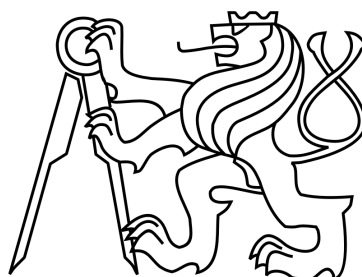


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ
Katedra technických zařízení budov**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
Vytápění bytového domu**

Vypracoval: Dominik Beneš

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Stanislav Frolík, Ph.D.

2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Beneš Jméno: Dominik Osobní číslo: 477012
Zadávající katedra: K125 - Katedra technických zařízení budov
Studijní program: SI - Stavební inženýrství
Studijní obor: C - Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Vytápění bytového domu
Název bakalářské práce anglicky: Heating of an apartment building
Pokyny pro vypracování:
Teoretická část:
Analýza a porovnání druhů zdrojů vytápění z hlediska nákladů na vytápění a ekologického hlediska s následným výběrem nejhodnějšího řešení pro zadaný objekt.
Praktická část:
Na základě analýzy bude zpracována projektová dokumentace v rozsahu:
- výpočet tepelných ztrát, bilance potřeby tepla, návrh otopné soustavy včetně zdroje tepla, dimenzování potrubí na základě hydraulických výpočtů, technická zpráva
Seznam doporučené literatury:
prof. Ing. K. Kabele a kol.: Energetické a ekologické systémy budov 1 ČVUT (2010)
D. Petráš a kol.: Vytápění rodinných a bytových domů, Jaga 2005
prof. Ing. K. Kabele a kol.: Technická zařízení budov, Vytápění - podklady pro cvičení, ČVUT 2013
J. Bašta, K. Kabele: Otopné soustavy teplovodní - Sešit projektanta č.1 - Společnost pro techniku prostředí 2008
server katedry TZB - tzb.fsv.cvut.cz
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Stanislav Frolík, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce: 16.2.2021 Termín odevzdání bakalářské práce: 16.5.2021
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku
Podpis vedoucího práce Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „**Vytápění bytového domu**“ zpracoval samostatně za použití uvedené literatury a pramenů.

V Praze dne

.....

Dominik Beneš

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval panu Ing. Stanislavu Frolíkovi, Ph.D. za profesionální přístup, cenné rady, ochotu a trpělivost při vedení mé bakalářské práce.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá návrhem vytápění bytového domu. Práce je rozdělena na textovou, výpočtovou a projektovou část.

V textové části jsou popsány jednotlivé druhy vytápění používané v dnešní době. Dále je provedeno srovnání vybraných zdrojů vytápění z hlediska nákladů na vytápění a z hlediska dopadu na životní prostředí. Tato hlediska představují hlavní parametry pro výběr nejvhodnějšího zdroje vytápění. Na základě této analýzy je zvolen nejvhodnější zdroj tepla.

Ve výpočtové části jsou provedeny veškeré potřebné výpočty, na základě kterých je dále proveden návrh otopné soustavy včetně jednotlivých zařízení.

Projektová část obsahuje technickou zprávu a výkresovou dokumentaci vytápění pro zvolený bytový dům.

Klíčová slova

Vytápění, zdroje vytápění, podlahové vytápění, plynový kotel, otopná soustava

Abstract

The bachelor's thesis deals with the design of a heating system of an apartment building. The work is divided into a text, calculation and a project part.

In a text part, various heating sources, which are used nowadays, are described. Then, the chosen heating sources are compared according to cost efficiency and environmental impact. These aspects represent the main parameters when choosing the most suitable heating source. Based on this analysis, the most suitable heating source for the chosen building is selected.

In the calculation part, all essential calculations are made, based on which the design of a heating system, including necessary equipment, is made.

The project part consists of a technical report and drawing documentation for the chosen apartment building.

Key words

Heating, heating sources, floor heating, gas boiler, heating system

Obsah práce

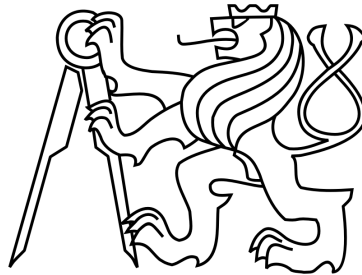
I. Textová část

II. Výpočtová část

III. Projektová část

Přílohy

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ
Katedra technických zařízení budov**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
Vytápění bytového domu**

I. Textová část

Vypracoval: Dominik Beneš

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Stanislav Frolík, Ph.D.

2020/2021

Obsah

1	Úvod	8
2	Popis objektu	9
3	Zdroje vytápění	10
3.1	Kotle na pevná paliva	10
3.1.1	Kotel prohořivací	10
3.1.2	Kotel odhořivací	11
3.1.3	Kotel zplyňovací	12
3.1.4	Automatický kotel	13
3.2	Elektrické kotle	14
3.3	Plynové kotle	15
3.3.1	Konvenční a kondenzační kotle	15
3.3.2	Kotle atmosférické a kotle s nuceným odtahem spalin	16
3.3.3	Stacionární a závěsné kotle	16
3.4	Tepelné čerpadlo	16
3.4.1	Tepelné čerpadlo vzduch/voda	17
3.4.2	Tepelné čerpadlo země /voda	17
3.4.3	Tepelné čerpadlo voda/voda	18
3.4.4	Tepelné čerpadlo vzduch/vzduch	19
4	Porovnání zdrojů tepla pro řešení objekt	20
4.1	Finanční hledisko	20
4.1.1	Plynový kotel	20
4.1.1.1	Předpoklady výpočtu	20
4.1.1.2	Výpočet ceny za spotřebovaný plyn	20
4.1.1.3	Shrnutí pořizovacích a provozních nákladů	21
4.1.2	Tepelné čerpadlo vzduch/voda	22
4.1.2.1	Výpočet ceny spotřebované elektrické energie	22
4.1.2.2	Shrnutí pořizovacích a provozních nákladů	23
4.1.3	Vyhodnocení návratnosti	23
4.2	Environmentální hledisko	24
4.3	Vyhodnocení analýzy	25
4.4	Závěr	25
5	Seznamy	26
5.1	Literatura a použité zdroje	26
5.2	Seznam obrázků	29

5.3	Seznam tabulek	29
5.4	Seznam grafů.....	29
5.5	Použitý software.....	29

1 Úvod

Vytápění, respektive zdroje tepla, jsou v dnešní době významným tématem především z finančního a environmentálního hlediska. Snaha ušetřit za vytápění výběrem správného zdroje a zároveň snížit dopad na životní prostředí je všudypřítomná.

Ještě před pár desítkami let, při výběru nejvhodnějšího zdroje vytápění, padala volba především na fosilní paliva. V tu dobu to byla většinou nejvýhodnější a nejdostupnější varianta s ohledem na tehdejší možnosti.

Pokud uvážíme celkové náklady spojené s užíváním a provozem objektu, zjistíme, že náklady na vytápění představují jejich značnou část. Proto je v dnešní době snaha omezit negativní dopad na životní prostředí, a to především omezit spotřebu fosilních paliv, jakožto neobnovitelných zdrojů a nahradit je, alespoň částečně, zdroji obnovitelnými, dlouhodobě udržitelnými. S tím souvisí i snaha apelovat na energetickou náročnost budov, která vede ke snížení nároků na vytápění a značným finančním úsporám.

Z těchto důvodů jsem se rozhodl v textové části popsat nejvyužívanější zdroje tepla a poté porovnat vybrané zdroje tepla mezi sebou, a to z hlediska stránky finanční (počáteční investice, provozní náklady, návratnost) a environmentální (produkce CO₂ a ostatních látek). Na základě této analýzy je následně vybrán nejvýhodnější zdroj tepla.

Dále práce obsahuje výpočtovou a projektovou část, kde je zpracována výkresová dokumentace pro projekt vytápění řešeného objektu, který je podložen podrobnými výpočty a technickou zprávou.

2 Popis objektu

Bytový dům je umístěn na pozemku parc. č. st. 623 v katastrálním území Kvasiny. Objekt se nachází v blízkosti silnice II/321. V blízkém okolí objektu se nachází veškeré inženýrské sítě, tedy podzemní vedení NN, plynovod, vodovod a kanalizace.

Jedná se o čtyřpodlažní bytový dům o půdorysných rozměrech 20,15 x 20,4 m. Z konstrukčního hlediska je dům řešen kombinací zděného a monolitického systému. První nadzemní podlaží je celé řešeno jako ŽB monolit, v dalších patrech jsou svislé konstrukce řešeny jako zděné. Vodorovné konstrukce jsou řešeny jako ŽB monolitické, a to ve všech podlažích. Objekt je zastřešen plochou střechou.

Co se týče dispozice, tak v 1. NP se nachází garáže, sklepní kóje, kočárkárna a technické zázemí. V případě 2. – 4. NP se jedná o podlaží typická. Na každém patře nalezneme pět bytových jednotek, dva byty 3+KK a tři byty 2+KK. Dohromady se tedy v řešeném objektu nachází 15 bytových jednotek, přičemž je uvažováno s obsazeností 51 osob.

3 Zdroje vytápění

3.1 Kotle na pevná paliva

3.1.1 Kotel prohořivací

Jedná se o kotel, který je typově nejstarší a současně je i nejnevhodnější z ekonomického a ekologického hlediska, přitom je stále oblíbený především pro svoji nízkou pořizovací cenu. Historicky byla konstrukce těchto kotlů převážně litinová s tím, že palivo pro tento druh kotle tvoří především černé uhlí, koks, případně dřevo.

Tento typ kotle funguje na principu spalování paliva prohoříváním, tedy procesem, kdy oheň a spaliny prochází vrstvou paliva. U tohoto kotle je příkladací komora současně komorou spalovací. Palivo je přikládáno na základní vrstvu paliva, ke které je spalovací vzduch přiváděn přes rošt ze spodní části kotle. Regulace je zajištěna klapkou regulující množství přiváděného vzduchu.

Ekologická a ekonomická nevýhodnost je příčinou periodického průběhu spalování. Po přiložení se kotel částečně přidusí, začne produkovat značné množství kouře a poté, když se rozhoří, začne produkovat velké množství tepla, které se nestíhá předat výměníku a uniká do komína bez využití. To má za následek nižší účinnost, která se pohybuje v rozmezí 50–60 %. Negativní důsledek periodického průběhu spalování lze eliminovat častějším přikládáním po menších dávkách, což je ale uživatelsky nepříznivé. [1] [2] [3] [4]



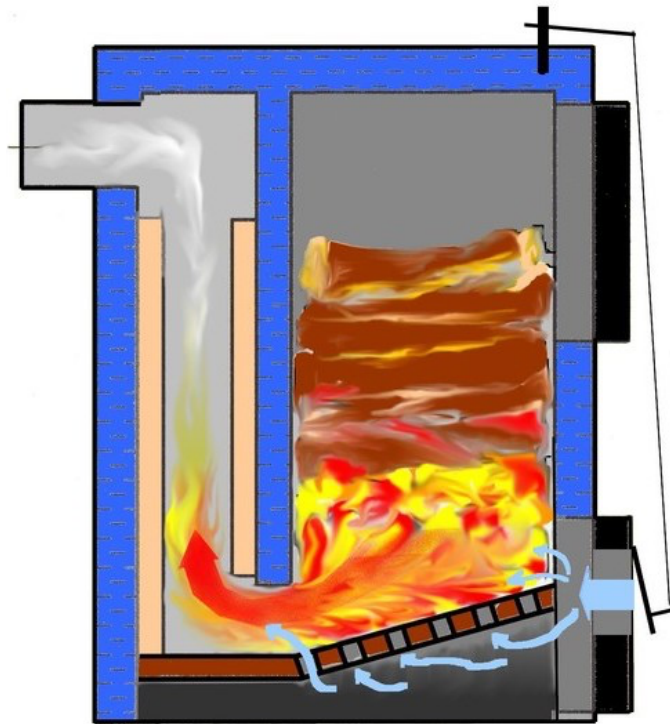
Obrázek 1: Schéma prohořivacího kotle [1]

3.1.2 Kotel odhořivací

Odhořivací kotel disponuje, ve srovnání s prohořivacím, účinnějším spalováním a využitím vyprodukovaného tepla. Pořizovací cena může být o něco vyšší než v případě kotle prohořivacího, ale záleží na dalších aspektech, jako na výrobci, výkonu apod. Konstrukce těchto kotlů je ocelová a jako palivo je použito hnědé uhlí nebo dřevo.

Příkládací komora (násypka) je oddělena od spalovací komory. Princip fungování tohoto kotle spočívá v odhořívání paliva ve spodní části kotle, kde se z paliva postupně uvolňuje prchavá hořlavina, která neprochází vrstvou paliva, ale odchází rovnou do spalovací komory, nacházející se v zadní části kotle. Dochází k efektivnějšímu spalování, díky kontinuálnímu přísunu postupně odhořívajícího paliva. Přísun vzduchu je zajištěn ze spodu přes rošt a je regulován klapkou.

Energie uložená ve spalínách, které musí urazit delší cestu než v případě prohořivacího kotle, je lépe využita, a tudíž se účinnost kotle pohybuje v rozmezí 55 – 75%. Současně dochází k lepšímu prohoření a tím i k nižším emisím. [1] [3] [4]



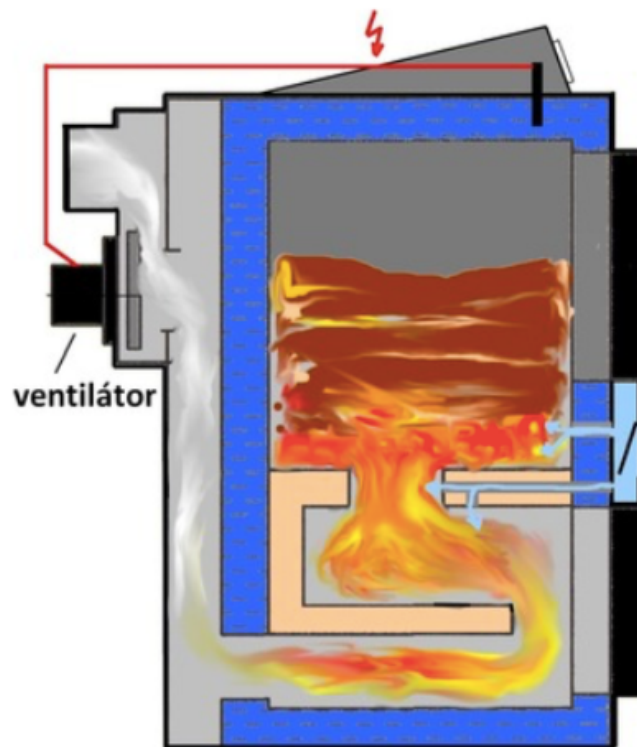
Obrázek 2: Schéma odhořivacího kotle [1]

3.1.3 Kotel zplyňovací

Jedná se o druh odhořivacího kotle, v současné době jde o moderní způsob spalování. Vzhledem k využití technologie je pořizovací cena takového kotle vyšší oproti předchozím druhům. Palivem je v tomto případě především dřevo, v některých případech lze využít i hnědé uhlí.

Při spalování dřeva v jakémkoliv kotli dochází k tzv. zplyňování, tedy uvolňování prchavé hořlaviny, která je v suchém dřevě obsažena ve více než 70 %. Ve zplyňovacím kotli je tato hořlavina dopravována tryskou nebo speciálním roštem do spalovací žáruvzdorné komory, ze žáruvzdorných betonů, kde je spalována. Komora musí odolávat teplotám až 1200°C. Důležitou součástí tohoto typu kotle je ventilátor, který řízeně přivádí spalovací vzduch a zároveň eliminuje vliv komínového tahu na spalování.

V důsledku ještě dokonalejšího hoření prchavé hořlaviny je ze stejného množství paliva získáno větší množství energie než v předchozích případech, tudíž má kotel účinnost v rozmezí 60–85 %. Zároveň se vyznačuje sníženou emisí prachu ve srovnání s předchozími kotli. [1] [3] [4]



Obrázek 3: Schéma zplyňovacího kotle [1]

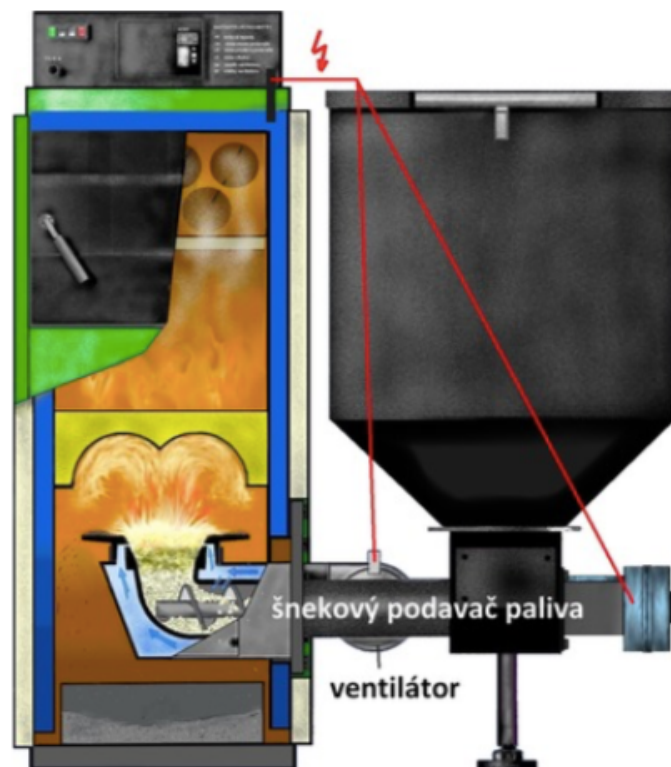
3.1.4 Automatický kotel

Nejkomfortnější a nejekologičtější varianta z kotlů na pevná paliva. Navzdory vyšší pořizovací ceně, která je zapříčiněna složitějším technickým řešením, je tento typ kotle velmi oblíbený. Palivem pro tento kotel je hlavně drobné hnědé uhlí nebo pelety, většinou dřevní.

Hlavními součástmi tohoto kotle je kotel samotný, zásobník paliva, šnekový dopravník, který zajišťuje kontinuální přísun paliva do kotle a ventilátor, který řídí přísun spalovacího vzduchu. Obrovskou výhodou, kterou nemůže nabídnout jakýkoliv jiný kotel na pevná paliva je frekvence přikládání, která se pohybuje v řádu desítek hodin až několika dní, což vede ke zvýšení komfortu užívání, který je běžně významným mínusem kotlů na pevná paliva. Je možné osadit externí zásobník paliva s dalším podavačem, který umožní frekvenci přikládání prodloužit až na několik měsíců. S tím souvisí i nutnost odpopelnění, které je třeba provádět v pravidelných intervalech. Z tohoto hlediska jsou za vhodnější palivo považovány pelety, které produkují zhruba 0,5 % popeloviny, zatímco hnědé uhlí okolo 10 %.

Další výhodou je i ekologičtější provoz, kde se účinnost kotle pohybuje kolem 75–90 % a emise prachu, CO a TZL je suverénně nejnižší ze všech výše uvedených kotlů.

[1] [3] [4]



Obrázek 4: Schéma automatického kotle [1]

3.2 Elektrické kotle

Elektrické kotle jsou ekologické, jejich pořizovací cena je nízká a lze je snadno a levně instalovat. Najdou uplatnění především v nízkoenergetických nebo pasivních domech, které mají malou tepelnou ztrátu.

Na rozdíl od plynových kotlů, či tepelných čerpadel vyniká elektrokotel nízkou pořizovací cenou, odpadá nutnost vybudování další přípojky jako v případě plynového kotle a také se nemusíme bát pravidelných kontrol a revizí. Na druhou stranu, provozní náklady takového kotle jsou o dost vyšší než u zmíněných alternativ. Právě proto dává použití elektrokotle smysl v menších objektech s menší tepelnou ztrátou, kde primární roli hrají pořizovací náklady. Pro větší objekty se elektrokotel jeví jako nevhodná varianta, a to právě kvůli provozním nákladům, které jsou vysoké. Vyplatí se tedy vynaložit vyšší počáteční náklady na jiný zdroj tepla, který tyto náklady vykompenzuje nižšími provozními náklady, a tedy návratnost takové investice je značně větší než v případě malého pasivního, či nízkoenergetického domku.

Elektrické kotle lze použít jak pro otopnou soustavu sestávající z otopných těles, tak také pro podlahové vytápění. Rozeznáváme dva základní typy těchto kotlů. Jsou to přímotopné a akumulční kotle.

Přímotopné elektrokotle nejsou vybaveny zásobníkem na teplou vodu, díky čemuž disponují kompaktními rozměry a rychle reagují na spuštění vytápění nebo změnu teploty. Jelikož zde nedochází ke spalování, a tedy nevznikají spaliny, které by bylo nutné komínem odvádět pryč, je možné tyto kotle instalovat prakticky do kterékoliv části domu.

Akumulční kotle jsou vybaveny zásobníkem na teplou vodu. Z toho důvodu vznikají větší prostorové požadavky na umístění zásobníku a celá sestava je běžně umístěna do technické místnosti nebo kotelny. Výhodou zásobníku je akumulace teplé vody, kdy v případě výpadku elektrické energie máme k dispozici teplou vodu na několik hodin, a také můžeme využívat nižší sazby za elektřinu, tzv. noční proud. Kotel tedy spíná jen při dodávce levného nočního proudu a teplo udrží po celý den. Ruku v ruce s výhodami, které zásobník přináší, je zde i nevýhoda v podobě delšího reakčního času na změnu teploty.

V neposlední řadě lze tyto kotle použít jako sekundární zdroj tepla. To znamená, že slouží jako záložní zdroj pro tepelná čerpadla, krby nebo pro kotle na pevná paliva. [5] [6]



Obrázek 5: Elektrický kotel [7]

3.3 Plynové kotle

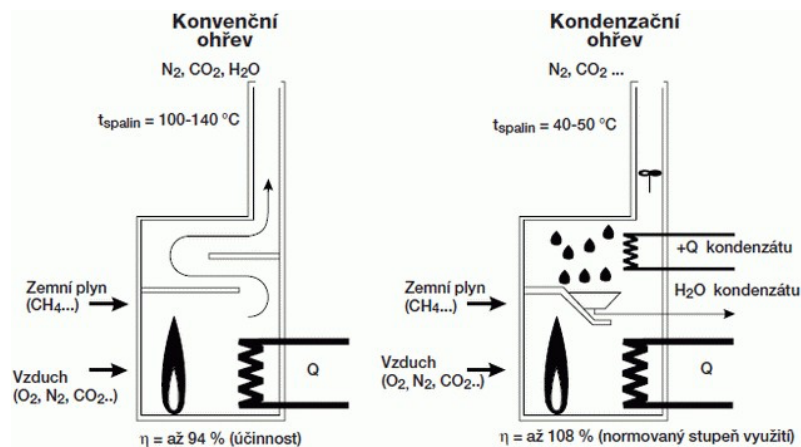
Plynový kotel představuje ekologickou a efektivní variantu vytápění, která nalezne uplatnění jak v nových, tak především ve starších nebo větších objektech. Vzhledem k vyšším pořizovacím nákladům, je jeho použití v malých rodinných domech s malými tepelnými ztrátami většinou neekonomické, často s dlouhou dobou návratnosti. Pořizovací náklady zde netvoří pouze samotný zdroj tepla, ale musíme započítat vybudování plynovodní přípojky a domovní rozvod plynu. Po dobu provozu je také nutné plynový kotel revidovat a kontrolovat, což přináší další náklady.

Plynové kotle lze dělit podle mnoha různých aspektů. Jedná se o rozdělení z hlediska umístění, způsobu odtahu spalin a přísunu spalovacího vzduchu, ale také způsobu spalování a výsledné účinnosti.

3.3.1 Konvenční a kondenzační kotle

Konvenční, nebo také klasický, plynový kotel je druh kotle, ve kterém dochází ke spalování plynného paliva za vzniku tepla, které se předává vodě, za účelem vytápění a případně i ohřevu teplé vody. Teplota spalin se u tohoto typu kotle pohybuje od 100 do 140°C. V tomto kotli je nežádoucí, aby docházelo ke kondenzaci vodní páry obsažené ve spalinách, protože kyselý spalinový kondenzát by způsoboval korozi výměníku. Energie ukrytá ve spalinách ale odchází nevyužitá do komína, tudíž získáváme menší účinnost, v průměru kolem 90 %. Právě z tohoto důvodu se od těchto kotlů ustoupilo. Od 26.9.2015 nesmí kotle s výkonem $\leq 70\text{kW}$ vykazovat sezónní energetickou účinností¹ nižší než 86 % a kotle typu B1 s výkonem $\leq 10\text{kW}$ a kombinované kotle typu B1 o výkonu $\leq 30\text{kW}$ sezónní energetickou účinností menší než 75 %. [10]

Proto se dnes běžně používají kotle kondenzační, kde stejně jako v konvenčních kotlích dochází ke spalování plynného paliva, avšak s tím rozdílem, že energie obsažená ve spalinách je dále využívána k ohřevu a vytápění. Princip je takový, že spaliny prochází výměníkem, kde se teplota vodní páry, obsažené ve spalinách, sníží pod rosný bod (cca 57°C) a dojde k jejímu zkapalnění a k předání tepelné energie teplotonosné látce. Teplota spalin odváděných do komína se pohybuje mezi 40 a 50°C. Díky tomuto procesu lze zvýšit účinnost plynového kotle až na 108, někdy i více, procent. [11] [8] [9]



Obrázek 6: Rozdíl v principu fungování konvenčního a kondenzačního kotle [8]

¹ sezónní energetickou účinností vytápění (η_s) se rozumí poměr mezi potřebou tepla pro vytápění v určeném otopném období, zajišťovaném ohřeváčem, a roční spotřebou energie potřebné k uspokojení této potřeby, vyjádřený v %

3.3.2 Kotle atmosférické a kotle s nuceným odtahem spalin

Atmosférické kotle mají odtah spalin zajištěný přirozeným tahem komína a většinou je i spalovací vzduch přiváděn z místnosti. Na druhé straně stojí kotle s nuceným odtahem spalin (tzv. turbo kotle), u nichž je odvod spalin zajištěn pomocí ventilátoru. [8]

3.3.3 Stacionární a závěsné kotle

Plynové kotle lze rozdělit i podle jejich umístění. Pro menší kotle, používané v rodinných domech nebo bytech, se používají kotle závěsné, které se umísťují na zeď a nezabírají tedy podlahovou plochu. Naproti tomu kotle, které jsou řešené jako stacionární, tedy samostatně stojící na podlaze kotelny, jsou zpravidla větší, těžší a výkonnější, mívají integrovaný zásobník na teplou vodu a využití naleznou ve větších objektech. [8] [9]

3.4 Tepelné čerpadlo

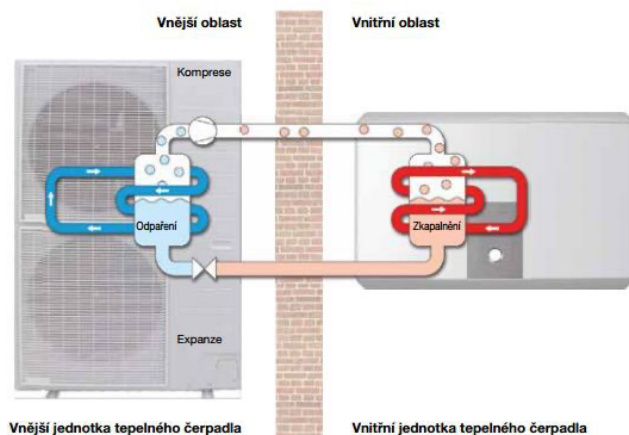
Tepelné čerpadlo je zařízení, které dokáže odebrat teplo z venkovního prostředí a tím využít nízkopotenciální teplo, které přímo běžně nelze využít, vzhledem k jeho nízké teplotě. [12]

Princip tepelného čerpadla můžeme přirovnat k principu chladničky. Tepelné čerpadlo je tvořeno čtyřmi základními komponenty, jimiž jsou kondenzátor, expanzní tryska, výparník a kompresor. Celý proces lze rozdělit do několika kroků.

V okruhu tepelného čerpadla koluje chladivo s nízkým bodem varu. Když je toto chladivo přivedeno v plynném stavu do kompresoru, kompresor ho stlačí, čímž se značně zvýší tlak a teplota. Chladivo dále putuje do kondenzátoru, kde získané teplo odevzdá teplotonosné kapalině (vodě, kterou chceme ohřát). Tím dojde ke snížení jeho teploty, a tedy i k jeho zkapalnění. V kapalném stavu pokračuje k expanzní trysce, kterou když projde, dojde ke snížení tlaku, tím pádem i ke snížení teploty. Chladivo poté pokračuje do výparníku, který je umístěn vně objektu, ve kterém je chladivu dodáno teplo z okolí a tím dochází ke změně skupenství z kapalného zpět na plynné. Z výparníku putuje chladivo zpět do kompresoru a celý proces se opakuje. [13] [14]

Níže jsou popsány jednotlivé druhy tepelných čerpadel běžně používaných k vytápění a ohřevu TV. I když rozeznáváme více druhů čerpadel, princip jejich fungování je naprosto stejný.

Názvy jednotlivých druhů mají vždy stejný tvar, a to „Tepelné čerpadlo x/y“, kde první pozice označená jako „x“ označuje, odkud získáváme teplo a pozice „y“ naopak označuje čemu teplo dodáváme.



Obrázek 7: Princip fungování tepelného čerpadla vzduch-voda [17]

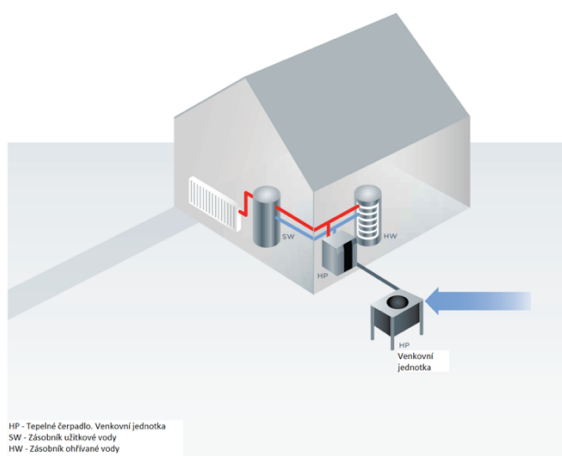
3.4.1 Tepelné čerpadlo vzduch/voda

Jedná se o nejběžnější druh tepelného čerpadla, který je v současné době využíván. Zároveň jde, co do pořizovacích nákladů, o jednu z nejlevnějších variant z dále uvedených. Výhodami tohoto čerpadla je rychlost instalace, která běžně trvá jeden až dva dny, dále není vždy třeba instalovat akumulaci nádrží, odpadají požadavky na velikost pozemku jako u TČ země/voda a je vhodné jak pro novostavby, tak i rekonstrukce.

U tohoto druhu tepelného čerpadla je teplo získáváno z vnějšího vzduchu a předáváno ve výměníku vodě, která je využívána pro vytápění nebo jako teplá voda. To s sebou nese nevýhodu spojenou s poklesem tepelného výkonu v závislosti na teplotě vnějšího vzduchu, ze kterého je teplo získáváno. Proto je často potřeba doplnit čerpadlo ještě o bivalentní zdroj, kterým může být plynový nebo elektrický kotel, který pokryje potřebný výkon při teplotách nižších, než je teplota bivalence. [12]

Celý systém může být řešen jako split nebo monoblok. Splitové TČ se skládá ze dvou jednotek, kdy výparník je umístěn venku a je spojen s vnitřní jednotkou potrubím s chladivem. Díky tomu jsou v objektu instalovány pouze prvky, které netvoří hluk a zároveň nemůže dojít k zamrznutí. [15]

Řešení monoblok znamená, že celý chladivový okruh je umístěn ve venkovní jednotce a při montáži do něj není třeba zasahovat, čímž se zmenšuje šance na případný únik chladiva. Mezi další výhody patří snadnější montáž samotného TČ, celkově není potřeba se starat o chladivový okruh, či ho nějakým způsobem rozpojovat v případě nutnosti opravy. Nevýhodou tohoto řešení je, že je topný okruh třeba naplnit nemrznoucí směsí, aby nedošlo k zamrznutí výměníku. [16]



Obrázek 8: Tepelné čerpadlo vzduch/voda [18]

3.4.2 Tepelné čerpadlo země /voda

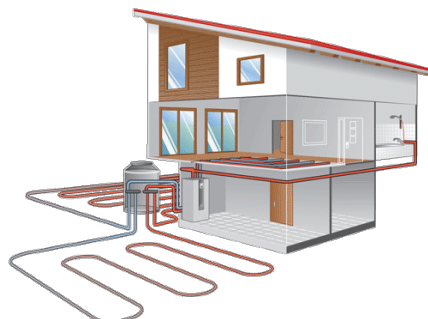
Tento druh tepelného čerpadla získává teplo uložené v zemi. Rozlišujeme dva druhy systémů, a to plošné kolektory nebo vertikální hlubinné vrtly.

Plošné kolektory jsou tvořeny PE trubkami, které jsou vedeny v hloubce 1,2 – 1,5 m s alespoň 80 cm rozestupy. Ve srovnání s řešením s hlubinnými vrtly, jde o levnější variantu, avšak za cenu nižší účinnosti. Instalace plošných kolektorů také vyžaduje velkou plochu pozemku, která se volí v závislosti na potřebě energie. [14]

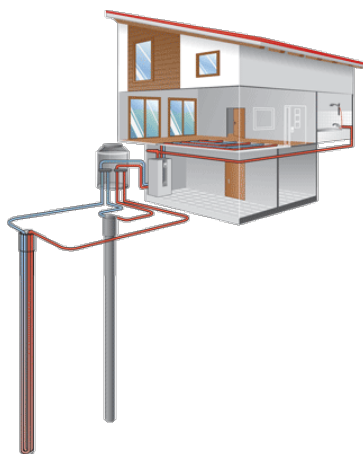
Hlubinné kolektory se umísťují do vrtů hlubokých několik desítek metrů. Nevyžadují velkou plochu pozemku, vyznačují se vyšší účinností a lze je využívat pro vytápění i chlazení v rámci jednoho zařízení. Proto má toto řešení své místo především v administrativních

budovách, kde jsou kladeny přísné požadavky jak na vytápění, tak i chlazení. Jde i o absolutně tichý a nenáročný zdroj, který disponuje dlouhou životností.

Nevýhodou je cena realizace, nutnost hydrogeologického posudku a příslušná povolení. [19] [20]



Obrázek 9: Tepelné čerpadlo země/voda – zemní kolektor [19]



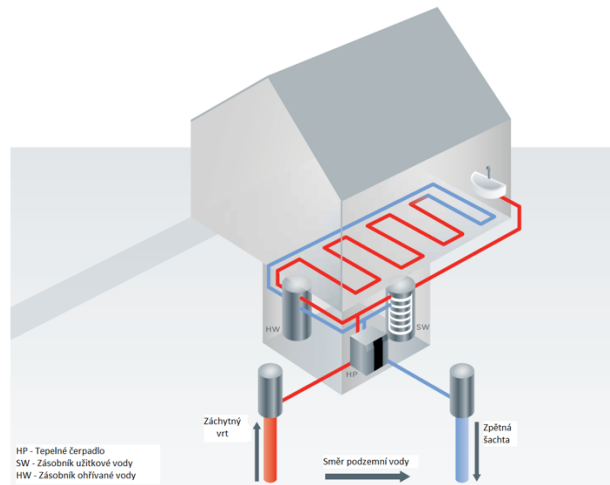
Obrázek 10: Tepelné čerpadlo země/voda – hlubinný vrt [19]

3.4.3 Tepelné čerpadlo voda/voda

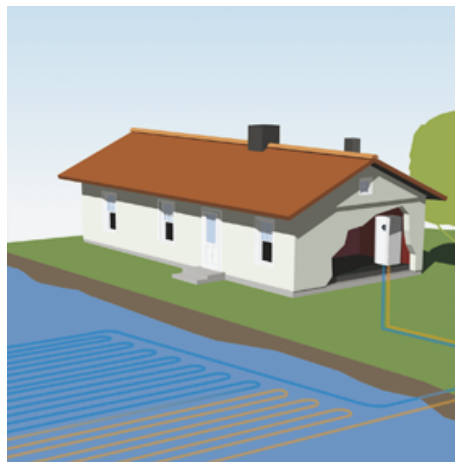
V našich podmínkách málo využívaný systém, jelikož objekt musí ležet v blízkosti vodní plochy nebo musí být v okolí objektu vydatný zdroj podzemní vody. Hlavními výhodami tohoto typu tepelného čerpadla je vysoký topný faktor, který často přesahuje hodnotu 5, a také možnost využití pasivního chlazení, kdy je v letním období využívána relativně nízká teplota podzemní vody nebo vody na dně vodní plochy, která zajistí účinné chlazení bez nutnosti provozu samotného tepelného čerpadla. Ve srovnání s běžnou klimatizací to vede k úspoře elektrické energie a celkovému snížení nákladů na chlazení objektu.

U TČ voda/voda rozlišujeme dva systémy. Jedním systémem je systém, sestávající ze dvou studní. Ze záchytné studny je čerpána voda, která předá v ní obsaženou energii a poté se vrací do vsakovací studny, kde se vsakuje, v zemi ohřívá a putuje zpátky do záchytné studny.

Druhý systém vyžaduje pro svoji funkci kolektor, který je umístěn na dně vodní plochy, například na dně rybníka nebo jezera, díky čemuž je toto řešení dost specifické. Výhodou u tohoto systému jsou nízké náklady na vybudování kolektoru, nižší provozní náklady v porovnání se vzduchovými nebo zemními tepelnými čerpadly, dlouhá životnost a bezhlučné a bezúdržbové řešení. [21]



Obrázek 11: Tepelné čerpadlo voda/voda – systém se dvěma studněmi [21]



Obrázek 12: Tepelné čerpadlo voda/voda – systém s plošným kolektorem [22]

3.4.4 Tepelné čerpadlo vzduch/vzduch

Nejlevnější typ tepelného čerpadla. Teplo je získáváno z okolního vzduchu a je předáváno přímo interiérovému vzduchu, čímž dosahuje vysokého topného faktoru. Instalace a údržba je velice jednoduchá, navíc můžeme tepelné čerpadlo využívat jak v režimu topení, tak i chlazení. Také lze využívat doplňkové funkce jako jsou odvlhčování nebo ionizace vzduchu.

Nevýhodami tohoto tepelného čerpadla je nemožnost ohřevu teplé vody a hlučnost vnitřních jednotek při plném výkonu. Při návrhu jsme limitováni počtem vnitřních jednotek na jednu venkovní jednotku a také není toto řešení vhodné pro objekty, ve kterých se nachází velké množství malých místností. [23]

4 Porovnání zdrojů tepla pro řešený objekt

Cílem porovnání je vybrat nejvhodnější zdroj tepla pro řešený objekt. Při výběru hraje nejpodstatnější roli finanční stránka. Porovnání je provedeno z dlouhodobějšího hlediska tak, že jsou zahrnuty veškeré rozhodující náklady, jak během realizace, tak i při samotném provozu. Jedná se tedy o srovnání pořizovacích a provozních nákladů s následným vyhodnocením návratnosti investic.

Sekundárně je řešen i dopad na životní prostředí, na který se v dnešní době více a více dbá, je tedy vhodné ho zohlednit.

Pro řešený objekt jsem se rozhodl porovnat dvě možnosti vytápění, a to vytápění plynovým kotlem a tepelným čerpadlem vzduch/voda. Jsou to varianty, které jsou vybrány s ohledem na použití nízkoteplotního vytápění, na tepelnou ztrátu objektu, velikost pozemku a polohu inženýrských sítí. Záměrně nejsou do porovnání zahrnuty zdroje tepla na pevná paliva, které by se v dnešní době pro takový druh objektu nepoužily.

Ceny jednotlivých komponent uvedených v porovnání byly zjištěny z internetových stránek nebo z cenových nabídek výrobců a dodavatelů. Tyto ceny se ve skutečnosti mohou měnit v závislosti na dodavateli, výrobcu, montážní firmě a jiných aspektech. Proto je důležité toto porovnání brát s rezervou, jde o přibližné porovnání, které je důležité pro prvotní rozhodnutí, které musí investor udělat před zahájením realizace.

4.1 Finanční hledisko

4.1.1 Plynový kotel

Je navržen plynový kondenzační kotel Protherm Panther Condens 48 KKO s možností ohřevu v externím zásobníku TV, o navrženém objemu 800 l.

4.1.1.1 Předpoklady výpočtu

Cena za projektovou dokumentaci byla určena na základě vlastní znalosti cen na trhu. Náklady na vybudování přípojky a OPZ byly určeny jako cenový průměr nabídek realizačních firem.

Další položky, jako pravidelné kontroly, revize, spuštění kotle byly stanoveny odborným odhadem.

4.1.1.2 Výpočet ceny za spotřebovaný plyn

Náklady na spotřebovaný plyn jsou složeny ze dvou částí. První částí je obchodní část ceny, kde platíme cenu za dodávku plynu a druhou částí je distribuční část ceny, kde platíme za distribuci plynu a za kapacitu. Ceny položkově viz „*Tab.1*“.

Výpočet je proveden na základě aktuálního ceníku ČEZ [24].

PLYNOVÝ KOTEL			
Obchodní část ceny			
	Jednotková cena	Množství	Cena
Cena za dodávku plynu	907,5 Kč/MWh	131,87 ² MWh	119 668,53 Kč
Cena za kapacitu	0 Kč/m ³	-	- Kč
Distribuční část ceny			
	Jednotková cena	Množství	Cena
Cena za distribuci plynu	131,87 Kč/MWh	131,87 ² MWh	17 389,19 Kč
Cena za kapacitu	135,31 Kč/m ³	121,41 m ³	16 428,16 Kč
Cena za spotřebovaný plyn celkem			153 485,88 Kč

Tab. 1: Výpočet ceny za spotřebovaný plyn dle ceníku ČEZ [24]

4.1.1.3 Shrnutí pořizovacích a provozních nákladů

V následujících tabulkách jsou položkově rozepsány pořizovací a provozní náklady.

Plynový kotel – pořizovací náklady	
Položka	Cena [Kč]
Plynový kotel Protherm Panther Condens 48 KKO	60 100,00 Kč
Zásobník TV Austria Email VT-S 800 FRM	55 775,00 Kč
Expanzní nádrž	2 000,00 Kč
Systém odkouření – koaxiální vedení 80/125	18 500,00 Kč
Projektová dokumentace (přípojka + OPZ)	15 000,00 Kč
Vybudování plynovodní přípojky + OPZ	120 000,00 Kč
Výchozí revize plynového zařízení	1 200,00 Kč
Instalace a spuštění kotle	2 500,00 Kč
Montáž, ostatní materiál ³	50 000,00 Kč
Pořizovací náklady celkem	325 075,00 Kč

Tab. 2: Pořizovací náklady na plynový kotel

Plynový kotel – provozní náklady	
Položka	Cena [Kč]
Cena za spotřebovaný plyn	153 485,88 Kč
Provozní revize 1 x za 3 roky (1200 Kč za revizi)	400,00 Kč
Doporučená servisní prohlídka včetně kontroly spalinových cest 1 x ročně	1 000,00 Kč
Provozní náklady celkem	154 885,88 Kč

Tab. 3: Provozní náklady pro plynový kotel

² množství energie vychází z celkové roční potřeby tepla (viz „II. Výpočtová část, bod 4.3.3) vydělené účinností plynového kotle (109,5%)

³ cena za montáž a ostatní materiál je stanovena odborným odhadem

4.1.2 Tepelné čerpadlo vzduch/voda

Je navrženo tepelné čerpadlo Heliotherm S55L-M-Solid. Jedná se o splitové TČ vzduch/voda. Teplá voda bude ohřívána v externím zásobníku TV o objemu 800 l.

Zvolené tepelné čerpadlo má při výpočtové venkovní teplotě $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ výkon 27,7 kW, což pokrývá 73 % potřebného výkonu na vytápění a přípravu TV. Z tohoto důvodu je navržen elektrokotel o výkonu 12 kW jako bivalentní zdroj, který v případě potřeby pokryje zbývající výkon.

Fakt, že tepelné čerpadlo pokryje tepelnou ztrátu objektu svým výkonem ze 73 %, platí pouze při vnější výpočtové teplotě $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pokud je vnější teplota vyšší, tepelné čerpadlo pokryje ztrátu z větší části. Je tedy nutné přepočítat podíl tepelného čerpadla na reálné krytí spotřeby tepla v průběhu sezóny. [25] K tomu lze využít následující tabulku.

Krytí spotřeby tepla při různých výkonech tepelných čerpadel												
Podíl TČ (%) **	0	30	40	45	50	55	60	65	70	80	90	100
Krytí spotřeby (%) *	0	61	72	78	82	86	89	91	93	96	98	100

* podíl tepelného čerpadla je poměr výkonu TČ a tepelné ztráty objektu

** krytí potřeby je podíl tepelné energie dodané do objektu tepelným čerpadlem

Tab. 4: Krytí spotřeby tepla při různých výkonech tepelných čerpadel [25]

Pokud provedeme interpolaci mezi hodnotami pro podíl tepelného čerpadla 73 %, vyjde nám, že tepelné čerpadlo pokryje celkovou spotřebu z **94 %**. Zbýlých **6 %** připadá na elektrický kotel.

Tuto informaci využijeme při výpočtu ceny spotřebované elektrické energie.

4.1.2.1 Výpočet ceny spotřebované elektrické energie

Pro tepelné čerpadlo výrobce uvádí sezónní teplotní faktor SCOP = 3,45. Tyto hodnoty jsou však laboratorní, proto při výpočtu uvažuji s bezpečnější hodnotou **SCOP = 3,2**. Elektrokotel má stanovenou účinnost na **99,5 %**.

Celoroční potřeba tepla je **144,39 MWh**. Z toho 94 % připadá na tepelné čerpadlo, tedy **135,73 MWh** a 6 % pro elektrokotel, tedy **8,66 MWh**.

Reálně spotřebovanou energii zjistíme, pro tepelné čerpadlo podílem celoroční potřeby tepla a sezónního topného faktoru SCOP a pro elektrokotel podílem celoroční potřeby tepla a účinnosti.

Zařízení	Spotřeba tepla	SCOP, účinnost	Reálně spotřebovaná energie
TČ	135,73 MWh	3,2	42,42 MWh
Elektrokotel	8,66 MWh	0,995	8,7 MWh
Reálně spotřebovaná energie celkem			51,12 MWh

Tab. 5: Množství reálně spotřebované energie

Se znalostí reálně spotřebované elektrické energie můžeme spočítat celkovou cenu za elektrickou energii, respektive celkové provozní náklady. Výpočet je proveden na základě aktuálního ceníku ČEZ [26].

Pro tepelná čerpadla dnes platí sazba D57d. Jedná se o dvoutarifní sazbu, která využívá nízký tarif 20 hodin denně.

Tepelné čerpadlo			
	Jednotková cena	Množství	Cena
Cena elektřiny – vysoký tarif	2287,59 Kč/MWh	8,52 MWh	19 491,30 Kč
Cena elektřiny – nízký	2190,18 Kč/MWh	42,60 MWh	93 306,62 Kč
Měsíční platby (jistič 3x63A, činnost OTE, stálá platba)	1472,46 Kč/měsíc	12 měsíců	17 669,52 Kč
Poplatky POZE podle spotřeby	598,95 Kč/MWh	51,12 MWh	30 619,95 Kč
Cena za spotřebovanou elektrickou energii celkem			161 087,39 Kč

Tab. 6: Výpočet ceny spotřebované elektřiny dle ceníku ČEZ [26]

4.1.2.2 Shrnutí pořizovacích a provozních nákladů

Položkový výčet provozních a pořizovacích nákladů je uveden v následujících tabulkách.

Tepelné čerpadlo vzduch/voda – pořizovací náklady	
Položka	Cena [Kč]
Tepelné čerpadlo Heliotherm S55L-M-Solid	1 592 750,00 Kč
Zásobník TV Austria Email VT-S 800 FRM	55 775,00 Kč
Expanzní nádrž	2 000,00 Kč
Elektrokotel Protherm RAY 12 KE	15 930,00 Kč
Montáž, ostatní materiál ⁴	70 000,00 Kč
Pořizovací náklady celkem	1 736 455,00 Kč

Tab. 7: Pořizovací náklady na tepelné čerpadlo vzduch/voda

Tepelné čerpadlo vzduch/voda – provozní náklady	
Položka	Cena [Kč]
Cena za spotřebovanou elektrickou energii	161 087,39 Kč
Provozní náklady celkem	161 087,39 Kč

Tab. 8: Provozní náklady pro TČ vzduch/voda

4.1.3 Vyhodnocení návratnosti

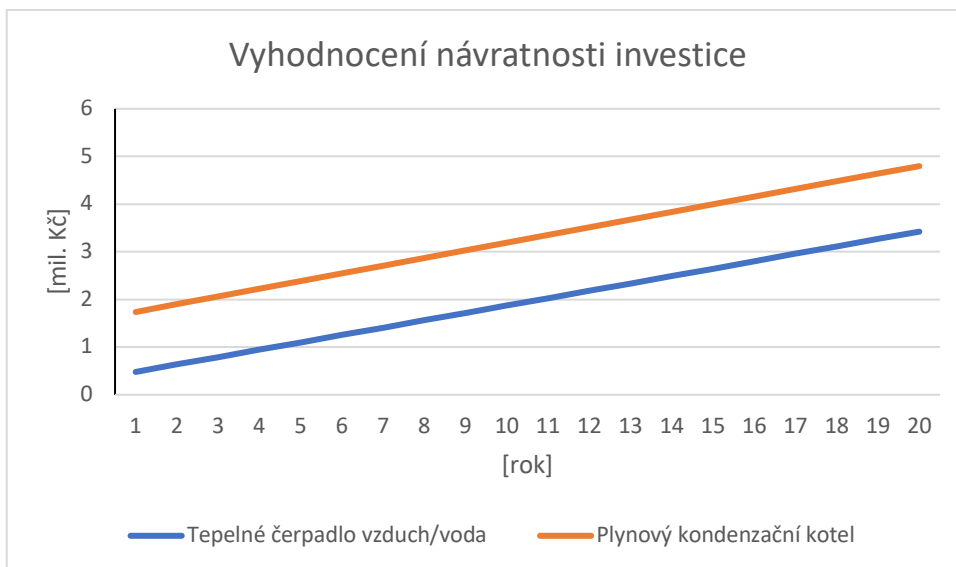
Vyhodnocení je provedeno v časovém horizontu 20 let, což odpovídá životnosti běžných tepelných čerpadel i plynových kotlů.

Obecně řečeno jsou největší výhodou tepelných čerpadel nízké provozní náklady, které kompenzují vyšší pořizovací cenu. Avšak pro řešený objekt, který má velké tepelné ztráty, tomu tak úplně není. Z výše uvedených výsledků výpočtů lze u TČ pozorovat vysoké provozní náklady, které jsou dokonce vyšší než náklady na provoz plynového kotle.

Z níže uvedeného grafu lze snadno vyčíst, že investice do tepelného čerpadla nedává ekonomický smysl. Vzhledem k vyšší provozních nákladů nemůže za dobu životnosti dojít k vykompenzování vysoké pořizovací ceny TČ jeho provozními náklady. Z tohoto důvodu je pro řešený objekt nejvýhodnějším zdrojem tepla **plynový kotel**.

Na druhou stranu by díky instalaci TČ byla objektu účtována elektrická energie v sazbě D57d s 20 hodinami nízkého tarifu, což by se projevilo na úspoře za elektrickou energii pro objekt jako celek, avšak takové porovnání by muselo být o dost komplexnější, s podrobnou specifikací elektrických zařízení a s tím spojených požadavků.

⁴ cena za montáž a ostatní materiál je stanovena odborným odhadem



Graf 1: Vyhodnocení návratnosti investice do TČ

4.2 Environmentální hledisko

Z pohledu dopadu na životní prostředí je nejdůležitější porovnání zdrojů vytápění z hlediska produkce CO₂. Při porovnání vycházím z vyhlášky č. 140/2021 Sb.⁵, která specifikuje emisní faktor pro jednotlivá paliva a energie.

Palivo/energie	Emisní faktor [t CO ₂ /MWh]
Zemní plyn	0,2
Elektrína	0,86

Tab. 9: Emisní faktory pro vybrané zdroje dle vyhlášky 140/2021 Sb. [27]

Pro porovnání je nutné emisní faktor vynásobit množstvím spotřebované energie. Pro tepelné čerpadlo použijeme hodnotu z „Tab. 5“. Pro plynový kotel je množství energie patrné z „Tab. 1“.

Palivo/energie	Emisní faktor [t CO ₂ /MWh]	Množství spotřebované energie [MWh]	Produkce CO ₂ [t CO ₂ /rok]
Zemní plyn	0,2	127,65	25,53
Elektrína	0,86	51,54	43,96

Tab. 10: Porovnání produkce CO₂ pro vybrané zdroje energie

Z „Tab. 10“ je zřejmé, že z hlediska produkce CO₂ vychází podstatně lépe plynový kotel. Důvodem je především fakt, že v ČR je podstatná část elektrické vyráběna v uhelných elektrárnách, které produkují velké množství CO₂.

Z hlediska produkce ostatních látek, jako oxidů dusíku, SO₂, CO, VOC⁶ a TZL⁷ logicky vychází tepelné čerpadlo lépe než plynový kotel, protože zde nedochází ke spalování, avšak produkce těchto látek je oproti produkci CO₂ zanedbatelná.

Na základě výše uvedeného je z hlediska dopadu na ŽP vhodnější **plynový kotel**.

⁵ Vyhláška č. 140/2021 Sb., o energetickém auditu, příloha č. 8 Ekologické hodnocení

⁶ VOC – těkavé organické sloučeniny

⁷ TZL – tuhé znečišťující látky

4.3 Vyhodnocení analýzy

Objektu je navržen **plynový kondenzační kotel**. Vyplývá to z výše provedené analýzy, kde v obou porovnávaných hlediscích vychází plynový kotel jako nejpriznivější varianta.

4.4 Závěr

V textové části mé závěrečné práce byly představeny, v dnešní době, nejvíce používané zdroje vytápění, z nichž dva byly porovnány mezi sebou. Tyto zdroje byly porovnány nejprve z finančního hlediska, kde se k mému překvapení ukázalo, že provozní náklady pro plynový kotel jsou obdobné jako pro tepelné čerpadlo, které je ale řádově několikrát dražší. Z toho vyplynulo, že by nikdy nedošlo k návratnosti počáteční investice, a především z tohoto důvodu byl zvolen jako zdroj tepla plynový kotel. Správnost výběru byla poté ještě utvrzena faktem, že při porovnání produkce CO₂ opět vyšel, jako příznivější varianta, plynový kotel.

5 Seznamy

5.1 Literatura a použité zdroje

[1] – LYČKA, Zdeněk. Typy teplovodních kotlů na pevná paliva. *Tzb-info.cz: Vytápění* [online]. Praha: TZB-info. 27.5.2019 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vymeny-kotlu/19079-typy-teplovodnich-kotlu-na-pevna-paliva>

[2] – Prohořivací kotel. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie*. [online]. 2020 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Prohoř%C3%ADvac%C3%AD_kotel

[3] – RYŠAVÝ, Jiří; HORÁK, Jiří; HOPAN, František aj. Komfort kotlů na tuhá/pevná paliva – část I. *Tzb-info.cz: Vytápění* [online]. Praha: TZB-info. 26.3.2018 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytipime-pevnymi-palivy/17137-komfort-kotlu-na-tuha-pevna-paliva-cast-i>

[4] - LYČKA, Zdeněk. Jak vybírat nový kotel na pevná paliva (1). *Tzb-info.cz: Vytápění* [online]. Praha: TZB-info. 22.4.2013 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/9798-jak-vybirat-novy-kotel-na-pevna-paliva-1>

[5] – Viessmann, spol. s r. o.: Typy elektrických kotlů [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/elektrokotle.html>

[6] – VANDOVÁ, Jarmila. Kdy se vám vyplatí používat elektrokotel? *Bydlo.cz* [online] Dostupné z: <https://www.bydlo.cz/magazin/kdy-se-vam-vyplati-pouzivat-elektrokotel>

[7] – PROTHERM, spol. s r. o.: Elektrokotel Ray KE [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.protherm.cz/pro-nase-zakazniky/produkty/ray-ke-325.html>

[8] – BUFKA, Aleš; TOURKOVÁ BLECHOVÁ, Jana; MODLÍK, Miloslav a VEVERKOVÁ, Jana. Přehled trhu plynových kotlů 2017 – 2019, díl 1. – Kategorie kotlů, druhy plynů a spotřeby. *Tzb-info.cz: Vytápění* [online]. Praha: TZB-info. 11.6.2020 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytipime-plynem/20786-prehled-trhu-plynovych-kotlu-2017-2019-dil-1-kategorie-kotlu-druhy-plynu-a-spotreby>

[9] – COUFALOVÁ, Denisa. Jak vybrat plynový kotel? Ten nejúspornější nemusí být nejideálnější. *Usetreno.cz: Energie-Plyn* [online] 8.2.2018 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.usetreno.cz/jak-vybrat-plynovy-kotel/>

[10] – Úřední věstník Evropské unie: Nařízení komise EU č. 813/2013, příloha II., bod 1.a). Brusel: Evropská komise, 2013. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013R0813&from=ES>

[11] – Znáte princip kondenzačního kotle? [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/princip-kondenzacniho-kotle>

[12] - BROŽ, Karel. *Alternativní zdroje energie*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003, s. 72. ISBN 80-01-02802-X.

- [13] – Princip tepelných čerpadel [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/princip-tepelných-čerpadel>
- [14] – KAPOUN, Michal. Co je tepelné čerpadlo – základní části, druhy. *Tzb-info.cz: Vytápění* [online]. Praha: TZB-info. 30.4.2015 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/12629-co-je-to-tepelne-čerpadlo-zakladni-casti-druhy>
- [15] – Viessmann, spol. s r. o.: Jak funguje splitové tepelné čerpadlo? [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/obytné-budovy/tepelne-čerpadlo/jak-funguje-tepelne-čerpadlo-split.html>
- [16] – Tepelná čerpadla monoblok [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <http://www.ekovy.cz/tepelna-čerpadla-monoblok.htm>
- [17] – Princip fungování tepelného čerpadla vzduch-voda [online]. 7.11.2013. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/clanky/tepelna-čerpadla-wkf-vas-opravdu-ohreji-22558.html>
- [18] - Tepelná čerpadla vzduch-voda [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: https://www.tepelna-čerpadla-gorenje.cz/vypis_menu/11-vzduch-voda-aerogor.html
- [19] - Tepelná čerpadla země/voda [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <http://www.topeni-chlazení.cz/tepelna-čerpadla-zeme-voda/>
- [20] – DĚDINA, Pavel. Tepelná čerpadla země-voda jako standardní projektové řešení. *Tzb-info.cz: Vytápění* [online]. Praha: TZB-info. 12.8.2019. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/19416-tepelna-čerpadla-zeme-voda-jako-standardni-projektove-reseni>
- [21] – Tepelná čerpadla voda/voda [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: https://www.tepelna-čerpadla-gorenje.cz/vypis_menu/12-voda-voda-aquagor.html
- [22] – Tepelné čerpadlo voda/voda [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <http://www.teplotecnika.cz/tepelne-čerpadlo-voda-voda>
- [23] – Tepelné čerpadlo vzduch/vzduch [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-čerpadla-vzduch-vzduch>
- [24] – ČEZ Prodej, a.s.: Ceník plynu [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/plyn-2021/web-cez-plyn-cenik-plyn-doba-neurcita-gasnet-12-2020.pdf>
- [25] - Projekční podklady a pomůcky – Tepelná čerpadla. *Webové stránky katedry TZB K125, fakulta stavební, ČVUT v Praze*. [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/?mod=podklady&id=9&TZB=f1203927ec0f127ede5744279a331cac>

[26] - ČEZ Prodej, a.s.: Ceník elektřiny [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2021/moo/web-new-cenik-elektrina-dobu-neurcitou-moo-2020-12-cezdi.pdf>

[27] - KABELE, Karel. *Energetické a ekologické systémy 1: zdravotní technika, vytápění*. 2. vyd. V Praze: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04722-4.

[28] - PETRÁŠ, Dušan. *Vytápění rodinných a bytových domů*. Bratislava: Jaga, 2005. ISBN 80-8076-020-9.

[29] - KABELE, Karel. *Technická zařízení budov: vytápění-podklady pro cvičení*. V Praze: ČVUT, 2013. ISBN 978-80-01-05203-7.

[30] - BAŠTA, Jiří. *Otopné soustavy teplovodní*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 1998. ISBN 80-02-01254-2

5.2 Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma prohořivacího kotle [1]	10
Obrázek 2: Schéma odhořivacího kotle [1]	11
Obrázek 3: Schéma zplyňovacího kotle [1]	12
Obrázek 4: Schéma automatického kotle [1]	13
Obrázek 5: Elektrický kotel [7]	14
Obrázek 6: Rozdíl v principu fungování konvenčního a kondenzačního kotle [8]	15
Obrázek 7: Princip fungování tepelného čerpadla vzduch-voda [17]	16
Obrázek 8: Tepelné čerpadlo vzduch/voda [18]	17
Obrázek 9: Tepelné čerpadlo země/voda – zemní kolektor [19]	18
Obrázek 10: Tepelné čerpadlo země/voda – hlubinný vrt [19]	18
Obrázek 11: Tepelné čerpadlo voda/voda – systém se dvěma studněmi [21]	19
Obrázek 12: Tepelné čerpadlo voda/voda – systém s plošným kolektorem [22]	19

5.3 Seznam tabulek

Tab. 1: Výpočet ceny za spotřebovaný plyn dle ceníku ČEZ [24]	21
Tab. 2: Pořizovací náklady na plynový kotel	21
Tab. 3: Provozní náklady pro plynový kotel	21
Tab. 4: Krytí spotřeby tepla při různých výkonech tepelných čerpadel [25]	22
Tab. 5: Množství reálně spotřebované energie	22
Tab. 6: Výpočet ceny spotřebované elektřiny dle ceníku ČEZ [26]	23
Tab. 7: Pořizovací náklady na tepelné čerpadlo vzduch/voda	23
Tab. 8: Provozní náklady pro TČ vzduch/voda	23
Tab. 9: Emisní faktory pro vybrané zdroje dle vyhlášky 140/2021 Sb. [27]	24
Tab. 10: Porovnání produkce CO ₂ pro vybrané zdroje energie	24

5.4 Seznam grafů

Graf 1: Vyhodnocení návratnosti investice do TČ	24
---	----

5.5 Použitý software

- TechCon X 9.0
- Microsoft Excel
- Microsoft Word
- Autodesk AutoCad 2021