ulici Zázvorkova, č. p. 1995–1999. Hlavním cílem práce je nalezení vhodné varianty systému s tepelným čerpadlem, přičemž důraz je kladen na porovnání tepelných čerpadel s pohonem na elektřinu a s pohonem na plyn. Jedná se tedy o návrh opatření, jak ušetřit peníze za energii určenou k ohřevu vody a k vytápění. První část práce je zaměřena na popis technologie tepelných čerpadel a s tím spojené výhody, nevýhody a legislativu, druhá část práce je pak zaměřena na vytvoření a porovnání variant s různými tepelnými čerpadly.

SUMMARY

This diploma thesis deals with an analysis, whether is heat pump applicable system as a system for water heating and heating for residential house in Prague street Zázvorkova No. 1995–1999. The main aim of this thesis is to find reasonable model of heat pump system, where the thesis places emphasis on gas heat pumps and electric heat pumps comparison. And so the thesis is a proposal how to save money on energy for water heating and heating. First part of this thesis deals with technology description of heat pumps and related advantages, disadvantages and legislation, second part of this thesis deals with creation and comparison of variants with different heat pumps.

Klíčová slova:

Plynové tepelné čerpadlo, Elektrické TČ, Ohřev užitkové vody, Vytápění panelového domu

Keywords:

Gas heat pump, Electrical heat pump, Domestic hot water heating, Heating for block of flats

Obsah

Obsah.....	6
1.0 Úvod.....	9
2.0 Dosavadní stav bytového domu	10
2.1 Popis objektu	10
2.2 Dodávka energie na ohřev TV a vytápění pro BD Zázvorkova 1995–99	11
2.2.1 Diagram spotřeby tepla na vytápění a ohřev teplé vody	12
2.3 Dodávka elektřiny pro BD Zázvorkova 1995–1999.....	13
2.4 Řešení vzduchotechniky	14
2.5 Systém řešení odpadní vody	15
3.0 Tepelná čerpadla z technického hlediska	16
3.1 Co to je tepelné čerpadlo – princip činnosti	16
3.2 Tepelná čerpadla s pohonem na elektřinu	17
3.3 Tepelná čerpadla s pohonem na plyn	18
3.3.1 Tepelná čerpadla s pohonem na plyn s kompresorem.....	18
3.3.2 Tepelná čerpadla s pohonem na plyn – absorpční tepelné čerpadlo	20
3.4 Nízkopotenciální zdroje tepla pro tepelná čerpadla.....	21
3.4.1 Země.....	21
3.4.2 Voda	22
3.4.3 Vzduch	23
3.5 Další technické informace o tepelných čerpadlech	24
3.5.1 Technické parametry	24
3.5.2 Provozní režimy tepelných čerpadel	26
3.5.3 Akumulace tepla.....	27
4.0 Legislativa spojená s provozem tepelných čerpadel	28
5.0 Výhody a nevýhody tepelných čerpadel lišících se pohonem a zdrojem tepla.....	30
6.0 Přehled využitelných tepelných čerpadel pro bytové domy.....	32
6.1 Výrobci elektrických tepelných čerpadel	32
6.1.1 KUFİ INT, s.r.o.	32
6.1.2 NIBE Industrier AB	33
6.1.3 Viessmann, spol. s r. o.....	33

6.1.4	PZP HEATING a.s.	34
6.2	Výrobci plynových tepelných čerpadel	34
6.2.1	AISIN EUROPE MANUFACTURING CZECH s.r.o.....	34
6.2.2	ROBUR, s.r.o.	35
6.2.3	TEDOM a.s.	35
7.0	Dimenzování tepelných čerpadel	37
7.1	Dimenzování výkonu tepelného čerpadla.....	37
7.2	Teplota bivalence.....	37
7.3	Akumulační zásobník tepla	38
7.4	Konkrétní výpočty pro BD Zázvorkova 1995–1999	39
8.0	Návrh variant tepelných čerpadel lišících se pohonem	42
8.1	Návrh variant tepelných čerpadel v zapojení vzduch/voda	42
8.2	Návrh variant TČ v zapojení voda/voda.....	43
8.2.1	Centrální systém s akumulací nádrží (jímkou).....	43
8.2.2	Lokální systém s průtokovým výměníkem	44
9.0	Investiční a provozní výdaje jednotlivých variant	46
9.1	Investiční výdaje variant.....	46
9.2	Provozní výdaje variant	48
9.2.1	Úvod do provozních výdajů	48
9.2.2	Obecné výpočtové hodnocení provozu soustav s TČ.....	49
9.2.3	Konkrétní výpočtové hodnocení provozu soustav s TČ – BD Zázvorkova 95–19 53	
9.2.4	Provozní výdaje jednotlivých variant.....	56
10.0	Ekonomické porovnání navrhovaných variant oproti dosavadnímu stavu	59
10.1	Stanovení parametrů pro srovnání	59
10.1.1	Diskontní míra (r).....	59
10.1.2	Doba porovnání (Tp).....	59
10.1.3	Tok hotovosti (CF)	60
10.2	Metody porovnání.....	62
10.2.1	Doba návratnosti (PP)	62
10.2.2	Čistá současná hodnota (NPV).....	62
10.2.3	Vnitřní výnosové procento (IRR).....	63
10.3	Porovnání navržených variant vůči stávajícímu stavu	64
10.4	Citlivostní analýza	66

10.4.1	Diskont	67
10.4.2	Velikost investice	68
10.4.3	Financování investice cizím kapitálem	69
10.4.4	Eskalace ceny elektrické energie.....	70
10.4.5	Eskalace ceny plynu	71
10.4.6	Velikost servisních výdajů	72
10.4.7	Dimenzování výkonu tepelných čerpadel – extra varianta	74
11.0	Závěr.....	76
12.0	Seznam použité literatury	78
13.0	Seznam použitých zkratk.....	81
14.0	Seznam obrázků	82
15.0	Seznam tabulek	83
16.0	Seznam grafů.....	84
17.0	Seznam příloh.....	85
18.0	Přílohy	86

1.0 Úvod

Ve své diplomové práci se zaměřím na úspory vzniklé instalací systému s tepelnými čerpadly určenými k přípravě teplé vody a k vytápění bytového domu. Tepelná čerpadla jsou jednou z alternativních možností, jak ušetřit energii na ohřev teplé vody a vytápění jak v rodinných, tak bytových domech.

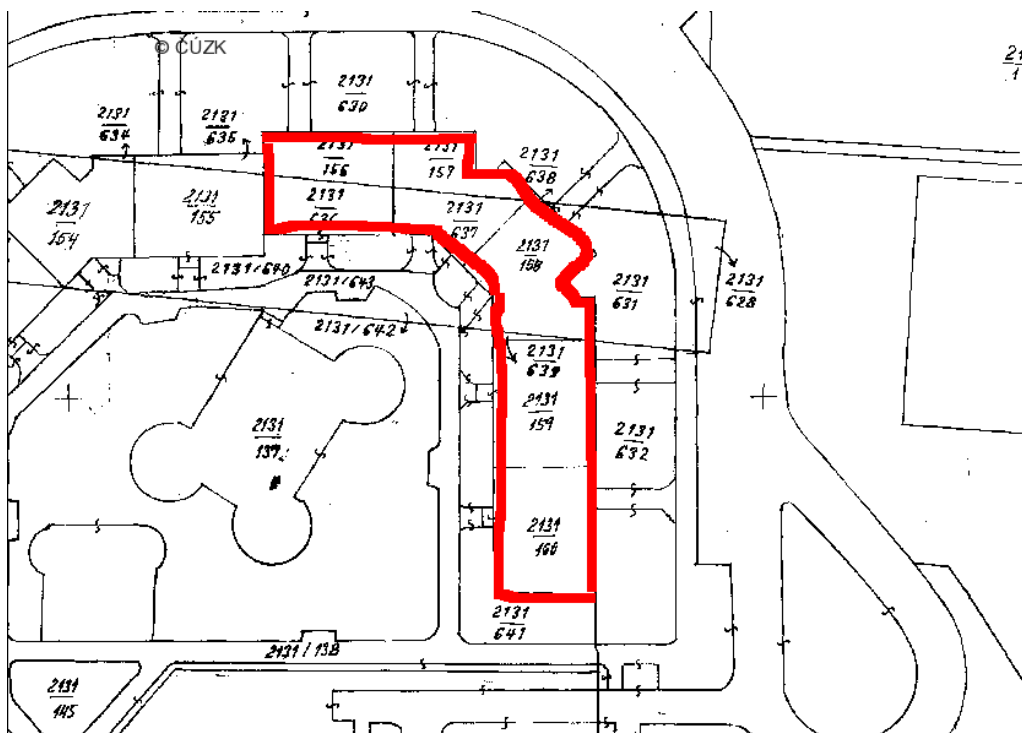
Cílem práce je určit nejvhodnější variantu systému vytápění a přípravy teplé vody s tepelnými čerpadly pro bytový dům, případně zda se vůbec tepelná čerpadla pro takovouto aplikaci vyplatí v porovnání se stávajícím stavem vytápění. Důraz bude kladen především na porovnání tepelných čerpadel s pohonem na elektřinu a tepelných čerpadel s pohonem na plyn, neboť o plynových tepelných čerpadlech toho doposud nebylo mnoho publikováno a de facto se stále jedná o novinku v oblasti vytápění.

Konkrétní bytový dům, který bude předmětem vstupních dat, je součástí panelového komplexu v podobě rondelu panelového domu v ulici Zázvorkova v Praze s označením 1995–2005. Prvních pět vchodů s označením 1995–1999 je v majetku bytového družstva, pro které jsem se rozhodl zpracovat návrh, jak zásobovat bytový dům teplem s využitím tepelných čerpadel.

2.0 Dosavadní stav bytového domu

2.1 Popis objektu

Bytovému družstvu (dále jen BD), pro které návrh zpracovávám, patří část panelového komplexu v podobě rondelu bytového domu. Jedná se o pěťici vchodů (domů) s označením 1995–1999. Tento dům je situován v Praze na Lužinách. Celý rondel se skládá z několika sekcí, přičemž BD je tvořeno dvěma bloky s označením T32 (1998–1999) a T33 (1995–1997). Tyto dva bloky mají společnou kotelnu, a tedy energetické zásobování. Pokud budu v textu dále psát o bytovém domě, je míněna pouze jeho část, která patří zmíněnému bytovému družstvu.



Obrázek 1 – Půdorys bytového domu a zvýrazněná část BD [zdroj: vedoucí práce]

Budovu tvoří dvanáct podlaží a suterén. Plášť je tvořen ze sendvičových štitových panelů, celostěnových průčelních panelů, parapetních panelů, panelů zapuštěných v lodžích a lehkých meziokenních vložek. Střecha, která by mohla být použitelná pro tepelná čerpadla, je plochá a vzdálenost od suterénu na střechu je 34,5 m.

V každém objektu se nachází buď 36, nebo 24 bytů. Celkově bytovému družstvu náleží 156 bytů, které mají rozmanité dispozice. Dále je bytový dům vybaven i nebytovými prostory,

kde se nachází sklepy, sušárny, kočárkárny, místnosti určené pro provoz objektu, jako jsou kotelna a strojovna, a prostory určené ke komerčním účelům (sklady, kanceláře či kadeřnictví).



Obrázek 2 – Pohled na bytový dům z ulice [foto: vedoucí práce]

V letech 2011 a 2012 byly v bytovém domě provedeny zásadní změny ovlivňující energetické hospodaření domu. V roce 2011 se provedlo zateplení obvodových stěn izolačním systémem z polystyrenu s tloušťkou 100 mm, dále byl zateplen strop suterénu vytvořením podhledu z tepelně izolačních materiálů (min. vata). Následně se provedlo rovněž zafoukání dodatečné vrstvy skelné vaty do dvouplášťové střechy. Tyto změny výrazně snížily spotřebu tepla celého domu a také jeho tepelnou ztrátu, kterou je nutné uvažovat při dimenzování tepelných čerpadel (více v další kapitole).

Do roku 2012 byl objekt zásobován teplem pro vytápění i ohřev teplé vody (dále jen TV, dříve označováno TUV – teplá užitková voda) z předávací stanice tepla, která byla napojena na CZT (centrální zásobování teplem). BD se rozhodlo nadále nevyužívat služeb Pražské teplařenské a.s. a tato předávací stanice se zrekonstruovala a změnila v plynovou kotelnu.

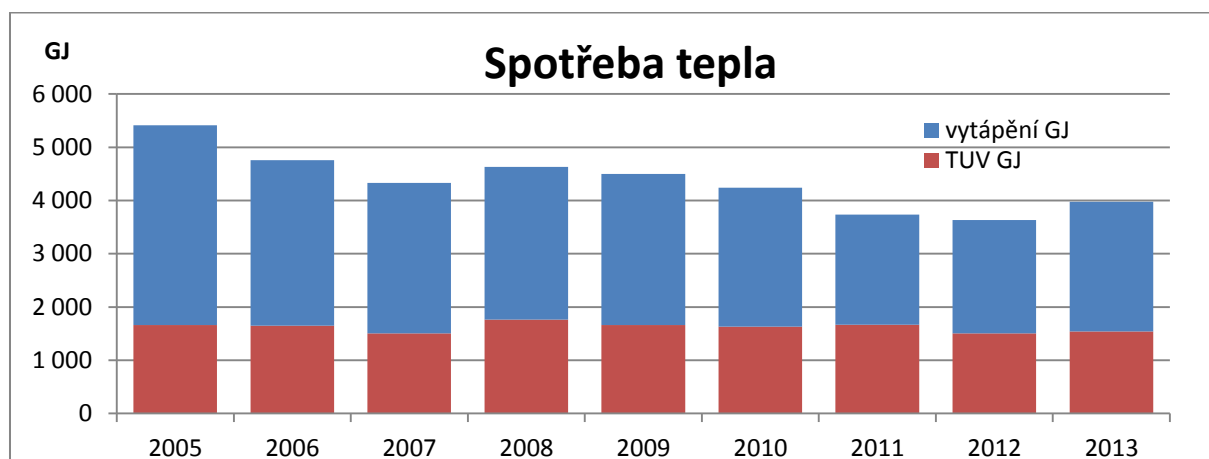
2.2 Dodávka energie na ohřev TV a vytápění pro BD Zázvorkova 1995–99

Jak již bylo nastíněno v předchozí podkapitole, bytový dům je vytápěn z nové moderní plynové kotelny, kde se zároveň ohřívá i TV. Do plynové kotelny je tedy z vodovodní přípojky přiváděna studená voda, která se pomocí plynových kotlů ohřívá a rozvádí po celém

objektu. Nyní je v kotelně umístěna soustava čtyř kotlů o celkovém výkonu 400 kW. Spalovací vzduch pro kotle je nasáván z venku a spaliny z kotlů jsou pak odváděny po fasádě na střechu rourou o průměru 160 mm. K soustavě jsou pak připojeny akumulční zásobníky TV o objemu 2x1000 l, ve kterých se ohřívá voda, což je výhodné i při budoucím navrhování variant tepelných čerpadel, neboť se ušetří investiční výdaje za nové akumulční zásobníky.

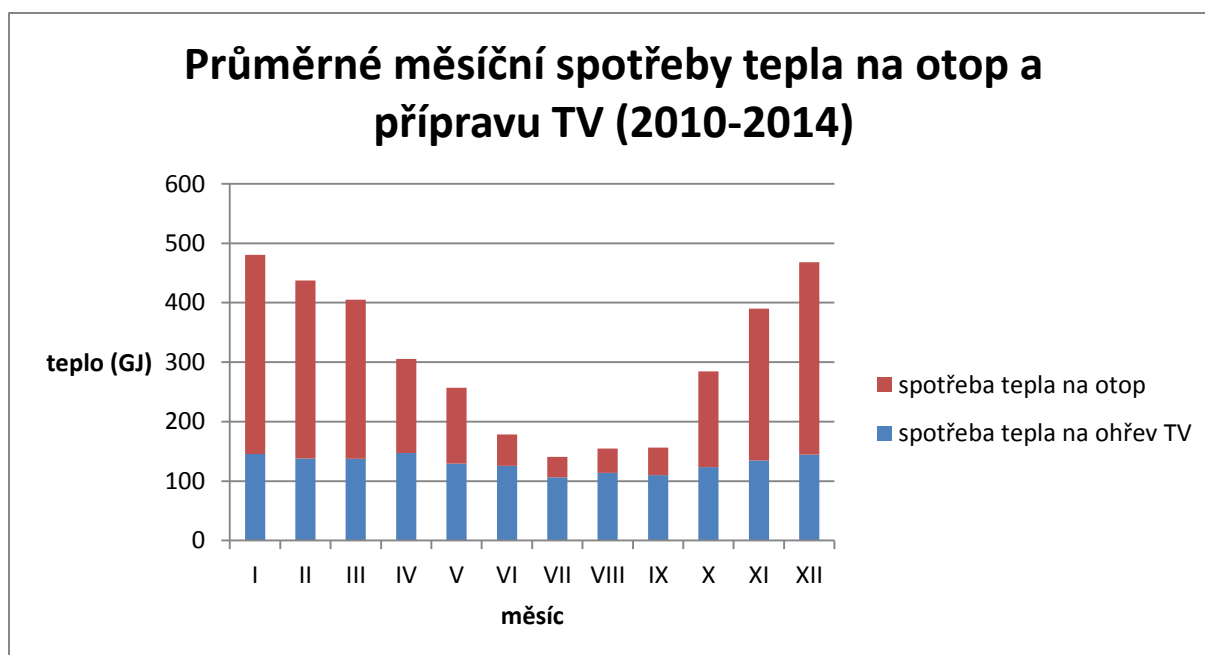
2.2.1 Diagram spotřeby tepla na vytápění a ohřev teplé vody

Údaje o celkové spotřebě tepla jsou velmi důležité pro výpočet ekonomické efektivity tepelných čerpadel, a proto uvádím diagramy spotřeby tepla na vytápění a spotřeby tepla pro ohřev TV. Měření prováděl po několik let vedoucí práce a z diagramu vyplývá i celkový odběr tepla.



Graf 1 – Spotřeba tepla BD Zázvorkova v letech 2005 až 2013

Kromě celkového diagramu je vhodné uvést také měsíční spotřeby tepla na TV a vytápění, neboť tyto hodnoty budou důležité při ekonomickém vyhodnocení, tedy při výpočtu energetických zisků tepelných čerpadel. Zmíněné hodnoty se nacházejí v grafu na další stránce a jedná se o hodnoty průměrné měsíční spotřeby tepla na otop a vytápění od roku 2010 do roku 2014.



Graf 2 – Měsíční spotřeba tepla na otop a ohřev TV

2.3 Dodávka elektřiny pro BD Zázvorkova 1995–1999

Do letošního roku byla a zatím i je elektřina zajišťována společností PRE, přičemž domácnosti využívají klasickou službu pro domácnosti s tarifem D02d, ale v kotelně se nově využívá dvoutarifní služba D25d (až díky nové sestavě s plynovými kotly a zásobníky TV). Kotelna tvoří samostatné odběrné místo, a proto může být ohodnocena jiným tarifem. Výdaje se pak rozpočítávají do jednotlivých domácností.

Letos se BD rozhodlo změnit dodavatele elektrické energie a od příštího roku bude nakupovat elektřinu u společnosti EON. Proto i já budu v této práci počítat s cenami elektřiny dle ceníků firmy EON.

Kromě celkových spotřeb tepla je nutné zmínit i spotřebu elektrické energie, ale pro budoucí výpočetní účely stačí uvést pouze elektřinu spotřebovanou v kotelně, nikoliv v domácnostech. Tyto údaje jsou známy zatím pouze pro rok 2013, protože jak bylo výše popsáno, v kotelně došlo ke změně tarifu. Celkově se v kotelně spotřebovalo za rok 2013 10,86 MWh elektrické energie. Elektřina pak byla spotřebována z 69,4 % ve vysokém tarifu a z 30,6 % v nízkém tarifu.

2.4 Řešení vzduchotechniky

Protože jedním z možných zapojení tepelného čerpadla je režim vzduch/voda (více v podkapitole 3.4.3), je nutné popsat také vzduchotechniku a následně stávající řešení odpadu (varianta voda/voda – více v podkapitole 3.4.2).

V roce 2012 byl, mimo již zmíněných změn, změněn také systém ventilace a vzduchotechniky. Nově byl instalován systém založený na centrálním podtlakovém odvětrávání. Tento systém přinesl oproti původnímu řešení inteligentní regulaci.

Na střeše (obrázek 3) se nacházejí ventilátory, které vytváří mírný podtlak a snaží se ho udržet konstantní pomocí regulace otáček. Pokud tedy uživatel či automatika otevře talířový ventil v bytovém prostoru, ventilátor se začne točit rychleji, aby podtlak udržel.



Obrázek 3 – Ventilátor odvětrávání [foto: vedoucí práce]

Nový systém je energeticky úspornější, spolehlivější a nedochází k šíření zápachu, nicméně systém neřeší přívod čerstvého vzduchu (řeší obyvatelé větráním). Hlavní nevýhodou systému je odvod vzduchu, který o teplotě 20 °C odchází bez užitku do okolí. [1]¹ Právě tyto výduchy by se mohly stát zdrojem tepla pro tepelné čerpadlo, které by teplo z odpadního vzduchu mohlo výhodně rekuperovat.

¹ BORUFKA, Martin. *Rekuperace tepla z větraného vzduchu*. Praha, 2014. Bakalářská práce. České vysoké učení technické. Vedoucí práce Ing. Miroslav Vítek, CSc.

2.5 Systém řešení odpadní vody

Odpadní voda je dalším možným zdrojem tepla pro tepelné čerpadlo.

Odpadní trubky jsou vyrobené z PVC a litiny. V celém objektu se nachází 14 stoupaček, které slouží k odvodu odpadní vody a které prochází skrz všech 12 pater. Každá ze dvou sekcí BD má vlastní napojení na kanalizační systém. V sekci T32 je 5 stoupaček, které odvádějí vodu z 60 bytů, a v sekci T33 je 9 stoupaček, které odvádějí vodu z 96 bytů.

Odpad do kanalizace pak proudí prostřednictvím kameninových a litinových odpadních trubek. Přístup k tomuto potrubí je v suterénu a vně domu možný pomocí několika šachet. Každá šachta je kryta poklopem o rozměrech 600x900 mm.

Teplota odpadních trubek je průměrně 20 °C [2]².

² MALÝ, Jan. *Rekuperace tepla z odpadní vody*. Praha, 2014. Bakalářská práce. České vysoké učení technické. Vedoucí práce Ing. Miroslav Vítek, CSc.

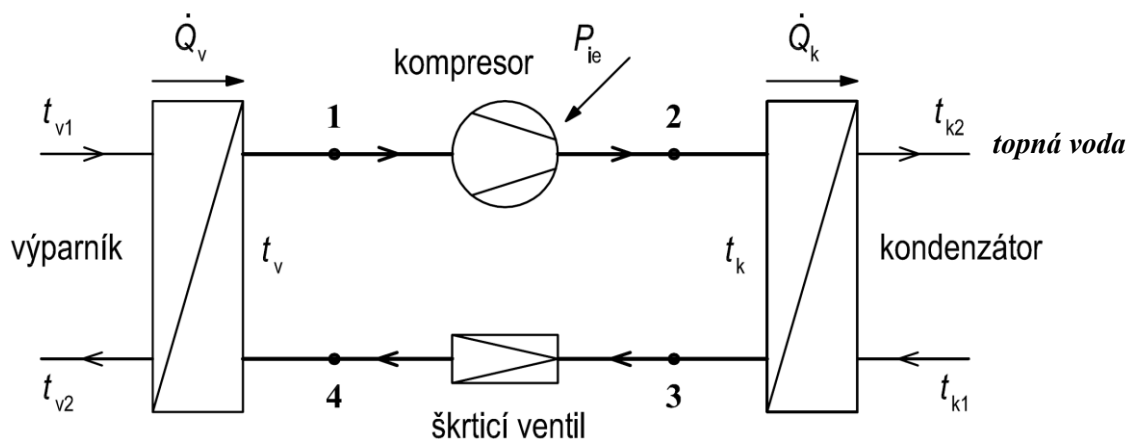
3.0 Tepelná čerpadla z technického hlediska

3.1 Co to je tepelné čerpadlo – princip činnosti

Tepelné čerpadlo (dále jen TČ) je, zjednodušeně řečeno, zařízení pracující s obráceným Carnotovým oběhem. Ačkoliv tento děj v přírodě neprobíhá v souladu s 2. zákonem termodynamiky, jenž praví: „Tepelná energie nemůže samovolně přecházet z prostředí o nižší teplotě do prostředí o vyšší teplotě.“ Je ale možné ho technicky uskutečnit za přívodu vnější pohonné energie. [3]³, [4]⁴

Z výše uvedeného vyplývá, že je možné sestavit tepelný oběh probíhající proti směru hodinových ručiček (tzv. čerpání, nebo přečerpávání tepelné energie), který umožňuje transformaci tepelné energie na vyšší teplotní úroveň. Aby to ale bylo fyzikálně reálné, je důležité dodržet jednu podmínku, a sice nutnost dodávat kromě nízkopotenciální tepelné energie další energii s vyšší exergetickou úrovní (energií vyšší kvality). Příkladem může být kompresní práce u tepelných čerpadel. [3], [4]

Princip činnosti tepelného čerpadla vysvětlím pomocí obrázku 4 níže.



Obrázek 4 – Princip činnosti tepelného čerpadla [3]

Princip činnosti naznačený na obrázku 4 je děj, který probíhá neustále dokola dle šipek a čísel v obrázku. Do výparníku vstupuje ochlazená látka, které vypařující se chladivo

³ MATUŠKA, Tomáš. *Alternativní zdroje energie*. Praha, 2010. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/~matustom/skripta_AZE_FS.pdf. Skriptum ČVUT FS. České vysoké učení technické.

⁴ ŠŤASTNÝ, Jiří. *Energetická strojní zařízení*. Praha, 2010. ISBN 978-80-01-03585-6. Skriptum ČVUT FEL. České vysoké učení technické.

odnímá teplo (teplota vypařování t_v je nižší než teplota výstupní ochlazované látky t_{v2}). Vznikají páry chladiva, které jsou kompresorem odsávány a stlačeny na vyšší tlak potřebný ke kondenzaci v kondenzátoru. V kondenzátoru je chladivo zkapalněno a ochlazeno, a to při vysokém tlaku a za kondenzační teploty vyšší, než je výstupní teplota látky t_{k2} . Posledním prvkem soustavy je škrticí ventil, který udržuje rozdíl tlaků za kondenzátorem a před výparníkem. Průchodem škrticího ventilu se prudce sníží tlak, přičemž kapalné chladivo se částečně odpaří a do výparníku vstupuje jako mokrá pára. [3], [4]

V ustáleném provozu ve shodě se zákonem o zachování energie platí rovnost mezi energií dodanou a odvedenou, tedy platí:

$$Q_v + P_{ik} = Q_k, \quad (\text{MWh}) \quad (1)$$

kde Q_v je teplo přiváděné ochlazením nízkopotenciálního zdroje, P_{ik} příkon kompresoru pro pohon parního oběhu a Q_k teplo odváděné do ohřivané látky. [3], [4]

Poměr získaného tepla (topný výkon) s hnacím příkonem kompresoru se nazývá topný faktor, který udává, kolikrát více energie tepla získáme, než ve formě hnací energie přivedeme. Tento údaj udávají výrobci a nahrazuje informaci o účinnosti. Bohužel je tento údaj mnohdy zavádějící, neboť topný faktor i topný výkon čerpadla závisejí na vstupní teplotě média a na nastavené výstupní teplotě ohřivaného média. Dle normy ČS EN 14511 jsou jmenovité hodnoty uvedeny pro teplotu vstupního média 2-10 °C a teplotu výstupního média 35 °C (nejčastěji, další hodnoty mohou být uvedeny i jinak, případně dle jiné normy – musí být vždy uvedeno), nicméně i některé další hodnoty je výrobce povinen doložit (více v podkapitole 3.5.1). Při výpočtech tepelných zisků je tak nutné vyhledat hodnoty pro konkrétní zapojení ve výkonových charakteristikách. [3], [4]

Princip činnosti TČ popsany v předchozích odstavcích je princip tzv. jednostupňové komprese. Dále existuje ještě komprese vícestupňová, která ale není předmětem této práce, neboť se používá tam, kde se současně topí i chladí. Já uvažuji použití tepelného čerpadla pouze pro vytápění a ohřev TV v bytovém domě, kde není použita centrální klimatizace či podobný systém.

3.2 Tepelná čerpadla s pohonem na elektřinu

Tepelná čerpadla s pohonem na elektřinu fungují principiálně přesně dle předešlé kapitoly, přičemž kompresor se pohání elektromotorem.

Kompresor může být v odděleném provedení, kde je motor oddělen od kompresoru a ztráty jsou odváděny do okolí, nebo v provedení polohermetickém, či hermetickém. [3]

V případě elektromotoru je dnes již výhradně použito kompresorů hermetického typu scroll, kde jsou elektromotor a vlastní kompresor uloženy v jedné tlakové nádobě hermeticky uzavřené vůči únikům chladiva. Nasávání, stlačování a výtlačku par chladiva je dosaženo pohybem pohyblivé spirály vůči statické. Výhodou je menší množství pohyblivých částí a vyšší životnost a spolehlivost zařízení. [3], [4]

Dále existují i jiné typy kompresorů (více informací ve zdrojích [3], [4]).

3.3 Tepelná čerpadla s pohonem na plyn

3.3.1 Tepelná čerpadla s pohonem na plyn s kompresorem

Tepelná čerpadla mohou být poháněna plynem dvojím způsobem. První způsob je pohon pomocí kompresoru s motorem spalujícím plyn (LPG, zemní plyn). Jedná se prakticky o stejný princip jako u klasických elektrických tepelných čerpadel s tím, že motor kompresoru je poháněn plynem.

Ačkoliv je základní princip totožný s elektrickým TČ, přívodem a použitím plynu se základní okruh rozšiřuje o několik dalších prvků. Celkový princip vysvětlím pomocí obrázku 5 (na další straně).

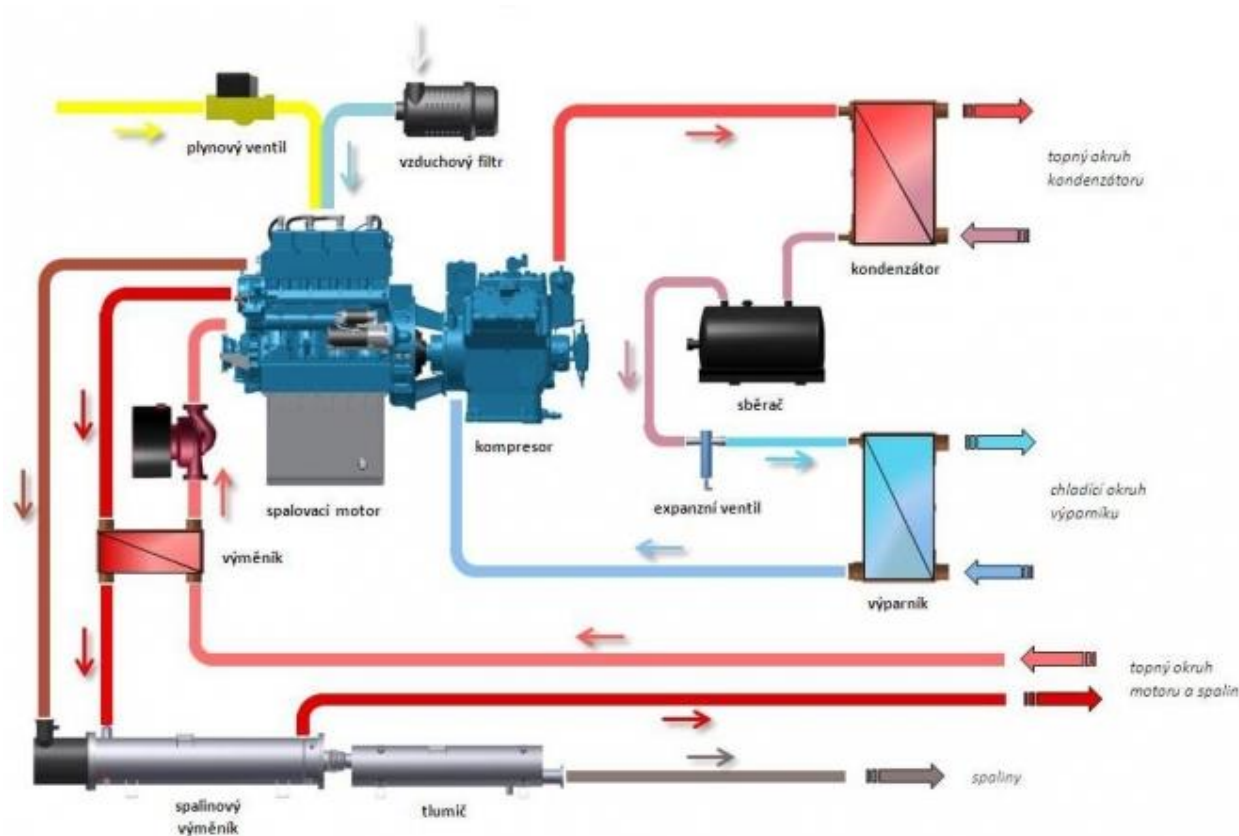
Základní okruh chladiva, který jsem již vysvětlil v předchozích podkapitolách, je stejný. Do výparníku vstupuje nízkopotenciální médium, kterému je odjímáno teplo, a v kondenzátoru je teplo předáváno například teplé vodě, kterou chceme ohřát.

Tímto bychom popis běžného tepelného čerpadla ukončili, nicméně u plynového tepelného čerpadla s kompresorem se nachází další okruh, a to okruh chlazení a spalin.

Do spalovacího motoru přivádíme plyn, přičemž jeho spalováním dochází k pohonu kompresoru, ale zároveň vznikají spaliny.

Plyn může být různý, např. zemní plyn, LPG nebo bioplyn, záleží na typu. V mém případě a ve všech variantách TČ s pohonem na plyn budu počítat se zemním plynem, neboť k bytovému domu je připojena přípojka právě se zemním plynem, kterým se nyní ohřívá TV a vytápí.

Spaliny vznikající z motoru jsou vedeny do spalínového výměníku, který má tyto spaliny zchladit a potom je odvést pryč z domu. To také vyžaduje instalaci nového komínového systému, kdyby nebylo možné využít stávající systém plynových kotlů.



Obrázek 5 – Schéma plynového tepelného čerpadla [5]⁵

Teplo ze spalin je přenášeno rovněž k zákazníkovi, což je hlavní rozdíl oproti běžnému TČ (teplo je využíváno i ze spalin). Je ale důležité zdůraznit, že ne všechno toto teplo se může použít, protože motor musí pracovat na pracovní teplotě. Proto je nutné odebírat z topného okruhu vodu, která putuje do výměníku, ve kterém probíhá předávání tepla z chladicího okruhu do spalínového topného okruhu. Tento teplotní spád však může být použit opět jako topný výkon k ohřevu teplé vody. [5]

Další změnou oproti běžným TČ je typ kompresoru. V České republice se momentálně dají sehnat plynová tepelná čerpadla s kompresorem pouze od dvou výrobců (viz podkapitola 6.2), přičemž oba výrobci preferují jiný typ kompresoru.

⁵ JANČOK, Lukáš. TEDOM a.s.: Jak funguje tepelné čerpadlo. TEDOM A.S. *TEDOM a.s.* [online]. [cit. 2014-10-11]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/jak-funguje-tepelne-cerpadlo.html>

Asijský výrobce AISIN používá již zmíněný kompresor typu scroll [6]⁶, kdežto druhý, český, výrobce TEDOM používá klasický pístový kompresor [7]⁷, kde se změnou objemu pracovní látky dosahuje přímým pohybem pístu ve válci [4]. Tento druh je způsoben měřítkem zařízení, neboť toto plynové čerpadlo může dosahovat výkonu až 243 kW, což je TČ s nejvyšším výkonem, které jsem našel. Takto velké kompresory jsou používány především průmyslově a výhradně s pístovým kompresorem. [4]

3.3.2 Tepelná čerpadla s pohonem na plyn – absorpční tepelné čerpadlo

Poslední možností pohonu TČ je tzv. absorpční pohon. Tento druh nemá žádný kompresor, komprese tedy probíhá jiným fyzikálním principem.

Základní princip absorpčního tepelného čerpadla je opět stejný jako u jiných TČ. Opět musí být splněny základní 4 procesy, a to přestup tepla do chladiva z obnovitelného zdroje (výparník), komprese chladiva, předání tepla do topného systému (kondenzace) a expanze chladiva, nicméně hlavní rozdíl je právě v kompresi chladiva. [8]⁸

Při kompresi chladiva je u tohoto typu TČ využita tepelná energie vzniklá hořením plynu. [8]

Ohříváním (resp. vařením směsi vody s chladivem) dochází k odpaření chladiva (exsorpce) a nárůstu tlaku v celém okruhu. Na konci okruhu je chladivo pohlceno (absorpce) zpět do vody a tato směs je pomocí pumpy dopravena zpět do varníku. Takto se celý proces opakuje. [8]

Ostatní součásti, tedy výparník, škrticí ventil a kondenzátor, jsou stejné jako u ostatních typů čerpadel. [8]

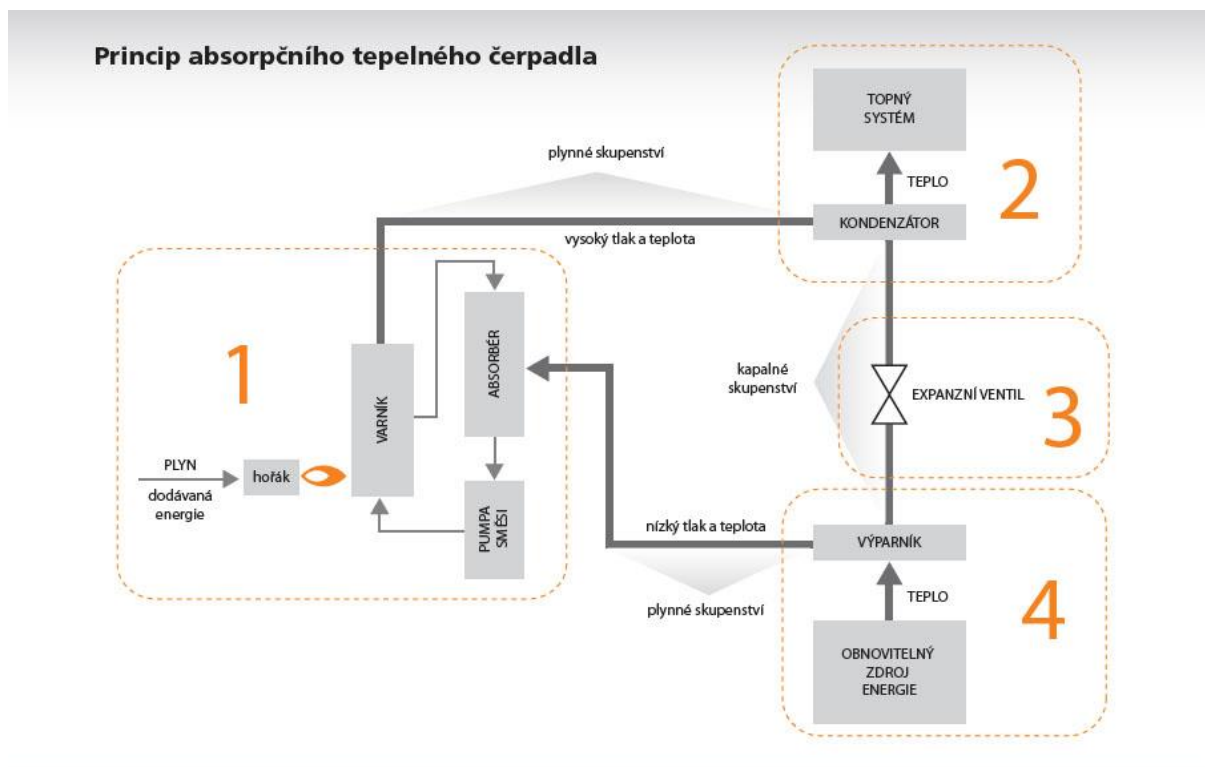
Hořením plynu vznikají spaliny, které by opět musely být odvedeny komínovým systémem.

Princip činnosti plynového tepelného čerpadla s absorpčním pohonem je pro úplnost zřejmý z obrázku 6 na další straně.

⁶ NEOSOLAR, SPOL. S. R. O. Plynová tepelná čerpadla Neosolar. [online]. [cit. 2014-10-11]. Dostupné z: <http://www.neosolar.cz/userfiles/file/Plynov%C3%A9%20tepeln%C3%A9%20%C4%8Derpadlo-bro%C5%BEura%20Neosolar.pdf>

⁷ JANČOK, Lukáš. TEDOM a.s.: Tepelné čerpadlo TEDOM Polo 100. TEDOM A.S. TEDOM a.s. [online]. [cit. 2014-10-11]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/tedom-polo-100.html>

⁸ Robur, SPOL. S. R. O. Plynová tepelná čerpadla ROBUR. [online]. [cit. 2014-10-11]. Dostupné z: http://www.robur.cz/download/10838_produkty-katalog-robur-3.2014-nejnovejsi.pdf



Obrázek 6 – Princip činnosti absorpčního plynového TČ [8]

3.4 Nízkopotenciální zdroje tepla pro tepelná čerpadla

3.4.1 Země

Tepelná čerpadla mohou být zapojena několika způsoby podle toho, jaký zdroj nízkopotenciálního tepla je využíván.

Čerpání tepla ze země je jedním z možných řešení. Provádí se dvěma způsoby, a sice pomocí svislých zemních vrtů hlubokých až 200 m, nebo pomocí horizontálních zemních kolektorů. [3], [4]

Tepelný potenciál země se využívá díky téměř stálému topnému faktoru a výkonu, nicméně při tomto provedení je nutno provést velké stavební práce, které jsou možné buď před výstavbou samotného obytného (průmyslového atd.) objektu, nebo případně později na přilehlém pozemku. Ani jedna možnost není pro již stojící bytový dům realizovatelná, a proto se tímto způsobem zapojení (myšleno získáním nízkopotenciálního tepla ze země) nebudu nadále zabývat, ale pro úplnost zde byl vyjmenován. [3]

3.4.2 Voda

Druhou možností nízkopotenciálního zdroje energie je voda.

Nejčastěji se využívá podpovrchových studen, tzv. spodní vody, neboť tato voda má celoročně přibližně stejnou teplotu a TČ díky tomu topný výkon a topný faktor. Toto zapojení je velmi podobné předešlému, pouze místo tepla zemského masívu je využíváno tepla podzemní vody. Proto je i instalace de facto stejná jako u předešlého, tudíž pro BD nepoužitelná. [3], [4]

Podobným případem je i čerpání tepla z jiných hlubinných či geotermálních vod. [3]

Využitelným zdrojem nízkopotenciálního tepla z vody pro BD je však odpadní voda [3], [4], kterou BD produkuje a vypouští bez užitku do kanalizace. Jak již bylo zmíněno v kapitole 2, tato voda má celý rok teplotu přibližně 20 °C, a proto je velmi vhodná jako zdroj tepla pro TČ, které bude mít po celý rok téměř konstantní topný faktor a výkon.

Výparník TČ by odebíral teplo z odpadní vody, (případně z nemrznoucí kapaliny, viz níže), která by se až po ochlazení vracela zpátky do kanalizace. Pokud používáme jako zdroj tepla vodu, přičemž teplo je použito pro přípravu TV a vytápění, pak mluvíme o tzv. zapojení voda/voda. [3]

Při zapojení voda/voda je nutná stabilní dodávka vody, tedy stabilní průtok procházející výparníkem. Toho může být dosaženo buď instalací akumulární jímky na odpadní vodu, nebo dostatečným průtokem odpadní vody po celý den. U průmyslových objektů nebo velkých bytových domů, mezi které patří nepochybně i bytový dům, pro který návrh zpracovávám, je toto zapojení možné. V takovém případě lze použít průtokové tepelné výměníky, které předávají teplo nemrznoucí směsi, a ta pak teprve předává teplo výparníku TČ (tzv. solankové výměníky). V opačném případě mluvíme o přímém výparníkovém systému, kdy je do odpadní vody umístěno přímo výparníkové potrubí s chladičem. [2], [3]

Pro správný chod je také nutné odpadní vodu vyčistit od pevných nečistot. Toho může být docíleno právě v akumulární nádrži nebo jiným způsobem před vstupem do výparníkového potrubí (výparníku). [2], [3]

3.4.3 Vzduch

Poslední využitelný zdroj nízkopotenciálního tepla je vzduch. Pokud odebíráme teplo ze vzduchu a ohříváme vodu určenou pro TV a vytápění, pak mluvíme o systému zapojení vzduch/voda. [3]

Teplo může být odebíráno z venkovního vzduchu nebo z jiného odpadního vzduchu. První možnost je vhodná pouze tehdy, není-li možná jiná z předchozích realizací, neboť topný faktor a výkon se v průběhu roku výrazně mění a především v zimě při velmi nízkých teplotách je topný výkon minimální nebo téměř žádný. [3], [4]

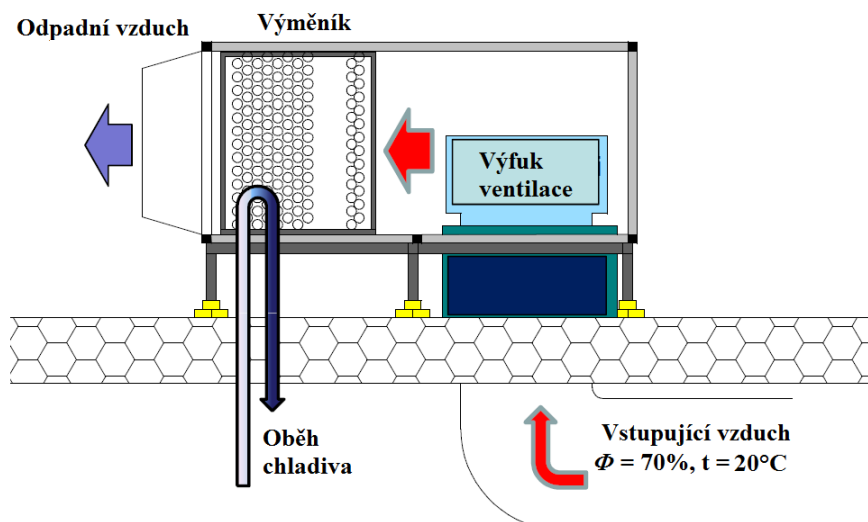
Zajímavá je však možnost odebírat teplo z odpadního vzduchu, což je možné i v případě bytového domu ve vlastnictví BD, pro které návrh zpracovávám. Tento vzduch (dle kapitoly 2) má po celý rok teplotu přibližně 20 °C, což je opět výhodné pro topný výkon a faktor. Toto zapojení proto budu uvažovat v budoucích navrhovaných variantách TČ pro BD.

Zapojení soustavy může být v provedení vnitřním nebo vnějším. Vzhledem k tomu, že bytový dům má výfuky ventilace na střeše, je evidentní, že bude použito provedení vnější. V takovém zapojení může být venku umístěna buďto celá jednotka, nebo pouze výparník. Druhá možnost je pro bytový dům ideální, neboť v prvním případě by se musela otopná voda rozvádět ze suterénu na střechu a docházelo by ke zbytečným dalším tepelným ztrátám. V druhém případě se bude rozvádět na střechu pouze chladivo, a to ve výrazně menším objemu, než by tomu bylo u otopné vody. [3]

Zásadním problémem venkovních TČ vzduch/voda je námraza. Při nižších teplotách může docházet k namrzání plochy výparníku, což vede ke snižování prostupu tepla, následně vypařovacího tlaku, a tedy i snižování topného výkonu a faktoru. [3]

Aby se předešlo namrzání, používají se nejčastěji dva způsoby odtávání. Každé TČ je možné provozovat také v reverzním chodu, kdy se z výparníku stane kondenzátor a naopak. Toto je také jedna z možností, jak posílat teplo na opačnou stranu, tedy na namrzající výparník, čímž nedojde k námraze. Druhou možností je přivedení plynného chladiva z výstupu kompresoru do výparníku (pomocí magnetického ventilu EMV s omezovačem průtoku chladiva). [3]

Díky možnosti umístění výparníku TČ a výfuku ventilace do jedné skříně je v dnešní době možné téměř zamezit namrzání výparníku. Díky stálé teplotě odpadního vzduchu, který má navíc vyšší průtok, než TČ potřebuje, je možné využívat stálý vysoký topný výkon a faktor a zároveň zamezit námraze na výparníku. Toto zapojení je zobrazeno na obrázku 7 na další straně. [1]



Obrázek 7 – Zapojení výparníku TČ a výfuku ventilace v zapojení vzduch/voda [1]

3.5 Další technické informace o tepelných čerpadlech

3.5.1 Technické parametry

Nejdůležitějšími technickými parametry TČ jsou topný výkon a příkon a s tím spjatý topný faktor. Jak již bylo nastíněno v podkapitole 3.1, výrobci jsou povinni (nejčastěji – může být uvedeno i jinak u různých druhů nízkopotenciálního média) uvádět tyto parametry jako jmenovité pro teploty 2-10 °C (vstupní teplota nízkopotenciálního média) a 35 °C (výstupní teplota ohřívaného média). Dále jsou však dle stejné normy (ČS EN 14511) povinni uvádět další hodnoty (výkonu a topného faktoru) např. pro výstupní teplotu média 45 °C nebo 55 °C (to bude nutné v mém případě) a pro různé vstupní teploty médií. Těmto hodnotám se říká výkonové charakteristiky, které jsou důležité při určování dosažených tepelných zisků. [3], [9]⁹

Ačkoliv nikde není explicitně uvedena účinnost zařízení, která by neměla přesáhnout 100 %, je účinností míněn právě topný faktor TČ, který představuje podíl tepelný výkon / elektrický příkon, nebo v případě plynových tepelných čerpadel (dále jen PTČ) podíl tepelný výkon / spotřeba plynu (nejčastěji v kW). V případě elektrických TČ se mluví výhradně o topném faktoru nebo o COP (coefficient of performance). U PTČ se někdy

⁹ KRAINER, Robert a Tomáš MATUŠKA. *Výpočtové hodnocení tepelných soustav* [online]. Praha, 2011, květen 2011 [cit. 2014-10-17]. Dostupné z: http://www.opzp.cz/soubor-ke-stazeni/41/12428-06_hodnoceni_TC_metodika.pdf. Ústav techniky prostředí, Fakulta strojní, ČVUT v Praze.

mluví o COP, někdy o GUE (gas utilization efficiency), což můžeme přeložit jako účinnost využití plynu. V obou případech se však z technického hlediska bilance tepla vždy mluví o tom samém. [3], [4], [5], [7], [8]

Po COP nás u tepelných čerpadel zajímá topný výkon, pokud bude tepelné čerpadlo používáno k topení (ohřevu aj.), případně chladicí výkon, neboť tepelné čerpadlo může být využíváno i k chlazení. Chladicí výkon není běžně stejný jako topný výkon. V mém případě budou čerpadla použita vždy k ohřevu, tudíž se nebudu chladicím výkonem nadále zabývat. Topný výkon jednotlivých, v ČR dostupných, zařízení dosahuje (vždy dle konkrétního zapojení a výkonových charakteristik) maximálně desítek kW výkonu, což je pro bytový dům málo. Tepelná čerpadla tak musí být použita v sestavách, aby jejich výkon stačil na zásobování tepla. To platí jak pro elektrická, tak plynová TČ. Jedinou výjimkou je zařízení společnosti TEDOM, o kterém píší více v podkapitole 6.2.3.

Při znalosti topného výkonu a topného faktoru pro konkrétní zapojení není problém vyčíslit elektrický příkon TČ v případě elektrických TČ, nebo spotřebu plynu v kW u PTČ. Výrobci však uvádějí kromě výkonových charakteristik také charakteristiky příkonu, takže není nutné příkon či spotřebu plynu počítat, navíc tyto hodnoty jsou přesnější, protože uváděné hodnoty COP a topného výkonu jsou zaokrouhleny. Znalost příkonu nebo spotřeby plynu je zásadní při výpočtech provozních výdajů TČ, proto je důležité mít příkonové charakteristiky TČ k dispozici.

Z ostatních parametrů TČ je nutné zmínit ještě elektrické parametry, které především u elektrických tepelných čerpadel hrají velkou roli, neboť v případě použití více TČ s elektromotory bude potřeba v kotelně změnit velikost jističů, což bude znamenat další provozní výdaje na nové jističe. Z elektrických parametrů se tak u TČ udává potřebný druh jističe a třída ochrany. Stávající rozvody by měly připojení čerpadel vydržet, přičemž v plánu je i výměna společných rozvodů, které budou jistě opraveny dříve, než by se instalovalo TČ. V případě PTČ pak starost o velikost jističe samozřejmě odpadá.

Další technické parametry nemají na ekonomickou efektivnost významný vliv. Například regulace, která samozřejmě musí být napájena. Všechny budoucí varianty ale musí mít regulaci, tedy provozní výdaje za ni budou pro všechny varianty de facto stejné. Hmotnost jako technický parametr také nehraje významnou roli. Jednotlivá zařízení sice mají různou hmotnost, nicméně pro instalaci všech variant bude jistě využit jeřáb.

3.5.2 Provozní režimy tepelných čerpadel

Tepelné čerpadlo může být provozováno v několika různých provozních režimech podle toho, kolik energie z celkové potřeby tepla zajistí, a to buď samo, nebo s dodatkovým zdrojem. [3], [10]¹⁰, [11]¹¹

TČ může být, na rozdíl od např. solárních kolektorů, jediným zdrojem tepla, tedy všechno teplo potřebné pro ohřev TV a pro vytápění zajistí TČ. V tomto případě se dimenzuje výkon tepelného čerpadla na celkovou tepelnou ztrátu objektu, což znamená vyšší provozní i investiční náklady. Je zřejmé, že pro bytový dům, který již má nainstalované plynové kotle, je tento provozní režim nevhodný. [3], [10], [11]

Kromě toho, že jsou TČ v monovalentním provozu zbytečně drahá, jsou také de facto předimenzovaná, protože jejich plný výkon je využíván velmi zřídka, pouze ve dvou měsících v roce. Z tohoto hlediska se jeví lepší tzv. bivalentní provoz, neboli provoz TČ s dodatkovým zdrojem energie. V případě bytového domu to jsou plynové kotle. [3], [10], [11]

Bivalentní provoz může být paralelní, kdy při venkovní teplotě nižší, než je teplota bivalence (teplota, při které se zapíná bivalentní zdroj), se připíná dodatkový zdroj, ale tepelné čerpadlo pracuje i při takto nízkých venkovních teplotách. [3]

Další možností je alternativně bivalentní provoz, což znamená, že při teplotě nižší, než je teplota bivalence, se odpojí TČ a vytápění zajišťuje pouze dodatkový zdroj. [3]

Kombinací obou předchozích bivalentních režimů je možné provozovat zdroj také jako částečně paralelně bivalentní. [3]

Pokud je to technicky možné, doporučuje se dimenzovat záložní zdroj na plnou tepelnou ztrátu pro případ výpadku nebo poruchy TČ, čehož je u bytového domu, pro který návrh počítám, už dosaženo. I proto se jeví bivalentní provoz jako vhodný a i já s ním budu při budoucím dimenzování počítat. [11]

¹⁰ HONZÍK, Jiří. Dimenzování tepelného čerpadla vzduch-voda, bivalentní/záložní zdroj. In: *TZB-info* [online]. 3.11.2011. [cit. 2014-10-17]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/7995-dimenzovani-tepelneho-cerpadla-vzduch-voda-bivalentni-zalozni-zdroj>

¹¹ ANONYMOUS. Metodika pro návrh TČ vzduch/voda. In: ASOCIACE PRO VYUŽITÍ TEPELNÝCH ČERPATEL. [online]. 28.5.2012 [cit. 2014-10-17]. Dostupné z: http://www.avtc.cz/?download=/dokum/metodika-pro-navrh-tepelneho-cerpadla-vzduch-voda_28-05-2012-pracovni-verze.pdf

3.5.3 Akumulace tepla

Ačkoliv to není podmínka, je vhodné zapojit do systému TČ akumulční nádrž, která je instalována hned z několika důvodů. [3], [11]

Především u velkých objektů se instalují akumulční zásobníky k vyrovnání souladu mezi výkonem TČ a potřebou vytápění. U velkých objektů s vyšší spotřebou tepla, mezi které můžeme řadit i bytový dům, může být tento rozdíl značný. Proto je u bytových domů instalace akumulčních zásobníků téměř nutností. [3], [11]

Mezi další důvody použití akumulace tepla patří omezení četnosti spínání tepelného čerpadla, a tedy prodloužení životnosti TČ, dále hydraulické oddělení okruhu zdroje tepla od okruhu spotřeby, překlenutí doby blokace (více v kapitole 4) a také jako ochrana proti zamrznutí TČ. [3], [11]

Bytový dům, pro který návrh zpracovávám sice již má instalovány dva akumulční zásobníky TV o objemu celkem 2000 l, ale pro potřeby tepelného čerpadla bude nutné připojit do soustavy ještě další akumulátory (více v kapitole 7).

4.0 Legislativa spojená s provozem tepelných čerpadel

Následující kapitola se týká pouze elektrických tepelných čerpadel, neboť s jejich provozem může být spojena jistá legislativní pomoc v podobě výhodnějšího tarifu elektřiny (D56d). PTC se to netýká, neboť jejich pohon je poháněn plynem a pro tato čerpadla není možné získat výhodnější tarif.

Dle přílohy č. 4a vyhlášky č. 541/2005 Sb., o pravidlech trhu s elektřinou, zásadách tvorby cen za činnosti operátora trhu s elektřinou a provedení některých dalších ustanovení energetického zákona, je definována kategorie odběratele D takto:

„Fyzická osoba, jejíž odběrné místo je připojeno k distribuční soustavě s napětím mezi fázemi do 1 kV včetně a která odebírá elektřinu k uspokojování její osobní potřeby související s bydlením nebo osobních potřeb členů její domácnosti; za odběratele kategorie D se považuje i fyzická nebo právnická osoba v rozsahu odběru elektřiny pouze pro potřeby správy a provozu společných částí domu sloužících pouze pro společné užívání vlastníků nebo uživatelům bytů.“

Ačkoliv to není na první pohled patrné, je možné přidělení dvoutarifní distribuční sazby i pro společné spotřebiče (tepelná čerpadla), které vytápí více bytových jednotek a které jsou provozované společenstvím vlastníků jednotek nebo bytovým družstvem. Tuto informaci jsem si ověřil i u Energetického regulačního úřadu (dále jen ERÚ) e-mailem.

Dále lze sazbu D56d přiznat dle Cenového rozhodnutí ERÚ č. 6/2012 ze dne 30. listopadu 2012, kterým se stanovují ceny regulovaných služeb souvisejících s dodávkou elektřiny odběratelům ze sítí nízkého napětí pouze pro samotnou vytápěcí soustavu s tepelným čerpadlem, pokud je splněna následující podmínka:

„Je-li vytápěcí soustava s tepelným čerpadlem součástí společných částí domu sloužících pouze pro společné užívání vlastníků nebo uživatelům bytů, musí být napájena samostatným příívodem a měřena samostatným měřicím zařízením.“

Z uvedeného vyplývá, že není možnost přiznání dvoutarifové sazby pro vytápění s tepelným čerpadlem uvedeným do provozu od 1. dubna 2005 pro všechny byty v bytovém domě při používání společného tepelného čerpadla. Nová sazba by tak byla použita pouze pro kotelnu, případně společné části domu.

Nyní k samotné sazbě D56d. Jedná se o dvoutarifní sazbu s dobou platnosti nízkého tarifu minimálně 22 hodin denně, přičemž k vytápění objektu musí být použito tepelné čerpadlo. Čas nízkého tarifu může být rozdělen maximálně do sedmi samostatných úseků, kde žádný z nich nesmí být kratší než jedna hodina. Maximální souvislá délka platnosti vysokého tarifu pak nesmí být delší než jedna hodina. Distributor má také právo v platnosti nízkého tarifu blokovat přímotopný elektrický spotřebič v maximální celkové délce 2 hodiny denně s tím, že vypnutí nesmí být delší než 30 minut a přestávky mezi vypnutím nesmí být kratší než jedna hodina. Z uvedených skutečností je zřejmé, že spotřebič (tepelné čerpadlo) musí být napojen na hromadné dálkové ovládání (HDO). [Cenové rozhodnutí ERÚ č. 6/2013]

Kromě podmínek uvedených výše (ERÚ) musí být také splněny podmínky distributora elektrické energie, které můžeme nalézt buď v jeho ceníku [12]¹², nebo opět v Cenovém rozhodnutí ERÚ č.6/2013. Tyto podmínky jsou tři, a sice:

- uvedením do provozu se rozumí datum uzavření smlouvy první smlouvy o dodávce, distribuci elektřiny nebo smlouvy o sdružených službách dodávky elektřiny v této sazbě,
- odběratel distributorovi věrohodným způsobem (revizní zpráva a protokol o instalaci TČ) prokáže, že pro vytápění objektu je řádně nainstalován a používán systém vytápění s tepelným čerpadlem, přičemž tepelný výkon tepelného čerpadla musí krýt minimálně 60 % tepelných ztrát vytápěného objektu,
- odběratel zajistí blokování topných elektrických spotřebičů (TČ) v dobách platnosti vysokého tarifu.

Z uvedených podmínek se potvrzuje nutnost instalace akumulčního zásobníku v soustavách s elektrickým tepelným čerpadlem, neboť nikdy nevíme, kdy bude platit nízký a kdy vysoký tarif.

Dále je dobré si uvědomit, že v případě použití elektrických tepelných čerpadel (dále jen ETČ) je nutné správně dimenzovat výkon, aby bylo vůbec možné tarif D56d získat. U PTČ tento problém není, ale jak bude později popsáno, tepelná čerpadla se obecně dimenzují výkonem na 50–75 % tepelné ztráty objektu. [3], [11]

¹² E.ON distribuce. Přehled cen a sazeb distribuce. [online]. [cit. 2015-03-11]. CENÍK. Dostupné z WWW: <http://www.eon.cz/file/edee/cs/domacnosti/produkty-a-ceny-elektriny/eon-cenik-jistota-elektrina-2014-domacnost-pre.pdf>

5.0 Výhody a nevýhody tepelných čerpadel lišících se pohonem a zdrojem tepla

Zásadní výhodou ETČ je možnost získání lepšího tarifu elektřiny. Provozní výdaje ETČ tak rapidně klesají, neboť ve vysokém tarifu ani TČ pracovat nesmějí. S touto výhodou ETČ je ale zároveň spjata i jedna podstatná nevýhoda, a to vysoká závislost na elektrické energii. To znamená, že pokud budou do budoucna ceny elektrické energie výrazně růst, budou růst i provozní výdaje ETČ, případně se mohou tarify pro tepelná čerpadla zrušit, což by opět znamenalo nárůst provozních výdajů. [7], [12]

To samé samozřejmě ale platí i pro plyn, takže výhoda, resp. nevýhoda závislosti na jistém druhu energie je u obou typů podobná, a tedy irelevantní, v případě PTČ však můžeme říci, že snižují celkovou elektrickou zátěž objektu (především ve špičkách). Situace by mohla být jiná v případě výpadku elektrické energie, na které je ETČ silně závislé, nicméně momentálně není možné bez přívodu elektrické energie provozovat ani PTČ. Zůstává však možnost zálohovat tento systém např. záložním zdrojem UPS, který by byl pro PTČ výrazně levnější při stejné době zálohy než pro ETČ.

Zásadní výhodou PTČ oproti ETČ je možnost využít také odpadní teplo motoru a spalín, což výrazně zlepšuje účinnost celého systému. Další výhodou plynových tepelných čerpadel je možnost použití více paliv pro pohon jednotky, např. zemního plynu, LPG nebo jiného plynu. V případě nutnosti je tak možné změnit palivo a připojit zařízení ze zemního plynu např. na LPG. [6], [7]

Poslední výhodou PTČ je rovnoměrnější výkon i při velmi nízkých teplotách v zapojení vzduch/voda (až do $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$). Tato situace se však v případě použití velkého průtoku odpadního vzduchu (jako zdroje nízkopotenciálního tepla) neprojeví ani u ETČ. [6], [7]

Na závěr této kapitoly uvedu, jaké jsou výhody a nevýhody jednotlivých instalací podle zdroje nízkopotenciálního tepla. Tyto výhody/nevýhody jsou stejné jak pro plynová, tak pro elektrická tepelná čerpadla, liší se pouze zdrojem nízkopotenciálního tepla.

Zapojení země/voda se nebudu věnovat, neboť není pro BD použitelné, začnu tedy rovnou se zapojením voda/voda, přičemž zdrojem tepla bude odpadní voda.

Zapojení TČ do systému voda/voda je technicky velmi náročné. Musí být splněny podmínky pro dostatečně čistou vodu, která vstupuje do výparníku, což zapříčiní vyšší investiční výdaje v podobě filtrace. Dále je s touto instalací mnoho problémů ohledně kanalizace, a proto se musí vyřídit řadu příslušných povolení. Potřebný je také velký průtok vody, který ale v případě mého bytového domu není problém. Stavební práce v tomto

zapojení jsou větší než při zapojení vzduch/voda a celkově budou investiční náklady (na soustavu, nikoliv na čerpadla) vyšší. Pomineme-li ale technickou náročnost řešení, jedná se o variantu velmi efektivní, protože TČ bude mít po celý rok přibližně stejný COP i topný výkon. [3], [4], [13]¹³

Zapojení vzduch/voda je technicky méně náročné, instalace takové soustavy je oproti systému voda/voda velmi jednoduchá a univerzální. Pro tuto instalaci není potřeba žádných speciálních povolení a TČ lze umístit např. na střechu (oproti instalaci soustavy do kanalizačních šachet v zapojení voda/voda). Výhodou oproti systému voda/voda jsou i nižší pořizovací výdaje. Samozřejmě má ale tento druh zapojení také svoje nevýhody, a to především nižší účinnost při silných mrazech, což budu i přes použití odpadního vzduchu jako zdroje tepla uvažovat (projeví se poklesem teploty vstupující do výparníku a tím snížením výkonu a COP). Další nevýhodou tohoto zapojení je hlučnost venkovní jednotky, proto je nutné dbát, aby nebyla TČ instalována na odrazových plochách, které mohou zvýšit hlukovou emisi odrazem zvukových vln. U bytového domu, pro který návrh zpracovávám, by se venkovní jednotky instalovaly zcela jistě na střechu. [3], [4], [13]

Všechny typy TČ i zapojení mají své výhody a nevýhody. Jejich kombinací bych měl získat optimální variantu, proto všechny budoucí navrhované varianty budou kombinací všech zmíněných typů TČ a všech (dvou) zapojení z hlediska zdroje nízkopotenciálního tepla. [3], [4], [13]

¹³ ANONYMOUS. Přehled výhod a záporů tepelných čerpadel podle zdrojů tepla. In: IDNES.CZ [online]. [cit. 2014-10-18]. Dostupné z WWW: http://sdeleni.idnes.cz/prehled-vyhod-a-zaporu-tepelných-čerpadel-podle-zdroju-tepla-p5h-/eko-sdeleni.aspx?c=A100527_081734_eko-sdeleni_ahr

6.0 Přehled využitelných tepelných čerpadel pro bytové domy

S rozvojem obnovitelných zdrojů energie v posledních letech vzniklo nesčetné množství výrobců a prodejců, kteří se zaměřili na prodej/výrobu tepelných čerpadel. Není tedy prakticky možné vyjmenovat všechny výrobce a ani to není záměrem této práce.

Je důležité si ale uvědomit, že ne všechna TČ jsou vhodná pro soustavy bytových domů, ať už se jedná o nedostatečný výkon, nebo např. nemožnost pracovat ve větších soustavách. Po této prvotní selekci zjistíme, že TČ dostupná v České republice pro bytové domy se budou počítat v řádu jednotek.

V případě ETČ nabízí jen pár výrobců TČ s výkonem vyšším než 40 kW, a proto jsem zvolil firmy, které již mají nějaké zkušenosti s projekty pro bytové domy, a také firmy, které se specializují na jeden konkrétní typ zapojení TČ, tedy buď vzduch/voda, nebo voda/voda.

U PTČ je situace ještě jednodušší, protože v České republice je možné získat tepelná čerpadla pouze od tří výrobců. Ne všichni výrobci nabízí všechny typy zapojení, proto se zaměřím na všechny tři výrobce PTČ.

6.1 Výrobci elektrických tepelných čerpadel

6.1.1 KUFİ INT, s.r.o.

Společnost KUFİ INT je v České republice známá spíše vlastnictvím obchodních značek AC Heating, Convert AW a xCC. Jedná se o českou firmu, přičemž na trh s tepelnými čerpadly vstoupila v roce 2006. [14]¹⁴

Firma se specializuje výhradně na elektrická tepelná čerpadla v zapojení vzduch/voda. Patří mezi největší dodavatele v České republice především pod obchodními značkami AC Heating a Convert AW, pod kterými vystupují i ETČ. V roce 2008 bylo tepelné čerpadlo Convert AW dle Evropské asociace tepelných čerpadel (EHPA) sedmým nejprodávanějším TČ vzduch/voda v ČR. [14]

Společnost má sídlo v Plzni a zajímavostí je poskytování sedmileté záruky na všechna tepelná čerpadla. [14]

Firma má velké zkušenosti s velkými sestavami pro bytové domy, a proto jsem ji také já zařadil do této práce. [14]

¹⁴ AC-Heating [online]. [cit. 2014-10-24]. O společnosti. Dostupné z WWW: <<http://www.ac-heating.cz/o-nas>>

Společnost nabízí TČ s výkonem 6–55 kW, kde zařízení s nejvyšším výkonem bude použito i při mých výpočtech. Je třeba také dodat, že toto zařízení se skládá ze dvou třífázových jednotek Convert AW28 3P, které budou dále řazeny do větších kaskád. Jmenovité technické parametry uvádím v příloze 1. [14]

6.1.2 NIBE Industrier AB

Další firmou, která se specializuje na ETČ v zapojení vzduch/voda, ale i země/voda, je švédská firma NIBE. [15]¹⁵

V české republice vlastní NIBE dva závody na výrobu elektrických topných těles, a sice Backer Elektro CZ a.s. a Eltop Praha. Vlastní také největšího výrobce ohřívačů vody v ČR Družstevní závody Dražice - strojírna s r. o., kam patří také prodej tepelných čerpadel. [15]

NIBE nabízí pro velké soustavy tepelné čerpadlo AP-AW30, které dosahuje výkonu až 31 kW, což pro celé BD samozřejmě nestačí, a proto bude také navrhováno do kaskád. Další technické parametry tohoto TČ jsou opět uvedeny v příloze 1. [15]

Tuto firmu jsem vybral díky zkušenostem s bytovými domy a také proto, že jsem od ní získal odhad investičních výdajů instalace podobného systému pro můj bytový dům, který zpracovával ve své bakalářské práci Martin Borufka [1]. Tyto informace budu moci použít a porovnat s těmi, které mi byly sděleny firmou TEDOM a.s. nebo Tempoterm, spol. s r. o. (více v podkapitole 6.2.3).

6.1.3 Viessmann, spol. s r. o.

Firma Viessmann je jedna z nejznámějších firem, která se zabývá topnými systémy všech druhů. [16]¹⁶

Jedná se o německou firmu, která dnes zaměstnává okolo 11 400 pracovníků, takže jde jistě o největší firmu ze všech, které jsem v práci uvedl. Firma nabízí zvlášť produkty pro rodinné a zvlášť pro bytové domy. [16]

Společnost nabízí spoustu produktů, jako jsou plynové kotle, solární kolektory, kogenerační jednotky a také samozřejmě tepelná čerpadla. [16]

¹⁵ NIBE [online]. [cit. 2014-10-24]. O společnosti. Dostupné z WWW: <<http://www.nibe.cz/cs/o-nas>>

¹⁶ Viessmann [online]. [cit. 2014-10-24]. O společnosti. Dostupné z WWW: <http://www.viessmann.cz/cs/o_nas.html>

Viessmann se orientuje na rozdíl od NIBE nebo AC Heating na elektrická tepelná čerpadla v zapojení země/voda případně v zapojení voda/voda. [16]

Tepelné čerpadlo, které je využitelné pro můj bytový dům, nese označení Vitocal 300-G WW 301.A45. Jmenovitý výkon čerpadla je 58,9 kW, tudíž bude opět řazeno do soustav. Další technické parametry uvedeny v příloze 1.

6.1.4 PZP HEATING a.s.

Poslední výrobní firmou ETČ, jejíž TČ využiji v této práci, je česká firma PZP HEATING. Jedná se o největšího výrobce tepelných čerpadel v České republice. Ačkoliv se jedná o českou firmu, jedná se také o dceřinou společnost německého výrobce vytápění a sanitární techniky Kermi GmbH, což je firma, která patří do švýcarského koncernu AFG Arbonia-Forster-Holding AG. [17]¹⁷

Firma PZP HEATING vyrábí všechny druhy tepelných čerpadel. Já v práci využiji její tepelné čerpadlo AQUASTAR HP3WW54G, což je tepelné čerpadlo fungující v zapojení voda/voda se jmenovitým výkonem 53,4 kW. Další technické informace opět v příloze 1.

6.2 Výrobci plynových tepelných čerpadel

6.2.1 AISIN EUROPE MANUFACTURING CZECH s.r.o.

První firmou, která vyrábí plynová tepelná čerpadla, která se dají koupit v České republice, je firma AISIN, globální dodavatel pro automobilový průmysl. Firma vyrábí především součástky pro automobily, nicméně ve spolupráci s firmou Toyota vytvořila také plynové tepelné čerpadlo. [18]¹⁸

Plynová tepelná čerpadla pak neprodává přímo firma, ale prodej je zprostředkován pomocí dalších dodavatelských firem. Já jsem kontaktoval firmy Free-therm, s.r.o., a ESM-YZAMER, energetické služby a monitoring, s. r. o., což jsou výhradní prodejci těchto PTČ pro Českou republiku a Slovensko.

¹⁷ PZP-Heating. [cit. 2014-10-24]. O společnosti. Dostupné z WWW: <<http://www.tepelna-čerpadla-pzp.cz/cs/o-spolecnosti-4.html>>

¹⁸ AISIN. [cit. 2014-10-24]. O společnosti. Dostupné z WWW: <<http://www.aisin.co.cz/o-spolecnosti>>

Plynová tepelná čerpadla AISIN Toyota jsou klasická plynová TČ v zapojení vzduch/voda a jejich výkon se pohybuje v rozmezí 26–84 kW. Pro můj bytový dům budu navrhovat varianty s jednotkami 84 kW (více v kapitole 8), nesoucí obchodní označení AXGP710D1 25H. Ostatní technické informace jsou k nalezení v příloze 2.

6.2.2 ROBUR, s.r.o.

PTČ vyrábí rovněž česká firma ROBUR, která se zaměřuje na PTČ absorpčního typu. Firma má sídlo v Brně a vyrábí plynová tepelná čerpadla ve všech zapojeních. [19]¹⁹

Pro mě bude důležité především zapojení voda/voda. V tomto zapojení firma vyrábí jediné tepelné čerpadlo s označením GAHP-WS se jmenovitým tepelným výkonem 43,9 kW, se kterým budu v budoucích návrzích počítat. Další technické parametry uvádím v příloze 2.

Firma již má zkušenosti s instalací tepelných čerpadel pro bytové domy, tudíž je možné spojovat tepelná čerpadla do soustav.

6.2.3 TEDOM a.s.

Posledním výrobcem PTČ je opět česká firma TEDOM. Firma se zaměřuje na efektivní a ekologické využití energetických palivových zdrojů. Firma se zaměřuje především na kogeneraci, ale v posledních letech vyvinula i jedno průmyslové plynové tepelné čerpadlo. [20]²⁰

Tepelné čerpadlo s označením POLO 100 je sice průmyslové a umožňuje zároveň vytápět i chladit, takže se může zdát zbytečné pro bytový dům, ale na druhou stranu umožňuje dosáhnout tepelného výkonu, který přesně odpovídá dimenzování bytového domu, a to pouze v jednom zařízení. Navíc může být toto PTČ použito jak v zapojení voda/voda, tak v zapojení vzduch/voda. Více informací o konkrétních údajích o potřebných výkonech bude v kapitole 7, případně v kapitole 8, nicméně maximální dosažitelný tepelný výkon tohoto TČ je až 250 kW. Ostatní technické parametry jsou opět v příloze 2.

Dalším důvodem, proč jsem také zařadil firmu TEDOM, je ochota firmy sdělit mi některé další údaje důležité k dokončení této práce (především investiční výdaje instalací soustav a samotného TČ).

¹⁹ ROBUR. [cit. 2014-10-24]. O společnosti. Dostupné z WWW: <<http://www.robur.cz/robur-kontakty>>

²⁰ TEDOM. [cit. 2014-10-24]. O společnosti. Dostupné z WWW: <<http://kogenerace.tedom.com/hp-o-nas.html>>

V neposlední řadě bych také rád zmínil, že firma TEDOM umístila na největší internetový server pro sdílení videosouborů YouTube.com několik svých výukových videí, díky kterým jsem lépe porozuměl PTČ nejen z technického, ale také z ekonomického hlediska (viz podkapitola 9.2.1).

7.0 Dimenzování tepelných čerpadel

7.1 Dimenzování výkonu tepelného čerpadla

Podle evropského standardu Eurovent a podle již zmíněné normy ČS EN 14511 uvádějí výrobci jmenovitý výkon jednotlivých tepelných čerpadel při vstupní teplotě 2–10 °C a při výstupní teplotě 35 °C. Tento výkon se také používá při dimenzování výkonu, tedy k výpočtu potřebného výkonu v konkrétním bytovém domě, i když je možné (a téměř jisté), že skutečný výkon bude jiný. [10]

Potřebný výkon tepelného čerpadla se pak vypočítá dle výpočtové tepelné ztráty domu. Tepelná ztráta tepla na vytápění je okamžitá hodnota tepelné energie, která z domu uniká prostupem tepla, zářením skrz průsvitné konstrukce a větráním [21]²¹. Výpočtová tepelná ztráta se pak stanovuje pro extrémní podmínky (v Praze pro venkovní teplotu -12 °C), které v normálním provozu nastanou méně než v 1 % dní otopného období. [3], [11]

Z předchozího odstavce je jasné, že při monovalentním provozu TČ je většinu roku výkon TČ nevyužíván (TČ je dimenzováno na 100 % výpočtové tepelné ztráty objektu), a proto se doporučuje dimenzovat TČ jako bivalentní zdroj, což udělám i já. Pro bivalentní provoz se běžně navrhuje výkon TČ jako 50–75 % výpočtové tepelné ztráty budovy. To v praxi znamená, že s jistou venkovní teplotou (od určité tepelné ztráty) již nestačí výkon TČ pro úplné pokrytí a připíná se dodatečný zdroj, v mém případě plynový kotel. [3], [10], [11]

7.2 Teplota bivalence

Při bivalentním režimu je také dobré vědět, při jaké venkovní teplotě již nestačí TČ na vytápění a kdy připíná dodatečný zdroj, tato teplota se dá samozřejmě nastavit v regulaci a běžně se nastavuje na hodnotu +1 °C až -10 °C. [3], [10], [11]

Teplota bivalence se stanovuje z průsečíku výkonové křivky konkrétního tepelného čerpadla a křivky tepelné ztráty konkrétního objektu. [3], [10], [11]

²¹ ŠUBRT, Roman. Co je tepelná ztráta objektu a výpočet potřeby tepla na vytápění. In: *Revitalizace.com* [online]. 31. 1. 2011 [cit. 2014-10-25]. Dostupné z: <http://www.revitalizace.com/teorie-vypocty/co-je-tepelnaztrata-objektu-a-vypocet-potreby-tepla-na-vytapeni/>

Pokud nyní mluvím o výkonové charakteristice tepelného čerpadla, mám na mysli konkrétní výkonovou charakteristiku pro konkrétní zapojení. Nejedná se tedy o stejnou výkonovou charakteristiku, o které jsem se již zmiňoval v podkapitole 3.1 a 3.5.1.

Vzhledem k tomu, že se otopné soustavy regulují ekvitermně, tzn., že se vzrůstající tepelnou ztrátou vzrůstá i teplota topné vody, je zřejmé, že výkonová charakteristika nebude konstatní, a to ani při použití nízkopotenciálního zdroje se stálou teplotou. Z výše uvedeného zároveň platí, že ani při sebevětším snažení nedosáhneme stálého topného faktoru po celý rok.

Ukázka určení teploty bivalence pro obecnou soustavu je znázorněna níže v orientačním grafu 3.



Graf 3 – Graf tepelné ztráty a výkonu čerpadla v závislosti na venkovní teplotě [3]

Z grafu je patrné, že teplota bivalence pro toto konkrétní zapojení by byla přibližně $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dále je z grafu patrné, jak velká část tepelné ztráty je kryta, v tomto případě by bylo TČ dimenzováno cca na 70 % tepelné ztráty objektu.

7.3 Akumulační zásobník tepla

V podkapitole 3.5.3 bylo zmíněno, proč je důležité mít v soustavě zapojené také akumulátory tepla, které jsou pro potřeby bytového domu nezbytné.

Velikost akumulčního zásobníku je většinou určena firmou, která bude dané TČ instalovat s využitím softwaru. Tato velikost se však dá vypočítat poměrně přesně také teoreticky, a to dvojnásobem.

Za prvé [3] lze stanovit objem akumulátoru z množství energie, které TČ dodá za časový úsek do akumulátoru tepla pro zvýšení jeho teploty dle vzorce:

$$Q_{aku} = Q_{T\check{c}} \cdot \Delta\tau = V \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta t, \quad (J) \quad (2)$$

kde $Q_{T\check{c}}$ je výkon tepelného čerpadla ve W, $\Delta\tau$ minimální doba chodu tepelného čerpadla v s, V objem akumulátoru v m^3 , ρ hustota vody v kg/m^3 , c měrná tepelná kapacita vody v $J/(kg \cdot K)$ a Δt rozdíl teplot mezi koncem a počátkem nabíjení akumulátoru tepelným čerpadlem, tedy zvýšení teploty v akumulátoru v K.

Pokud uvažujeme, že minimální doba chodu tepelného čerpadla je 10 minut a teplota se v akumulátoru nezvýší o více než 5 K, pak lze určit, že měrný objem akumulčního zásobníku k výkonu TČ je minimálně 30 l/kW. [3]

Ke stejnému výsledku se dostanu i výpočtem přes konstantu [11] dle vzorce:

$$V = k \cdot Q, \quad (I) \quad (3)$$

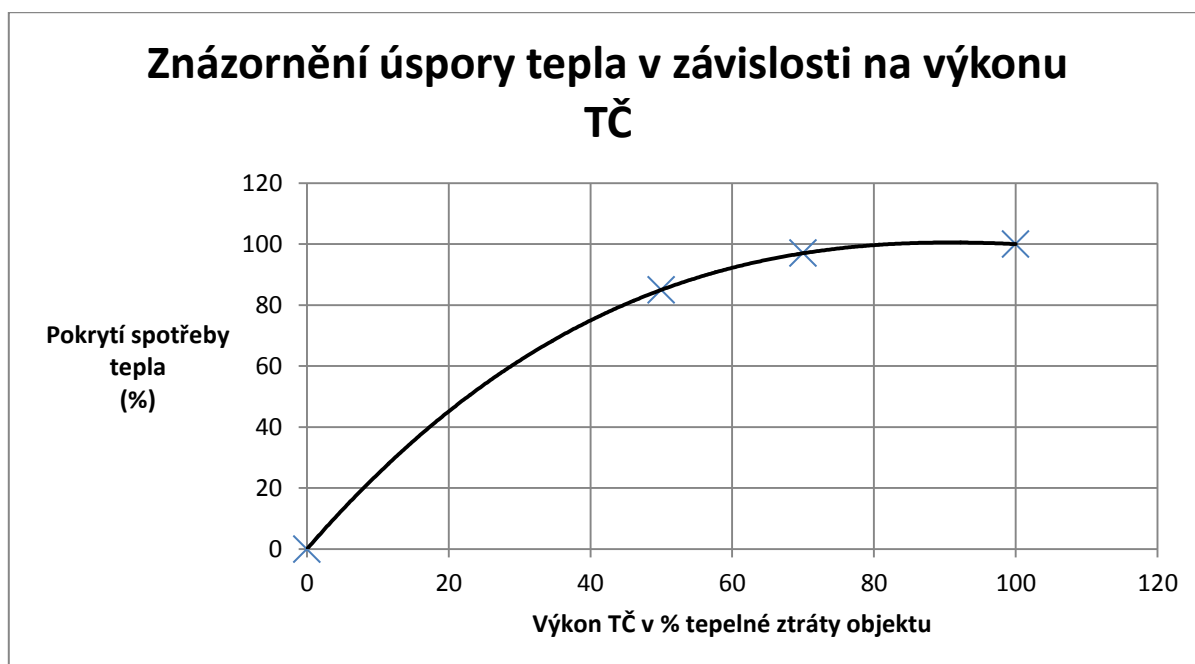
kde k je konstanta v rozmezí 15–20 a Q jmenovitý výkon TČ.

7.4 Konkrétní výpočty pro BD Zázvorkova 1995–1999

K výpočtu výkonu TČ potřebuji znát tepelnou ztrátu mého konkrétního objektu. Ta byla vyčíslena v diplomové práci kolegy Havlíka [22]²² na hodnotu 505 kW před zateplením a 376 kW po zateplení. Nyní je objekt z cca 90 % zateplen, a proto jsem se dohodl s vedoucím práce, že výkon TČ budu dimenzovat vzhledem k 400kW tepelné ztrátě objektu. Mimo jiné i stávající plynové kotle, které jsou dimenzovány na 100 % tepelné ztráty objektu, mají výkon právě 400 kW.

Při znalosti tepelné ztráty objektu a vědomí, že TČ budou pracovat v bivalentním režimu, je nejdůležitější určit, kolik procent tepelné ztráty objektu bude krýt výkon TČ. V podkapitole 7.1 bylo řečeno, že výkon TČ se nejčastěji navrhuje při bivalentním provozu jako 50–75 % z celkové tepelné ztráty objektu. Toto rozmezí je způsobeno již zmíněným předdimenzováním v případě návrhu na plnou tepelnou ztrátu, ale také poklesem měrné úspory energie (tepla) v případě navyšování výkonu TČ. Tato skutečnost je zobrazena v grafu 4 dále.

²² HAVLÍK, Antonín. Vliv počasí a životního rytmu obyvatel na spotřebu energie. Praha, 2010. Diplomová práce. České vysoké učení technické. Vedoucí práce Ing. Miroslav Vítek, CSc.



Graf 4 – Znázornění klesající měrné úspory tepla v případě navyšování výkonu TČ [3]

Z grafu je vidět, že při návrhu výkonu TČ na 50 % tepelné ztráty objektu dosáhneme přibližně 82% krytí spotřeby tepla. Pokud ale výkon zvýšíme o dalších 20 % z celkové tepelné ztráty, nezískáme úsporu vyšší o 20 %, ale pouze o 10 %. Měrná úspora tepla tedy klesá.

Dalším omezením při návrhu TČ, konkrétně ETČ, je snaha získat levnější a výhodnější sazbu elektrické energie D56d. Z tohoto důvodu se návrh výkonu omezí na 60–75 % tepelné ztráty objektu.

S vedoucím práce jsme se dohodli na nejnižší možné hodnotě krytí tepelné ztráty, tedy 60 %. Za prvé bude možné získat u elektrických tepelných čerpadel výhodnější sazbu, za druhé ušetříme investiční výdaje a za třetí vypočtená tepelná ztráta domu může být ve skutečnosti nižší, neboť plynové kotle za dobu chodu nikdy neměly problém s nedostatkem výkonu, takže ve skutečnosti by mohlo dimenzování výkonu na 60 % tepelné ztráty znamenat výkon 70 % tepelné ztráty objektu, nicméně je důležité podotknout, že v posledních letech nebyly opravdu tuhé zimy.

Výkon tepelných čerpadel tedy bude u všech budoucích variant (samozřejmě s ohledem na možnosti jednotlivých výrobků), včetně variant s plynovými TČ, abych vůbec mohl mezi sebou varianty s ETČ a PTČ porovnávat, s přihlédnutím na zmíněné omezující podmínky 60 % z celkové tepelné ztráty objektu 400 kW, tedy 240 kW ($0,6 \cdot 400 = 240$).

Dle vzorce 3 pak spočítám objem akumulčních zásobníků:

$$V = k \cdot Q = 20 \cdot 240 = 4\,800 \text{ l} \approx 5\,000 \text{ l.} \quad (1) (4)$$

Vzhledem k existenci stávajících dvou zásobníků TV budu dále ke všem variantám připočítávat další tři akumulční zásobníky tepla, každý o objemu 1000 l.

Poslední věc, která je nutná při návrhu tepelných čerpadel je navrhnutí teploty bivalence. Tuto teplotu vždy navrhne firma, která provádí instalaci a nastavuje regulaci. Pro mé budoucí výpočty není přesná znalost této teploty nutná, nicméně situace by orientačně mohla vypadat jako v grafu 5, tedy s teplotou bivalence cca 1 °C.



Graf 5 – Orientační graf znázorňující teplotu bivalence BD Zázvorkova 1995-1999

8.0 Návrh variant tepelných čerpadel lišících se pohonem

8.1 Návrh variant tepelných čerpadel v zapojení vzduch/voda

První varianty TČ lišících se pohonem budu uvažovat v zapojení vzduch/voda. Nízkopotenciálním zdrojem energie tedy bude odpadní vzduch z bytového domu, který má celý rok teplotu přibližně 20 °C.

Z technického hlediska budou tyto varianty stejné jak pro PTČ, tak pro ETČ a lišit se budou pouze počtem kusů jednotlivých položek (TČ).

S technickým provedením a ověřením realizace instalace soustavy TČ v zapojení vzduch/voda mi pomohla především firma TEDOM a.s. Dále budu moci využít znalostí a informací, které mi poskytla firma Tempoterm, spol. s r. o., která vyhrála výběrové řízení na instalaci plynových kotlů v kotelně daného bytového domu, a proto je velmi pravděpodobné, že by instalovala i tepelná čerpadla. V neposlední řadě mohu využít informací, které získal kolega Borufka pro svou bakalářskou práci [1] od firmy NIBE (opět instalace TČ vzduch/voda).

Samotné technické zapojení a provedení soustavy je tedy následující. Na střeše bytového domu by u několika výfuků (ventilů) ventilace (podle toho, kolik TČ by bylo použito) bylo instalováno několik venkovních jednotek TČ, tedy celý výparníkový systém TČ. Ten by byl spojen s vnitřní jednotkou, umístěnou v kotelně, pomocí oběhového potrubí chladiva, které by vedlo buď po fasádě, nebo vnitřkem domu společnými chodbami se schodištěm. Poslední zmíněnou možnost budu uvažovat, neboť bude docíleno menších tepelných ztrát a investiční výdaje budou de facto stejné jako při instalaci na fasádu zvenku.

V samotné kotelně by se nacházely vnitřní jednotky TČ s kompresory (případně absorpční pohon), akumulční zásobníky tepla TČ o celkovém objemu 3000 l a samozřejmě také stávající zařízení, jako jsou ohříváky TV a plynové kotle.

Navržené varianty v souladu s technickým zpracováním uvedeným výše (podkapitola 7.4) jsou znázorněny v tabulce 1 na další straně.

Režim	Pohon	Čerpadlo	Výkon TČ (kW)	Počet TČ dle výpočtu 240 / výkon 1TČ	Finální počet TČ
vzduch/voda	elektřina	AC-Heating kaskáda Convert AW55 3P	55	4,36	5
vzduch/voda	elektřina	NIBE AP-AW30-31E	31	7,74	8
vzduch/voda	plyn	TEDOM Polo 100	250	0,96	1
vzduch/voda	plyn	AISIN AXGP710D1	84	2,86	3

Tabulka 1 – Navrhované varianty TČ v režimu vzduch/voda

8.2 Návrh variant TČ v zapojení voda/voda

8.2.1 Centrální systém s akumulací (jímka)

Navrhované varianty s využíváním odpadní vody jako zdroje tepla jsem rozdělil do dvou skupin podle rozdílného technického principu.

Prvními variantami jsou systémy s akumulací odpadní vody, která je umístěna technicky ještě před tepelné čerpadlo, kde musí být voda řádně vyčištěna dvoustupňovou filtrací. Zároveň nesmí dojít k zamrznutí této vody. Je tedy evidentní, že investiční výdaje za instalaci budou vyšší než v předchozím případě. Jímka může být instalována např. na přilehlém pozemku nebo v podobě dalších akumulacích nádrží v kotelně či jiném společném prostoru, čímž se zamezí zamrznutí vody. V rámci této jímky či akumulací nádrže by byla provedena filtrace, přes kterou by dále proudila voda do výparníku tepelného čerpadla. V případě většího počtu TČ bude použito stejného počtu filtrací odpovídajícího průtoku. Kvůli akumulací nádobě se ale bohužel projeví další tepelné ztráty. Nevýhodou této instalace je také potřeba prostoru na další akumulací nádrže (dalších cca 3 000 l). Výhodou tohoto zapojení je rovnoměrný a stálý ohřev. V rámci instalací by byla provedena, také jako v předchozím případě, montáž akumulací nádrží ohřáté vody za tepelným oběhem TČ. Celkově tyto varianty budou potřebovat akumulací nádrže na cca 6 000 l vody (3 000 l pro odpadní vodu a 3 000 l pro topnou vodu)

Technickou realizaci a řešení problému mi opět poskytly firmy TEDOM a.s. a Tempoterm, spol. s r. o. Zároveň mohu využít informací, podobně jako u prvních variant podobného návrhu z bakalářské práce, tentokrát kolegy Malého [2], kterou zpracovala rakouská firma A-INVENT. Finální varianty podle počtu a použití různých TČ lišících se pohonem uvádím v tabulce 2.

Režim	Pohon	Čerpadlo	Výkon TČ (kW)	Počet TČ dle výpočtu 240 / výkon 1TČ	Finální počet TČ
voda/voda	elektřina	Vitocal 300-G WW 301.A45	58,9	4,07	4
voda/voda	elektřina	PZP heating aquastar HP3WW54G	53,4	4,49	5
voda/voda	plyn	TEDOM Polo 100	250	0,96	1
voda/voda	plyn	ROBUR GAHP-WS	43,9	5,47	6

Tabulka 2 – Navrhované varianty TČ v režimu voda/voda s akumulací nádrží

8.2.2 Lokální systém s průtokovým výměníkem

Poslední možností, jak využít odpadní teplo z odpadní vody bytového domu, je použití lokálního systému s využitím průtokového výměníku pro odpadní vodu.

Výhodou tohoto zapojení je mnohem menší prostorová náročnost variant, protože není potřeba žádných akumulčních nádob. [2]

Toho je možné dosáhnout jen díky velkému počtu bytů a průtoku, který můžeme nazvat téměř nepřetržitým. I tak ale průtok není konstantní, což může ovlivnit výkon TČ.

K využití tepla z odpadní vody je zapotřebí použití průtokového výměníku, který funguje jako solankový výměník (podkapitola 3.4.2). Před výměníkem však musí být instalována velká filtrace. Z technického hlediska pak musí mít každé TČ jeden průtokový výměník dostatečného výkonu. Výměníky by se také měly instalovat do odtokových šachet vedoucích z bloků T32 a T33, aby se zajistil stálý průtok. [2]

Pro zajištění funkčnosti celé soustavy pak budou i v těchto variantách instalovány zásobníky tepla o celkovém objemu 3 000 l.

Fyzikální realita a především instalační výdaje mohou použít opět z informací firem TEDOM a.s. a Tempoterm, spol. s r. o., a také z bakalářské práce kolegy Malého [2], ve které česká firma ŠAKAL provedla orientační návrh průtokového výměníku.

Konečné varianty (tabulka 3) s počty TČ lišících se pohonem a s přihlédnutím k výše zmíněným informacím vypadají stejně jako u variant předchozích, nicméně liší se budou především investičními výdaji.

Režim	Pohon	Čerpadlo	Výkon TČ (kW)	Počet TČ dle výpočtu 240 / výkon 1TČ	Finální počet TČ
voda/voda	elektřina	Vitocal 300-G WW 301.A45	58,9	4,07	4
voda/voda	elektřina	PZP heating aquastar HP3WW54G	53,4	4,49	5
voda/voda	plyn	TEDOM Polo 100	250	0,96	1
voda/voda	plyn	ROBUR GAHP-WS	43,9	5,47	6

Tabulka 3 – Navrhované varianty TČ v režimu voda/voda s průtokovými výměníky

9.0 Investiční a provozní výdaje jednotlivých variant

9.1 Investiční výdaje variant

Celkové investiční výdaje jednotlivých variant tvoří zhruba ze 70 % cena samotných tepelných čerpadel. Další významnou položkou je samotná montáž a další materiál nezbytný k zapojení celé soustavy, jako jsou trubky, izolace apod.

Každá firma si chrání svoje informace a celková cena projektu je velmi těžká zjistit, dokud si neobjednáte soustavu na míru u některé z těchto firem.

Díky vedoucímu práce se mi však podařilo spojit se společností Tempoterm, spol. s r. o., která zařizuje/instaluje topné soustavy. Díky tomu mohu určit s velkou přesností investiční výdaje všech variant, i když se jedná do značné míry o odhad. Firma Tempoterm byla už v minulosti ve výběrovém řízení vybrána při realizaci nové kotelny v bytovém domě, pro který návrh zpracovávám, a proto je možné, že by i realizaci tepelných čerpadel do budoucna provedla právě tato firma. Dále se mi podařilo spojit s firmou TEDOM a.s., která má zkušenosti s plynovými tepelnými čerpadly. I díky této firmě jsem získal několik odhadů investičních položek, ze kterých se skládají jednotlivé varianty. Dále také použiji některé informace ze zdrojů [1] a [2].

Celkové ceny jednotlivých variant (viz kapitola 8) se skládají z cen jednotlivých položek uvedených v tabulce 4 (ceny jsou uvedeny bez DPH), přičemž jednotlivé varianty se liší různým počtem jednotlivých položek. Varianty navrhnuté na stejné zapojení, např. vzduch/voda, se liší výhradně v počtu tepelných čerpadel jednotlivých výrobců. Ceny jednotlivých TČ a filtrace vody jsou použity z ceníků samotných výrobců a prodejních partnerů, které mi byly zaslány e-mailem (příloha 3 + CD). Ceny ostatních položek jako např. montáž jsou použity z osobní komunikace mezi mnou a firmami Tempoterm nebo TEDOM (příloha 4 + CD). Cena přídatných výměníků lokálního systému je použita ze zdroje [2].

Na další straně v tabulce 4 je tedy zobrazen souhrn jednotlivých investičních položek, ze kterých se skládají kompletní varianty uvedené v kapitole 8. Cena položek je uvedena opět v tabulce 4 a počty jednotlivých položek, ze kterých se skládají celkové varianty podle zapojení apod., se nacházejí v příloze 5. Počty byly doporučeny/odhadnuty na základě výpočtů a komunikace s firmami Tempoterm a TEDOM.

AC-Heating kaskáda Convert AW55 3P	459 900,00 Kč
NIBE AP-AW30-31E	415 000,00 Kč
TEDOM Polo 100	1 300 000,00 Kč
AISIN AXGP710D1	880 000,00 Kč
Vitocal 300-G WW 301.A45	492 085,00 Kč
PZP heating aquastar HP3WW54G	355 000,00 Kč
TEDOM Polo 100	1 300 000,00 Kč
ROBUR GAHP-WS	392 600,00 Kč
Akumulační zásobník 1000 l	20 000,00 Kč
Odlučovač vzduchu	20 000,00 Kč
Teplonosná kapalina 200 l / Odpovídající množství chladiva	22 470,00 Kč
Kompletní elektronická regulace a měření	80 000,00 Kč
Řízené regulační armatury	4 000,00 Kč
Vrtání prostupů	18 000,00 Kč
Termický regulační ventil teplé vody	13 000,00 Kč
Izolace 25mm jeden metr kaučuk	814,00 Kč
Lepidlo na izolaci (na 30 m)	1 000,00 Kč
Trubka měděná 1m	1 600,00 Kč
Objednání jeřábu na montáž / stěhování	30 000,00 Kč
Montáž (+ povolení a zbytek instalace)	315–350 tis. Kč
Suchý chladič	200 000,00 Kč
Dodatečný průtokový výměník (na cca 40 kW)	10 000,00 Kč
Filtrace vody Asio	220 000,00 Kč

Tabulka 4 – Rozpis jednotlivých investičních položek a jejich cena bez DPH

Nyní již zbývá uvést pouze finální tabulku investičních výdajů. V tabulce 5 tedy uvádím celkové finální částky instalací soustav (samozřejmě včetně materiálu, TČ, práce apod.) všech variant (s ohledem na zapojení, výrobce i druh pohonu) vyjmenovaných v kapitole 8.

Režim	Pohon	Čerpadlo	Celkové investiční výdaje
vzduch/voda	elektřina	AC-Heating kaskáda Convert AW55 3P	3 172 700,00 Kč
vzduch/voda	elektřina	NIBE AP-AW30-31E	4 193 200,00 Kč
vzduch/voda	plyn	TEDOM Polo 100	2 373 200,00 Kč
vzduch/voda	plyn	AISIN AXGP710D1	3 513 200,00 Kč
voda/voda (cen.)	elektřina	Vitocal 300-G WW 301.A45	3 060 650,00 Kč
voda/voda	elektřina	PZP heating aquastar HP3WW54G	2 867 310,00 Kč
voda/voda	plyn	TEDOM Polo 100	2 392 310,00 Kč
voda/voda	plyn	ROBUR GAHP-WS	3 447 910,00 Kč
voda/voda (lok.)	elektřina	Vitocal 300-G WW 301.A45	3 083 120,00 Kč
voda/voda	elektřina	PZP heating aquastar HP3WW54G	2 889 780,00 Kč
voda/voda	plyn	TEDOM Polo 100	2 414 780,00 Kč
voda/voda	plyn	ROBUR GAHP-WS	3 470 380,00 Kč

Tabulka 5 – Celkové investiční výdaje (bez DPH) jednotlivých navržených variant

9.2 Provozní výdaje variant

9.2.1 Úvod do provozních výdajů

Provozní výdaje tepelných čerpadel mohou obecně rozdělit na dva případy.

První je servisní činnost (výdaje za ni) zahrnující pravidelné povinné kontroly chladivového okruhu, kontroly regulace, občasnou pravidelnou údržbu celého systému (TČ během roku bezúdržbové) a případné náhradní díly.

Všechny výše zmíněné činnosti mohou nahradit jediným údajem (pro PTČ) o provozních servisních výdajích, a sice že jedna hodina provozu PTČ stojí 20 Kč. Tato hodnota mi byla sdělena firmou TEDOM, přičemž se jedná o dlouhodobou statistickou hodnotu spočítanou firmou TEDOM. Hodnotu je možno nalézt také ve videu o případové studii firmy TEDOM na serveru YouTube.com [23]²³. V případě použití elektrických TČ je situace jiná, neboť ETČ jsou celý rok bezúdržbová a jediné, co se provádí, je údržba a revize chladivového okruhu. V tomto případě jsou tedy roční servisní výdaje odhadnuty na 10 000 Kč [1].

Druhou částí provozních výdajů jsou výdaje za spotřebu paliva (elektřina x plyn) potřebného k ohřevu vody a k vytápění. Do této kategorie provozních výdajů počítám také výdaje nutné na úhradu dalších jističů v případě provedení instalace elektrických tepelných čerpadel a pomocnou elektrickou energii (regulace – platí i pro PTČ). Na regulaci a pomocnou elektrickou energii jsou jističe v bytovém domě dostatečné (platí i pro PTČ), nicméně s instalací elektrických tepelných čerpadel je nutné, aby každé TČ mělo také svůj nový jistič.

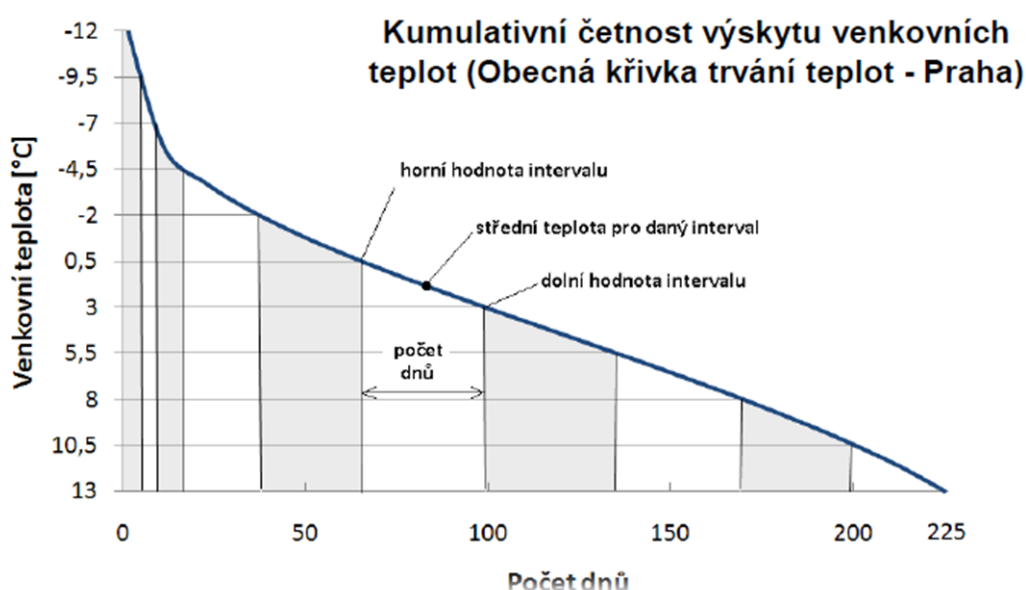
Abych tedy mohl vyčíslit jednotlivé provozní výdaje, je nejprve nutné spočítat dobu, po kterou tepelné čerpadlo pracuje (během jednoho roku), a spotřebu paliva TČ (rovněž za jeden rok). Tyto údaje získám provedením výpočtového hodnocení provozu soustav s tepelnými čerpadly, což je sada výpočtů, díky kterým získám nejen potřebné informace k vyčíslení provozních výdajů, ale také informace spojené s dosaženou úsporou.

²³ JANČOK, Lukáš. TEDOM a.s.: VIDEO - Případová studie nasazení PTČ TEDOM A.S. TEDOM a.s. [online]. [cit. 2015-3-4]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=87f2jmK9Gvw>

9.2.2 Obecné výpočtové hodnocení provozu soustav s TČ

Výpočty, které jsou nutné k vyčíslení provozních výdajů, vychází z tzv. intervalové metody, přejaté např. normou ČSN EN 15316-4-2. [9]

Výpočty vychází z křivky trvání teplot pro dané území v otopném období, které je rozděleno do několika časových úseků odpovídajících teplotním intervalům v dostatečném rozlišení (alespoň 10 intervalů), které bude v mém případě činit 2,5 K (viz obrázek 8). Tato křivka trvání teplot pro Prahu je znázorněna na obrázku 8. [9], [24]²⁴



Obrázek 8 – Obecná křivka trvání teplot pro Prahu [24]

Před samotnými výpočty hodnocení provozu soustavy s tepelným čerpadlem je kromě získání křivky trvání teplot v daném území také potřeba zjistit celkovou spotřebu tepla na ohřev vody a na vytápění. Tento údaj se buď spočítá teoreticky, nebo se získá, jako v mém případě, z dlouhodobých měření (viz graf 1).

Následně je potřeba rozpočítat celkovou potřebu tepla pro jednotlivé intervaly dle křivky trvání teplot. Roční potřeba tepla na vytápění pro jednotlivé intervaly se vypočítá dle vzorce na další straně:

²⁴ KRAINER, Robert. Efektivní energetický region: Tepelná čerpadla. [online]. s. 98 [cit. 2015-03-04]. Dostupné z: http://www.energetickyregion.cz/download_akce/1334126597cs__7_06_tepelna_cerpadla.pdf

$$Q_{p,VYT,j} = Q_{p,VYT,rok} \cdot DH_j \cdot DH_{rok}^{-1}, \quad (\text{kWh}) \quad (4)$$

kde $Q_{p,VYT,rok}$ je celková roční potřeba tepla v kWh na vytápění za rok, DH_j počet hodinostupňů (Kh) v j-tém intervalu a DH_{rok} celkový roční počet hodinostupňů za otopné období (Kh). Počet hodinostupňů v j-tém intervalu se spočítá jako rozdíl střední vnitřní a venkovní teploty objektu, vynásobený příslušným počtem hodin trvání j-tého intervalu (dle obrázku 8). Dále je nutné spočítat podobně potřebu tepla na přípravu teplé vody dle vzorce:

$$Q_{p,TV,j} = Q_{p,TV,rok} \cdot \tau_j \cdot 8760^{-1}, \quad (\text{kWh}) \quad (5)$$

kde $Q_{p,TV,rok}$ je celková roční potřeba tepla na ohřev TV (kWh) a τ_j doba trvání výpočtového teplotního intervalu j v hodinách. [9]

K dosavadním deseti intervalům je také potřeba přidat další jedenáctý, který reprezentuje letní období, ve kterém se pouze ohřívá voda a který není zobrazen v křivce trvání teplot během otopného období. Doba trvání tohoto intervalu je 140 dní (zbytek do 365) a potřeba tepla na přípravu teplé vody v tomto období je zbytek po odečtení potřeb tepla všech intervalů od celkové potřeby tepla na přípravu teplé vody za rok.

Nyní je dalším krokem spočítání či určení požadované teploty otopné vody na výstupu z tepelného čerpadla, a to zvlášť pro přípravu teplé vody a zvlášť pro vytápění. Výstupní teplota pro přípravu teplé vody se určí dle vzorce:

$$t_{k2} = t_{TV} + 5, \quad (^\circ\text{C}) \quad (6)$$

kde t_{TV} je teplota připravované vody a 5 zohledňuje teplotní spád na výměníku. Situace s vytápěním je složitější, neboť vytápění se řídí ekvitermně, kde s klesající venkovní teplotou roste požadovaná teplota otopné vody. Tuto teplotu spočítám pro každý interval dle vzorce:

$$t_{w1} = t_i + \frac{t_{w1,N} - t_{w2,N}}{2} \cdot \frac{t_i - t_{e,j}}{t_i - t_{e,N}} + \left(\frac{t_{w1,N} + t_{w2,N}}{2} - t_i \right) \cdot \left(\frac{t_i - t_{e,j}}{t_i - t_{e,N}} \right)^{1/n}, \quad (^\circ\text{C}) \quad (7)$$

kde t_i je vnitřní výpočtová teplota, $t_{w1,N}$ teplota návrhové přívodní větve, $t_{w2,N}$ teplota návrhové vratné větve, $t_{e,j}$ střední venkovní teplota j-tého intervalu, $t_{e,N}$ výpočtová venkovní teplota a n teplotní exponent pro soustavy s různými druhy otopných ploch. Výsledná teplota otopné vody se určí podobně jako u přípravy teplé vody podle vzorce:

$$t_{k2} = t_{w1} + 5, \quad (^\circ\text{C}) \quad (8)$$

kde 5 zohledňuje hysterezi ohřívání uvažovaného zásobníku tepla nad požadovanou ekvitermní teplotu do soustavy kvůli omezení cyklování tepelného čerpadla. [9]

Nyní se dostávám k samotnému počítání hodnocení provozu. Z charakteristik jednotlivých tepelných čerpadel se určí (pro všechny intervaly) výkon TČ Φ (kW) a topný faktor TČ COP (-), a to na základě vstupní teploty zdroje tepla $t_{v1,j}$ (tedy v mém případě na

základě teploty nízkopotenciálního média odpadního vzduchu, nebo odpadní vody) a požadované výstupní teploty t_{k2} , tedy zvláště pro přípravu teplé vody (TV) a zvláště pro vytápění (VYT).

Následně je možné spočítat pro každý interval dostupné teplo z tepelného čerpadla pro přípravu teplé vody $Q_{k,TV,j}$ dle vzorce:

$$Q_{k,TV,j} = \Phi_{k,TV,j} \cdot \tau_j, \quad (\text{kWh}) \quad (9)$$

kde $\Phi_{k,TV,j}$ je topný výkon TČ pro přípravu teplé vody v j-tém intervalu, τ_j doba trvání intervalu j v hodinách. Skutečné teplo dodané tepelným čerpadlem v j-tém intervalu je pak minimální hodnotou z dostupného tepla $Q_{k,TV,j}$ a potřebného tepla $Q_{p,TV,j}$:

$$Q_{T\check{c},TV,j} = \min(Q_{k,TV,j}, Q_{p,TV,j}). \quad (\text{kWh}) \quad (10)$$

Nyní už je snadné určit skutečnou dobu provozu tepelného čerpadla v j-tém teplotním intervalu v režimu přípravy teplé vody ze vztahu:

$$\tau_{T\check{c},TV,j} = \frac{Q_{T\check{c},TV,j}}{\Phi_{k,TV,j}}. \quad (\text{h}) \quad (11)$$

Součtem $\tau_{T\check{c},TV,j}$ pro každý interval získáme celkovou dobu provozu TČ v režimu přípravy teplé vody. [9]

Nyní je také snadné vypočítat potřebu hnací energie tepelného čerpadla pro pohon kompresoru (nebo absorpčního pohonu), tedy spotřebu plynu (i přesto, že je energie označena E) nebo elektřiny na pohon TČ dle vztahu:

$$E_{T\check{c},TV,j} = \frac{Q_{T\check{c},TV,j}}{\text{COP}_{TV,j}}, \quad (\text{kWh}) \quad (12)$$

kde $\text{COP}_{TV,j}$ je topný faktor nebo GUE tepelného čerpadla v režimu přípravy teplé vody v j-tém teplotním intervalu. [9]

Tímto je vyřešen režim přípravy teplé vody a zůstává spočítat podobně režim vytápění. Protože přednostně je doba provozu věnována režimu na přípravu teplé vody, je nutné vypočítat pro každý interval j zbývající dobu provozu tepelného čerpadla dostupnou pro vytápění $\tau_{k,VYT,j}$:

$$\tau_{k,VYT,j} = \tau_j - \tau_{T\check{c},TV,j}. \quad (\text{h}) \quad (13)$$

Nyní se podobně jako v režimu přípravy teplé vody spočítá dostupné teplo z TČ pro vytápění $Q_{k,VYT,j}$:

$$Q_{k,VYT,j} = \Phi_{k,VYT,j} \cdot \tau_{k,VYT,j}, \quad (\text{kWh}) \quad (14)$$

kde $\Phi_{k,VYT,j}$ je topný výkon (opět určený z výkonových charakteristik TČ na základě vstupní teploty nízkopotenciálního média a výstupní teploty otopné vody) v režimu vytápění pro j -tý teplotní interval. Skutečné dodané teplo TČ pro krytí potřeby tepla na vytápění je poté minimální hodnotou z dostupného tepla a potřebného tepla v intervalu j :

$$Q_{T\check{c},VYT,j} = \min(Q_{k,VYT,j}, Q_{p,VYT,j}). \quad (\text{kWh}) \quad (15)$$

Nyní stejně jako v případě režimu pro přípravu teplé vody vypočtu skutečnou dobu provozu TČ v režimu vytápění $\tau_{T\check{c},VYT,j}$:

$$\tau_{T\check{c},VYT,j} = \frac{Q_{T\check{c},VYT,j}}{\Phi_{k,VYT,j}}. \quad (\text{h}) \quad (16)$$

Dále opět podobně jako pro režim přípravy teplé vody vypočtu potřebu hnací energie pro pohon TČ v režimu vytápění dle vztahu:

$$E_{T\check{c},VYT,j} = \frac{Q_{T\check{c},VYT,j}}{\text{COP}_{VYT,j}}, \quad (\text{kWh}) \quad (17)$$

kde $\text{COP}_{VYT,j}$ je topný faktor tepelného čerpadla v režimu pro vytápění. [9]

V této chvíli je již možné dopočítat veličiny, kvůli kterým jsem prováděl předchozí výpočty a díky kterým budu moci dále vypočítat provozní výdaje jednotlivých variant, a sice celkovou dobu provozu TČ ($\tau_{T\check{c},rok}$) a celkovou potřebu hnací energie na pohon TČ. První zmíněné vypočtu jako součet součtů skutečných dob provozu v jednotlivých teplotních intervalech v režimu vytápění a v režimu přípravy teplé vody:

$$\tau_{T\check{c},rok} = \sum_j \tau_{T\check{c},TV,j} + \sum_j \tau_{T\check{c},VYT,j} \quad (\text{h}) \quad (18)$$

Celkovou potřebu hnací energie na pohon TČ $E_{T\check{c}}$ pak vypočítám analogicky:

$$E_{T\check{c},rok} = \sum_j E_{T\check{c},TV,j} + \sum_j E_{T\check{c},VYT,j} \quad (\text{kWh}) \quad (19)$$

Pro výpočty provozních výdajů je již vše určeno, nicméně už v této chvíli mohu uvést další vzorec, který navazuje na předchozí výpočty a který bude důležitý pro ekonomické hodnocení, neboť reflektuje dosaženou úsporu. Jedná se o roční dodávku tepla pomocí TČ dle vzorce:

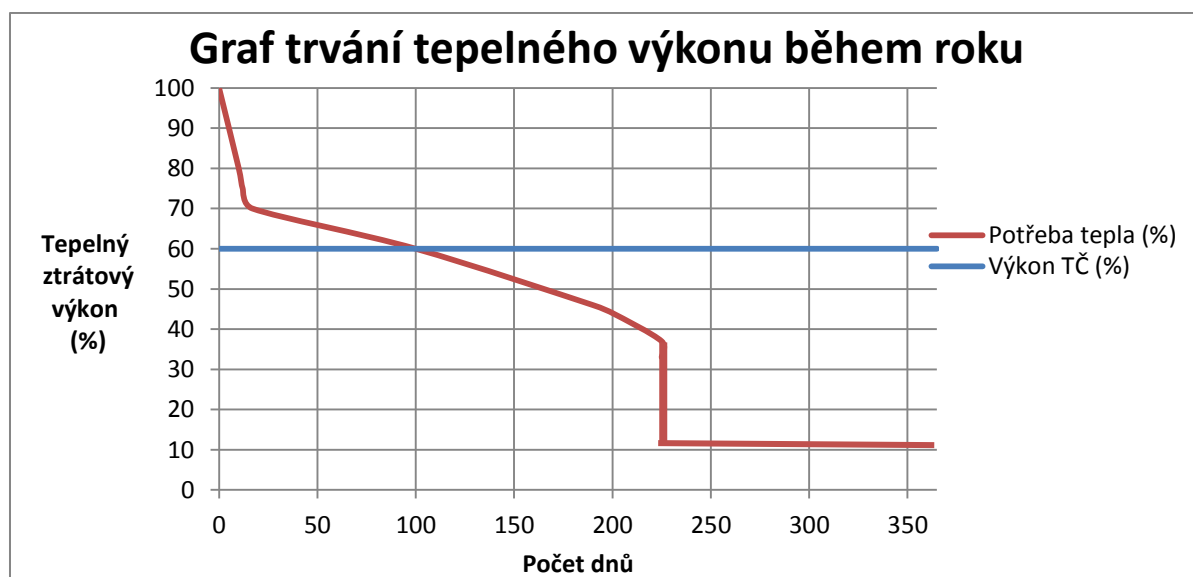
$$Q_{T\check{c},rok} = \sum_j Q_{T\check{c},TV,j} + \sum_j Q_{T\check{c},VYT,j}, \quad (\text{kWh}) \quad (20)$$

kde $Q_{T\check{c},rok}$ znázorňuje celkovou roční dodávku tepla pomocí TČ, což přímo ukazuje dosaženou úsporu tepla při znalosti celkové potřeby tepla. Tuto znalost ale pochopitelně nám, jinak bych se k tomuto výsledku nedostal. [9]

9.2.3 Konkrétní výpočtové hodnocení provozu soustav s TČ – BD Zázvorkova 95–19

V této kapitole provedu výpočty pomocí vzorců z předchozí kapitoly pro bytový dům, pro který návrh zpracovávám, tedy pro bytový dům Zázvorkova 1995–1999.

Jak již bylo uvedeno, metoda vychází z křivky trvání teplot a jejího rozčlenění na několik intervalů, a to pro dané umístění, tedy pro Prahu. Tato křivka i s rozčleněním intervalů je uvedena na obrázku 8. Pro doplnění zde přidávám i orientační graf trvání tepelného výkonu (ztrát), kde 100 % tepelné ztráty představuje výkon 400 kW.



Graf 6 – Graf trvání tepelného ztrátového výkonu během roku

Základními vstupními údaji pro výpočtové hodnocení provozu TČ jsou celkové potřeby tepla na vytápění a pro přípravu teplé vody za rok. Tyto hodnoty vychází pro můj bytový dům z grafu 1, nicméně je dobré si uvědomit, že dům byl v roce 2010 zateplen, a proto došlo v následných letech k zdatelné úspoře tepla, proto budou roční hodnoty tepla uvedeny jako průměr posledních tří let, nikoliv všech zobrazených. Po přepočtení a zprůměrování tedy vyjde roční potřeba tepla 641 MWh na vytápění a 441 MWh tepla na přípravu teplé vody.

Pomocí vzorců (4) a (5) nyní přepočtu potřeby tepla na jednotlivé intervaly ($Q_{p,VYT,j}$, $Q_{p,TV,j}$) s tím, že přidám jedenáctý „letní“ interval, který bude zohledňovat potřebu tepla na přípravu TV v letním období. Dále spočtu dle vzorců (6), (7) a (8) potřebné výstupní teploty na kondenzátoru TČ. Protože teplota vody, na kterou se ohřívá TV v BD Zázvorkova, je 50 °C, bude výsledná t_{k2} dle vzorce (6) 55 °C pro všechny intervaly. V případě vytápění je situace složitější a musí se pro každý interval spočítat ekvitemní teplota dle vzorce (7) a následně respektovat omezení cyklování TČ dle vzorce (8). Vypočtené hodnoty zmíněné

v tomto odstavci uvádím v tabulce 6, přičemž ke spočítání ekvitermních teplot je potřeba dodat několik vstupních dat (návrhové teploty otopné soustavy bytového domu – dodal vedoucím práce). Mezi tyto patří vnitřní výpočtová teplota $t_i = 20\text{ °C}$, teplota návrhové přívodní větve $t_{w1,N} = 50\text{ °C}$, teplota návrhové vratné větve $t_{w2,N} = 30\text{ °C}$, výpočtová venkovní teplota $t_{e,N} = -12\text{ °C}$ a teplotní exponent $n = 1,3$ dle literatury [9]. Střední venkovní teplota j -tého intervalu $t_{e,j}$ se určí dle obrázku 8 (uvedena také v tabulce 6).

j	t1 (°C)	t2 (°C)	DHj_dny (d.K)	DHj_h (h.K)	tk2TV (°C)	tej (°C)	tw1 (°C)	tk2VYT (°C)	Qp,TV,j (kWh)	Qp,VYT,j (kWh)
1	-12	-9,5	167,34	4016,25	55	-10,8	49,01	54,01	6 796	30 773
2	-9,5	-7	114,96	2759,06	55	-8,25	47,00	52,00	5 097	21 140
3	-7	-4,5	174,02	4176,56	55	-5,75	44,97	49,97	8 495	32 002
4	-4,5	-2	469,34	11264,06	55	-3,25	42,91	47,91	25 486	86 307
5	-2	0,5	555,47	13331,25	55	-0,75	40,82	45,82	33 981	102 146
6	0,5	3	582,19	13972,5	55	1,75	38,69	43,69	40 777	107 060
7	3	5,5	528,93	12694,22	55	4,25	36,52	41,52	43 326	97 265
8	5,5	8	422,05	10129,22	55	6,75	34,29	39,29	41 627	77 612
9	8	10,5	287,93	6910,31	55	9,25	32,00	37,00	35 680	52 948
10	10,5	13	183,52	4404,38	55	11,75	29,63	34,63	30 583	33 747
11					55				169 151	0

Tabulka 6 – Vypočtené potřeby tepla a výstupní teploty pro TČ pro režim vytápění a příprava teplé vody pro jednotlivé intervaly pro BD Zázvorkova 1995–1999

Nyní se pro každou variantu TČ spočítají další podpůrné výpočty uvedené vzorci (8) až (17), a to pro jednotlivé teplotní intervaly zvlášť. Pro každé TČ tedy vznikne tabulka rozdělená na 11 intervalů obsahující informace o skutečném dodaném teple v j -tém intervalu, skutečné době práce v j -tém intervalu atd. dle podkapitoly 9.2.2.

Všechny tyto hodnoty, díky kterým budu moci na základě vzorců (18), (19) a (20) spočítat výsledné hodnoty nutné k výpočtům provozních výdajů jednotlivých variant, uvádím v příloze 6.

Nyní je dobré upřesnit, jak se přišlo k jednotlivým hodnotám topného faktoru a topného výkonu jednotlivých TČ, které se nevypočítají dle žádného vzorce, ale jsou rovněž uvedeny v příloze 6 (zde i v příloženém souboru *spotřeba_cerpadel_PROVOZ.xlsx* jsou uvedeny zeleně). Každé TČ je technicky popsáno tzv. výkonovými charakteristikami (a charakteristikami COP), o kterých jsem se již zmiňoval v podkapitolách 3.1 a 3.5.1. Tyto charakteristiky ukazují jaký výkon a COP má TČ při konkrétní vstupní teplotě nízkopotenciálního média a při konkrétní požadované výstupní teplotě na kondenzátoru. Tyto

charakteristiky jsou tedy dány/naměřeny výrobcem a jsou zobrazeny tabulkou nebo grafem. Většinou je výrobcem neuvádějí na svých stránkách a je potřeba o ně např. e-mailem požádat. Všechny tyto technické údaje k jednotlivým TČ (tedy charakteristiky získané od jednotlivých výrobců) jsou k nalezení na příloženém CD ve složce „Výrobky“. Vzhledem k tomu, že ne všechny charakteristiky obsahují všechny hodnoty, které potřebuji, je nutné požadované hodnoty dopočítat lineární interpolací, případně extrapolací [9].

Pro každé TČ jsem tedy našel (případně dopočítal) v technických listech hodnotu výkonu a COP v daném j -tém intervalu (příloha 6), a to na základě požadované výstupní teploty na kondenzátoru (t_{k2}) a na základě vstupní teploty nízkopotenciálního média. Teplota nízkopotenciálního média vzduchu je 20 °C (podkapitola 2.4). Teplota nízkopotenciálního média odpadní vody je 15 °C, neboť ztráta 5 °C z hodnoty uvedené v podkapitole 2.5 respektuje tepelné ztráty dané technickým řešením (buď akumulací odpadní vody v nádrži, nebo nedostatkem vody v případě lokálního systému). Je tedy evidentní, že varianty v zapojení voda/voda budou mít stejné provozní výdaje a lišit se budou pouze investičními výdaji.

V tomto okamžiku je již možné dle vzorců (18), (19) a (20) spočítat finální hodnoty nutné k výpočtům provozních výdajů, tedy celkovou roční potřebu energie na pohon TČ a celkovou roční dobu provozu TČ. Zároveň dopředu spočítám dle vzorce (20) celkovou roční dodávku tepla pomocí TČ, což je hodnota nutná k posouzení dosažené úspory. Všechny tyto hodnoty uvádím pro jednotlivé varianty TČ v tabulce 7.

Režim	Pohon	Čerpadlo	$\tau_{TČ}, rok$ (h)	$ET_{Č}, rok$ (MWh)	$QT_{Č}, rok$ (MWh)
vzduch/voda	elektřina	AC-Heating kaskáda Convert AW55 3P	3 499	303	1 082
vzduch/voda	elektřina	NIBE AP-AW30-31E	5 173	257	1 008
vzduch/voda	plyn	TEDOM Polo 100	4 345	505	1 068
vzduch/voda	plyn	AISIN AXGP710D1	4 380	479	1 067
voda/voda (centr.)	elektřina	Vitocal 300-G WW 301.A45	4 515	234	1 058
voda/voda	elektřina	PZP heating aquastar HP3WW54G	3 969	273	1 075
voda/voda	plyn	TEDOM Polo 100	4 345	505	1 068
voda/voda	plyn	ROBUR GAHP-WS	4 238	641	1 070
voda/voda (lok.)	elektřina	Vitocal 300-G WW 301.A45	4 515	234	1 058
voda/voda	elektřina	PZP heating aquastar HP3WW54G	3 969	273	1 075
voda/voda	plyn	TEDOM Polo 100	4 345	505	1 068
voda/voda	plyn	ROBUR GAHP-WS	4 238	641	1 070

Tabulka 7 – Výsledné hodnoty výpočtového hodnocení provozu TČ nutné k výpočtům provozních výdajů pro všechny varianty TČ

9.2.4 Provozní výdaje jednotlivých variant

Celkově mohu všechny výdaje s ohledem na předchozí odstavec a podkapitolu 9.2.1 vyjádřit vzorcem:

$$N_{p,celk} = N_{servis} + N_{pohon} = N_{servis} + N_{pal} + N_{reg} + N_{jistič}, \quad (\text{Kč}) \quad (21)$$

přičemž $N_{p,celk}$ respektuje celkové roční provozní výdaje, N_{servis} celkové roční servisní výdaje, N_{pal} celkové roční výdaje na pohon soustavy (palivo), N_{reg} celkové roční výdaje na pomocnou elektrickou energii (regulace) a $N_{jistič}$ celkové roční výdaje na jistič v případě použití ETČ.

Servisní provozní výdaje pro PTČ se vypočítají dle statistické hodnoty poskytnuté firmou TEDOM – hodina provozu TČ stojí 20 Kč (podkapitola 9.2.1). Tím pádem celkový počet hodin práce TČ (tabulka 7 - $\tau_{TČ,rok}$) vynásobím dvaceti a výsledek bude respektovat servisní provozní výdaje. V případě ETČ je uvažována konstantní částka 10 000 Kč ročně [1]. Tyto roční hodnoty pro jednotlivé varianty uvádím dále v tabulce 8.

Provozní výdaje na palivo se spočítají podobně, neboť celková spotřeba energie na pohon jednotlivých TČ včetně oběhových čerpadel (součást stanoveného topného faktoru podle EN 15316-4-2) je opět k nalezení v tabulce 7 ($E_{TČ,rok}$). Tuto hodnotu stačí vynásobit příslušnou sazbou v Kč/kWh. V případě elektřiny bude tato sazba dána celkovou jednotkovou cenou tarifu D56d z ceníku firmy E.ON pro Prahu [12], což činí 1,92 Kč/kWh v nízkém tarifu (ETČ pracuje pouze v nízkém tarifu). V případě pohonu TČ na plyn je cena plynu (pro výdaje) stanovena po dohodě s vedoucím práce (a přihlédnutím na stávající faktury BD) na hodnotu 1 Kč/kWh, což je cena, na kterou by se dostala stávající cena 0,8 Kč/kWh v případě menšího odběru plynu způsobeného instalací TČ (kromě PTČ ROBUR – spotřeba stále nad 630 MWh). Celkové provozní výdaje za palivo jsou opět uvedeny dále v tabulce 8. Z uvedeného také vyplývá, že do výdajů za palivo je nutné připočítat navýšení výdajů za plyn pro stávající kotle pro zbytkové dodané teplo nedodané TČ (kromě ROBUR). Palivové výdaje variant tedy budou zvýšeny o: $(Q_{celk,rok} - Q_{TČ,rok}) \cdot 0,2 = (1\,082\,000 - Q_{TČ,rok}) \cdot 0,2$.

Další provozní výdaje jsou výdaje za elektřinu na regulaci tepelného čerpadla a za pomocnou elektrickou energii (platí i pro PTČ). Příkon elektronické regulace uvažuji 45 W. Tuto hodnotu jsem našel v technických údajích tepelného čerpadla firmy Viessmann. Ostatní výrobci tuto hodnotu neuvádějí, proto uvažuji příkon regulace pro všechna ostatní čerpadla stejný. Navíc se dá říci, že spotřeba regulace je vůči samotnému pohonu TČ zanedbatelná, a i proto mi 45 W jako odhad pro ostatní TČ bohatě stačí. I přesto, že bude spotřeba elektřiny

elektronické regulace pro všechna TČ stejná, nebudou za ni stejné výdaje. Za prvé plynová TČ nemohou disponovat tarifem D56d, tudíž cena elektřiny v tomto případě bude použita ze stávajícího tarifu v kotelně D25d, a za druhé plynová tepelná čerpadla spotřebují kromě elektřiny na elektronickou regulaci také další pomocnou elektřinu na chod plynového čerpadla uvedenou v technických listech příslušného PTČ (podkapitola 9.2.3 – technické listy přiloženy na CD). Provozní výdaje na pomocnou elektrickou energii uvedu opět v tabulce 8, přičemž je vypočtu pomocí sazeb (ceny elektřiny v Kč/kWh) z ceníku E.ON [12], kde celková cena ve vysokém tarifu při sazbě D56d je 2,53 Kč/kWh, při sazbě D25d 3,80 Kč/kWh a cena v nízkém tarifu při sazbě D25d 1,59 Kč/kWh. Dále uvažují, že regulace je v provozu 24 hodin denně, tudíž výpočet celkových ročních provozních výdajů za pomocnou elektrickou energii a regulaci mohou vyjádřit vzorcem:

$$N_{reg} = 365 \cdot (c_{el,NT} \cdot P_{pom} \cdot T_{NT} + c_{el,VT} \cdot P_{pom} \cdot T_{VT}), \quad (\text{Kč}) \quad (22)$$

kde $c_{el,NT}$ je cena elektřiny v nízkém tarifu v Kč/kWh, T_{NT} doba provozu TČ v nízkém tarifu v hodinách (pro D56d je $T_{NT} = 22 \text{ h}$, pro D25d je $T_{NT} = 8 \text{ h}$), $c_{el,VT}$ je cena elektřiny ve vysokém tarifu v Kč/kWh, T_{VT} doba provozu TČ ve vysokém tarifu v hodinách a P_{pom} celkový příkon regulace („pomocný příkon“) v kW, přičemž tento příkon je stejný pro všechna elektrická TČ 45 W (regulace), pro plynové TČ TEDOM 1745 W ($1 \times 1700 + 45$), pro PTČ AISIN 4365 W ($3 \times 1440 + 45$) a pro PTČ ROBUR 2865 W ($6 \times 470 + 45$). Hodnoty příkonu pro plynová čerpadla jsou spočítána jako součet pomocného příkonu (krát počet jednotek) a příkonu regulace (45 W).

Poslední složkou celkových ročních provozních výdajů jsou výdaje za jistič v případě použití elektrických TČ. Každý kus ETČ musí mít svůj jistič, jehož velikost je napsána opět v technických listech jednotlivých ETČ. Cenu za jistič pak naleznou v ceníku E.ON [12]. Tuto cenu vynásobím dvanácti, neboť se jedná o měsíční poplatky, a také ji vynásobím příslušným počtem TČ, uvedeným v kapitole 8 (tabulka 1, 2, 3). Cena za 32A jistič (NIBE) je 317 Kč/měsíc a za 40A jistič (Viessmann, PZP, AC) 396 Kč/měsíc. Celkové provozní výdaje za jističe uvádím opět v tabulce 8.

Nyní již mohou určit celkové roční provozní výdaje dle vzorce (21) jako součet všech předchozích dílčích provozních výdajů. Tyto celkové provozní výdaje uvádím rovněž v tabulce 8 níže pro všechny varianty TČ.

Režim	Pohon	Čerpadlo	N servis (Kč)	N pal (Kč)	N reg (Kč)	N jistič (Kč)	N p,celk (Kč)
vzduch/voda	elektřina	AC-HeatingAW55 3P	10 000	581 354	777	23 760	615 891
vzduch/voda	elektřina	NIBE AP-AW30-31E	10 000	509 059	777	30 432	550 268
vzduch/voda	plyn	TEDOM Polo 100	86 893	507 235	46 827	0	640 955
vzduch/voda	plyn	AISIN AXGP710D1	87 594	482 032	117 134	0	686 759
voda/voda (centr.)	elektřina	Vitocal WW 301.A45	10 000	453 846	777	19 008	483 631
voda/voda	elektřina	PZP HP3WW54G	10 000	524 953	777	23 760	559 490
voda/voda	plyn	TEDOM Polo 100	86 893	507 235	46 827	0	640 955
voda/voda	plyn	ROBUR GAHP-WS	84 763	643 128	76 882	0	804 773
voda/voda (lok.)	elektřina	Vitocal WW 301.A45	10 000	453 846	777	19 008	483 631
voda/voda	elektřina	PZP HP3WW54G	10 000	524 953	777	23 760	559 490
voda/voda	plyn	TEDOM Polo 100	86 893	507 235	46 827	0	640 955
voda/voda	plyn	ROBUR GAHP-WS	84 763	643 128	76 882	0	804 773

Tabulka 8 – Celkové provozní výdaje všech variant TČ

10.0 Ekonomické porovnání navrhovaných variant oproti dosavadnímu stavu

V předchozí kapitole jsem spočítal investiční i provozní výdaje všech navržených variant lišících se pohonem a druhem zapojení. Díky tomu mohu nyní provést ekonomické hodnocení navrhovaných variant oproti dosavadnímu stavu vytápění s pomocí plynových kotlů.

Na celý projekt nahlížím z pohledu bytového družstva. Důležité tedy bude uvést, kolik peněz by s jednotlivými variantami bytové družstvo ušetřilo, nebo kdy se zhruba vrátí investiční výdaje (doba návratnosti – pouze informativní). Nakonec samozřejmě také spočítám ekonomické ukazatele a metody porovnání, které určí skutečné pořadí jednotlivých variant (NPV, IRR).

10.1 Stanovení parametrů pro srovnání

10.1.1 Diskontní míra (r)

Hodnota peněžních toků se převádí na současnou hodnotu diskontováním, přičemž diskont lze určit na základě rizika projektu a ceny ušlé příležitosti.

V případě družstva se diskont odvíjí od velikosti úroku na úvěr, které již bytové družstvo má. Tento úrok je momentálně cca 2 %, a proto i já po dohodě s vedoucím práce volím diskont 2 %.

10.1.2 Doba porovnání (T_p)

Doba porovnání se obvykle určuje na základě životnosti zařízení. Tato doba je dle výrobců tepelných čerpadel minimálně dvě desítky let, nicméně tyto odhady bývají velmi často nadhodnocené. Některé prvky soustavy nemají dobu životnosti zdaleka tak velkou, nicméně oprava těchto prvků je zahrnuta v servisních provozních výdajích. Mě proto zajímá životnost samotných tepelných čerpadel, kterou určuje především životnost pohonu. Ta je dle literatury [4] 15-20 let. S vedoucím práce jsem se tedy dohodl na hodnotě 15 let, neboť není jisté, zda bude za 20 let zdroj vyhovující či nebo zda jeho činnost nebude nějak omezena. Proto odhadujeme morální životnost systému menší, tedy dobu porovnání volím 15 let.

10.1.3 Tok hotovosti (CF)

Základním kamenem pro hodnocení investičních projektů je tok hotovosti, tedy roční rozdíl příjmů a výdajů v budoucích letech. Cash flow tedy určím dle provozních a investičních výdajů a očekávaných příjmů (úspor). To se dá zapsat vzorcem:

$$CF_t = V_t - N_{p,t} - N_{i,t}, \quad (\text{Kč}) \quad (23)$$

kde V_t jsou příjmy (úspory za plyn) v roce t , $N_{p,t}$ celkové roční provozní výdaje v roce t a $N_{i,t}$ celkové investiční výdaje v roce t .

Výpočet provozních a investičních výdajů jsem již provedl v předchozí kapitole, kde jsem se mimo jiné zmínil i o celkových ročních tepelných ziscích jednotlivých variant.

Tyto tepelné zisky de facto vyjadřují úsporu vzniklou instalací tepelných čerpadel, neboť toto celkové vyrobené teplo by v opačném případě muselo být dodáno do soustavy plynovými kotli, přičemž již z podkapitoly 9.2.4 vím, že stávající celkovou cenu plynu uvažuji 0,8 Kč/kWh. Peněžní úsporu pro jednotlivé varianty tedy spočítám prostým vynásobením stávající ceny plynu celkovým tepelným ziskem jednotlivých variant TČ. Výsledky uvádím v tabulce 9.

Režim	Pohon	Čerpadlo	QTČ,rok (kWh)	Úspora V_t (Kč)
vzduch/voda	elektřina	AC-Heating kaskáda Convert AW55 3P	1 081 679	865 343 Kč
vzduch/voda	elektřina	NIBE AP-AW30-31E	1 007 566	806 053 Kč
vzduch/voda	plyn	TEDOM Polo 100	1 068 333	854 666 Kč
vzduch/voda	plyn	AISIN AXGP710D1	1 067 063	853 650 Kč
voda/voda (centr.)	elektřina	Vitocal 300-G WW 301.A45	1 057 751	846 200 Kč
voda/voda	elektřina	PZP heating aquastar HP3WW54G	1 074 615	859 692 Kč
voda/voda	plyn	TEDOM Polo 100	1 068 333	854 666 Kč
voda/voda	plyn	ROBUR GAHP-WS	1 070 002	856 001 Kč
voda/voda (lok.)	elektřina	Vitocal 300-G WW 301.A45	1 057 751	846 200 Kč
voda/voda	elektřina	PZP heating aquastar HP3WW54G	1 074 615	859 692 Kč
voda/voda	plyn	TEDOM Polo 100	1 068 333	854 666 Kč
voda/voda	plyn	ROBUR GAHP-WS	1 070 002	856 001 Kč

Tabulka 9 – Dosažená tepelná a peněžních úspora jednotlivých variant TČ

V tomto okamžiku již není problém spočítat peněžní toky pro jednotlivé TČ dle vzorce (23) pro jednotlivé roky. Investiční výdaje se v cash flow projeví pouze v nultém roce, který zahrnuje celkovou nárazovou investici do tepelného systému s tepelným čerpadlem, což mohu popsat vzorcem:

$$CF_0 = -N_{i,0} = -INV, \quad (\text{Kč}) \quad (24)$$

kde $N_{i,0}$ reprezentuje investiční výdaje v roce 0, což reprezentuje pro každou variantu celková počáteční investice INV . Nezáleží na tom, kdy začne nultý rok: očekávané výsledky dalších let budou vždy stejné.

Od této doby (rok 0) běží další roky, které již zahrnují dosaženou úsporu a provozní výdaje. V následujících patnácti letech tedy mohou vyjádřit peněžní toky vzorcem:

$$CF_{1-15} = V_t - N_{p,t} = V_t - N_{servis,t} - N_{pal,t} - N_{reg,t} - N_{jistič,t}, \quad (\text{Kč}) \quad (25)$$

kde V_t reprezentuje úsporu v roce t , $N_{p,t}$ celkové provozní výdaje v roce t , což mohou rozdělit na celkové servisní výdaje v roce t $N_{servis,t}$, celkové výdaje na palivo v roce t $N_{pal,t}$, celkové výdaje na regulaci a pomocnou elektrickou energii v roce t $N_{reg,t}$ a na celkové výdaje za jističe v roce t $N_{jistič,t}$.

S vedoucím práce jsem se dohodl, že při prognózování peněžních toků budoucích patnácti let nebudu uvažovat žádné růsty ani poklesy cen u servisních výdajů, ceny elektřiny či plynu. Může se to zdát nereálné, ale je velmi těžké a téměř nemožné odhadnout např. růst ceny elektrické energie, která by ovlivnila provozní výdaje všech variant. Při zachování všech cen stejných během budoucích patnácti let je tedy zřejmé, že cash flow se v jednotlivých letech, vyjma roku nula, nebude pro jednotlivé varianty lišit a tato hodnota bude pro každou variantu rozdíl úspory a celkových provozních výdajů dle vzorce (25).

Ačkoliv při základním výpočtu ekonomického hodnocení nebudou uvažovány žádné eskalace cen, je dobré si uvědomit, jak moc mohou právě růsty cen elektrické energie, plynu nebo třeba servisních provozních výdajů ovlivnit projekt, a proto budou tyto růsty nebo změny cen i tak prověřeny v citlivostní analýze.

Dále bude v základním případě výpočtů uvažováno, že soustavu by bytové družstvo hradilo plně z vlastních prostředků, neboť bytové družstvo má nyní dostatek finančních prostředků na úhradu investice.

Financování formou částečného úvěru bude opět předmětem citlivostní analýzy.

10.2 Metody porovnání

10.2.1 Doba návratnosti (PP)

Nejjednodušším kritériem, které spočtu pouze pro základní případy, nikoliv v citlivostní analýze, je prostá doba návratnosti investice (PP z angl. Payback Period).

Toto kritérium sice není z ekonomického hlediska správné, nicméně je dobré bytovému družstvu sdělit alespoň odhad návratnosti investice. V mém případě, kdy uvažuji pro všechny varianty konstantní peněžní toky a stejnou dobu porovnání, má i toto kritérium jistou vypovídací hodnotu a je zřejmé i pro členy bytového družstva, kteří nemají ekonomické vzdělání.

Situaci by mohla vyřešit diskontovaná doba návratnosti, nicméně já spočítám pouze prostou dobu návratnosti, protože tento ukazatel je pouze orientační. Hlavní ekonomické hodnocení provedu na základě výpočtů NPV a IRR (viz dále), neboť tyto ukazatele počítají s časovou hodnotou peněz.

Vzorec pro výpočet prosté doby návratnosti je:

$$\sum_{t=0}^{PP} CF_t \geq 0, \quad (\text{roky}) \quad (26)$$

kde v mém případě neměnicích se ročních CF stačí vydělit celkové investiční výdaje právě zmíněnou hodnotou ročního CF a vyjde prostá doba návratnosti, která BD podá základní údaj o ekonomické efektivnosti jednotlivých variant.

10.2.2 Čistá současná hodnota (NPV)

Dalším ukazatelem je již zmíněná čistá současná hodnota, neboli NPV (z angl. net present value).

Tento ukazatel je možná nejpoužívanějším kritériem při ekonomickém hodnocení investic a projektů, přičemž také počítá s časovou hodnotou peněz.

Cílem metody je určit současnou hodnotu budoucích peněžních toků, přičemž faktor času respektuje diskont, díky kterému se budoucí hodnoty přepočítávají (diskontují) na dnešní hodnotu. Výsledná hodnota metody (NPV) je tedy absolutní částka v Kč, kterou mohu označit jako peněžní přírůstek/úbytek firmy (potažmo bytového družstva) v případě realizace jednotlivých variant.

Pokud je tedy hodnota NPV dané varianty kladná, mohu variantu doporučit, přičemž v mém případě se vybírá pouze jedna varianta. Pokud vyjde hodnota NPV záporná, projekt by neměl být realizován, neboť můžeme uskutečnit jiný projekt (spoření apod.), který nám pomohl vybrat diskont. Matematická formulace NPV je:

$$NPV = \sum_{t=0}^{T_p} \frac{CF_t}{(1+r)^t}, \quad (\text{Kč}) \quad (27)$$

kde r je diskont, CF_t peněžní toky v jednotlivých letech a T_p doba životnosti, přičemž tuto hodnotu vypočtu pomocí tabulkového procesoru MS Excel a funkce ČISTÁ.SOUČHODNOTA(r ; CF_t).

10.2.3 Vnitřní výnosové procento (IRR)

Dalším kritériem při hodnocení investic je tzv. IRR (z angl. internal rate of return), neboli vnitřní výnosové procento.

Je to metoda, která hledá diskontní sazbu projektu tak, aby se hodnota NPV rovnala nule. Hledám proto takovou hodnotu diskontní míry, při které se současná hodnota výnosů rovná současné hodnotě výdajů.

Ruční výpočet tohoto kritéria je pro vyšší doby porovnání téměř nemožný, a proto opět použiji tabulkový procesor MS Excel a funkci MÍRA.VÝNOSNOSTI($CF_1 \dots CF_t$).

Obecný matematický výpočet vychází ze vzorce:

$$\sum_{t=0}^{T_p} \frac{CF_t}{(1+x)^t} = 0, \quad (\%) \quad (28)$$

kde x je hledaný diskont, tedy vnitřní výnosové procento. IRR by mělo být vyšší než diskontní míra použitá při výpočtu NPV, jinak nemá cenu projekt realizovat. Dále vybíráme projekt s nejvyšším IRR. Také je nutné se podívat, jestli IRR a NPV vybírají stejně, jinak by muselo být IRR spočítáno např. rozdílovou investicí.

10.3 Porovnání navržených variant vůči stávajícímu stavu

V předchozí podkapitole jsem se obecně věnoval jednotlivým ukazatelům ekonomické efektivity, které nyní spočítám pro všechny navržené varianty, z čehož budu moci odvodit jejich ekonomickou efektivity.

Hodnocení variant je spočítáno na základě vstupních údajů z podkapitoly 10.1 (diskont apod.) a vůči stávajícímu stavu. Porovnání tedy probíhá vůči stávající moderní kotelně, která vytápí bytový dům plynovými kotli. V případě instalace jakékoliv varianty s TČ by plynové kotle zůstaly v kotelně jako bivalentní zdroj, nebo jako záloha v případě poruchy či prostoje TČ. Výrazně by klesla spotřeba plynu v plynových kotlích, vznikla by však nová spotřeba (elektřiny, plynu) na straně TČ, což je vše respektováno hodnotou CF.

Vypočtené hodnoty ekonomických ukazatelů PP, NPV a IRR současně s hodnotou CF v prvním roce (je stejná pro všechny roky pro základní případ) uvádím v tabulce 10. Výpočty byly provedeny pomocí programu MS Excel, přičemž soubor příkládám na CD (EKONOM_HODNOC.xlsx).

Režim	Pohon	Čerpadlo	CF1 (Kč)	NPV	IRR	PP (roky)
vzduch/voda	elektřina	AC-Heating kaskáda Convert AW55 3P	249 453	32 580 Kč	2,14%	12,72
vzduch/voda	elektřina	NIBE AP-AW30-31E	255 785	-906 550 Kč	-1,09%	16,39
vzduch/voda	plyn	TEDOM Polo 100	213 711	372 830 Kč	4,02%	11,10
vzduch/voda	plyn	AISIN AXGP710D1	166 891	-1 368 780 Kč	-3,97%	21,05
voda/voda (centr.)	elektřina	Vitocal 300-G WW 301.A45	362 570	1 598 100 Kč	8,23%	8,44
voda/voda	elektřina	PZP heating aquastar HP3WW54G	300 202	990 070 Kč	6,26%	9,55
voda/voda	plyn	TEDOM Polo 100	213 711	353 720 Kč	3,90%	11,19
voda/voda	plyn	ROBUR GAHP-WS	181 774	-1 112 250 Kč	-2,80%	18,97
voda/voda (lok.)	elektřina	Vitocal 300-G WW 301.A45	362 570	1 575 630 Kč	8,11%	8,50
voda/voda	elektřina	PZP heating aquastar HP3WW54G	300 202	967 600 Kč	6,14%	9,63
voda/voda	plyn	TEDOM Polo 100	213 711	331 250 Kč	3,77%	11,30
voda/voda	plyn	ROBUR GAHP-WS	181 774	-1 134 720 Kč	-2,87%	19,09

Tabulka 10 – Ukazatele hodnocení investice vypočtené pro všechny varianty

Z tabulky je rovnou vidět několik zajímavých informací. Za prvé, že ne všechny varianty vyšly s kladnou hodnotou NPV, a za druhé, že NPV a IRR vybralo shodně pořadí

variant, což je dobře, neboť nebudu muset provádět výpočet pomocí rozdílové investice, nicméně i tak by bylo hlavní rozhodnutí o realizaci určité varianty provedeno na základě výpočtu NPV.

Nejprve se zaměřím na varianty tepelných čerpadel v režimu vzduch/voda. V tomto režimu není dle výsledků evidentní, že plynová tepelná čerpadla jsou výrazně ekonomičtější než tepelná čerpadla na elektřinu, nicméně nejlepší variantou v tomto zapojení je varianta s plynovým TČ TEDOM, což je jeden z prvních důkazů o tom, že tepelná čerpadla s pohonem na plyn jsou velkým konkurentem elektrických tepelných čerpadel, ačkoliv nám nedovolují získat lepší tarif elektrické energie. To je ale povětšinou psáno pouze na stránkách výrobců tepelných čerpadel, což musí brát zákazník s rezervou. Již zmíněnou v tomto režimu nejlepší variantou je tepelné čerpadlo TEDOM Polo 100. Realizací této varianty by BD ušetřilo peníze na vytápění, neboť NPV má kladnou hodnotu, konkrétně cca 370 tis. Kč, a IRR je cca 2x vyšší než diskont, tedy konkrétně 4 %. Prostá doba návratnosti je v případě TČ Polo 100 přibližně 11 let, což je pro bytové družstvo slušná hodnota. Tento nejlepší výsledek je dán nízkou pořizovací cenou a slušnými provozními výsledky. Druhou nejlepší variantou je tentokrát elektrické TČ firmy AC Heating s NPV 32 tis. Kč, což je sice kladná hodnota, nicméně oproti PTČ TEDOM přibližně desetkrát menší. Ostatní varianty mají hodnotu NPV zápornou, tudíž nemá význam tyto varianty realizovat. Obecně se nedá prohlásit, že by byly v režimu vzduch/voda lepší PTČ než ETČ a naopak.

V případě tepelných čerpadel v režimu voda/voda je však situace odlišná. Nejprve se vyjádřím k samotnému porovnání variant se stejnými tepelnými čerpadly, jež se liší pouze technickým zpracováním: jde tedy o porovnání variant centrálního a lokálního systému odpadní vody. Varianty se stejnými tepelnými čerpadly stejných výrobců avšak lišící se technologickým zapojením systému vyšly ekonomicky téměř stejně. Tyto varianty se liší v případě NPV o několik málo desítek tisíc korun a v případě IRR o několik málo setin procent. Z tohoto důvodu budu varianty hodnotit pouze jednou (pro centrální systém odpadní vody), neboť vyšly de facto duplicitní výsledky, což je způsobeno stejnými provozními výdaji a podobnými investičními výdaji (což je dáno vysokou cenou za samotná TČ, přičemž tato cena tvoří většinu investice) lokálního a centrálního systému. Varianty jednoho ze systémů v režimu voda/voda tak mohou brát jako bonusové varianty. I v citlivostní analýze budou zobrazeny pouze čtyři varianty v režimu voda/voda (centrální), nikoliv všech osm, neboť je to zbytečné a grafy budou navíc přehlednější.

Nyní k samotnému hodnocení TČ v režimu voda/voda. V tomto případě celkem jasně zvítězila TČ s elektrickým pohonem, a to především díky lepším provozním výsledkům a

vyšším topným faktorům ETČ v režimu voda/voda. NPV nejlepší varianty (Viessmann) je v tomto případě skoro 1,6 mil. Kč., IRR 8,23 % a PP přibližně 8,5 let. Druhá nejlepší varianta s ETČ PZP dopadla také velmi dobře. NPV atakuje 1 mil. Kč, IRR 6,3 % a PP je 9,55 let. V režimu voda/voda se tedy dá obecně říci, že ETČ jsou lepší než PTČ, protože jediná „záporná“ varianta v tomto zapojení je nyní PTČ firmy ROBUR a druhá nejhorší, i když kladná varianta, je varianta s PTČ TEDOM, která má několikrát horší výsledky (NPV, IRR) než elektrická TČ ve stejném zapojení. Plynové tepelné čerpadlo ROBUR dopadlo nejhůře především kvůli bídým hodnotám topného faktoru, neboť ROBUR využívá absorpčního pohonu, který obecně nemá takovou účinnost jako kompresorové typy. PTČ TEDOM pak nemá takové provozní výsledky jako ETČ s nízkopotenciálním médiem vodou.

Na základě mých výpočtů a stanovených parametrů mohu BD doporučit variantu s PTČ firmy TEDOM v režimu vzduch/voda, neboť tato varianta má v tomto režimu nejvyšší NPV a IRR a zároveň by byla budoucí instalace mnohem jednodušší než v případě TČ s použitím odpadní vody (povolení od města, mohou vzniknout komplikace s realizací instalace apod.). Pokud by se však mělo družstvo rozhodnout čistě ekonomicky, pak je nejlepší možnou variantou jednoznačně elektrické TČ Viessmann v režimu voda/voda, neboť tato varianta má vůbec nejvyšší NPV s hodnotou téměř 1,6 mil. Kč.

Bohužel na základě výsledků nemohu jednoznačně prohlásit, že plynová tepelná čerpadla jsou ekonomičtější než elektrická a naopak, neboť v různých režimech dopadla situace jinak, což je zapříčiněno velmi malým disponibilním množstvím plynových tepelných čerpadel různých výrobců. V České republice se momentálně dají sehnat PTČ pouze tři výrobců, přičemž ne všichni prodávají PTČ pro všechny režimy zapojení. Každý z výrobců preferuje jiný typ pohonu, což je např. u PTČ ROBUR základní kámen úrazu, neboť absorpční pohon není schopen konkurovat ani elektrickým tepelným čerpadlům, ani kompresorovým plynovým TČ (jedinou výhodou je nižší hluchnost systému).

10.4 Citlivostní analýza

Základní ekonomické porovnání navržených variant určilo jako nejlepší možnou variantu v režimu vzduch/voda plynové tepelné čerpadlo TEDOM Polo 100 a v zapojení voda/voda celkově ekonomicky nejvýhodnější variantu s ETČ firmy Viessmann.

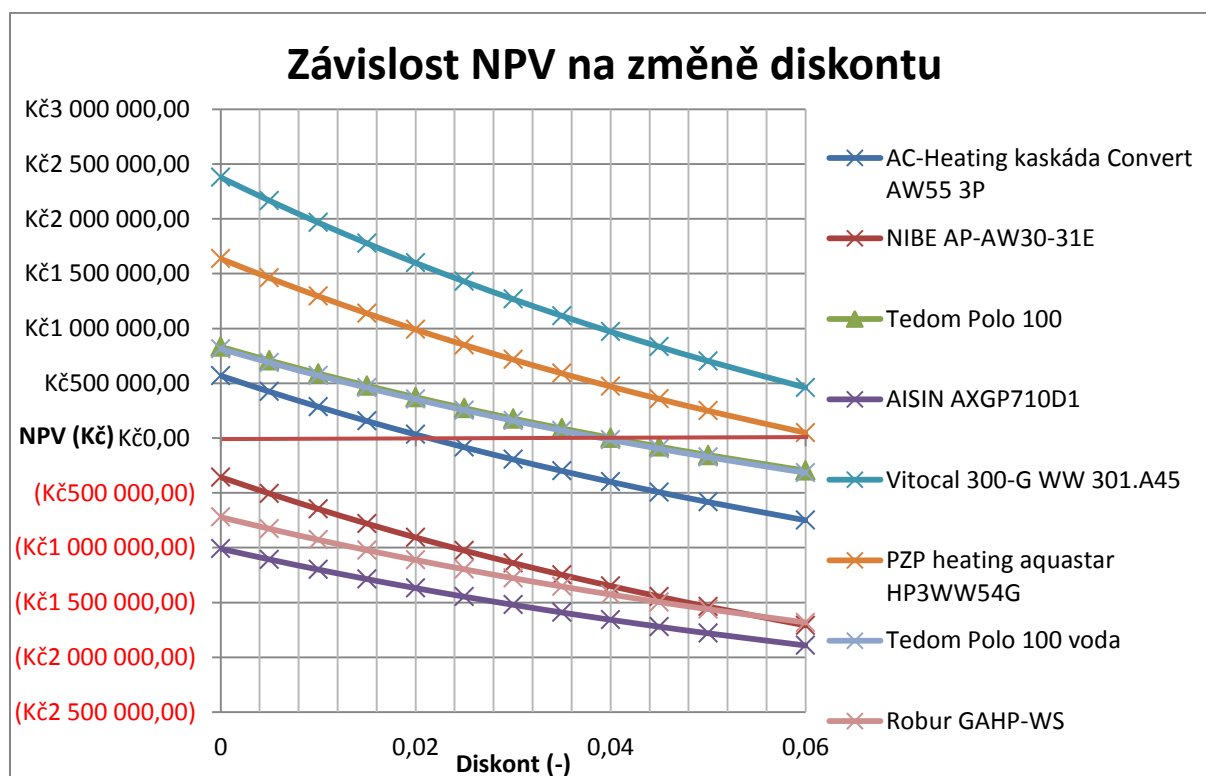
To bylo však při stálých cenách, přičemž některé hodnoty jsou do jisté míry odhady, které se mohou od skutečnosti lišit (investice, provozní výdaje apod.).

Vhodná je tedy citlivostní analýza vstupních veličin, v níž se zaměřím na změny NPV různých variant při změně vstupních veličin (vždy jen jedné) - opět v porovnání se stávajícím stavem vytápění. Jak již bylo uvedeno v předchozí podkapitole, v citlivostní analýze uvedu pouze 4 varianty v režimu voda/voda (centrální systém), neboť zbývající 4 se liší pouze technologickým zapojením a dávají téměř stejné výsledky NPV i IRR.

10.4.1 Diskont

První citlivostní analýzu provedu pro diskont, neboť diskont je základní vstupní údaj pro vypočítání správné hodnoty NPV. Při špatně určeném diskontu dává NPV špatné hodnoty a výsledky tak mohou být zavádějící.

V případě bytového družstva nebudou potenciální změny diskontu tak markantní jako pro běžnou firmu, nicméně je dobré se podívat, jak diskont ovlivní velikost NPV. Výsledky uvádím v grafu 6 níže.



Graf 7 – Závislost NPV na změně diskontu

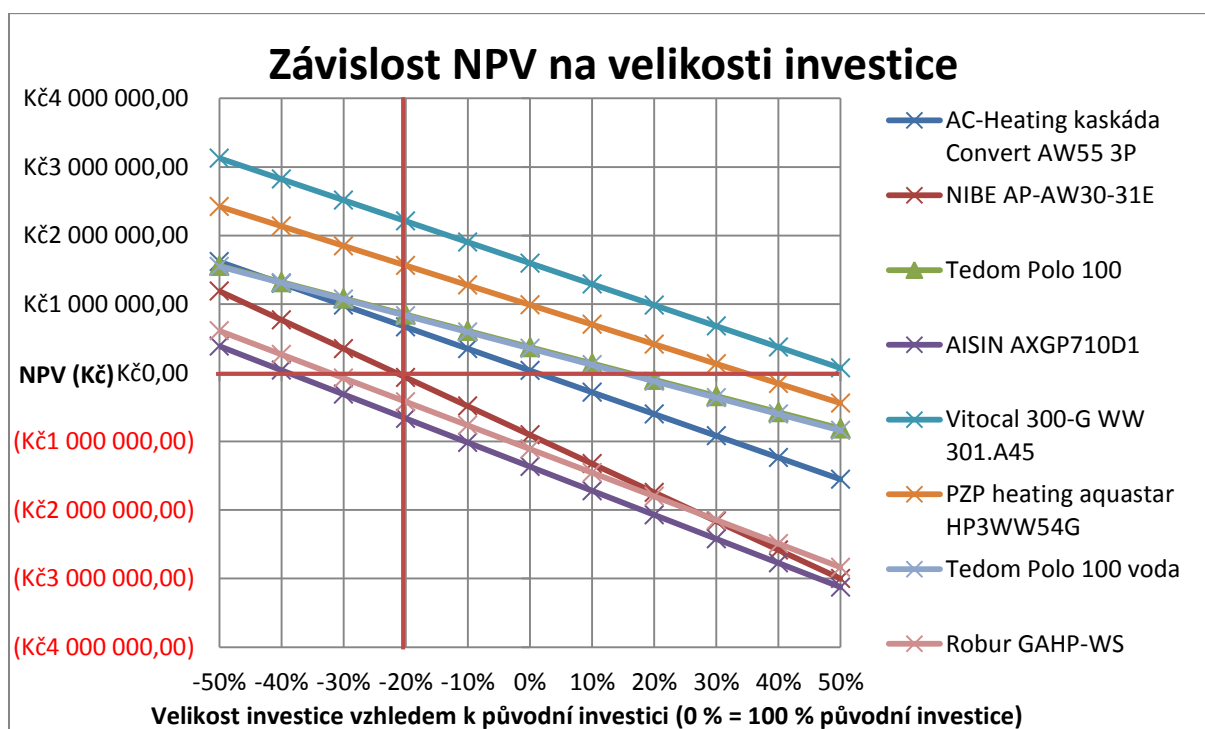
Z grafu je vidět, jak se mění NPV jednotlivých variant při velikosti diskontu od 0 % do 6 %. Jediné dvě varianty, které mají v tomto rozmezí kladné NPV, jsou i v základním případě

nejlepší varianty s ETČ firem Viessmann a PZP v režimu voda/voda. Tato dvě ETČ jsou odolná na změny diskontu v plném rozsahu. Třetí nejlepší variantou je již PTČ, a to od firmy TEDOM v obou režimech, přičemž NPV se na nule zastaví při cca 4% diskontu.

Všechny vypočtené hodnoty (Citlivostní analýza – diskont) pak uvádím v příloze 7 nebo na příloženém CD v souboru EKONOM_HODNOC.xlsx.

10.4.2 Velikost investice

Zásadním odhadem celého projektu je velikost počátečních investičních výdajů, které mi sice byly (jejich velikost) doporučeny zmíněnými firmami, nicméně i tak se jedná o odhad a skutečná cena se může lišit, a to hlavně v ceně samotné montáže nebo např. nutnosti instalovat nový komínový systém, proto je dobré uvést citlivostní analýzu i na velikost investičních výdajů. Závislost NPV na velikosti investice tedy uvádím níže v grafu 7, kde se na ose x nachází procentuální změna oproti původní investici, čili 0 % znamená 100 % původní velikosti investice. 20 % = 120 % původní investice apod.

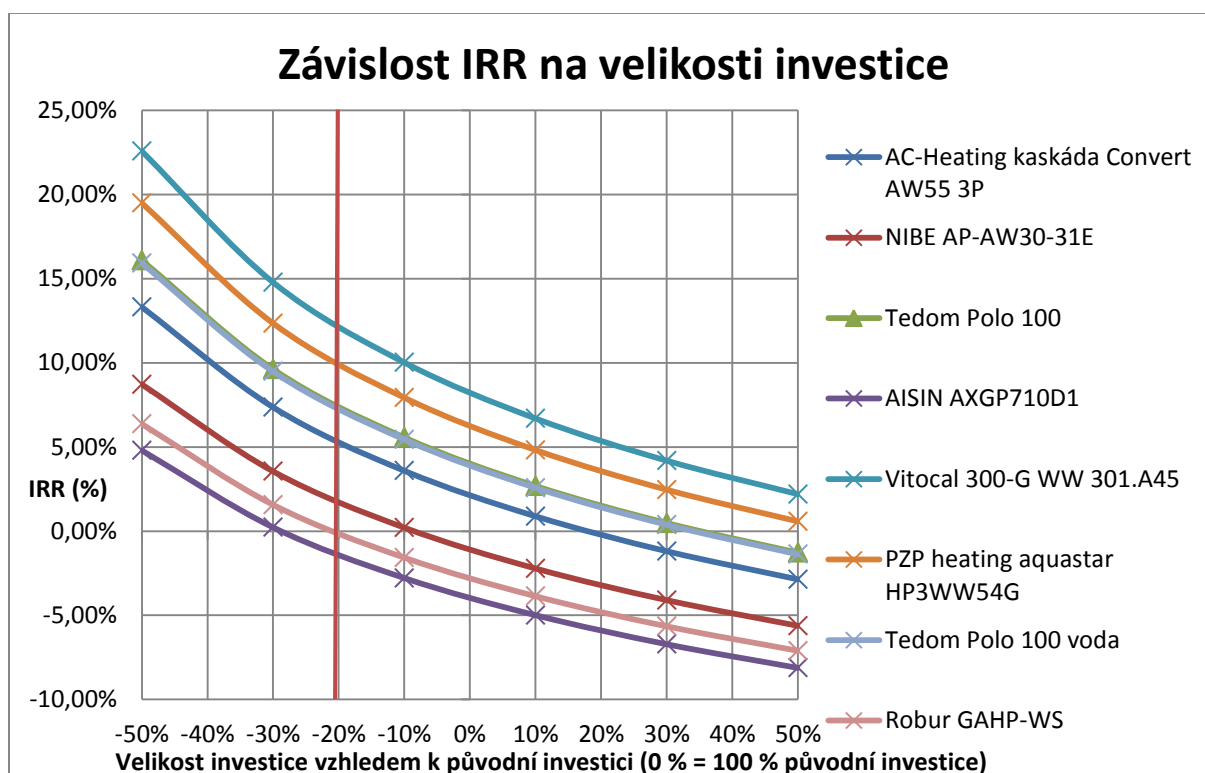


Graf 8 – Závislost NPV na velikosti investice

Citlivostní analýza investičních výdajů je provedena v rozmezí 50 % až 150 % velikosti původní investice zmíněné v tabulce 5 v podkapitole 9.1.

Jak je z grafu patrné, tak opět existuje jediná varianta TČ, která má i při takto velkých změnách investic kladnou hodnotu NPV, což je opět nejlepší varianta ze základního případu s ETČ firmy Viessmann. Při 150% velikosti původní investice má tato varianta stále kladnou hodnotu NPV, konkrétně cca 70 tis. Kč. V grafu je pak také znázorněna svíslá čára na -20 % investice, která znázorňuje možnou úlevu na investicích v případě využití programu *Nová zelená úsporám*.

Situace je podobná i pro IRR, kde varianta s ETČ Viessmann má jako jediná při 150% velikosti původní investice IRR vyšší než diskont, a to 2,20 % (viz graf 8).



Graf 9 – Závislost IRR na velikosti investice

Vypočtené hodnoty z citlivostní analýzy velikosti počáteční investice jsou v příloze 8 nebo na přiloženém CD.

10.4.3 Financování investice cizím kapitálem

Vzhledem k tomu, že bytové družstvo má dostatek finančních prostředků, nebylo potřeba v základním případě uvažovat částečné financování pomocí úvěru, nicméně v citlivostní analýze se tomu budu věnovat.

Pokud by si bytové družstvo půjčilo peníze na úhradu počáteční investice, a to v jakékoliv výši, změnila by se výše diskontu, neboť bych musel počítat i s cizím kapitálem. Diskont by se pak přepočítal pomocí WACC následovně:

$$WACC = i \cdot (1 - t) \cdot \frac{D}{E + D} + r \cdot \frac{E}{E + D} \quad (-) (29)$$

kde i je úrok na půjčený kapitál, t velikost daně z příjmů, D objem cizího kapitálu, E objem vlastního kapitálu a r vlastní diskontní míra.

V tomto okamžiku je však důležité zmínit, že úvěr by si bralo bytové družstvo, které pouze chrání potřeby svých členů, nepodniká za účelem zisku, a tedy neplatí žádné daně z příjmů, což je v tomto případě zásadní informace, neboť první člen ve vzorci (29) se tak nebude o tyto daně snižovat.

Z tohoto důvodu je tedy jedinou důležitou informací velikost úroku, který by BD dostalo. Pokud by byl totiž úrok stejný jako výše diskontu, tedy 2 %, což je velmi pravděpodobné, neboť z tohoto úroku jsem právě určoval velikost diskontní sazby bytového družstva, nemělo by pak cenu úvěr pořizovat, neboť výsledný diskont dle WACC by byl stále 2 %. V případě anuitního splácení by to pak znamenalo, že NPV všech variant vyjde úplně stejně jako v základním případě bez ohledu na procento půjčené částky a dobu půjčky.

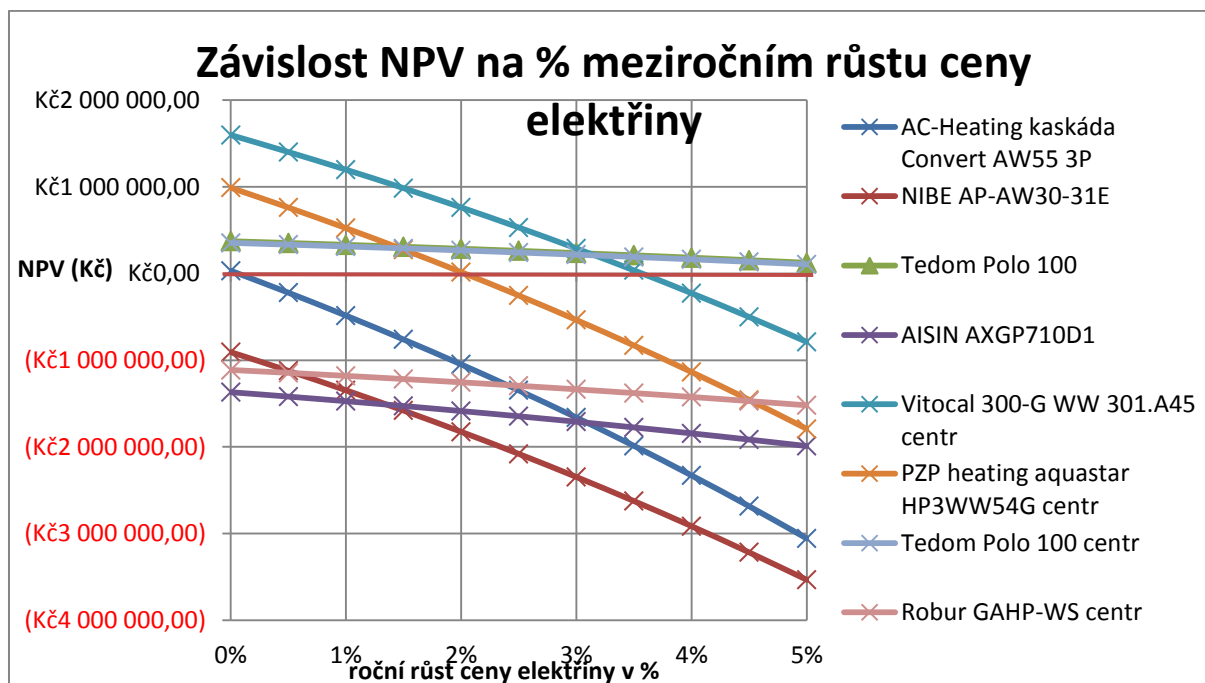
Dá se tedy říci, že úvěr se BD vyplatí pouze v případě, že úrok bude nižší než 2 %, což bude znamenat, že cizí kapitál bude levnější než vlastní, přičemž nejvyšší hodnoty NPV se dosáhne při nejnižším úroku. Pak také samozřejmě záleží, kolik peněz si BD půjčí a na jak dlouho, což už by ale záleželo na rozhodnutí a finančních možnostech (např. při úvěru na krátkou dobu v prvních letech splácení) BD, přičemž obecně platí, že nejvyšší hodnoty NPV dosáhneme s co největším úvěrem na co nejkratší dobu.

Jedinou podmínkou pro využití úvěru je tedy úroková míra, která musí být nižší než diskontní. V takovém případě se pak úvěr BD vždy vyplatí.

10.4.4 Eskalace ceny elektrické energie

Zaručeně největší částí provozních výdajů jsou výdaje za palivo na pohon TČ. V následujících dvou kapitolách se tedy zaměřím na to, jak ovlivní ekonomickou efektivnost instalace TČ růst ceny elektřiny a plynu. Samozřejmě je nemožné ceny elektřiny a plynu v budoucích 15 letech odhadnout, či zda vůbec budou ceny růst, klesat apod., ale protože v základním případě toto vůbec nebylo uvažováno, je nyní na místě provést citlivostní analýzu.

Začnu citlivostní analýzou na změnu (růst) ceny elektřiny, přičemž uvažuji růsty od 0 % do 5 % s 0,5% krokem. Závislost NPV na tomto meziročním růstu uvádím v grafu 9. Přesné výsledky pak uvádím opět na příloženém CD nebo v příloze 9.



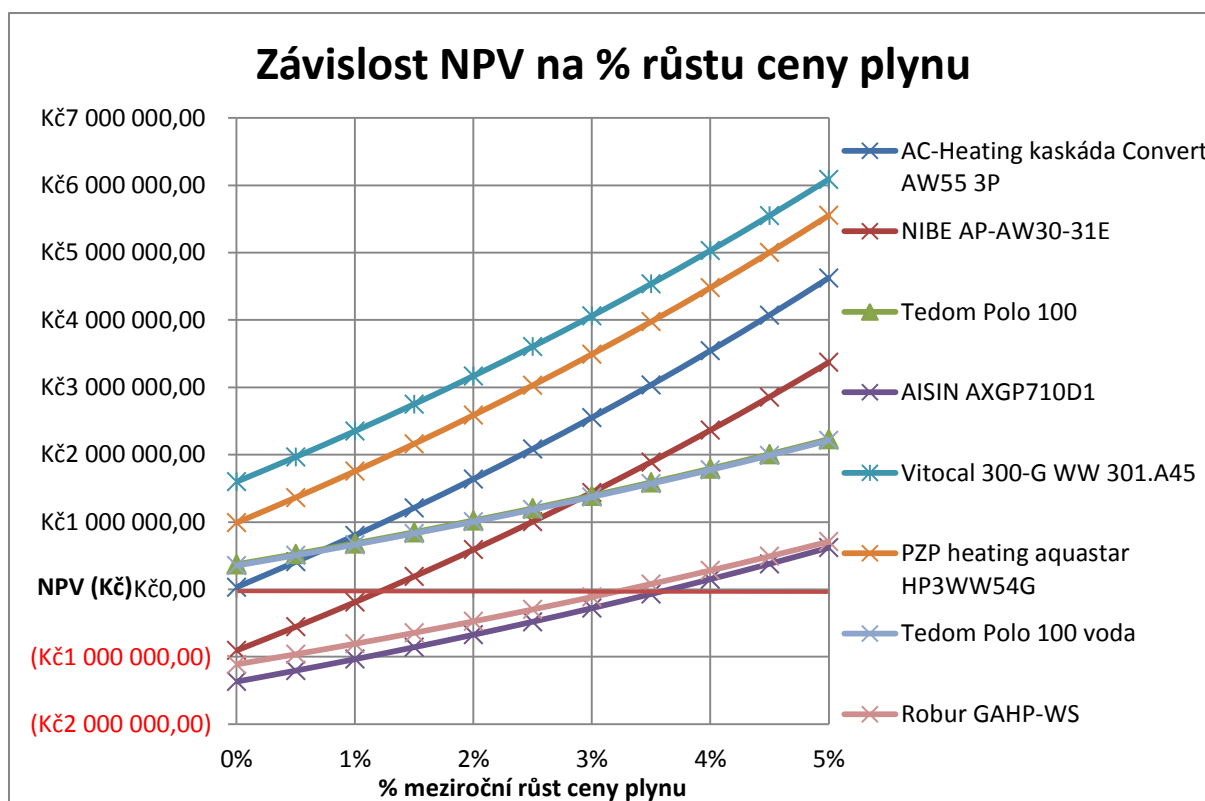
Graf 10 – Závislost NPV na procentuálním meziročním růstu ceny elektřiny

Z grafu je patrné, že nejlepší varianta s PTČ, varianta s PTČ TEDOM je jako jediná odolná vůči změnám ceny elektřiny, neboť palivo pro toto TČ je plyn, tudíž zbývající výdaje na pomocnou elektrickou energii při zvyšující se ceně elektřiny sice snižují NPV, ale nijak rapidně. I proto je varianta s tímto TČ jedinou variantou, která má při uvažovaných změnách vždy kladnou hodnotu NPV - v tomto případě dokonce vždy nad 100 tis. Kč.

10.4.5 Eskalace ceny plynu

Předchozí citlivostní analýza znevýhodňovala elektrická TČ, proto je dobré se podívat na situaci i z druhé strany, tedy na případy meziročního růstu ceny plynu

Stejně jako v předchozím případě uvažuji růst ceny plynu od 0 % do 5 % s 0,5% krokem. Výsledky uvádím v příloze 10 nebo na příloženém CD, dále pak v grafu 10.



Graf 11 – Závislost NPV na % meziročním růstu ceny plynu

Z grafu je patrné, že v případě rostoucí ceny plynu budou varianty čím dál více ekonomičtější, což je způsobeno stoupající úsporou, která i v případě plynových TČ předčí provozní výdaje za plyn na pohon PTČ.

Při uvažování přibližně 3,5% růstu ceny plynu jsou již všechny varianty uskutečnitelné ($NPV > 0$) a při uvažování ročního cca 3% růstu ceny plynu se dokonce stávají všechna ETČ výhodnější, než tepelná čerpadla plynová.

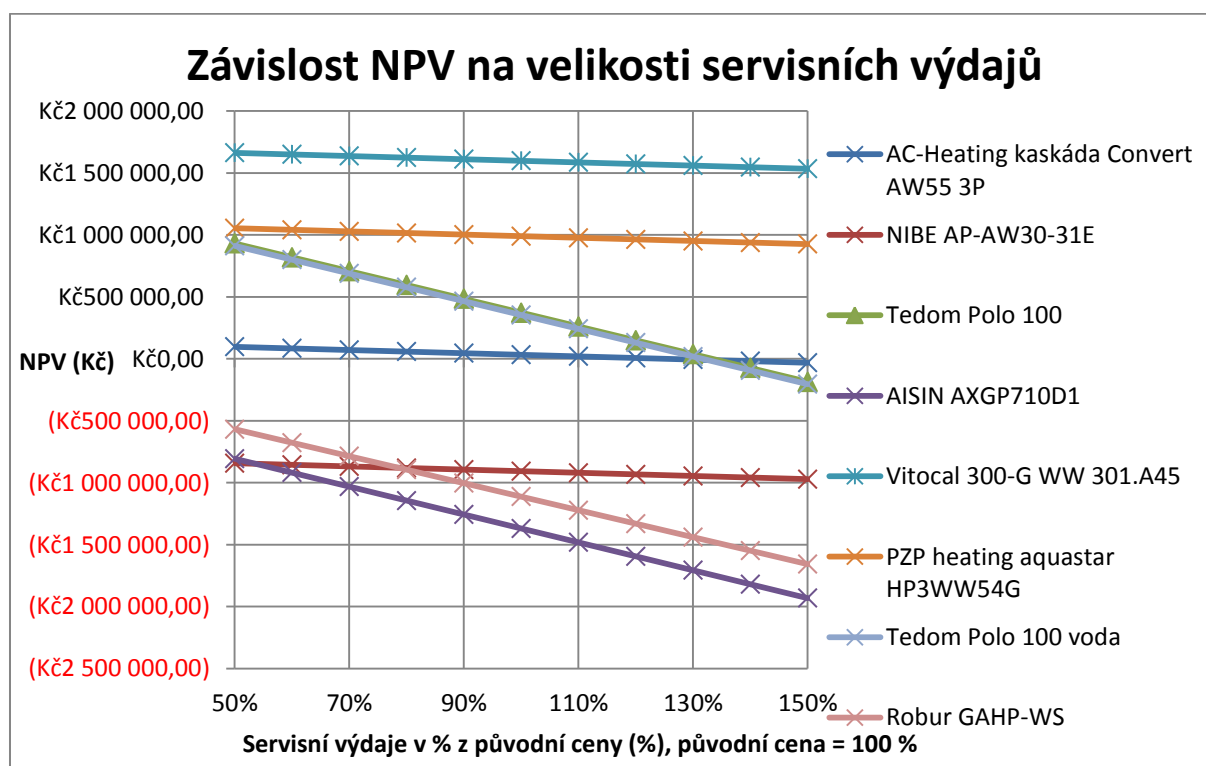
Pokud by cena plynu pravidelně každý rok klesala, varianty by byly stále více „záporné“ a při ročním poklesu ceny plynu o více než 2 % by již měly všechny varianty kromě nejlepší varianty s ETČ Viessmann zápornou hodnotu NPV. Hodnota NPV této varianty by se na nule zastavila při každoročním poklesu ceny plynu o 2,5 %.

10.4.6 Velikost servisních výdajů

Další citlivostní analýzu provedu pro druhou největší část provozních výdajů, což jsou (převážně) výdaje servisní.

Jak jsem již uváděl v podkapitole 9.2.4, servisní výdaje jsou odhadnuty na základě statistické hodnoty firmy TEDOM, kde každá hodina provozu PTČ znamená 20 Kč servisních

výdajů. Servisní výdaje ETČ jsou odhadnuty na konstantní roční částku 10 000 Kč [1]. Vzhledem k tomu, že se v obou případech jedná do jisté míry o odhad, je dobré se podívat na situaci, jak se změní NPV při různých cenách za tyto servisní výdaje. Výpočty jsou opět uvedeny na příloženém CD v souboru EKONOM_HODNOC.xlsx nebo v příloze 11. Výsledky rovněž uvádím v grafu 11 níže, přičemž změna velikosti servisních výdajů je znázorněna jako % původní ceny servisních výdajů. Původní velikost servisních výdajů tedy reprezentuje 100 %.



Graf 12 – Závislost NPV na servisní ceně za 1 hod provozu TČ

Jak je z grafu patrné, plynová tepelná čerpadla jsou velmi závislá na velikosti servisních výdajů na rozdíl od elektrických tepelných čerpadel, která jsou naopak velmi odolná vůči této změně, neboť jediné, za co se platí servis u ETČ, je kontrola chladivového okruhu.

Nejlepší varianta v režimu voda/voda s ETČ Viessmann má tedy v celém rozsahu NPV nad 1,5 mil. Kč, což je číslo, ke kterému se nedostane žádné PTČ ani při velkém poklesu servisních výdajů.

10.4.7 Dimenzování výkonu tepelných čerpadel – extra varianta

Na základě doporučení vedoucího práce bude poslední citlivostní analýza (spíše se jedná o nový výpočet) věnována výpočtu ekonomické efektivity dvou nových extra variant, které by si mohlo bytové družstvo samo modulárně sestavit.

Jedná se o varianty s pouze jedním tepelným čerpadlem v režimu vzduch/voda o výkonu 30 kW poháněným buď plynovým motorem o tepelném výkonu 60 kW, nebo klasickým elektrickým motorem. Varianty tudíž nejsou dimenzovány ani na 60 % tepelné ztráty bytového domu (proto CA dimenzování výkonu TČ). Tyto extra varianty jsou výhodné nižšími pořizovacími výdaji, nižší hlučností celého systému a také vyšší využitelností, přičemž TČ by bylo použito především pro ohřev TV. V případě instalace jednoho TČ s elektromotorem by bylo v kotelně bytového domu dle vedoucího práce využito sazby D26d, tudíž ETČ by v tomto případě fungovalo pouze 8 hodin denně, nicméně ušetřilo by se i za ostatní spotřebiče v kotelně.

Celkové investiční výdaje varianty s plynovým motorem byly odhadnuty na 1,29 mil. Kč (příloha 5) a výdaje varianty s pouze jedním ETČ na 1 mil. Kč, přičemž uvažovaným tepelným čerpadlem (pro výpočty) je jedno TČ NIBE s výkonem 31 kW, které již bylo v této práci představeno.

Dle podkapitoly 9.2.2 jsem spočítal hodnocení provozu TČ těchto dvou variant a výsledky uvádím v příloženém souboru *spotřeba_cerpadel_PROVOZ.xlsx*. Následně jsem díky těmto hodnotám spočítal, podobně jako u klasických variant, provozní výdaje a následně i kritéria ekonomické efektivity NPV, IRR a PP (viz *ekonom_hodnoc.xlsx*). Výsledky uvádím v tabulce 11.

extra_plyn	$\tau T\check{C},rok$ (h)	6964	extra_el	$\tau T\check{C},rok$ (h)	2920
	<i>ETČ,rok</i> (kWh)	234456		<i>ETČ,rok</i> (kWh)	19466
	<i>QTČ,rok</i> (kWh)	586140		<i>QTČ,rok</i> (kWh)	70080
	N _{inv} (Kč)	1 288 000 Kč		N _{inv} (Kč)	1 000 000 Kč
	N _{p,celk} (Kč)	328 052		N _{p,celk} (Kč)	39 281
	Úspora (Kč)	468 912		Úspora (Kč)	56 064
	CF1	140 860		CF1	16 783
	NPV	521 943 Kč		NPV	-784 347 Kč
	IRR	6,94 %		IRR	-13,75 %
	PP	9,14		PP	59,58

Tabulka 11 – Ekonomické hodnocení extra variant

Z tabulky je vidět, že extra varianta s plynovým motorem je ekonomicky velmi zajímavá, neboť NPV je více než 500 tis. Kč a TČ pracuje nepřerušovaně téměř celý rok. Varianta tak přesahuje ekonomičností všechny varianty TČ v režimu vzduch/voda, přičemž investiční výdaje této varianty jsou oproti zmíněným poloviční až třetinové. I přes nižší výdaje ale tato varianta nestačí na nejlepší variantu v režimu voda/voda s ETČ Viessmann. To je pro bytové družstvo nejlépe vidět na době návratnosti, která je sice u extra varianty delší, konkrétně 9,14 let, ale jedná se pouze o cca tři čtvrtě roku více než PP varianty s ETČ Viessmann. U té je ale nutné podotknout, že stojí skoro třikrát více. Extra varianta je tedy velmi zajímavá i v porovnání s nejlepší klasickou variantou.

Druhá extra varianta i přes úsporu peněz za elektrickou energii není ekonomicky vůbec zajímavá. NPV varianty je hluboko pod nulou, což je způsobeno velkými investičními výdaji a nemožností pracovat déle jak 8 hodin denně, tudíž provozní efekt není valný.

11.0 Závěr

V mé diplomové práci jsem provedl návrh systému pro vytápění a přípravu teplé vody pomocí tepelných čerpadel pro bytový dům v Praze v Zázvorkově ulici v majetku bytového družstva Zázvorkova 1995–1999. Celkově jsem navrhl 12 variant soustav s tepelnými čerpadly s různým pohonem, v různém režimu zapojení a od různých výrobců. Pro všechny tyto varianty jsem spočítal potřebné údaje, jako jsou dosažená úspora nebo investiční a provozní výdaje.

Hlavním cílem práce bylo určit, která z navržených variant je nejlepší, posléze tyto varianty porovnat, co se týče pohonu na plyn a elektřinu, a případně objasnit, zda vůbec má význam systém s tepelnými čerpadly pro bytový dům instalovat. Výběr nejlepší varianty byl realizován v podobě ekonomického hodnocení jednotlivých variant v porovnání se stávajícím stavem vytápění, a to pomocí ekonomických metod porovnání (kritérií) NPV (čistá současná hodnota), IRR (vnitřní výnosové procento), případně PP (prostá doba návratnosti).

Z mých výpočtů ekonomického hodnocení jednotlivých variant vyplynul jasný závěr. Při porovnání všech variant všech druhů pohonů, výrobců i režimů zapojení určily všechny tři metody porovnání jako nejlepší variantu elektrické tepelné čerpadlo německé společnosti Viessmann v zapojení voda/voda. NPV této varianty je téměř 1,6 mil. Kč, IRR 8,23 % a doba návratnosti cca 8,5 let. Druhou nejlepší variantou je pak ETC ve stejném režimu firmy PZP Heating s NPV cca 1 mil. Kč, IRR 6,26 % a dobou návratnosti cca 9,5 let. Za zmínku stojí také nejlepší varianta v režimu vzduch/voda s plynovým TČ firmy TEDOM, která má sice nižší NPV než předchozí varianty, konkrétně 372 tis. Kč, nicméně samotné provedení a realizace instalace by proběhla hladčeji než v případě instalace tepelných čerpadel do odpadní vody, neboť takovéto aplikace jsou z hlediska administrativy velmi náročné. Je totiž nutné získat mnohá povolení od města, a to může být fatální komplikací.

Součástí hlavního cíle práce je nejen určit nejlepší variantu systému s tepelnými čerpadly, ale také porovnat tepelná čerpadla plynová a elektrická. V případě režimu voda/voda mohu, na základě mých výpočtů, prohlásit, že elektrická tepelná čerpadla jsou ekonomicky výhodnější než plynová tepelná čerpadla. V tomto porovnání mají elektrická TČ lepší provozní parametry a výsledně i několikrát lepší hodnoty ekonomických kritérií NPV, IRR a PP. V případě stejného porovnání v režimu vzduch/voda je ale situace složitější, neboť neekonomičtějším, ale zároveň i nejméně ekonomicky výhodným typem TČ jsou tepelná čerpadla s plynovým pohonem. Nedá se tedy obecně prohlásit, že plynová tepelná čerpadla by byla lepší, nebo horší než elektrická, a to i kvůli faktu, že v současnosti existují v České

Republice pouze 3 dostupná plynová tepelná čerpadla. To je na porovnání málo, protože velmi záleží na druhu pohonu a na režimu zapojení. Určitě ale mohu prohlásit, že plynová tepelná čerpadla jsou vážným konkurentem elektrických tepelných čerpadel, což jsem dokázal na konkrétním případě BD Zázvorkova 1995–1999, kde byla varianta s plynovým tepelným čerpadlem v režimu vzduch/voda nejlepší.

V mém případě je ale situace jasná. Z ekonomického hlediska je jasným doporučením pro bytové družstvo snaha o realizaci varianty s ETČ Viessmann v režimu voda/voda. Tato varianta má nejvyšší hodnotu NPV a také je velmi odolná na změnu velikosti investice, provozních výdajů či na změnu ceny plynu, což jsem dokázal citlivostní analýzou. Jedinou překážkou pro výběr této varianty může být neumožnění realizace instalace městem, případně velký očekávaný růst ceny elektrické energie.

Kvůli zmíněným překážkám může být vhodnou volbou (i díky nižší investici) také nejlepší varianta v režimu vzduch/voda, tedy varianta s plynovým TČ firmy TEDOM.

Pokud by družstvu přišla i tak investice příliš vysoká nebo se mu z jakéhokoliv jiného důvodu nezamlouvala varianta s tepelným čerpadlem Viessmann či TEDOM, pak přichází v úvahu extra varianta z citlivostní analýzy v podobě plynového motoru a jednoho přidruženého TČ. Tato varianta má druhou nejnižší dobu návratnosti, tepelné čerpadlo by pracovalo nepřetržitě téměř celý rok a výdaje této varianty jsou oproti ostatním variantám poloviční až třetinové. NPV varianty je přitom vyšší, než v případě instalace PTČ TEDOM ze základního případu. Tato extra varianta by tedy mohla být označena jako druhá nejvhodnější před zmíněnou variantu s PTČ TEDOM.

12.0 Seznam použité literatury

- [1] BORUFKA, Martin. Rekuperace tepla z větraného vzduchu. Praha, 2014. Bakalářská práce. České vysoké učení technické. Vedoucí práce Ing. Miroslav Vítek, CSc.
- [2] MALÝ, Jan. Rekuperace tepla z odpadní vody. Praha, 2014. Bakalářská práce. České vysoké učení technické. Vedoucí práce Ing. Miroslav Vítek, CSc.
- [3] MATUŠKA, Tomáš. Alternativní zdroje energie. Praha, 2010. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/~matustom/skripta_AZE_FS.pdf. Skriptum ČVUT FS. České vysoké učení technické.
- [4] ŠŤASTNÝ, Jiří. Energetická strojní zařízení. Praha, 2010. ISBN 978-80-01-03585-6. Skriptum ČVUT FEL. České vysoké učení technické.
- [5] JANČOK, Lukáš. TEDOM a.s.: Jak funguje tepelné čerpadlo. TEDOM A.S. TEDOM a.s. [online]. [cit. 2014-10-11]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/jak-funguje-tepelne-cerpadlo.html>
- [6] NEOSOLAR, SPOL. S. R. O. Plynová tepelná čerpadla Neosolar. [online]. [cit. 2014-10-11]. Dostupné z: <http://www.neosolar.cz/userfiles/file/Plynov%C3%A9%20tepeln%C3%A9%20%C4%8Derpadlo-bro%C5%BEura%20Neosolar.pdf>
- [7] JANČOK, Lukáš. TEDOM a.s.: Tepelné čerpadlo TEDOM Polo 100. TEDOM A.S. TEDOM a.s. [online]. [cit. 2014-10-11]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/tedom-polo-100.html>
- [8] Robur, SPOL. S. R. O. Plynová tepelná čerpadla ROBUR. [online]. [cit. 2014-10-11]. Dostupné z: http://www.robur.cz/download/10838_produktovy-katalog-robur-3.2014-nejnovejsi.pdf

- [9] KRAINER, Robert a Tomáš MATUŠKA. Výpočtové hodnocení tepelných soustav s tepelnými čerpadly [online]. Praha, 2011, květen 2011 [cit. 2014-10-17]. Dostupné z: http://www.opzp.cz/soubor-ke-stazeni/41/12428-06_hodnoceni_TC_metodika.pdf. Ústav techniky prostředí, Fakulta strojní, ČVUT v Praze.
- [10] HONZÍK, Jiří. Dimenzování tepelného čerpadla vzduch-voda, bivalentní/záložní zdroj. In: TZB-info [online]. 3.11.2011. [cit. 2014-10-17]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/7995-dimenzovani-tepelneho-cerpadla-vzduch-voda-bivalentni-zalozni-zdroj>
- [11] ANONYMOUS. Metodika pro návrh TČ vzduch/voda. In: ASOCIACE PRO VYUŽITÍ TEPELNÝCH ČERPADEL. [online]. 28.5.2012 [cit. 2014-10-17]. Dostupné z: http://www.avtc.cz/?download=_/dokum/metodika-pro-navrh-tepelneho-cerpadla-vzduch-voda_28-05-2012-pracovni-verze.pdf
- [12] E.ON distribuce. Přehled cen a sazeb distribuce. [online]. [cit. 2015-03-11]. CENÍK. Dostupné z WWW: <http://www.eon.cz/file/edee/cs/domacnosti/produkty-a-ceny-elektřiny/eon-cenik-jistota-elektřina-2014-domacnost-pre.pdf>
- [13] ANONYMOUS. Přehled výhod a záporů tepelných čerpadel podle zdrojů tepla. In: IDNES.CZ [online]. [cit. 2014-10-18]. Dostupné z: http://sdeleni.idnes.cz/prehled-vyhod-a-zaporu-tepelnych-cerpadel-podle-zdroju-tepla-p5h-/eko-sdeleni.aspx?c=A100527_081734_eko-sdeleni_ahr
- [14] AC-Heating [online]. [cit. 2014-10-24]. O společnosti. Dostupné z WWW: <http://www.ac-heating.cz/o-nas>
- [15] NIBE [online]. [cit. 2014-10-24]. O společnosti. Dostupné z WWW: <http://www.nibe.cz/cs/o-nas>
- [16] Viessmann [online]. [cit. 2014-10-24]. O společnosti. Dostupné z WWW: http://www.viessmann.cz/cs/o_nas.html

- [17] PZP-Heating. [cit. 2014-10-24]. O společnosti. Dostupné z WWW: <http://www.tepelna-cerpadla-pzp.cz/cs/o-spolecnosti-4.html>
- [18] AISIN. [cit. 2014-10-24]. O společnosti. Dostupné z WWW: <http://www.aisin.co.cz/o-spolecnosti>
- [19] ROBUR. [cit. 2014-10-24]. O společnosti. Dostupné z WWW: <http://www.robur.cz/robur-kontakty>
- [20] TEDOM. [cit. 2014-10-24]. O společnosti. Dostupné z WWW: <http://kogenerace.tedom.com/hp-o-nas.html>
- [21] ŠUBRT, Roman. Co je tepelná ztráta objektu a výpočet potřeby tepla na vytápění. In: Revitalizace.com [online]. 31.1.2011 [cit. 2014-10-25]. Dostupné z: <http://www.revitalizace.com/teorie-vypocty/co-je-tepelna-ztrata-objektu-a-vypocet-potreby-tepla-na-vytapeni/>
- [22] HAVLÍK, Antonín. Vliv počasí a životního rytmu obyvatel na spotřebu energie. Praha, 2010. Diplomová práce. České vysoké učení technické. Vedoucí práce Ing. Miroslav Vítek, CSc.
- [23] JANČOK, Lukáš. TEDOM a.s.: VIDEO - Případová studie nasazení PTČ TEDOM A.S. TEDOM a.s. [online]. [cit. 2015-3-4]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=87f2jmK9Gvw>
- [24] KRAINER, Robert. Efektivní energetický region: Tepelná čerpadla. [online]. s. 98 [cit. 2015-03-04]. Dostupné z: http://www.energetickyregion.cz/download_akce/1334126597cs__7_06_tepelna_cerpadla.pdf

13.0 Seznam použitých zkratk

BD	Bytové družstvo
TV	Teplá voda
TUV	Teplá užitková voda
CZT	Centrální zásobování teplem
PVC	Polyvinylchlorid
TČ	Tepelné čerpadlo
LPG	Liquefied petroleum gas
PTČ	Plynové tepelné čerpadlo
COP	Coefficient of performance
GUE	Gas utilization efficiency
ERÚ	Energetický regulační úřad
ETČ	Elektrické tepelné čerpadlo
NT	Nízký tarif
VT	Vysoký tarif
NPV	Net present value
IRR	Internal rate of return
PP	Payback period
CF	Cash flow
INV	Investice
WACC	Weighted average cost of capital
CA	Citlivostní analýza

14.0 Seznam obrázků

Obrázek 1 – Půdorys bytového domu a zvýrazněná část BD [zdroj: vedoucí práce].....	10
Obrázek 2 – Pohled na bytový dům z ulice [foto: vedoucí práce]	11
Obrázek 3 – Ventilátor odvětrávání [foto: vedoucí práce]	14
Obrázek 4 – Princip činnosti tepelného čerpadla [3].....	16
Obrázek 5 – Schéma plynového tepelného čerpadla [5]	19
Obrázek 6 – Princip činnosti absorpčního plynového TČ [8]	21
Obrázek 7 – Zapojení výparníku TČ a výfuku ventilace v zapojení vzduch/voda [1]	24
Obrázek 8 – Obecná křivka trvání teplot pro Prahu [24]	49

15.0 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Navrhované varianty TČ v režimu vzduch/voda.....	43
Tabulka 2 – Navrhované varianty TČ v režimu voda/voda s akumulací nádrží	44
Tabulka 3 – Navrhované varianty TČ v režimu voda/voda s průtokovými výměníky.....	45
Tabulka 4 – Rozpis jednotlivých investičních položek a jejich cena bez DPH.....	47
Tabulka 5 – Celkové investiční výdaje (bez DPH) jednotlivých navržených variant	47
Tabulka 6 – Vypočtené potřeby tepla a výstupní teploty pro TČ pro režim vytápění a příprava teplé vody pro jednotlivé intervaly pro BD Zázvorkova 1995–1999.....	54
Tabulka 7 – Výsledné hodnoty výpočtového hodnocení provozu TČ nutné k výpočtům provozních výdajů pro všechny varianty TČ.....	55
Tabulka 8 – Celkové provozní výdaje všech variant TČ.....	58
Tabulka 9 – Dosažená tepelná a peněžní úspora jednotlivých variant TČ	60
Tabulka 10 – Ukazatele hodnocení investice vypočtené pro všechny varianty	64
Tabulka 11 – Ekonomické hodnocení extra variant	74

16.0 Seznam grafů

Graf 1 – Spotřeba tepla BD Zázvorkova v letech 2005 až 2013	12
Graf 2 – Měsíční spotřeba tepla na otop a ohřev TV.....	13
Graf 3 – Graf tepelné ztráty a výkonu čerpadla v závislosti na venkovní teplotě [3]	38
Graf 4 – Znázornění klesající měrné úspory tepla v případě navyšování výkonu TČ [3].....	40
Graf 5 – Orientační graf znázorňující teplotu bivalence BD Zázvorkova 1995-1999.....	41
Graf 6 – Graf trvání tepelného ztrátového výkonu během roku.....	53
Graf 7 – Závislost NPV na změně diskontu	67
Graf 8 – Závislost NPV na velikosti investice	68
Graf 9 – Závislost IRR na velikosti investice.....	69
Graf 10 – Závislost NPV na procentuálním meziročním růstu ceny elektřiny.....	71
Graf 11 – Závislost NPV na % meziročním růstu ceny plynu	72
Graf 12 – Závislost NPV na servisní ceně za 1 hod provozu TČ	73

17.0 Seznam příloh

Příloha 1 – Technické parametry ETČ	86
Příloha 2 – Technické parametry PTČ	86
Příloha 3 – Ceníky výrobců TČ a filtrace vody	87
Příloha 4 – Ceník Tempoterm, TEDOM	87
Příloha 5 – Počty investičních položek k jednotlivým variantám tepelných čerpadel	88
Příloha 6 – Podpůrné výpočty k hodnocení provozu tepelných čerpadel.....	94
Příloha 7 – Citlivostní analýza diskont (NPV)	100
Příloha 8 – Citlivostní analýza velikosti investice (NPV).....	100
Příloha 9 – Citlivostní analýza ceny elektřiny (NPV)	101
Příloha 10 – Citlivostní analýza ceny plynu (NPV)	102
Příloha 11 – Citlivostní analýza servisních provozních výdajů (NPV).....	102

18.0 Přílohy

Příloha 1 – Technické parametry ETČ

Příloha 2 – Technické parametry PTČ

	Výkon A2W35 (kW)	Výkon A10/W35 (kW)	Max. příkon (kW)	COP (GUE) 10/35	COP A7W35 (-)	COP A2W35 (-)	Max. odebíraný proud (A)	Jistič
AC-Heating kaskáda Convert AW55 3P	55,3	X	18,6	X	4,59	3,51	40	B40
NIBE AP-AW30-31E	31	X	24	X	4	3,5	16,8	C32
Tedom Polo 100*	Záleží na chladivu	243	Záleží na chladivu	2,6 - 2,9	Záleží na chladivu	Záleží na chladivu	X	X
AISIN AXGP710D1	X	84	X	2,63	X	X	X	X
Vitocal 300-G WW 301.A45	X	58,9	10,7	5,5	X	X	34	C40
PZP heating aquastar HP3WW54G	X	53,4	X	5,2	X	X	X	C40
Robur GAHP-WS	X	43,9	X	1,74	X	X	X	X

Ostatní technické parametry jsou k nalezení v souborech na přiloženém CD ve složce „Vyrobyky“ v podsložkách jednotlivých výrobců. Zároveň jsou v těchto podsložkách všechny soubory získané e-mailem od jednotlivých výrobců či prodejců s výkonovými charakteristikami a cenami

TČ.

Příloha 3 – Ceníky výrobců TČ a filtrace vody

	Cena/jedn.
AC-Heating kaskáda Convert AW28 3P	459 900 Kč
NIBE AP-AW30-31E	415 000 Kč
AISIN AXGP710D1	880 000 Kč
Vitocal 300-G WW 301.A45	492 085 Kč
PZP heating aquastar HP3WW54G	355 000 Kč
Robur GAHP-WS	392 600 Kč
Filtrace vody Asio	220 000 Kč
Dodatečný průtokový výměník (na cca 40 kW výkonu)	10 000 Kč

Ceny tepelných čerpadel a filtrace vody byly poskytnuty na základě e-mailové komunikace s danou firmou, která poskytla ceník, případně přímo z dostupného ceníku na stránkách firmy. Tyto ceníky podobně jako v předchozím případě přikládám do jednotlivých podsložek výrobců tepelných čerpadel na přiloženém CD ve složce „Vyrobyky“. Poslední položka byla získána z bakalářské práce kolegy Malého [2].

Příloha 4 – Ceník Tempoterm, TEDOM

Akumulační zásobník 1000 l	20 000,00 Kč
Odlučovač vzduchu	20 000,00 Kč
Teplonosná kapalina 200l / Odpovídající množství chladiva	22 470,00 Kč
Kompletní elektronická regulace a měření	80 000,00 Kč
Řízené regulační armatury	4 000,00 Kč
Vrtání prostupů	18 000,00 Kč
Termický regulační ventil teplé vody	13 000,00 Kč
Izolace solární 25mm /metr kaučuk	814,00 Kč
Lepidlo na 30m na izolaci	1 000,00 Kč
Trubka měděná 1m	1 600,00 Kč
Objednání jeřábu na montáž	30 000,00 Kč
Montáž vzduch/voda	315 000,00 Kč
Montáž voda/voda	350 000,00 Kč
Suchý chladič pro TEDOM Polo 100 (vzduch/voda)	200 000,00 Kč
Tedom Polo 100 bez suchého chladiče	1 300 000,00 Kč

Ceník firmy Tempoterm byl vytvořen (odhady) na základě osobního setkání s firmou Tempoterm, ceník firmy TEDOM na základě osobní e-mailové komunikace s panem Jančkem z firmy TEDOM.

Příloha 5 – Počty investičních položek k jednotlivým variantám tepelných čerpadel

	Potřebný počet položek	Cena za položku	Celková cena za položky
AC-Heating kaskáda Convert AW55 3P	5	459 900,00 Kč	2 299 500,00 Kč
Akumulační zásobník 1000 l	3	20 000,00 Kč	60 000,00 Kč
Odlučovač vzduchu	1	20 000,00 Kč	20 000,00 Kč
Teplonosná kapalina 200l / Odpovídající množství chladiva	2	22 470,00 Kč	44 940,00 Kč
Kompletní elektronická regulace a měření	1	80 000,00 Kč	80 000,00 Kč
Řízené regulační armatury	18	4 000,00 Kč	72 000,00 Kč
Vrtání prostupů	1	18 000,00 Kč	18 000,00 Kč
Termický regulační ventil teplé vody	1	13 000,00 Kč	13 000,00 Kč
Izolace solární 25mm /metr kaučuk	90	814,00 Kč	73 260,00 Kč
Lepidlo na 30m na izolaci	3	1 000,00 Kč	3 000,00 Kč
Trubka měděná 1m	90	1 600,00 Kč	144 000,00 Kč
Objednání jeřábu na montáž	1	30 000,00 Kč	30 000,00 Kč
Filtrace vody	0	220 000,00 Kč	0,00 Kč
Suchý chladič	0	200 000,00 Kč	0,00 Kč
Dodatečný průtokový výměník (na 40 kW)	0	10 000,00 Kč	0,00 Kč
Montáž a zbytek instalace	1	315 000,00 Kč	315 000,00 Kč
		Celková cena varianty	3 172 700,00 Kč

	Potřebný počet položek	Cena za položku	Celková cena za položky
NIBE AP-AW30-31E	8	415 000,00 Kč	3 320 000,00 Kč
Akumulační zásobník 1000 l	3	20 000,00 Kč	60 000,00 Kč
Odlučovač vzduchu	1	20 000,00 Kč	20 000,00 Kč
Teplonosná kapalina 200l / Odpovídající množství chladiva	2	22 470,00 Kč	44 940,00 Kč
Kompletní elektronická regulace a měření	1	80 000,00 Kč	80 000,00 Kč
Řízené regulační armatury	18	4 000,00 Kč	72 000,00 Kč
Vrtání prostupů	1	18 000,00 Kč	18 000,00 Kč
Termický regulační ventil teplé vody	1	13 000,00 Kč	13 000,00 Kč
Izolace solární 25mm /metr kaučuk	90	814,00 Kč	73 260,00 Kč
Lepidlo na 30m na izolaci	3	1 000,00 Kč	3 000,00 Kč
Trubka měděná 1m	90	1 600,00 Kč	144 000,00 Kč
Objednání jeřábu na montáž	1	30 000,00 Kč	30 000,00 Kč
Filtrace vody	0	220 000,00 Kč	0,00 Kč
Suchý chladič	0	200 000,00 Kč	0,00 Kč
Dodatečný průtokový výměník (na 40 kW)	0	10 000,00 Kč	0,00 Kč
Montáž a zbytek instalace	1	315 000,00 Kč	315 000,00 Kč
		Celková cena varianty	4 193 200,00 Kč

	Potřebný počet položek	Cena za položku	Celková cena za položky
TEDOM Polo 100	1	1 300 000,00 Kč	1 300 000,00 Kč
Akumulační zásobník 1000 l	3	20 000,00 Kč	60 000,00 Kč
Odlučovač vzduchu	1	20 000,00 Kč	20 000,00 Kč
Teplonosná kapalina 200l / Odpovídající množství chladiva	2	22 470,00 Kč	44 940,00 Kč
Kompletní elektronická regulace a měření	1	80 000,00 Kč	80 000,00 Kč
Řízené regulační armatury	18	4 000,00 Kč	72 000,00 Kč
Vrtání prostupů	1	18 000,00 Kč	18 000,00 Kč
Termický regulační ventil teplé vody	1	13 000,00 Kč	13 000,00 Kč
Izolace solární 25mm /metr kaučuk	90	814,00 Kč	73 260,00 Kč
Lepidlo na 30m na izolaci	3	1 000,00 Kč	3 000,00 Kč
Trubka měděná 1m	90	1 600,00 Kč	144 000,00 Kč
Objednání jeřábu na montáž	1	30 000,00 Kč	30 000,00 Kč
Filtrace vody	0	220 000,00 Kč	0,00 Kč
Suchý chladič	1	200 000,00 Kč	200 000,00 Kč
Dodatečný průtokový výměník (na 40 kW)	0	10 000,00 Kč	0,00 Kč
Montáž a zbytek instalace	1	315 000,00 Kč	315 000,00 Kč
		Celková cena varianty	2 373 200,00 Kč

	Potřebný počet položek	Cena za položku	Celková cena za položky
AISIN AXGP710D1	3	880 000,00 Kč	2 640 000,00 Kč
Akumulační zásobník 1000 l	3	20 000,00 Kč	60 000,00 Kč
Odlučovač vzduchu	1	20 000,00 Kč	20 000,00 Kč
Teplonosná kapalina 200l / Odpovídající množství chladiva	2	22 470,00 Kč	44 940,00 Kč
Kompletní elektronická regulace a měření	1	80 000,00 Kč	80 000,00 Kč
Řízené regulační armatury	18	4 000,00 Kč	72 000,00 Kč
Vrtání prostupů	1	18 000,00 Kč	18 000,00 Kč
Termický regulační ventil teplé vody	1	13 000,00 Kč	13 000,00 Kč
Izolace solární 25mm /metr kaučuk	90	814,00 Kč	73 260,00 Kč
Lepidlo na 30m na izolaci	3	1 000,00 Kč	3 000,00 Kč
Trubka měděná 1m	90	1 600,00 Kč	144 000,00 Kč
Objednání jeřábu na montáž	1	30 000,00 Kč	30 000,00 Kč
Filtrace vody	0	220 000,00 Kč	0,00 Kč
Suchý chladič	0	200 000,00 Kč	0,00 Kč
Dodatečný průtokový výměník (na 40 kW)	0	10 000,00 Kč	0,00 Kč
Montáž a zbytek instalace	1	315 000,00 Kč	315 000,00 Kč
		Celková cena varianty	3 513 200,00 Kč

	Potřebný počet položek	Cena za položku	Celková cena za položky
Vitocal 300-G WW 301.A45	4	492 085,00 Kč	1 968 340,00 Kč
Akumulační zásobník 1000 l	6	20 000,00 Kč	120 000,00 Kč
Odlučovač vzduchu	1	20 000,00 Kč	20 000,00 Kč
Teplonosná kapalina 200l / Odpovídající množství chladiva	1	22 470,00 Kč	22 470,00 Kč
Kompletní elektronická regulace a měření	1	80 000,00 Kč	80 000,00 Kč
Řízené regulační armatury	18	4 000,00 Kč	72 000,00 Kč
Vrtání prostupů	1	18 000,00 Kč	18 000,00 Kč
Termický regulační ventil teplé vody	1	13 000,00 Kč	13 000,00 Kč
Izolace solární 25mm /metr kaučuk	60	814,00 Kč	48 840,00 Kč
Lepidlo na 30m na izolaci	2	1 000,00 Kč	2 000,00 Kč
Trubka měděná 1m	60	1 600,00 Kč	96 000,00 Kč
Objednání jeřábu na montáž	1	30 000,00 Kč	30 000,00 Kč
Filtrace vody	1	220 000,00 Kč	220 000,00 Kč
Suchý chladič	0	200 000,00 Kč	0,00 Kč
Dodatečný průtokový výměník (na 40 kW)	0	10 000,00 Kč	0,00 Kč
Montáž a zbytek instalace	1	350 000,00 Kč	350 000,00 Kč
		Celková cena varianty	3 060 650,00 Kč

	Potřebný počet položek	Cena za položku	Celková cena za položky
PZP heating aquastar HP3WW54G	5	355 000,00 Kč	1 775 000,00 Kč
Akumulační zásobník 1000 l	6	20 000,00 Kč	120 000,00 Kč
Odlučovač vzduchu	1	20 000,00 Kč	20 000,00 Kč
Teplonosná kapalina 200l / Odpovídající množství chladiva	1	22 470,00 Kč	22 470,00 Kč
Kompletní elektronická regulace a měření	1	80 000,00 Kč	80 000,00 Kč
Řízené regulační armatury	18	4 000,00 Kč	72 000,00 Kč
Vrtání prostupů	1	18 000,00 Kč	18 000,00 Kč
Termický regulační ventil teplé vody	1	13 000,00 Kč	13 000,00 Kč
Izolace solární 25mm /metr kaučuk	60	814,00 Kč	48 840,00 Kč
Lepidlo na 30m na izolaci	2	1 000,00 Kč	2 000,00 Kč
Trubka měděná 1m	60	1 600,00 Kč	96 000,00 Kč
Objednání jeřábu na montáž	1	30 000,00 Kč	30 000,00 Kč
Filtrace vody	1	220 000,00 Kč	220 000,00 Kč
Suchý chladič	0	200 000,00 Kč	0,00 Kč
Dodatečný průtokový výměník (na 40 kW)	0	10 000,00 Kč	0,00 Kč
Montáž a zbytek instalace	1	350 000,00 Kč	350 000,00 Kč
		Celková cena varianty	2 867 310,00 Kč

	Potřebný počet položek	Cena za položku	Celková cena za položky
TEDOM Polo 100	1	1 300 000,00 Kč	1 300 000,00 Kč
Akumulační zásobník 1000 l	6	20 000,00 Kč	120 000,00 Kč
Odlučovač vzduchu	1	20 000,00 Kč	20 000,00 Kč
Teplonosná kapalina 200l / Odpovídající množství chladiva	1	22 470,00 Kč	22 470,00 Kč
Kompletní elektronická regulace a měření	1	80 000,00 Kč	80 000,00 Kč
Řízené regulační armatury	18	4 000,00 Kč	72 000,00 Kč
Vrtání prostupů	1	18 000,00 Kč	18 000,00 Kč
Termický regulační ventil teplé vody	1	13 000,00 Kč	13 000,00 Kč
Izolace solární 25mm /metr kaučuk	60	814,00 Kč	48 840,00 Kč
Lepidlo na 30m na izolaci	2	1 000,00 Kč	2 000,00 Kč
Trubka měděná 1m	60	1 600,00 Kč	96 000,00 Kč
Objednání jeřábu na montáž	1	30 000,00 Kč	30 000,00 Kč
Filtrace vody	1	220 000,00 Kč	220 000,00 Kč
Suchý chladič	0	200 000,00 Kč	0,00 Kč
Dodatečný průtokový výměník (na 40 kW)	0	10 000,00 Kč	0,00 Kč
Montáž a zbytek instalace	1	350 000,00 Kč	350 000,00 Kč
		Celková cena varianty	2 392 310,00 Kč

	Potřebný počet položek	Cena za položku	Celková cena za položky
ROBUR GAHP-WS	6	392 600,00 Kč	2 355 600,00 Kč
Akumulační zásobník 1000 l	6	20 000,00 Kč	120 000,00 Kč
Odlučovač vzduchu	1	20 000,00 Kč	20 000,00 Kč
Teplonosná kapalina 200l / Odpovídající množství chladiva	1	22 470,00 Kč	22 470,00 Kč
Kompletní elektronická regulace a měření	1	80 000,00 Kč	80 000,00 Kč
Řízené regulační armatury	18	4 000,00 Kč	72 000,00 Kč
Vrtání prostupů	1	18 000,00 Kč	18 000,00 Kč
Termický regulační ventil teplé vody	1	13 000,00 Kč	13 000,00 Kč
Izolace solární 25mm /metr kaučuk	60	814,00 Kč	48 840,00 Kč
Lepidlo na 30m na izolaci	2	1 000,00 Kč	2 000,00 Kč
Trubka měděná 1m	60	1 600,00 Kč	96 000,00 Kč
Objednání jeřábu na montáž	1	30 000,00 Kč	30 000,00 Kč
Filtrace vody	1	220 000,00 Kč	220 000,00 Kč
Suchý chladič	0	200 000,00 Kč	0,00 Kč
Dodatečný průtokový výměník (na 40 kW)	0	10 000,00 Kč	0,00 Kč
Montáž a zbytek instalace	1	350 000,00 Kč	350 000,00 Kč
		Celková cena varianty	3 447 910,00 Kč

	Potřebný počet položek	Cena za položku	Celková cena za položky
Vitocal 300-G WW 301.A45	4	492 085,00 Kč	1 968 340,00 Kč
Akumulační zásobník 1000 l	3	20 000,00 Kč	60 000,00 Kč
Odlučovač vzduchu	1	20 000,00 Kč	20 000,00 Kč
Teplonosná kapalina 200l / Odpovídající množství chladiva	2	22 470,00 Kč	44 940,00 Kč
Kompletní elektronická regulace a měření	1	80 000,00 Kč	80 000,00 Kč
Řízené regulační armatury	18	4 000,00 Kč	72 000,00 Kč
Vrtání prostupů	1	18 000,00 Kč	18 000,00 Kč
Termický regulační ventil teplé vody	1	13 000,00 Kč	13 000,00 Kč
Izolace solární 25mm /metr kaučuk	60	814,00 Kč	48 840,00 Kč
Lepidlo na 30m na izolaci	2	1 000,00 Kč	2 000,00 Kč
Trubka měděná 1m	60	1 600,00 Kč	96 000,00 Kč
Objednání jeřábu na montáž	1	30 000,00 Kč	30 000,00 Kč
Filtrace vody	1	220 000,00 Kč	220 000,00 Kč
Suchý chladič	0	200 000,00 Kč	0,00 Kč
Dodatečný průtokový výměník (na 40 kW)	6	10 000,00 Kč	60 000,00 Kč
Montáž a zbytek instalace	1	350 000,00 Kč	350 000,00 Kč
		Celková cena varianty	3 083 120,00 Kč

	Potřebný počet položek	Cena za položku	Celková cena za položky
PZP heating aquastar HP3WW54G	5	355 000,00 Kč	1 775 000,00 Kč
Akumulační zásobník 1000 l	3	20 000,00 Kč	60 000,00 Kč
Odlučovač vzduchu	1	20 000,00 Kč	20 000,00 Kč
Teplonosná kapalina 200l / Odpovídající množství chladiva	2	22 470,00 Kč	44 940,00 Kč
Kompletní elektronická regulace a měření	1	80 000,00 Kč	80 000,00 Kč
Řízené regulační armatury	18	4 000,00 Kč	72 000,00 Kč
Vrtání prostupů	1	18 000,00 Kč	18 000,00 Kč
Termický regulační ventil teplé vody	1	13 000,00 Kč	13 000,00 Kč
Izolace solární 25mm /metr kaučuk	60	814,00 Kč	48 840,00 Kč
Lepidlo na 30m na izolaci	2	1 000,00 Kč	2 000,00 Kč
Trubka měděná 1m	60	1 600,00 Kč	96 000,00 Kč
Objednání jeřábu na montáž	1	30 000,00 Kč	30 000,00 Kč
Filtrace vody	1	220 000,00 Kč	220 000,00 Kč
Suchý chladič	0	200 000,00 Kč	0,00 Kč
Dodatečný průtokový výměník (na 40 kW)	6	10 000,00 Kč	60 000,00 Kč
Montáž a zbytek instalace	1	350 000,00 Kč	350 000,00 Kč
		Celková cena varianty	2 889 780,00 Kč

	Potřebný počet položek	Cena za položku	Celková cena za položky
TEDOM Polo 100	1	1 300 000,00 Kč	1 300 000,00 Kč
Akumulační zásobník 1000 l	3	20 000,00 Kč	60 000,00 Kč
Odlučovač vzduchu	1	20 000,00 Kč	20 000,00 Kč
Teplonosná kapalina 200l / Odpovídající množství chladiva	2	22 470,00 Kč	44 940,00 Kč
Kompletní elektronická regulace a měření	1	80 000,00 Kč	80 000,00 Kč
Řízené regulační armatury	18	4 000,00 Kč	72 000,00 Kč
Vrtání prostupů	1	18 000,00 Kč	18 000,00 Kč
Termický regulační ventil teplé vody	1	13 000,00 Kč	13 000,00 Kč
Izolace solární 25mm /metr kaučuk	60	814,00 Kč	48 840,00 Kč
Lepidlo na 30m na izolaci	2	1 000,00 Kč	2 000,00 Kč
Trubka měděná 1m	60	1 600,00 Kč	96 000,00 Kč
Objednání jeřábu na montáž	1	30 000,00 Kč	30 000,00 Kč
Filtrace vody	1	220 000,00 Kč	220 000,00 Kč
Suchý chladič	0	200 000,00 Kč	0,00 Kč
Dodatečný průtokový výměník (na 40 kW)	6	10 000,00 Kč	60 000,00 Kč
Montáž a zbytek instalace	1	350 000,00 Kč	350 000,00 Kč
		Celková cena varianty	2 414 780,00 Kč

	Potřebný počet položek	Cena za položku	Celková cena za položky
ROBUR GAHP-WS	6	392 600,00 Kč	2 355 600,00 Kč
Akumulační zásobník 1000 l	3	20 000,00 Kč	60 000,00 Kč
Odlučovač vzduchu	1	20 000,00 Kč	20 000,00 Kč
Teplonosná kapalina 200l / Odpovídající množství chladiva	2	22 470,00 Kč	44 940,00 Kč
Kompletní elektronická regulace a měření	1	80 000,00 Kč	80 000,00 Kč
Řízené regulační armatury	18	4 000,00 Kč	72 000,00 Kč
Vrtání prostupů	1	18 000,00 Kč	18 000,00 Kč
Termický regulační ventil teplé vody	1	13 000,00 Kč	13 000,00 Kč
Izolace solární 25mm /metr kaučuk	60	814,00 Kč	48 840,00 Kč
Lepidlo na 30m na izolaci	2	1 000,00 Kč	2 000,00 Kč
Trubka měděná 1m	60	1 600,00 Kč	96 000,00 Kč
Objednání jeřábu na montáž	1	30 000,00 Kč	30 000,00 Kč
Filtrace vody	1	220 000,00 Kč	220 000,00 Kč
Suchý chladič	0	200 000,00 Kč	0,00 Kč
Dodatečný průtokový výměník (na 40 kW)	6	10 000,00 Kč	60 000,00 Kč
Montáž a zbytek instalace	1	350 000,00 Kč	350 000,00 Kč
		Celková cena varianty	3 470 380,00 Kč

	Potřebný počet položek	Cena za položku	Celková cena za položky
TČ EXTRA VARIANTA + plyn. motor	1	415 000,00 Kč	415 000,00 Kč
Akumulační zásobník 1000 l	3	20 000,00 Kč	60 000,00 Kč
Odlučovač vzduchu	1	20 000,00 Kč	20 000,00 Kč
Teplonosná kapalina 200l / Odpovídající množství chladiva	2	22 470,00 Kč	44 940,00 Kč
Kompletní elektronická regulace a měření	1	80 000,00 Kč	80 000,00 Kč
Řízené regulační armatury	18	4 000,00 Kč	72 000,00 Kč
Vrtání prostupů	1	18 000,00 Kč	18 000,00 Kč
Termický regulační ventil teplé vody	1	13 000,00 Kč	13 000,00 Kč
Izolace solární 25mm /metr kaučuk	90	814,00 Kč	73 260,00 Kč
Lepidlo na 30m na izolaci	3	1 000,00 Kč	3 000,00 Kč
Trubka měděná 1m	90	1 600,00 Kč	144 000,00 Kč
Objednání jeřábu na montáž	1	30 000,00 Kč	30 000,00 Kč
Filtrace vody	0	220 000,00 Kč	0,00 Kč
Suchý chladič	0	200 000,00 Kč	0,00 Kč
Dodatečný průtokový výměník (na 40 kW)	0	10 000,00 Kč	0,00 Kč
Montáž a zbytek instalace	1	315 000,00 Kč	315 000,00 Kč
		Celková cena varianty	1 288 200,00 Kč

V těchto extra variantách nejde o výrobce TČ, musím znát pouze provozní údaje, proto je použito TČ NIBE, ve skutečnosti by ale mohlo být použito jakékoliv jiné čerpadlo 30 kW. Varianta bez plynového motoru by byla o cca 200 tis. levnější díky jednodušší instalaci a nenutnosti použít právě plynový motor, proto je odhad investic po konzultaci s vedoucím práce zaokrouhlen na 1 mil. Kč.

Příloha 6 – Podpůrné výpočty k hodnocení provozu tepelných čerpadel

Všechny výsledky a výpočetní model uveden také v příloženém souboru *spotřeba_cerpadel_PROVOZ.xlsx*.

K jednomu TČ se vždy vztahují dvě po sobě jdoucí tabulky, přičemž každý řádek označuje jeden j-tý interval. První tabulka je vztažena k ohřevu TV, druhá k vytápění.

AC-heating VZDUCH/VODA			Počet čerpadel				
Q _{p,TV,j} (kWh)	f _{ik,TV,j} (kW)	COPT _{TV,j}	Q _{k,TV,j} (kWh)	QTČ,TV,j (kWh)	tauTČ,TV,j (h)	ETČ,TV,j (kWh)	Q doplňkové KOTEL (kWh)
6796,23	30,10	3,17	37248,75	6796,23	22,58	2143,92	0,00
5097,17	30,10	3,17	27936,56	5097,17	16,93	1607,94	0,00
8495,29	30,10	3,17	46560,94	8495,29	28,22	2679,90	0,00

25485,87	30,10	3,17	139682,81	25485,87	84,67	8039,71	0,00
33981,16	30,10	3,17	186243,75	33981,16	112,89	10719,61	0,00
40777,40	30,10	3,17	223492,50	40777,40	135,47	12863,53	0,00
43325,98	30,10	3,17	237460,78	43325,98	143,94	13667,50	0,00
41626,93	30,10	3,17	228148,59	41626,93	138,30	13131,52	0,00
35680,22	30,10	3,17	195555,94	35680,22	118,54	11255,59	0,00
30583,05	30,10	3,17	167619,38	30583,05	101,60	9647,65	0,00
169150,68	30,10	3,17	927080,00	169150,68	561,96	53359,84	0,00

Q _{p,VYT,j} (kWh)	f _{ik,VYT,j} (kW)	COP,VYT,j	tau,k,VYT,j (h)	Q _{k,VYT,j} (kWh)	QTČ,VYT,j (kWh)	tauTČ,VYT,j (h)	ETČ,VYT,j (kWh)	Q doplňkové KOTEL (kWh)
30773,17	30,10	3,17	101,17	30452,52	30452,52	101,17	9606,47	320,65
21140,39	30,36	3,35	75,88	23036,67	21140,39	69,63	6310,57	0,00
32001,51	30,76	3,62	126,46	38900,31	32001,51	104,04	8845,08	0,00
86307,11	31,00	3,73	379,39	117611,47	86307,11	278,41	23138,64	0,00
102146,24	31,36	3,90	505,86	158636,37	102146,24	325,72	26204,78	0,00
107059,61	31,48	3,94	607,03	191092,07	107059,61	340,09	27172,49	0,00
97265,20	31,78	4,07	644,97	204970,23	97265,20	306,06	23898,08	0,00
77611,75	32,09	4,20	619,67	198853,17	77611,75	241,86	18478,99	0,00
52947,96	32,34	4,30	531,15	171773,44	52947,96	163,72	12313,48	0,00
33747,05	32,58	4,40	455,27	148327,03	33747,05	103,58	7669,78	0,00
0,00	0,00	0,00	2518,04	0,00	0,00	0	0	0,00

NIBE- VZDUCH/VODA	Q _{p,TV,j} (kWh)	f _{ik,TV,j} (kW)	COPTV,j	Počet čerpadel	Q _{k,TV,j} (kWh)	QTČ,TV,j (kWh)	tauTČ,TV,j (h)	ETČ,TV,j (kWh)	Q doplňkové KOTEL (kWh)
				8					
	6796,23	24,00	3,60		23760,00	6796,23	35,40	1887,84	0,00
	5097,17	24,00	3,60		17820,00	5097,17	26,55	1415,88	0,00
	8495,29	24,00	3,60		29700,00	8495,29	44,25	2359,80	0,00
	25485,87	24,00	3,60		89100,00	25485,87	132,74	7079,41	0,00
	33981,16	24,00	3,60		118800,00	33981,16	176,99	9439,21	0,00
	40777,40	24,00	3,60		142560,00	40777,40	212,38	11327,05	0,00
	43325,98	24,00	3,60		151470,00	43325,98	225,66	12035,00	0,00
	41626,93	24,00	3,60		145530,00	41626,93	216,81	11563,04	0,00
	35680,22	24,00	3,60		124740,00	35680,22	185,83	9911,17	0,00
	30583,05	24,00	3,60		106920,00	30583,05	159,29	8495,29	0,00
	169150,68	24,00	3,60		591360,00	169150,68	880,99	46986,30	0,00

Q _{p,VYT,j} (kWh)	f _{ik,VYT,j} (kW)	COP,VYT,j	tau,k,VYT,j (h)	Q _{k,VYT,j} (kWh)	QTČ,VYT,j (kWh)	tauTČ,VYT,j (h)	ETČ,VYT,j (kWh)	Q doplňkové KOTEL
-------------------------------	-------------------------------	-----------	--------------------	-------------------------------	--------------------	--------------------	--------------------	-------------------------

								(kWh)
30773,17	24,00	3,60	88,35	16963,77	16963,77	88,35	4712,16	13809,40
21140,39	24,00	3,70	66,26	12722,83	12722,83	66,26	3438,60	8417,57
32001,51	24,00	3,75	110,44	21204,71	21204,71	110,44	5654,59	10796,80
86307,11	24,00	4,00	331,32	63614,13	63614,13	331,32	15903,53	22692,98
102146,24	24,50	4,25	441,76	86585,89	86585,89	441,76	20373,15	15560,35
107059,61	24,50	4,00	530,12	103903,07	103903,07	530,12	25975,77	3156,53
97265,20	25,00	4,25	563,25	112650,02	97265,20	486,33	22885,93	0,00
77611,75	25,00	4,50	541,16	108232,37	77611,75	388,06	17247,06	0,00
52947,96	25,00	4,60	463,85	92770,60	52947,96	264,74	11510,43	0,00
33747,05	25,00	4,70	397,59	79517,66	33747,05	168,74	7180,22	0,00
0,00	0,00	0,00	2199,01	0,00	0,00	0	0	0,00

TEDOM- vzduch+voda			Počet čerpadel					
Q _{p,TV,j} (kWh)	f _{ik,TV,j} (kW)	COPTV,j	Q _{k,TV,j} (kWh)	QTČ,TV,j (kWh)	tauTČ,TV,j (h)	ETČ,TV,j (kWh)	Q doplňkové KOTEL (kWh)	
6796,23	217,30	1,81	26890,88	6796,23	31,28	3754,82	0,00	
5097,17	217,30	1,81	20168,16	5097,17	23,46	2816,12	0,00	
8495,29	217,30	1,81	33613,59	8495,29	39,09	4693,53	0,00	
25485,87	217,30	1,81	100840,78	25485,87	117,28	14080,59	0,00	
33981,16	217,30	1,81	134454,38	33981,16	156,38	18774,12	0,00	
40777,40	217,30	1,81	161345,25	40777,40	187,65	22528,95	0,00	
43325,98	217,30	1,81	171429,33	43325,98	199,38	23937,01	0,00	
41626,93	217,30	1,81	164706,61	41626,93	191,56	22998,30	0,00	
35680,22	217,30	1,81	141177,09	35680,22	164,20	19712,83	0,00	
30583,05	217,30	1,81	121008,94	30583,05	140,74	16896,71	0,00	
169150,68	217,30	1,81	669284,00	169150,68	778,42	93453,42	0,00	

Q _{p,VYT,j} (kWh)	f _{ik,VYT,j} (kW)	COP,VYT,j	tau,k,VYT,j (h)	Q _{k,VYT,j} (kWh)	QTČ,VYT,j (kWh)	tauTČ,VYT,j (h)	ETČ,VYT,j (kWh)	Q doplňkové KOTEL (kWh)
30773,17	217,30	1,81	92,47	20094,64	20094,64	92,47	11102,01	10678,53
21140,39	213,80	1,82	69,36	14828,24	14828,24	69,36	8147,38	6312,16
32001,51	215,20	1,88	115,59	24875,56	24875,56	115,59	13231,68	7125,95
86307,11	215,60	1,94	346,78	74765,38	74765,38	346,78	38538,86	11541,73
102146,24	216,70	2,01	462,37	100195,79	100195,79	462,37	49848,65	1950,46
107059,61	217,80	2,09	554,85	120845,28	107059,61	491,55	51224,69	0,00
97265,20	219,00	2,17	589,52	129105,53	97265,20	444,13	44822,67	0,00
77611,75	222,80	2,29	566,40	126194,91	77611,75	348,35	33891,59	0,00
52947,96	223,50	2,38	485,49	108506,91	52947,96	236,90	22247,04	0,00
33747,05	224,00	2,54	416,13	93213,99	33747,05	150,66	13286,24	0,00
0,00	0,00	0,00	2301,58	0,00	0,00	0	0	0,00

AISIN- vzduch			Počet čerpadel	3			
Q _{p,TV,j} (kWh)	f _{ik,TV,j} (kW)	COPT _{TV,j}	Q _{k,TV,j} (kWh)	QTČ _{TV,j} (kWh)	tauTČ _{TV,j} (h)	ETČ _{TV,j} (kWh)	Q doplňkové KOTEL (kWh)
6796,23	79,80	2,08	29625,75	6796,23	28,39	3267,42	0,00
5097,17	79,80	2,08	22219,31	5097,17	21,29	2450,56	0,00
8495,29	79,80	2,08	37032,19	8495,29	35,49	4084,27	0,00
25485,87	79,80	2,08	111096,56	25485,87	106,46	12252,82	0,00
33981,16	79,80	2,08	148128,75	33981,16	141,94	16337,10	0,00
40777,40	79,80	2,08	177754,50	40777,40	170,33	19604,52	0,00
43325,98	79,80	2,08	188864,16	43325,98	180,98	20829,80	0,00
41626,93	79,80	2,08	181457,72	41626,93	173,88	20012,95	0,00
35680,22	79,80	2,08	155535,19	35680,22	149,04	17153,95	0,00
30583,05	79,80	2,08	133315,88	30583,05	127,75	14703,39	0,00
169150,68	79,80	2,08	737352,00	169150,68	706,56	81322,44	0,00

Q _{p,VYT,j} (kWh)	f _{ik,VYT,j} (kW)	COP _{VYT,j}	tau _{k,VYT,j} (h)	Q _{k,VYT,j} (kWh)	QTČ _{VYT,j} (kWh)	tauTČ _{VYT,j} (h)	ETČ _{VYT,j} (kWh)	Q doplňkové KOTEL (kWh)
30773,17	79,80	2,08	95,36	22829,52	22829,52	95,36	10975,73	7943,65
21140,39	80,33	2,14	71,52	17235,86	17235,86	71,52	8054,14	3904,54
32001,51	80,85	2,20	119,20	28912,38	28912,38	119,20	13141,99	3089,13
86307,11	81,38	2,25	357,61	87305,74	86307,11	353,51	38358,72	0,00
102146,24	81,90	2,31	476,81	117151,47	102146,24	415,74	44219,15	0,00
107059,61	82,43	2,37	572,17	141491,51	107059,61	432,93	45172,83	0,00
97265,20	82,69	2,40	607,93	150808,91	97265,20	392,09	40527,17	0,00
77611,75	82,95	2,43	584,09	145350,43	77611,75	311,88	31938,99	0,00
52947,96	83,48	2,48	500,65	125374,60	52947,96	211,43	21349,98	0,00
33747,05	84,00	2,54	429,13	108139,82	33747,05	133,92	13286,24	0,00
0,00	0,00	0,00	2373,44	0,00	0,00	0	0	0,00

Viessmann voda			Počet čerpadel	4			
Q _{p,TV,j} (kWh)	f _{ik,TV,j} (kW)	COPT _{TV,j}	Q _{k,TV,j} (kWh)	QTČ _{TV,j} (kWh)	tauTČ _{TV,j} (h)	ETČ _{TV,j} (kWh)	Q doplňkové KOTEL (kWh)
6796,23	55,00	3,90	27225,00	6796,23	30,89	1742,62	0,00
5097,17	55,00	3,90	20418,75	5097,17	23,17	1306,97	0,00
8495,29	55,00	3,90	34031,25	8495,29	38,61	2178,28	0,00
25485,87	55,00	3,90	102093,75	25485,87	115,84	6534,84	0,00
33981,16	55,00	3,90	136125,00	33981,16	154,46	8713,12	0,00
40777,40	55,00	3,90	163350,00	40777,40	185,35	10455,74	0,00
43325,98	55,00	3,90	173559,38	43325,98	196,94	11109,23	0,00
41626,93	55,00	3,90	166753,13	41626,93	189,21	10673,57	0,00
35680,22	55,00	3,90	142931,25	35680,22	162,18	9148,78	0,00

30583,05	55,00	3,90	122512,50	30583,05	139,01	7841,81	0,00
169150,68	55,00	3,90	677600,00	169150,68	768,87	43371,97	0,00

Qp,VYT,j (kWh)	f _{ik} ,VYT,j (kW)	COP,VYT,j	tau,k,VYT,j (h)	Qk,VYT,j (kWh)	QTČ,VYT,j (kWh)	tauTČ,VYT,j (h)	ETČ,VYT,j (kWh)	Q doplňkové KOTEL (kWh)
30773,17	55,00	3,90	92,86	20428,77	20428,77	92,86	5238,15	10344,40
21140,39	56,50	4,15	69,64	15739,44	15739,44	69,64	3792,64	5400,96
32001,51	58,00	4,40	116,07	26928,83	26928,83	116,07	6120,19	5072,68
86307,11	59,50	4,65	348,22	82875,79	82875,79	348,22	17822,75	3431,32
102146,24	61,00	4,90	464,29	113286,80	102146,24	418,63	20846,17	0,00
107059,61	62,00	5,23	557,15	138172,75	107059,61	431,69	20470,29	0,00
97265,20	62,50	5,39	591,97	147992,49	97265,20	389,06	18045,49	0,00
77611,75	63,00	5,55	568,76	143326,37	77611,75	307,98	13984,10	0,00
52947,96	64,00	5,88	487,50	124801,20	52947,96	206,83	9012,42	0,00
33747,05	65,00	6,20	417,86	108643,90	33747,05	129,80	5443,07	0,00
0,00	0,00	0,00	2311,13	0,00	0,00	0	0	0,00

PZP voda			Počet čerpadel	5				
Qp,TV,j (kWh)	f _{ik} ,TV,j (kW)	COPTV,j	Qk,TV,j (kWh)	QTČ,TV,j (kWh)	tauTČ,TV,j (h)	ETČ,TV,j (kWh)	Q doplňkové KOTEL (kWh)	
6796,23	51,81	3,30	32057,44	6796,23	26,24	2059,46	0,00	
5097,17	51,81	3,30	24043,08	5097,17	19,68	1544,60	0,00	
8495,29	51,81	3,30	40071,80	8495,29	32,79	2574,33	0,00	
25485,87	51,81	3,30	120215,39	25485,87	98,38	7722,99	0,00	
33981,16	51,81	3,30	160287,19	33981,16	131,18	10297,32	0,00	
40777,40	51,81	3,30	192344,63	40777,40	157,41	12356,79	0,00	
43325,98	51,81	3,30	204366,16	43325,98	167,25	13129,09	0,00	
41626,93	51,81	3,30	196351,80	41626,93	160,69	12614,22	0,00	
35680,22	51,81	3,30	168301,55	35680,22	137,73	10812,19	0,00	
30583,05	51,81	3,30	144258,47	30583,05	118,06	9267,59	0,00	
169150,68	51,81	3,30	797874,00	169150,68	652,97	51257,78	0,00	

Qp,VYT,j (kWh)	f _{ik} ,VYT,j (kW)	COP,VYT,j	tau,k,VYT,j (h)	Qk,VYT,j (kWh)	QTČ,VYT,j (kWh)	tauTČ,VYT,j (h)	ETČ,VYT,j (kWh)	Q doplňkové KOTEL (kWh)
30773,17	51,81	3,30	97,51	25261,20	25261,20	97,51	7654,91	5511,97
21140,39	52,69	3,58	73,14	19267,70	19267,70	73,14	5382,04	1872,69
32001,51	53,57	3,85	121,89	32649,17	32001,51	119,48	8312,08	0,00
86307,11	54,56	4,13	365,68	99757,62	86307,11	316,38	20897,61	0,00
102146,24	55,55	4,40	487,57	135423,66	102146,24	367,76	23215,06	0,00

107059,61	56,35	4,73	585,09	164848,74	107059,61	379,98	22634,17	0,00
97265,20	56,75	4,90	621,66	176395,10	97265,20	342,78	19850,04	0,00
77611,75	57,15	5,06	597,28	170672,20	77611,75	271,61	15338,29	0,00
52947,96	57,95	5,39	511,95	148338,27	52947,96	182,74	9823,37	0,00
33747,05	58,74	5,72	438,82	128880,41	33747,05	114,90	5899,83	0,00
0,00	0,00	0,00	2427,03	0,00	0,00	0	0	0,00

ROBUR-voda			Počet čerpadel					
Qp,TV,j (kWh)	fík,TV,j (kW)	COPTV,j	Qk,TV,j (kWh)	QTČ,TV,j (kWh)	tauTČ,TV,j (h)	ETČ,TV,j (kWh)	Q doplňkové KOTEL (kWh)	
6796,23	40,60	1,61	30145,50	6796,23	27,90	4216,03	0,00	6
5097,17	40,60	1,61	22609,13	5097,17	20,92	3162,02	0,00	
8495,29	40,60	1,61	37681,88	8495,29	34,87	5270,03	0,00	
25485,87	40,60	1,61	113045,63	25485,87	104,62	15810,10	0,00	
33981,16	40,60	1,61	150727,50	33981,16	139,50	21080,13	0,00	
40777,40	40,60	1,61	180873,00	40777,40	167,39	25296,15	0,00	
43325,98	40,60	1,61	192177,56	43325,98	177,86	26877,16	0,00	
41626,93	40,60	1,61	184641,19	41626,93	170,88	25823,16	0,00	
35680,22	40,60	1,61	158263,88	35680,22	146,47	22134,13	0,00	
30583,05	40,60	1,61	135654,75	30583,05	125,55	18972,11	0,00	
169150,68	40,60	1,61	750288,00	169150,68	694,38	104932,19	0,00	

Qp,VYT,j (kWh)	fík,VYT,j (kW)	COP,VYT,j	tau,k,VYT,j (h)	Qk,VYT,j (kWh)	QTČ,VYT,j (kWh)	tauTČ,VYT,j (h)	ETČ,VYT,j (kWh)	Q doplňkové KOTEL (kWh)
30773,17	40,60	1,61	95,85	23349,27	23349,27	95,85	14502,65	7423,90
21140,39	41,60	1,65	71,89	17943,28	17943,28	71,89	10874,71	3197,11
32001,51	42,60	1,69	119,81	30624,35	30624,35	119,81	18120,92	1377,17
86307,11	42,85	1,70	359,44	92412,20	86307,11	335,69	50768,89	0,00
102146,24	43,10	1,71	479,25	123935,15	102146,24	395,00	59734,65	0,00
107059,61	43,45	1,72	575,11	149929,90	107059,61	410,66	62243,96	0,00
97265,20	43,53	1,73	611,05	159593,82	97265,20	372,41	56222,66	0,00
77611,75	43,60	1,73	587,09	153581,82	77611,75	296,68	44862,28	0,00
52947,96	43,75	1,74	503,22	132094,45	52947,96	201,71	30429,86	0,00
33747,05	43,90	1,74	431,33	113612,01	33747,05	128,12	19394,86	0,00
0,00	0,00	0,00	2385,62	0,00	0,00	0	0	0,00

Příloha 7 – Citlivostní analýza diskont (NPV)

Čerpadlo	0	0,005	0,01	0,015	0,02	0,025	0,03	0,035	0,04	0,045	0,05	0,06
AC-Heating kaskáda Convert AW55 3P	569 090,25 Kč	423 565,71 Kč	285 974,56 Kč	155 805,28 Kč	32 583,26 Kč	-84 132,10 Kč	-194 750,06 Kč	-299 650,94 Kč	-399 188,42 Kč	-493 691,50 Kč	-583 466,45 Kč	-749 953,43 Kč
NIBE AP-AW30-31E	-356 423,49 Kč	-505 642,21 Kč	-646 726,14 Kč	-780 199,80 Kč	-906 549,84 Kč	-1 026 228,05 Kč	-1 139 654,07 Kč	-1 247 217,89 Kč	-1 349 282,15 Kč	-1 446 184,21 Kč	-1 538 238,12 Kč	-1 708 951,41 Kč
Tedom Polo 100	832 466,32 Kč	707 792,54 Kč	589 915,45 Kč	478 396,84 Kč	372 830,08 Kč	272 837,70 Kč	178 069,09 Kč	88 198,41 Kč	2 922,67 Kč	-78 040,00 Kč	-154 951,99 Kč	-297 584,70 Kč
AISIN AXGP710D1	-1 009 837,94 Kč	-1 107 197,92 Kč	-1 199 250,23 Kč	-1 286 337,11 Kč	-1 368 776,08 Kč	-1 446 861,91 Kč	-1 520 868,41 Kč	-1 591 050,03 Kč	-1 657 643,38 Kč	-1 720 868,58 Kč	-1 780 930,52 Kč	-1 892 314,96 Kč
Vitocal 300-G WW 301.A45	2 377 893,07 Kč	2 166 378,94 Kč	1 966 395,69 Kč	1 777 199,83 Kč	1 598 101,53 Kč	1 428 460,41 Kč	1 267 681,61 Kč	1 115 212,35 Kč	970 538,60 Kč	833 182,14 Kč	702 697,82 Kč	460 715,63 Kč
PZP heating aquastar HP3WW54G	1 635 726,39 Kč	1 460 595,69 Kč	1 295 012,40 Kč	1 138 360,92 Kč	990 070,07 Kč	849 609,63 Kč	716 487,07 Kč	590 244,69 Kč	470 456,88 Kč	356 727,68 Kč	248 688,52 Kč	48 330,71 Kč
Tedom Polo 100	813 356,32 Kč	688 682,54 Kč	570 805,45 Kč	459 286,84 Kč	353 720,08 Kč	253 727,70 Kč	158 959,09 Kč	69 088,41 Kč	-16 187,33 Kč	-97 150,00 Kč	-174 061,99 Kč	-316 694,70 Kč
Robur GAHP-WS	-721 307,30 Kč	-827 349,48 Kč	-927 610,69 Kč	-1 022 463,65 Kč	-1 112 254,23 Kč	-1 197 303,47 Kč	-1 277 909,59 Kč	-1 354 349,75 Kč	-1 426 881,65 Kč	-1 495 745,04 Kč	-1 561 163,09 Kč	-1 682 480,38 Kč
Vitocal 300-G WW 301.A45	2 355 423,07 Kč	2 143 908,94 Kč	1 943 925,69 Kč	1 754 729,83 Kč	1 575 631,53 Kč	1 405 990,41 Kč	1 245 211,61 Kč	1 092 742,35 Kč	948 068,60 Kč	810 712,14 Kč	680 227,82 Kč	438 245,63 Kč
PZP heating aquastar HP3WW54G	1 613 256,39 Kč	1 438 125,69 Kč	1 272 542,40 Kč	1 115 890,92 Kč	967 600,07 Kč	827 139,63 Kč	694 017,07 Kč	567 774,69 Kč	447 986,88 Kč	334 257,68 Kč	226 218,52 Kč	25 860,71 Kč
Tedom Polo 100	790 886,32 Kč	666 212,54 Kč	548 335,45 Kč	436 816,84 Kč	331 250,08 Kč	231 257,70 Kč	136 489,09 Kč	46 618,41 Kč	-38 657,33 Kč	-119 620,00 Kč	-196 531,99 Kč	-339 164,70 Kč
Robur GAHP-WS	-743 777,30 Kč	-849 819,48 Kč	-950 080,69 Kč	-1 044 933,65 Kč	-1 134 724,23 Kč	-1 219 773,47 Kč	-1 300 379,59 Kč	-1 376 819,75 Kč	-1 449 351,65 Kč	-1 518 215,04 Kč	-1 583 633,09 Kč	-1 704 950,38 Kč

Příloha 8 – Citlivostní analýza velikosti investice (NPV)

Čerpadlo	-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	40%	50%
AC-Heating kaskáda Convert AW55 3P	1 618 933,26 Kč	1 301 663,26 Kč	984 393,26 Kč	667 123,26 Kč	349 853,26 Kč	32 583,26 Kč	-284 686,74 Kč	-601 956,74 Kč	-919 226,74 Kč	-1 236 496,74 Kč	-1 553 766,74 Kč
NIBE AP-AW30-31E	1 190 050,16 Kč	770 730,16 Kč	351 410,16 Kč	-67 909,84 Kč	-487 229,84 Kč	-906 549,84 Kč	-1 325 869,84 Kč	-1 745 189,84 Kč	-2 164 509,84 Kč	-2 583 829,84 Kč	-3 003 149,84 Kč
Tedom Polo 100	1 559 430,08 Kč	1 322 110,08 Kč	1 084 790,08 Kč	847 470,08 Kč	610 150,08 Kč	372 830,08 Kč	135 510,08 Kč	-101 809,92 Kč	-339 129,92 Kč	-576 449,92 Kč	-813 769,92 Kč
AISIN AXGP710D1	387 823,92 Kč	36 503,92 Kč	-314 816,08 Kč	-666 136,08 Kč	-1 017 456,08 Kč	-1 368 776,08 Kč	-1 720 096,08 Kč	-2 071 416,08 Kč	-2 422 736,08 Kč	-2 774 056,08 Kč	-3 125 376,08 Kč
Vitocal 300-G WW 301.A45	3 128 426,53 Kč	2 822 361,53 Kč	2 516 296,53 Kč	2 210 231,53 Kč	1 904 166,53 Kč	1 598 101,53 Kč	1 292 036,53 Kč	985 971,53 Kč	679 906,53 Kč	373 841,53 Kč	67 776,53 Kč
PZP heating aquastar HP3WW54G	2 423 725,07 Kč	2 136 994,07 Kč	1 850 263,07 Kč	1 563 532,07 Kč	1 276 801,07 Kč	990 070,07 Kč	703 339,07 Kč	416 608,07 Kč	129 877,07 Kč	-156 853,93 Kč	-443 584,93 Kč
Tedom Polo 100	1 549 875,08 Kč	1 310 644,08 Kč	1 071 413,08 Kč	832 182,08 Kč	592 951,08 Kč	353 720,08 Kč	114 489,08 Kč	-124 741,92 Kč	-363 972,92 Kč	-603 203,92 Kč	-842 434,92 Kč
Robur GAHP-WS	611 700,77 Kč	266 909,77 Kč	-77 881,23 Kč	-422 672,23 Kč	-767 463,23 Kč	-1 112 254,23 Kč	-1 457 045,23 Kč	-1 801 836,23 Kč	-2 146 627,23 Kč	-2 491 418,23 Kč	-2 836 209,23 Kč
Vitocal 300-G WW 301.A45	3 117 191,53 Kč	2 808 879,53 Kč	2 500 567,53 Kč	2 192 255,53 Kč	1 883 943,53 Kč	1 575 631,53 Kč	1 267 319,53 Kč	959 007,53 Kč	650 695,53 Kč	342 383,53 Kč	34 071,53 Kč
PZP heating aquastar HP3WW54G	2 412 490,07 Kč	2 123 512,07 Kč	1 834 534,07 Kč	1 545 556,07 Kč	1 256 578,07 Kč	967 600,07 Kč	678 622,07 Kč	389 644,07 Kč	100 666,07 Kč	-188 311,93 Kč	-477 289,93 Kč
Tedom Polo 100	1 538 640,08 Kč	1 297 162,08 Kč	1 055 684,08 Kč	814 206,08 Kč	572 728,08 Kč	331 250,08 Kč	89 772,08 Kč	-151 705,92 Kč	-393 183,92 Kč	-634 661,92 Kč	-876 139,92 Kč
Robur GAHP-WS	600 465,77 Kč	253 427,77 Kč	-93 610,23 Kč	-440 648,23 Kč	-787 686,23 Kč	-1 134 724,23 Kč	-1 481 762,23 Kč	-1 828 800,23 Kč	-2 175 838,23 Kč	-2 522 876,23 Kč	-2 869 914,23 Kč

- Citlivostní analýza velikosti investice (IRR)

	-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	40%	50%
Čerpadlo	13,31%		7,36%		3,59%		0,88%		-1,19%		-2,87%
AC-Heating kaskáda Convert AW55 3P	8,72%		3,55%		0,21%		-2,22%		-4,10%		-5,63%
NIBE AP-AW30-31E	16,09%		9,62%		5,57%		2,68%		0,48%		-1,28%
Tedom Polo 100	4,79%		0,22%		-2,79%		-4,99%		-6,72%		-8,13%
AISIN AXGP710D1	22,57%		14,78%		10,02%		6,70%		4,19%		2,20%
Vitocal 300-G WW 301.A45	19,49%		12,35%		7,93%		4,82%		2,46%		0,58%
PZP heating aquastar HP3WW54G	15,92%		9,48%		5,44%		2,57%		0,38%		-1,38%
Tedom Polo 100	6,37%		1,56%		-1,57%		-3,87%		-5,65%		-7,11%
Robur GAHP-WS	22,38%		14,63%		9,89%		6,58%		4,08%		2,10%
Vitocal 300-G WW 301.A45	19,31%		12,20%		7,80%		4,71%		2,36%		0,48%
PZP heating aquastar HP3WW54G	15,72%		9,32%		5,30%		2,45%		0,26%		-1,49%
Tedom Polo 100	6,27%		1,48%		-1,65%		-3,94%		-5,72%		-7,17%

Příloha 9 – Citlivostní analýza ceny elektřiny (NPV)

Čerpadlo	0%	0,50%	1%	1,50%	2%	2,50%	3%	3,50%	4%	4,50%	5%
AC-Heating kaskáda Convert AW55 3P	32 583,26 Kč	-220 689,43 Kč	-484 893,21 Kč	-760 522,27 Kč	-1 048 092,68 Kč	-1 348 143,31 Kč	-1 661 236,80 Kč	-1 987 960,52 Kč	-2 328 927,61 Kč	-2 684 778,05 Kč	-3 056 179,77 Kč
NIBE AP-AW30-31E	-906 549,84 Kč	-1 121 915,43 Kč	-1 346 576,07 Kč	-1 580 951,96 Kč	-1 825 481,96 Kč	-2 080 624,28 Kč	-2 346 857,34 Kč	-2 624 680,61 Kč	-2 914 615,46 Kč	-3 217 206,08 Kč	-3 533 020,42 Kč
Tedom Polo 100	372 830,08 Kč	352 454,52 Kč	331 199,57 Kč	309 025,47 Kč	285 890,70 Kč	261 751,90 Kč	236 563,82 Kč	210 279,20 Kč	182 848,71 Kč	154 220,87 Kč	124 341,94 Kč
AISIN AXGP710D1	-1 368 776,08 Kč	-1 419 744,16 Kč	-1 472 911,99 Kč	-1 528 379,01 Kč	-1 586 249,09 Kč	-1 646 630,67 Kč	-1 709 636,96 Kč	-1 775 386,17 Kč	-1 844 001,69 Kč	-1 915 612,30 Kč	-1 990 352,42 Kč
Vitocal 300-G WW 301.A45 centr	1 598 101,53 Kč	1 402 393,29 Kč	1 198 238,40 Kč	985 255,01 Kč	763 044,32 Kč	531 189,94 Kč	289 257,12 Kč	36 791,98 Kč	-226 679,26 Kč	-501 651,13 Kč	-788 639,73 Kč
PZP heating aquastar HP3WW54G centr	990 070,07 Kč	761 953,68 Kč	523 991,92 Kč	275 739,71 Kč	16 732,22 Kč	-253 515,89 Kč	-535 511,39 Kč	-829 783,29 Kč	-1 136 883,84 Kč	-1 457 389,45 Kč	-1 791 901,70 Kč
Tedom Polo 100 centr	353 720,08 Kč	333 344,52 Kč	312 089,57 Kč	289 915,47 Kč	266 780,70 Kč	242 641,90 Kč	217 453,82 Kč	191 169,20 Kč	163 738,71 Kč	135 110,87 Kč	105 231,94 Kč
Robur GAHP-WS centr	-1 112 254,23 Kč	-1 145 707,50 Kč	-1 180 604,60 Kč	-1 217 010,79 Kč	-1 254 994,24 Kč	-1 294 626,14 Kč	-1 335 980,78 Kč	-1 379 135,76 Kč	-1 424 172,07 Kč	-1 471 174,22 Kč	-1 520 230,45 Kč
Vitocal 300-G WW 301.A45 lok.	1 575 631,53 Kč	1 379 923,29 Kč	1 175 768,40 Kč	962 785,01 Kč	740 574,32 Kč	508 719,94 Kč	266 787,12 Kč	14 321,98 Kč	-249 149,26 Kč	-524 121,13 Kč	-811 109,73 Kč
PZP heating aquastar HP3WW54G lok.	967 600,07 Kč	739 483,68 Kč	501 521,92 Kč	253 269,71 Kč	-5 737,78 Kč	-275 985,89 Kč	-557 981,39 Kč	-852 253,29 Kč	-1 159 353,84 Kč	-1 479 859,45 Kč	-1 814 371,70 Kč
Tedom Polo 100 lok.	331 250,08 Kč	310 874,52 Kč	289 619,57 Kč	267 445,47 Kč	244 310,70 Kč	220 171,90 Kč	194 983,82 Kč	168 699,20 Kč	141 268,71 Kč	112 640,87 Kč	82 761,94 Kč
Robur GAHP-WS lok.	-1 134 724,23 Kč	-1 168 177,50 Kč	-1 203 074,60 Kč	-1 239 480,79 Kč	-1 277 464,24 Kč	-1 317 096,14 Kč	-1 358 450,78 Kč	-1 401 605,76 Kč	-1 446 642,07 Kč	-1 493 644,22 Kč	-1 542 700,45 Kč

Příloha 10 – Citlivostní analýza ceny plynu (NPV)

Čerpadlo	0%	0,50%	1%	1,50%	2%	2,50%	3%	3,50%	4%	4,50%	5%
AC-Heating kaskáda Convert AW55 3P	32 583,26 Kč	409 117,24 Kč	801 902,18 Kč	1 211 672,78 Kč	1 639 196,27 Kč	2 085 273,80 Kč	2 550 741,81 Kč	3 036 473,53 Kč	3 543 380,50 Kč	4 072 414,16 Kč	4 624 567,50 Kč
NIBE AP-AW30-31E	-906 549,84 Kč	-555 814,69 Kč	-189 942,04 Kč	191 752,48 Kč	589 983,52 Kč	1 005 497,33 Kč	1 439 073,06 Kč	1 891 524,09 Kč	2 363 699,52 Kč	2 856 485,60 Kč	3 370 807,27 Kč
Tedom Polo 100	372 830,08 Kč	525 196,02 Kč	684 137,98 Kč	849 953,26 Kč	1 022 952,31 Kč	1 203 459,32 Kč	1 391 812,77 Kč	1 588 366,01 Kč	1 793 487,90 Kč	2 007 563,44 Kč	2 230 994,44 Kč
AISIN AXGP710D1	-1 368 776,08 Kč	-1 205 775,05 Kč	-1 035 739,01 Kč	-858 349,89 Kč	-673 275,57 Kč	-480 169,24 Kč	-278 668,80 Kč	-68 396,22 Kč	151 043,09 Kč	380 061,02 Kč	619 087,42 Kč
Vitocal 300-G WW 301.A45	1 598 101,53 Kč	1 966 305,90 Kč	2 350 401,72 Kč	2 751 107,45 Kč	3 169 173,36 Kč	3 605 382,84 Kč	4 060 553,85 Kč	4 535 540,31 Kč	5 031 233,58 Kč	5 548 564,06 Kč	6 088 502,76 Kč
PZP heating aquastar HP3WW54G	990 070,07 Kč	1 364 145,06 Kč	1 754 364,88 Kč	2 161 459,44 Kč	2 586 190,95 Kč	3 029 355,33 Kč	3 491 783,56 Kč	3 974 343,16 Kč	4 477 939,73 Kč	5 003 518,50 Kč	5 552 065,95 Kč
Tedom Polo 100	353 720,08 Kč	506 086,02 Kč	665 027,98 Kč	830 843,26 Kč	1 003 842,31 Kč	1 184 349,32 Kč	1 372 702,77 Kč	1 569 256,01 Kč	1 774 377,90 Kč	1 988 453,44 Kč	2 211 884,44 Kč
Robur GAHP-WS	-1 112 254,23 Kč	-962 823,68 Kč	-806 943,80 Kč	-644 323,03 Kč	-474 656,88 Kč	-297 627,41 Kč	-112 902,68 Kč	79 863,88 Kč	281 034,00 Kč	490 985,28 Kč	710 111,79 Kč
Vitocal 300-G WW 301.A45	1 575 631,53 Kč	1 943 835,90 Kč	2 327 931,72 Kč	2 728 637,45 Kč	3 146 703,36 Kč	3 582 912,84 Kč	4 038 083,85 Kč	4 513 070,31 Kč	5 008 763,58 Kč	5 526 094,06 Kč	6 066 032,76 Kč
PZP heating aquastar HP3WW54G	967 600,07 Kč	1 341 675,06 Kč	1 731 894,88 Kč	2 138 989,44 Kč	2 563 720,95 Kč	3 006 885,33 Kč	3 469 313,56 Kč	3 951 873,16 Kč	4 455 469,73 Kč	4 981 048,50 Kč	5 529 595,95 Kč
Tedom Polo 100	331 250,08 Kč	483 616,02 Kč	642 557,98 Kč	808 373,26 Kč	981 372,31 Kč	1 161 879,32 Kč	1 350 232,77 Kč	1 546 786,01 Kč	1 751 907,90 Kč	1 965 983,44 Kč	2 189 414,44 Kč
Robur GAHP-WS	-1 134 724,23 Kč	-985 293,68 Kč	-829 413,80 Kč	-666 793,03 Kč	-497 126,88 Kč	-320 097,41 Kč	-135 372,68 Kč	57 393,88 Kč	258 564,00 Kč	468 515,28 Kč	687 641,79 Kč

Příloha 11 – Citlivostní analýza servisních provozních výdajů (NPV)

Čerpadlo	50%	60%	70%	80%	90%	100%	110%	120%	130%	140%	150%
AC-Heating kaskáda Convert AW55 3P	96 829,58 Kč	83 980,32	71 131,05	58 281,79	45 432,53	32 583,26	19 734,00	6 884,73	-5 964,53	-18 813,79	-31 663,06
NIBE AP-AW30-31E	-842 303,52 Kč	-855 152,78	-868 002,05	-880 851,31	-893 700,57	-906 549,84	-919 399,10	-932 248,37	-945 097,63	-957 946,89	-970 796,16
Tedom Polo 100	931 087,95 Kč	819 436,37	707 784,80	596 133,23	484 481,65	372 830,08	261 178,51	149 526,93	37 875,36	-73 776,22	-185 427,79
AISIN AXGP710D1	-806 018,18 Kč	-918 569,76	-1 031 121,34	-1 143 672,92	-1 256 224,50	-1 368 776,08	-1 481 327,66	-1 593 879,24	-1 706 430,82	-1 818 982,40	-1 931 533,98
Vitocal 300-G WW 301.A45	1 662 347,85 Kč	1 649 498,59	1 636 649,33	1 623 800,06	1 610 950,80	1 598 101,53	1 585 252,27	1 572 403,01	1 559 553,74	1 546 704,48	1 533 855,22
PZP heating aquastar HP3WW54G	1 054 316,39 Kč	1 041 467,13	1 028 617,86	1 015 768,60	1 002 919,34	990 070,07	977 220,81	964 371,54	951 522,28	938 673,02	925 823,75
Tedom Polo 100	911 977,95 Kč	800 326,37	688 674,80	577 023,23	465 371,65	353 720,08	242 068,51	130 416,93	18 765,36	-92 886,22	-204 537,79
Robur GAHP-WS	-567 681,05 Kč	-676 595,68	-785 510,32	-894 424,96	-1 003 339,59	-1 112 254,23	-1 221 168,86	-1 330 083,50	-1 438 998,13	-1 547 912,77	-1 656 827,40
Vitocal 300-G WW 301.A45	1 639 877,85 Kč	1 627 028,59	1 614 179,33	1 601 330,06	1 588 480,80	1 575 631,53	1 562 782,27	1 549 933,01	1 537 083,74	1 524 234,48	1 511 385,22
PZP heating aquastar HP3WW54G	1 031 846,39 Kč	1 018 997,13	1 006 147,86	993 298,60	980 449,34	967 600,07	954 750,81	941 901,54	929 052,28	916 203,02	903 353,75
Tedom Polo 100	889 507,95 Kč	777 856,37	666 204,80	554 553,23	442 901,65	331 250,08	219 598,51	107 946,93	-3 704,64	-115 356,22	-227 007,79
Robur GAHP-WS	-590 151,05 Kč	-699 065,68	-807 980,32	-916 894,96	-1 025 809,59	-1 134 724,23	-1 243 638,86	-1 352 553,50	-1 461 468,13	-1 570 382,77	-1 679 297,40