

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Studijní program: Stavební inženýrství

**Ekonomické posouzení zdroje energie v nerezidenčních
objektech**

Economic Evaluation of Energy Sources in Non-residential
Buildings

Vypracoval:

Bc. Václav Kaas

Vedoucí práce:

doc. Ing. Jiří Karásek, Ph.D.

2024

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kaas** Jméno: **Václav** Osobní číslo: **477441**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví**
Studijní program: **Stavební inženýrství**
Studijní obor: **Stavební management**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Ekonomické posouzení zdroje energie v nerezidenčních objektech

Název diplomové práce anglicky:

Economic Evaluation of Energy Sources in Non-residential Buildings

Pokyny pro vypracování:

1. Zdroje energie v nerezidenčních objektech: přehled a stanovení nákladů
2. Energetická bilance objektů
3. Ekonomické vyhodnocení variant vybraných objektů

Seznam doporučené literatury:

D'Agostino, D. & Parker, D., 2018. Data on cost-optimal Nearly Zero Energy Buildings (NZEBs) across Europe. Data in Brief, Svazek 17, pp. 1168-1174.
Karásek, J. & Pavlica, J., 2016. Green Investment Scheme: Experience and results in the Czech Re-public. Energy Policy, 90().
Zákon č. 408/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Jiří Karásek, Ph.D. katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví FSV

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **26.09.2023**

Termín odevzdání diplomové práce: **08.01.2024**

Platnost zadání diplomové práce: _____

doc. Ing. Jiří Karásek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Renáta Schneiderová Heralová, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Jiří Máca, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prohlášení

Čestně prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci „Ekonomické posouzení zdroje energie v nerezidenčních objektech“ vypracoval samostatně, pouze za odborného vedení vedoucího diplomové práce doc. Ing. Jiřího Karáska, Ph.D.

Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze, dne 8.1.2024

.....

Václav Kaas

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Karáskovi, Ph.D. za odborné vedení, pomoc a rady poskytnuté při zpracování této diplomové práce.

Dále bych rád poděkoval společnosti Lehotsky Capital, s.r.o. za zkušenosti nasbírané při práci rozpočtáře a poskytnutí nezbytných znalostí pro vypracování této diplomové práce.

Abstrakt:

Diplomová práce se zabývá tématem Ekonomického posouzení zdroje energie pro nerezidenční výstavbu. Cílem práce je poskytnout ucelený pohled na problematiku energetických zdrojů a veškeré technologie potřebné pro efektivní fungování otopného systému v nerezidenčních či kombinovaných objektech a zhodnotit jejich ekonomickou efektivitu a udržitelnost. Diplomová práce je rozdělena do dvou částí - teoretické uvedení do problematiky systémů vytápění, návratnost investic do jednotlivých energetických zdrojů, investiční a provozní náklady a technologické úskalí jednotlivých možností. Teoretická část dále popisuje postup při výpočtu potřeby tepla pro vytápění. Významnou součástí teoretické části je také analýza realizovaných projektů, zobrazující náklady na jednotlivé položky kotelny v kapitole 5. Financování projektu. Praktická část diplomové práce je zaměřena na návrh efektivního energetického zdroje včetně veškeré technologie kotelny na zkoumaném modelovém objektu. Praktická část se také zabývá podrobným ekonomickým vyhodnocením projektu u všech zkoumaných variant.

Klíčová slova

Energetický zdroj, otopné soustavy, obnovitelné zdroje vytápění, tepelná bilance, návratnost investice, cash flow, modelový objekt.

Abstract

The thesis is dealing with the topic of Economic Evaluation of Energy Source in Non-residential Buildings. The aim of the thesis is to provide a comprehensive view on the topic of energy sources and all the technologies required for the efficient operation of the heating system in non-residential buildings and to evaluate their economic efficiency and sustainability. The thesis is divided into two parts - Theoretical introduction to the heating systems, return on investment in individual energy sources, investment and operation costs and technological pitfalls of each option. The theoretical part also describes the dedicated heat demand for heating. An important theoretical part is also the analysis of the implemented projects, showing the costs of the individual boiler house items in Chapter 5. The practical part of the thesis focuses on the design of efficient energy source including all the boiler house technology on the model building under study. The practical part also includes a detailed economic evaluation of the project for all the examined options.

Keywords

Energy source, heating systems, renewable heating sources, heat balance, return on investment, cash flow, model building.

Seznam zkratek

ZP – Zemní plyn

TČ – Tepelné čerpadlo

PK – Plynová kotelna

VS – Výměníková stanice

CZT – Centrální zásobování teplem

SCOP – Seasonal Coefficient of Performance; Sezónní koeficient výkonu

COP – Coefficient of Performance; Koeficient výkonu

CF – Cash flow; peněžní tok

PP – Payback period; Doba návratnosti

DPP – Discounted payback period; diskontovaná doba návratnosti

IRR – Internal Rate of Return; Vnitřní výnosové procento

NPV – Net Present Value; Čistá současná hodnota

PI – Profitability Index; Index ziskovosti

AB – Administrativní budovy

BD – Bytové domy

EER – Energy Efficiency Ratio; Poměr energetické účinnosti

SEER – Seasonal Energy Efficiency Ratio; Sezónní poměr energetické účinnosti

VRV – Variable Refrigerant Volume; Variabilní objem chladiva

ÚT – Ústřední topení

ŽB – Železobeton

Obsah

1	Úvod	10
1.1	Motivace.....	10
1.2	Vymezení tématu	11
1.2.1	Vysvětlení pojmů.....	11
1.3	Cíle práce	12
2	Použité metody	13
3	Spotřeba primární a konečné energie.....	15
4	Vytápění budov	19
4.1	Historie vytápění budov	20
4.2	Zdroje tepla a chladu	21
4.2.1	Kotle.....	21
4.2.2	Tepelná čerpadla	25
4.2.3	Zdroje chladu	35
4.3	Systemy vytápění.....	39
4.3.1	Technologie kotelny	40
4.3.2	Rozvody z kotelny ke koncovým prvkům	43
4.3.3	Otopná tělesa	46
4.4	Energetická bilance	48
4.4.1	Tepelné ztráty objektu	49
4.4.2	Tepelné zisky objektu	52
4.4.3	Výpočet potřeby teplé vody	52
4.5	Emise a ekologické vyhodnocení projektu	54
5	Financování projektu.....	56
5.1	Dotační programy.....	56
5.2	Pořizovací náklady	58
5.3	Provozní náklady	62
5.4	Cash flow	63
5.5	Ekonomické vyhodnocení investice	63
6	Výpočet modelového objektu	66
6.1	Popis konstrukcí modelového objektu	66
6.2	Původní energetický zdroj.....	70
6.3	Tepelná bilance objektu	70
6.4	Návrh energetického zdroje	73

6.5	Ekonomické vyhodnocení.....	75
7	Závěr.....	77
8	Citovaná literatura.....	79
9	Seznam tabulek.....	85
10	Seznam obrázků.....	85
11	Seznam grafů.....	85
12	Seznam rovnic.....	86
13	Seznam příloh.....	86

1 Úvod

Dostupnost a cena energií, znečišťování ovzduší a globální oteplování jsou jedny z největších problémů dnešní doby. Znečišťování ovzduší je způsobeno emisemi znečišťujících látek, které vznikají při spalování fosilních paliv. Tyto emise způsobují vznik skleníkových plynů, které zvyšují objem přirozeně se vyskytujících plynů v atmosféře a zintenzivňují tzv. skleníkový efekt, což vede ke globálnímu oteplování. Mezi hlavní skleníkové plyny patří oxid uhličitý (CO_2), metan (CH_4), a oxid dusný (N_2O) [1].

V České republice jsou dnes nejpoužívanějšími zdroji energie pro vytápění, chlazení a ohřev teplé vody objektů v nerezidenčním sektoru fosilní paliva, jako jsou hnědé a černé uhlí a Zemní plyn (ZP)[2]. Nicméně, v posledních letech se využití obnovitelných zdrojů energie pro vytápění a chlazení postupně zvyšuje a stávají se stále důležitějšími pro energetickou udržitelnost a minimalizaci emisí, produkovaných energetickými zdroji na fosilní paliva.

Změny klimatu, vyčerpávání tradičních fosilních paliv a rostoucí energetická poptávka vedou k naléhavé potřebě zvážit a implementovat nové, udržitelné způsoby získávání a využití energie. Jedním z důležitých aspektů je výběr vhodného zdroje energie. Nerezidenční výstavba, zahrnující komerční budovy, průmyslové komplexy a infrastrukturní projekty, hraje klíčovou roli v ekonomice a rozvoji společnosti. Výše zmíněné struktury jsou zároveň značnými spotřebiteli energie, což představuje významný dopad na životní prostředí a náklady na provoz [3].

1.1 Motivace

Aktuálním tématem dnešní doby je rostoucí důležitost energetické účinnosti a udržitelnosti, což se stává ještě naléhavějším v kontextu aktuální geopolitické situace. Konflikt mezi Ruskem a Ukrajinou měl vážné důsledky pro dodávky energie do Evropy, zejména plynu, který je v nerezidenčních objektech významným zdrojem energie. Klíčové je vybrat vhodný zdroj energie a zvolit optimální strategii pro snížení nákladů na spotřebu energie, současně se snahou minimalizovat negativní dopady na životní prostředí. Ekonomické hodnocení jednotlivých zdrojů energie a technologií v nerezidenčních objektech umožní efektivnější alokaci zdrojů a podpoří trvalou udržitelnost [4].

Motivací diplomové práce je uvědomění, že volba energetických zdrojů pro nerezidenční výstavbu má zásadní význam pro udržitelnost, ekonomickou efektivitu a kvalitu života v naší společnosti. Diplomová práce identifikuje a analyzuje klíčové faktory, které ovlivňují rozhodování o výběru vhodného zdroje energie pro nerezidenční objekty. Významným potenciálem této diplomové práce je poskytnutí praktických návrhů a doporučení pro podniky a instituce, které mohou snížit své energetické náklady a zvýšit svou konkurenceschopnost na trhu. Zároveň přispěje k celkovému snížení závislosti na fosilních palivech a podpoří přechod k obnovitelným zdrojům energie, což je klíčový krok k dosažení udržitelné energetické budoucnosti. Cílem je také pomoci rozpočtářům a investorům lépe a přesněji odhadnout cenu investice, její návratnost a úskalí spojené s volbou jednotlivých energetických zdrojů.

1.2 Vymezení tématu

Diplomová práce se zabývá třemi fázemi, nutnými pro návrh vhodného energetického zdroje. První fází je představení jednotlivých energetických zdrojů větších výkonů pro nerezidenční objekty a stanovení jejich nákladů. Náklady pro jednotlivé varianty se opírají o poznatky získané z praxe ve firmě Lehotsky Capital, s.r.o.. Ve druhé fázi se diplomová práce zaměřuje na výpočet energetické bilance objektu. Výsledkem energetické bilance objektu jsou potřeby tepla na vytápění, chlazení a potřeby teplé vody. Na základě výše zmíněných poznatků je proveden konkrétní návrh energetického zdroje na modelovém objektu. Třetí fází je ekonomické vyhodnocení projektu, nutné pro stanovení výhodnosti jednotlivých variant energetických zdrojů.

Globální oteplování v posledních desetiletích zrychlilo a průměrná teplota na Zemi stoupá. Chceme-li zabránit nejhorším dopadům klimatické změny, musíme do roku 2100 zamezit zvýšení průměrné globální teploty o více než 1,5°C. Snížení emisí skleníkových plynů je důležité z mnoha důvodů. Skleníkové plyny přispívají ke globálnímu oteplování, které má mnoho negativních dopadů na životní prostředí a lidské zdraví. Mezi dopady patří například extrémní povětrnostní jevy, jako jsou vlny veder a záplavy, ústup ledovců a stoupající hladina moří. Skleníkové plyny mohou mít také negativní dopad na lidské zdraví, například oxid dusný může způsobovat dýchací potíže a srdeční choroby. Změna klimatu může mít také negativní dopad na hospodářství, například extrémní povětrnostní jevy mohou způsobit škody na infrastruktuře a snížit produktivitu [5, 6].

Využívání obnovitelných zdrojů energie může být jedním z řešení, jak snížit emise skleníkových plynů a zabránit nejhorším dopadům klimatické změny. Celosvětová kapacita obnovitelných zdrojů energie se v posledních letech zvyšuje a využívání těchto zdrojů energie může být ekonomicky výhodné a přinášet společenské přínosy, jako je snížení provozních nákladů a snížení znečištění. Mnoho zemí se zavázalo snížit své emise skleníkových plynů v rámci mezinárodních dohod, jako je Pařížská dohoda. Tyto dohody mají za cíl snížit celkové emise skleníkových plynů a zabránit nejhorším dopadům klimatické změny [4, 5].

1.2.1 Vysvětlení pojmů

Hypokaustum - systém podlahového vytápění, který se používal již v antickém Římě. Ohřátý vzduch z ohniště se rozváděl kanály pod podlahami místností, ze kterých následně sálalo teplo do místnosti. Tento systém byl používán v římských lázních a v některých vilách [7].

Neutrální zóna - Vyznačuje teplotní interval, ve kterém se obyvatel místnosti cítí komfortně, tedy nepocítí horko ani zimu [8].

Enegronositel - Látka sloužící k přenosu tepelné energie od zdroje tepla, či chladu do vytápěných prostor objektu. [9]

Teplotní spád - Rozdíl teplot mezi dvěma body v systému vytápění, či chlazení. Prvním bodem je přívodní potrubí a druhým takzvaná "Zpátečka", tedy potrubí, kterým se vrazí ochlazená voda zpět ke zdroji tepla.[10]

Volatilní trh - Volatilní trh se vyznačuje výraznými a rychlými změnami ceny. Volatilita se počítá v absolutních nebo relativních hodnotách a platí, že čím vyšší je, tím větší riziko je zde poklesu nebo potenciálnímu růstu hodnoty.

Kaskádovatelná tepelná čerpadla - propojení více tepelných čerpadel do série, aby se dosáhlo vyššího výkonu. Tento postup se často používá v průmyslových aplikacích, kde je potřeba vytápět velké prostory nebo zásobovat teplem více budov [11].

Bivalentní zdroj - dodatečný zdroj tepla, který se často instaluje společně s tepelnými čerpadly pro kompenzaci jejich nedostatků ve špičkách, tedy chvílích nejvyššího odběru. Tepelné čerpadlo využívá obnovitelnou energii okolního vzduchu, ovšem při nižších venkovních teplotách jeho topný výkon klesá. Proto je vhodné doplnit tepelné čerpadlo druhým zdrojem tepla, například elektrokotlem nebo kotlem na ZP [12].

Evaporátor – Jedná se o typ tepelného výměníku, který využívá vodivé a konvektivní přenosy tepla k poskytnutí potřebné tepelné energie pro fázovou přeměnu z kapalného stavu do plynného stavu [13].

1.3 Cíle práce

Cílem diplomové práce na téma Ekonomické posouzení zdroje energie v nerezidenčních objektech je provést ekonomické a technické posouzení energetického zdroje v nerezidenčních či kombinovaných objektech. Práce se zaměřuje na vysvětlení pojmů týkajících se spotřeby primární a konečné energie, vytápění budov a tepelné bilance. Dále se práce zabývá finanční analýzou modelového objektu, rozřazení pořizovacích a provozních nákladů a ekonomické zhodnocení. Diplomová práce uvažuje s modelovým objektem, který ukáže konkrétní aplikaci teoretických poznatků v praxi.

Diplomová práce cílí na investory, kteří uvažují buď o výměně starého energetického zdroje za nový, nebo na ty kteří vybírají energetický zdroj pro nově realizované objekty. Dále práce může sloužit rozpočtářům, kteří potřebují zjistit jaké nákladové skupiny s sebou přináší investice v závislosti na typu energetického zdroje či požadovaném výkonu.

Hlavní cíl představuje ucelený pohled na problematiku energetiky vztaženou k aktuální době. Díky této diplomové práci budou lidé bez vzdělání v oboru energetiky schopni pochopit, jaké úskalí s sebou přináší jednotlivé energetické zdroje díky poznatkům z teoretické části a zároveň uvidí finanční výhodnost či nevýhodnost konkrétních projektů díky posouzení modelového objektu. Tato diplomová práce se v teoretické části také lehce dotýká dotačních titulů, které je ovšem nutné vždy prozkoumat v aktuální době, vzhledem k častým změnám či zpříšňování podmínek pro udělení dotace a stále ohlašovaným novým výzvám pro konkrétní projekty.

2 Použité metody

Klíčovým faktorem zpracování diplomové práce je zvolit vhodné metody, vystihující zkoumanou problematiku. Níže jsou popsány metody použité v této diplomové práci.

Výpočet energetické náročnosti budovy – K návrhu efektivního energetického zdroje je nejprve zapotřebí uvědomění, že energetické zdroje představují velikou investici. Nejprve je vhodné co nejvíce snížit potřeby dodané energie pro objekt, což povede k velkým úsporám z investice do energetického zdroje. Metoda výpočtu energetické náročnosti budovy ukazuje, jak lze docílit snížení potřeb dodané energie, uvádí vlastnosti konkrétních materiálů a ukazuje konkrétní řešení na zkoumaném příkladu.

Návratnost investic – Návratnost investice, tedy doba za kterou se investovaná částka peněz vrátí v podobě ročních úspor na energiích, představuje klíčový rozhodovací faktor při výběru energetického zdroje. Mnoho investorům nemusí být hned jasný důvod investice do obnovitelných zdrojů energie, proto je v této diplomové práci využita metoda výpočtu návratnosti investice. Firmy provozující obchodní řetězce, komerční objekty a průmyslové haly díky metodě návratnosti investice přehledně uvidí roční náklady u každé možnosti energetického zdroje, přesné výše ročních úspor a na základě získaných informací se snadno rozhodnou pro konkrétní energetický zdroj a veškerou technologii potřebnou pro distribuci tepelné energie do otopné sítě.

Analýza vhodných energonositelů – Analýza vhodných energonositelů je vyhotovena na základě katalogů od výrobců technologií Daikin, TOSHIBA a dalších. Katalogy slouží také jako zdroje obrázků, zejména pro kapitolu 4.2.3 Zdroje chladu. Podklady od výrobců energetických zdrojů jsou nejdůležitější, pro srovnání veškerých technologických parametrů potřebných pro návrh efektivního systému vytápění a chlazení, ale také pro správné nacenění jednotlivých komponentů potřebných pro správné fungování systému vytápění a chlazení. Pro analýzu vhodných energonositelů byli také využity znalosti nabyté při práci ve firmě Lehotsky Capital, s.r.o., zabývající se dodávkou kotelen, zahrnující nejen samotné energetické zdroje, ale také veškerou technologii s nimi spojenou. Metoda je vhodná z důvodu správnosti získaných informací a možnosti konzultace s odborníky, kteří se problematice energetických zdrojů věnují desítky let. Vhodnosti využitých informací je docíleno díky aktuálnosti informací od výrobců technologií a realizovaným projektům.

Analýza konkrétních projektů – Analýza projektů je vyhotovena formou přehledné tabulky s cenami technologií kotelny pro koncového zákazníka na základě databáze firmy Lehotsky Capital, s.r.o. Pro zachování anonymity investorů nejsou uvedeny názvy ani adresy realizovaných objektů. Rozsah tabulky odpovídá 22 objektům, z toho 20 objektů sloužících jako administrativní a bytové jednotky (AB) a 2 bytové domy (BD). Realizované projekty se nachází převážně v Praze, Středních Čechách a Brně, proto ceny nemusí být vypovídající pro všechny lokality České republiky. Pro přesnější porovnání dostupnosti technologie a nákladů by bylo zapotřebí získat data i z projektů, realizovaných v menších městech, či vesnicích.

Literární rešerše – Informace uvedené v teoretické části jsou získány z odborných knih, odborných článků, technických listů výrobců, norem, vyhlášek a zákonů. Ke každému tématu byli vyhledány minimálně dvě odborné publikace. Praktická část využívá informace

z webových stránek vybraných dodavatelů a institucí. Všechny použité zdroje jsou citovány číslicí v hranaté závorce na koncích odstavců, či přímo na konci použité věty a seznam použitých zdrojů je uveden na konci diplomové práce. Využití aktuálních a správných informací je základním předpokladem pro tvorbu teoretické části diplomové práce.

Porovnání parametrů zdrojů – Studium technických podkladů od dostupných výrobců a aplikace zjištěných skutečností při návrhu efektivního energetického zdroje energie a technologie kotelny. Metoda je využita především v kapitole 4.3. Systémy vytápění. Využití metody je vhodné zejména pro porovnání konkrétních řešení technologie kotelny a stanovení co nejpřesnějších nákladů.

Porovnání Cenových poptávek – komunikace s dodavateli energetických zdrojů a dodavateli technologií kotelen za účelem získání cenové nabídky. Získání aktuálních cenových nabídek představuje nejdůležitější aspekt při stanovení nákladů vzhledem ke dnešnímu volatilnímu trhu. Metoda je vhodná především pro získání aktuálních cen za jednotlivé energetické zdroje.

Porovnání klíčových parametrů ceny – Na základě technických parametrů a získaných cenových nabídek od výrobců zdrojů tepla, chladu a technologie kotelen je porovnána cena. Cenová analýza je velmi důležitá pro přesné stanovení nákladů projektu a jeho finanční udržitelnosti.

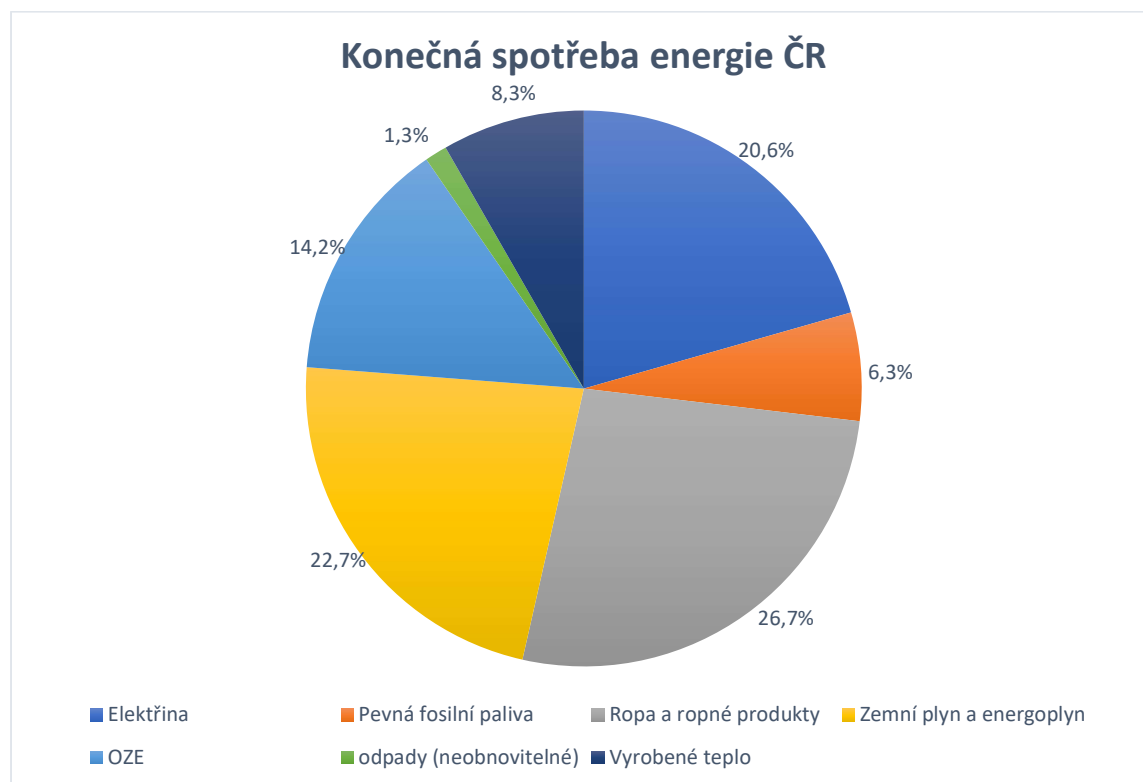
Porovnání projektových studií – Nastudování projektové dokumentace je velmi důležité při návrhu energetického zdroje a technologie v kotelně. Na jednotlivé technologie kotelny jsou kladeny prostorové a technologické požadavky a je nutné tyto skutečnosti zohlednit při návrhu kotelny. Z projektových studií také vyplívají požadavky na výkon energetického zdroje pro vytápění a ohřev teplé vody, případně pro chlazení.

Výpočet Modelového objektu – Diplomová práce využívá modelový objekt pro aplikaci získaných informací, zejména výpočet energetické bilance, porovnání dostupných energetických zdrojů a ekonomickému vyhodnocení projektu. Modelový objekt je využit pro zachování anonymity investorů a citlivých dat, nicméně je stejně vhodný jako konkrétní projekt díky rozsáhlému portfoliu.

3 Spotřeba primární a konečné energie

Spotřeba primární energie zahrnuje veškerou energii potřebnou k výrobě konečné energie, zatímco konečná energie zahrnuje pouze energii skutečně využitou pro finální užitný efekt. Konečnou spotřebu energie v České republice zobrazuje Graf 1. Výpočty spotřeby primárních energetických zdrojů se používají k určení celkové energetické náročnosti budov a k porovnání energetické účinnosti. Využívání obnovitelných zdrojů energie má veliký potenciál ke snížení spotřeby primární energie a tím i k celkové energetické náročnosti budov [14].

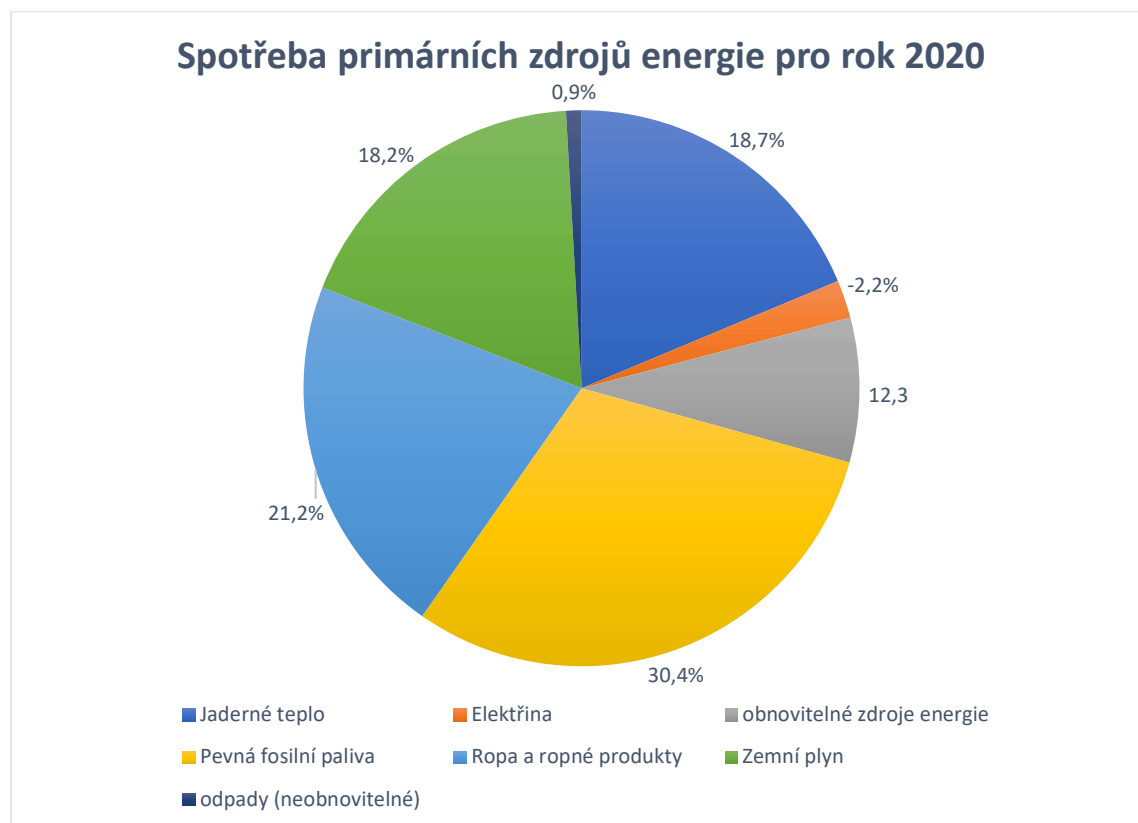
Graf 1: Konečná spotřeba energie v České republice



Zdroj [15]

Nejčastějšími primárními energetickými zdroji, využívanými v České republice jsou neobnovitelné zdroje, zejména uhlí (30,4%), ropa (21,2%), jaderná energie (18,7%), a ZP (18,2%). Rozdělení všech primárních energetických zdrojů, využívaných v České republice vyplývá z Grafu 2 [15].

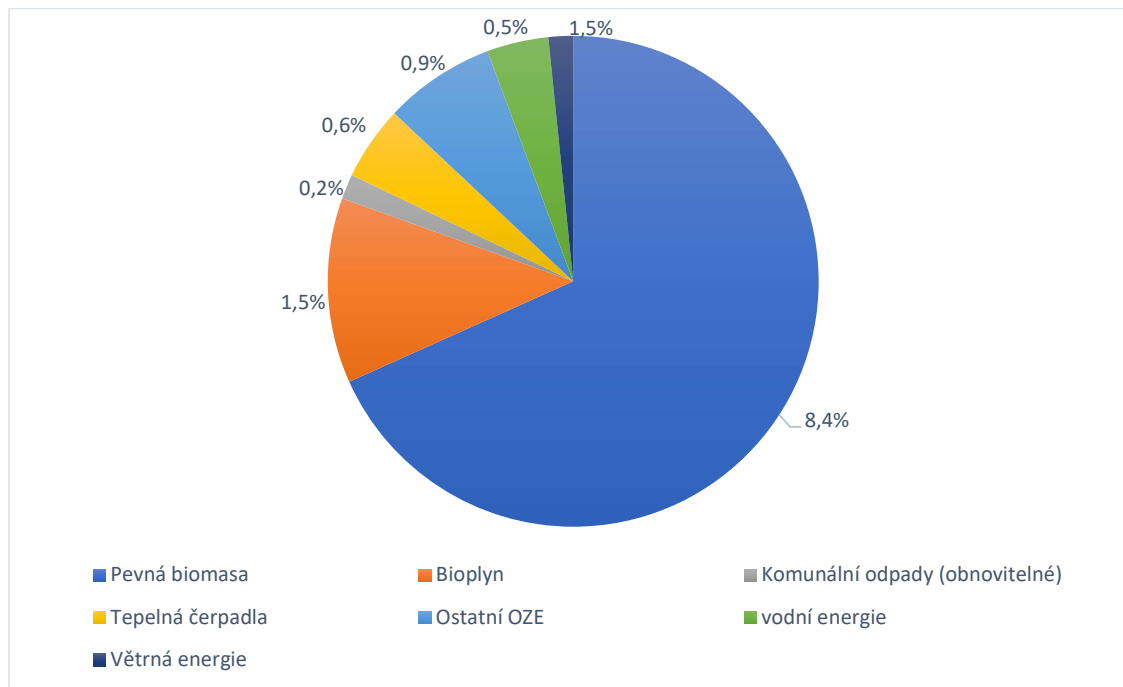
Graf 2: Spotřeba primárních zdrojů energie pro rok 2020



Zdroj [15]

Využívání obnovitelných zdrojů energie se v posledních letech zvyšuje, ovšem stále zůstává na nízké úrovni. Podle statistiky z roku 2020 tvořily obnovitelné zdroje energie pouze 12,3 % z celkového energetického mixu primárních energetických zdrojů energie zobrazených v Grafu 2 [16].

Graf 3: Spotřeba obnovitelných zdrojů energie v České republice pro rok 2020



Zdroj [15]

Uhlí je fosilní palivo, využívané k výrobě tepla a elektřiny. V České republice se uhlí těží zejména v lokalitách Ostravsko, Mostecko, Sokolovsko a to například v dolech ČSA a Vršany [17]. Uhlí se spaluje v kotli, kde se voda mění na vysokotlakou páru, která pohání turbíny a generátory elektřiny [18]. Uhlí je relativně levné palivo, ovšem jeho spalování produkuje velké množství emisí, což má negativní dopad na životní prostředí a zdraví lidí. Proto se v poslední době zvyšuje poptávka po energii z obnovitelných zdrojů, například: solární a větrné elektrárny. V současné době se předpokládá využívání uhlí, jako primárním zdrojem energie do roku 2040 [19].

Druhým nejvíce využívaným fosilním palivem je ZP. Jeho hlavní složkou je metan, který tvoří až 90 % zemního plynu, zbytek tvoří vyšší uhlovodíky a nepatrné množství interních plynů. ZP se těží v různých zemích, včetně České republiky, a může být využit k výrobě tepla a elektřiny. ZP se řadí mezi levná paliva a jeho spalování produkuje méně emisí než spalování uhlí. ZP může být také využit jako surovina pro chemický průmysl. V některých zemích, jako je Nizozemsko, se snaží snížit emise skleníkových plynů a podporují přechod od zemního plynu na obnovitelné zdroje energie. ZP může být využit v plynových kotlích, kde se spaluje a voda se mění na vysokotlakou páru, pohánějící turbíny a generátory elektřiny. ZP se těží pomocí vrtů, vedených přímo do pórovitých ložisek. Ložiska se vyznačují ohraničením nepropustnými vrstvami a vodou. Nepropustná ohraničení způsobila

nahromadění plynu, a to v průběhu tisíců let. Hloubka vrtů se běžně pohybuje do 3 km, nicméně nejhlubší vrty mohou dosahovat hloubky až 8 km. Ložiska se nacházejí na pevnině i pod mořským dnem. V České republice tvoří spotřeba plynu přibližně 8 miliard m^3 [8, 20].

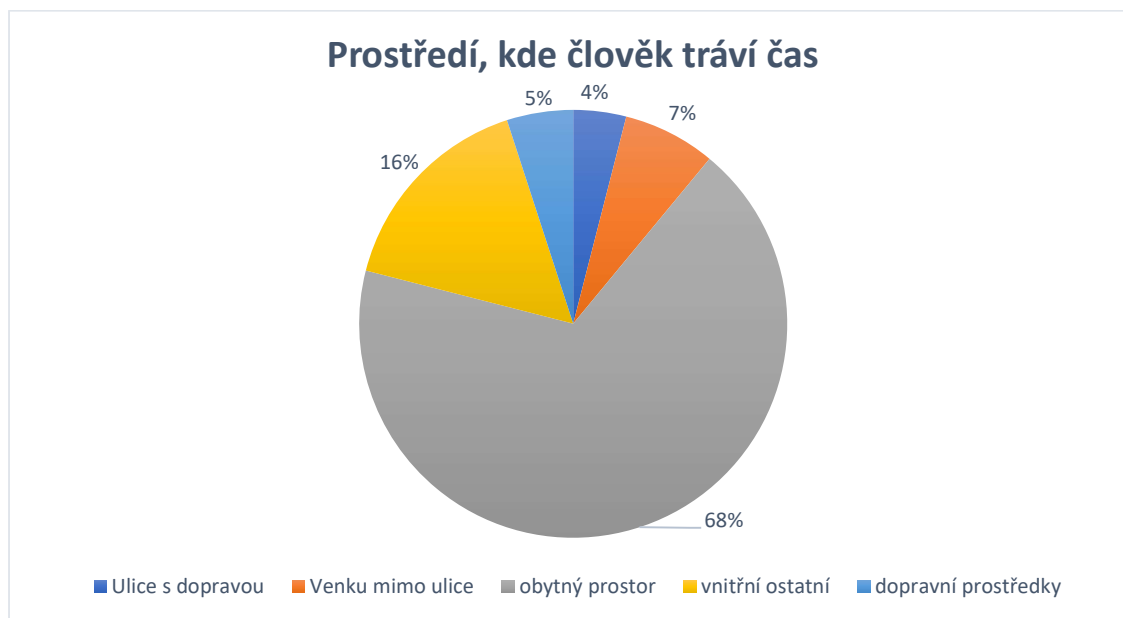
Dalším primárním zdrojem energie je biomasa. Biomasaou se rozumí organická hmota, využívaná jako palivo pro výrobu tepla a elektřiny. Biomasu představují například: dřevní štěpky, sláma, seno, kukuřičné zbytky a odpad z lesního hospodářství nebo zemědělství. Lze ji využít k výrobě tepla v kotlích, kde se spaluje, přičemž voda se mění na vysokotlakou páru, která pohání turbíny a generátory elektřiny. Biomasu lze také využít v kogeneračních jednotkách, kde se teplo a elektřina vyrábějí současně. Výhodou biomasových zdrojů energie je dostupnost, obnovitelnost a využití k recyklaci odpadu. Biomasové zdroje energie také produkují méně emisí než fosilní paliva, jako je uhlí nebo ZP. Nicméně, biomasové zdroje energie mohou být nákladnější než jiné zdroje energie a mohou vyžadovat větší prostor pro skladování. Existují čtyři způsoby, jak získávat energii z biomasy, zahrnující jak tradiční, tak moderní technologie [8, 21, 22].

Prvním způsobem je spalování biomasy. Spalování biomasy je tradičním způsobem získávání energie z organického materiálu. Proces zahrnuje spalování biomasy, například: dřevo, sláma, zemědělské zbytky a jiné organické materiály, za účelem vytvoření tepla a následného využití tepelné energie. Nejprve je třeba získat a připravit biomasu pro spalování. Získávání biomasy zahrnuje: sběr dřeva, sklizeň zemědělských plodin, nebo shromáždění organického odpadu. Biomasa může být buď sušena nebo připravena tak, aby obsahovala dostatek paliva a byla vhodná pro spalování. Ke spalování biomasy se používají různé typy spalovacích zařízení, jako jsou kotle, pece nebo spalovny. Spalovací zařízení mají za úkol zajistit kontrolované spálení biomasy, což vede k minimalizaci emisí a maximalizaci výroby tepla. Biomasa se vloží do spalovacího zařízení, kde je vystavena vysokým teplotám a hoří v přítomnosti kyslíku. Důležitým krokem je také zajistit, aby spalovací proces produkoval minimum emisí, proto jsou spalovací zařízení vybavena systémy kontroly emisí, které snižují uvolňování škodlivých látek, například: oxidy dusíku, oxidy síry a pevné částice, do ovzduší. Velkou výhodou využití biomasy je využití místních zdrojů, nicméně je důležité zajistit udržitelné zásobování biomasou a správné řízení spalovacích procesů. Biomasa se vyznačuje nižší výhřevností, přímo závislou na její vlhkosti. Se zvyšující vlhkostí se snižuje její výhřevnost a pro získání stejného množství tepla je zapotřebí více paliva [21, 22].

4 Vytápění budov

Ve vnitřním prostředí trávíme až 90 % svého života, což vede k potřebě vytvořit maximální komfort ve vnitřních prostor objektů [23]. Cílem vytápění budov je zajištění tepelného komfortu pro obyvatele budovy. Tepelný komfort v místnosti je subjektivní pocit, závisící na několika faktorech, například: teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, rychlost proudění vzduchu, intenzita slunečního záření, aktivita člověka a oblečení. Tepelný komfort se zajišťuje v neutrální zóně, nacházející se nad úrovní pobytové zóny, tedy podlahy, výškově omezené od nuly do dvou metrů od úrovně podlahy.

Graf 4: Prostředí, kde člověk tráví čas



Zdroj [23]

Vytápění budov významně ovlivňuje kvalitu ovzduší, vnitřní prostředí v budovách a lidské zdraví. Velmi důležité je sledovat parametry vzduchu, jako jsou prachové částice a polycyklické aromatické uhlovodíky, které jsou škodlivé pro lidské zdraví. S kvalitou prostředí v budovách se pojí výskyt alergií a jiných obtíží dýchacích cest. Je známo, že pokud se v budovách nevyskytuje vlhkost a je zajištěná dostatečná výměna vzduchu, tedy je zajištěn přívod dostatečného množství čerstvého vzduchu, riziko vzniku problémů spojených s kvalitou prostředí se snižují. Vytápění budov může být zdrojem znečištění ovzduší, zejména pokud se používají fosilní paliva, jako je uhlí. Proto je důležité minimalizovat emise škodlivých látek do ovzduší a používat čistší zdroje energie [24].

Stavební objekty jsou vytápěny v takzvaném otopném období. Otopné období se může lišit v závislosti na lokalitě a nadmořské výšce, a proto jsou stanoveny výpočtové teploty pro jednotlivé lokality. Otopné období ovlivňuje průměrná denní teplota venkovního vzduchu. Během otopného období jsou byty a ostatní prostor vytápěny na výpočtové hodnoty stanovené projektem, určující průměrné teploty vnitřního vzduchu v jednotlivých místnostech. Otopné období v České republice je stanovené vyhláškou Ministerstva průmyslu a obchodu č.

194/2007 Sb. a trvá od 1. září do 31. května následujícího roku. Začátek a konec otopného období se odvíjí od průměrných denních teplot venkovního vzduchu. Pokud průměrná denní teplota poklesne pod $+13^{\circ}\text{C}$ ve dvou po sobě jdoucích dnech a následující den předpověď počasí nepředpovídá nárůst venkovní teploty nad $+13^{\circ}\text{C}$, dodavatel je povinen zahájit dodávku tepelné energie. Vytápění bytů a nebytových prostor v rezidenčních a nerezidenčních objektech se omezí nebo přeruší v otopném období tehdy, jestliže průměrná denní teplota venkovního vzduchu v příslušné lokalitě vystoupí nad $+13^{\circ}\text{C}$ ve dvou po sobě jdoucích dnech a podle vývoje počasí nelze očekávat pokles této teploty pro následující den. Po následném poklesu průměrné denní teploty venkovního vzduchu pod $+13^{\circ}\text{C}$ se vytápění obnoví [8, 25].

4.1 Historie vytápění budov

Historie vytápění budov sahá až do pravěku, kdy se lidé ohřívali u ohně. Tento způsob vytápění byl používán po celém světě a byl základem pro další vývoj vytápění. Postupem času se vytápění vyvíjelo a zdokonalovalo. V Římě se používalo hypokaustum, což byl systém podlahového vytápění, kdy se ohřátý vzduch rozváděl kanály pod podlahami místností. Tento systém byl používán v římských lázních a v některých vilách. Krby a kamna se jako zdroj tepla rozšířili v Evropě ve 12. století. V 18. století se začala používat také kamna s vodním okruhem, která umožňovala vytápět vodu a rozvádět ji do radiátorů po celé budově. Dalo by se říci, že způsob vytápění za pomoci teplonosné látky, tedy vody byl prvním předchůdcem moderních systémů vytápění budov, které se používají dodnes. Způsob vytápění pomocí trubek vedoucích teplonosnou látku byl velmi účinný a byl používán po celé Evropě [7].

Použití páry jako zdrojem tepla pro vytápění se datuje již do 19. století. V té době se začaly používat parní kotle, které vyráběly páru pod vysokým tlakem a teplotou. Pára byla následně rozváděna potrubím do otopných těles, kde předávala teplo do místností. Parní kotle se postupně zdokonalovaly a v současné době se stále používají v některých průmyslových odvětvích, jako je například energetika, kde se využívají k výrobě elektřiny a tepla. Technologická pára se využívá také k dezinfekci, sterilizaci a sušení, jakož i pro účely vytápění. Použití páry pro vytápění má několik výhod, jako je například vysoká účinnost a rychlost ohřevu. Parní kotle jsou také relativně spolehlivé a mají dlouhou životnost. Nicméně, v současné době se využívání páry pro vytápění postupně snižuje a nahrazuje se modernějšími a šetrnějšími způsoby vytápění. Devatenácté století charakterizuje centrální vytápění, kdy tepelný zdroj umístěný v kotelně nebo ve sklepě vytápí celou budovu. Vytápění za pomoci centrálního zdroje energie se postupně zdokonaloval a ve 20. století se začaly používat moderní kotle s koncovými prvky v podobě radiátorů. Tyto kotle byly účinnější a šetrnější k životnímu prostředí než předchozí způsoby vytápění [26].

Dnes se využívají různé způsoby vytápění, jako jsou například podlahové vytápění, tepelná čerpadla, solární panely a další. Tyto způsoby vytápění jsou čistší a šetrnější k životnímu prostředí než tradiční způsoby vytápění, jako jsou například krby a kamna. Využívání obnovitelných zdrojů energie a šetrných způsobů vytápění je důležité pro ochranu životního prostředí a snižování emisí skleníkových plynů.

4.2 Zdroje tepla a chladu

Zdrojem tepla a chladu rozumíme zařízení produkující tepelnou energii pro potřeby vytápění, chlazení či ohřevu teplé vody. Tradiční způsoby zajištění tepla zahrnují vytápění pomocí kotlů na pevná paliva, plynových kotlů a elektrických přímotopů. Klimatizace a chlazení mohou být dosaženy pomocí kompresorových chladniček a klimatizačních jednotek. V dnešní době se začínají více využívat obnovitelné zdroje energie, například tepelná čerpadla, FVE panely a kotle na bioplyn, či biomasu. Nerezidenční objekty mají odlišné potřeby na dodávky tepla a chladu pro různé zóny budovy, například sklady potravin, prodejny, kanceláře a společné prostory. Důležitým faktorem je správné řízení pro řízení a regulace teplených zdrojů energie.

Výběr efektivního zdroje tepla či chladu ovlivňují následující faktory: energetická náročnost budovy, dostupnost energonositelů, ekologické dopady, produkce emisí, spotřeba primární energie a účinnost zdroje. Výše zmíněné zdroje energie zásobují objekt teplem pomocí trubního systému a energonositele. Energonositel přenáší tepelnou energii při takzvaném teplotním spádu. Teplotní spád významně ovlivňuje volbu efektivního zdroje tepla, například tepelná čerpadla fungují nejefektivněji při nízkém teplotním spádu do 55°C, zatímco plynové kondenzační kotle při teplotním spádu nad 60°C. Například teplotní spád 80/60 °C představuje teplotu energonositele v přívodním potrubí ke koncovým prvkům 80°C, zatímco ve zpátečním potrubí se ke zdroji energie vrací ochlazená látka o teplotě přibližně 60°C [27].

4.2.1 Kotle

Historickou variantou kotlů, využívající se dodnes jsou kotle na tuhá paliva. Kotle na tuhá paliva využívají jako palivo látky v pevném skupenství, obvykle uhlí, dřevo či paletky. Tyto kotle se využívají především v domácnostech a menších provozech. Mezi hlavní výhody kotlů na tuhá paliva patří nízké náklady na provoz a relativně nízké pořizovací náklady. Mezi nevýhody patří pracnost a časově náročná údržba a také vysoké emise škodlivin do ovzduší. Další nevýhodou jsou poměrně vysoké nároky na prostor pro skladování paliva a nutnost manuálního dodávání paliva do kotle. Existují tři základní typy kotlů na tuhá paliva: prohořivací kotle, odhořivací kotle a Zplyňovací kotle. U prohořivacích kotlů dochází k úplnému spálení paliva, což znamená, že se spaliny dostávají přímo do komína. U odhořivacích kotlů dochází k postupnému spalování, palivo se přidává do prostoru nad ohništěm a spaliny tak neprocházejí přes vrstvu paliva. V případě odhořivacího kotle nehoří všechno palivo najednou, ale postupně se přidává do prostoru nad ohništěm. Zplyňovací kotle využívají jako palivo kusové dřevo a spalují ho v zplyňovací komoře, kde se přeměňuje na plyn, který se následně spaluje v hořáku. Zplyňovací kotle mají vysokou účinnost spalování a jsou ekologické, což znamená, že snižují náklady na vytápění a mají menší dopad na životní prostředí [28].

Zplyňovací kotle se však v posledních letech stále více nahrazují modernějšími a šetrnějšími zdroji energie, například: tepelnými čerpadly, solárními panely a větrnými turbínami. Podle zákona č. 172/2018 Sb. o ochraně ovzduší byly v České republice na základě emisních tříd postupně vyřazovány kotle, které nesplňovaly stanovené podmínky. Nejpozději do konce srpna 2022 měly být vyřazeny z provozu všechny kotle vyrobené před rokem 2003.

Kotle zhotovené svépomocí nespĺňují podmínky pro zařazení do 3. (nebo vyšší) emisní třídy, nebo emisní třídu vůbec přiřazenu nemají [29].

Při realizaci nového objektu je nutné od stavební firmy vyžadovat stavební připravenost, před započítím realizace samotné kotelny. Stavební připravenost zahrnuje přívod elektrické energie do kotelny, přívod plynu, přívodní potrubí, zabezpečení, Přívod vzduchu, komíny a kouřovody a projektovou dokumentaci.

Přívod elektro

- Přívod el. pro rozvodní skřín dle projektové dokumentace.
- Revize na el. přívodní kabel, přívodní kabel může být dočasně (pouze pro instalaci) natažen ze stavebního rozvaděče.
- Funkční samostatná zásuvka – napájení mimo rozhraní kotelny.
- Osvětlení kotelny – napájení mimo rozhraní kotelny.
- Kabel pro pospojení a uzemnění – zeleno/žlutý.
- Datový kabel UTP (RJ 45) s připojením na internetovou síť ke dni instalace zařízení kotelny.
- Datový kabel pro ekvitermní čidlo na fasádu – prostup na fasádu na severní stranu + osazení čidla.
- Kombinovaný detektor plynů pro oxid uhelnatý a metan.

Přívod plynu

- Plynová přípojka do kotelny ukončená v tech. místnosti kulovým uzavíracím ventilem, následný rozvod a napojení do kotlů, včetně filtru pevných částic.
- Revize plynu po ukončení instalovaného přívodu.
- Osazení bezpečnostního uzávěru plynu (BAP) mimo místnost kotelny, ne dále než 10 m od vnější stěny kotelny dle PD, pokud je vyžadován.
- $P = 1,8 - 2,5$ kPa (požadovaný přetlak) na vstupu do spotřebiče.

Přívod potrubí

- Připojovací potrubí rozvodů vytápění a teplé vody s prostupy zakončené uzávěrem s vypouštěcím kohoutem v kotelně. Následné napojení rozvodů tepla do sestavy rozdělovače/sběrače.
- Připojovací potrubí rozvodu studené vody s vypouštěcím kohoutem v kotelně.
- Protokol o proplachu a těsnosti potrubí.
- Voda v topném systému upravena podle požadavků výrobce plynových kotlů.

Zabezpečení

- Vyspádována podlaha z betonové mazaniny opatřená nátěrem, s napojenými body kanalizace – podlahová gula a odpadní potrubí DN40 přivedené pod vzdálenější kotel od komína (vyvedeno co nejnižší na podlahou pro odvod kondenzátu).
- Dveře s předepsanou požární odolností a osazené samozavíračem.
- Po realizaci tepelného zdroje uzavření prostupů veškerého potrubí.
- Označení větví a jednotlivých potrubí (UT – přívod, zpátečka, TUV – teplá, studená, cirkulace) přivedených do kotelny.
- Zabezpečení rozestupu potrubí přivedených do kotelny min. $3 \times D$ potrubí + 20 mm.

Přívod vzduchu

- Zařízení zajišťující průtok spalovacího vzduchu dle projektové dokumentace a požadavků od výrobce kotlů, ventilátor s regulací 0-10V, filtr.
- Zařízení zajišťující průtok větracího vzduchu dle projektové dokumentace VZT, ventilátor s regulací 0-10V, filtr.

- Zajistit, aby přívod vzduchu do Vypůjčeného prostoru byl v takovém místě, aby nedocházelo ke kontaminaci přívodního vzduchu výfukovými plyny a/nebo jinými nečistotami, a zároveň byla zajištěna výměna vzduchu v celém objemu.

Komíny a kouřovody

- Kompletní dodávka stavby dle PD, zakončení napojením kaskády spalinových cest přímo do kotlů.

Dokumentace

- Technické podmínky pro připojení plynu
- Protokol o určení vnějších vlivů
- Aktuální projektová dokumentace

Zdroj: vlastní zpracování na základě firemních předpisů.

Kotle na plyn využívají ZP nebo propan-butan jako primární zdroj energie pro výrobu tepelné energie. Kotle na ZP jsou velmi oblíbené v domácnostech a menších provozech, pro svou spolehlivost a menší emise škodlivin do ovzduší v porovnání s kotli na tuhá paliva. Mezi hlavní výhody patří nízké náklady na provoz, snadná údržba a vysoká účinnost spalování. Mezi jejich nevýhody patří závislost na dodávce plynu a vyšší pořizovací náklady než u kotlů na tuhá paliva. Kotle na plyn fungují na principu spalování plynu v hořáku, který ohřívá vodu v kotli. Voda se následně rozvádí do topných těles, ohřívajících vzduch v místnosti. Kotle na plyn jsou velmi spolehlivé a mají vysokou účinnost spalování, což znamená, že využívají plyn velmi efektivně a minimalizují ztráty tepla. Dříve se využívali atmosférické a nízkoteplotní kotle, také známe jako turbokotle. Od roku 2015 se atmosférické a nízkoteplotní kotle již nesmí vyrábět ani prodávat dle Nařízení Evropské komise č. 813/2013 [30]. Po roce 2015 je povolené pouze dovyprodání stávajících zásob. Z důvodu zákazu prodeje obou výše zmíněných druhů kotlů se jimi tato práce nezabývá. V současné době se nejvíce využívají takzvané kondenzační kotle, které využívají režim kondenzace vodní páry obsažené ve spalínách. Kondenzační kotle jsou velmi účinné a využívají oproti starším typům kotlů i tepelnou energii spalín k ohřevu vody v kotli. Využitím energie ze spalín dosahují kondenzační kotle účinnosti 92 – 94%, oproti běžným plynovým kotlům účinným nejvýše na 80 – 90%. Plynové kotle se stejně jako všechny plynové spotřebiče zařazují do takzvaných skupin spotřebičů, patrných z Tabulky 1. Tabulka rozděluje spotřebiče na základě místa, ze kterého je do spotřebiče přiváděn vzduch a kam jsou odváděny spaliny [28].

Tabulka 1: Rozdělení plynových spotřebičů

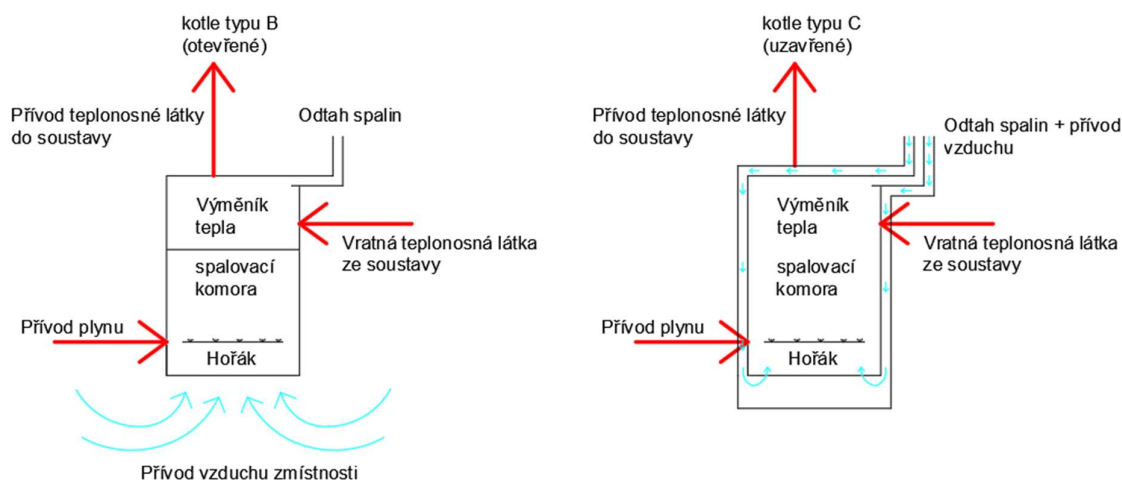
Typ spotřebiče	Přívod spalovacího vzduchu	odvod spalín
A	z místnosti	do místnosti
B	z místnosti	ven
C	z venku	ven

Zdroj [28]

Plynové spotřebiče se rozdělují do tří kategorií: spotřebiče bez odtahu spalín A, vzduch odebírají v místnosti. Spotřebiče s odtahem spalín B, vzduch odebírají v místnosti, spaliny jsou odváděny do venkovního prostoru. Spotřebiče s odtahem spalín C, vzduch odebírají z vnějších prostor, spaliny jsou odváděny do venkovního prostoru [28]. Podle

technických pravidel TPG 704 01 a TPG 908 02 je požadovaný objem místnosti pro spotřebiče typu B závislý na druhu prostoru a způsobu větrání. Spaliny musí být odváděny do venkovního prostoru pomocí kouřovodu, který musí být dimenzován podle výkonu spotřebiče. Spotřebič musí být umístěn ve větratelném prostoru, který splňuje podmínky pro bezpečné umístění spotřebičů typu B. Požadovaný objem místnosti pro spotřebiče typu B se pohybuje v rozmezí 22,5 až 30 m³ v závislosti na druhu prostoru [31]. Pro plynové spotřebiče typu B, u větších objektů, je nutno navrhnout nucené větrání kotelny za pomoci ventilátoru z důvodu velké potřeby spalovacího vzduchu. Návrh nuceného systému přívodu vzduchu je nákladný a výrazně se promítne ve finální ceně projektu. Plynové kotle zařazené ve skupině C jsou zásobené přívodním vzduchem po cestě spalinové trasy, tedy komínem, a proto nemají požadavek pro systém nuceného větrání. U spotřebičů typu C je ovšem nutné počítat s větším profilem komínu, což se výrazně promítne ve finální ceně komínu. Rozdíl mezi kotli typu B a C je patrný z Obrázku 1.

Obrázek 1: Schéma kotlů podle typu B a C



Zdroj: vlastní zpracování, podle [32]

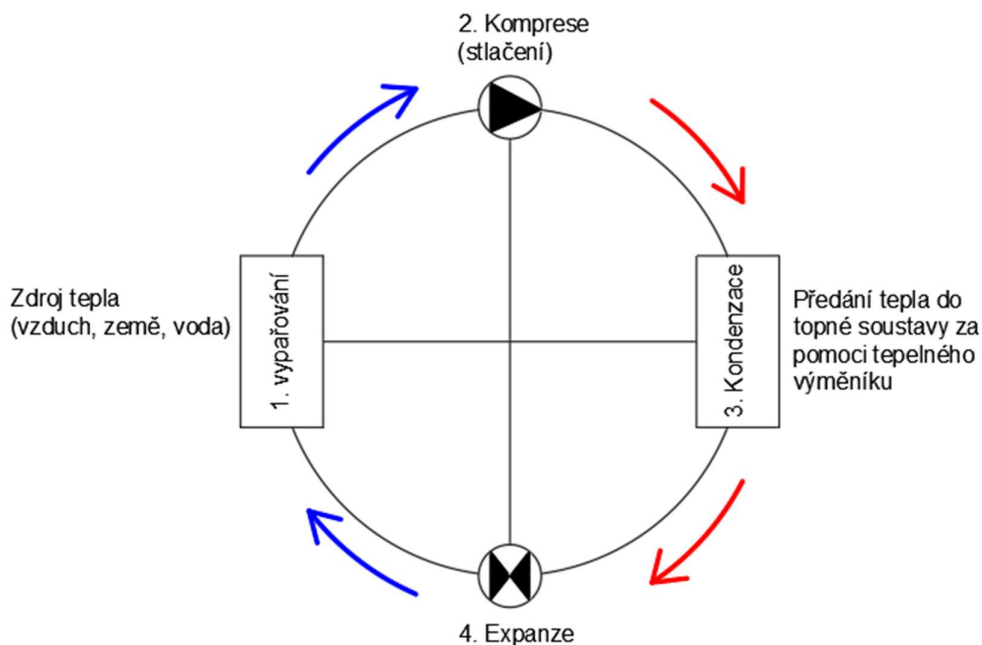
Mimo kotle na tuhá paliva a plyn existují také elektrokotle. Elektrokotel přeměňuje elektrickou energii na energii tepelnou, následně distribuovanou systémem vytápění do koncových prvků. Elektrokotle jsou relativně levné a snadno se instalují, což jsou jejich hlavní výhody. Mezi další výhody patří prostorová nenáročnost, snadná obsluha a bezpečnost. Elektrokotle nevyžadují komín ani revizi spalinových cest, a navíc nevytvářejí emise. Nevýhodou elektrokotle je vysoká spotřeba elektrické energie, což může být nákladné, zejména v případě vytápění větších prostor. Elektrokotle jsou vhodné zejména pro kvalitně zateplené domy, kde mohou sloužit jako bivalentní, tedy sekundární zdroj tepla. Existují dva hlavní typy elektrokotlů: přímotopné elektrokotle a elektrokotle s akumulací tepla. Přímotopné elektrokotle jsou bezhlučné a bezobslužné, nicméně mají vyšší spotřebu elektrické energie na vytápění. Elektrokotle s akumulací tepla umožňují ohřev vody v hodinách s nízkým tarifem elektřiny. Při výběru elektrokotle je důležité zohlednit stav zateplení domu a optimální tepelný výkon elektrokotle [27, 33, 34].

4.2.2 Tepelná čerpadla

Tepelné čerpadlo je mechanické zařízení přemísťující tepelnou energii z vnějšího prostředí do vnitřního prostředí pro zajištění potřeb vytápění, či chlazení daného prostoru. Tepelné čerpadlo pro svůj chod potřebuje elektrickou energii a za každou spotřebovanou kW elektrické energie vyprodukuje přibližně 3 – 6ti násobek tepelné energie v závislosti na typu tepelného čerpadla. Efektivita tepelného čerpadla je udávána ukazatelem SCOP (Seasonal Coefficient of Performance), který vyjadřuje poměr mezi množstvím vyprodukovaného tepla za topnou sezónu a množstvím spotřebované energie, během topné sezóny [35]. S rostoucí hodnotou ukazatele SCOP se snižují náklady na primární energii a zároveň se snižují emise skleníkových plynů. Druhy tepelných čerpadel rozlišujeme podle látky, ze které teplo získávají a látky kterou teplo distribuují, tedy energonositelem. Tepelná čerpadla získávají energii ze 3 zdrojů a to: Vzduch, voda a země. Distribuovat tepelnou energii lze Vzduchem, či vodou. Zajištění správné funkce tepelného čerpadla je dosaženo prostřednictvím cyklu, který se skládá ze čtyř základních procesů [36]:

1. Začátek cyklu: Proces začíná v parním stavu chladiva v evaporátoru, kde chladivo absorbuje teplo z okolního prostředí. Při tomto procesu se chladivo odpařuje a přechází do plynného stavu. Evaporátor využívá Vodivé a Konvektivní přenosy. Vodivý přenos se vyskytuje v pevných látkách a je způsoben přímým kontaktem a pohybem částic. Teplo se přenáší prostřednictvím vedení tepla z teplejších oblastí na chladnější oblasti. Proces je charakterizován tokem tepla skrze pevný materiál a závisí na materiálových vlastnostech, například tepelná vodivost. Konvektivní přenos je spojen s pohybem částic tekutiny a je způsoben pohybem mikroskopických prvků látek, provádí volný nebo nucený pohyb tekutiny. Tento typ přenosu tepla se vyskytuje v kapalinách a plynech a je spojen s prouděním tekutin. Konvektivní přenos tepla může být dále rozdělen na přirozenou konvekci, kde je pohyb tekutiny způsoben rozdíly v hustotě v důsledku teplotních gradientů, a nucenou konvekci, kde je pohyb tekutiny způsoben vnějším zdrojem, jako je čerpadlo nebo ventilátor [36–38].
2. Stlačení chladiva: Plynné chladivo je následně stlačeno v kompresoru, čímž se zvyšuje jeho tlak a teplota. Proces vyžaduje elektrickou energii, která je dodávána kompresorem [36].
3. Kondenzace: Stlačené a zahřáté chladivo prochází do kondenzátoru, kde předává teplo do vytápěného nebo chlazeného prostoru. Chladivo opět mění skupenství, tentokrát z plynného na kapalné [36].
4. Expanze: Kapalné chladivo prochází expanzním ventilem, který snižuje jeho tlak a teplotu. Opět nastává ochlazení chladiva a přechod zpět do parního stavu [36].
5. Opětovné odpaření: Chladivo v parním stavu se vrátí zpět do evaporátoru, kde opět absorbuje teplo z okolí a cyklus se opakuje [36].

Obrázek 2: Pracovní cyklus tepelného čerpadla



Zdroj: vlastní zpracování, podle [36]

Při realizaci nového objektu je nutné od stavební firmy vyžadovat stavební připravenost, před započítím realizace samotné kotlovny. Stavební připravenost zahrnuje přívod elektrické energie do kotlovny, přívodní potrubí, stavební práce a zabezpečení.

Přívod elektro

- Samostatný fakturační elektroměr pro strojovnu TČ.
- Ovládací kabel HDO do strojovny TČ.
- Přívodní elektrický kabel pro podružný rozvaděč dle projektové dokumentace a požadavků výrobce TČ přivedený na určené místo ve smotku minimální délky 2 metry.
- Revize na el. přívodní kabel.
- Průchodka pro el. propojení venkovní a vnitřní jednotky TČ.
- Kabel pro uzemnění zeleno/žlutý.
- Osvětlení kotlovny – napájení mimo rozvaděč kotlovny.
- Zásuvka – napájení mimo rozvaděč kotlovny.

Přívod potrubí

- Připojovací potrubí rozvodů vytápění a teplé vody s prostupy zakončené uzávěrem s vypouštěcím kohoutem v kotelně.
- Připojovací potrubí rozvodu studené vody s vypouštěcím kohoutem v kotelně.
- Průchodka pro propojení venkovní a vnitřní jednotky, dimenze dle požadavků výrobce.
- Ve variantě země/voda průchodka pro připojení kolektoru/vrtu.
- Protokol o proplachu a těsnosti potrubí.
- Voda v otopném systému upravena podle požadavků výrobce tepelných čerpadel.

Stavební práce

- Samostatná uzamykatelná místnost ke dni předání staveniště a čtvery vyhotovení přístupových klíčů.
- Dokončené stavební práce, včetně finálních povrchů (stěny, podlahy, strop ...).
- Dokončená instalace ostatních profesí (ZTI, VZT, požární vodovod apod.) .
- Dodání hasicího přístroje dle platného projektu PBŘ.
- Odvod kondenzátu – venkovní jednotka.
- Odvod odkapu do kanalizace od pojistných ventilů v tech. místnosti.
- Základ pod venkovní jednotku/příprava pro konzole na zeď.
- Dodržení minimálních odstupů od venkovní jednotky dle požadavků výrobce.
- Případná protihluková opatření, která nejsou součástí dodávky.

Zabezpečení

- Vyspádována podlaha z betonové mazaniny opatřená nátěrem, s napojenými body kanalizace.
- Po realizaci tepelného zdroje uzavření prostupů veškerého potrubí.
- Označení větví a jednotlivých potrubí (UT – přívod, zpátečka, TUV – teplá, studená, cirkulace) přivedených do kotelny.
- Zabezpečení rozestupu potrubí přivedených do kotelny min. 3xD potrubí + 20 mm.
- VZT – požadavek na havarijní větrání dle ČSN EN 3781-4 + mřížka pod stropem.
- Vzduchotěsné dveře pro případ úniku chladiva.

Zdroj: vlastní zpracování na základě firemních předpisů.









Nejvyužívanějším typem tepelného čerpadla v České republice je vzduch-voda. Tepelná čerpadla vzduch-voda odebírají teplo z vnějšího prostředí, tedy ze vzduchu a získané teplo následně distribuují topným systémem, přičemž energonositelem je voda. Tepelné čerpadlo vzduch-voda se skládá z vnější a vnitřní jednotky. Vnější jednotka odebírá teplo z venkovního vzduchu a přenáší ho do vnitřní jednotky, která teplo využívá k ohřevu vody v topném systému, či zásobníku teplé vody. Vnitřní jednotka se nejčastěji umísťuje do technické místnosti, kde se nachází topný systém a zásobník teplé vody. Tepelná čerpadla vzduch-voda jsou velmi účinná a ekologická alternativa k tradičním topným systémům a mohou být využívána v novostavbách i při rekonstrukcích stávajících budov. Vnější jednotka tepelného čerpadla vzduch-voda obsahuje ventilátor, který nasává vzduch a přivádí ho do výměníku tepla. Ve výměníku se vzduch ohřívá kompresí, tedy stlačením a ohřívá kapalinu v tepelném čerpadle. Tato kapalina se následně přepraví do vnitřní jednotky, kde se teplo předává do vody prostřednictvím vodního okruhu [28, 35].

Jednou z hlavních výhod tepelných čerpadel vzduch-voda je jejich jednoduchá instalace, která nevyžaduje složité vrtání a instalaci výměníku tepla v zemi. Tepelná čerpadla vzduch-voda jsou vhodná pro rodinné domy a menší bytové domy, kde potřeby pro vytápění, ohřev teplé vody, či chlazení nejsou příliš vysoké. Například pokud by požadovaný výkon tepelného čerpadla přesahoval 100 kW/rok, je nutné najít vhodný typ čerpadla, případně kaskádově zapojit více menších jednotek, což výrazně zvýší náklady. Vnější jednotky navíc produkují značné množství akustického znečištění, což často vede k omezení umístění čerpadla a nutnosti provedení protihlukových konstrukcí. Tepelná čerpadla vzduch-voda lze kombinovat se stávajícími topnými systémy, avšak je nutné pečlivě prostudovat technologické parametry zvoleného čerpadla. Většina tepelných čerpadel funguje na nízkém teplotním

spádu, což zabraňuje jejich využití při stávajícím topném systému, tvořeném radiátory, které často fungují na vysokém teplotním spádu. Pro nejefektivnější využití tepelného čerpadla je nutné zvolit systém podlahového vytápění, fungujícím na nízkém teplotním spádu. Tepelná čerpadla vzduch-voda jsou ovlivněna klimatickými podmínkami, což může mít negativní vliv ve špičkách, proto se často doplňují druhým zdrojem tepla [21, 39, 40]. Porovnání více typů tepelných čerpadel vzduch-voda je patrné z Tabulky 2.

První tři sloupce popisují obrázek, výrobce a konkrétní typ čerpadla. Čtvrtý sloupec udává výkon jednotky při podmínkách A2/W35. Hodnota A2/W35 znamená, že výkon tepelného čerpadla byl měřen při venkovní teplotě 2°C a teplotě ohřáté vody 35 °C. Jedná se o standardizovaný způsob měření výkonu tepelného čerpadla podle normy ČSN EN 14511 platné od roku 2018 [17]. Sloupce 5 – 8 udávají takzvaný COP (Coefficient of Performance), vyjadřující hospodárnost tepelných čerpadel. Udává poměr mezi dodanou a odebranou energií. Jedná se o poměr energie získané provozem tepelného čerpadla k energii vložené, nutné pro jeho provoz. Faktor COP tedy udává, kolikrát je tepelné čerpadlo schopno vytvořit tepelnou energii oproti energii spotřebované svým provozem. Sloupec nazvaný operačním rozsahem udává nejnížší možnou teplotu venkovního prostředí přípustnou pro fungování tepelného čerpadla. Třetí sloupec od konce udává, zda tepelné čerpadlo nabízí i možnost chlazení a s jakým výkonem, přičemž v předposledním sloupci je zobrazen koeficient EER (Energy Efficiency Ratio), vyjadřující účinnost při chlazení. Poslední sloupec vyjadřuje akustické znečištění, produkované tepelným čerpadlem při svém chodu. Akustické znečištění, nebo také akustický tlak je udáváno v decibelech jeden metr od zdroje hluku.

Tabulka 2: porovnání tepelných čerpadel vzduch-voda

Foto	Značka	TYP	Tepelný výkon v kW při A2/W35	COP A2/W35	COP A-7/W35	COP A7/W35	COP A7/W55	Operační rozsah	Chlazení výkon v kW A35/W7	EER A7/W35	Akustický tlak vo vzd. 1m LpA/akustický výkon LwA(dB)
	Alpha Innotec	LW180A venkovní	17,2	3,6	2,9	4,2		-20 °C			52/60
	Alpha Innotec	LW251A venkovní	24	3,6	2,9	4,2		-20 °C			57/765
	Alpha Innotec	LW180 vnitřní	17,2	3,6	2,9	4,2		-20 °C			52/57
	Alpha Innotec	LW251 vnitřní	24	3,6	2,9	4,2		-20 °C			53/58
	Daikin	EWYT064CZNB A2	53,98	3,54				-20 °C	63,95	2,93	65/83
	Baxi	PBM2-i 50	44,6	3,73	3,19	3,99	2,59	-15°C	30,5	3,27	61,8/78
	Baxi	HPI 22TR	16,11	3,13	2,59	3,96		-20 °C	9,3	2,9	53/77
	Heliotherm	S55L	58,01	4,2				-25°C			7/68

Zdroj: vlastní zpracování, podle technických listů výrobců






Dalším typem tepelných čerpadel je země-voda. Tepelná čerpadla typu země-voda představují efektivní a udržitelné řešení pro vytápění a chlazení budov. Tepelná čerpadla země-voda využívají energii uloženou v půdě nebo podzemní vodě k získávání tepla pro vytápění prostor nebo pro ohřev teplé vody. Existuje několik typů tepelných čerpadel země-voda, které se liší způsobem získávání tepla a využitím podzemních zdrojů energie. Prvním typem je systém s vodorovným zemním kolektorem. Systém zahrnuje rozsáhlou síť potrubí, zabudovaných ve vodorovné poloze do země. Potrubí slouží jako výměník tepla, který získává teplo z půdy prostřednictvím přenosu tepla ze země do pracovního média v tepelném čerpadle. Druhým typem tepelného čerpadla typu země-voda je systém s vertikálním zemním vrtáním. Vertikální systém vyžaduje vrtání hlubokých otvorů do země, ve kterých jsou umístěny trubky nebo sondy. Sondy slouží jako výměník tepla, který získává teplo z podzemních vrstev a předává jej pracovnímu médiu v tepelném čerpadle. Vertikální zemní vrtání je vhodné pro budovy s omezeným prostorem, jelikož umožňuje efektivní využití dostupné plochy. Třetím typem tepelného čerpadla typu země-voda je systém s podzemní vodou. Podzemní voda je využívána jako zdroj tepla. Skrze vrtané studny nebo studny s vodními čerpadly je čerpána podzemní voda, sloužící jako zdroj tepla pro tepelné čerpadlo. Po předání tepla do pracovního média se podzemní voda vrací zpět do podzemních vrstev nebo se využívá pro jiné účely, například zavlažování [21, 41].

Použití tepelných čerpadel země-voda přináší mnoho výhod, ale je také důležité vzít v úvahu potenciální úskalí spojená s kolektory umístěnými v zemi. Kolektory hrají klíčovou roli při získávání tepla z půdy pro provoz tepelného čerpadla. Pochopení těchto úskalí je zásadní pro plánování, instalaci a údržbu systému z důvodu zajištění jejich optimálního výkonu a spolehlivosti: Potřeba rozsáhlé plochy je jedním z významných úskalí tepelných čerpadel země-voda. Před instalací je nutné provést pečlivé měření a zvážit dostupnost potřebné plochy. Dalším důležitém úskalím představuje vhodnost půdy. Efektivita tepelného čerpadla země-voda je závislá na teplotě půdy a její tepelné vodivosti. Některé půdní typy mohou mít nedostatečnou tepelnou vodivost nebo nízkou teplotu, což ovlivňuje výkon systému. Je nezbytné provést geologický průzkum a zjistit vhodnost půdy pro instalaci kolektorů, aby bylo dosaženo maximálního výkonu a efektivitu. Instalace zemních kolektorů vyžaduje přesnou přípravu a správnou techniku. Výkopy a položení potrubí je potřeba provést s ohledem na správnou izolaci a ochranu kolektorů. Správná instalace je klíčová pro minimalizaci rizika poškození kolektorů a zajištění jejich maximálního výkonu. Kolektory umístěné v zemi jsou vystaveny riziku poškození při stavebních pracích nebo během životnosti systému. Kopání základů budovy nebo jiné stavební činnosti mohou představovat riziko mechanického poškození kolektorů. Je důležité zajistit ochranu kolektorů a minimalizovat riziko jejich poškození [21, 41, 42].

Stejně jako u tepelných čerpadel typu vzduch-voda je potřeba porovnat všechny důležité ukazatele a vybrat vhodný typ tepelného čerpadla. Při zvolení nevhodného typu, který například nemá dostatečný operační rozsah, neposkytuje požadovanou výstupní teplotu energonositele, nebo produkuje větší hlukové znečištění než je v dané oblasti přípustné se investice do tepelného čerpadla nevyplatí. Porovnání tepelných čerpadel země-voda a jejich parametrů je patrné z Tabulky 3. Oproti tepelným čerpadlům vzduch-voda jsou tepelná čerpadla země-voda nákladnější o instalaci zemních kolektorů. Náklady na zemní kolektory se pohybují v řádu milionů Kč. Tepelná čerpadla země-voda však nejsou závislá na vnějším

klimatu, jelikož energii čerpají ze země, kde jsou teplotní rozdíly mezi ročními obdobími minimální.

Tabulka 3: porovnání tepelných čerpadel země-voda

Foto	Značka	TYP	Tepelný výkon v kW při 80/W35	COP 80/W35	COP /W45	COP 87/W35	COP 80/W55	Operační rozsah	Chlazení výkon v kW A7/W35	EER A7/W35	Akustický tlak vo vzd. 1m LpA/akustický výkon	Chladivo (kg)/typ/GWP	Rozměry š x h x v / váha v kg
	Alpha Innotec	SWCV 162 vnitřní	17,2	4,92		11,31kW / 6,05	9,06kW / 3,22	-5			36/51	2,2kg / R407C	/188kg
	Alpha Innotec	SWP 691 vnitřní	68,5	4,6		84,1kW / 5,40,	64,6kW / 2,90	-5			44/59	13,4kg / R410A	/484kg
	Alpha Innotec	SWP 581	57,6	4,8		71,1kW / 5,80	54,1kW / 3,0	-5			42/57	11,2kg / R	/441
	IVT GEO	G 238 EcoSave 2kompr.	38,73	4,5	3,6							6,8kg / R410A	700 x 750 x 1620 / 370kg
	IVT GEO	G 248 EcoSave 2 kompr.	47,47	4,36	3,58							7,5kg/R410A	700 x 750 x 1620 / 380kg

Zdroj: vlastní zpracování, podle technických listů výrobců

Třetí typ tepelných čerpadel představuje voda-voda. Tepelná čerpadla voda-voda se v České republice využívají zřídka pro náročnost jejich instalace a požadavkům na vhodný a stálý zdroj vody, jakožto primárního zdroje tepelné energie. Tepelná energie je odebrána dvěma možnými způsoby, z vody povrchové, či podzemní. Studny jsou nejvhodnějším zdrojem tepelné energie pro tepelná čerpadla voda-voda. Ovšem využití studny vyžaduje vhodnou geologickou dispozici a vydatnost pramene. Podzemní vodu charakterizuje poměrně stálá teplota kolem 10ti °C a to ji činí nejteplejším přírodním zdrojem energie. Pro správnou funkci jednoho tepelného čerpadla typu voda-voda je zapotřebí dvou studen. První studnu topnou, nebo-li zdrojovou a druhou vsakovací. Vzdálenost mezi studnami by měla být minimálně 15 m. Zdrojový pramen musí mít vydatnost minimálně 0,5 l za sekundu pro běžný rodinný. Pořizovací náklady na provedení geologické studie a ověření vydatnosti pramene jsou sice nižší než u tepelných čerpadel země-voda, ovšem jejich provozní náklady jsou mnohem vyšší, vzhledem k potřebě čerpání vody. Pokud bychom uvažovali o využití rybníku, jezera či jiné vodní plochy zdrojem energie pro tepelné čerpadlo voda-voda, musíme mít na paměti náročnou administrativu a nutnost souhlasu majitele, či správce pozemku. Další nevýhodou u otevřených zdrojů vody představuje kolísavost povrchové teploty vody, což má výrazný vliv na efektivitu tepelného čerpadla. Pro složité studie proveditelnosti a velmi náročný proces povolování se tato diplomová práce více nezabývá tepelnými čerpadly voda-voda. [21, 43].

Tepelná čerpadla jsou ekologickým a energeticky úsporným způsobem vytápění a chlazení budov. Jejich využití je vhodné z několika důvodů. Zaprvé, tepelná čerpadla využívají obnovitelné zdroje energie, jako je například energie země, vody nebo vzduchu, což přispívá k ochraně životního prostředí. Zadruhé, tepelná čerpadla jsou energeticky efektivní a mohou pomoci snížit náklady na vytápění a chlazení budov. Třetím důvodem je možnost

získávání dotací a pobídek zaměřených na využívání obnovitelných zdrojů energie, což může být motivací pro investici do tepelného čerpadla. Tepelná čerpadla tak představují moderní a udržitelný způsob vytápění a chlazení budov, který je ekonomicky i ekologicky výhodný. Jejich využití může přispět k snížení emisí skleníkových plynů a k ochraně životního prostředí, což je v dnešní době stále důležitější. Pro maximální úspory za energie a nejefektivnější využití tepelného čerpadla, je nutné nejprve co nejvíce snížit potřeby tepla pro vytápění. Snížení potřeby tepla pro vytápění lze docílit zateplením fasády a střechy a výměnou starých oken za nová plastová s izolačním dvojsklem, či trojsklem. Po snížení potřeb pro vytápění a chlazení bude zapotřebí méně výkonný zdroj a sníží se investiční i provozní náklady budovy.

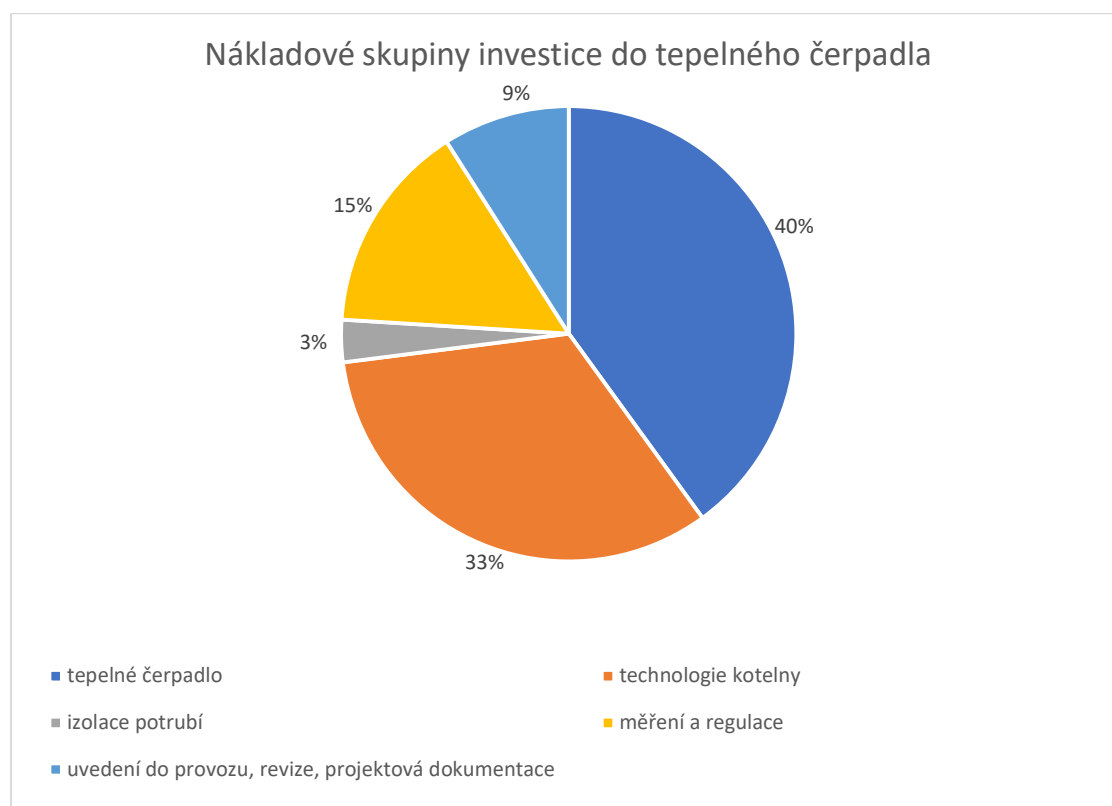
Tepelná čerpadla lze rozdělit do několika nákladových skupin na základě jejich výkonu a aplikace. Skupiny se budou lišit v nákladech na pořízení, provozních nákladech a vhodnosti pro konkrétní typy budov. Základní tři nákladové skupiny tepelných čerpadel se budou dělit následovně:

Malá domácí tepelná čerpadla - Tepelná čerpadla dodávající energii do rodinných domů mají nižší výkon a jsou určena pro vytápění a ohřev teplé vody. Jsou relativně cenově dostupná a mají nižší provozní náklady. Nejvhodnějším typem méně výkonných čerpadel je vzduch-voda. Cena se bude pohybovat v rozmezí 5 000 až 15 000 € včetně instalace.

Střední a velká tepelná čerpadla - Do skupiny budou patřit tepelná čerpadla dodávající energii do větších budov, jako jsou obchodní centra, školy nebo kancelářské budovy. Mají vyšší výkon a jsou schopna pokrýt větší potřeby tepla. Nejvhodnější tepelná čerpadla představují země-voda, či kaskádovatelná tepelná čerpadla vzduch-voda s bivalentním zdrojem například plynovým nebo elektrickým kotlem. Cena tepelných čerpadel se momentálně pohybuje v rozmezí 15 000 až 50 000 € včetně instalace.

Průmyslová tepelná čerpadla: Pro průmyslové a komerční budovy, jako jsou továrny nebo velké obchodní komplexy jsou žádoucí vysokovýkonná a efektivní tepelná čerpadla. Nejčastěji využívaným typem pro rozsáhlé komerční komplexy a průmyslové objekty je země-voda, voda-voda, případně vzduch-voda s výkonným bivalentním zdrojem v podobě kondenzačních plynových kotlů. Cena tepelných čerpadel se bude pohybovat od 50 000 € v závislosti na požadovaném výkonu. Investice do tepelného čerpadla neznamená pouze koupi tepelného čerpadla. Pro velké objekty s vysokými potřebami na dodávku tepelné energie bude zapotřebí nejen pořídit tepelné čerpadlo, ale i vybudovat prostor pro veškerou technologii s tím spojenou, tedy kotelnu. Veškeré náklady spojené s investicí do tepelného čerpadla lze rozčlenit do pěti základních složek, zobrazených v Grafu 3.

Graf 5: Nákladové skupiny investice do tepelného čerpadla



zdroj: vlastní zpracování

Firmy zaměřující se na prodej tepelných čerpadel se většinou nespécializují na stavební úpravy, nutné pro uvedení tepelného čerpadla do provozu. Proto je zapotřebí již v předvýrobní fázi projektu důkladně promyslet a definovat položky dodané stavbou a dodavatelem tepelného čerpadla. Příklad rozdělení jednotlivých položek vyplývá z Tabulky 4. Výjimkou jsou tepelná čerpadla země-voda, jejichž součástí jsou zemní kolektory. Vrtky vertikální i horizontální jsou velmi drahé a je nutné zajistit koordinaci se stavbou, těžkou techniku a náročné plánování. Cena zemních vrtů není v Grafu 3 uvedena a je třeba ji vždy individuálně vypočítat, nicméně bude se pohybovat kolem 100 % investice do samotné kotelny.

Tabulka 4: Rozpočet kotelny s tepelným čerpadlem

Pol. č.	Položka rozpočtu	Poznámka	Kategorie
1	Tepelná čerpadla	firma zajišťující tepelné čerpadlo	Technologie TČ
2	podkladní konstrukce	stavba	
3	akustická zástěna	stavba	
4	primární okruh pro TČ	firma zajišťující tepelné čerpadlo	
5	naplnění chladivem	firma zajišťující tepelné čerpadlo	
6	akumulační zásobník topné vody	firma zajišťující tepelné čerpadlo	
7	elektro-bivalence	firma zajišťující tepelné čerpadlo	
8	Úpravna vody	firma zajišťující tepelné čerpadlo	technologie kotelny
9	Technologie kotelny R/S	firma zajišťující tepelné čerpadlo	
10	Příprava teplé vody	firma zajišťující tepelné čerpadlo	
11	Izolace	firma zajišťující tepelné čerpadlo	
12	Čidla MaR = "mozek kotelny"	firma zajišťující tepelné čerpadlo	Měření a regulace
13	MaR a elektroinstalace	firma zajišťující tepelné čerpadlo	
14	Montáže	stavba	
15	Uvedení do provozu, revize	firma zajišťující tepelné čerpadlo	
16	Logistika, manipulace	stavba	
17	Demontážní práce	stavba	
18	Stavební práce	stavba	
19	Projektová dokumentace	firma zajišťující tepelné čerpadlo	
20	Jištění	firma zajišťující tepelné čerpadlo	
21	Rezerva		
	Cena bez DPH		- Kč
	Převýrobní a výrobní příprava		- Kč
	Cena celkem bez DPH		- Kč

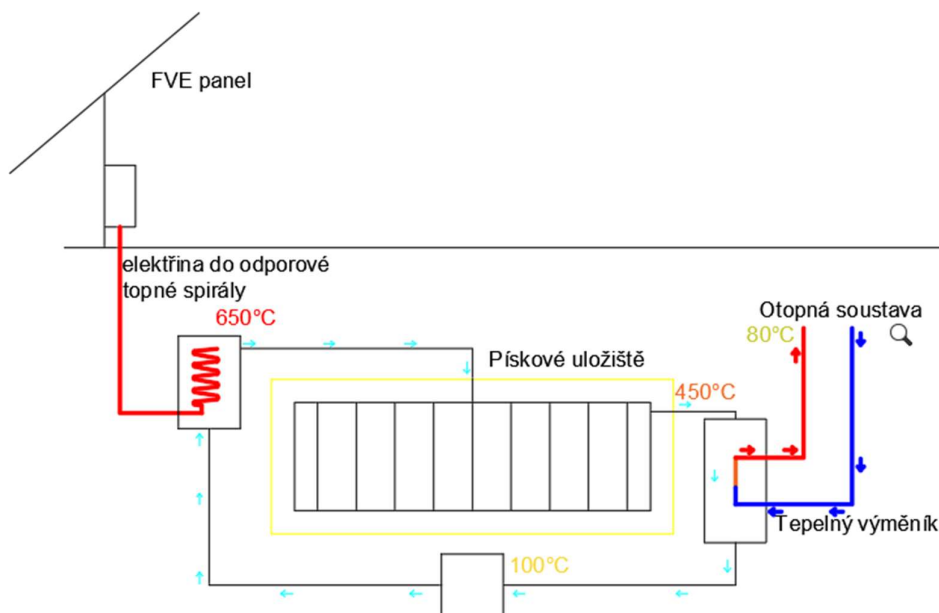
zdroj: vlastní zpracování

Dalším obnovitelným zdrojem energie jsou fotovoltaické panely (FVE). Fotovoltaické panely přeměňují sluneční energii na elektrickou energii, následně využitou pro vytápění objektů. Vyrobena elektrická energie může následně sloužit například na pohon elektrokotlů, zásobování elektrických spotřebičů elektrickou energií a osvětlení. Existuje několik druhů fotovoltaických panelů, včetně bezrámových, celoskleněných, barevných, průhledných, ohebných a oboustranných panelů. Každý druh má své výhody a nevýhody. Například celoskleněné panely jsou odolné vůči mechanickému poškození a vodě, nicméně mají vyšší pořizovací cenu. Ohebné panely lze připevnit na nerovné podklady, což představuje velikou výhodu u obloukových a netypických stavebních objektů, ovšem jejich účinnost je nižší než u tradičních panelů. Výhody fotovoltaiky zahrnují snížení emisí skleníkových plynů, energetickou nezávislost a úsporu nákladů na energii. Nevýhody zahrnují vyšší pořizovací náklady a nižší účinnost v porovnání s tradičními zdroji energie, například plynovými kotly a tepelnými čerpadly. Důležité faktory při výběru fotovoltaických panelů zahrnují orientaci domu ke slunci, výkon, účinnost, životnost, hmotnost a rozměry panelů. Fotovoltaické panely mají životnost až 40 let, přičemž jejich výkon klesá zhruba o 0,5 až 0,7 % za rok. Výkon panelů se měří v jednotkách Wp (wattpeak), kde každých 1 000 Wp vyrobí přibližně 1 MWh elektřiny za rok [44, 45]. Solární panely často doplňují topné systémy s Tepelnými čerpadly a elektrokotli. Nejsou vhodné jako samostatný zdroj energie vzhledem k omezené době

produkce energie, v závislosti na světle. Pro efektivní využití solárních panelů je nutné si uvědomit nutnost uskladnění elektrické energie. Existují několik způsobů skladování elektrické energie vyprodukované ze solárních panelů. Elektrická energie může být uskladněna a použita později v různých situacích, například při nízké spotřebě, či nedostatku sluneční radiace. Elektrickou energii lze skladovat následujícími třemi základními způsoby:

1. Tepelné skladování - Metoda zahrnuje ukládání tepla vyprodukovaného ze solárních panelů do izolovaných nádrží či materiálů, například písku [46]. Teplo je následně uchováváno a může být využito k vytápění nebo k přeměně na elektrickou energii pomocí tepelných elektráren [47, 48].
2. Mechanické skladování - Mechanické skladování zahrnuje přeměnu elektrické energie na mechanickou formu, například stlačený vzduch, či kinetická energie. Cílem je převedení nadbytečného elektrického výkonu na mechanický výkon. Mechanický výkon lze v případě potřeby zpětně převést na elektrickou energii [47, 48].
3. Akumulátory pro skladování solární energie – Energií zachycenou solárními panely lze skladovat v lithium-iontových, olověných, niklkadmiových, či nikmetalhydriových akumulátorech. Lithiové akumulátory jsou velmi populární, lehké, mají vysokou kapacitu a dlouhou životnost, ovšem jejich pořizovací cena je poměrně vysoká. Nejstarším a nejméně efektivním typem akumulátorů jsou olověné. Olověné akumulátory mají krátkou pracovní životnost a vyžadují pravidelnou údržbu [47, 48].

Obrázek 3: ukládání elektrické energie do písku



zdroj: vlastní zpracování, podle [46]

Sluneční energii využívají i takzvané solární kolektory. Na rozdíl od fotovoltaických panelů solární kolektory využívají sluneční energie k ohřevu vody pro vytápění. Solární

kolektory se skládají ze skleněné desky, pod níž se nachází absorpční vrstva, která sluneční záření absorbuje a přeměňuje na teplo. Teplo je následně přenášeno do vody proudící v topném systému. Solární kolektory se používají zejména pro ohřev vody v domácnostech, ale také pro vytápění budov a bazénů. Výhodami solárních kolektorů jsou stejně jako u ostatních obnovitelných zdrojů tepelné energie: úspory provozních nákladů a ekologie, ovšem navíc mají solární kolektory dlouhou životnost a snadno se instalují [45, 49].

4.2.3 Zdroje chladu

Návrh systému chlazení se provádí na základě projektové dokumentace, potřeb objektu s výkonem minimálně pokrývajícím tepelné zisky objektu a předpokládaných, či skutečných spotřeb energií na chlazení. V nerezidenčních objektech je potřeba chladu přibližně dvojnásobná než potřeba chladu v rezidenčních objektech. Pokud neexistuje projektová dokumentace zdroje chladu, či vypočtené potřeby chladu objektu, lze počítat s koeficientem $0,2 \text{ GJ/m}^2/\text{rok}$ u bytových domů a $0,4 \text{ GJ/m}^2/\text{rok}$ pro nerezidenční objekty. Pro lepší představu potřebného výkonu chlazení lze odhadnout potřebu přibližně 2-3 kW na bytovou jednotku o dispozici 2+kk. Vliv na spotřebu chlazení je dán typem užívání objektu (BD, administrativa, veřejné objekty), systémem clonění slunečního svitu (aktivní/pasivní) a vybaveností objektu, například serverovny, operační sály, laboratoře či sklady s požadavkem na konstantní teplotu. Následující tabulka ukazuje spotřeby chladu u různých objektů nerezidenční výstavby a jednoho bytového domu pro lepší pochopení rozdílnosti těchto sektorů. Čistá podlahová plocha vznikne, pro rezidenční objekty po odečtení plochy garáží, společných prostor a balkónů, či teras od hrubé podlahové plochy, a pro administrativní objekty po odečtení garáží od hrubé podlahové plochy.

Tabulka 5: Spotřeba chladu u realizovaných projektů

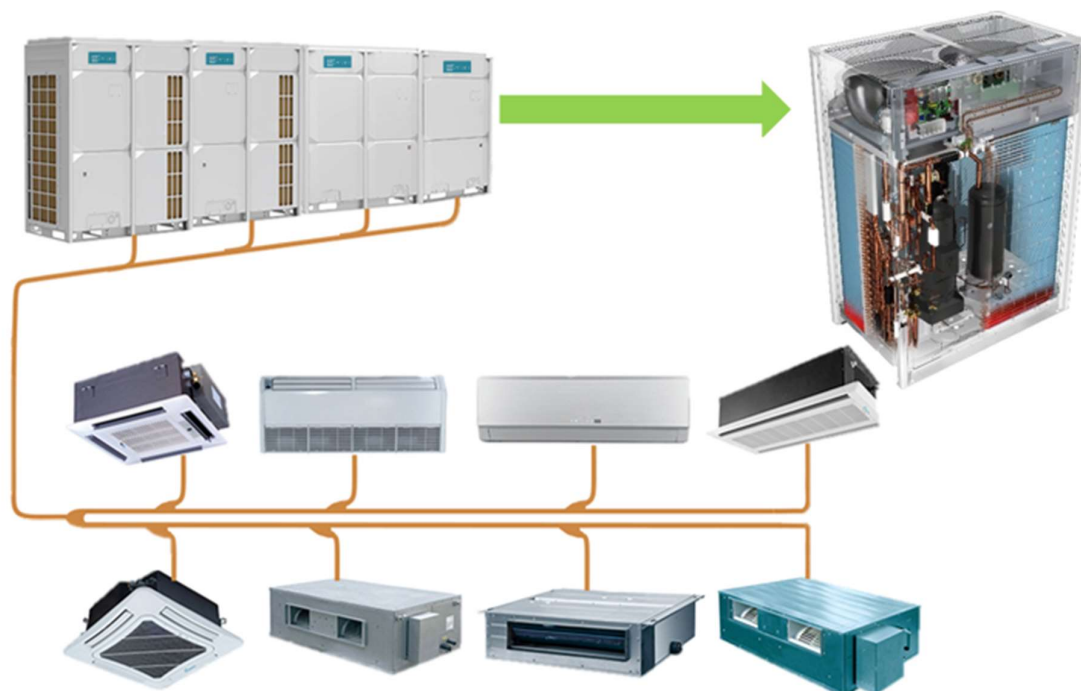
Typ objektu	m ²	spotřeba chladu GJ	spotřeba GJ/m ²
admin	33000	15584	0,472
admin	23500	5941	0,253
admin	11888	900	0,076
obchod	100000	27072	0,271
admin	10300	4100	0,398
admin	6844	649	0,095
BD	1735	133	0,077

zdroj: vlastní zpracování

Chladicí systémy rozdělujeme podle chladicího média na vodou chlazené soustavy a soustavy s chladivovou kapalinou. Vodou chlazené soustavy využívají jako zdroj energie Monoblokový chiller, nebo chiller + suchý chladič. Systémy využívající chladivovou kapalinu R 410A, či R32 dělíme na VRV (VRF), tedy jednotky s variabilním průtokem chladiva a Multi-split jednotky. VRV (Variable Refrigerant Volume) je typ klimatizačního systému, který umožňuje individuální řízení teploty v jednotlivých místnostech. Systém je schopen přizpůsobit množství chladiva podle aktuálních potřeb, což vede k energetické úspoře a vyššímu komfortu uživatelů. Multi-split jednotky jsou klimatizační systémy, umožňující připojení až několika vnitřních jednotek k jedné venkovní jednotce. Typicky se jedná o systém složený z jedné venkovní jednotky a 2 až 5 vnitřních jednotek, které mohou být umístěny v

různých místnostech. Každá vnitřní jednotka může být individuálně ovládána dálkovým ovladačem. Multi-split systém je ovšem omezen do pěti až osmi výškových metrů v závislosti na výrobci systému.

Obrázek 4: VRV (VRF) – jednotky s variabilním průtokem chladiva



Zdroj: vlastní zpracování na základě technických listů výrobců

Obrázek 5: Multi-split jednotka



Zdroj: vlastní zpracování na základě technických listů výrobců

VRV jednotky nebo chillery představují nejefektivnější volbu zdroje chladu pro nerezidenční objekty. Chillery nabízí oproti VRV jednotkám vyšší výkon, možnost předeřevu teplé vody přes odpadní teplo chilleru, bezpečný provoz zajištěný vodou jako energonositelem a malou hlučnost. VRV jednotky mají oproti chillerům: menší investiční náklady, vyšší účinnost, možnost topení i chlazením, nepotřebují centrální kotelnu a malé dimenze potrubí. VRV jednotky jsou oproti chillerům hlučnější a vzniká možnost úniku chladiva, které je jedovaté. Efektivita chladících systémů je udávána pomocí ukazatele EER (Energy Efficiency Ratio) nebo SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio). Ukazatele udávají kolik chladícího výkonu získáme při spotřebě jedné kW elektrické energie. U chillerů se ukazatel EER pohybuje v rozmezí 2-4, zatímco u VRV jednotek 3-4. Porovnání investičních a provozních nákladů zobrazuje Tabulka 6.

Tabulka 6: Porovnání investičních a provozních nákladů chladícího systému

Chiller + suchý chladič		VRV jednotky	
Popis technologie	Cena bez DPH [Kč]	Popis technologie	Cena bez DPH [Kč]
Investiční náklady:			
Jednotka chlazení včetně příslušenství	1 680 000	Venkovní jednotky LG	2 400 000
Technologie chlazení	3 012 000	Technologie chlazení	0
Měření a Regulace	462 000	Měření a Regulace	60 000
Logistika, UDP, revize, PD	198 000	Logistika, UDP, revize, PD	198 000
Propojení primárního okruhu	960 000	Rozvody k vnitřním jednotkám a montáže	2 240 000
Rozvody chladu po objektu	1 848 000	Vnitřní jednotky	3 000 000
Koncové jednotky včetně zapojení	4 830 000		
Cena celkem bez DPH	12 990 000	Cena celkem bez DPH	7 898 000
Provozní náklady [Kč/sezónu]		Provozní náklady [Kč/jednotku/sezónu]	
Kontrola stavu a chodu zařízení, optimalizace a čištění suchého chladiče	48 000	Kontrola stavu a chodu zařízení, chemické čištění vnitřní klimatizační jednotky - hradí majitel jednotky	850
Kontrola stavu a chodu zařízení - vnitřní jednotky	0	Kontrola stavu a chodu zařízení, chemické čištění vnější jednotky VRV + desinfekce [Kč/ jednotku]	5 500
Revize vnitřní klimatizační jednotky, včetně zápisu do knihy	1 600	Revize vnitřní klimatizační jednotky, včetně zápisu do knihy - jednorázově	1 400
Doprava po Praze	0	Doprava po Praze - jednorázově	400
Servisní zásah, oprava jednoho technika [Kč/hodinu]	0	Servisní zásah, oprava jednoho technika [Kč/hodinu]	600
Cena celkem bez DPH	49 600	Cena celkem bez DPH	62 300

zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 6 vychází z modelového příkladu, kde hodnota čisté podlahové plochy je rovna 5800 m^2 , požadovaný výkon chlazení se rovná 310 kW a v objektu se nachází 140 bytových jednotek a 20 komerčních jednotek. Z Tabulky vyplívají skoro dvojnásobné

pořizovací náklady u chilleru v porovnání s VRV jednotkou. Dodavatelé chillerů ovšem často nabízejí zdarma služby spojené s instalací a provozem zařízení. Údržba chillerů je zároveň jednodušší a není třeba pracovat s chladivem, jako u VRV jednotek. Celková cena provozních i pořizovacích nákladů je vztažena pro firmu realizující a provozující zařízení. U VRV systémů vznikají náklady navíc, které hradí majitel, či nájemník daných prostor v závislosti na jejich vzájemné nájemní smlouvě, například: Kontrola stavu a chodu zařízení, chemické čištění vnitřní klimatizační jednotky a Servisní zásah či oprava jednoho technika. Náklady navíc u VRV jednotek nejsou započítány v celkové ceně provozních nákladů, jelikož je nehradí firma realizující či provozující chladicí zařízení.

Obrázek 6: Porovnání chillerů



**monoblokový
chiller**

chiller



suchý chladič



Zdroj: vlastní zpracování na základě technických listů výrobců

4.3 Systémy vytápění

Systém vytápění se skládá ze tří hlavních částí: zdroje tepelné energie, distribuční síť a koncových prvků. Výše zmíněné zdroje tepelné energie slouží pro zajištění pokrytí potřeb tepla, teplé vody a chladu navržených projektem podle ČSN EN 12831 [50]. Podle vzájemné polohy zdroje tepelné energie a vytápěných prostor dělíme systémy na lokální, etážové, ústřední a dálkové.

Distribuční síť má za úkol dopravit tepelnou energii ke koncovým prvkům, umístěných ve vytápěných prostor. Skládá se z potrubí a armatur. Soustava musí být odvodušněna za pomoci odvodušňovacího potrubím musí být umožněno vypouštění soustavy a integrace do stavby. Oběh topné vody v systému může být přirozený, nebo nucený pomocí oběhových čerpadel. Při lokálním vytápění se energonositel, zdroj tepla, přenos tepla i koncový prvek nachází v jedné místnosti. Pod lokálním vytápěním si můžeme představit například: kamna na tuhá paliva, či elektrické přímotopy. Etážové vytápění funguje na stejném principu jako lokální, ovšem všechny procesy se dějí na úrovni jednoho patra. Etážové vytápění je využíváno v případě, že každé patro využívá jiný majitel. U ústředního vytápění se zdroj tepla a všechna technologie potřebná k jeho efektivnímu a správnému fungování nachází v jedné místnosti (kotelně). Následně je tepelná energie distribuována ke koncovým prvkům, umístěným v jednotlivých vytápěných zónách. Ústřední vytápění je nejčastěji využívaný systém v české republice pro bytové domy i komerční budovy. Dálkové vytápění charakterizují dlouhé vzdálenosti mezi zdrojem tepelné energie a vytápěným prostor. Dálkovému vytápění se také říká takzvané Centrální zásobování teplem (CZT). Kdy energetický zdroj a přípojka až k revizní šachtě jsou ve vlastnictví teplárny. Centrální zásobování teplem má však jednu velkou nevýhodu oproti předchozím třem systémům, a to velké teplotní ztráty způsobené délkou potrubí mezi energetickým zdrojem a vytápěným objektem [20, 51].

Systémy vytápění můžeme dělit také podle teplotnosné látky, tedy energonositele, na teplovodní, parní a horkovzdušné. Teplovodní systémy se využívají u lokálních, etážových a ústředních způsobů vytápění. Teplota oběhové vody dosahuje maximální teploty 115°C, běžně se však pohybuje mezi 60-80°C. Teplovodní systémy jsou využívány v domácnostech, komerčních budovách i průmyslových prostorech. Horkovzdušné systém se skládá z horkovodního kotle, na který jsou napojeny uzavřené topné sítě s teplotou oběhové vody nad 115°C. Horkovzdušné systémy zajišťují mimo pokrytí tepelných ztrát i hygienické požadavky dle norem ČSN 07 7401 a ČSN EN 12953-10. Teplovzdušné systémy se dnes využívají i u rodinných domů, kde je využit systém nucené výměny vzduchu za pomoci vzduchotechniky. Při volbě teplovzdušného systému je žádoucí navrhnout vzduchotechnickou jednotku umožňující zpětné získávání tepla z odpadního vzduchu [26, 51].

Parní systémy využívají páru jako energonositele. Oproti vodě má pára nízkou hmotnost, malý hydrostatický tlak a pro dopravu potrubím nepotřebuje oběhová čerpadla. Pro vytápění se nejčastěji využívá voda sytá, která je v termodynamické rovnováze se svou kapalinou. Pára o vhodném tlaku je vedena do koncových prvků, tedy otopných těles, kde předává své teplo, ochlazuje se a sráží v kondenzát. Kondenzát je následně veden zpět do kotle buď přímo, nebo před přečerpávací zařízení.

Druhy a využití parních systémů vyplývá z Tabulky 5. Oproti vodním systémům mají parní spousta výhod, například: rychlejší zátap, nehrozi zamrznutí soustavy, nižší pořizovací náklady a možnost využití kondenzátu tepla pro ZZT. Mezi nevýhody patří: obtížná regulace soustavy, větší povrchová teplota otopných těles, kratší životnost potrubí, větší tepelné ztráty, tedy větší provozní náklady, vysoká hlučnost potrubí při topení a nutnost vyspádování z důvodu odvodu kondenzátu [20, 26].

Tabulka 7: Rozdělení parních systémů vytápění

typ systému	tlak páry [kPa]	Využití
nízkotlaké	do 70	menší objekty
středotlaké	nad 70	průmyslové objekty, CZT
podtlakové	nižší než atmosférický	Výškové budovy

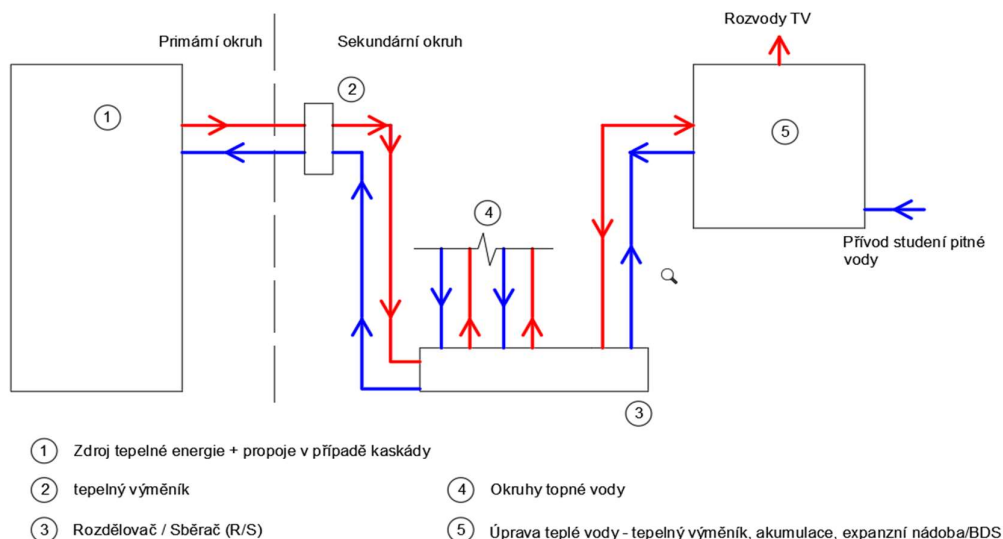
Zdroj [26]

4.3.1 Technologie kotelny

Technologie kotelny sestává ze všech zařízení potřebných pro správnou a efektivní funkci otopného systému. Obecně lze otopný systém rozdělit na primární okruh, sekundární okruh, rozvody ke koncovým prvkům a koncové prvky, tedy otopné tělesa. Primární okruh propojuje zdroje energie, například vnější a vnitřní jednotku tepelných čerpadel, kotlový okruh před napojením na rozdělovač a sběrač, či napojení výměňkové stanice u CZT k tepelnému výměníku. Kotelny se dělí také podle výkonu energetického zdroje do tří kategorií podle normy ČSN 07 0703 [52].

1. Kotelny III. kategorie: - Kotelny se jmenovitým tepelným výkonem jednoho kotle od 50 kW do součtu jmenovitých tepelných výkonů kotlů 500 kW včetně a kotelny se součtem jmenovitých tepelných výkonů kotlů větším než 100 kW, i když ani jeden z nich nedosahuje jmenovitého tepelného výkonu 50 kW [52].
2. Kotelny II. kategorie: Kotelny se součtem jmenovitých tepelných výkonů kotlů nad 500 kW do 3,5 MW včetně [52].
3. Kotelny I. kategorie: Kotelny se součtem jmenovitých tepelných výkonů kotlů nad 3,5 MW [52].

Obrázek 7: Schéma kotelny



zdroj: vlastní zpracování

Největší vliv na cenu kotelny má volba samotného energetického zdroje. Volbě energetického zdroje předchází výpočet požadovaného výkonu z tepelné bilance objektu, ze které jsou zjištěny potřeby tepla na vytápění, ohřev teplé vody a chlazení. Volba energetického zdroje má ovšem výrazný vliv na cenu jednotlivých komponent kotelny. Například při volbě tepelného čerpadla je zapotřebí myslet na nákladnost primárního okruhu, tedy napojení vnější a vnitřní jednotky. Cena Primárního okruhu pro větší objekty se u tepelných čerpadel pohybuje v rádech statisíců Kč. Dalším důležitým faktorem ovlivňujícím cenu kotelny je dimenze potrubí v sekundárním okruhu. Dimenzi potrubí lze vypočítat na základě výkonu energetického zdroje a teplotním spádu soustavy. Prvním krokem je spočítat průtok teplotnosné látky v potrubí a na jeho základě zvolit odpovídající dimenzi potrubí. Průtok teplotnosné látky vypočítáme podle Rovnice 1. Na základě vypočítaného průtoku odečteme z tabulky podle normy ČSN 75 5455 dimenzi potrubí [53]. Pro přehlednost a urychlení návrhu dimenze potrubí byla vytvořena tabulka: Tabulka 8: Návrh dimenze potrubí.

Rovnice 1: výpočet průtoku v potrubí, zdroj [50]

$$Q = \frac{P}{c * (\theta 1 - \theta 2)}$$

Kde Q – průtok [l/s]

P – výkon energetického zdroje [kW]

$\theta 1$ – teplota teplotnosné látky ve výstupu [°C]

$\theta 2$ – teplota teplotnosné látky ve zpátečce [°C]

C – měrná tepelná kapacita vody (4,17) [-]

Tabulka 8: Návrh dimenze potrubí

Výkonové, teplotní a tlakové parametry		
Výkon ÚT kW	200kW	
Teplota ÚT výstup/zpátečka °C	70°C	55°C
Dimenze přípojných potrubí		
Název sekce	Průtok (l/s)	Dimenze potrubí (DN)
Okruh ÚT	3,2l/s	65

zdroj: vlastní zpracování, podle [53]

Z Tabulky 6 vyplývá dimenze potrubí DN 65 pro kotelnu s výkonem 200 kW a teplotním spádem 70/55 °C. Pro výpočet dimenze potrubí je zapotřebí vyplnit výkon ÚT, tedy vytápění a navrhované teploty vstupu a zpátečky. Po vyplnění se automaticky vypočte průtok, podle výše uvedené rovnice a na základě průtoku je automaticky vybrána dimenze potrubí podle normy ČSN 75 5455 [53].

Dimenze potrubí primárního okruhu, především u tepelných čerpadel zároveň výrazně ovlivňuje cenu naplnění soustavy chladivovou směsí. V dnešní době se používá směs ethylenglykolu s vodou v poměru jedna ku třem, či jedna ku dvěma. U sekundárního okruhu, tedy trubních rozvodech v kotelně hraje hlavní roli v ceně samotné potrubí včetně Izolace. Z již realizovaných projektů při potrubí DN 50 lze počítat s cenou přibližně 1400 Kč/m. Cenová databáze URS počítá s cenou 1090 Kč/m samotného potrubí a 163 Kč/m izolace, což se při sečtení rovná 1253 Kč/m izolovaného potrubí. Cena potrubí zahrnuje v obou případech materiál potrubí, veškeré spoje, vruty, objímky, ale také práci dělníka a Řemeslníků. V případě delších rozvodů a propojů z kotelny do vytápěných prostor hraje cena potrubí velkou roli ve finální ceně celého projektu. Rozdílnost mezi reálnými cenami a cenovou databází URS je nejspíše způsobena současnou volatilitou trhu a dostupností materiálů.

Další klíčovou položkou v kotelně představuje Rozdělovač a sběrač, označovaný R/S. Rozdělovač a sběrač rozvádí teplonosnou látku do jednotlivých topných okruhů a sbírá ochlazenou teplonosnou látku zpět k energetickému zdroji, kde je teplonosné látce opět dodána tepelná energie [27]. Největší roli v ceně Rozdělovače a sběrače hraje počet větví, tedy topných okruhů a dimenze samotného rozdělovače a sběrače. Dimenze je závislá na výkonech, vyžadovaných v jednotlivých větvích. Pro větší objekty, například administrativní budovy a větší bytové domy, jsou běžné dimenze jednotlivých větví DN 50 a větší. Pro samotný rozdělovač a sběrač jsou běžné dimenze DN80 a větší. Nejčastěji vyskytovaný počet větví pro objekt, kde se kombinují kancelářské prostory a bytové jednotky, se pohybuje mezi třemi až pěti větvemi, v závislosti na členění objektu, četnosti jednotlivých jednotek a počtu pater. Cena rozdělovače a sběrače se třemi větvemi se ze získaných dat z realizovaných projektů pohybuje mezi 500 - 600 tis. Kč. Cena zahrnuje veškeré potřebné armatury, měřiče tepla a tlaku, oběhová čerpadla, polepy štítků a obecně všechnu technologii potřebnou pro chod topného systému. Při větším počtu větví lze počítat s náklady 100 tis. Kč za každou další větev při dimenzi DN 50, přičemž s nárůstem dimenze rostou i náklady v hodnotě přibližně 25 tis. Kč za každý stupeň dimenze (DN 65, DN 80, DN 100,...).

Porovnání s cenovou databází URS v programu KROSS je velice složité, jelikož veškeré komponenty jsou ceněny zvláště i s vykonanou prací řemeslníků. Praxe ukazuje výhodnost nacenění materiálu a provedených prací, potřebných pro montáž, odděleně. Z KROSSU lze data získat a rozpočítat manuálně, ovšem to vede k velké pracnosti a administrativní zátěži, což není ekonomicky efektivní. Součástí trubního systému musí být vždy Expanzní nádoba, sloužící pro vyrovnání tlaku vody v otopné soustavě způsobenému rozdílnou teplotou vody na rozvodném potrubí a zpátečce. Cena expanzní nádoby do 200 l v praxi i URS databázi se pohybuje kolem 30 tis. Kč. Při nutnosti většího objemu expanzní nádoby, v závislosti na výkonu energetického zdroje, je nutno požádat výrobce o cenovou nabídku. Při výkonu kotelny nad 300 kW již není expanzní nádoba vhodná a používá se automatický doplňovací systém, označovaný BDS. Automatický doplňovací systém je oproti expanzní nádobě uzavřený a pracuje na základě naměřených tlaků v soustavě. Náklady BDS systému jsou mnohonásobně větší a pohybují se v rozmezí 120 - 200 tis. Kč.

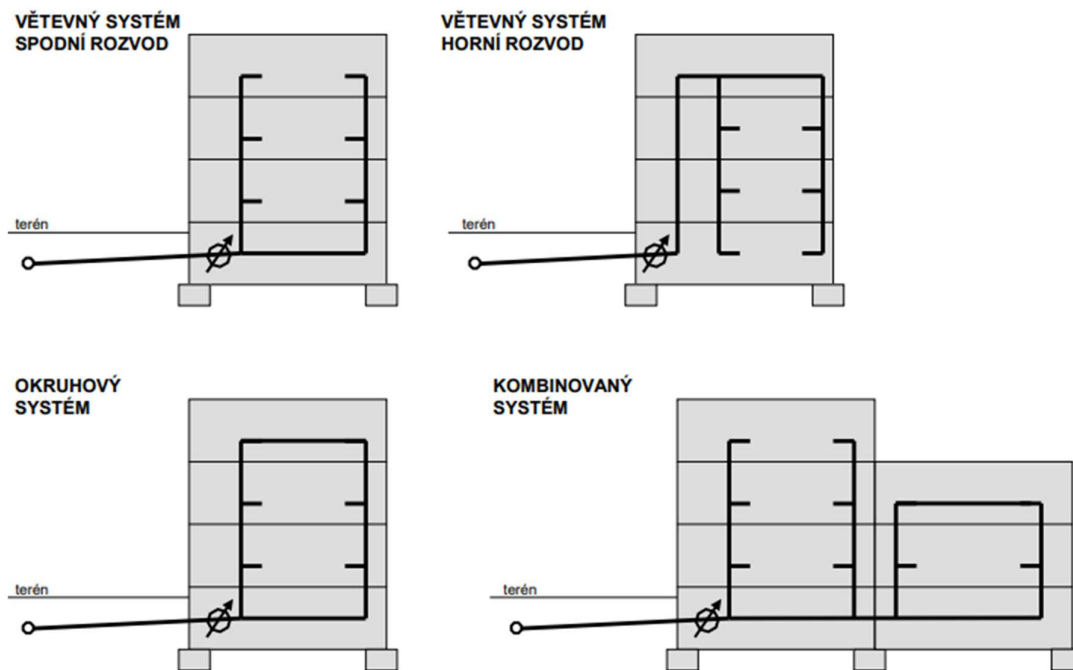
Významnou roli v ceně kotelny hrají Akumulační nádoby na topnou vodu, chladivovou látku i teplou vodu. Zkušenosti z již realizovaných projektů udávají cenu za akumulaci nádob topné vody přibližně 12 tis. Kč za každých sto l objemu nádrže, například akumulaci nádrže na topnou vodu o objemu 1000 l bude stát přibližně 100 tis. Kč. Akumulační nádoby na teplou vodu a chladivovou látku jsou znatelně dražší, jelikož je zapotřebí myslet na do ohřev a udržení kvality teplé vody a potřebu kvalitnější izolace pro chladivovou látku. Cena akumulací nádob na teplou vodu a chladivovou látku se bude pohybovat kolem 15 tis. Kč za každých sto l objemu. Oproti nákladům získaným z praxe, cenová databáze URS počítá s náklady přibližně o třetinu nižšími. Rozdílnost ceny může být způsobena volatilitním trhem a nedostupností materiálů. Cenová databáze ovšem nepočítá s režijními náklady firem, realizujících jednotlivé projekty.

4.3.2 Rozvody z kotelny ke koncovým prvkům

Rozvody z kotelny představují trubní síť, zajišťující nejen přenos tepelné energie od energetického zdroje ke koncovým prvkům, tedy otopným tělesům, ale také dopravu pitné vody k jednotlivým výtokům či zařízením. Vnitřní rozvody musejí zajistit dostatečné množství vody, musí být zajištěn dostatečný přetlak, hygienická nezávadnost, těsnost potrubí i armatur, ochrana proti mrazu a vysokým teplotám, ale i životnost potrubí v souladu s životností samotného objektu. Systém zásobování pitnou vodou začíná u hlavního uzávěru vody a končí u jednotlivých výtokových armatur. Dle způsobu dopravy dělíme systém na jednotný nebo oddílný [54]. V případě jednotného systému se využívá jedna potrubní síť pro distribuci teplé i studené vody. Voda je smíchávána ve stejných potrubích, což může vyvolávat potíže s regulací teploty u koncových spotřebičů. Navzdory tomu je jednotný systém považován za jednodušší na instalaci a může snížit náklady na potrubí. Naopak oddílný systém pracuje s oddělenými potrubními sítěmi pro studenou a teplou vodu. Teplá voda je obvykle distribuována z ohříváče vody nebo jiného zdroje tepla, zatímco studená voda pochází přímo z vodovodní sítě. Systém umožňuje lepší kontrolu nad teplotou vody u každého spotřebiče, což může být klíčové, zejména v oblastech, kde je vyžadována přesná regulace teploty, například ve sprchách nebo v kuchyni [9, 27].

Systémy rozvodů můžeme rozdělit také podle tvaru sítě na větvené, okruhové, smíšené, horní či dolní a systémy s požárním vodovodem zavodněným či nezavodněným. Větvené rozvody jsou nejčastěji využívány pro svou ekonomickou výhodnost, nicméně vznikají problémy s tlakem v soustavě a mohou zde vznikat úseky s minimálním odběrem, což vede ke zhoršení kvality vody. Okruhové systémy jsou vhodné pro objekty s nutností plynulé dodávky vody, například nemocnice, hotely a laboratoře. Okruhové a smíšené systémy lze různě kombinovat, čímž vznikají systémy kombinované. Nerezidenční sektor je charakteristický vysokými budovami, kde nastává problém s tlakovými poměry, tedy dopravou tepelné energie do horních pater objektu a je tedy nutno navrhnout zesilovací stanici s rozdělením na tlaková pásma [54].

Obrázek 8: Systémy rozvodů dle tvaru

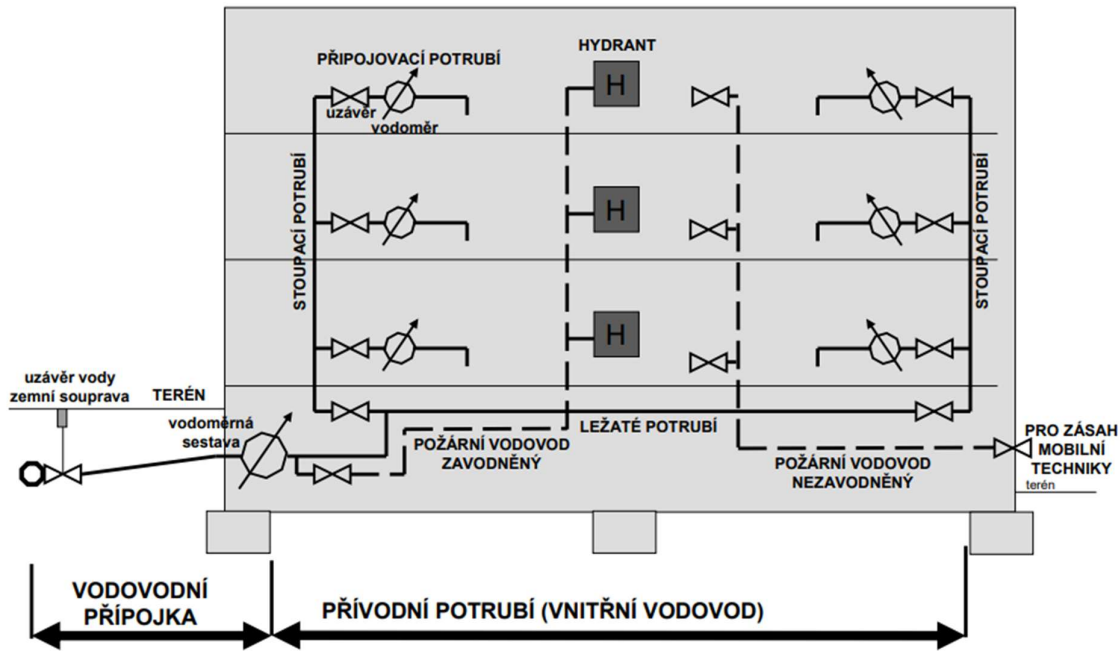


Zdroj [54].

Vnitřní rozvody dělíme na čtyři hlavní části: ležaté potrubí, stoupací potrubí, připojovací potrubí a cirkulační potrubí. Ležaté potrubí je vedeno pod stropem přízemí či suterénu, v technickém podlaží nebo v posledním nadzemním podlažím, například na půdě. Pokud je ležaté potrubí vedeno v nevytápěných prostor, je třeba myslet na možný pokles teploty v zimním období. Teplota v místnosti nesmí klesnout pod 5°C. Ležaté potrubí se nejčastěji zavěšuje pod strop a upevňuje se objímkami podle technických předpisů výrobce. Potrubí musí být umožněna dilatace, které je dosaženo za pomoci pevných a kluzných objímek a takzvanou kompenzací. Kompenzace potrubí je proces, využívající se k vyrovnání změn délky potrubí vlivem tepelné dilatace. Proces zahrnuje použití kompenzátorů, které umožňují potrubí dilatovat, prodlužovat se nebo smršťovat, aniž by došlo k poškození potrubí nebo jiných součástí systému [55]. Ležaté potrubí musí být vypsádováno k místu vypouštění

ve sklonu tři promile a každé stoupací potrubí musí být samostatně uzavíratelné a vypustitelné, což umožňují uzávěry potrubí a výtoky [54].

Obrázek 9: Schéma vnitřního vodovodu



Zdroj [54].

Stoupací potrubí je svislá část vnitřního vodovodu, propojující jednotlivá podlaží v objektu. Potrubí je vedeno v instalační šachtě, instalační příčce, či ve drážce ve zdi. Napojení na ležatý rozvod musí vyloučit přenos hmotnosti “stoupačky“ na ležatý rozvod a možnost dilatace stoupacího i ležatého potrubí. Stoupací potrubí se upevňuje na základě technických předpisů výrobce tak, aby byla umožněna dilatace potrubí, stejně jako u ležatého potrubí. Připojovací potrubí spojuje stoupací potrubí a výtakovou armaturu, například umyvadlo a sprchu a je vedeno ve drážce ve zdi, v instalační příčce, či v podlaze. Ovšem při vedení v drážce ve zdi se potrubí nesmí napevno zazdíť, z důvodu vzniku možného poškození, způsobeného délkovou roztažností. Ochranou proti poškození u kratších rozvodů může být pouze izolace potrubí [54]. Pro společné vedení vody je zapotřebí dodržet následující technické zásady:

1. Připojovací potrubí teplé vody se umísťuje nad připojovací potrubí studené vody,
2. Při pohledu na armaturu je přívod studené vody vpravo,
3. Cirkulační potrubí ve stoupacích vedeních je instalováno mezi potrubí studené a teplé vody,
4. Potrubí vedené v drážkách musí zůstat po zakrytí volné, například za pomoci odnímatelných krytů,
5. Ležaté potrubí studené vody je nutné spádovat k vodoměrné sestavě či domácí vodárně, kde by měla být vypouštěcí armatura,
6. Rozvody teplé vody jsou vyspádovány k energetickému zdroji, pokud nejsou vedeny společně s potrubím studené vody,

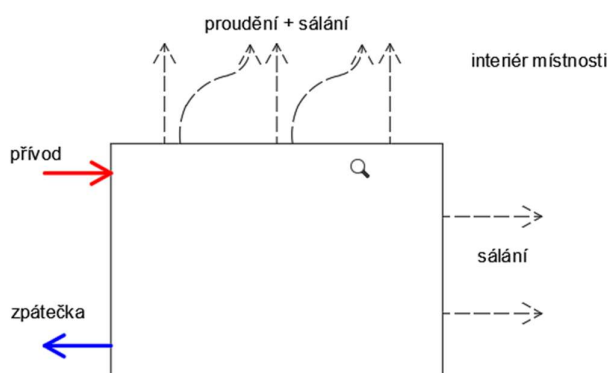
7. Úseky potrubí, neumožňující odvodušnění do stoupacího potrubí, je zapotřebí odvodušnit samostatným odvodušňovacím ventilem,
8. Úseky, neumožňující odvodnění funkčními výtoky, musí být odvodněny za pomoci odvodušňovacích armatur [54].

Nedílnou součástí vnitřního vodovodu jsou uzávěry na potrubí. První uzávěr se nachází již na vodoměrné sestavě, na vstupu studené vody do objektu. Další uzávěry se nachází před každým stoupacím potrubím delším než dvě podlaží, na připojovacím potrubí zásobujícím samostatnou účelovou nebo bytovou jednotku, před související skupiny zařizovacích předmětů (pánské toalety, dámské toalety,...), před jednotlivými zařizovacími předměty pevně připojenými na vodovod (sprchový kout), a před každým technickým či technologickým zařízením (ohřívače teplé vody). Dále se uzávěry také umísťují pro rozdělení rozsáhlých vnitřních vodovodů nebo pro části vodovodů, využívaných v letním provozu, vedených mimo stavební objekt, například na zalévání [54]. Diplomová práce se zabývá především návrhem energetického zdroje a technologie kotelny, proto se více nezabývá vnitřními rozvody vody.

4.3.3 Otopná tělesa

Otopná tělesa slouží k předávání tepla do vytápěných prostor prostřednictvím teplosměnných ploch buď přirozeným prouděním vzduchu nebo sáláním. Existují různé druhy otopných těles, například desková, článková nebo trubková tělesa. Desková otopná tělesa přinášejí několik výhod a nevýhod do moderního vytápění interiérů. Mezi výhody patří esteticky příjemný design, který se dobře hodí do různých interiérů, a rychlá schopnost ohřát místnost. Jsou také variabilní, s různými tvary a rozměry, což umožňuje flexibilní instalaci. Desková otopná tělesa jsou efektivní a energeticky úsporná, často vybavena regulací teploty a termostatem. Naopak nevýhodou může být omezený povrch pro vyzařování tepla a některé modely mohou být citlivější na prach, což vyžaduje pravidelnou údržbu. Vzhledem k energetickému zdroji jsou desková otopná tělesa vhodná pro elektrické vytápění, což může být výzva v oblastech s vysokými náklady na elektřinu. Desková otopná tělesa předávají teplo prouděním či sáláním [27, 51].

Obrázek 10: Princip otopného tělesa



zdroj: vlastní zpracování, podle: [51]

Článková topná zařízení jsou tvořena jednotlivými články, které mohou být samostatně regulovány, což umožňuje individuální řízení teploty v různých částech budovy. Článková

otopná tělesa mají schopnost rychle zahřát prostor a nabízejí větší flexibilitu při přizpůsobování teploty podle aktuálních potřeb. Hlavní nevýhodou článkových otopných těles představuje náročnost jejich instalace a údržby. Rovněž vyžadují elektrický zdroj energie, z čehož vyplývá nutnost sledovat vývoj cen elektřiny a zvážit celkové náklady na provoz v dlouhodobém horizontu. Celkově vzato jsou článková otopná tělesa moderním a účinným řešením pro vytápění interiérů, zejména v prostorech, kde je důležitá flexibilita v regulaci teploty a designová estetika. Jejich využití však může vyžadovat důkladné zhodnocení energetické efektivity a nákladů na provoz v kontextu konkrétních regionálních podmínek [27, 56].

Trubková otopná tělesa jsou tvořena trubkami, naplněnými horkou vodou nebo parou, což umožňuje přenos tepla do okolí. Trubková otopná se umísťují podél stěn nejčastěji pod okny, kde vytvářejí zóny tepla, snižují únik tepla a zároveň přispívají k celkovému komfortu interiéru. Výhodou trubkových otopných těles je jejich schopnost nabízet rovnoměrné vytápění v celé místnosti. Efektivita a nízké náklady na provoz charakterizují trubkové otopné těles ve srovnání s elektrickými topnými systémy. Díky své jednoduché konstrukci a spolehlivosti se trubková otopná tělesa mohou snadno integrovat do různých architektonických prostředí, od moderních až po tradiční. Nicméně některé nevýhody trubkových otopných těles mohou zahrnovat nutnost řádné údržby a pravidelné odvzdušňování systému pro zajištění jeho optimální účinnosti. Navíc pokud by měly být nainstalovány v rekonstrukcích nebo starších budovách, může to vyžadovat určité úpravy v konstrukci [27].

Otopná tělesa lze nahradit systémem plošného vytápění, který funguje na menším teplotním spádu díky větší teplosměnné ploše. Plošné systémy vytápění využívají konstrukce ohraničující vytápěný prostor, pro předání tepelné energie do vytápěných prostor. Plošné systémy fungují na nízkém teplotním spádu a jsou vhodné pro spojení s nízkopotenciálními energetickými zdroji, například tepelnými čerpadly a solárními panely. Otopná plocha je zabudována do stavební konstrukce, nejčastěji zalita betonovou mazaninou u těžkých plovoucích podlah. Plošné vytápění může být zajištěno, buď systémem trubních rozvodů, ve kterých proudí teplotonosná látka, nebo plošnými rohožemi napájenými elektrickou energií [27, 51].

4.4 Energetická bilance

Prvním krokem pro návrh efektivního a ekonomického zdroje energie a vhodného otopného systému je správný výpočet potřeby tepla pro vytápění a chlazení. Výpočet ovlivňují následující faktory: venkovní klima, druh a velikost objektu, dostupnost paliva, tepelně technické vlastnosti konstrukcí, způsob a četnost větrání a financování projektu. Návrh otopného systému závisí na konkrétních potřebách a podmínkách zkoumaného objektu, nicméně u každého otopného systému je vzhledem k současné energetické situaci snaha o minimalizaci provozních i investičních nákladů. Pro návrh hospodárného a udržitelného otopného systému, včetně efektivního zdroje energie s minimálními emisemi, se používá výpočet tepelného výkonu podle ČSN EN 12831 [50].

Výpočet potřeby tepla pro vytápění využívá dynamické, či zjednodušené metody. Využitím dynamických metod dosáhneme nej přesnějších výsledků, nicméně jsou velmi náročné na zpracování. Dynamické metody se proto využívají pouze při řešení atypických, náročných a rozsáhlých objektů. Zjednodušené metody jsou obvykle méně přesné než dynamické, ovšem jsou rychlejší a snadněji aplikovatelné. Následující kapitola se zaměřuje na zjednodušené metody výpočtu potřeby tepla pro vytápění a rozdílnost výpočtu pro rezidenční a nerezidenční objekty dle platných norem [50].

V roce 2009 byly zrušeny dvě normy, které se zabývaly výpočtem potřeby tepla pro vytápění budov – ČSN EN ISO 13790 a ČSN EN 832. Obě normy měly podobný výpočetní postup. Norma ČSN EN ISO 13791 zohledňovala vícezónový model s přerušovaným vytápěním, kde výsledkem výpočtu byla ustálená energetická bilance. Výpočet podle ČSN EN ISO 13791 probíhal v časovém úseku jednoho měsíce a byl vhodný pro porovnání energetických úspor [50].

Obě výše zmiňované normy byly postupem času zrušeny a nahrazeny novou normou ČSN EN 52016-1, která je platná od roku 2019. Nová norma se zabývá energetickou náročností budov a výpočtem potřeby energie na vytápění a chlazení, vnitřní teploty a citelné a latentní tepelné výkony, zatímco normy ČSN EN Výpočet podle ČSN EN 832 zohledňoval vícezónový i jednozónový model a skládal se z tepelných ztrát a zisků, výpočtovým obdobím byl jeden rok, či otopné období [57]. ISO 13790 a ČSN EN 832 se zabývaly pouze výpočtem potřeby energie na vytápění [57]. Norma ČSN EN 52016-1 sjednocuje postup výpočtu předcházejících norem, ovšem s jednotlivými zónami vícezónového modelu lze uvažovat jako s vzájemně propojenými, či nepropojenými. Výsledkem výpočtu je stejně jako u předcházejících norem potřeba tepla pro vytápění budovy. Novou normu lze využít jak v rezidenčním sektoru, tedy pro rodinné a bytové domy, tak i v nerezidenčním sektoru [57].

Hlavním rozdílem při stanovení potřeby tepla pro vytápění, či chlazení objektů rezidenční a nerezidenční výstavby je zónování modelu. Dle účelu jednotlivých místností se liší jejich vnitřní návrhová teplota dle ČSN EN 12831. Při výpočtu potřeby tepla pro vytápění u rodinného domu lze vnitřní návrhovou teplotu všech místností sjednotit a počítat s jednozónovým modelem. U bytových domů a nerezidenčních objektů není slučování zón možné, pokud plocha slučované zóny tvoří více než 1 procento z užitné plochy budovy [58]. Takový model budovy se označuje jako vícezónový. Cílem výpočtu podle výše uvedených norem je stanovit tepelnou bilanci objektu. Tepelná bilance ukáže potřeby objektu na tepelnou

a chladicí energii a podrobně rozpočítá tepelné zisky a ztráty pro optimální návrh energetického zdroje. Tepelné ztráty objektu dělíme na ztráty prostupem konstrukcemi ohraničující objekt či zónu a ztráty větráním přirozeným nebo nuceným. Tepelné zisky dělíme na zisky od lidí, spotřebičů, osvětlení a solární zisky [59]. Tepelná bilance se vypočítá podle Rovnice 2.

Rovnice 2: Roční potřeba tepla pro vytápění, zdroj [56]

$$Q_{H,nd,r} = \sum Q_{H,nd,m} \quad [kWh]$$

Kde: $Q_{H,nd,m}$ – měsíční potřeba tepla pro vytápění [kWh].

Měsíční potřebu tepla pro vytápění získáme z rozdílu tepelných ztrát a zisků podle Rovnice 3. Tepelné zisky je nejprve nutné vynásobit faktorem využitelnosti tepelných zisků $\eta_{G,H}$.

Rovnice 3: Měsíční potřeba tepla pro vytápění, zdroj [56]

$$Q_{H,nd,m} = Q_{H,is,m} - Q_{H,gn,m} * \eta_{G,H} \quad [kWh]$$

Kde: $Q_{H,is,m}$ – měsíční tepelné ztráty [kWh],

$Q_{H,gn,m}$ – měsíční tepelné zisky [kWh],

$\eta_{G,H}$ – faktor využitelností tepelných zisků [-].

4.4.1 Tepelné ztráty objektu

Tepelné ztráty závisí na tepelně-technických vlastnostech obálky budovy, tedy obvodových konstrukcích ohraničující tepelné zóny. Tepelně-technickými vlastnostmi se zabývá norma ČSN 73 0540. Nejdůležitějším tepelně-technickým ukazatelem je takzvaný součinitel tepelné vodivosti označovaný λ , který musí udávat výrobci pro všechny stavební materiály. Součinitel tepelné vodivosti udává množství tepla které projde vrstvou materiálu tloušťky 1m při rozdílu teplot jeden kelvin. Na základě součinitele tepelné vodivosti se podle Rovnice 4 spočítá tepelný odpor R, který vyjadřuje tepelně izolační schopnost materiálu.

Rovnice 4: Výpočet tepelného odporu materiálu, zdroj [56]

$$R = d/\lambda \quad [(m^2 * K)/W],$$

Kde: d – tloušťka materiálu [m],

λ – součinitel tepelné vodivosti [$W/(m * K)$].

Tepelný odpor materiálu se vztahuje pouze k jednotlivým materiálům celé skladby stěny, střechy a obecně všech konstrukcí. Pro získání komplexních vlastnosti konstrukce, například skladby stěny či střechy se využívá součinitel prostupu tepla značený U. Součinitel prostupu tepla udává množství tepla, které projde danou konstrukcí o velikosti m^2 při rozdílu teplot na vnitřním a vnějším povrchu konstrukce. Součinitel prostupu tepla tedy zahrnuje i vnější podmínky v danou roční dobu a spočítá se podle Rovnice 5 [59, 60].

Rovnice 5: Výpočet součinitele prostupu tepla, zdroj [56]

$$U = 1 / (R_{si} + R + R_{se}) \quad [W/(m^2 * k)]$$

Kde: R – tepelný odpor materiálu,

R_{si} - tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce $[(m^2 * k)/W]$,

R_{se} - tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce $[(m^2 * k)/W]$.

Hodnota součinitele prostupu tepla vyjadřuje tepelně izolační vlastnosti konstrukce a její stanovení je klíčové pro výpočet tepelných ztrát objektu. Hodnoty součinitele prostupu tepla u stávajících konstrukcí se porovnávají s požadovanými hodnotami udávanými normou ČSN 73 054-2. Nové objekty se navrhují na normové hodnoty doporučené, zobrazené v Tabulce 9 [58].

Tabulka 9: Součinitele prostupu tepla vybraných konstrukcí dle ČSN 73 0540-2

Konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/(m ² ·K)]		
	Požadované hodnoty	Doporučené hodnoty	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy
Stěna vnější	0,30	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Střecha strmá se sklonem nad 45°	0,30	0,20	0,18 až 0,13
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,30	0,22 až 0,15
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,60	0,40	0,30 až 0,20
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k temperovanému prostoru	0,75	0,50	0,38 až 0,25
Strop a stěna vnější z temperovaného prostoru k venkovnímu prostředí	0,75	0,50	0,38 až 0,26
Podlaha a stěna temperovaného prostoru přilehlá k zemině	0,85	0,60	0,45 až 0,3
Stěna mezi sousedními budovami	1,05	0,70	0,50
Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,05	0,70	-
Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,30	0,90	-
Strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,20	1,45	-

Zdroj [58]

Roční tepelné ztráty prostupem obálkové konstrukce místnosti, zóny, či celého objektu vypočteme podle Rovnice 6. Pro výpočet je zapotřebí stanovit takzvaný měrný tepelný tok označovaný H_{tr} , který udává ztrátu prostupem tepla konstrukcí při teplotním rozdílu před a za konstrukcí jeden kelvin. Měrný tepelný tok se vypočte jako součin plochy konstrukce (A_i) a součinitele prostupu tepla konstrukcí (U_i) [51].

Rovnice 6: Výpočet ztrát prostupem tepla, zdroj [48]

$$Q_{tr} = H_{tr} * (\theta_i - \theta_e) * h \quad [\text{Wh}]$$

Kde: H_{tr} – měrný tepelný tok [W/k],

θ_i – vnitřní návrhová teplota [°C],

θ_e – průměrná venkovní teplota [°C],

h – počet hodin v období [h]

Druhým zdrojem úniku tepla tedy tepelných ztrát jsou ztráty větráním buď přirozeným, nebo mechanickým. Větrání způsobuje únik tepla vlivem proudění studeného venkovního vzduchu do místnosti, a naopak odvod znečištěného vnitřního vzduchu z místnosti do vnějšího prostředí. Limitní hodnoty oxidu uhličitého a minimální intenzitu větrání v České republice stanovuje vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 252/2004 Sb., která upravuje hygienické požadavky na vnitřní prostředí budov a na kvalitu venkovního ovzduší. Vyhláška stanovuje maximální přípustnou koncentraci oxidu uhličitého ve vnitřním prostředí na 1000 ppm a minimální množství větracího vzduchu na 25 m³/hod na osobu v interiéru [62]. Jednotka ppm neboli “parts per million“ se používá k vyjádření poměru jedné částice látky vůči milionu částic celkového objemu. Například koncentrace oxidu uhličitého (CO₂) kolem 400 ppm znamená, že v jednom milionu částic vzduchu je zhruba 400 částic CO₂. Výpočet tepelných ztrát větráním udává norma ČSN 73 0540-2 [61]. Roční ztráty větráním stanovíme podle Rovnice 7 podobně jako výpočet ztrát prostupem tepla [51, 61].

Rovnice 7: Výpočet tepelných ztrát větráním, zdroj [48]

$$Q_{ve} = H_{ve} * (\theta_i - \theta_e) * h \quad [\text{Wh}]$$

Kde: H_{ve} – měrný tepelný tok větráním [W/k],

θ_i – vnitřní návrhová teplota [°C],

θ_e – průměrná venkovní teplota [°C],

h – počet hodin v období [h]

4.4.2 Tepelné zisky objektu

Tepelné zisky objektu jsou definovány jako množství tepla, vstupující do objektu z vnějšího prostředí nebo vzniklé vnitřními zdroji tepla. Tepelné zisky mohou být rozděleny na vnější a vnitřní. Vnější tepelné zisky jsou způsobeny slunečním zářením, přenosy tepla skrze stěny, stropy, podlahy a okna, infiltrací vzduchu a dalšími faktory. Vnitřní tepelné zisky jsou způsobeny výdejem tepla z osvětlení, elektroniky, spotřebičů, lidí a dalších zdrojů vytápění. Výpočet tepelných zisků objektu je důležitý pro správné navržení vytápění, klimatizace a větrání v budově. Solární zisky jsou závislé na době slunečního záření v počítaném období, na poměru mezi zasklenou plochou a rámem okna a na způsobu stínění. Roční solární zisky se počítají podle Rovnice 8 jako součin solárního tepelného toku a počtu hodin v daném období [59]. Solární tok se vypočte jako součin průměrného slunečního ozáření (I_{sol}) a solárně účinné plochy (A_W). Průměrné sluneční ozáření zjistíme na základě ročního období, lokality budovy a na orientaci proskleného otvoru [59].

Rovnice 8: Výpočet solárních zisků, zdroj [56]

$$Q_{ve} = \Phi_{sol} * h$$

Kde: Q_{ve} – solární tepelný zisk [W],

h – počet hodin v počítaném období [°C],

Vnitřní tepelné zisky od osob závisí na náročnosti předpokládané činnosti, vykonávané ve zkoumaných prostor. Se zvyšující fyzickou zátěží rostou i tepelné zisky a zároveň požadavky na větrání místnosti. Tepelné zisky od spotřebičů určuje počet a druh jednotlivých spotřebičů a na době, kdy jsou spotřebiče v provozu. Hodnoty tepelných zisků od osvětlení závisí na druhu osvětlení, tedy žárovek a závisí na intenzitě a době svícení.

4.4.3 Výpočet potřeby teplé vody

Teplá voda musí být zdravotně nezávadná ohřátá pitná voda, určená k mytí, koupání osob, mytí nádobí a zařízení, praní prádla a úklidu prostor. Ohřátá voda není určena k pití nebo vaření. Studenou vodou je myšlena voda o teplotě v zimním období 3 až 10 °C, pro výpočet je využita hodnota $t = 10^\circ\text{C}$ a v letním období voda o teplotě 10 až 15°C. Pro termickou desinfekci teplé vody je zapotřebí ji ohřát a udržet na více než 60 °C, což zabraňuje množení bakterie legionelly. [54]. Legionella je bakterie, která se může vyskytovat v teplé vodě a může způsobit onemocnění zvané legionelóza. K výskytu legionelly dochází zejména v teplém a vlhkém prostředí, jako jsou například sprchy, klimatizace, fontány a další. K prevenci výskytu legionelly je důležité pravidelně udržovat a dezinfikovat vodovodní systémy a vodní nádrže, pravidelně měnit vodu v nádržích a udržovat teplotu teplé vody nad 60 °C. Dále je důležité pravidelně čistit a dezinfikovat sprchové hlavice a kohoutky a pravidelně měnit filtry v klimatizacích [54, 63].

Nejprve je nutné stanovit denní potřebu teplé vody podle Rovnice 9 a na základě denní potřeby je spočtena roční potřeba teplé vody podle Rovnice 10 [59]. Podle potřeby teplé vody se navrhuje akumulční nádoby, kde je teplá voda akumulována, ovšem vzhledem k riziku množení legionelly se při větších potřebách teplé vody nikdy nenavrhují akumulční nádoby na potřebný objem teplé vody. Při větších potřebách teplé vody je navržena menší akumulční

nádoba doplněna výměníky tepla, které umožní rychleji ohřívat teplou vodu a nedojde k hromadění teplé vody v akumulacích nádobách, což by mohlo mít za důsledek výše zmíněné množení legionelly. Teplá voda by v akumulacích nádobách neměla zůstat déle než jeden den, jinak je třeba ji vypustit ze soustavy a napustit čerstvou vodu.

Rovnice 9: Výpočet denní potřeby teplé vody, zdroj [56]

$$Q_{TUV,d} = (1 + z) * [\rho_a * c_a * V_{2p} * (t_2 - t_1)] / 3600 \quad [\text{kWh}]$$

Kde: z - koeficient energetických ztrát [-],

ρ_a - měrná objemová hmotnost [kg/m^3],

c_a - tepelná kapacita [$\text{J}/(\text{kg} * \text{K})$],

V_{2p} - spotřeba teplé vody za den [m^3],

t_2 - teplota teplé vody [$^{\circ}\text{C}$],

t_1 - teplota studené vody [$^{\circ}\text{C}$].

Rovnice 10: Výpočet roční potřeby teplé vody, zdroj [56]

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} * d + 0,8 * Q_{TUV,d} * \left[\frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \right] + (N - d) \quad [\text{kWh}]$$

Kde: $Q_{TUV,d}$ - denní potřeba teplé vody,

d - délka otopného období [dny],

t_2 - teplota teplé vody [m^3],

t_{svl} - teplota studené vody v létě [$^{\circ}\text{C}$],

t_{svz} - teplota studené vody v zimě [$^{\circ}\text{C}$],

N - počet dní, po který soustava pracuje [dny].

4.5 Emise a ekologické vyhodnocení projektu

Ekologickým vyhodnocením investice se zabývá takzvaný energetický audit, definovaný zákonem č. 406/2000 Sb., tedy zákon o hospodaření energií [14]. Energetický audit představuje systematickou kontrolu a analýzu spotřeby energie za účelem získání dostatečných znalostí o stávajícím nakládání s energií v energetickém hospodářství. Zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů, stanovuje povinnost zpracování energetického auditu jednou za 4 roky pro jimi užívané nebo vlastněné energetické hospodářství. Pokud je v průběhu zmíněných 4 let pořízen nový provoz, pak se zahrne do následujícího energetického auditu. Dne 31. března 2021 byly ve Sbírce zákonů vyhlášeny 2 nové vyhlášky: vyhláška č. 140/2021, o energetickém auditu, a vyhláška č. 141/2021, o energetickém posudku [14, 64].

Vyhláška č. 140/2021 Sb. o energetickém auditu stanovuje podmínky pro povinný energetický audit. Mezi podmínky patří například požadavky na informování a vzdělávání v oblasti úspor energie a využití obnovitelných a druhotných zdrojů. Vyhláška také stanovuje, že podnikatel, splňující určité podmínky týkající se zaměstnanců, ročního obratu nebo bilanční sumy rozvahy, je povinen zajistit provedení energetického auditu pro jím užívané nebo vlastněné energetické hospodářství jednou za 4 roky [65].

Vyhláška č. 15/2022 Sb. novelizuje vyhlášku č. 141/2021 Sb. o energetickém posudku. Vyhláška č. 15/2022 Sb. se zabývá požadavky na energetický posudek a stanovuje postupy pro jeho zpracování. Nově je energetický audit povinný pro všechny stavby. Dále vyhláška zakazuje topení tuhými palivy v době smogového znečištění [66]. Vyhláška blíže specifikuje, jak má být energetický posudek proveden a jaké informace by měl obsahovat. Energetický posudek slouží k posouzení energetické náročnosti budovy a je povinný v případě, že hodnota průměrného ročního nakládání s energií za poslední 2 po sobě jdoucí kalendářní roky překročí hranici 5 000 MWh [67]. Rozdíl mezi energetickým auditem a energetickým posudkem spočívá v tom, že v prvním dokumentu je popsán stávající stav energetického hospodářství a jsou hledána opatření, která by současný stav vylepšila, naopak energetický posudek pouze posuzuje navržená opatření bez hledání optimalizace. Energetický posudek je písemná zpráva obsahující informace o posouzení plnění předem stanovených technických, ekologických a ekonomických parametrů určených zadavatelem energetického posudku včetně výsledků a vyhodnocení.

Dlouhodobě se v české republice daří snižovat produkované emise, konkrétně v mezi lety 1990 až 2005 na pětinu původní produkce. Hlavní příčinou snížení produkce emisí bylo ukončení provozu velkých průmyslových závodů v devadesátých letech a postupné zpřísnování emisních limitů zákony a vyhláškami. Vstupem České republiky do Evropské unie vznikly povinnosti zpracovat evropské směrnice do českých zákonů, směrnic a vyhlášek, což výrazně pomohlo ke snižování vyprodukovaných emisí [68]. Na vyprodukovaných emisích mají z lokálních znečišťovatelů největší podíl lokální spotřebiče na tuhá paliva a autodoprava, které vytápějí přibližně 20 procent domácností v České republice [69].

Ekologické vyhodnocení podle vyhlášky č.480/2012 Sb. sleduje sedm znečišťujících látek, konkrétně SO_2 - oxid siřičitý, TZL - tuhé znečišťující látky s negativním dopadem na zdraví lidí, VOC - těkavá látka, CO - oxid uhelnatý, NO_x - oxidy dusíku, NH_3 - čpavek, CO_2 - oxid uhličitý. Nejvýznamnější znečišťující látkou je oxid uhličitý, u kterého sledujeme množství uhlíku (C) na jednotku energie ve spalovaném palivu. Emisní faktory výše uvedených látek rozdělujeme na místně specifické nebo všeobecné. Místně specifické emisní faktory zjišťujeme výpočtem podle vyhlášky č.480/2012 Sb. a všeobecné emisní faktory oxidu uhličitého zobrazuje Tabulka 10 [70].

Tabulka 10: všeobecné emisní faktory oxidu uhličitého

Palivo / energonositel		kg/GJ	kg/kWh
Pevná paliva	černé uhlí tříděné	92,4	0,3326
	hnědé uhlí tříděné	99,1	0,3568
	jiné pevné palivo	94,1	0,3388
	koks	107	0,3852
	proplástek	94,1	0,3388
kapalná paliva	těžký topný olej (s obsahem síry do 1 % hm. v č.) - nízkosirný	77,4	0,2786
	jiná kapalná paliva	76,6	0,2758
	Extra lehký topný olej (TOEL)	73,3	0,2639
	benzín	69,2	0,2491
	plynový olej (obsah síry do 0,1% hmotnosti)	73,3	0,2639
plynná paliva	ZP	55,4	0,1994
	koksárenský plyn	44,4	0,1598
	propan-butan	65,9	0,2372
	vysokopecní plyn	240,6	0,8662
	jiné plynné palivo	54,7	0,1969
elektřina		281	1,0116
biomasa		0	0

Zdroj: vlastní zpracování, podle [70]

5 Financování projektu

Financování projektu zahrnuje plánování a zajištění finančních prostředků pro realizaci projektu. Cílem je zajistit dostatečné finanční zdroje pro realizaci projektu a minimalizovat rizika spojená s financováním. Při financování projektu je třeba dávat pozor na výběr vhodné banky a důvěryhodných dodavatelů, aby se ušetřil čas a minimalizovaly náklady. Důležité informace pro financování projektu jsou například popis projektu, plánování projektu, realizace projektu a hodnocení projektu. Je třeba vytvořit rozpočet projektu, který bude obsahovat všechny náklady spojené s realizací projektu. Při financování je třeba mít na zřeteli, že dotační programy obvykle nezabezpečují plné financování projektu a je vyžadována spoluúčast dalších finančních zdrojů, tedy vlastního kapitálu.

Investice do obnovitelných energetických zdrojů přináší výhody v podobě energetické soběstačnosti, udržitelnosti a ekologie. Ovšem výše zmíněné výhody nelze vyjádřit finančně, přestože mohou přinést komfort, radost, či dobrý pocit. Většina lidí se rozhodne pro investici do šetnějšího zdroje energie z důvodu finančních úspor v podobě nižších ročních nákladů za energii. Investice do výměny nešetného energetického zdroje může být ovšem i vynucena, například z důvodu změny vyhlášky či zákona. Každý investor je povinen na změny zákonů zareagovat ve stanoveném čase [22, 71].

Výměnou energetického zdroje může investor také dosáhnout finančních úspor v podobě neplacení takzvané ekologické daně. Ekologická daň představuje územní poplatek odváděný státu, pokud svým chováním investor negativně ovlivňuje životní prostředí nebo znečišťuje ovzduší emisemi vyprodukovanými při spalování tuhých paliv v kotlích podle zákona č. 201/2012 Sb., O ochraně ovzduší. Zákon se nevztahuje na kotle rodinných a bytových domů [72]. Ekologická daň se například projevuje v ceně uhlí a podle zákona č. 44/4988 Sb. je ekologickou daní zatížena těžba nerostných surovin.

5.1 Dotační programy

Dotační programy mohou investorovi značně snížit náklady na pořízení energetického zdroje, ovšem přináší také spoustu podmínek a dokazování plánovaných úspor v následujících letech provozu. V dnešní době existuje spousta programů a jejich jednotlivých výzev na podání žádostí na konkrétní projekty. Pro zvolení správného dotačního programu je nutné pečlivě prostudovat aktuální podmínky pro poskytnutí dotace a pro koho jsou dotace určeny. V České republice existuje několik dotačních programů, zaměřujících se nejen na výměnu energetického zdroje, ale také opatření zapříčínujících snížení energetické náročnosti budovy. Diplomová práce se zabývá především nerezidenčními objekty a kombinovanými bytovými domy s kanceláři či obchody, proto byla zpracována Tabulka 11, která zobrazuje aktuální dotační programy pro rok 2023 [73]. Vzhledem k častým změnám a zpříšňování podmínek pro udělení dotace a vyhlášením stále nových výzev s nimi výpočet nákladů na projekt v diplomové práci nepočítá.

Tabulka 11: Dotační programy pro nerezidenční objekty

Název programu	Platnost	Alokace	Cílová skupina	Využití
Operační program Technologie a aplikace pro konkurenceschopnost (OP TAK)	2021-2027	81,5 [mld. Kč]	Malé/střední podniky, start-upy, velké podniky mimo Prahu	Obnova výrobní technologie, výměna energeticky neefektivních strojů, modernizace systémů
Program ENERG	2021-2027	úvěr od NRB (Výše úvěru 0,5-60 mil. Kč při 0% úroku) + finanční příspěvek na posudek až 100tis. Kč	Praha - pro podnikatele bez rozdílu velikosti	Za účelem snížení spotřeby energie (nelze použít na samostatné pořízení zdroje)
Úspory energie	2021-2027	úvěr od NRB (Výše úvěru 0,5-60 mil. Kč při 0% úroku) + finanční příspěvek na posudek až 100tis. Kč	ČR kromě Prahy - pro podnikatele bez rozdílu velikosti	Za účelem snížení spotřeby energie (nelze použít na samostatné pořízení zdroje)
Modernizační fond	do 2030	500 [mld. Kč]	obce, města, samosprávy, malé i velké podniky, fyzické osoby	Snížení emisí skleníkových plynů, modernizace energetických systémů, zvýšení podílu obnovitelných zdrojů na konečné spotřebě energie, Výstavba fotovoltaických elektráren
Operační program spravedlivá transformace	2021-2029	1,64 [mld. Eur]	Karlovarský, ústecký a Moravskoslezský kraj (malé a střední podniky, školství, oběhové hospodářství, rekultivace území)	Formy podpory - Strategické projekty (projekty doporučené kraji), Tematické výzvy, Zastřešující projekty (menší a typově podobné projekty)
Operační program Životní prostředí (OPŽP)	2021-2027	61 [mld. Kč]	Veřejný sektor, podnikatelé i domácnosti	ochrana a zajištění kvalitního prostředí pro život obyvatel, přechod k oběhovému hospodářství a podpora efektivního využívání zdrojů
Integrovaný regionální operační program	2021-2027	20,4 [mld. Kč]	projekt musí být realizován v městské oblasti, nebo do ní zajišťovat obsluhu a dostupnost	Čistější a propojenější doprava (přesun z autodopravy na cyklo a pěší dopravu), Nákup silničních nízkoemisních vozidel, výstavba plnicích a dobíjecích stanic pro veřejnou dopravu
Národní program životního prostředí	2021-2027	12,2 [mld. Kč]	Samospráva, Občan, školy, výzkumné instituce, podnikatel, nezisková organizace, státní subjekt,..	Nákup nových elektromobilů a automobilů s vodíkovým pohonem, pořízení tzv. chytrých neveřejných dobíjecích stanic

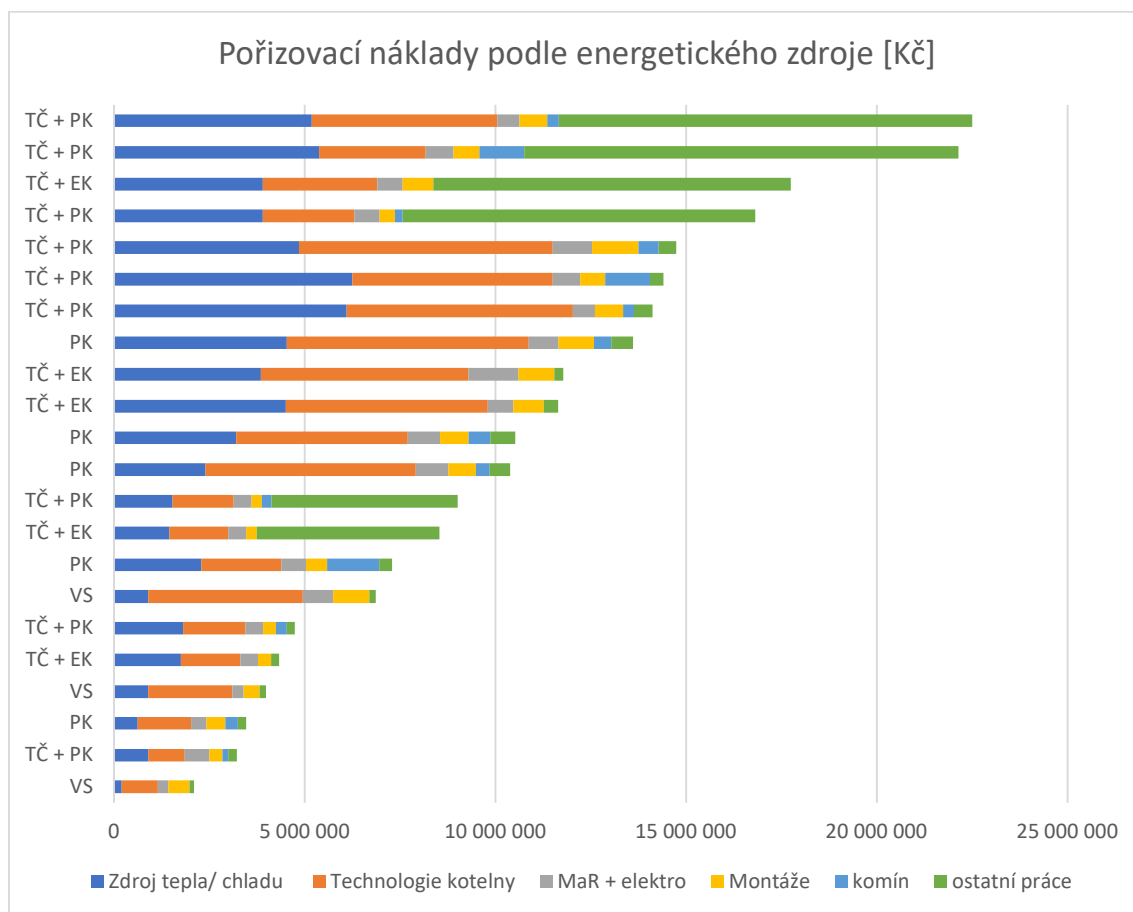
Zdroj: vlastní zpracování, podle [73]

5.2 Pořizovací náklady

Pořizovací náklady zahrnují nejen náklady do samotného pořízení energetického zdroje a veškeré technologie potřebné k jeho efektivnímu a správnému fungování, ale také náklady za poradenské služby, zprostředkování, dopravu, projekční náklady a obecně veškeré náklady související s realizací projektu. Pořizovací náklady energetického zdroje byly pro účely diplomové práce rozděleny do šesti skupin, konkrétně zdroj tepla a chladu, technologie kotleny, měření a regulace (MaR) včetně elektroinstalací, montáže, komín a ostatní práce. Pro získání cen jednotlivých kategorií jsou využity ceny z již realizovaných projektů a nabídek od dodavatelů jednotlivých komponentů uvedených v Příloze 1.

Podle zdroje tepla můžeme rozdělit jednotlivé možnosti na: výměňkovou stanici (VS), plynovou kotelnu (PK), tepelná čerpadlo (TČ) a elektrický kotel (EK). Zdroje chladu v rámci diplomové práce byly rozděleny na dvě možnosti, chiller a tepelné čerpadlo. Ostatní zdroje chladu uvedené v kapitole 4.2.3. Zdroje chladu se v realizovaných projektech nevyužily, proto s nimi diplomová práce dále neuvažuje. Jednotlivé složky pořizovacích nákladů zobrazuje Graf 6.

Graf 6: Pořizovací náklady v závislosti na energetickém zdroji



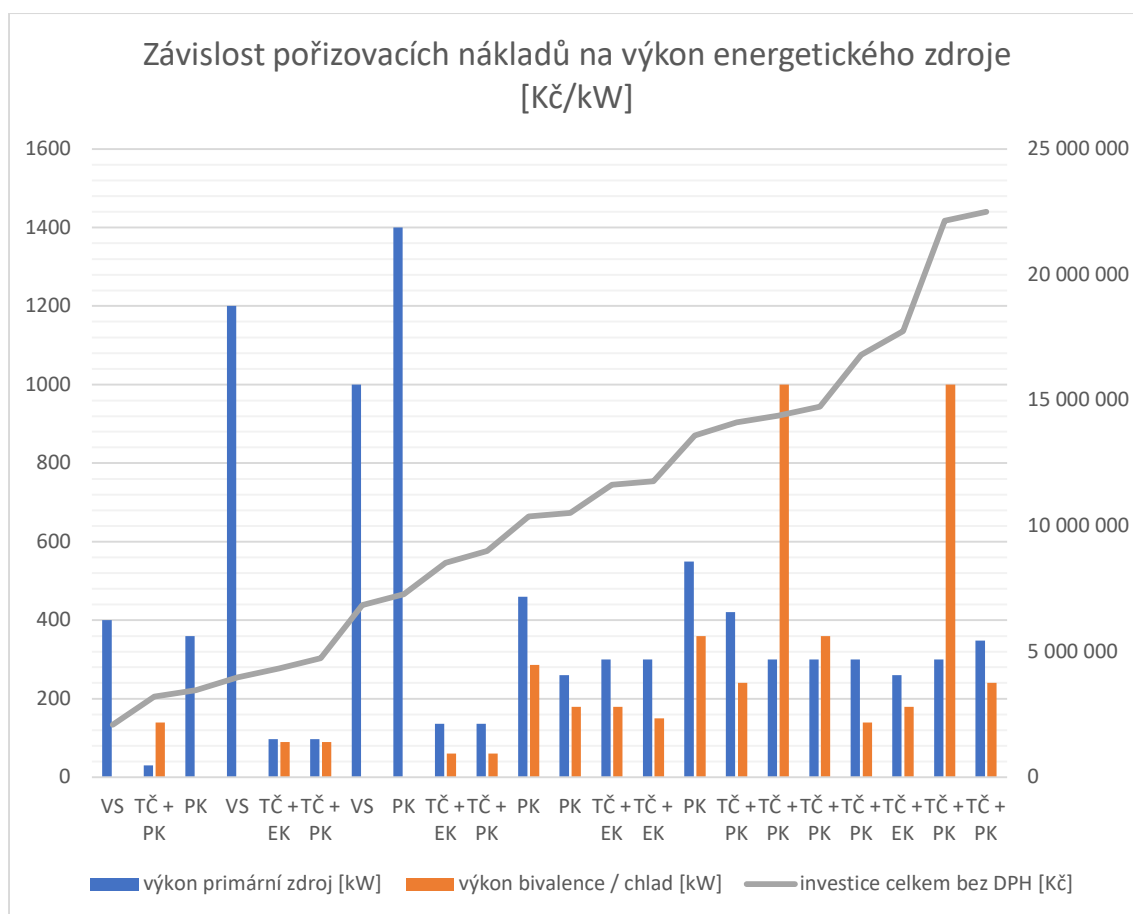
Zdroj: vlastní zpracování podle Přílohy 1

Vysoké náklady u některých plynových kotelen uvedených v Grafu 6 způsobuje zdroj chladu. Náklady na zdroj chladu jsou obsaženy v položce zdroj tepla/chladu, podrobněji popsány v příloze 1. Na cenu energetického zdroje má největší vliv požadovaný výkon a v případě tepelného čerpadla i umístění vnějších jednotek. U plynových kotlů vznikají navíc i náklady na spalinovou trasu, tedy komín. Cena technologie kotelny nejvíce závisí na počtu větví na rozdělovači a sběrači a dimenzi potrubí, závisící na výkonu energetického zdroje. Z grafu vyplývá že nejlevnější variantu představuje výměňková stanice, tedy soustava centrálního zásobování teplem (CZT) pomocí teplárny. CZT představuje nejlevnější variantu z hlediska počáteční investice, jelikož nerealizujeme zdroje tepla, ale pouze výměník využívající teplo ze vzdáleného energetického zdroje poskytnutého teplárnou. Druhou nejlevnější variantou jsou plynové kotelny zajišťující pouze potřeby dodávky tepelné energie bez chlazení. Tepelná čerpadla vzduch-voda představují třetí nejlevnější variantu, jelikož oproti typu země-voda odpadají náklady do zemních kolektorů. Zemní kolektory jsou v grafu zahrnuty v položce ostatní práce. Nejdražší variantou jsou kotelny zásobované tepelnými čerpadly země-voda. Tepelná čerpadla země-voda jsou méně nákladná co se týče technologie kotelny, jelikož oproti typu vzduch-voda odpadají náklady na propojení vnější a vnitřní jednotky, ovšem nákladnost zemních kolektorů se pohybuje v řádech milionů korun. Konstruování zemních kolektorů je také velmi náročné z hlediska projektové dokumentace a následné realizaci na stavbě.

Z ekologické perspektivy se považuje centrální zásobování teplem za ekologicky přijatelný způsob dodávky tepelné energie. Pro uživatele však může představovat nevýhodu vzrůstající cena, zapříčiněná odpojováním odběratelů a nutnosti rekonstrukce starých teplovodních sítí. Právě zvyšování ceny tepla z centrálního zásobování teplem a snižování nákladů na lokální zdroje vede odběratele tepla k zájmu o odpojení. Nicméně proces odpojení od centrálního zásobování teplem je relativně složitý a vyžaduje stoprocentní připravenost.

Výše investice často závisí na výkonu primárního a bivalentního zdroje. Stejnou roli ve výši počáteční investice hraje také zdroj chladu. Pokud u objektu vzniká potřeba chlazení, tak u varianty plynové kotelny je zapotřebí počítat s dvojnásobnými až trojnásobnými náklady oproti variantě bez chlazení. Technologie chlazení v případě kombinace s plynovou kotelnou vyžaduje samostatný zdroj chladu a větev chlazení naplněnou chladivovou látkou. Tepelná čerpadla poskytují výhodu možnosti vytápění i chlazení jedním energetickým zdrojem a náklady na jejich realizaci se nemění v závislosti na potřebu chlazení. U nově realizovaných projektů vyžadujících chlazení představují nejvhodnější variantu tepelná čerpadla v kombinaci s bivalentním energetickým zdrojem například elektrickým kotlem, kde nevzniká nutnost spalinové trasy ve srovnání s plynovými kotly. Závislost ceny na požadovaném výkonu energetického zdroje zobrazuje Graf 7.

Graf 7: Závislost pořizovacích nákladů na výkonu energetického zdroje



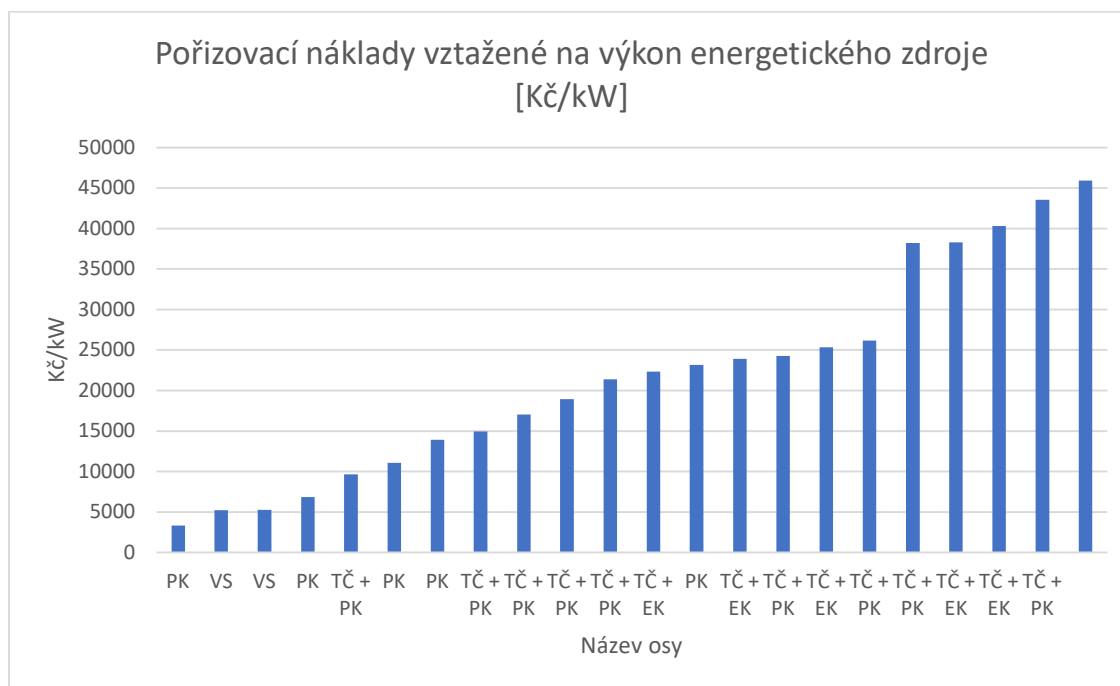
Zdroj: vlastní zpracování podle Přílohy 1

Graf 7 zobrazuje závislost investičních nákladů na výkonu energetického zdroje. Levý sloupec zobrazuje výkon zdroje [kW] a pravý sloupec pořizovací náklady [Kč]. Šedivá křivka udává náklady, přiřazené k jednotlivým sloupcům. Sloupce jsou rozděleny na modré a oranžové. Modré sloupce ukazují výkon primárního energetického zdroje, zatímco oranžové ukazují výkon bivalentního tepelného nebo chladícího energetického zdroje. Například zkratka TČ + PK v závislosti na pořadí udává, že primární zdroj představuje tepelné čerpadlo

a bivalentní zdroj plynová kotelna. Nejlevnějšími variantami zobrazenými v Grafu 7 jsou samostatné plynové kotelny a výměňkové stanice bez možnosti chlazení objektu i přes vysoký požadovaný výkon. Rozdílnost nákladů u energetických zdrojů se stejným požadovaným výkonem způsobuje náročnost technologie kotelny, počty větví na rozdělovači a sběrači a délka propojení vnějších a vnitřních jednotek u možnosti tepelných čerpadel vzduch-voda. Z výše uvedeného Grafu 7 je také patrná závislost ceny na poměru výkonu mezi primárním a sekundárním zdrojem. Například při kombinaci tepelného čerpadla a plynového kotle porostou pořizovací náklady spolu s rostoucím výkonem tepelného čerpadla, a naopak se budou snižovat s rostoucím výkonem plynového kotle oproti tepelnému čerpadlu.

Pořizovací náklady v závislosti na typu energetického zdroje můžeme také zobrazit v nákladech vztahených k výkonu zdroje [Kč/kW]. Z již realizovaných projektů lze odhadnout náklady podle Grafu 8.

Graf 8: Pořizovacích náklady vztahené na výkon energetického zdroje



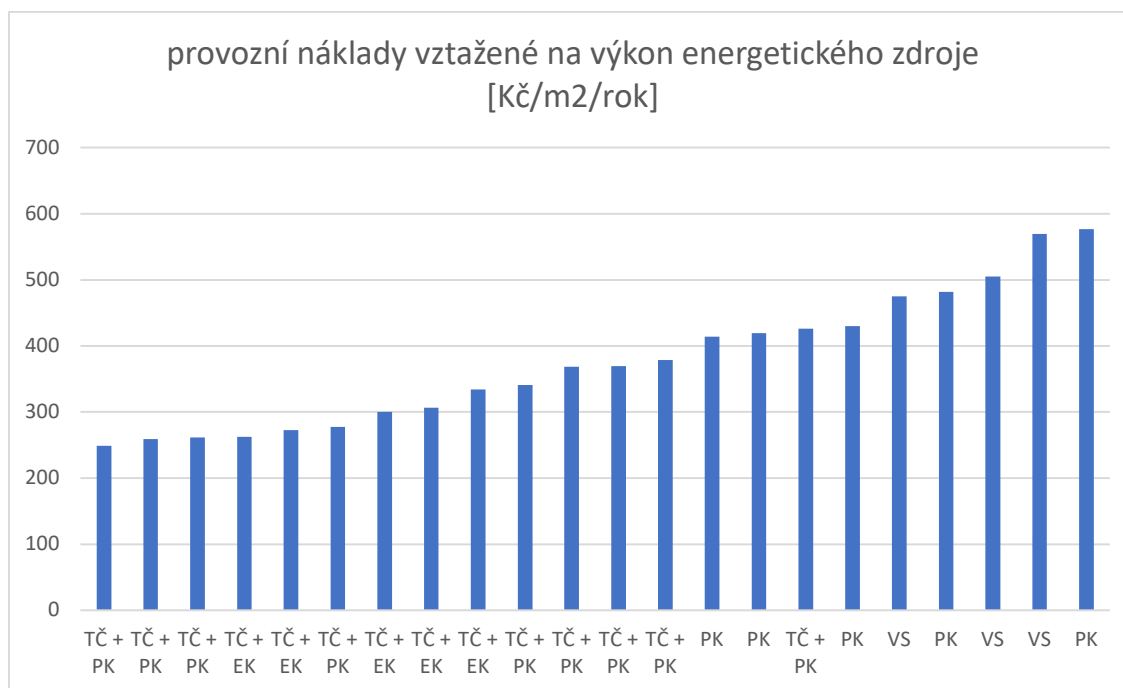
Zdroj: vlastní zpracování podle Přílohy 1

Pro odhad celkových nákladů v přesnosti na desetitisíce představuje vztah nákladů na kW nejrychlejší způsob naceňování. Levý sloupec grafu zobrazuje náklady odpovídající 1 kW požadovaného výkonu v závislosti na typu zdroje a ve spodní řádce je popsán typ energetického zdroje. Z Grafu 8 vyplývá, že náklady na plynovou kotelnu bez chlazení se pohybují ve výši 7-10 tis. Kč/kW. Levnější variantu představuje výměňková stanice ve výši přibližně 5 tis. Kč/kW. Náklady kombinace tepelného čerpadla s bivalentním zdrojem závisí na poměru jejich výkonu. Čím větší roli hraje tepelné čerpadlo v pokrytí potřeb tepelné energie, tím více porostou investiční náklady projektu.

5.3 Provozní náklady

Provozní náklady kotelny zahrnují náklady na palivo, údržbu, opravy, elektřinu, vodu, kanalizaci a další náklady na správu a provoz kotelny. Provozní náklady jsou významné jak při zřizování nových kotelen, tak během provozu kotelen [74]. Dalšími důležitými provozními náklady jsou pravidelné servisní prohlídky, které jsou často podmíněny pro držení záruky od výrobce technologie. Přibližné roční náklady na energie a opravy vztahované na druh energetického zdroje zobrazuje Graf 9.

Graf 9: Provozní náklady na energie v závislosti na typu energetického zdroje



Zdroj: vlastní zpracování podle Přílohy 1

Z grafu 9 jasně vyplývají nižší provozní náklady variant s tepelnými čerpadly. Čím větší roli hraje tepelné čerpadlo při pokrývání potřeb tepelné energie, tím menší budou provozní náklady, na jejichž základě se snižuje doba návratnosti investice. Graf také ukazuje neefektivitu výměňkových stanic a plynových kotelen, doplněných chillery jako zdroji chladu, jejichž roční provozní náklady jsou u některých případů až dvojnásobné. Neefektivitu zapříčiňují vysoké náklady za plyn pro plynové kotle a pokrytí tepelných ztrát potrubím, způsobených velkou délkou rozvodů od teplárny k výměňkové stanici. Využitím výměňkových stanic a plynových kotelen také vzniká závislost na aktuálním dění na trhu a ceny mohou kolísat ve velkých intervalech, což výrazně ovlivňuje finanční plány investora.

Náklady spojené s investicí rozdělujeme na investiční a provozní. Pokud k těmto nákladům přičteme i náklady spojené s likvidací, získáme náklady životního cyklu projektu. V průběhu všech fází investice, tedy přípravné, investiční, provozní a likvidační je možné ovlivňovat náklady. Největších úspor v budoucích provozních nákladech ovšem dosáhneme již v předinvestiční fázi na základě cenově optimálního návrhu projektu[71].

5.4 Cash flow

Cash flow (CF), nebo také peněžní tok, je příjem nebo výdej peněžních prostředků. Představuje rozdíl mezi příjmy a výdaji peněžních prostředků za určité období. V podnikové praxi je cash flow důležitou veličinou, která vypovídá o finančních tocích spojených s provozem podniku a zobrazuje pohyb peněz v podniku. Cash flow může být rozdělen do tří kategorií: provozní cash flow, investiční cash flow a cash flow z financování. Provádí se výpočet pomocí čistého zisku a změn v rozvaze za účetní období. Pozitivní cash flow znamená, že do podniku proudí více peněz než jich odtéká, zatímco negativní cash flow naznačuje, že z podniku odtéká více peněz než jich proudí. Cash flow představuje důležitý faktor pro posouzení likvidity, flexibility a celkové finanční výkonnosti podniku [75].

Likvidita je schopnost podniku přeměnit svá aktiva na peněžní prostředky a splatit své závazky včas a bez problémů. Likvidita se měří pomocí ukazatelů z finanční analýzy, jako je běžná likvidita, pohotová likvidita a okamžitá likvidita. Běžná likvidita je poměr mezi krátkodobými aktivy a krátkodobými závazky, pohotová likvidita zahrnuje již hotovost, krátkodobé investice a zákaznické pohledávky, ale nezahrnuje zásoby. Okamžitá likvidita se vypočítá jako poměr mezi finančními aktivy a krátkodobými závazky. Vysoká hodnota likvidity signalizuje, že firma má dostatek aktiv k pokrytí svých závazků, což je pozitivní indikátor finančního zdraví. Nízká hodnota může naznačovat potenciální problémy s likviditou [75].

5.5 Ekonomické vyhodnocení investice

Ekonomické vyhodnocení investice je proces, napomáhající podnikům hodnotit investiční projekty a stanovit, zda se projekt vyplatí realizovat či ne. Existují dvě hlavní skupiny metod pro hodnocení investic: statické a dynamické. Statické metody ignorují faktor času, zatímco dynamické metody přihlížejí k faktoru času. Mezi nejčastěji používané dynamické metody patří metoda čisté současné hodnoty (NPV), metoda vnitřního výnosového procenta (IRR) a metoda diskontované doby návratnosti. Mezi faktory, které ovlivňují ekonomické vyhodnocení investice, patří investiční výdaje, způsob financování a předpokládaná doba návratnosti investice. Správné ekonomické vyhodnocení investice je velmi důležité pro všechny investory, jelikož špatná investice může mít ničivý dopad [22, 75].

Vyhodnocení investice podle vyhlášky č. 480/2012 Sb. se zaměřuje na dynamické metody, přičemž rozhodnutí je provedeno na základě čisté současné hodnoty (NPV), doplněné kritériem výnosového procenta (IRR) a reálné (diskontované) doby návratnosti (DPP). Vyhláška nezmiňuje index ziskovosti (PI). Čistá současná hodnota (NPV) udává množství peněz vydělaných realizací investice v posuzovaném období nebo po dobu její životnosti a vypočítá se podle Rovnice 11, kde hodnota diskontního činitele (odúročitele) je pro účely výpočtu energetických posudků rovna 1,05 [59, 75].

Rovnice 11: Výpočet čisté současné hodnoty, zdroj [71]

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - IN \quad [\text{Kč/rok}]$$

Kde: CF_t – roční cash flow projektu [Kč]

r – diskont [-]

$(1 + r)^t$ – odúročitel [-]

t – hodnocené období

IN – investiční náklady

Vnitřní výnosové procento (IRR - Internal Rate of Return) je ukazatel pro relativní výnos (rentabilitu), kterou projekt během svého životního cyklu poskytuje. Číselně je rovno diskontní sazbě, při které je čistá současná hodnota (NPV) rovna nule. Jinak řečeno, jedná se o roční diskontní sazbu, při jejímž použití jsou veškeré peněžní toky investice diskontovány tak, aby byla čistá současná hodnota investice rovna nule a vypočte se podle Rovnice 12 [75].

Rovnice 12: Výpočet vnitřního výnosového procenta (IRR), zdroj [71]

$$\sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} - IN = 0 \quad [\%]$$

Kde: CF_t – roční cash flow projektu [Kč]

$(1 + IRR)^t$ – odúročitel [-]

t – hodnocené období [roky]

IN – investiční náklady

Při srovnávání různých variant na základě výše uvedených kritérií (NPV a IRR) může nastat situace, kdy NPV první varianty bude vyšší, zatímco IRR této varianty bude nižší. V takovém případě je výhodné implementovat obě varianty, pokud jsou vzájemně kompatibilní. Jestliže jsou vzájemně nekompatibilní, uplatní se pravidlo NPV [75].

Třetím kritériem dle ustanovení vyhlášky je reálná doba návratnosti (DPP, označovaná ve vyhlášce jako T_{ds}). Diskontovaná doba návratnosti představuje období, během kterého hodnota diskontovaných cash flow projektu překročí původní investici. V případě konstantního cash flow lze diskontovanou dobu návratnosti vypočítat pomocí Rovnice 13. V situaci s nekonstantním cash flow je diskontovaná doba návratnosti odčítána od kumulativního diskontovaného cash flow projektu [22, 75].

Rovnice 13: Výpočet diskontované doby návratnosti (DPP), zdroj [71]

$$\sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - IN = 0 \quad [roky]$$

Kde: CF_t – roční cash flow projektu [Kč]

r – diskont [-]

$(1 + r)^t$ – odúročitel [-]

t – hodnocené období

IN – investiční náklady

Index ziskovosti (PI - Profitability Index) je ukazatel, který vyjadřuje poměr přínosů k počátečním kapitálovým výdajům. Index ziskovosti se vypočítá jako podíl současné hodnoty budoucích peněžních toků a počáteční investice. Pokud je index ziskovosti větší než 1, znamená to, že projekt je ziskový, pokud je menší než 1, projekt je ztrátový [75].

Výsledky ekonomické evaluace investice podle vyhlášky č. 480/2012 Sb. jsou zaznamenány v tabulce, která tvoří součást vyhlášky. Tabulka obsahuje informace o přínosech projektu, investičních výdajích a provozních nákladech. Hodnocení zahrnuje analýzu výchozího stavu a všech variant, přičemž doba hodnocení je stanovena na 20 let. Tabulka podle nařízení srovnává varianty na základě čisté současné hodnoty, vnitřního výnosového procenta a reálné doby návratnosti [70, 75].

6 Výpočet modelového objektu

Nosné konstrukce modelového objektu jsou tvořeny ze železobetonu (ŽB) zateplený pěnovým polystyrenem. Jedná se o osmipodlažní budovu, kde první čtyři patra tvoří kancelářské prostory a vrchní čtyři patra bytové jednotky. Návrh modelového objektu vychází z realizovaných projektů z praxe. Lokalita objektu je uvažována v Praze nebo Středočeském kraji, jelikož sledované objekty v teoretické části se nacházejí ve stejném území. Praha se nachází stejně jako celá Česká republika v mírném podnebném pásmu, přičemž průměrné venkovní historické teploty zobrazuje Tabulka 12 [76].

Tabulka 12: Průměrné historické teploty v Praze

Charakteristika	1961–1990 [°C]	1971–2000 [°C]	1981–2010 [°C]	1991–2020 [°C]
Průměrná roční teplota vzduchu	10,00	10,40	10,80	11,30
Průměrná teplota vzduchu v lednu	-0,20	0,70	0,90	1,60
Průměrná teplota vzduchu v červenci	19,70	20,10	20,80	21,50

Zdroj: vlastní zpracování, podle [76]

Zateplený objekt byl vybrán, jelikož měnit či navrhovat energetický zdroj v nezatepleném objektu je velmi nevhodné a neefektivní. Například pokud bychom v nezatepleném objektu chtěli vyměnit staré plynové kotle za tepelná čerpadla, je nutné si uvědomit, že tepelné čerpadlo potřebuje elektrickou energii pro svůj chod. Zateplením objektu můžeme v případě tepelných čerpadel docílit mnohonásobných úspor za elektrickou energii, potřebnou pro chod tepelných čerpadel. Výjimkou může být výměna elektrokotlů za tepelná čerpadla vzhledem k rostoucí ceně elektřiny u historických objektů, kde není možné narušit stávající fasádu.

Nové objekty kombinují rezidenční a nerezidenční funkci, často v kombinacích kanceláří s bytovými jednotkami nebo obchodů ve spodních patrech objektu s bytovými jednotkami v horních patrech. Kombinace více druhů vnitřních prostor (komerční, administrativní a bytové) vede ke složitějším otopným systémům, náročné regulaci a měření a často i k velkému počtu potřebných větví na rozdělovači a sběrači. V modelovém objektu uvažují se třemi větvemi, z toho jedna větev pro distribuci teplé vody (TV) a další dvě pro vytápění objektu.

6.1 Popis konstrukcí modelového objektu

Nosné konstrukce svislé i vodorovné jsou konstruovány z železobetonu, zateplené pěnovým polystyrenem tloušťky 160 mm. Objekt je založen na železobetonových základových pasech, mezi kterými je vylita základová deska z prostého betonu tloušťky 150 mm. Stropy oddělující jednotlivá podlaží tvoří železobetonové desky tloušťky 220 mm. Poslední patro zastřešuje zelená plochá střecha ze železobetonu, vyspádovaná za pomoci keramzitbetonu z důvodu odvodnění, zateplená tepelnou izolací ISOVER EPS 150. Střešní konstrukce obsahuje také parotěsnou vrstvu mezi spádovou vrstvou a tepelnou izolací. Dále střešní vrstva musí také obsahovat netkanou textilii, nopovou fólii a znovu netkanou textilii

mezi asfaltovými pasy a substrátem pro růst zeleně, z důvodu možnosti prorůstání kořenů zeleně.

Keramzitbeton je materiál, často využívaný jako lehká spádová vrstva ve střešních konstrukcích. Jedná se o beton, do kterého jsou přidávána lehká zrna keramického kameniva, což z něj činí lehčí a zároveň trvanlivější alternativu k běžnému betonu [77]. Keramzitbeton je zdravotně nezávadný a nalezneme ho například v lehčích rekonstrukcích. Keramzit, ze kterého je vyroben, představuje moderní materiál získávaný z speciálních cypřišových jíílů. Cypřišové jíily jsou typy jíilových půd, které se vyznačují svou hrubozrnnou strukturou a vysokou pevností. Významné vlastnosti cypřišových jíílů představují: vysoká pevnost, hrubozrnná struktura a široké využití ve stavebnictví [78].

Podlahy všech prostor jsou tvořeny z kročejové izolace, betonové mazaniny o tloušťce minimálně 65 mm a nášlapné vrstvy. Kročejová izolace má jak tepelně izolační funkci, tak i zvukově izolační funkci a je tvořena z tepelné izolace ISOVER T-N 50. Betonová mazanina je tvořena z prostého betonu. Nášlapné vrstvy v jednotlivých místnostech se liší podle přání klienta a vzhledem k jejich tepelně-technickým vlastnostem hrají ve výpočtu tepelné bilance mizivou roli, proto je ve všech prostor uvažována vinylová podlaha. Výše zmíněná skladba podlahy lze také definovat jako těžká plovoucí podlaha. Těžká plovoucí podlaha představuje typ podlahové konstrukce, která se skládá z roznášecí desky tvořené betonem nebo anhydritem. Konstrukce poskytuje pevnou a stabilní základnu pro různé typy podlahových krytin. Mezi její přednosti patří vysoká odolnost a trvanlivost, schopnost snášet vysoké zatížení a možnost použití v administrativních i obytných prostorách [79].

K jednotlivým konstrukcím, oddělujícím vytápěný prostor byly vytvořeny tabulky charakterizující tepelně-technické vlastnosti jednotlivých materiálů, popsané výše v teoretické části diplomové práce. Na základě tepelně-technických vlastností byly vypočteny jednotlivé součinitele prostupu tepla (U), potřebné pro výpočet tepelných ztrát objektu. Tepelně-technické vlastnosti a výpočty součinitelů prostupu zobrazují tabulky níže.

Tabulka 13: obvodová stěna

Skladba obvodové stěny			
Souvrství:	tl. (mm)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)
vnější silikátová omítka	10	0,130	0,077
Tepelná izolace Isover EPS 70 F 200mm	160	0,039	4,103
železobetonová stěna ($\rho = 2400$ [kg/m ³])	200	1,570	0,127
Celkem:			4,230
Tepelný odpor konstrukce R		4,230	m ² K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru R_{si}		0,130	m ² K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru R_{se}		0,040	m ² K/W
$R_T = R + R_{si} + R_{se}$		4,400	m ² K/W
$U = 1/R_T$		0,227	W/m²K

Zdroj: vlastní zpracování

Součinitel prostupu tepla obvodové stěny odpovídá dle normy ČSN 73 054-2 doporučeným hodnotám [58].

Většina dnešních objektů často kombinuje více materiálů například železobetonové nosné konstrukce s vyzděnými či sádkartonovými vnitřními stěnami. Modelový objekt uvažuje s kombinací železobetonu a keramických vnitřních stěn oddělujících jednotlivé bytové a kancelářské jednotky.

Tabulka 14: vnitřní stěna

Skladba vnitřní stěny			
Souvrství:	tl. (mm)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)
vnitřní vápenná omítka	15	0,400	0,038
Keramické tvárnice Porotherm 30 Profi P10	300	0,180	1,667
vnitřní vápenná omítka	15	0,400	0,038
Celkem:			1,742
Tepelný odpor konstrukce R		1,742	m ² K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru R _{si}		0,130	m ² K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru R _{se}		0,040	m ² K/W
$R_T = R + R_{si} + R_{se}$		1,912	m ² K/W
$U = 1/R_T$		0,523	W/m²K

Zdroj: vlastní zpracování

Dnešní doba, kdy velmi často zmiňovaným tématem je globální oteplování, vede i ke změně trendů ve stavebnictví. Jeden z trendů dnešní doby je častější využívání takzvaných zelených plochých střech oproti plochým střechám s povrchovou úpravou ve formě asfaltových pásů.

Tabulka 15: střešní konstrukce

Skladba střechy - plochá zelená střecha			
Souvrství:	tl. (mm)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)
Substrát střešní etenzivní	150	1,400	0,107
3x SBS asfaltový pás	12	0,360	0,033
Tepelná izolace ISOVER EPS 150	220	0,035	6,286
spádová vrstva - Keramzitbeton	40	0,400	0,100
Železobetonová stropní deska ($\rho = 2400$ [kg/m ³])	230	1,570	0,146
interierová stěrka	10	0,400	0,025
Celkem:			6,698
Tepelný odpor konstrukce R		6,698	m ² K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru R _{si}		0,130	m ² K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru R _{se}		0,040	m ² K/W
$R_T = R + R_{si} + R_{se}$		6,868	m ² K/W
$U = 1/R_T$		0,146	W/m²K

Zdroj: vlastní zpracování

Zelená plochá střecha je výhodná i z hlediska tepelně-technických vlastností a dle normy ČSN 73 054-2 dosahuje doporučených hodnot pro pasivní budovy [58].

Stropy jednotlivých podlaží jsou tvořeny z železobetonové stropní desky tloušťky 230 mm doplněné kročejovou izolací pro zamezení šíření hluku mezi jednotlivými podlažími. Nášlapná vrstva je uvažována ve všech prostor identická, jelikož rozdílnost materiálů nášlapné vrstvy ve výpočtu součinitele prostupu tepla je zanedbatelná vzhledem k malé tloušťce vrstvy.

Tabulka 16: podlaha v běžném podlaží

Skladba podlahy - odděluje zóny 1 a 2			
Souvrství:	tl. (mm)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)
Nášlapná vrstva (Vinyl)	15	0,250	0,060
Betonová mazanina ($\rho = 2100$ [kg/m ³ F])	65	1,160	0,056
Kročejová izolace ISOVER T-N 50	50	0,036	1,389
ŽB stropní deska	230	1,570	0,146
Interiérová sěrka	10	0,400	0,025
Celkem:			1,676
Tepelný odpor konstrukce R		1,676	m ² K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru R_{si}		0,130	m ² K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru R_{se}		0,040	m ² K/W
$R_T = R + R_{si} + R_{se}$		1,846	m ² K/W
$U = 1/R_T$		0,542	W/m²K

zdroj: vlastní zpracování

Další konstrukcí důležitou pro výpočet energetické bilance je skladba podlahy na terénu. Podlaha na terénu zespona ohraničuje vytápěný prostor a její skladbu zobrazuje Tabulka 17.

Tabulka 17: podlaha na terénu

Skladba podlahy na terénu			
Souvrství:	tl. (mm)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)
Nášlapná vrstva (Vinyl)	15	0,250	0,060
Betonová mazanina ($\rho = 2100$ [kg/m ³ F])	65	1,160	0,056
Tepelná izolace ISOVER EPS 150	160	0,036	4,444
podkladní deska z prostého betonu	150	1,250	0,120
Celkem:			4,68
Tepelný odpor konstrukce R		4,68	m ² K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru R_{si}		0,130	m ² K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru R_{se}		0,040	m ² K/W
$R_T = R + R_{si} + R_{se}$		4,850	m ² K/W
$U = 1/R_T$		0,206	W/m²K

Zdroj: vlastní zpracování

Na základě výše zmíněných tepelně-technických vlastností a vypočtených součinitelů prostupu tepla je proveden výpočet tepelné bilance objektu. Objekt je rozdělen do dvou zón. První zónu tvoří kancelářské prostory ve spodních čtyřech patrech a druhou zónu tvoří bytové jednotky v horních čtyřech patrech. Rozdělení zón umožní spočítat přesnou potřebu tepelné

energie pro jednotlivé provozy. Tepelně-technické vlastnosti jsem zjistil ze stránek prodejců výše zmiňovaných materiálů.

6.2 Původní energetický zdroj

Původním energetickým zdrojem modelového objektu uvažuji výměňkovou stanici vzhledem k dostupnosti napojení na centrální zásobování teplem (CZT) ve většině území Prahy. Největší dodavatel tepelné energie v Praze je společnost Energotrans. Energotrans je rozhodujícím dodavatelem tepla pro Pražskou teplárenskou (PTP) a tvoří 90,8 % z dodávky tepelné energie do PTP a 86,7 % z celkové dodávky tepla do Pražské teplárenské [80]. Firma je součástí skupiny EP Energy, která je největším dodavatelem tepelné energie v Česku a druhým největším domácím výrobcem elektřiny [81].

Vytápění objektu zabezpečuje horkovodní výměňková stanice. Teplonosným médiem je horká voda, přiváděna k výměňkové stanici prostřednictvím horkovodní přípojky a následně vedena do rozdělovače a sběrače. Rozdělovač a sběrač se rozvětňuje na dvě větve pro potřeby tepla pro vytápění a jednu větev pro ohřev teplé vody. Celý systém ústředního vytápění pracuje na principu tlakové nezávislosti, kde horká voda pro vytápění prochází systémem stávajících výměníků tepla, kde probíhá její ohřev. Soustavu vnitřních rozvodů tvoří dvoutrubková teplovodní soustava s nuceným oběhem za pomoci oběhových čerpadel. Vytápění vnitřních prostor zajišťují nástěnné radiátory umístěné pod okny v místnostech kanceláří i bytových jednotek. Otopná soustava pracuje na teplotním spádu 60/40 °C.

Z naměřených dat uvedených v teoretické části lze předpokládat s ročními výdaji za energie přibližně 530 Kč/m² za rok. Čistá podlahová plocha modelového objektu činí 12,950 tis. m², tedy uvažuji s náklady na energie 6,864 mil. Kč za rok.

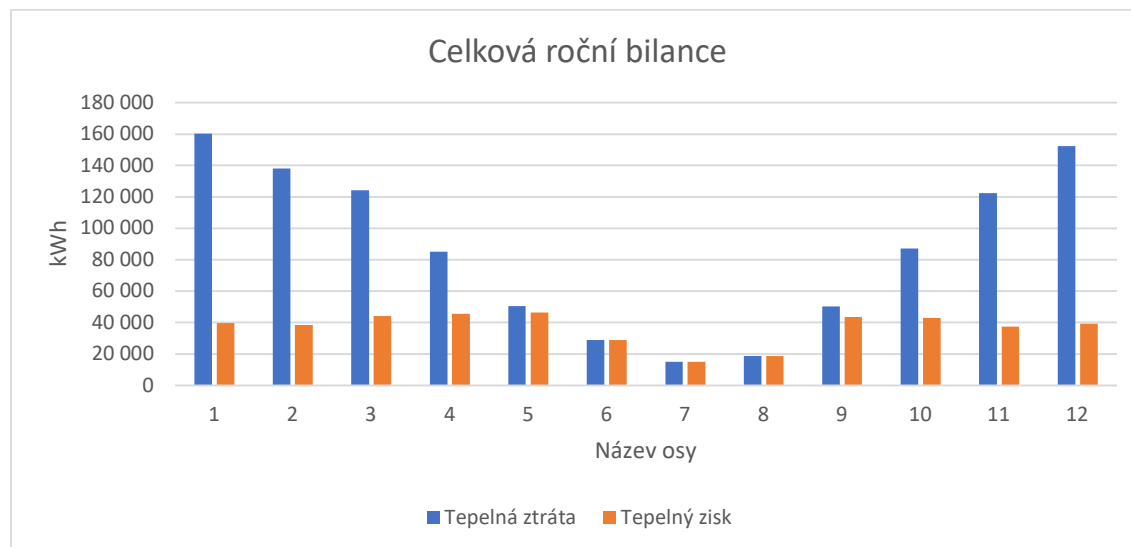
6.3 Tepelná bilance objektu

Modelový objekt tvaru kvádra má délku 62,5 m, šířku 42,2 m a výšku 32,5 m. Výpočet musel být proveden za pomoci zónování objektu z důvodu různých účelů vnitřních prostor. Výpočet tepelné bilance proběhl v programu Microsoft Excel pro obě zóny zvlášť. Výsledná tepelná bilance modelového objektu je tvořena součtem tepelné bilance jednotlivých zón a postupné výpočty jsou zobrazeny v tabulkách uvedených v Příloze 2 této diplomové práce.

Výpočet modelového objektu zanedbává vlivy tepelných mostů, způsobených spojením dvou odlišných materiálů nejčastěji u ostění oken, rohů budovy či napojení stropní konstrukce na obvodovou stěnu. Větrání objektu je zajištěno přirozeným větráním, jelikož u starších objektů se mechanické větrání používalo zřídka. Vhodnější variantou by ovšem bylo mechanické větrání, kterým lze dosáhnout až pětinasobně nižších tepelných ztrát větráním. Porovnání výpočtu tepelných ztrát mechanickým a přirozeným větráním zobrazují tabulky v Příloze 2.

Zóna 1 vykazuje oproti zóně 2 trojnásobné tepelné zisky od osoby, ovšem zóna 2 vykazuje skoro čtyřnásobně větší zisky od zařízení. Tepelná bilance vyjadřuje poměr mezi tepelnými ztrátami a tepelnými zisky.

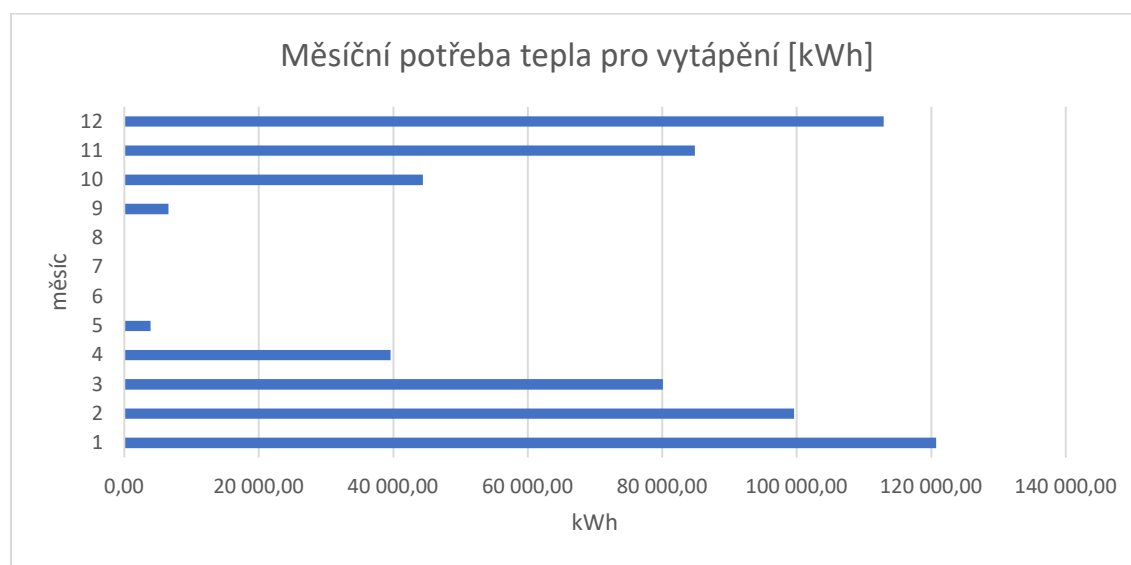
Graf 10: Tepelná bilance objektu



Zdroj: vlastní zpracování

Výsledek výpočtu představuje potřebu tepla pro vytápění objektu. Celková potřeba tepla pro vytápění zvoleného modelového objektu vychází 592,7 tis. kWh. Pro lepší představu a potřeby návrhu energetického zdroje je zapotřebí 2134 GJ. Měsíční potřeby tepla pro vytápění objektu zobrazuje Graf 11.

Graf 11: Měsíční potřeba tepla pro vytápění objektu

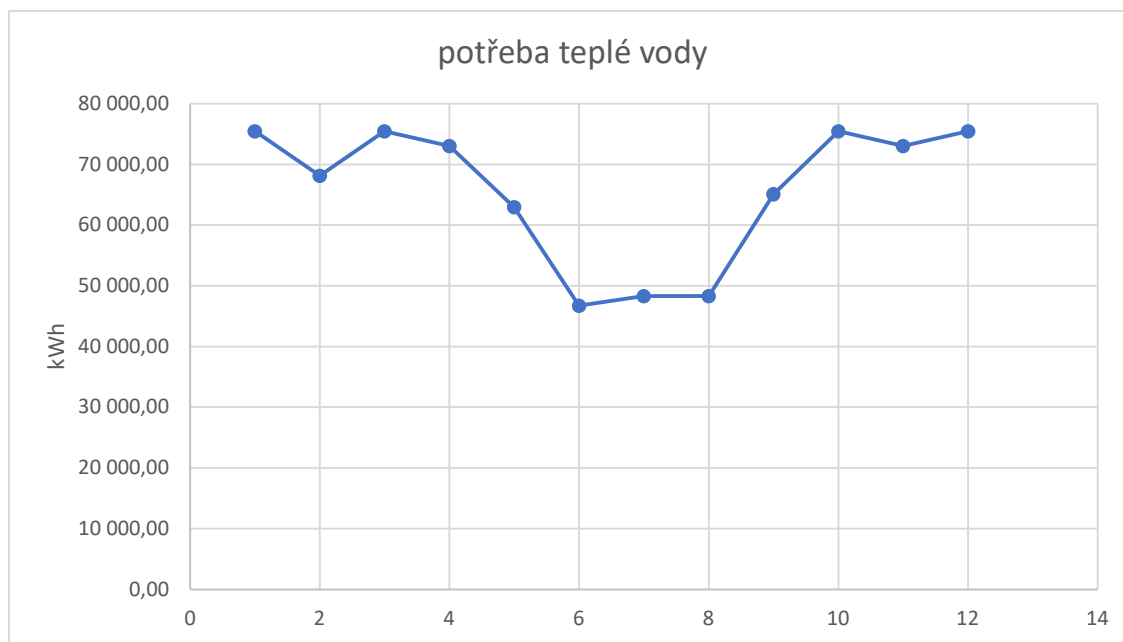


Zdroj: vlastní zpracování

Pokud vztáhneme výsledek k energeticky vztažené ploše modelového objektu, dostaneme potřebu $45,76 \text{ kWh/m}^2$. Graf 11 ukazuje, že největší potřeby tepla jsou v zimním období konkrétně v lednu a prosinci. V těchto měsících budou nastávat takzvané špičky, kdy energetický zdroj bude využit na maximum. Je velmi důležité navrhnout energetický zdroj přibližně o 10 % výkonnější v porovnání s výsledkem tepelné bilance, obzvláště při volbě tepelných čerpadel vzduch-voda, u kterých se snižuje efektivita produkce tepelné energie v závislosti na venkovní teplotě.

Energetický zdroj musí zajistit také potřeby teplé vody. Modelový objekt uvažuje se 372 lidmi, z toho 300 lidí v kancelářských prostor a 72 lidí v bytových jednotkách. Výpočet potřeby teplé vody proběhl pro obě zóny zvlášť v programu Microsoft Excel. Po sečtení potřeb teplé vody obou zón vychází 787,35 tis. kWh, což odpovídá 2834 GJ. Měsíční potřeby teplé vody zobrazuje Graf 12.

Graf 12: Měsíční potřeba teplé vody



Zdroj: vlastní zpracování

Velká potřeba teplé vody je způsobena velkým počtem lidí v kancelářích. Výpočet potřeby teplé vody uvažuje s používáním umyvadel a dřezu stejně jako u výpočtu pro bytové jednotky, ovšem neuvažuje se sprchami ani vanami. Tabulky s výpočtem jsou uvedeny v Příloze 2.

Sečtením potřeb tepla na ohřev teplé vody a vytápění dostaneme potřeby 4968 GJ, což odpovídá zdroji o výkonu 574 kW. Z důvodu zajištění dostatečného výkonu je dále uvažováno s potřebným výkonem minimálně 650 kW.

6.4 Návrh energetického zdroje

Současný uvažovaný energetický zdroj tedy centrální zásobování teplem (CZT) je z ekologického hlediska považován jako ekologicky vyhovující. Nevýhodu pro odběratele představuje rostoucí cena, zapříčiněná odpojováním odběratelů a nutností častých rekonstrukcí starých teplovodních sítí. Dálkové rozvody jsou charakterizovány velkými tepelnými ztrátami, způsobenými právě délkou potrubí, což se výrazně promítne v konečné ceně za dodanou tepelnou energii pro koncového zákazníka.

Dle zákona č. 369/2016 Sb., kterým se mění zákon o ochraně ovzduší, musí stavebník u novostaveb či při změně dokončené stavby využít centrální zásobování teplem, pokud je to technicky a ekonomicky realizovatelné [82]. U ostatních energetických zdrojů tepla vzniká nutnost prokázat ekologickou, ekonomickou a technickou proveditelnost. Ekologickou proveditelností se dle zákona rozumí splnění emisních limitů, což například u nových stacionárních kotlů může zapříčinit problém s prokazováním ekologičnosti. Ekonomická a technická proveditelnost se vyhodnocuje podle energetického posudku, který musí zpracovat energetický specialista oprávněný k vyhotovení energetických auditů a posudků dle zákona č. 406/200 Sb. [14].

Před výběrem energetického zdroje je důležité stanovit kde se bude nacházet kotelna. Ve většině budov se kotelna nachází v podzemním podlaží nebo přízemí, což představuje ideální umístění pro plynové kotle. Na druhou stranu pro tepelná čerpadla je nejlepší umístění kotelny v nejvyšším nadzemním podlaží nebo rovnou na střeše objektu. Pokud umístíme kotelnu do přízemí a navrhujeme tepelná čerpadla, je třeba myslet na velké náklady v řádech statisíců na propojení vnitřních a vnějších jednotek, tedy primárního okruhu. Dalším důležitým faktorem při výběru energetického zdroje je dostupná plocha kotelny pro technologii kotelny a její přístupnost při montážních pracích.

První variantou posuzovanou v této diplomové práci je plynová kotelna s kondenzačními kotli o účinnosti 92-94%. Plynová kotelna představuje nejlevnější verzi energetického zdroje, ovšem je třeba mít na paměti složitou situaci s dodávkami plynu. Zatím neexistuje konkrétní zákon, který by přímo zakazoval využívání plynových kotlů v České republice. Nicméně existují náznaky, že by v budoucnu mohlo dojít k omezení jejich prodeje v souvislosti se snahou o snižování emisí skleníkových plynů. Při volbě plynové kotelny je tedy důležité sledovat vývoj v oblasti environmentálních předpisů ovlivňujících využití plynových kotelen [83].

Pro pokrytí tepelných ztrát a potřeby teplé vody navrhují soustavu šesti plynových stacionárních kondenzačních kotlů Baxi Power HT+ 1.90 o celkovém výkonu 680 kW tedy 8x85 kW. Kotle fungují na teplotním spádu 80/60°C, což představuje vhodnou volbu při stávajícím otopném systému s koncovými prvky v podobě radiátorů. Kaskáda kotlů je vhodná, jelikož při poruše jednoho z kotlů dokáže pokrýt potřeby tepelné energie ostatní kotle. Investiční náklady na zhotovení plynové kotelny v přízemním podlaží zahrnují komplexní dodávku plynové kotelny včetně veškeré potřebné technologie, montážní práce a vyhotovení projektové dokumentace. Cena plynové kotelny je vztažena na koncového zákazníka a vychází z již realizovaných projektů. Je nutné mít na paměti že výše ceny se bude měnit

v závislosti na místě realizace projektu a současných tržních cenách materiálů a energií. Celková výše investice do plynové kotelny tedy vychází na 4,42 mil. Kč.

Druhou variantu představují tepelná čerpadla vzduch-voda konkrétně 7 x QUANTUM SQW 400 Triple, které nabízí jmenovitý výkon 98 kW pro vytápění a 112 kW pro chlazení. Díky možnosti chlazení je tepelné čerpadlo velmi vhodné oproti první variantě plynové kotelny, kde by bylo třeba navrhnout samostatný zdroj chladu. Ovšem tepelná čerpadla pracují na malém teplotním spádu a není vhodné je kombinovat s radiátory. Pro instalaci tepelných čerpadel by bylo vhodné předělat otopnou soustavu na podlahové vytápění. Celkově tepelná čerpadla poskytnou výkon 686 kW při venkovní teplotě 2 °C. S poklesem venkovní teploty bude klesat i výkon tepelného čerpadla, což může působit problém ve špičkách.

Typ tepelného čerpadla vzduch-voda byl zvolen oproti ostatním dvěma typům, jelikož nelze počítat s vhodným vodním zdrojem pro typ tepelného čerpadla voda-voda. Typ země-voda vyžaduje velkou plochu pro vybudování zemních kolektorů, což může představovat velkou komplikaci při výměně stávajícího zdroje. Tepelná čerpadla země-voda je nutné pečlivě navrhnout včetně přesné polohy zemních kolektorů, což představuje nejvhodnější volbu při novostavbách nikoliv při rekonstrukcích. V městských oblastech navíc nelze předpokládat dostatek místa pro výše zmíněné zemní kolektory. Investiční náklady varianty s tepelnými čerpadly vzduch-voda vychází na 20,58 mil. Kč.

Třetí variantou jsou tepelná čerpadla vzduch-voda 7 x QUANTUM SQW 400 Triple o celkovém topném výkonu 588 kW, doplněné o dva elektrokotle Junkers Bosch – TRONIC 5000 H s výkonem 120 kW (celkový výkon 708 kW). Poměr dodaného výkonu mezi tepelnými čerpadly a elektrokotli tedy činí 83% ku 17%. Kombinace tepelného čerpadla s bivalentním energetickým zdrojem je velmi výhodné, jelikož elektrokotel nepodléhá vnějším vlivům a dokáže tak spolehlivě pokrýt velké nárazové odběry tepelné energie ve špičkách. Potřeby tepla bude pokrývat tepelné čerpadlo a v případě že by nestačil jeho výkon se zapne elektrokotel.

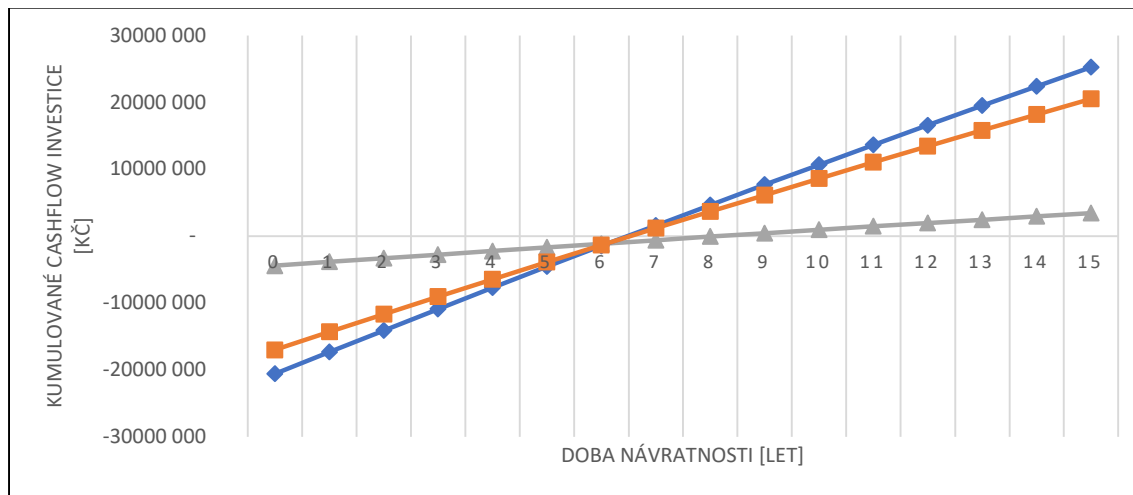
Elektrokotel jsem vybral oproti plynovému kotli z důvodu nejisté budoucnosti plynových kotlů. Navíc volbou elektrokotle se vyhneme využívání plynu a nebude třeba budovat spalinovou trasu (komín), což přinese velké úspory při počáteční investici. Celková výše investice při volbě tepelného čerpadla doplněného elektrokotli vychází na 16,99 mil. Kč.

6.5 Ekonomické vyhodnocení

Ekonomické vyhodnocení modelového objektu proběhlo v programu Microsoft Excel za pomoci funkce tabulek a grafů vyjadřujících jednotlivé ekonomické faktory uvedené v teoretické části diplomové práce. Při sestavování modelu cash flow jsem vycházel z pořizovacích a provozních nákladů získaných z realizovaných projektů zobrazených v tabulce v příloze 1.

Tabulky z Přílohy 3 udávají podrobné cash flow jednotlivých variant energetických zdrojů zmíněných v předchozí kapitole. Pomocí diskontovaného cash flow jsem zjistil reálnou dobu návratnosti a čistou současnou hodnotu po patnácti letech. Diskontovanou dobu návratnosti projektu zobrazuje Graf 13.

Graf 13: Diskontovaná doba návratnosti



Zdroj: vlastní zpracování

Každá ze tří křivek zobrazených v grafu vyjadřuje jednotlivé varianty popsané v předchozí kapitole. Šedivá křivka zobrazuje plynovou kotelnu, oranžová křivka kombinaci tepelného čerpadla s elektrokotlí a modrá křivka samotné tepelné čerpadlo vzduch-voda. Z grafu vyplývá, že i přes největší potřebný počáteční kapitál má nejkratší diskontovanou dobu návratnosti investice do varianty s tepelnými čerpadly a nejdélejší varianta s plynovými kotli. Z ekonomického hlediska se tedy nejvíce vyplatí tepelné čerpadla, ovšem je nutné přihlídnout k nevýhodnosti ve špičkách způsobené vnějšími vlivy.

Ve výpočtu uvažují, že jednotlivé varianty energetických zdrojů se navzájem vylučují, proto budou posuzovány podle čisté současné hodnoty (NPV). Uvažované období představuje uvažovaná doba životnosti – 15 let, ovšem v praxi při správné údržbě, servisu a optimálním vytížení energetického zdroje lze počítat i s delší životností. Hodnoty získané z výpočtu ekonomického posouzení z Přílohy 3 shrnuje Tabulka 18.

Tabulka 18: Ekonomické posouzení modelového objektu

Varianta	Investiční náklady [Kč]	roční úspora nákladů	PP	DPP	NPV 15 let	IRR 15 let	Emise CO ₂ [g/kWh]
PK	4 420 000	565 809	7,81	8,00	3 448 360 Kč	13,92%	199,40
TČ	20 580 000	3 294 307	6,25	6,00	25 231 948 Kč	18,21%	289,03
TČ + EK	16 992 000	2 697 665	6,30	6,00	20 522 804 Kč	18,04%	451,85

Zdroj: vlastní zpracování

Z tabulky vyplývají výhodnost druhé varianty ve všech ekonomických ukazatelích. Zároveň při investici do tepelného čerpadla je nutné prozkoumat možnosti státních dotací uvedených v teoretické části. Využitím dotace se mohou investiční náklady snížit až o polovinu, v závislosti na jednotlivých výzvách uveřejňovaných na stránkách ministerstva, které spravuje daný dotační program. Tabulka zároveň zobrazuje množství vyprodukovaných emisí tuhých znečišťujících látek pro jednotlivé varianty [84].

Výběr konkrétního dotačního programu není součástí této diplomové práce, jelikož dotační výzvy se v čase často mění. Pro výběr vhodného dotačního programu je zapotřebí pečlivě prostudovat podmínky pro získání dotace a následné prokazování energetických úspor docílených pomocí navržených opatření. V případě že investor není schopen prokázat energetické úspory, pak příslušné ministerstvo může vymáhat zpět poskytnuté prostředky na investici do realizovaného projektu.

Ekonomicky nejvýhodnější variantou vzhledem k čisté současné hodnotě (NPV) z Tabulky 18 je druhá varianta tedy tepelné čerpadlo. Pro variantu s tepelným čerpadlem si ovšem investor musí připravit největší kapitál ze všech tří zkoumaných variant, což často vede k volbě jiné levnější varianty. Z praxe ve firmě Lehotski Capital, s.r.o. jsem zjistil, že počáteční investice hraje ve většině případů klíčovou roli při rozhodování mezi energetickými zdroji. Investoři také často nevědí o možnosti dotačních programů a výhodách spojených s obnovitelnými zdroji energie.

7 Závěr

Hlavním cílem diplomové práce bylo poskytnout ucelený pohled na problematiku energetiky vztahenou k aktuální době, představit možnosti energetických zdrojů pro vytápění a chlazení objektu a ohřevu teplé vody. Dalším cílem bylo také stanovit potřeby tepla pro vytápění a chlazení konkrétního objektu a vyhodnotit jeho ekonomickou výhodnost. Jednotlivé energetické zdroje jsou představeny v kapitole 4.2. Zdroje tepla a chladu a získané poznatky jsou následně využity na modelovém objektu. Výpočet ekonomického vyhodnocení popisuje kapitola 5. Financování projektu, kde jsou zároveň popsány faktory ovlivňující náklady jednotlivých položek celého projektu. Náklady na jednotlivé části kotelny se opírají o zkušenosti získané z praxe, porovnané s cenovou databází ÚRS. Výsledkem analýzy zaznamenaných projektů jsou grafy, zobrazující podrobné informace o investičních a provozních nákladech.

Diplomové práce popisuje nejvyužívanější energetické zdroje v nerezidenčních objektech. Kapitola 4.2. Zdroje energie popisuje technologické parametry jednotlivých zdrojů včetně stavební připravenosti v závislosti na výběru energetického zdroje. Konkrétně diplomová práce porovnává kotle na tuhá paliva, plynové kotle, elektrokotle, tepelná čerpadla, FVE panely a zdroje chladu. Nejvyužívanějšími zdroji chladu v analýze nákladů v kapitole 5.2. Pořizovací náklady jsou chillery a tepelná čerpadla. Oproti chillerům tepelná čerpadla umožňují využití chlazení i vytápění jedním systémem, kdy v létě se chladí a v zimě topí. Pokud se investor rozhodne o realizaci nového zdroje chlazení u rekonstrukce objektu, například při stávajícím energetickém zdroji plynové kotelny či výměňkové stanice, pak představují vhodnější volbu chillery z důvodu nižších nákladů oproti tepelným čerpadlům. Ovšem za zvážení by stála i možnost demolice plynové kotelny a zhotovení nového zdroje tepla i chladu v podobě tepelných čerpadel, doplněných například elektrickými kotly. Tepelná čerpadla kladou menší potřeby na prostor oproti chillerům a jejich umístění je flexibilnější. U nově realizovaných projektů s potřebami chlazení také vzniká možnost realizace zpětného získávání tepla (ZZT). Díky ZZT můžeme dosáhnout velkých úspor za ohřev teplé vody, jelikož odpadní teplo z chilleru predehřívá studenou vodu za pomoci výměníku tepla, před ohřátím vody zdrojem tepla. ZZT představuje rozsáhlé téma, vhodné pro navázání na tuto diplomovou práci.

Diplomová práce dále popisuje výpočet tepelné bilance objektu a nutnosti zvolení materiálů s co nejlepšími tepelně-technickými vlastnostmi. Realizaci energetického zdroje musí vždy předcházet snížení energetické náročnosti budovy zateplením obálky a výměnou starých oken. Zlepšením tepelně-technických vlastností objektu dosáhneme mnohonásobných budoucích úspor na počáteční investici i provozní náklady, zapříčiněných snížením potřeby tepelné energie na vytápění objektu. Potřeba tepla na vytápění a ohřev teplé vody v modelovém objektu vychází z energetické bilance 4968 GJ. Energetický zdroj schopný pokrýt potřeby modelového objektu musí mít výkon minimálně 574 kW.

V kapitole 6.2. Návrh energetického zdroje byly navrženy 3 varianty energetických zdrojů. První variantou je plynová kotelna s kondenzačními kotli účinnosti 92 - 94 % o celkovém výkonu 680 kW (8 x 85 kW). Náklady na plynovou kotelnu vychází 4,42 mil. Kč. Plynová kotelna přinese roční úspory oproti výměňkové stanici 565,8 tis. Kč. Druhou

variantou jsou samostatná tepelná čerpadla vzduch-voda o celkovém výkonu 686 kW (7 x 98 kW). Tepelná čerpadla představují nejvýhodnější variantu z hlediska ročních úspor a to ve výši 3,3 mil. Kč. Ovšem počáteční investice do tepelných čerpadel činí 20,6 mil. Kč. Poslední varianta kombinuje tepelná čerpadla vzduch-voda s elektrickými kotly o celkovém výkonu 708 kW v poměru 83 % (TČ) ku 17 % (EK). Náklady poslední varianty činí 16,9 mil. Kč s ročními úsporami oproti výměňkové stanici 2,7 mil. Kč.

V případě zkoumaného modelového objektu vychází nejvýhodněji z ekonomického vyhodnocení varianta samotných tepelných čerpadel, ovšem pro investora představuje nejnákladnější variantu co se týče počátečního kapitálu. Druhou nejvýhodnější variantu z hlediska návratnosti investice představuje kombinace tepelných čerpadel s elektrokotli, která lépe zajistí spolehlivé pokrytí energetických potřeb ve špičkách. Nejméně vhodnou variantou je plynová kotelná, ať už z hlediska návratnosti investice, tak i pro nejistotu dodávky plynu a špatný ekologický dopad na vnější prostředí. Původní energetický zdroj v podobě centrálního zásobování teplem vychází jako nejdražší varianta co se týče provozních nákladů. Provozní náklady výměňkové stanice modelového objektu vycházejí 6,864 mil. Kč.

Na základě výše uvedených výsledků energetické bilance, porovnaných variant energetických zdrojů a jejich ekonomického vyhodnocení diplomová práce splňuje všechny stanovené cíle.

Na výsledky posuzovaného modelového objektu lze nahlížet z více úhlů pohledu v závislosti na jednotlivých účastnících projektu. Projektanti získají ucelený pohled na technologii kotelny nutnou pro dosažení maximální efektivity energetického zdroje. Zároveň projektanti dokážou vhodně zkombinovat otopné systémy s jednotlivými energetickými zdroji v závislosti na fyzikálních vlastnostech systému.

Uživatele budovy ovšem nejvíce zajímá komfort. Volbou centrálního zásobování teplem uživatel dosáhne velkého komfortu, jelikož veškerý servis, výměnu výměníku a distribuční síť zajišťuje majitel nebo správce distribuční sítě. Pokud uživatel budovy zvolí tepelné čerpadlo, plynový kotel nebo jakýkoliv jiný energetický zdroj, přibude nutnost zajištění autorizovaného servisu pro dodržení záruční doby od výrobce. Běžné revize může ovšem po zaškolení provádět například správce objektu. Volbou kotle na biomasu přibude také nutnost doplňování zásobníku paliva. Odlišný pohled na výměnu či realizaci nového energetického zdroje přináší investor, kterého zajímá především ekonomická výhodnost investice. Cena za jeden GJ dodané tepelné energie se mnohonásobně liší vzhledem k jednotlivým variantám. Diplomová práce podrobně ukazuje náklady spojené s počáteční investicí i provozními náklady. Zkoumaný modelový objekt zároveň ukazuje ekonomické vyhodnocení pro nejčastěji realizované energetické zdroje a jejich kombinace.

Z pohledu veřejnosti a dotčených osob představují nechtěnou variantu kotle na biomasu, vzhledem k množství vyprodukovaných emisí tuhých znečišťujících látek, uvolněných do ovzduší spalováním peletků v automatických kotlích. Tepelná čerpadla také představují obávanou variantu pro okolní obyvatele vzhledem ke své hlučnosti a při nesprávně zvolené orientaci či chybějící akustické zástěně k okolní zástavbě mohou vyvolávat stížnosti u dotčených lidí.

8 Citovaná literatura

- [1] *Příčiny změny klimatu* [online]. [vid. 2023-10-11]. Dostupné z: https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_cs
- [2] *_20_III_dlouhodobá_strategie_renovaci_20200520_schvalene.pdf* [online]. [vid. 2023-10-11]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/energeticka-ucinnost/strategicke-dokumenty/2020/6/_20_III_dlouhodobá_strategie_renovaci_20200520_schvalene.pdf
- [3] KOSMAS.CZ. *Historie a změny klimatu - Pascal Acot | Kosmas.cz - internetové knihkupectví* [online]. 2006 [vid. 2023-10-26]. ISBN 80-246-0869-3. Dostupné z: <https://www.kosmas.cz/knihy/128865/historie-a-zmeny-klimatu/>
- [4] D'AGOSTINO, Delia a Danny PARKER. Data on cost-optimal Nearly Zero Energy Buildings (NZEBS) across Europe. *Data in Brief* [online]. 2018, **17**. Dostupné z: doi:10.1016/j.dib.2018.02.038
- [5] *decarbonization_report_cz_vf.pdf* [online]. [vid. 2023-10-11]. Dostupné z: https://www.mckinsey.com/cz/~/_media/mckinsey/locations/europe%20and%20middle%20east/czech%20republic/our%20work/decarbonization_report_cz_vf.pdf
- [6] *Snížení emisí skleníkových plynů: národní cíle do roku 2030 | Zpravodajství | Evropský parlament* [online]. 12. duben 2018 [vid. 2023-10-11]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20180208STO97442/snizeni-emisi-sklenikovyh-plynu-narodni-cile-do-roku-2030>
- [7] Historie a budoucnost vytápění: od ohně k tepelnému čerpadlu • Bydlíme stylově. *Bydlíme stylově* [online]. 24. červenec 2017 [vid. 2023-10-11]. Dostupné z: <https://bydlimestylove.cz/historie-budoucnost-vytapeni-od-ohne-k-tepelnemu-cerpadlu/>
- [8] POČINKOVÁ, M. a L. TREUOVÁ. *Vytápění. Brno: Computer Press*. 2011. ISBN 978-80-251-3329-3.
- [9] FROLÍK, Ing Stanislav. *TECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ BUDOV*. nedatováno.
- [10] ESTAV.CZ. Co je teplotní spád a jaký má význam pro topnou soustavu. *ESTAV.cz* [online]. [vid. 2023-11-06]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/4573.co-je-teplotni-spad-a-jaky-ma-vyznam-pro-topnou-soustavu>
- [11] *Co je kaskáda tepelných čerpadel | TnG – Air* [online]. [vid. 2023-11-18]. Dostupné z: <https://www.zatopime.cz/kaskadova-cerpadla>
- [12] *Bivalentní zdroj – Schlieger* [online]. [vid. 2023-11-18]. Dostupné z: <https://web.schlieger.cz/slovník/bivalentni-zdroj/>
- [13] *Evaporator | Condenser, Heat Exchange & Refrigeration | Britannica* [online]. [vid. 2023-11-19]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/evaporator>
- [14] INFO@AION.CZ, AION CS-. 406/2000 Sb. Zákon o hospodaření energií. *Zákony pro lidi* [online]. [vid. 2023-10-26]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-406>

- [15] *Souhrnná energetická bilance státu v metodice Eurostatu za léta 2010–2021 | MPO* [online]. [vid. 2023-10-26]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/energeticke-bilance/souhrnna-energeticka-bilance-statu-v-metodice-eurostatu-za-leta-2010_2021--271601/
- [16] Zbytkový energetický mix. *OTE, a.s.* [online]. [vid. 2023-10-11]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/zbytkovy-energeticky-mix>
- [17] Uhlí v České republice. *GOLEM – paliva s.r.o.* [online]. 4. duben 2021 [vid. 2023-11-06]. Dostupné z: <https://www.golem-paliva.cz/uhli-v-ceske-republice/>
- [18] WWW.BENES-MICHL.CZ, Beneš & Michl. *Jak to funguje | Pražská teplotárenská a.s.* [online]. [vid. 2023-11-06]. Dostupné z: <https://www.ptas.cz/jak-to-funguje/>
- [19] Co znamená zelená energie a mohu její výrobu podpořit? *Enkidoo.cz* [online]. 13. leden 2022 [vid. 2023-11-06]. Dostupné z: <https://www.enkidoo.cz/clanky/co-znamenazelenaa-mohu-jeji-vyrobu-podporit>
- [20] JAROSLAV, Dufka. *Vytápění domů a bytů: (2., zcela přepracované vydání)*. B.m.: Grada Publishing a.s., 2004. ISBN 978-80-247-6419-1.
- [21] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. B.m.: Grada Publishing a.s., 2010. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [22] KARÁSEK, Jiří a Jaroslav PAVLICA. Green Investment Scheme: Experience and results in the Czech Republic. *Energy Policy* [online]. 2016, **90**, 121–130. ISSN 0301-4215. Dostupné z: doi:10.1016/j.enpol.2015.12.020
- [23] BRANIŠ, Martin a Jana KOLOMAZNÍKOVÁ. Year-long continuous personal exposure to PM2.5 recorded by a fast responding portable nephelometer. *Atmospheric Environment* [online]. 2010, **44**(24), 2865–2872. ISSN 1352-2310. Dostupné z: doi:10.1016/j.atmosenv.2010.04.050
- [24] Vnitřní prostředí budov a tepelná pohoda člověka. *TZB-info* [online]. [vid. 2023-11-04]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/2650-vnitri-prostredi-budov-a-tepeln-pohoda-cloveka>
- [25] 2007/194 Sb. *Vyhláška, kterou se stanoví pravidla pro vytápění a dodávku teplé vody* [online]. [vid. 2023-11-04]. Dostupné z: <http://www.atre.cz/zakony/page0079.htm>
- [26] *Teoretická část* [online]. [vid. 2023-10-11]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/177/02.html>
- [27] JAKUB, Vrána a a KOLEKTIV. *Technická zařízení budov v praxi: Příručka pro stavaře*. B.m.: Grada Publishing a.s., 2007. ISBN 978-80-247-6883-0.
- [28] JAROSLAV, Dufka. *Hospodárné vytápění domů a bytů*. B.m.: Grada Publishing a.s., 2007. ISBN 978-80-247-6475-7.
- [29] INFO@AION.CZ, AION CS-. 172/2018 Sb. Zákon, kterým se mění zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů. *Zákony pro lidi* [online]. [vid. 2024-01-05]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2018-172>

- [30] Zákonné povinnosti při realizaci a správě plynových zařízení a spalinových cest. *Sousedé.cz* [online]. [vid. 2023-11-09]. Dostupné z: <https://www.sousedecz/magazin/clanek/zakonne-povinnosti-pri-realizaci-a-sprave-plynovych-zarizeni-a-spalinovych-cest/1297>
- [31] *Prirucka_Quantum_Kondenzace_2017_20.2.17.pdf* [online]. [vid. 2023-11-09]. Dostupné z: https://www.quantumas.sk/files/ckeditor/projektanti/Vavricka/Prirucka_Quantum_Kondenzace_2017_20.2.17.pdf
- [32] KABELE, Karel. *TZ01/Vytápění 5 - Dálkové vytápění a výroba tepla spalováním paliv*. 24. květen 2021
- [33] WWW.FG.CZ, 2023, FG Forrest, a s. Elektrokotel: Vyplatí se vám a jak ho správně vybrat? *Skupina ČEZ - Produktová sekce* [online]. [vid. 2023-11-19]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/clanky/elektrokotel-vyplati-se-vam-a-jak-ho-spravne-vybrat-149070>
- [34] S.R.O, Endevel. *Proč si k vytápění vybrat elektrokotel? | Průmyslová ekologie* [online]. [vid. 2023-11-19]. Dostupné z: <https://www.prumyslovaekologie.cz/info/proc-si-k-vytapeni-vybrat-elektrokotel>
- [35] JØRGENSEN, Peter. What is the COP and SCOP value? *Medium* [online]. 15. září 2016 [vid. 2023-11-13]. Dostupné z: <https://medium.com/@peterjorgensen/what-is-the-cop-and-scop-value-82297204b8b>
- [36] PATTAVINA, Jeffrey. An Introduction Heat Pumps [online]. 2023 [vid. 2023-11-19]. Dostupné z: doi:10.13140/RG.2.2.34862.08005
- [37] *Untitled Document* [online]. [vid. 2023-11-19]. Dostupné z: <https://kof.zcu.cz/vusc/pg/termo09/termodynamics/heat/conduction.htm>
- [38] KOZUBKOVÁ, Milada, Tomáš BLEJCHAŘ a Marian BOJKO. Modelování přenosu tepla, hmoty a hybnosti. nedatováno.
- [39] ČSN EN 14511 - *Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin, tepelná čerpadla pro ohřívání a chlazení prostoru a procesní chladiče, s elektricky poháněnými kompresory*. B.m.: Evropský výbor pro normalizaci CEN. 2018
- [40] KABELE, Karel. *Energetické a ekologické systémy 1*. 1. vyd. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03327-9.
- [41] Match Quotes & Suppliers | GreenMatch. *GreenMatch.co.uk* [online]. [vid. 2023-11-15]. Dostupné z: <https://www.greenmatch.co.uk/>
- [42] *Tepelné čerpadlo země/voda a jeho právní úskalí* [online]. [vid. 2023-11-15]. Dostupné z: <https://www.gerotop.cz/tepelne-cerpadlo-zeme/voda-a-jeho-pravni-uskali>
- [43] KARLÍK, Robert. *Tepelné čerpadlo pro váš dům*. B.m.: Grada Publishing a.s., 2009. ISBN 978-80-247-2720-2.
- [44] Fotovoltaické panely a podle čeho je vybrat. *Woltair* [online]. [vid. 2023-11-21]. Dostupné z: <https://www.woltair.cz/blog/fotovoltaika/fotovoltaicke-panely-a-podle-ceho-je-vybrat>

- [45] KOCOUREK, Martin, Jan SVĚTLÍK, Josef FIŘT, Pavel DROBIL, Vladimír TOMŠÍK, Pavel BÉM, Petr MACH, Miroslav ZAJÍČEK, a KOL a Institut Václava KLAUSE. *Fotovoltaika a růst cen elektřiny*. B.m.: Institut Václava Klause, 2015. ISBN 978-80-87806-39-5.
- [46] KOPECKÝ, Leoš. *Ukládání elektřiny do písku by mohlo nahradit velké baterie* [online]. 14. duben 2022 [vid. 2023-11-21]. Dostupné z: <https://www.sci-line.cz/index.php/technologie/446-ukladani-elektřiny-do-pisku-by-mohlo-nahradit-velke-baterie.html>
- [47] *Vědci hledají nové způsoby, jak efektivně využít sluneční energii - Akademie věd České republiky* [online]. [vid. 2023-11-21]. Dostupné z: <https://www.avcr.cz/cs/o-nas/aktuality/Vedci-hledaji-nove-zpusoby-jak-efektivne-vyuzit-slunecni-energii/>
- [48] COPCO, Atlas. *Skladování solární energie – jak využít slunce na maximum - Atlas Copco Česká republika* [online]. [vid. 2023-11-21]. Dostupné z: <https://www.atlascopco.com/cs-cz/construction-equipment/resources/green-solutions-guide/solar-energy-storage-getting-the-most-out-of-the-sun>
- [49] KOCIÁN, Solární systémy. Solární technologie: Co je lepší pro vaši domácnost, fotovoltaické panely nebo solární kolektory? *Solární ohřev vody | Kocián* [online]. [vid. 2023-11-21]. Dostupné z: <https://solarni-ohrev-vody.cz/clanky/je-lepsi-fotovoltaika-nebo-solarni-kolektory>
- [50] *ČSN EN 12831-1 Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu*. B.m.: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 1. září 2018
- [51] KABELE, Karel. *TZ01 - Vytápění 3*. 2019
- [52] *ČSN 07 0703 - Kotelny se zařízením na plynná paliva*. B.m.: Český normalizační institut. leden 2005
- [53] *ČSN 75 5455 - Výpočet vnitřních vodovodů*. B.m.: Úřad pro technickou normalizace, metrologii a státní zkušebnictví. únor 2014
- [54] *Za a Budov - VNITŘNÍ VODOVOD ROZVODY, MATERIÁLY, VÝPOČET.pdf* [online]. [vid. 2023-12-06]. Dostupné z: <https://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125tba1/prednasky08/125tz1-05.pdf>
- [55] Věčná problematika teplotní roztažnosti potrubních vedení. *TZB-info* [online]. [vid. 2023-12-11]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/potrubi-a-armatury/8085-vecna-problematika-teplotni-roztaznosti-potrubnich-vedeni>
- [56] Otopné plochy (II) - Druhy otopných těles. *TZB-info* [online]. [vid. 2023-12-11]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/otopne-plochy/3064-otopne-plochy-ii-druhy-otopnych-teles>
- [57] *5138.pdf* [online]. [vid. 2023-11-04]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/dokument/5138.pdf>
- [58] *ČSN EN ISO 52016-1, Energetická náročnost budov – Potřeba energie na vytápění a chlazení, vnitřní teploty a citelné a latentní tepelné výkony – Část 1: Výpočtové postupy*. 1. září 2019

- [59] KARÁSEK, Jiří. *Energetický management budov. [Přednáška] Praha: ČVUT v Praze, fakulta stavební. duben 2023*
- [60] ČSN 73 0540-3: *Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin. 91.120.10 Tepelné izolace. B.m.: ÚMMZ. 2005*
- [61] ČSN 73 0540-2: *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky. 91.120.10 Tepelné izolace. 2011*
- [62] *aahygiena-2013.pdf* [online]. [vid. 2023-12-15]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/ped/podzim2015/UPV_0030/um/aahygiena-2013.pdf
- [63] AKTIENGESELLSCHAFT, Hoval. *Hoval Aktiengesellschaft* [online]. [vid. 2023-12-16]. Dostupné z: <https://www.hoval.cz/blog/cz/pozor-na-bakterii-legionella-rady-a-tipy-jak-se-temto-bakteriim-ucinne-vyhnout>
- [64] *Energetický audit a posudek | MPO* [online]. [vid. 2023-12-16]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/uspory-energie/uspory-v-praxi/energeticky-audit-a-posudek/energeticky-audit-a-posudek--277420/>
- [65] *MPO Efekt* [online]. [vid. 2023-12-16]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/cz/energeticka-ucinnost-v-praxi/energeticky-audit-a-energeticky-posudek/energeticky-audit>
- [66] INFO@AION.CZ, AION CS-. 15/2022 Sb. Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 141/2021 Sb., o energetickém posudku a o údajích vedených v Sys... *Zákony pro lidi* [online]. [vid. 2024-01-05]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2022-15>
- [67] INFO@AION.CZ, AION CS-. 140/2021 Sb. Vyhláška o energetickém auditu. *Zákony pro lidi* [online]. [vid. 2023-12-16]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-140>
- [68] *OOO-NPSE_2007-20200217.pdf* [online]. [vid. 2023-12-17]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/strategie_dokumenty/\\$FILE/OOO-NPSE_2007-20200217.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/strategie_dokumenty/$FILE/OOO-NPSE_2007-20200217.pdf)
- [69] Hlavním znečišťovatelem v ČR je doprava a lokální vytápění. *oEnergetice.cz* [online]. 13. březen 2018 [vid. 2023-12-17]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/rychle-zpravy/hlavnim-znecistovatelem-v-cr-je-doprava-a-lokalni-vytapeni/>
- [70] INFO@AION.CZ, AION CS-. 480/2012 Sb. Vyhláška o energetickém auditu a energetickém posudku. *Zákony pro lidi* [online]. [vid. 2023-12-17]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-480>
- [71] VONDRUŠKA, Michal. *Projektový management 1. In: . Přednáška. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební. 2023.*
- [72] Znáte desatero domácí ekologie. *E.ON* [online]. [vid. 2023-12-18]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/ekologie/ekologicka-domacnost/znate-desatero-domaci-ekologie/>
- [73] *Přehled dotačních programů | MPO* [online]. [vid. 2023-12-18]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/uspory-energie/dotace-a-setreni-energie/prehled-dotacnich-programu/prehled-dotacnich-programu--271831/>

- [74] *Pravdy a mýty | ENERGIE Holding a. s.* [online]. [vid. 2023-12-22]. Dostupné z: <https://enh.enetiqa.cz/odpojovani/pravdy-a-myty/>
- [75] ČÁSENSKÝ, Martin. Management stavební firmy. In: . Přednáška. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební. září 2022.
- [76] *Portál ČHMÚ : Historická data : Počasí : Praha Klementinum* [online]. [vid. 2023-12-26]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/praha-klementinum#>
- [77] WWW.FRESHNET.CZ, Studio Fresh Net, s r o. *Lehký keramický LiaporBeton | Liapor.cz* [online]. [vid. 2023-12-27]. Dostupné z: <https://www.liapor.cz/produkty/beton/liaporbeton/>
- [78] *Co to je keramzit a kde ho můžete využít? | MERIT spol s. r. o.* [online]. [vid. 2023-12-27]. Dostupné z: <https://www.merit-slatinany.cz/co-je-keramzit-kde-ho-muzete-vyuzit>
- [79] REDAKCE. Co je to těžká podlaha a jaké jsou její přednosti? *stavimbydlim.cz* [online]. 1. duben 2018 [vid. 2023-12-27]. Dostupné z: <https://stavimbydlim.cz/co-je-to-tezka-podlaha-a-jake-jsou-jeji-prednosti/>
- [80] *Teplárenství - EP Power Europe* [online]. 6. duben 2016 [vid. 2023-12-28]. Dostupné z: <https://www.eppowereurope.cz/segmenty/teplarenstvi/>
- [81] ČTK. Největší dodavatel tepelné energie v Česku EP Energy utržil ve čtvrtletí 15 miliard korun. *Hospodářské noviny (HN.cz)* [online]. 27. květen 2016 [vid. 2023-12-28]. Dostupné z: <https://byznys.hn.cz/c1-65309780-nejvetsi-dodavatel-tepelne-energie-v-cesku-ep-energy-utrzil-ve-ctvrtleti-15-miliard-koron>
- [82] INFO@AION.CZ, AION CS-. 369/2016 Sb. Zákon, kterým se mění zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů, a záko... *Zákony pro lidi* [online]. [vid. 2023-12-29]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-369>
- [83] ENERGOZROUTI.CZ. Česko proti proudu. Roste zájem o plynové kotle, na ty se přitom chystá zákaz. *EnergoZrouti.cz* [online]. [vid. 2023-12-29]. Dostupné z: <https://energozrouti.cz/clanek/cesko-proti-proudu-zajem-o-plynove-kotle-na-ktere-se-chysta-zakaz-opet-roste>
- [84] *OOO-Sdeleni_odhad_prinosu_SC-20190715.pdf* [online]. [vid. 2023-12-30]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/prumysl_energetika/\\$FILE/OOO-Sdeleni_odhad_prinosu_SC-20190715.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/prumysl_energetika/$FILE/OOO-Sdeleni_odhad_prinosu_SC-20190715.pdf)

9 Seznam tabulek

Tabulka 1: Rozdělení plynových spotřebičů	23
Tabulka 2: porovnání tepelných čerpadel vzduch-voda	28
Tabulka 3: porovnání tepelných čerpadel země-voda	30
Tabulka 4: Rozpočet kotelny s tepelným čerpadlem	33
Tabulka 5: Spotřeba chladu u realizovaných projektů.....	35
Tabulka 6: Porovnání investičních a provozních nákladů chladicího systému	37
Tabulka 7: Rozdělení parních systémů vytápění	40
Tabulka 8: Návrh dimenze potrubí	42
Tabulka 9: Součinitele prostupu tepla vybraných konstrukcí dle ČSN 73 0540-2	50
Tabulka 10: všeobecné emisní faktory oxidu uhličitého	55
Tabulka 11: Dotační programy pro nerezidenční objekty	57
Tabulka 12: Průměrné historické teploty v Praze.....	66
Tabulka 13: obvodová stěna	67
Tabulka 14: vnitřní stěna	68
Tabulka 15: střešní konstrukce	68
Tabulka 16: podlaha v běžném podlaží	69
Tabulka 17: podlaha na terénu.....	69
Tabulka 18: Ekonomické posouzení modelového objektu	76

10 Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma kotlů podle typu B a C	24
Obrázek 2: Pracovní cyklus tepelného čerpadla.....	26
Obrázek 3: ukládání elektrické energie do písku.....	34
Obrázek 4: VRV (VRF) – jednotky s variabilním průtokem chladiva	36
Obrázek 5: Multi-split jednotka	36
Obrázek 6: Porovnání chillerů.....	38
Obrázek 7: Schéma kotelny.....	41
Obrázek 8: Systémy rozvodů dle tvaru	44
Obrázek 9: Schéma vnitřního vodovodu	45
Obrázek 10: Princip otopného tělesa.....	46

11 Seznam grafů

Graf 1: Konečná spotřeba energie v České republice.....	15
Graf 2: Spotřeba primárních zdrojů energie pro rok 2020	16
Graf 3: Spotřeba obnovitelných zdrojů energie v České republice pro rok 2020.....	17
Graf 4: Prostředí, kde člověk tráví čas	19
Graf 5: Nákladové skupiny investice do tepelného čerpadla	32
Graf 6: Pořizovací náklady v závislosti na energetickém zdroji	58
Graf 7: Závislost pořizovacích nákladů na výkonu energetického zdroje.....	60
Graf 8: Pořizovacích náklady vztažené na výkonu energetického zdroje	61

Graf 9: Provozní náklady na energie v závislosti na typu energetického zdroje	62
Graf 10: Tepelná bilance objektu.....	71
Graf 11: Měsíční potřeba tepla pro vytápění objektu	71
Graf 12: Měsíční potřeba teplé vody	72
Graf 13: Diskontovaná doba návratnosti.....	75

12 Seznam rovnic

Rovnice 1: výpočet průtoku v potrubí, zdroj [50]	41
Rovnice 2: Roční potřeba tepla pro vytápění, zdroj [56]	49
Rovnice 3: Měsíční potřeba tepla pro vytápění, zdroj [56]	49
Rovnice 4: Výpočet tepelného odporu materiálu, zdroj [56]	49
Rovnice 5: Výpočet součinitele prostupu tepla, zdroj [56]	50
Rovnice 6: Výpočet ztrát prostupem tepla, zdroj [48].....	51
Rovnice 7: Výpočet tepelných ztrát větráním, zdroj [48].....	51
Rovnice 8: Výpočet solárních zisků, zdroj [56]	52
Rovnice 9: Výpočet denní potřeby teplé vody, zdroj [56].....	53
Rovnice 10: Výpočet roční potřeby teplé vody, zdroj [56]	53
Rovnice 11: Výpočet čisté současné hodnoty, zdroj [71].....	64
Rovnice 12: Výpočet vnitřního výnosového procenta (IRR), zdroj [71]	64
Rovnice 13: Výpočet diskontované doby návratnosti (DPP), zdroj [71]	65

13 Seznam příloh

- Příloha 1: Analýza realizovaných projektů
- Příloha 2: Výpočet energetické bilance modelového objektu
- Příloha 3: Ekonomické vyhodnocení jednotlivých variant