

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví



INVESTICE DO ALTERNATIVNÍCH ZDROJŮ VYTÁPĚNÍ

INVESTMENT IN ALTERNATIVE HEAT SOURCES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Praha 2020

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Jiří Karásek, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Válková** Jméno: **Kateřina** Osobní číslo: **440773**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví**
Studijní program: **Stavební inženýrství**
Studijní obor: **Stavební management**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Investice do alternativních zdrojů vytápění

Název diplomové práce anglicky:

Investment in alternative heat sources

Pokyny pro vypracování:

Systemy vytápění,
Soustavy zásobování teplem
Návratnost investice
Případové studie

Seznam doporučené literatury:

Karásek, J., Pojar, J., Kaločai, L. & Heralová, R. S., 2018. Cost optimum calculation of energy efficiency measures in the Czech Republic. Energy Policy, 112, Svazek 123, pp. 155-166.
Heralová, R. S., 2014. Life Cycle Cost Optimization Within Decision Making on Alternative Designs of Public Buildings. Procedia Engineering, Svazek 85, pp. 454-463.
Tywoniak, J.; Matuška, T.; Staněk, K.; Novák, J.; Růžička, J.; Šenberger, T. Nízkoenergetické domy 3. nulové, pasivní a další, Praha: GRADA PUBLISHING, 2012. ISBN 978-80-247-3832-1.

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: **25.09.2019**

Termín odevzdání diplomové práce: _____

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

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna 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 studentky

Čestné prohlášení:

Čestně prohlašuji, že jsem diplomovou práci „Investice do alternativních zdrojů vytápění“ vypracovala samostatně a s použitím uvedené literatury a pramenů.

V Praze, dne 6.1.2020

.....

Kateřina Válková

Dále souhlasím, aby má diplomová práce byla používána ke studijním účelům na ČVUT, fakultě stavební bez mého písemného souhlasu.

Poděkování:

Ráda bych poděkovala vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Karáskovi, Ph.D. za odborné vedení, pomoc a rady při zpracování této diplomové práce.

Dále bych ráda poděkovala Mgr. Květoslavě Havlůjové a Stavebnímu bytovému družstvu Ocelář za možnost nahlédnutí do projektových dokumentací vybraných objektů.

V neposlední řadě bych ráda poděkovala Ing. Mirčo Kostovovi a Pavlovi Válkovi za poskytnutí odborných rozhovorů v oblasti alternativních zdrojů, historie tepelné elektrárny Kladno a možnosti odpojení od CZT.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá tématem investic do alternativních zdrojů vytápění. Práce je členěna do dvou částí – teoretického uvedení do problematiky systémů vytápění a návratnosti investic, a praktického příkladu z města Kladna. Teoretická část diplomové práce se zabývá problematikou alternativních zdrojů, soustav vytápění a systému centrálního zásobování teplem stejně jako problematikou odpojení od centrálního zásobování teplem. Teoretická část dále popisuje postup při výpočtu potřeby tepla pro vytápění. Poslední kapitola teoretické části je zaměřena na návratnost investic. Praktická část diplomové práce je zaměřena na návratnost investice do alternativních zdrojů vytápění u dvou vybraných objektů – objektu Sportovního gymnázia Kladno a panelového domu v ulici Wednesbury, v Kladně.

Klíčová slova

Systémy vytápění, centrální zásobování teplem, alternativní zdroje vytápění, potřeba tepla pro vytápění, návratnost investice, případová studie.

Abstrakt

This master thesis is focused on investment in alternative heat sources. The thesis is divided into a theoretical part and a practical part. The theoretical part describes alternative heat sources, heating systems, central heat supply and the process of disconnection from the central heat supply. The theoretical part also includes the return on investment chapter. The practical part is focused on return on investment in alternative heat sources in case studies of two buildings placed in the city of Kladno – the area of Sportovní gymnázium Kladno and the prefabricated-sections house in Wednesbury street in Kladno.

Keywords

Heating systems, central heat supply, alternative heat sources, building heating demand, return on investment, case study.

Seznam zkratk

CF – Cash flow

CLTRAP – Convention on Long-range Transboundary Air Pollution; Úmluva o dálkovém znečišťování ovzduší přesahující hranice států

CZT – Centrální zásobování teplem

ČU – Černé uhlí

DPP – Discounted Payback period; Diskontovaná (reálná) doba návratnosti

ERÚ – Energetický regulační úřad

HU – Hnědé uhlí

IROP – Integrovaný regionální operační program

IRR – Internal Rate of Return; Vnitřní výnosové procento

KVET – Kombinovaná výroba elektřiny a tepla

LTO – Lehký topný olej

NED – Nízkoenergetický dům

NPV – Net Present Value; Čistá současná hodnota

nZEB – Nearly Zero Energy Buildings; Budovy s téměř nulovou spotřebou energie

OZE – Obnovitelné zdroje energie

PD – Pasivní dům

PENB – Průkaz energetické náročnosti budovy

PI – Profitability Index; Index ziskovosti

PP – Payback Period; Doba návratnosti

TČ – Tepelné čerpadlo

TE – Tepelná elektrárna

TTO – Těžký topný olej

TUV – Teplá užitková voda

ZP – Zemní plyn

Obsah

Seznam zkratk	6
1. Úvod	9
1.1 Motivace	10
1.2 Cíle práce	10
2. Použité metody	11
3. Termíny a definice	12
4. Vymezení tématu	13
5. Vytápění budov	16
5.1 Historie vytápění	17
5.2 Systémy vytápění	19
5.2.1 Energonositelé a zdroje tepla pro vytápění	20
5.2.2 Soustavy zásobování teplem	30
5.2.3 Odpojení od centrálního zásobování teplem	34
5.2.4 Otopné soustavy	35
5.3 Potřeba tepla pro vytápění	38
5.3.1 Tepelné ztráty objektu	40
5.3.2 Tepelné zisky objektu	43
5.3.3 Potřeba teplé vody	44
5.4 Emise a ekologické vyhodnocení investice	45
6. Návrh investice	48
6.1 Stání podpora obnovitelných zdrojů energie	48
6.2 Náklady v průběhu investice	50
6.3 Cash flow	51
6.4 Ekonomické vyhodnocení investice	52
7. Případové studie	54
7.1 Sportovní gymnázium Kladno	57
7.1.1 Popis konstrukcí	58
7.1.2 Současný zdroj vytápění	59
7.1.3 Výpočet potřeby tepla pro vytápění	59
7.1.4 Alternativní zdroje vytápění	63
7.1.5 Cash flow, návratnost investice	66

7.2 Panelový dům, ulice Wednesbury, Kladno.....	68
7.2.1 Popis konstrukcí	69
7.2.2 Současný zdroj vytápění.....	69
7.2.3 Výpočet potřeby tepla pro vytápění	70
7.2.4 Alternativní zdroje vytápění.....	72
7.2.5 Cash flow, návratnost investice	74
7.3 Studie dopadu odpojení na tepelnou elektrárnu Kladno.....	75
8. Diskuze výsledků a závěr	76
9. Citovaná literatura.....	78
Seznam obrázků	84
Seznam tabulek	84
Seznam grafů.....	84
Seznam rovnic	85
Seznam příloh.....	85

1. Úvod

Česká republika je v porovnání s okolními státy Evropy teplem velmocí. V České republice je systémem centrálního zásobování teplem (CZT) vytápěno téměř 1,5 milionu domácností [1]. Důležitost teplem v České republice dokládá i počet teplařen a tepelných elektráren – téměř 2000. Centrální zásobování teplem je navíc z hlediska ekologie považováno za vyhovující zdroj vytápění [2].

Hlavním problémem teplemství nového století a tisíciletí je tenčení zásob uhlí na planetě Zemi a s tím spojená snaha států Evropské unie a některých dalších států o tzv. dekarbonizaci. V České republice pochází téměř 60 % tepla ze spalování hnědého nebo černého uhlí [1]. Otázkou je, jaké jiné zdroje mohou nahradit uhlí, zda jsou tyto zdroje trvale udržitelné a zároveň konkurenceschopné.

Diplomová práce je členěna do teoretické a praktické části. První kapitola teoretické části pojednává o systémech vytápění, seznamuje čtenáře s problematikou alternativních zdrojů vytápění a se systémem centrálního zásobování teplem. Součástí kapitoly je problematika odpojení od centrálního zásobování teplem a postup výpočtu tepelných ztrát a potřeby tepla pro vytápění. Tepelné ztráty objektů a snižování potřeby tepla pro vytápění je jedním z dalších často skloňovaných témat. Druhá kapitola teoretické části seznamuje čtenáře s problematikou návratnosti investic do alternativních zdrojů vytápění.

Praktická část se zabývá dvěma vybranými objekty ve městě Kladno. Prvním objektem je areál Sportovního gymnázia Kladno, druhým objektem je panelový dům v ulici Wednesbury, č.p. 2222. Oba objekty jsou v současnosti vytápěny systémem CZT. Případové studie navrhuje alternativní lokální zdroje vytápění přímo v objektech a zkoumají návratnost investice a vliv na lokální emise navržených zdrojů. Pro účely případových studií byly záměrně vybrány dva objekty rozdílné funkčně i architektonicky.

Poslední kapitolou praktické části je studie dopadu odpojení na chod tepelné elektrárny v Kladně. Cílem studie je vyhodnotit, jak velký dopad by mělo odpojení více klíčových uživatelů od centrálního zásobování teplem na kladenskou tepelnou elektrárnu.

1.1 Motivace

Centrální zásobování teplem je v současnosti bráno jako jeden z ekologicky přijatelných zdrojů vytápění. Přestože je při výrobě tepla v teplárnách nebo kotelnách spalováno především uhlí, produkce skleníkových a dalších nežádoucích plynů stejně jako tuhých emisí je podstatně nižší, než u lokálních zdrojů jako jsou například uhelná kamna. V poslední dekádě je ale kladen velký důraz na dekarbonizaci energetiky, a to nejen z důvodů ekologických, ale i z důvodů tenčení světových zásob uhlí a nemožnost obnovy. Průzkumy uvádí, že zásoby uhlí na planetě Zemi vystačí při současné spotřebě a současném způsobu těžby pouze na dalších 132 let [3], v České republice by měly být zásoby uhlí vyčerpány do roku 2030 [4], pokud nedojde k prolomení limitů. Uhlí se proto stává takzvaným neudržitelným zdrojem energie. Nabízí se proto otázka zda existují jiné alternativní zdroje vytápění a ohřevu teplé vody, které by byly dlouhodobě udržitelné a zároveň ekonomicky výhodné. Hlavním faktorem při rozhodování uživatelů totiž ještě stále není ekologie a udržitelnost, ale právě peníze.

1.2 Cíle práce

Hlavním cílem této diplomové práce je zjistit, zdali pro vybrané budovy v lokalitě Kladno existuje alternativní zdroj vytápění, který by dokázal pokrýt jejich roční spotřebu tepla pro vytápění a zároveň byl ekologický a cenově dostupný. Obě vybrané budovy jsou vytápěny systémem centrálního zásobování teplem (CZT), tedy zdrojem, který je považován za poměrně šetrný k životnímu prostředí. Vyplatí se alternativní zdroj ekonomicky i ekologicky v porovnání se současným zdrojem vytápění? Budou všichni obyvatelé a uživatelé budovy souhlasit s investicí do alternativního zdroje? A jaký by byl případný dopad na chod tepelné elektrárny Kladno a na životní prostředí, pokud by se odpojilo více klíčových odběratelů? Druhým cílem této diplomové práce je zjistit jaký dopad na kladenskou tepelnou elektrárnu by mělo odpojení většího množství odběratelů od dodávky tepla, případně kolik odběratelů by se mohlo odpojit, aby tepelná elektrárna nemusela ukončit svůj provoz v důsledku nedostatku odběratelů.

2. Použité metody

Zpracování teoretické a praktické části diplomové práce vyžadovalo užití různých pracovních metod. Metody aplikované v této diplomové práci a způsob jejich aplikace jsou níže popsány.

Literární rešerše – Teoretická část diplomové práce se opírá o literární rešerši. Informace k tématům jsem čerpala z odborných knih, časopisů a článků, dále z norem, zákonů a vyhlášek. Ke každému tématu jsem se pokusila vyhledat minimálně tři odborné publikace. Praktická část diplomové práce obsahuje informace uvedené na webových stránkách vybraných institucí. Dále jsem čerpala informace z výkresových dokumentací obou objektů a z technických zpráv. Veškeré zdroje jsou citovány číslicí u příslušných odstavců a jejich seznam je uveden na konci diplomové práce.

Rozhovor – Informace pro praktickou část, především pro popis vybraných objektů, byly získány formou rozhovorů. Rozhovory probíhaly na předem domluvených schůzkách formou dotazů a odpovědí.

Seznam rozhovorů:

11.10.2019, rozhovor s Mgr. Květoslavou Havlůjovou, ředitelkou Sportovního gymnázia Kladno,

25.10.2019, rozhovor s Ing. Mirčo Kostovem, vedoucím technického rozvoje TE Kladno,

1.11.2019, rozhovor s Pavlem Válkem, vedoucím technikem pro správu budov TE Kladno.

Případová studie (case study) – V praktické části diplomové práce jsem aplikovala metodu případové studie. U dvou vybraných objektů – panelového domu a sportovního gymnázia, jsem nejprve popsala a analyzovala obvodové konstrukce (střecha, obvodové stěny, podlaha) a výplně otvorů (vstupní dveře, prosklené stěny, okna). Dále jsem popsala a analyzovala současný zdroj vytápění a roční spotřebu tepla na vytápění. Skutečnou spotřebu jsem porovnávala s vypočtenou spotřebou. U obou objektů jsem poté navrhla alternativní zdroje vytápění, pro které jsem následně sestavila cash flow a zhodnotila návratnost investice. Navržené alternativní zdroje jsem porovnávala se současným zdrojem vytápění a vzájemně mezi sebou. Oba objekty jsou specifické a je téměř nemožné snažit se je porovnávat s jinými objekty, proto je případová studie nejlepší metodou.

Studie projektové dokumentace – Informace o objektech sportovního gymnázia a panelového domu jsem získala studiem projektové dokumentace těchto objektů. Projektové dokumentace (z roku 1978, respektive 1963) nejsou kompletní. Technické zprávy neobsahují dostatek informací o konstrukcích objektů. Z tohoto důvodu jsem použila informace z energetických auditů, které byly vytvořeny v roce 2007, respektive 2008, a obsahují téměř kompletní informace o skladbách konstrukcí vybraných objektů.

Diskuze výsledků – Výstupem práce je diskuze (porovnání) vhodnosti alternativních zdrojů vytápění u dvou vybraných objektů v lokalitě Kladno, které jsou v současné době vytápěny dálkově.

Druhým výstupem práce je **studie dopadu** odpojení více odběratelů na fungování tepelné elektrárny v téže lokalitě. Studie zohledňuje různé pohledy účastníků odpojení od centrálního zásobování teplem.

3. Termíny a definice

Bivalentní zdroj vytápění – V případě vytápění budovy soustavou dvou a více zdrojů tepla se tyto zdroje nazývají bivalentními [5].

Budova s téměř nulovou spotřebou energie – Budovy s roční plošnou měrnou spotřebou tepla na vytápění v rozmezí 30 – 70 kWh/(m².rok). Část této potřeby na vytápění musí být pokryta z obnovitelných zdrojů [6].

Ergonositel – Látka, která má určitý energetický potenciál a může být využita k výrobě mechanické práce nebo tepla [7].

Monovalentní zdroj vytápění – Monovalentním zdrojem vytápění se nazývá zdroj tepla, který je jediným zdrojem vytápění v objektu [5].

Nákladově optimální úroveň – Nákladově optimální úroveň stanovuje požadavky na konstrukce budovy, které vedou k nejnižším provozním a likvidačním nákladům [6].

Neutrální zóna – Neutrální zóna vyznačuje rozmezí teplot, ve kterém se uživatel místnosti cítí příjemně, není mu zima ani horko [2].

Nízkoenergetický dům – Budova s roční plošnou měrnou spotřebou tepla na vytápění v rozmezí 15 – 50 kWh/(m².rok) využívající velice účinný topný systém [8].

Pasivní dům – Budovy s roční plošnou měrnou spotřebou tepla na vytápění maximálně 15 kWh/(m².rok) [8].

Primární energie – Energie, která nebyla přeměněna žádným procesem [9].

Referenční budova – Výpočtově definovaná budova téhož druhu, stejného geometrického tvaru a velikosti včetně prosklených ploch a částí, stejné orientace ke světovým stranám, stínění okolní zástavbou a přírodními překážkami, stejného vnitřního uspořádání a se stejným typickým užíváním a stejnými uvažovanými klimatickými údaji jako hodnocená budova, avšak s referenčními hodnotami vlastností budovy, jejích konstrukcí a technických systémů budovy [6].

Teplonosná látka – Médium otopné soustavy nebo celého systému, které „nese“ teplo a dále ho předává svému okolí [10].

Výhřevnost – Množství energie uvolněné při spalování paliva (ergonositele). Nejčastěji se uvádí v MJ/kg u pevných paliv, v MJ/l u kapalných a paliv a v MJ/m³ u plyných paliv [2].

4. Vymezení tématu

Jedním z nejskloňovanějších témat posledních let je globální oteplování planety. Dle agentury IEA (International Energy Agency) došlo za poslední rok k oteplení planety o 1°C. Jedním z hlavních důvodů globálního oteplování planety je zvýšená produkce takzvaných skleníkových plynů, které vznikají spalováním fosilních paliv jako je uhlí nebo ropa. Dalším globálním problémem je úbytek právě zmíněných fosilních zdrojů paliva, které využíváme pro výrobu elektrické a tepelné energie nebo jako pohon automobilů. Nejen tyto dva důvody nás nutí uvažovat o alternativních „čistších“ a nevyčerpatelných zdrojích energie, především o obnovitelných zdrojích. V současnosti existuje několik dokumentů, směrnic, zákonů a vyhlášek, které se více či méně přímo zabývají ochranou klimatu a omezováním využívání neobnovitelných zdrojů energie [11].

Jedním z dokumentů pojednávajícím o ochraně klimatu je **Kjótský protokol**. Protokol byl podepsán roku 1997 v japonském městě Kjóto. Jedná se o smlouvu doplňující rámcovou úmluvu OSN o změně klimatu. Podepsané státy smlouva zavazovala v prvním kontrolním období (1997 – 2012) ke snížení emisí skleníkových plynů do konce roku 2012 o 5,8 % oproti roku 1990. K původnímu Kjótskému protokolu existuje dodatek, který zavazuje podepsané státy v druhém kontrolním období (2013 – 2020) ke snížení emisí skleníkových plynů do roku 2020 o 20 % ve srovnání s rokem 1990. Tento závazek zároveň odpovídá klimaticko-energetickému balíčku, který je závazný pro členské státy EU od roku 2010, kdy byl zapracován do směrnice 2010/31/EU. Klimaticko-energetický balíček, nebo také balíček **20 – 20 – 20**, schválený v Bruselu má tři hlavní cíle. Prvním cílem je snížit do konce roku 2020 produkci skleníkových plynů o 20 % oproti roku 1990, stejně jako dodatek Kjótského protokolu. Druhým cílem je zvýšit do roku 2020 podíl obnovitelných zdrojů na výrobě elektrické a tepelné energie na 20 %. Třetím a neméně důležitým cílem je snížit spotřebu energie do roku 2020 o 20 %. Jak už bylo řečeno, klimaticko-energetický balíček je závazný pro členské státy EU a Kjótský protokol je závazný pro podepsané státy. Mezi státy, které nepodepsaly Kjótský protokol, ani jeho dodatek, patří například Čína, Indie, Brazílie nebo USA. Kjótský protokol také není závazný pro rozvojové země. Tím se dostáváme k faktu, že Kjótský protokol podepsaly státy, které tvoří pouze 15 % celosvětové produkce emisí skleníkových plynů [12, 13].

Kjótský protokol a jiné dokumenty zastřešuje **Rámcová úmluva OSN o změně klimatu**, která byla podepsána na konferenci o životním prostředí v Riu de Janieru roku 1992 a vešla v platnost v roce 1994. Úmluva poskytuje rámec mezinárodním vyjednávání o řešení problémů v rámci svých čtyř hlavních principů. Prvním principem je princip mezinárodní spravedlnosti, druhým princip společné ale i diferencované odpovědnosti, třetím princip chránění prvotně nejvíce náchylných oblastí planety a posledním čtvrtým princip předběžné opatrnosti. Hlavním cílem úmluvy je potom snížení emisí skleníkových plynů. V současnosti je pod touto úmluvou podepsáno 146 zemí světa [13].

V rámci Rámcové úmluvy OSN pro změnu klimatu není Kjótský protokol jedinou závaznou smlouvou. V roce 2015 vznikl v Paříži v rámci klimatické konference nový dokument, který nabude platnosti po roce 2020 a naváže tak na Kjótský protokol – **Pařížská dohoda**. Dlouhodobý cíl Pařížské dohody je ochrana klimatu a zachování růstu teploty pod 2 °C za rok, dílčím cílem je snížení emisí skleníkových plynů do roku 2030 o 40 % ve srovnání s rokem 1990. Pařížská dohoda zahrnuje i rozvojové státy, podepsaly jí všechny státy EU, USA i Čína, z mocností produkujících nejvíce emisí skleníkových plynů nepodepsalo pouze Rusko. Pařížská dohoda je zapracována do evropské směrnice 2018/844/EU.

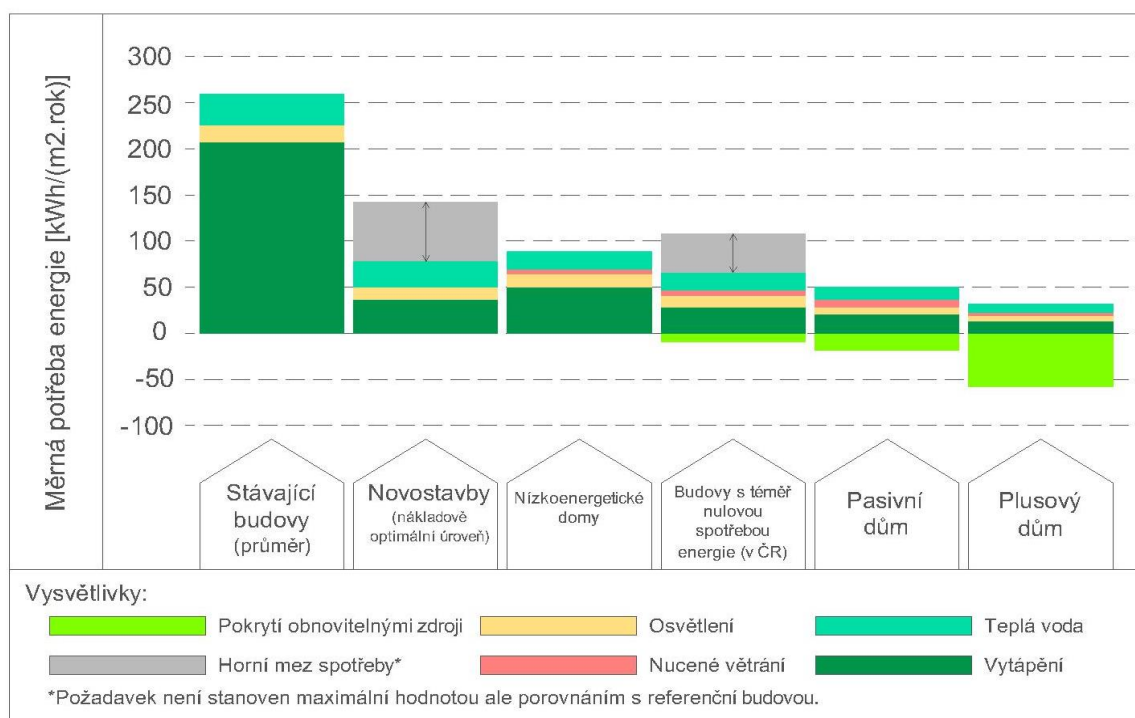
Nejstarším dokumentem zabývajícím se klimatem a znečišťování ovzduší je **Úmluva o dálkovém znečišťování ovzduší přesahující hranice států** (z anglického originálu zkratka CLTRAP). Úmluva byla podepsána již v roce 1979 v Ženevě. Jedná se o úmluvu rámcového charakteru, která dává vznik závazným protokolům. Doposud existuje 8 těchto protokolů, Česká republika se zavázala plnit cíle všech těchto protokolů [13].

Omezení využívání neobnovitelných zdrojů energie a naopak zvýšení podílu obnovitelných zdrojů není komplexním řešením globální energetické krize. Ruku v ruce s využíváním obnovitelných zdrojů energie jde snižování energetické spotřeby a zvyšování hospodárnosti užití energie. Těmito aspekty se v České republice zabývá vyhláška č. 78/2013 Sb., O energetické náročnosti budov, která byla přepracována z evropských směrnic 2010/31/EU (EPBD II) a 2018/844/EU (EPBD III) s ohledem na dříve zmíněné dokumenty a klade důraz na snižování spotřeby energií právě u budov [14].

Vyhláška dává vzniknout novým pojmům jako nízkoenergetický dům, pasivní dům nebo budova s téměř nulovou spotřebou energie (zkratka nZEB z anglického „nearly zero energy buildings“). Nízkoenergetický dům (NED) je definován jako budova s roční plošnou měrnou spotřebou tepla na vytápění v rozmezí 15 – 50 kWh/(m².rok) využívající velice účinný topný systém [15]. Jako pasivní dům (PD) jsou označovány budovy s roční plošnou měrnou spotřebou tepla na vytápění maximálně 15 kWh/(m².rok). PD musí navíc splňovat zásadu snižování tepelných ztrát a celková roční spotřeba energie by neměla překročit 120 kWh/(m².rok) [8, 14].

Složitější definici mají budovy s téměř nulovou spotřebou energie, u kterých roční plošná měrná spotřeba tepla na vytápění musí být v rozmezí 30 – 70 kWh/(m².rok), u menších objektů je tolerance do 80 kWh/(m².rok). Zároveň musí být část této energie pokryta obnovitelnými zdroji. Vyhláška o energetické náročnosti budov definuje požadavek na snížení hodnoty neobnovitelné primární energie stanovené pro referenční budovu, snížení se dle druhu budovy pohybuje v rozmezí 10 – 25 %. Snížení hodnoty lze dosáhnout zvýšením podílu obnovitelných zdrojů u výrobě energie, zlepšením parametrů obálky budovy nebo jejích technických systémů. Nejpřísnější požadavky jsou pro budovy, které se nazývají plusovými domy. Jedná se o pasivní domy, jejich roční plošná měrná spotřeba tepla na vytápění je tedy nižší než 15 kWh/(m².rok), zároveň mají ale veškerou spotřebu energie pokrytu obnovitelnými zdroji energie. Rozdíl mezi novostavbou, nízkoenergetickým a pasivním domem, nZEB a plusovým domem jsou patrné z Grafu 1 [6].

Graf 1: Porovnání celkové potřeby energie budovy pro jednotlivé energetické standardy



Zdroj: vlastní zpracování, podle [16]

Přísný je i požadavek na novostavby, kdy vyhláška stanovuje na nákladově a energeticky optimální úrovni rozmezí roční měrné plošné spotřeby tepla na vytápění 40 – 90 kWh/(m².rok) dle typu a tvaru budovy, kdy pro menší budovy je tolerance do 100 kWh/(m².rok). Zároveň musí novostavby splňovat energetickou třídu C ve srovnání s referenční budovou dle průkazu energetické náročnosti budovy. Průkaz energetické náročnosti budovy (PENB) včetně jeho náležitostí je taktéž obsažen ve vyhlášce č. 78/2013 Sb., O energetické náročnosti budov. PENB je povinný pro nové a rekonstruované budovy s energeticky vztáznou plochou nad 50 m², při prodeji nebo pronájmu nemovitosti, a pro veřejné budovy. Srovnává se teoretický výpočet, do kterého jsou zahrnuty energie pro vytápění, chlazení, větrání, přípravu teplé vody a osvětlení s referenční budovou. Pro veřejné budovy s roční spotřebou energie nad 1500 GJ a pro budovy v soukromém vlastnictví s roční spotřebou energie větší než 35000 GJ je povinný energetický audit. Jedná se o složitější, detailnější a delší posudek. Obsah a způsob posuzování stanovuje vyhláška 480/2012 Sb., O energetickém auditu a energetickém posudku [6, 8, 17].

Největší důraz je kladen na ochranu klimatu, snížení produkce skleníkových plynů, snížení spotřeby energie a zvýšení objemu výroby energie z obnovitelných zdrojů. Nejen při výstavbě nových budov ale hlavně při rekonstrukcích stávajících musíme myslet na snižování spotřeby energie a na obnovitelné zdroje. Při nákladově optimální úrovni lze navíc uspořit provozní náklady i starosti při budoucích změnách a při zpřísnění stávajících limitů. Jak je patrné z předchozích odstavců, budovy se posuzují podle energie potřebné k vytápění, protože právě vytápění je u budov největším konzumentem primární energie. Diplomová práce se soustředí na již zmíněné vytápění a na využití obnovitelných zdrojů při současné úspoře nákladů [14]

5. Vytápění budov

Vytápění má za cíl zajistit příjemné vnitřní prostředí pro obyvatele budov, tedy vnitřní tepelnou pohodu. Pro docílení tepelné pohody se uživatel musí nacházet v takzvané neutrální zóně. Tepelná pohoda člověka je ovlivněna řadou objektivních a subjektivních faktorů. Objektivní faktory jsou pro všechny obyvatele stejné, patří mezi ně teplota vnitřního vzduchu, vlhkost okolního vzduchu, povrchová teplota okolních ploch a rychlost proudění vzduchu. Subjektivními faktory jsou věk a hmotnost uživatele, rychlost jeho metabolismu a schopnost aklimatizace, materiál oblečení a stupeň fyzické aktivity. Sportujícímu uživateli bude v místnosti vždy větší teplo než uživateli sedícímu u stolu.

Objekty vytápíme v době takzvaného otopného období. Stanovení otopného období se liší stát od státu. Závisí především na zeměpisné šířce a na nadmořské výšce. Dále mohou otopné období ovlivňovat mořské proudy, jako je tomu například v Anglii. V České republice je otopné období stanoveno vyhláškou č. 194/2007 Sb. od začátku září do konce května. Přesný počet dnů dodávky tepelné energie je závislý na průměrné měsíční venkovní teplotě a liší se dle lokality a nadmořské výšky, jak je patrné z Tabulky 1. Dodávka tepelné energie je zahájena, pokud průměrná denní venkovní teplota klesne ve dvou po sobě jdoucích dnech pod +13 °C a následující den předpověď počasí nepředpovídá nárůst venkovní teploty nad +13 °C, a je přerušena, pokud ve dvou po sobě jdoucích dnech průměrná denní venkovní teplota stoupne nad +13 °C [2, 18].

Tabulka 1: Průměrná roční teplota a délka otopného období v České republice

Lokalita (místo měření)	Nadmořská výška	Venkovní výpočtová teplota	Otopné období pro					
			$t_{em}=12\text{ °}$		$t_{em}=13\text{ °}$		$t_{em}=15\text{ °}$	
			t_{es} [°C]	dny	t_{es} [°C]	dny	t_{es} [°C]	dny
Brno	227	-12v	3,6	222	4	232	5,1	263
České Budějovice	384	-15	3,4	232	3,8	244	5,1	279
Karlovy Vary	379	-15v	3,3	240	3,8	254	5,1	293
Kladno (Lány)	380	-15	4	243	4,5	258	5	300
Liberec	357	-18	3,1	241	3,6	256	5,1	298
Mladá Boleslav	230	-12	3,5	225	3,9	235	5,1	267
Ostrava	217	-15	3,6	219	4	229	5,2	260
Praha (Karlov)	181	-12	4	216	4,3	225	5,1	254
Příbram	502	-15	3	239	3,8	230	4,9	290

Použité značky:

t_{em} [°C] – střední denní venkovní teplota pro začátek a konec otopného období

t_{es} [°C] – střední venkovní teplota za otopné období

dny – počet dnů otopného období

v – značí větrnou oblast

Zdroj: vlastní zpracování, podle [19, 20]

5.1 Historie vytápění

Už od pravěku měli lidé potřebu zvyšovat tepelný komfort využíváním ohně. Nejprve se jednalo o oheň otevřený, který se naučili udržovat a využívat pro zahřátí sebe samých a pro ohřev potravy. Později se pravěcí lidé naučili oheň rozdělovat a donesli si tak do svých obydlí, pravěkých jeskyní, první lokální topidlo. K vytápění tehdy využívali dřevo a jinou biomasu vyskytující se v okolí jejich obydlí. První důkazy o využití jiného zdroje energie pochází z roku 23 tisíc před naším letopočtem. Na vrchu Landek u Ostravy bylo nalezeno roku 1952 ohniště s pozůstatky po spalování uhlí. Jedná se o nejstarší důkaz o využití kamenného uhlí jako zdroje tepla.

Pozůstatky prvních prototypů moderních kamen byly nalezeny v údolí řeky Indus a datují se k roku 2300 před naším letopočtem. Jsou důkazem, že starověcí Indové dokázali zavřít oheň a využívat ho tak k vytápění. První zmínky o ústředním vytápění pochází z Malé Asie a Indie, systém ústředního vytápění zvaný Hypocaustum je známý od roku 700 před naším letopočtem, k jeho zdokonalení a rozmachu došlo až v prvním století našeho letopočtu ve starověkém Římě. Hypocaustum je založeno na bázi horkovzdušného vytápění. Ve vytápěcí místnosti zvané pefurnium bylo spalováno palivo – dřevo, z vytápěcí místnosti poté horký vzduch proudil pod podlahou, která byla podepřena cihlovými pilířky, do ostatních místností a do zdí z dutých cihel. Tento horkovzdušný systém vytápění se díky invazím starověkých Římanů rozšířil do takřka celé Evropy. V České republice byly nalezeny pozůstatky tohoto systému pocházející z druhého století u obce Mušov na Jižní Moravě. Systém teplovzdušného vytápění byl dále zdokonalován Syrskými inženýry. Ve 12. století zdokonalili tento způsob vytápění Syřané natolik, že dokázali vytápět celou ulici jednou vytápěcí místností. Podobný systém vytápění byl ve středověku využíván pro vytápění Pražského hradu.

V 17. století byla v Anglii poprvé využita pára k vytápění skleníků. O 100 let později, na začátku 18. století, bylo v Letním paláci v ruském Petrohradě poprvé navrženo a zkonstruováno ústřední vytápění využívající horkou vodu. V roce 1782 bylo navrženo horkovodní ústřední vytápění ve francouzském paláci Chateau du Pecq. Skutečný rozmach horkovodního vytápění přišel až s vynálezem žebrových radiátorů v roce 1855. Tehdy se jim říkalo horké krabice, přestože vypadaly spíše jako obrovská žebrová monstra. První litinové žebrové radiátory dnešní podoby byl vyroben až v druhé polovině 19. století. Rozmach horkovodního vytápění by ovšem vůbec nepřišel bez vynálezu uhlových kamen. Ta vynalezl již roku 1766 Kryštof Bergner a nechal si je v Praze patentovat. Bergnerova Kamna sice plnila svůj primární účel, ale jejich nežádoucím účinkem bylo silné znečištění vzduchu v jejich blízkém okolí. Nakonec bylo Bergnerovi zakázáno kamna nadále používat. Uhelná kamna se začala hojně využívat až v první polovině 19. století, kdy byla zdokonalena natolik, že se v jejich okolí dalo dýchat [1].

V 19. století byla také postavena první moderní soustava zásobování tepelnou energií a to roku 1877 v New Yorku. Roku 1922 byla poprvé vytápěna dálkově škola v Čechách v Ústí nad Labem. Díky nehodě ve školní kotelně napadlo radního dopravit teplou páru do školy z elektrárny přes ulici. Záměr se vydařil a v Ústí tak vznikla první městská teplárna. V roce 1926 byla na teplárnu přestavěna i elektrárna v Praze Holešovicích a o čtyři roky později i v Brně. Teplárna v Brně se stala první moderní teplárnou v tehdejší Československu [1].

K hlavnímu rozvoji dálkového vytápění přispěl ve 30. až 40. letech minulého století rozvoj průmyslové výroby. Nové průmyslové podniky a nově budované dělnické čtvrti potřebovaly velké množství tepla pro technologické účely. Tato potřeba tepla dala za vznik na svou dobu velice moderním soustavám zásobování teplem s kombinovanou výrobou elektřiny a tepla. Teplárny spalující především uhlí a jiná pevná paliva byly stavěny v blízkosti průmyslových podniků, co nejbližší odběratelům.

V 50. až 60. letech minulého století došlo k rozvoji velkých teplárenských soustav důsledkem rozvoje těžkého průmyslu a koncentrace pracovníků v blízkosti průmyslových zón. Teplárny a tepelné elektrárny byly budovány mimo městské aglomerace. V tomto poválečném období přispívalo k rozvoji velkých teplárenských systémů i plnění takzvaných pětiletok, které podporovaly velké projekty na úkor těch drobnějších. V 70. a 80. letech přišly s výstavbou sídlišť panelových domů blokované kotelny spalující nová ušlechtilá paliva – topný olej a zemní plyn. Tuto éru bohužel negativně ovlivnil nedostatek prostředků, proto u většiny tepelných soustav postavených během této éry chybí například měření a regulace. Výsledkem byly levné ale energeticky náročné a neregulovatelné soustavy s blokovými kotelny na ušlechtilá paliva.

V poslední dekádě 20. let došlo k liberalizaci ceny paliva a s příchodem zahraničních investorů se začalo utvářet přirozené konkurenční prostředí v teplárenství i v celé energetice. Bylo přijato několik prvních ekologických a energetických zákonů, které měly za cíl regulovat a směřovat podnikání v energetice. S příchodem zákonů došlo sice k mírné stagnaci v budování nových teplárenských soustav ale došlo také ke zvyšování účinnosti celého procesu, od výroby až po konečnou spotřebu. Novými prvky charakterizujícími toto období jsou například kogenerační jednotka, fluidní kotle nebo prefabrikované předizolované potrubní systémy.

První dekáda 21. století přinesla vlnu ekologizace a zvyšování hospodárnosti existujících soustav. S ekologizací přišel i nástup nových alternativních zdrojů energie, například tepelných čerpadel. Nové zákony a vyhlášky definují nové požadavky na tepelné soustavy i na odběrná místa, hlavním trendem je snižování spotřeby energie a využívání alternativních ekologických zdrojů pro vytápění i výrobu elektrické energie. Tyto trendy vedou ke snižování odběru tepla a je tedy pouze otázkou času, kdy se budou muset teplárny a kotelny těmto změnám přizpůsobovat [1].

Začátkem 20. století se kromě dálkového vytápění objevila i první elektrická kamna. Princip elektrických kamen byl jednoduchý, elektrický proud procházel vodiči kladoucími odpor, to způsobovalo zahřívání kamen a vytápění místnosti. Vytápění elektřinou bylo ale drahé a vyplatilo se pouze v místech, kde nebyla možnost využít jiné levnější palivo. Elektrická kamna se začala hojně využívat až v druhé 20. století, kdy byla zdokonalena, a používají se dodnes. Stále ale platí, že topit elektřinou je nejnákladnější způsob vytápění [21, 22].

5.2 Systémy vytápění

Systém vytápění se skládá ze zdroje tepla, systému přenášející teplo a z otopného tělesa, které teplo dále předává v místě potřeby – vytápěném prostoru. Dle vzájemné polohy zdroje tepla a vytápěného prostoru se systémy vytápění dělí na lokální, etážové, ústřední a dálkové. U lokálního vytápění je zdroj tepla přímo ve vytápěném prostoru, patří sem například kamna, krby nebo elektrické přímotopy. U etážového systému vytápění se zdroj tepla nachází ve stejném patře jako vytápěné prostory. Etážový systém vytápění se využívá u budov, kde každé patro obývá jiná společnost nebo jiný majitel. U ústředního vytápění se zdroj tepla a vytápěné prostory nachází v jedné budově. Jedná se o nejvyužívanější systém u rodinných a bytových domů s vlastním zdrojem tepla. Pokud zdroj tepla není v budově, ve které jsou vytápěné prostor, nazýváme tento systém dálkové vytápění. Obecnějším názvem pro dálkové vytápění je centrální zásobování teplem (CZT), které v sobě zahrnuje vytápění, dodávku teplé vody a páry [5, 23].

Systémy vytápění dělíme dle druhu teponosné látky na parní, teplovodní a horkovzdušné. Teponosná látka je médium otopné soustavy nebo celého systému, které „nese“ teplo a dále ho předává svému okolí. Parní soustavy vytápění dále dělíme na středotlaké, využívané u průmyslových objektů a hal, nízkotlaké, využívané pro vytápění méně rozlehlých objektů a podtlakové, využívané u výškových budov zejména v Americe. Čtvrtým druhem systémů vytápění jsou systémy kombinované, kdy soustava využívá k přenosu tepla páry i teplé vody [2, 23].

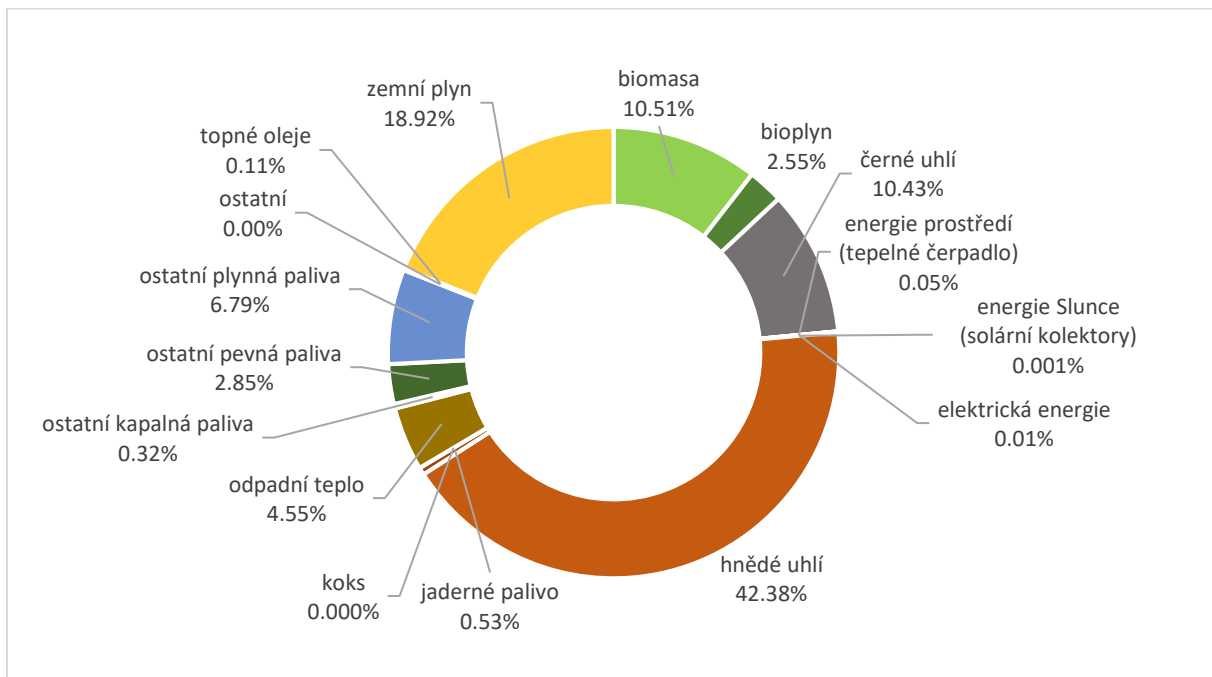
Parní vytápění využívá jako teponosné médium páru, s tím souvisí oproti vodě řada výhod a nevýhod. Mezi výhody patří nízká hmotnost a malý hydrostatický tlak a také doprava páry vlastní energií, zatímco u vody je běžné využívat tepelné čerpadlo. Parní soustava díky vysoké teplotě páry nikdy nezamrzá. U páry lze využívat kondenzačního tepla a tím urychlit zátop. Největší výhodou oproti teplovodním soustavám jsou nižší pořizovací náklady. Mezi největší nevýhody páry je nesnadná regulace a možnost přetápění vytápěných prostor. Vlivem vysoké teploty také může docházet ke spalování prachu na otopných tělesech, ke korozi potrubí vlivem kondenzátu, k větší roztažnosti potrubí a většímu tepelnému namáhání. Všechny tyto nevýhody mají vliv na životnost parního systému vytápění, která je kratší než životnost teplovodního systému. U bytových a rodinných domů stejně jako u budov občanské vybavenosti je využíván právě horkovodní systém vytápění.

Horkovzdušné vytápění zajišťuje mimo pokrytí tepelných ztrát i hygienické požadavky na výměnu vzduchu v místnosti. Využívá se především u budov občanské vybavenosti nebo u průmyslových objektů. Vzduch může být upravován buď ve strojovně vzduchotechniky, nebo přímo ve vytápěné místnosti. V poslední době je teplovzdušné vytápění využíváno i u rodinných domů, kde jsou kladeny požadavky na nucenou výměnu vzduchu a zároveň nízké tepelné ztráty. U teplovzdušného vytápění je vhodné zvolit rekuperační jednotku, která pracuje na principu zpětného získávání tepla z odpadního vzduchu [2, 23].

5.2.1 Energonositelé a zdroje tepla pro vytápění

Abychom mohli u vytápění definovat a popsat zdroje tepla, musíme nejprve definovat a popsat zdroje paliva. Historicky nejvyužívanějším zdrojem paliva, pokud nepůjdeme v historii dále než k počátku průmyslové revoluce, je uhlí. V těsném závěsu je potom zemní plyn a dřevo, tedy biomasa. Podíl jednotlivých energonositelů na výrobě tepla je patrný z Grafu 2 [24].

Graf 2: Podíl energonositelů na výrobě tepla



Zdroj: vlastní zpracování, podle [24]

Zdroje energie dělíme na obnovitelné a neobnovitelné. Mezi neobnovitelné zdroje patří uhlí, zemní plyn, koks a topné oleje. Nevýhodou neobnovitelných zdrojů je možnost jejich vyčerpání v krátkodobém horizontu, většina zdrojů uvádí horizont deseti až sta let jako hranici mezi obnovitelnými a neobnovitelnými zdroji. Podle místa v procesu přeměny dělíme zdroje energie na primární a druhotné. Druhotným zdrojem energie je například elektřina. Dále zdroje energie dělíme na tuhá paliva, kapalná paliva a plynná paliva. Většinu tuhých, kapalných a plyných paliv přeměňujeme na energii tepelnou spalováním. Spalování je termodynamický proces, při kterém hořením paliva vzniká oxid uhličitý a teplo. Množství vzniklého tepla je přímo úměrné účinnosti spalování a výhřevnosti paliva. U tuhých paliv je vedlejším produktem kromě tepla i popel. Spalování je nejstarším a nejvyužívanějším způsobem získávání tepla, oxid uhličitý a jiné skleníkové plyny jsou ale nežádoucími externalitami [2, 25].

Relativně novými zdroji jsou sluneční energie, kterou využívají solární termické kolektory, a energie prostředí, kterou dokáže využívat tepelné čerpadlo. energii větru a vody zatím neumíme využít pro vytápění jinak než jako energii prostředí, proto se těmito zdroji nebudu v diplomové práci zabývat. Přehled energonositelů a zdrojů tepla vhodných pro vytápění budov včetně možnosti jejich využití najdeme v Tabulce 2 [2].

Tabulka 2: Přehled energonositelů a zdrojů tepla

Typ paliva	Ergonositel	Zdroj tepla	Využití	Obnovitelnost
Pevná paliva	Uhlí	Krb, kamna	RD	Ne
		Kotel (automatický, kondenzační)	RD, BD	
		Kogenerační jednotka	RD, BD, A, Š, N	
	Biomasa	Krb, kamna	RD	Ano
		Kotel na biomasu	RD, BD	
		Kogenerační jednotka	RD, BD, A, Š, N	
Komunální odpad	Spalovna	CZT	Ano	
Plynná paliva	Zemní plyn	Plynový kotel	RD, BD, A, Š, N	Ne
		Kogenerační jednotka	RD, BD, A, Š, N	
Energie prostředí	Voda, vzduch, země	Tepelné čerpadlo	RD, BD, A, Š, N	Ano
	Slunce	Solární kolektory	RD, BD, A, Š, N	Ano
	Kombinace	TČ + solární kolektory	RD, BD, A, Š, N	Ano

RD – Rodinný dům, BD – Bytový dům, A – Administrativní budovy, Š – Školy a školky, N – Nemocnice

Zdroj: vlastní zpracování

Uhlí se řadí mezi tuhá fosilní paliva. Rozlišujeme uhlí černé, hnědé a koks. Uhlí je levným ale neobnovitelným zdrojem energie. Zásoby uhlí jsou vyčerpateľné, a to ve velice blízké budoucnosti. Další nevýhodou je množství nežádoucích látek, které se uvolňují do ovzduší v průběhu spalovacího procesu a napomáhají tak ke zhoršování kvality ovzduší v blízkém okolí. Do roku 1990 bylo uhlí využíváno bez uvažování ekologických následků a topil jím téměř každý. Od roku 1990 je kladen čím dál tím větší důraz na nežádoucí účinky využívání uhlí jako zdroje energie, a to především v domácnostech. Právě z těchto důvodů neuvažují uhlí jako vhodný zdroj pro vytápění a ve své této diplomové práci ho dále nebudu uvažovat jako alternativní zdroj energie [2, 5, 10].

Dalším fosilním palivem je **zemní plyn**. Zemní plyn se skládá z 85 – 90 % z metanu, který mu zajišťuje vyšší výhřevnost než má například bioplyn. Zbytek zemního plynu tvoří vyšší uhlovodíky a nepatrné množství inertních plynů. Zemní plyn se řadí mezi tzv. velmi výhřevné plyny a je nejpoužívanějším plynem v teplárenství. V České republice se ročně spotřebuje 8 miliard m³. Podle ložisek zemního plynu rozeznáváme zemní plyn naftový a karbonský. Naftový zemní plyn se těží ze svých ložisek vrty o hloubce 3 až 8 km. Těžba naftového zemního plynu probíhá na pevnině i v moři, například v Severním moři je několik významných ložisek. Karbonský zemní plyn je získáván odsáváním při těžbě uhlí. Nutný je důkladný průzkum těžené lokality před započítáním samotné těžby.

Podle složení zemního plynu rozeznáváme zemní plyn suchý, s vysokým obsahem metanu (95 – 98 %), vlhký, s nezanedbatelným podílem vyšších uhlovodíků, kyselý, s vysokým podílem sulfanu, a zemní plyn s vyšším obsahem inertních plynů. Zemní plyn je před dopravou a distribucí nutné vyčistit od nežádoucích látek jako je například právě sulfan u plynu kyselého. Zemní plyn je sice neobnovitelným a fosilním zdrojem stejně jako uhlí, jeho spalování je ale poměrně čistší, a proto ho budu ve své diplomové práci uvažovat jako alternativní zdroj energie [5, 10].

V současné době je trend pro výrobu elektrické a tepelné energie (případně chlazení) využívat **obnovitelné zdroje energie**. Výhodou obnovitelných zdrojů energie je snížení potřeby energie z neobnovitelných zdrojů, snížení uhlíkové stopy a produkce oxidu uhličitého a jiných skleníkových plynů. Další výhodou je nezávislost budov a jejich obyvatel na teplovodní síti a případně i snížení nákladů na energii. Mezi obnovitelné zdroje energie, které umíme využít pro vytápění, patří biomasa, energie prostředí (země, vody, vzduchu) a sluneční energie [5, 26, 27].

Biomasa je po uhlí a zemním plynem nejčastěji využívaným zdrojem energie. Podle obsahu sušiny dělíme biomasu na suchou a mokrou. Suchá biomasa je například dřevo a mokrá například kejda, hranicí je obsah sušiny 50 %. Podle biologického původu dělíme biomasu na rostlinnou (fytomasu, dendromasu) a na živočišnou (zoomasu). Rostlinná biomasa vzniká jako vedlejší materiál například při kácení dřevin nebo ji můžeme záměrně pěstovat pro energetické účely. Nejlepší pro záměrné pěstování jsou rychle rostoucí rostliny, například řepka, konopí, olejniny, a dřeviny, například vrba, olše, akát nebo topol.

Hlavní výhodou biomasy oproti uhlí a zemnímu plynem je její obnovitelnost a dostupnost. Biomasa není lokálně omezena jako uhlí a zemní plyn, takže odpadájí náklady na náročnou dopravu a tím se snižuje i cena paliva. Během spalování biomasy dochází stejně jako u uhlí a zemního plynu k produkci CO₂. U biomasy lze mluvit o tzv. **uzavřeném uhlíkovém cyklu**, to znamená, že množství oxidu uhličitého vyprodukovaného spalováním biomasy je následovně spotřebováno fotosyntézou rostlin a tím nedochází k podpoření skleníkového efektu. Vedlejším produktem spalování je malé množství popela, které lze dále využívat jako hnojivo. Spalování biomasy můžeme také chápat jako pomoc při likvidaci odpadů, například zbytků z lesní těžby a podobně.

Nevýhodou biomasy je její nižší výhřevnost, která je přímo závislá na její vlhkosti. Se zvyšující se vlhkostí biomasy se snižuje její výhřevnost a pro získání stejného množství tepla je nutné spálit více paliva. Biomasu je nutné skladovat a sušit, potřeba jsou velké sklady nebo přístřešky. Složitá bývá také manipulace s biomasou v souvislosti právě s jejím uskladněním. Další nevýhodou je, že biomasa se dá často využít jinak než pro energetické účely. Této biomase se říká biomasa první generace [5, 28].

Energii z biomasy získáváme trojím způsobem přeměny. Prvním způsobem je termochemická přeměna, ke které se řadí spalování, zplyňování a pyrolýza. Spalování biomasy je obdobné jako spalování uhlí a zemního plynu. Nejčastěji spalujeme dřevo o vlhkosti 10 – 12 % za přívodu vzduchu. S vyšší vlhkostí dřeva dochází k nedokonalému spalování a snižuje se životnost kotle. Spalování biomasy produkuje méně emisí oxidu dusíku než spalování zemního plynu za předpokladu dostatečného přísunu vzduchu a dokonalého spalování [25].

Zplyňováním dochází k přeměně uhlíkatého materiálu, nejčastěji dřeva nebo slámy, na hořlavé plyny. Vedlejšími produkty jsou popel a škvára. Z jednoho kilogramu dřeva lze zplyňováním získat 1,5 – 2 m³ dřevoplynu. Pyrolýza je chemický proces, při kterém rozkladem organických látek vzniká topný olej nebo topný plyn. Nízkoteplotní pyrolýzou (za teploty 400 – 600 °C) vzniká metanol a vysokoteplotní pyrolýzou (900 – 1000 °C) vzniká dřevný koks, který má vyšší výhřevnost [5]. (5) Druhým způsobem přeměny je přeměna biochemická. Mezi tyto mokré procesy se řadí fermentace a anaerobní vyhnívání. Třetím způsobem je fyzikální a chemická přeměna, mezi které se řadí mechanické drcení, lisování a peletování a chemická esterifikace surových bioolejů [10].

Bioplyn nemusí vznikat pouze zplyňováním. Výhodné může být využívání skládkového bioplynu nebo bioplynu z čistíren odpadních vod. Problém je ale s dopravou plynu ze skládky nebo s čistírny do teplárny, která bývá vzdálená i desítky kilometrů. Spalováním odpadů ve spalovnách vznikají skleníkové a jiné nežádoucí nebo i jedovaté plyny. Využíváním bioplynu přímo ze skládky se část těchto plynů eliminuje. Skládku lze tímto způsobem využívat maximálně 15 let, poté je skládka „vyžilá“ [5]. Čistírny odpadních vod využívají kalový plyn vznikající při procesech čištění vody k vlastnímu vytápění a pro potřeby technologií čistírny, potenciál plynu je ale vyšší a zbylé teplo nemá v místě využití [12].

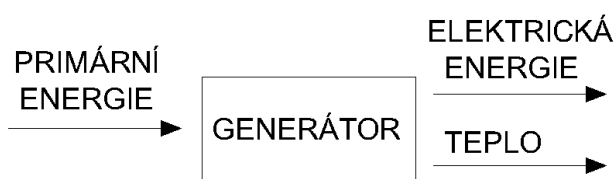
Biomasa má historické využití u rodinných domů. V krbech nebo kamnech byla spalována dřevěná polena a na kamnech se dalo vařit. V současné době je dřevo stále využíváno k vytápění rodinných domů v podobě kusového dříví ale i v podobě štěpky, pelet, briket, pilin nebo hoblin. Peletky a brikety mají oproti kusovému dříví výhodu vyšší výhřevnosti, kterou získávají stabilní vlhkostí. Další výhodou je postupné odhořívání, které je dáno pojivem – tlakem zahřátým ligninem, a také možností regulace kotle. Peletky jsou jednodušší na skladování než uhlí a kusové dříví a jejich skladování je čisté. Nevýhodou je jejich vyšší cena a nutnost většího prostoru pro skladování. Brikety jsou obdobně jako peletky jednoduché na skladování a jejich provoz je také velmi čistý. Do briket lze přimístit i jiné než dřevěné odpady. Rozdíl mezi peletkami a briketami je v jejich tvaru.

Biomasa je jako zdroj paliva pro výrobu elektrické nebo tepelné energie nejvíce využívána v Německu, Rakousku, Švédsku a Finsku [5]. Švédská společnost Bioenergy International představila v roce 2009 projekt zaměřený na využívání zemědělských zbytků pro dálkové vytápění za pomoci pyrolýzy. Projekt se také zaměřuje na využívání vedlejšího produktu pyrolýzy – biocharu. Biochar je biogenní uhlík, který lze využívat jako plnohodnotné hnojivo. Zlepšuje vlastnosti půdy, zvyšuje vlhkost a udržuje dostupnost živin a je vhodný jako hnojivo pro trávníky ale i pole se zemědělskými plodinami. Využitím vedlejšího produktu z výroby tepla z biomasy můžeme mluvit o klimaticky příznivém vytápění [29].

Uhlí, zemní plyn i biomasa se spalují v kotlích. Uhlí a biomasu lze spalovat i v kamnech, krbech nebo sporácích, s těmito zdroji tepla se nejčastěji setkáváme u starších objektů a slouží převážně jako lokální zdroje tepla. V kotlích lze spalovat kromě uhlí, zemního plynu a biomasy také koks nebo topné oleje. Kombinované kotle biomasa – elektřina dokáží spalovat biomasu a v případě potřeby přitápět elektřinou. Některé kotle slouží jak k vytápění, tak i k ohřevu vody. Jedním z těchto typů kotle je i kombinovaný kotel vytápění – solární ohřev. Voda v otopné soustavě je v době dostatečného slunečního záření ohřívána solárními kolektory a v době nedostatečného slunečního záření je ohřívána kotlem. Tyto kotle jsou nejvíce využívány na Moravě a v Polabí [2, 5, 14].

Spalováním paliva dochází v kotlích k produkci oxidu uhličitého. Dokonalé spalování paliva vyžaduje dostatečné množství vzduchu. Pokud by se palivo spalovalo v místnosti s nedostatkem vzduchu, docházelo by k nedokonalému hoření paliva a k produkci oxidu uhelnatého, který je pro lidský organismus jedovatý. V minulosti došlo několikrát k přiotrávení nebo dokonce k úmrtí vlivem nedokonalého spalování a produkce oxidu uhelnatého. U všech typů kotlů je důležitý přívod vzduchu a také odvod spalin. Přívod vzduchu je zajišťován větráním místnosti, nuceným nebo mechanickým, nebo vlastním přívodem přímo do kotle. Odvod spalin je řešen komínem nebo vývodem na fasádu. Komínům i vývodům se věnují české normy [5, 30].

Zvláštním a relativně novým typem kotle bychom mohli nazývat **kogenerační jednotky**. Kogenerací se rozumí kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie (KVET). Schéma kogenerační jednotky je znázorněno na Obrázku 1. Primární energie (zemní plyn nebo bioplyn) je přiváděna do spalovacího motoru jednotky, kde je spalována. Vzniklé teplo ohřívá turbínu, která otáčí vrtulí generátoru, kde je přeměňována mechanická energie na elektrickou energii. Vedlejším produktem je tepelná energie, která je dále využívána pro vytápění nebo ohřev vody [31, 32].

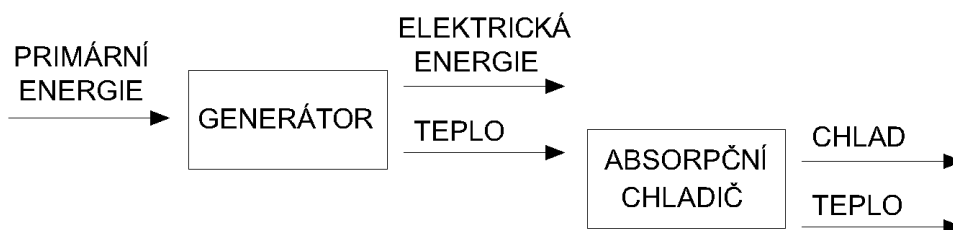


Obrázek 1: Schéma kogenerační jednotky, Zdroj: vlastní zpracování

Kogenerační jednotky jsou nejčastěji využívány teplárnami a jsou vybavovány parními turbínami, spalovacími turbínami nebo spalovacími motory. Spalovací motory mohou využívat jako palivo zemní plyn, bioplyn nebo důlní plyn. Důlní plyn je druhotné označení pro dříve zmiňovaný karboňský zemní plyn. Bioplynu využívají bioplynové stanice. Kogenerační jednotky bioplynových stanic jsou specificky upravené pro spalování bioplynu, který obsahuje pouze 60 až 70 % metanu. Účinnost kogeneračních jednotek se pohybuje v rozmezí 80 – 90 %. Teplo ku elektrické energii vyrábí nejčastěji v poměru 5:4, výjimečně až 1:1 [33].

Hlavní výhodou kogenerace je snížení nákladů na energie a zvýšení efektivity využití paliva (primární energie). Další výhodou je snížení produkce skleníkových plynů a zvýšení ekologického hodnocení budovy. Kogenerační jednotka může sloužit i jako záložní zdroj při výpadku proudu nebo při výpadku dodávky tepelné energie. Výhodou může být i nezávislost na elektrizační soustavě a snížení ceny energie, pokud si v době špičky, kdy je elektrická energie drahá, uživatel vyrobí elektrickou energii kogenerací. Využití kogenerační jednotky je vhodné u budov, které mají velkou spotřebu tepelné energie, jako jsou například nemocnice, školy nebo hotely [26, 27, 32].

Nadstavbou kogenerační jednotky je **trigenerační jednotka**. Pod pojmem trigenerace se skrývá výroba elektrické energie, tepelné energie a energie pro chlazení současně. Fungování třígenerační jednotky je obdobné jako u kogenerační jednotky. Palivo je přiváděno do spalovacího motoru jednotky, kde je spalováno za vzniku tepelné energie. Tepelná energie roztáčí turbínu napojenou na generátor, kde dochází k přeměně mechanické energie na elektrickou energii. Vedlejším produktem je teplo, nejčastěji v podobě teplé vody, které je buď dále využíváno nebo přiváděno do absorpčního chladiče, kde je odebráno a využíváno např. pro ohřev bazénu. V absorpčním chladiči tímto získáváme dostatek energie pro chlazení v podobě studené vody. Konkrétní poměry elektřiny, tepla a chladu lze měnit dle uživatele. Schéma třígenerační jednotky je zobrazeno na Obrázku 2 [31].



Obrázek 2: Schéma trigenerační jednotky, Zdroj: vlastní zpracování

Dalším obnovitelným zdrojem energie využitelným pro vytápění je energie prostředí. Energii prostředí dokážeme pomocí **tepelného čerpadla** odebírat ze země, ze vzduchu nebo z vody. Energii země umíme využívat dvěma způsoby. V místech s geotermální aktivitou jako je sopečná činnost, gejzíry nebo horké prameny, lze odebírat tepelnou energii přímo z těchto přírodních zdrojů. Nejvhodnějším místem pro takovéto využívání zdrojů je Island. V České republice bohužel není místo s geotermální činností. Druhý způsob využívání energie země je za pomoci zemních vrtů a již zmíněného tepelného čerpadla [26]. Tepelnými čerpadly je při teplotách do 5 °C vytápěna matematicko-fyzikální fakulta UK v Praze na Albertově, za první rok využívání tepelného čerpadla společně s plynovými kotly hlásí fakulta pokles spotřeby zemního plynu téměř o 50 % [34].

Tepelné čerpadlo funguje na principu chladicího zařízení a na principu odebírání tepla z jednoho prostředí a předávání druhému prostředí. Teplo okolního prostředí (země, vody, vzduchu) je odebíráno výparníkem a předáváno teplotně látky (nejčastěji chladicí kapalině). Teplotně látka je z důvodu získání vyššího pracovního tlaku a teploty stlačena kompresorem. V kondenzátoru je teplo odevzdáno vodě, která je používána na vytápění nebo jako teplá užitková voda. Teplotně látka je po odevzdání tepla vodě hnána přes expanzní ventil, kde dochází k jejímu roztáčení a snížení tlaku a celý proces začíná znovu [14].

Výhodou tepelného čerpadla je dostupnost zdroje, nevýhodou je nutnost elektrické energie pro chod čerpadla. Tepelná čerpadla jsou nejvíce využívána v Německu. V České republice jsou používány pro vytápění jako monovalentní i bivalentní zdroje [5, 28, 35].

Tepelná čerpadla rozlišujeme podle místa odběru a teponosného média na čerpadla vzduch – vzduch, země – voda, voda – voda a vzduch – voda. Zdroj tepla je u tepelných čerpadel nízkopotenciální a nízkoteplotní, tepelné čerpadlo odebírá pouze malé množství tepla. Tepelné čerpadlo voda – voda využívá jako zdroj tepla povrchovou nebo spodní vodu. Využívání spodní vody je častější, protože spodní voda má konstantní teplotu v průběhu roku. Teplota spodní vody ve studně o hloubce 10 metrů kolísá celoročně mezi 10 až 12 °C. Tepelné čerpadlo voda – voda musí být umístěno v místnosti v objektu kvůli možnému zamrznání. Nejčastěji se u tepelného čerpadla voda – voda zhotovují dvě studny, první, sací, slouží jako zdroj tepla, druhá, zasakovací, slouží jako vratná studna pro ochlazenou vodu. Obě studny i využití tepelného čerpadla voda – voda musí být schváleno vodohospodáři [5].

Tepelné čerpadlo země – voda odebírá teplo z půdy. Výhodou tepelného čerpadla země – voda je nevyčerpatelnost zdroje a možnost umístění i mimo budovu. Způsob odebírání tepla je povrchový nebo hloubkový. Povrchový zemní jímač odebírá teplo pomocí svazku trubek s kapalinou. Pro rodinný dům je potřeba zhotovit systém o minimální délce 50 až 100 metrů. Optimální hloubka povrchového zemního jímače je 1,5 až 2 metry kvůli kolísání teploty během roku. Hloubkový způsob využívá zemních vrtů. Hloubka vrtů se může pohybovat až do 150 metrů. Platí, že na každých 18 m hloubky vrtu lze získat přibližně 1 kW [5, 36].

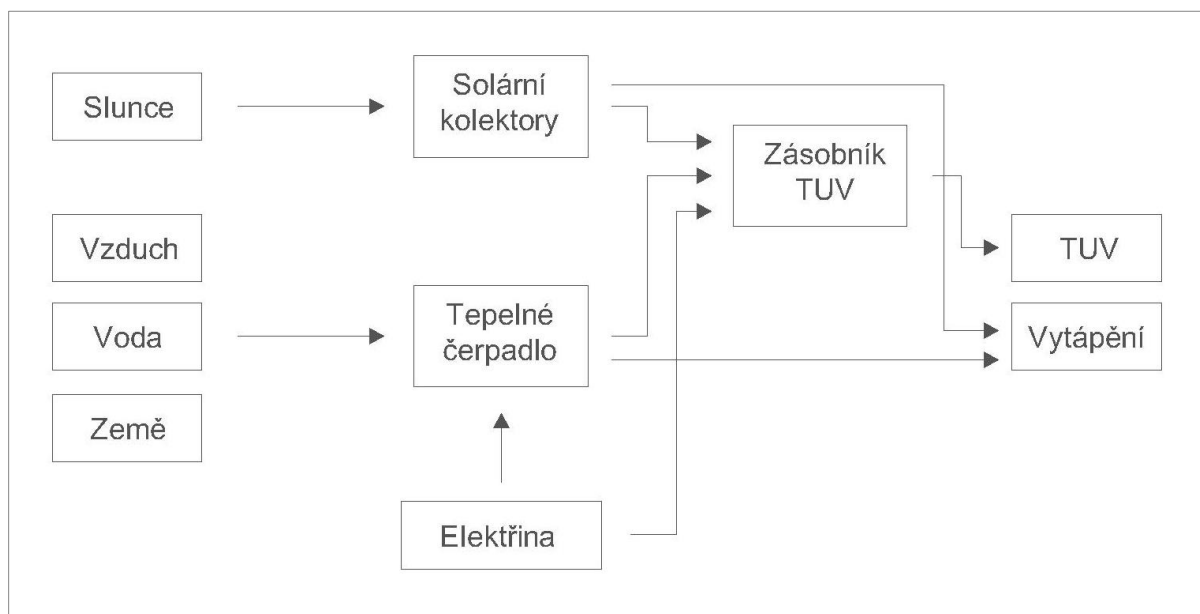
Méně náročné na stavební a zemní práce je tepelné čerpadlo typu vzduch – voda. Jednoduchá instalace toho typu čerpadla má za následek výrazné snížení investičních nákladů. Další výhodou je i možnost umístění čerpadla mimo budovu. Tepelné čerpadlo vzduch – voda dokáže odebírat teplo okolnímu vzduchu až do teploty -20 °C. Největší nevýhodou tohoto typu tepelného čerpadla je hluk, který je způsobený ventilátorem. Tento hluk může dosáhnout až 42 dB a nejčastěji je řešen izolací [5]. Posledním typem je tepelné čerpadlo vzduch – vzduch. Jedná se o stejné tepelné čerpadlo jako vzduch – voda, rozdíl je v médiu, kterému je teplo předáváno. V současnosti jsou využívána malá nástěnná tepelná čerpadla vzduch – vzduch pro vytápění chat a menších rodinných domů [36].

Dalším obnovitelným zdrojem, který umíme využívat pro vytápění budov, je sluneční záření. Energii slunečního záření dokážeme zachytit pomocí **solárních termických kolektorů** a dále využívat pro ohřev vody nebo pro vytápění. Důležitou roli u termických kolektorů hraje orientace a sklon [26, 27]. V České republice svítí Slunce průměrně 1400 – 1600 hodin za rok, nejvíce hodin svítí Slunce v oblasti Jižní Moravy a v Polabí. Kritickými měsíci, kdy se průměrné sluneční záření pohybuje pouze kolem 30 až 60 hodin, jsou listopad, prosinec, leden a únor [37].

Solární systémy na ohřev vody se dělí na přímé a nepřímé. Přímé solární systémy ohřívají v kolektorech vodu, která dále slouží k vytápění nebo jako teplá užitková voda (TUV). Nepřímé solární systémy fungují na dvou okruzích. V prvním okruhu koluje teponosné médium, které je ohříváno v termických kolektorech. Teponosné médium předává ve výměníku teplo vodě, která je využívána k vytápění nebo jako TUV a tvoří druhý okruh. Solární systémy se dále dělí na systémy s přirozeným a nuceným oběhem [38]. Přirozený oběh využívá různé objemové hmotnosti vody v důsledku různých teplot a tlaků v systému. Systém s nuceným oběhem využívá čerpadlo. Aby nedocházelo k destrukci systému při přehřátí, disponuje každý systém ochranným zařízením nejčastěji v podobě expanzní nádoby [39].

Termické kolektory jsou jednoduché na instalaci a vyznačují se krátkou dobou návratnosti především u bytových domů s jižně orientovanými střechami. Nevýhodou solárního ohřevu vody pro vytápění je částečná závislost na ostatních zdrojích tepla převážně v zimních měsících, kdy sluneční záření není dostatečné. Tento problém lze vyřešit právě druhým zdrojem tepla, například plynovým kotlem nebo tepelným čerpadlem, nebo akumulací [28, 40].

Kombinace solárního kolektoru a tepelného čerpadla je jedním z nejmladších systémů vytápění. První systémy se objevily až na přelomu tisíciletí a první výsledky výzkumů téměř o deset let později. Systém se skládá z termických kolektorů, tepelného čerpadla a akumulace. Jako akumulaci u tohoto systému nejčastěji vnímáme zásobník teplé užitkové vody (TUV). Pro systémy lze použít termické kolektory různých druhů, tvarů i velikostí, stejně lze použít různé druhy tepelných čerpadel. Systémy mohou být malé, například pro rodinné domy, ale i rozsáhlé. Důležité je zvolit vhodný typ kolektoru a tepelného čerpadla dle lokality a požadovaného tepelného výkonu. Nejčastějším systémem solárních kolektorů a tepelného čerpadla je paralelní systém, který je schematicky znázorněn na Obrázku 3.



Obrázek 3: Schéma kombinovaného systému solárních kolektorů a tepelného čerpadla
Zdroj: vlastní zpracování

V době chladných dní, kdy tepelné čerpadlo není dostačujícím zdrojem tepelné energie, je potřeba doplnit tepelné čerpadlo druhým zdrojem tepla. U zmiňovaného systému je tímto druhým zdrojem právě solární kolektor. Největší výhodou systému solárních kolektorů a tepelného čerpadla je využívání obnovitelných zdrojů energie – energie Slunce a energie prostředí. Nevýhodou jsou vysoké investiční náklady a neustálá potřeba elektrické energie pro chod tepelného čerpadla [40].

Akumulační nádrže lze využívat i u klasických otopných systémů, protože řeší problém s dodávkou tepla v době, kdy není funkční zdroj tepla nebo oběhové čerpadlo. Často se princip akumulace využívá u kotlů na biomasu. Kotel na biomasu je provozován na plný výkon a v akumulační nádrži se ohřívá voda až na teplotu 90°C. Poté se nechá dohořet palivo v kotli a teplo se odebírá výhradně z akumulační nádrže, nejčastěji za pomoci směšovacího ventilu. Výhodou je vysoká účinnost spalování biomasy v kotli díky jeho plnému výkonu. Tím dochází k menšímu opotřebení kotle a k uvolňování méně škodlivin do ovzduší. Akumulační nádrže lze použít i u systému solárních termických kolektorů. Teplo naakumulované přes den lze potom využívat večer k vytápění nebo ohřevu TUV. Akumulace představuje úsporu nákladů o 10 až 15 % [25].

Významnou úsporu nákladů představuje i využívání odpadního tepla. U průmyslových objektů lze využívat odpadní teplo z provozu například k vytápění přidružených administrativních budov. Důmyslným systémem využívající odpadní teplo je rekuperační jednotka. U systémů horkovzdušného vytápění se využívá poměrně často. Ve směšovací komoře rekuperační jednotky se díky teplému odpadnímu vzduchu ohřívá studený vzduch přicházející z exteriéru. Rekuperační jednotka tak dokáže uspořit až 50 % nákladů na vytápění, hlavní podmínkou je správně zateplený objekt s potřebou tepla na vytápění blízký se potřebě pasivního domu. Odpadního tepla využívají k vytápění také čističky odpadních vod a spalovny odpadů [23, 39].

Důležitou vlastností tuhých, kapalných a plyných paliv je jejich výhřevnost. Výhřevnost udává množství energie, které se uvolní při spálení 1 kilogramu daného paliva. Každé palivo se skládá z vody, hořlavé části a z popeloviny. Výhřevnost je přímo ovlivněna hořlavou částí paliva [41]. U biomasy ovlivňuje výhřevnost vlhkost, s rostoucí vlhkostí se snižuje její výhřevnost [25]. Výhřevnosti jednotlivých energonositelů jsou zaznamenány v Tabulce 3.

Tabulka 3: Výhřevnost vybraných energonositelů

	Energonositel	Výhřevnost [MJ/kg]
Pevná paliva	Černé uhlí	23,10
	Hnědé uhlí	18,00
	Koks	27,50
	Palivové dřevo	14,60
	Pelety	18,50
	Dřevěné brikety	17,50
Kapalná paliva		Výhřevnost [MJ/l]
	Těžký topný olej	40,80
	Lehký topný olej	42,30
	Benzín	32,00
Plynná paliva		Výhřevnost [MJ/m ³]
	Zemní plyn	34,07
	Koksárenský plyn	6,50
	Propan-butan	105,98

Zdroj: vlastní zpracování, podle [2, 42]

Výběr zdroje tepla a případného energonositele ovlivňuje nejvíce cena. Cena většiny paliv neustále a nepřetržitě roste. Například cena zemního plynu vzrostla z 1,53 Kč/kWh (rok 2001) a 1,62 Kč/kWh (rok 2009) na 1,74 Kč/kWh (rok 2019) [2, 12, 43]. Aktuální ceny vybraných paliv jsou zapsány v Tabulce 4 včetně porovnání s rokem 2001 a 2009.

Tabulka 4: Ceny paliv, porovnání let 2001, 2009 a 2019

	Ergonositel	Cena [Kč/kWh] (2001)	Cena [Kč/kWh] (2009)	Cena [Kč/kWh] (2019)
Pevná paliva	Černé uhlí	1,36	1,32	0,99
	Hnědé uhlí	1,05	1,07	0,89
	Koks	1,79	1,84	1,90
	Palivové dřevo	1,48	0,62	0,99
	Pelety	1,08	1,07	1,30
	Dřevěné brikety	1,16	1,31	1,27
Kapalná paliva	Těžký topný olej	-	0,62	0,97
	Lehký topný olej	-	2,00	2,70
	Benzín	2,92	3,04	3,71
Plynná paliva	Zemní plyn	1,53	1,62	1,74
	Propan-butan	-	2,09	2,44
Elektřina	Akumulace	1,92	2,27	2,76
	Přímotop	2,46	2,83	3,07
CZT	ČU, HU, ZP	1,44 - 2,34	1,93	1,47

POZN. Data pro TTO, LTO a propan-butan z roku 2001 nejsou dostupná.

Zdroj: vlastní zpracování, podle [2, 12, 43]

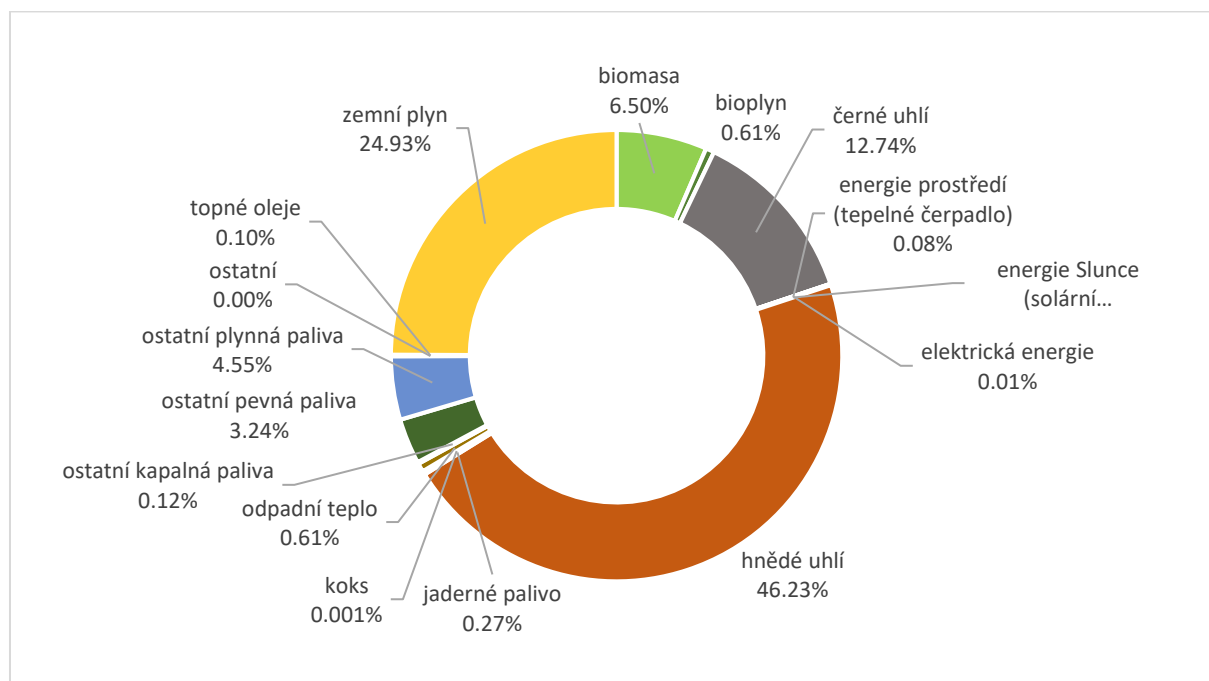
Cena 1 kWh u pevných paliv je ovlivněna účinností kotle. Automatické kotle umí spalovat palivo s vyšší účinností a tím zaručují vyšší využití paliva a nižší cenu na 1 kWh. Nižší cena u hnědého a černého uhlí v roce 2019 je způsobena uvažováním automatického kotle s vyšší účinností, než byla uvažována při výpočtu ceny v letech 2001 a 2009. Cena paliv dále závisí na množství odebíraného paliva, na jeho kvalitě a dostupnosti (lokálně). Cenu paliva ovlivňují i náklady na dopravu, například černé a hnědé uhlí je nutné dovážet z místa těžby. V České republice se v současnosti dováží hnědé uhlí z Mostecké nebo Sokolovské pánve a černé uhlí z Ostravsko-karvinských dolů [44, 45].

5.2.2 Soustavy zásobování teplem

Teplárenství má v České republice dlouholetou, téměř stoletou tradici. Největší rozvoj výstavby tepláren a tepelných elektráren je připisován rozvoji průmyslu a obchodu v počátcích minulého století. Elektrárny a teplárny byly stavěny na okrajích měst a zásobovaly především průmyslnou výrobu. V období výstavby panelových domů a rozlehlých sídlišť byly budovány lokální blokové plynové kotelny. V současné době v České republice existuje 208 účinných soustav zásobování tepelnou energií. Většina těchto soustav je vlastněna obchodními společnostmi ovládanými zahraničními vlastníky [1, 46].

Na přelomu tisíciletí bylo centrální zásobování tepelnou energií nejvíce rozšířené ve Finsku, Dánsku a v České republice. V současnosti existuje v Evropě projekt KeepWarm, který podporuje centrální zásobování teplem v zemích střední Evropy a takzvaného východního bloku. V České republice je vytápěno CZT zhruba 1,5 milionu domácností, což je necelých 40 % všech domácností v České republice. Pro srovnání, v roce 2001 bylo CZT vytápěno rovných 50 % domácností. Co do paliva převládá u výroby tepla v teplárenství stále uhlí. V roce 2018 se uhlí podílelo na výrobě z 59 %, jak je patrné z grafu č. 3, zatímco v roce 2001 se podílelo pouze z 50 %. V závěsu za uhlím je zemní plyn s 25 % a biomasa s 6 % [24].

Graf 3: Podíl energonositelů na dodávce tepla CZT



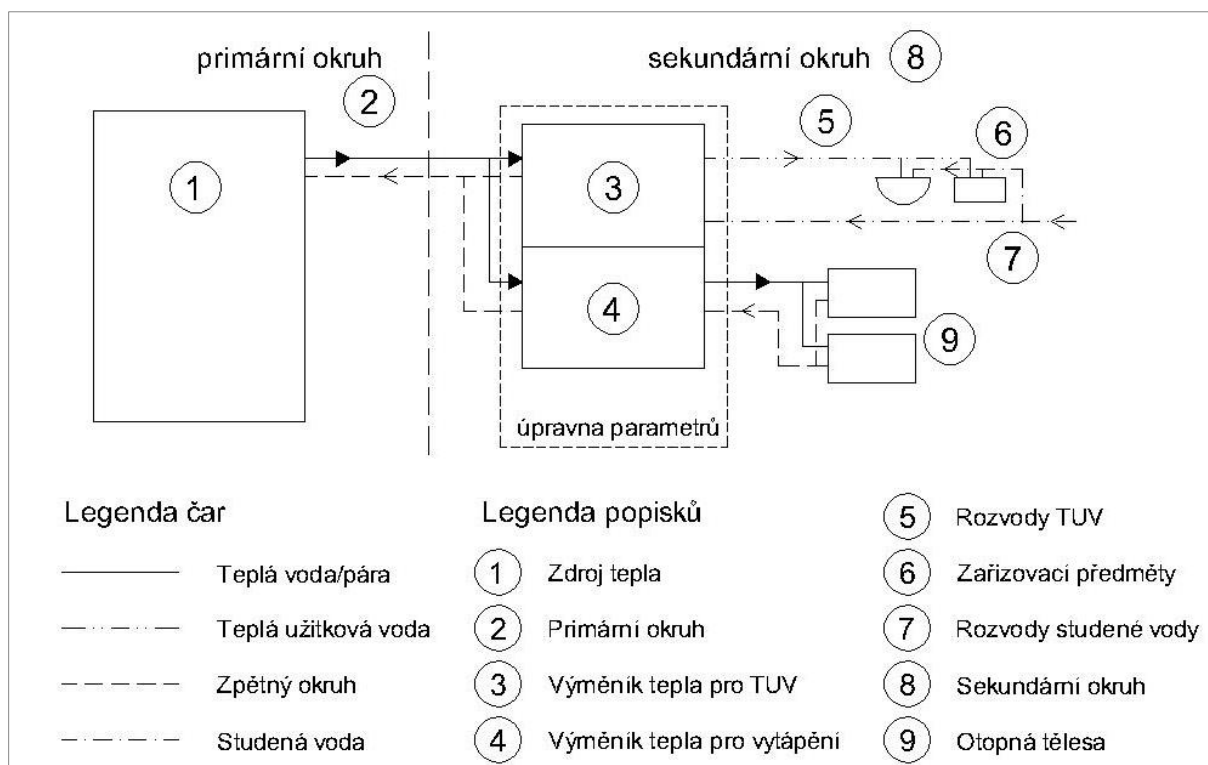
Zdroj: vlastní zpracování, podle [24]

V roce 1991 vzniklo na území sdružení zabývající se teplárenstvím, tedy teplárenské sdružení České republiky. Členem Teplárenského sdružení se může stát právnická osoba podnikající v odvětví teplárenství, například výrobci a distributoři tepelné energie, dále organizace zabývající se dodávkou technologií pro teplárenství a v poslední řadě instituce odbírající tepelnou energii, například školy.

V čele Teplárenského sdružení je valná hromada členů, která je kontrolována revizní skupinou. Chod organizace mezi valnými hromadami zajišťuje výkonná rada. Hlavním cílem Teplárenského sdružení je podpora výroby tepelné energie a kombinované výroby elektřiny a tepla. Pro splnění tohoto cíle je Teplárenské sdružení rozděleno do několika skupin, které se zabývají jednotlivými sektory teplárenství. Teplárenské sdružení pořádá několik akcí pro teplárenské odborníky a pro širokou veřejnost. Jednou z těchto akcí jsou Dny teplárenství a elektrárenství, které se konají jednou ročně [1].

V teplárenství jako takovém je minimální možnost přirozené konkurence. V jednotlivých lokalitách je zejména jedna teplárna nebo tepelná elektrárna, která zásobuje celou lokalitu. Z tohoto důvodu musí být regulována cena tepelné energie Energetickým regulačním úřadem. Tato regulace probíhá v ČR už od roku 2001. ERÚ dále reguluje vstup na trh s tepelnou energií udělováním licencí v souladu s Energetickým zákonem [46, 47].

Soustava zásobování tepelnou energií, neboli centrální zásobování teplem, je tvořena zdrojem tepelné energie a rozvodným tepelným zařízením, které slouží k dodávce tepelné energie. Dodávka tepelné energie může být využívána pro vytápění a ohřev teplé vody, nebo pro chlazení a jiné technologické procesy. Koncovým odběratelem u soustavy zásobování tepelnou energií je zákazník nebo distributor tepelné energie. Propojení jednotlivých částí soustavy zásobování tepelnou energií je patrné z Obrázku 3.



Obrázek 4: Schéma soustavy zásobování tepelnou energií
Zdroj: vlastní zpracování, podle [5]

Zdrojem tepla (1) u dálkového vytápění jsou teplárny, tepelné elektrárny, blokové kotelny a mobilní kotelny. Energonositelem může být hnědé a černé uhlí, zemní plyn, lehké topné oleje, biomasa nebo i komunální odpad. Více o energonositelích vhodných pro vytápění se dočtete v kapitole 8.2.2. Teplárny jsou primárně určeny k dodávce tepelné energie a tím se liší od tepelných elektráren. Princip obou těchto zařízení je ale stejný, spalováním paliva v parním kotli dochází k uvolnění tepelné energie, která ohřívá vodu v kotli a přeměňuje ji v páru. Pára je dále vedena k turbíně, kterou díky nerovnosti tlaků roztáčí a dává vznik elektrické energii. Část páry je z turbíny odebírána a dále využívána jako topná pára. Tato „spoluvýroba“ elektrické a tepelné energie se nazývá KVET – kombinovaná výroba elektřiny a tepla. Zdrojem pro CZT může být i jaderná elektrárna nebo jaderná výtopena, která se od tepelných elektráren a tepláren liší nejenom palivem ale i způsobem odběru tepla. U jaderných tepláren přebírá funkci parního kotle parogenerátor sekundárního okruhu, který dále předává sytou vysokotlakou páru odběrovým turbínám. Z těch je dále pára odebírána a vedena do výměníků soustavy CZT [48].

Blokové kotelny jsou samostatnými zdroji tepla určenými pro menší městskou část, nejčastěji městský blok nebo sídliště nebo pro samostatný komplex budov jako je například sportovní areál, nemocnice nebo průmyslový závod. Kotelny jsou stavěny jako samostatné budovy, teplo je dále rozváděno teplovodní sítí k domovním výměníkům. U výtopen zásobující komplex budov je možné vést teplo tepelnou sítí rovnou k otopným tělesům, pokud nedochází k příliš vysokým ztrátám. Mobilní kotelny se zřizovaly dočasně na sídlištích jako dočasný zdroj tepla při výstavbě sídlišť před výstavbou vlastní klasické blokové kotelny nebo na rozlehlých staveništích. Mobilní kotelny mají vlastní podvozek s koly nebo masivní rámy, palivem je nejčastěji zemní plyn nebo lehký topný olej (LTO). V současné době se s mobilními kotelny příliš nesetkáváme [5].

Součástí takzvaného primárního okruhu (2) jsou kromě zdroje tepla i rozvody tepla neboli tepelná síť a objekty na tepelné síti. Podle teploty látky rozdělujeme tepelnou síť na parní a horkovodní. V případě parní teplovodní sítě se používá vysokotlaká pára v rozmezí tlaku 0,6 až 2,5 MPa. U horkovodních sítí se používá horká voda o teplotě vyšší než 110 °C. V poslední době je trendem snižování teploty teploty teploty teploty látky. Důvodem je snaha snížit tepelné ztráty při přenosu tepla a také snížení namáhání potrubí a tím snížení jeho opotřebení. Vedlejším účinkem tohoto trendu je mimo jiné i snížení ceny tepelné energie. Podle tvaru sítě dělíme tepelnou síť na paprskovou a okruhovou. Druh sítě je zvolen podle hustoty zástavby, členitosti terénu a potřeby zásobování teplem. Hlavním požadavkem na tepelnou síť je vedení potrubí co možná nejkratší cestou, aby docházelo k co možná nejmenším tepelným ztrátám, a také tak, aby se potrubí dalo jednoduše opravit v případě havárie. Tepelné ztráty potrubí jsou eliminovány izolací a způsobem vedení. Způsob vedení je trojí – v tepelném kanálu, který může být průchozí, průlezný nebo neprůlezný, v zemi nebo nad zemí. Průměr rozvodů teploty teploty látky se pohybuje od 100 do 1200 mm, tloušťka stěny v rozmezí od 4 do 15 mm podle průměru potrubí a tlaku teploty teploty látky. Nejvýhodnějším způsobem vedení potrubí, pokud zohledníme pouze tepelné ztráty, je vedení v zemi, jeho velkou nevýhodou je ale nedostupnost v případě opravy nebo havárie. Naopak nejprístupnějším způsobem je vedení nad zemí, nevýhodou jsou ale vyšší tepelné ztráty. Řešením je vedení v tepelném kanále, které je ale podstatně nákladnější [5].

Jedním z objektů na tepelné síti je výměňiková stanice neboli úpravna parametrů. Uvnitř výměňikové stanice se nachází výměňik tepla pro TUV (3) a výměňik tepla pro vytápění (4). Výměňikové stanice jsou důležitými objekty na tepelné síti. Teplonosná látka (pára nebo horká voda) z výroby tepla totiž nemá požadující parametry vhodné pro vytápění nebo teplou užitkovou vodu, její teplota je příliš vysoká. V úpravně parametrů dochází k úpravě teploty teplonosné látky nebo k její změně, výměňiky tak rozdělují primární a sekundární okruh centrálního zásobování teplem. Úpravny parametrů se podle teplonosné látky v primárním a sekundárním okruhu dělí na úpravny pára – pára, pára – voda, voda – voda a voda – pára. Úpravny parametrů, kde je v sekundárním okruhu pára, se konstruují podle ve specifických případech a na přání zákazníka, jedná se většinou o průmyslové objekty. Nejčastějším a nejpoužívanějším výměňikem je výměňik horká voda – teplá voda. Úpravny parametrů můžeme dělit i podle vazby tlaku mezi primární a sekundární teplonosnou látkou. Připojení může být přímé, tlakově závislé nebo nepřímé, tlakově nezávislé. Připojení tlakově závislé se provádí přes armatury, pojišťovací zařízení, rozdělovač a sběrač tepla. K úpravě vody se používají ejektory nebo směšovací čerpadla. Připojení tlakově nezávislé je v současnosti více používané a provádí se přes výměňik tepla s teplosměnnou plochou. Výměňik může být deskového, válcového nebo trubkového tvaru. Hlavními požadavky na výměňikové stanice je jejich hospodárnost provozu, přiměřená velikost, minimální montážní náklady, minimální poruchovost a taky spolehlivá regulace a jednoduchá a dostupná údržba [5].

Neméně důležitou součástí soustavy zásobování teplem je její regulace. Správná a účinná regulace je základem hospodárnosti každé tepelné sítě. Existuje několik druhů regulace podle různých parametrů, důležitější je ale účel regulace. Tím je udržovat požadovanou teplotu vody nebo páry v síti v primárním i v sekundárním okruhu, dále vyloučení přetápění budov, ochrana tepelné sítě před nadměrným opotřebením, řízení automatického provozu a tím šetření pracovních sil ale hlavně zajištění bezpečnosti celé soustavy zásobování teplem.

Dálkové vytápění je výhodným systémem vytápění v místě husté zástavby. Zdroj tepla je umístěn v blízkosti sídliště a dochází tak k minimálním tepelným ztrátám při dodávce tepla. Hlavní nevýhodou dálkového vytápění jsou ale vysoké pořizovací náklady a potřeba velkého prostoru pro zřízení zdroje tepla – kotelny nebo teplárny. Dálkové vytápění má ale i řadu výhod. Díky spalování paliva v teplárnách a kotelnách je teplo dálkového vytápění v porovnání s jinými zdroji levnější a ekologičtější. V kotelnách a teplárnách je palivo spalováno za vyšších teplot a s vyšší účinností, vysokoúčinné kotle dokáží účinně spálit i palivo horší kvality a navíc je lze plně automatizovat. Teplárny a kotelny mají navíc tak vysoké komíny a účinné filtry, že své okolí téměř nezatěžují lokálními emisemi ani popílkem. Největší výhodou pro odběratele je stálost dodávky tepla a bezpečnost jeho výroby v kotelnách a teplárnách [5].

5.2.3 Odpojení od centrálního zásobování teplem

Centrální zásobování teplem je z ekologického hlediska považováno jako ekologicky vyhovující zdroj tepla. Nevýhodou pro uživatele CZT je rostoucí cena, která je způsobena odpojováním odběratelů a nutností rekonstruovat staré teplovodní sítě. Přitom právě zvyšování ceny tepla ze systému CZT a snižování ceny lokálních zdrojů může u některých odběratelů tepla vyvolat touhu po odpojení. Odpojení od systému CZT je ale poměrně složitý proces, který vyžaduje stoprocentní připravenost [49].

Zákon č. 183/2006 Sb., Stavební zákon, považuje výměnu zdroje tepla za změnu dokončené stavby. Podmínkou odpojení od centrálního zásobování teplem je úspěšné stavební řízení a stavební povolení od příslušného stavebního úřadu. K odpojení je potřeba mimo jiné souhlas majitele licence k distribuci tepla a souhlasné stanovisko příslušného odboru životního prostředí. Žádost o stavební povolení musí obsahovat náležitosti podle vyhlášky č. 63/2013 Sb [50].

Stavební zákon není jediným zákonem, který stanovuje podmínky pro odpojení od centrálního zásobování teplem. Dle zákona č. 369/2016 Sb., kterým se mění zákon o ochraně ovzduší, má stavebník povinnost u novostaveb nebo při změně dokončené stavby využít jako zdroj tepla CZT, pokud je to technicky a ekonomicky možné [51]. V případě jiného zdroje tepla je nutné prokázat ekologickou, ekonomickou a technickou proveditelnost. Ekologickou proveditelností se dle zákona rozumí splnění emisních limitů, nový stacionární zdroj může způsobit zvýšení měrného emisního zatížení v dané lokalitě.

Ekonomická a technická proveditelnost a výhodnost alternativního zdroje se vyhodnocuje na základě energetického posudku. Energetický posudek musí být zhotoven energetickým specialistou oprávněným k vyhotovení energetických auditů a posudků dle zákona č. 406/200 Sb. Energetický specialista oprávněný k vyhotovení průkazu energetické náročnosti budovy nemůže vyhotovovat energetický posudek. Základní podmínkou ekonomické výhodnosti alternativního zdroje je doba návratnosti kratší než doba životnosti. Na základě energetického posudku dospěje příslušný odbor životního prostředí k rozhodnutí [49].

Odpojení od centrálního zásobování teplem a alternativní zdroj tepla musí být v souladu se státní energetickou koncepcí (SEK) a územní energetickou koncepcí (ÚEK). Náležitosti a podmínky SEK a ÚEK jsou stanoveny vyhláškou č. 232/2015 Sb., která vyplývá ze zákona č. 406/200 Sb. Územní energetická koncepce nemůže zakázat uživatelům odpojování od CZT, může pouze stanovit podmínky, které budou odpojení omezovat [49]. Územní koncepce Středočeského kraje pro roky 2017 až 2041 nestanovuje žádné zvláštní podmínky pro odpojení [52].

Odpojení od centrálního zásobování teplem je možné, pokud projekt alternativního zdroje tepla splňuje výše zmíněné podmínky a získá stavební povolení a souhlas orgánu ochrany životního prostředí. Žádosti o odpojení od CZT bude vyhověno také v případě zániku systému CZT v dané lokalitě v horizontu následujících 5 let. Žádosti o odpojení nelze v žádném případě vyhovět, pokud nebude podložena energetickým posudkem [49].

V případě splnění výše uvedených podmínek může dojít k odpojení od centrálního zásobování teplem. Náklady na odpojení od CZT hradí žadatel o odpojení. Těmito náklady se rozumí například náklady na technický návrh odpojení, náklady na zaslepení přípojky a související výkopové a zemní práce, náklady na demontáž armatur a výměníku, náklady na vypouštění rozvodů a provedení tlakové zkoušky nebo náklady na vyregulování teplovodní soustavy po odpojení žadatele [53].

Nejdůležitější podmínkou při odpojování od CZT v případě bytových domů je souhlas minimálně tří čtvrtin vlastníků bytových jednotek. Hlasování o odpojení musí předcházet dostatečná informovanost vlastníků a společná diskuze. Vlastníci by měli být předem informováni o veškerých rizicích projektu a o kompletní výši investice [49]. Při návrhu musí být splněny podmínky vyhlášky č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby. Vyhláška mimo jiné stanovuje podmínky pro úspory energie v případě budov a podmínky tepelné ochrany. Dle vyhlášky by měla investice do nového zdroje tepla vždy předcházet investice do kompletního zateplení budovy [54].

5.2.4 Otopné soustavy

Otopné soustavy jsou technologická zařízení sloužící k vytápění budov. Otopnou soustavu tvoří zdroj tepla, potrubní síť, armatury, otopná tělesa a neméně důležité zabezpečovací zařízení. Podle teploty látky dělíme otopné soustavy na parní, vodní a teplovzdušné. Podle teploty vody se vodní soustavy dále dělí na nízkoteplotní (do 65 °C), teplovodní (do 115 °C) a horkovodní (nad 115 °C). U bytových domů a objektů občanské vybavenosti se nejčastěji setkáváme s nízkoteplotní nebo teplovodní otopnou soustavou. Otopné soustavy mají nucený nebo přirozený oběh teploty látky. Přirozený oběh funguje na principu různé teploty a různé hustoty teplé (přívodní) a studené (vratné) vody v soustavě. Nucený oběh využívá teplovodního čerpadla, využívá tedy elektrické energie, a právě to je jeho největší nevýhodou. Největší výhodou je potom rychlost zátopy a lepší hydraulické vlastnosti a tím možnost navrhovat menší průměry potrubí. Podle umístění hlavního rozvodu se otopné soustavy dělí na soustavy s horním rozvodem a na soustavy s dolním rozvodem, a podle typu vedení potrubí k otopným tělesům se dělí na soustavy horizontální, vertikální a hvězdicové [2, 39].

Vhodný typ a vhodné umístění otopných těles je klíčové pro správné fungování otopné soustavy. Otopná tělesa se umísťují k nejvíce ochlazované ploše v místnosti. Nejvíce ochlazovanými plochami bývají většinou okna, protože jejich součinitel tepelné vodivosti je častokrát mnohonásobně vyšší než u ostatních ploch, například stěn. Otopná tělesa se dělí podle typu sdílení tepla na konvekční, sálavá a teplovzdušná. Samostatným typem jsou potom lokální topidla, která nejsou součástí otopné soustavy, ale jsou sama sobě zdrojem tepla i otopným tělesem [2, 39].

Konvekční otopná tělesa předávají teplo svému okolí konvekcí, tedy prouděním. Řadí se mezi ně otopná tělesa článková, desková, trubková a konvektory. Článková tělesa tvoří články spojené závitovými vsuvkami, nejčastěji se vyrábí litinová, ocelová nebo ze slitin hliníku. Desková tělesa jsou tvořena ocelovou deskou s horizontálními a vertikálními kanálky a mohou být jednořadá, dvouřadá i třířadá. Desková tělesa mají menší objem vody než článková tělesa a díky tomu rychleji reagují na případné regulační zásahy. Článková i desková tělesa jsou nejčastěji využívána pro teplovodní otopné soustavy.

Trubková otopná tělesa najdeme nejčastěji v koupelnách. Trubková tělesa jsou tvořena vodorovným nebo svislým trubkovým „žebříkem“. Trubková tělesa jsou stejně jako článková a desková tělesa využívána u teplovodních otopných soustav, velmi často mají zabudovanou i elektrickou vložku pro kombinovaný provoz a lze je užívat bez závislosti na ústředním vytápění. Konvektory lze umísťovat nad podlahu (povrchově) nebo do kanálu v podlaze (podpovrchově). Jedná se o plechové skříně se žebrovým otopným registrem shora krytým odebíratelnou mřížkou. V současné době jsou více používány podlahové konvektory, které se umísťují v místnostech s okny až k podlaze a provádí se v rozmanitých designech [2].

Sálavé plochy sdílí teplo s okolím sáláním, radiací, zářením. Podle umístění sálavé plochy se dělí na podlahové vytápění, stěnové vytápění a stropní vytápění. Nejčastější je u rodinných a bytových domů podlahové vytápění teplovodní nebo elektrické. Podlahové vytápění je z hlediska tepelné pohody nejlepším typem vytápění, protože teplota je rovnoměrně rozprostřena po výšce místnosti tak, jak to právě uživatelům vyhovuje – teplo u nohou ve spodní části a chladněji u hlavy v horní části místnosti. Díky cirkulaci vzduchu v místnosti vlivem rozdílných hustot teplejšího a chladnějšího vzduchu se teplota v místnosti rozprostře konzistentně. Výhodou je také úspora nákladů. U podlahového vytápění lze snížit teplotu vzduchu v místnosti o 1 °C (některé zdroje uvádí až o 3 °C) a to by mělo snížit náklady na vytápění za rok až o 3 %. Důležitým aspektem pro návrh podlahového vytápění je vhodná volba nášlapné vrstvy. Zcela nevhodné pro podlahové vytápění jsou materiály s vysokým tepelným odporem, tedy s nižší tepelnou vodivostí. Podlahové vytápění se často využívá v kombinaci s jiným systémem vytápění, často jej nalezneme právě v kombinaci s deskovými nebo trubkovými otopnými tělesy [2].

Koncovými prvky u horkovzdušného vytápění nejsou otopná tělesa. Horký vzduch je vyfukován koncovými jednotkami horkovzdušného systému a tím vytápí místnost. Typickými koncovými prvky u horkovzdušných soustav jsou vyústky a anemostaty. Správné rozmístění koncových prvků a vhodná rychlost proudění vzduchu jsou nejdůležitějšími faktory při návrhu horkovzdušného vytápění [5, 39].

Důležitou součástí otopné soustavy je potrubní síť, kterou se otopné médium dostává od zdroje tepla k otopným tělesům. Jak už bylo dříve zmíněno, podle způsobu vedení potrubí k tělesům dělíme otopné soustavy na horizontální, kdy jsou tělesa napojena na horizontálně vedené potrubí vedoucí z jedné stoupačky, vertikální, kdy jsou tělesa napojena co nejkratším potrubím přímo na stoupačku, a hvězdicové, kdy je každé těleso napojeno na samostatný rozvod přímo ze stoupačky. Hvězdicové soustavy se používají převážně u plastových potrubí, která jsou vedena v podlaze v ochranné trubce.

Potrubí otopných teplovodních soustav se provádí z oceli, mědi nebo plastu. Materiál se volí s ohledem na podmínky v budově, otopný systém, finance a další aspekty. Hlavním rozdílem mezi materiály je míra opotřebení a teplotní roztažnost. Potrubí z oceli má oproti mědi nižší teplotní roztažnost, jeho nevýhodou je ale nižší pevnost a nutnost tlustších stěn. Tím dochází k větší spotřebě materiálu a potrubí je dražší. Pro potrubí otopných soustav se používá ocel 11.353.0 svařovaná elektrickým obloukem nebo plamenem. Tato ocel podléhá korozi, takže je nutné opatřit potrubí antikoročním nátěrem. V podlaze (v betonu) je nutné vést ocelové potrubí v plastové chrániče [2, 23].

Měděné potrubí se spojuje pájením nebo lisováním. Měď dobře odolává korozi, takže odpadá nutnost antikorozního nátěru. Výhodou je její vysoká pevnost, která povoluje snižovat tloušťku stěn a je tak levějším materiálem. Nevýhodou je vysoká tepelná roztažnost, která musí být při návrhu zohledněna. Při vedení měděného potrubí pod omítkou je nutné potrubí izolovat. Plastové potrubí má z uvedených materiálů nejsnazší a nejrychlejší montáž. Pro rozvody vytápění se nejčastěji používá síťovaný polyethylen, polybutylen, statický polypropylen a chlorované PVC. Častá jsou také vrstvená potrubí s kovovou vložkou. Největší nevýhodou plastového potrubí je velice vysoká teplotní roztažnost a nízká pevnost. Potrubí je navíc náchylné k mechanickému poškození, je nutné ho podepřít nebo zabudovat. Otázkou zůstává životnost plastových potrubí, která je přímo závislá na teplotě a tlaku otopné vody a na době vytápění [2, 23].

Součástí potrubí jsou i armatury. Jedná se o speciální zařízení, která pomáhají ke správnému chodu a regulaci otopné soustavy. Armatury u otopných těles slouží k jejich připojování a k regulaci jejich provozu. Armatury na potrubní síti mají potom více funkcí. Patří mezi ně armatury uzavírací, pojistné, zpětné, vypouštěcí, odvodušňovací, regulační, měřicí, filtry a kompenzátory. Funkce jednotlivých armatur je patrná z jejich názvů [2, 39].

Nezbytnou součástí otopných soustav je zabezpečovací zařízení. Zabezpečovací zařízení vyrovnává dva nežádoucí stavy, které mohou nastat v otopné soustavě. Prvním stavem je nedostatek otopné vody v soustavě, druhým stavem je naopak její přebytek. Vlivem velkých rozdílů teploty v otopné soustavě dochází ke zvětšování a zmenšování objemu otopného média – vody. Tyto objemové změny v otopném systému vyrovnává právě zabezpečovací zařízení. Zabezpečovací zařízení může být v podobě pojistného ventilu, expanzní nádoby, zařízení sloužící proti nadměrné teplotě nebo zařízení ochrany proti nedostatku vody. Podle typu zabezpečovacího zařízení dělíme soustavy na otevřené a uzavřené. Otevřená soustava využívá expanzní nádobu, která se umísťuje v nejvyšším bodě otopné soustavy, u rodinných a bytových domů je to nejčastěji v prostoru půdy. V současné době není již moc využívána, protože půdní prostory se často využívají pro bydlení. Uzavřená soustava využívá k vyrovnání tlaků pojistný ventil. Novější zařízení používají pojistný ventil i tlakovou expanzní nádobu s membránou [2].

5.3 Potřeba tepla pro vytápění

Návrh otopného systému ovlivňuje několik faktorů jako jsou venkovní klima, druh a velikost budovy, tepelně technické vlastnosti konstrukcí budovy, způsob a četnost větrání, lokální emise, dostupnost paliva a finance. Ideálním otopným systémem je systém s minimálními provozními i investičními náklady, snadno regulovatelný a minimálně namáhaný. Pro návrh hospodárného otopného systému včetně vhodného zdroje tepla se používá výpočet tepelného výkonu podle ČSN EN 12831 [39].

Pro zjištění spotřeby paliva musí být nejprve spočítána potřeba tepla pro vytápění. Potřebu tepla pro vytápění lze počítat dynamickými nebo zjednodušenými metodami. Dynamické metody udávají nejpřesnější výsledky, jsou ale náročné na zpracování, a proto se využívají jen při řešení nestandardních objektů. Následující kapitola se věnuje zjednodušeným metodám výpočtu potřeby tepla pro vytápění, zaměřuje se především na rozdíly výpočtu u rodinných, bytových a panelových domů a u objektů občanské vybavenosti a na rozdíly výpočtu podle jednotlivých norem a vyhlášek [2, 39].

Postupem výpočtu potřeby tepla pro vytápění se v minulosti zabývalo několik norem. V roce 2009 byly zrušeny dvě normy zabývající se problematikou výpočtu potřeby tepla na vytápění – ČSN EN ISO 13790 A ČSN EN 832. Postup výpočtu dle obou norem byl podobný. Výpočet podle ČSN EN ISO 13791 zohledňoval vícezónový model objektu a přerušované vytápění, výsledkem výpočtu byla ustálená energetická bilance. Výpočet podle normy byl vhodný pro porovnání energetických úspor, časovým úsekem výpočtu byl jeden měsíc. Výpočet podle ČSN EN 832 zohledňoval jenzónový nebo vícezónový model. Výpočet podle normy se skládal z tepelných ztrát a tepelných zisků, výpočtovým obdobím byl jeden rok nebo otopné období [23].

Obě tyto normy byly postupně zrušeny a nahrazeny novou normou ČSN EN 52016-1. Nová norma sjednocuje postup výpočtu předcházejících norem, zahrnuje jednozónový i vícezónový model. Jednotlivé zóny vícezónového modelu lze dle normy počítat jako vzájemně propojené nebo jako nepojené. Výsledkem výpočtu podle normy je potřeba tepla pro vytápění. Normu lze využít pro výpočet potřeby tepla pro vytápění obytných budov i budov občanské vybavenosti [55].

Hlavním rozdílem při výpočtu potřeby tepla pro vytápění rodinného domu a bytového domu nebo objektu občanské vybavenosti je zónování objektů. Místnosti objektů mají různou vnitřní návrhovou teplotu dle ČSN EN 12831 [56]. Vnitřní návrhová teplota se různí podle funkce místnosti. U rodinných domů lze vnitřní návrhovou teplotu sjednotit a rodinné domy tak lze uvažovat jako jednu zónu. Takovému modelu výpočtu se říká jednozónový. U bytových domů a objektů občanské vybavenosti nelze slučovat zóny, pokud slučovaná zóna nemá plochu rovnu maximálně 1 % užité plochy budovy [55]. Takovému modelu budovy se říká vícezónový.

Výsledkem výpočtu podle zmíněných norem je tepelná bilance objektu. Tepelná bilance objektu nebo zóny se rovná potřebě tepla pro vytápění. Tepelná bilance je dána součtem ztrát a zisků objektu nebo zóny. Ztráty objektu dělíme na ztráty tepelné a ztráty větráním. Tepelné zisky objektu dělíme na solární zisky, zisky od spotřebičů, od osvětlení a od obyvatel objektu. Tepelná bilance se stanoví podle Rovnice 1.

Rovnice 1: Roční potřeba tepla pro vytápění, zdroj [8]

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

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

Měsíční potřeba tepla pro vytápění se vypočte podle Rovnice 2 jako rozdíl tepelných ztrát a tepelných zisků. Tepelné zisky jsou nejprve násobeny faktorem využitelnosti tepelných zisků pro vytápění – $\eta_{G,H}$ [8].

Rovnice 2: Měsíční potřeba tepla pro vytápění, zdroj [8]

$$Q_{H,nd,m} = Q_{H,ls,m} - Q_{H,gn,m} \times \eta_{G,H} \quad [\text{kWh}]$$

Kde $Q_{H,ls,m}$ – měsíční tepelné ztráty [kWh],
 $Q_{H,gn,m}$ – měsíční tepelné zisky [kWh],
 $\eta_{G,H}$ – faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění [-].

Potřebu tepla pro vytápění lze orientačně stanovit denostupňovou metodou. Jedná se o zjednodušenou metodu, kterou lze využít pouze u jednozónových objektů. Denostupňová metoda se využívá pro odhadnutí spotřeby paliva. Metoda nezohledňuje omezení provozu v noci, vliv akumulace konstrukcí ani klimatické vlivy. Odhadovaná spotřeba paliva se vypočítá podle Rovnice 3 [23].

Rovnice 3: Výpočet potřeby tepla pro vytápění denostupňovou metodou, zdroj [23]

$$Q_{vyt,r} = (24 \times \Phi_r \times \varepsilon \times D) / (\theta_i - \theta_e) \quad [\text{kWh}]$$

Kde Φ_r – roční tepelné ztráty objektu [kWh],
 ε – opravný součinitel [-],
 D – počet denostupňů [°C],
 θ_i – vnitřní návrhová teplota [°C],
 θ_e – průměrná venkovní teplota v otopném období [°C].

5.3.1 Tepelné ztráty objektu

Tepelné ztráty jsou ovlivněny tepelně-technickými vlastnostmi stavebních konstrukcí objektu. Tepelnými ztrátami objektů a tepelně technickými vlastnostmi konstrukcí se zabývá norma ČSN 73 0540, respektive její části. Mezi nejdůležitější tepelně-technické vlastnosti konstrukcí patří tepelný odpor a součinitel tepelné vodivosti. Tepelný odpor materiálu, značený R , udává tepelně izolační schopnosti materiálu. Stanoví se podle Rovnice 4 jako podíl tloušťky daného materiálu a součinitele tepelné vodivosti, značeného λ . Součinitel tepelné vodivosti udává množství tepla, které projde vrstvou materiálu o tloušťce 1 m při rozdílu teplot 1 K [14].

Rovnice 4: Stanovení tepelného odporu materiálu, zdroj [2]

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

Kde d – tloušťka materiálu [m],
 λ – součinitel tepelné vodivosti materiálu [W/(m.K)].

Tepelný odpor materiálu se vztahuje pouze k danému materiálu v konstrukci a nezahrnuje ostatní podmínky prostředí. Proto u konstrukcí stanovujeme součinitel prostupu tepla konstrukcí, značený U . Součinitel prostupu tepla konstrukcí udává množství tepla, které projde plochou dané konstrukce o velikosti 1 m² při rozdílu teplot na vnitřní a vnější straně konstrukce 1 K a stanoví se podle Rovnice 5 [2].

Rovnice 5: Stanovení součinitele prostupu tepla konstrukcí, zdroj [2]

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

Kde R – tepelný odpor materiálu [(m².K)/W],
 R_{si} – tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [(m².K)/W],
 R_{se} – tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [(m².K)/W].

Tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní nebo vnější straně konstrukce závisí na typu konstrukce, respektive na směru tepelného toku. Hodnoty tepelného odporu při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce jsou různé pro stěnu, střechu a podlahu, a hodnoty tepelného odporu při přestupu tepla na vnější straně jsou různé pro jednoplášťovou a dvouplášťovou konstrukci a pro zeminu. Hodnoty R_{si} a R_{se} jsou pro účely výpočtu součinitele prostupu tepla dány normou ČSN 73 0540-3 a jsou uvedeny v Tabulce 5 [57].

Tabulka 5: Hodnoty R_{si} a R_{se} dle ČSN 73 0540-3

Strana konstrukce	Typ konstrukce	R_{se}/R_{si} [(m ² .K)/W]
Vnější	jednoplášťová	0,04
	dvouplášťová	stejně jako R_{si}
	styk se zeminou	0,00
Vnitřní	stěna (horizontální tepelný tok)	0,01
	střecha (tepelný tok vzhůru)	0,10
	podlaha (tepelný tok dolů)	0,17

Zdroj: vlastní zpracování, podle [57]

Hodnota součinitelů prostupu tepla konstrukcí vypovídá o tepelně izolačních vlastnostech konstrukce a její stanovení je důležité pro další výpočet tepelných ztrát konstrukce a objektu. Vypočítané hodnoty součinitele prostupu tepla konstrukcí u stávajících budov s převažující vnitřní výpočtovou teplotou 18 až 22 °C se porovnávají s požadovanými hodnotami součinitele prostupu tepla uvedenými v normě ČSN 73 054-2 (Tabulka 6). Budovy nově projektované navrhuje na hodnoty normou doporučené. Třetí uvedenou hodnotou součinitele prostupu tepla je hodnota doporučená pro pasivní budovy (U_{PAS}) [14, 58].

Tabulka 6: 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	-
Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,70	1,80	-

Zdroj: vlastní zpracování, podle [58]

Tepelně technickými vlastnostmi budov se zabývá také vyhláška č. 268/2009 Sb., O technických požadavcích na stavby. Vyhláška stanovuje požadavky na stavební konstrukce a výplně, u požadovaných hodnot se odkazuje na již zmiňovanou normu ČSN 73 0540-2. Odkazem vyhlášky na normové hodnoty se tyto hodnoty stávají závaznými [59].

Výpočet ročních tepelných ztrát místnosti, zóny nebo celého objektu se provede podle Rovnice 6. Při výpočtu tepelných ztrát za účelem určení potřeby tepla pro vytápění dosazujeme za θ_e průměrnou venkovní teplotu za výpočtové období, kterým bývá obvykle období jednoho roku. Měrný tepelný tok představuje tepelnou ztrátu prostupem tepla konstrukcí při teplotním rozdílu před a za konstrukcí 1 K. Vypočte se jako součin plochy konstrukce (A_i) a součinitele prostupu tepla konstrukcí (U_i) [39].

Rovnice 6: Výpočet ztrát prostupem tepla, zdroj [39]

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

Kde H_{tr} – měrný tepelný tok [W/K],
 θ_i – vnitřní návrhová teplota [°C],
 θ_e – venkovní výpočtová teplota nebo průměrná venkovní teplota [°C],
 h – počet hodin v počítaném období [h].

Ztráty prostupem tepla nejsou jediné tepelné ztráty objektu. Větrání způsobuje ztráty tepla vlivem proudění studeného vzduchu z exteriéru. Hlavními důvody větrání jsou přívod čerstvého vzduchu do místnosti, a naopak odvod škodlivých látek z místnosti, například CO₂. Limitní hodnoty škodlivých látek (oxidu uhličitého) a minimální intenzitu větrání stanovuje vyhláška č. 286/2009 Sb. Minimální intenzita větrání u obytných místností je 25 m³/h na osobu v místnosti nebo 0,5 h⁻¹. Druhá podmínka říká, že za hodinu by měla být vyměněna minimálně polovina vzduchu v místnosti. Zároveň musí být splněna podmínka limitního množství oxidu uhličitého. Naměřená hodnota nesmí přesáhnout 1500 ppm [59].

Rozlišujeme dva druhy větrání – přirozené a mechanické (nucené). Přirozeným větráním se rozumí větrání okny a přirozená infiltrace spárami. Nucené větrání probíhá za pomoci vzduchotechnických zařízení. Vzduchotechnické zařízení často využívá zpětného získávání tepla (rekuperaci) a tím snižuje tepelné ztráty větráním. U rodinných a bytových domů s intenzitou větrání větší než 2 h⁻¹ je rekuperace požadována [39].

Výpočet tepelných ztrát větráním uvádí norma ČSN 73 0540-2. Roční ztráta větráním (Q_{ve}) se stanoví podle Rovnice 7 jako součin měrného tepelného toku větráním (H_{ve}), rozdílu průměrné měsíční venkovní teploty (θ_e) a vnitřní výpočtové teploty (θ_i) a počtu hodin ve výpočtovém období (h). Výpočet měrného tepelného toku větráním se liší podle druhu větrání. U mechanického větrání se zohledňuje účinnost jednotky a přídavný tok vzduchu netěsnostmi obálky budovy [8, 39].

Rovnice 7: Výpočet tepelných ztrát větráním, zdroj [8]

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

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 počítaném období [h].

5.3.2 Tepelné zisky objektu

Do rovnice tepelné bilance vstupují mimo tepelných ztrát i tepelné zisky. Rozlišujeme tepelné zisky vnější – solární (od slunečního záření) a vnitřní – od osob, od spotřebičů a od osvětlení. Solární zisky jsou závislé na době slunečního záření v počítaném období, na velikosti prosklené plochy a na zastínění. Roční solární zisky (Q_{ve}) se vypočítají podle Rovnice 8 jako součin solárního tepelného toku (Φ_{sol}) a počtu hodin v daném období (h) [8].

Rovnice 8: Výpočet solárních zisků, zdroj [8]

$$Q_{ve} = \Phi_{sol} \cdot h \quad [Wh]$$

Kde Φ_{sol} – solární tepelný zisk [W]

h – počet hodin v počítaném období [h].

Solární tepelný tok se vypočítá jako součin průměrného slunečního ozáření (I_{sol}) a solárně účinné plochy (A_w). Hodnoty průměrného slunečního ozáření závisí na ročním období, respektive měsíci v roce, na lokalitě budovy a na poloze proskleného otvoru vůči světovým stranám. Nejvyšší hodnoty průměrného slunečního ozáření dosahují prosklené otvory orientované na jih [60]. Solárně účinná plocha je plocha okenního otvoru zmenšená korekčními koeficienty. Koeficienty zohledňují vliv podílu skla, propustnost sluneční energie vlivem druhu skla, vliv zastínění a vliv nerozptylujícího zasklení.

Vnitřní solární zisky zahrnují tepelné zisky od osob, od spotřebičů a od osvětlení. Tepelné zisky od osob se zvyšují se zvyšující se fyzickou aktivitou osob. Tepelné zisky od spotřebičů závisí na počtu spotřebičů a na době, po kterou jsou používány. Výše tepelných zisků od osvětlení se liší podle druhu žárovek a závisí na intenzitě a době využívání osvětlení. Tepelné zisky od osob, spotřebičů a od osvětlení jsou v porovnání se solárními zisky nepatrné [8].

5.3.3 Potřeba teplé vody

Výpočet tepelné bilance objektu nebo zóny zahrnuje kromě tepelných ztrát a zisků výpočet potřeby teplé vody. Při výpočtu potřeby tepla na ohřev teplé vody se nejprve stanoví denní potřeba teplé vody podle Rovnice 9.

Rovnice 9: Výpočet denní potřeby teplé vody, zdroj [8]

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

Kde z – koeficient energetických ztrát [-],
 ρ_a – měrná objemová hmotnost [kg/m^3],
 c_a – tepelná kapacita [$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$],
 V_{2p} – spotřeba teplé vody za den [m^3],
 t_2 – teplota teplé vody [$^{\circ}\text{C}$],
 t_1 – teplota studené vody [$^{\circ}\text{C}$].

Spotřeba teplé vody za den – V_{2p} , je součtem objemu dávek jednotlivých zařizovacích předmětů. Výpočet roční potřeby tepla na ohřev teplé vody se stanoví podle Rovnice 10 [8].

Rovnice 10: Výpočet roční potřeby tepla na ohřev teplé vody, zdroj [8]

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

Kde $Q_{TUV,d}$ – denní spotřeba tepla na ohřev teplé vody [kWh],
 d – délka otopného období [dny],
 t_2 – teplota teplé vody [$^{\circ}\text{C}$],
 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].

5.4 Emise a ekologické vyhodnocení investice

Ekologickému vyhodnocení investice se věnuje energetický audit, který je definován zákonem č. 406/2000 Sb. [61], tedy Zákonem o hospodaření energií, a vyhláškou č. 309/2016 Sb. (17), O energetickém auditu a energetickém posudku. Energetický audit vyhodnocuje lokální a globální emise v souvislosti s ekologickým vyhodnocením investice do energeticky úsporného opatření. Energetický audit se provádí dle vyhlášky z globálního hlediska, na žádost investora lze provést vyhodnocení z lokálního hlediska. Globálním hlediskem se rozumí celospolečenský pohled, lokálním hlediskem se rozumí pohled v místě znečištění například v lokalitě obce [6, 61].

Hlavním důvodem sledování množství globálních emisí je oteplování planety a s ním spojené změny klimatu. Dle IEA způsobují emise CO₂ vyprodukované spalováním uhlí růst teplot o 0,3 °C z celkového růstu 2 °C za rok. Dle IEA vzrostlo množství vyprodukovaných emisí v roce 2018 o 1,7 %, to znamená nárůst na 33,1 mil. Gtun. Uhelné elektrárny v roce 2018 dle IEA překročily poprvé hranici 10 Gt (růst z 9,66 Gt na 10,1 Gt). Hlavními znečišťovateli jsou USA, Čína a Indie, naopak Evropě se podařilo snížit množství vyprodukovaných emisí o 1,3 % oproti roku 2017. Předpokládaný růst množství emisí odhadnutý v roce 1990 byl však vyšší, díky využívání obnovitelných zdrojů energie byl tento předpokládaný růst zpomalen o 25 %. Z důvodu stálého růstu však dojde v rámci Evropské unie k dalšímu zpřísnění emisních limitů již v roce 2021 [11].

Největšími lokálními znečišťovateli jsou dle webu O energetice lokální spotřebiče na tuhá paliva a autodoprava. V České republice je lokálními spotřebiči vytápěno 20 % domácností. Tepelné uhelné elektrárny jsou spíše globálními znečišťovateli, a to z důvodu řízeného spalování, lepších filtrů a vysokých pokut za překročení emisních limitů. Tyto skutečnosti dokládají i čísla, kdy se lokální emise podílí na celkovém znečištění z 36,4 %, přitom tepelné elektrárny pouze z 6,5 % [62].

V České republice se daří dlouhodobě snižovat množství produkovaných emisí. Emise acidifikujících látek (oxid siřičitý, amoniak a oxidy dusíku), se podařilo snížit mezi lety 1990 a 2005 na pětinu původní produkce. Hlavním důvodem rapidního snižování produkce emisí bylo ukončení provozu několika velkých průmyslových podniků v devadesátých letech a postupné zpřísnování emisních limitů zákony a vyhláškami. Ke snižování emisí přispěl také vstup České republiky do Evropské unie a s ním svázaná povinnost zapracovat do českých zákonů a vyhlášek evropské směrnice [63, 64]. Emise skleníkových plynů se dařilo snižovat od roku 1997, kdy byl podepsán Kjótský protokol, až do roku 2014. Od roku 2014 se produkce oxidu uhličitého v České republice mírně zvyšuje [65].

Jedním z programů, které napomáhají k snižování emisí v České republice, je Národní program snižování emisí. Jedním z cílů Národního programu snižování emisí bylo dodržení národních emisních stropů k roku 2010. Národní emisní stropy se podařilo dodržet, u emisí oxidu siřičitého a oxidů dusíku se podařilo snížit emise na požadovanou hodnotu dříve než v roce 2010. Národní program snížení emisí dále řeší mimo jiné i emise z dopravy a případné řešení v podobě elektromobilů. Podle Českého hydrometeorologického ústavu (CHMÚ) je potenciál dalšího snižování emisí u vytápění domácností a v automobilové dopravě, přičemž hlavním ovlivňujícím faktorem je cena [63].

Ekologické vyhodnocení investice sleduje následující znečišťující látky: SO₂ – oxid siřičitý, TZL – tuhé znečišťující látky, které mají lokálně nejvíce negativní dopad na zdraví lidí, VOC – těkavá látka, CO – oxid uhelnatý, NO_x – oxidy dusíku, NH₃ – čpavek, CO₂ – oxid uhličitý. U oxidu uhličitého sledujeme množství uhlíku (C) na jednotku energie ve spalovaném palivu. Emisní faktory těchto znečišťujících látek jsou buď všeobecné nebo místně specifické. Místně specifické emisní faktory jsou určovány výpočtem, všeobecné emisní faktory uhlíku jsou zobrazeny v Tabulce 7.

Tabulka 7: Všeobecné emisní faktory

	Energonositel/zdroj tepla	kg/GJ
Pevná paliva	Černé uhlí	92,40
	Hnědé uhlí	99,10
	Koks	107,00
	Jiná pevná paliva	94,10
	Biomasa	0,00
Kapalná paliva	Těžký topný olej (nízkosirný)	77,40
	LTO	73,30
	Benzín	69,20
	Plynový olej	73,30
	Jiná kapalná paliva	76,60
Plynná paliva	Zemní plyn	55,40
	Koksárenský plyn	44,40
	Propan-butan	65,90
	Vysokopecní plyn	240,60
	Jiná plynná paliva	54,70
Elektřina	Elektřina	281,00

Zdroj: vlastní zpracování, podle [66]

Výpočet místně specifických faktorů emisí oxidu uhličitého závisí na hmotnosti paliva, výhřevnosti paliva, emisním faktoru uhlíku a nedopalů, vypočte se podle rovnice uvedené ve vyhlášce. Emisní faktor uhlíku je dán složením místního paliva a udává se v kg CO₂ na GJ výhřevnosti paliva. Hodnota nedopalů je závislá na skupenství paliva. Pevná paliva mají hodnotu nedopalů 0,02, kapalná 0,01 a plynná 0,005 [17].

Tuhé znečišťující látky (TZL) ovlivňují nejvíce výši lokálních emisí. Jeden starší kotel na tuhá paliva s nedokonalým spalováním je často horší než dva moderní automatické kotle. Tuhé znečišťující látky jsou sledovány Českým hydrometeorologickým ústavem na území republiky, krajů i měst. Důležitost sledování TZL dokazuje i vyhlášení takzvaných smogových situací v některých světových aglomeracích. Limity emisí tuhých znečišťujících látek stanovuje zákon č. 201/2012 Sb., překročení limitů TZL je penalizováno finanční pokutou odpovídající výši znečištění [51].

Emise v podobě tuhých znečišťujících látek lze ovlivnit výběrem vhodného energonositele nebo úpravou případně výměnou zdroje tepla. Různé technologie spalování paliv v různých druzích kotle produkují odlišné množství emisí Tuhých znečišťujících látek. Měrné emisní faktory vybraných tradičních energonositelů jsou zapsány v Tabulce 8.

Tabulka 8: Měrné emisní faktory vybraných energonositelů

Ergonositel	černé uhlí	hnědé uhlí	biomasa	zemní plyn
Emisní faktor [g/kg]	7,67	7,48	1,57	0,02

POZN. Měrný emisní faktor zemního plynu je uveden v g/m³.

Zdroj: vlastní zpracování, podle [67]

Pokud chceme objektivně posoudit množství emisí TZL produkované jednotlivými energonositeli, musíme vzít v úvahu i jejich výhřevnost. Například při srovnání hnědého a černého uhlí podle Tabulky 8 bychom mohli dospět k názoru, že černé uhlí produkuje mnohonásobně více emisí tuhých znečišťujících látek. Černé uhlí má ale téměř o čtvrtinu vyšší výhřevnost než hnědé uhlí, to znamená, že stejného tepelného výkonu dosáhneme při spalování menšího množství paliva. Emisní faktor je v Tabulce 8 vztažen k hmotnosti energonositele, pro objektivní posouzení je výhodnější použít Tabulku 9, kde je zahrnuta výhřevnost energonositelů a emisní faktory jsou přepočítány na 1 MJ [67].

Tabulka 9: Měrné emisní faktory vybraných energonositelů vztažené k jednotce výhřevnosti

Ergonositel	černé uhlí	hnědé uhlí	biomasa	zemní plyn
Emisní faktor [g/MJ]	0,326	0,416	0,085	0,000587

Zdroj: vlastní zpracování, podle [67]

6. Návratnost investice

Investice do alternativního zdroje vytápění přináší investorovi výhody v podobě ekologie, udržitelnosti a energetické soběstačnosti. Vyjmenované výhody se ale nedají finančně vyjádřit, přestože investorovi mohou přinášet vyšší komfort, radost nebo dobrý pocit. Investora nejvíce zajímají peníze. Pokud investuje do alternativního zdroje záměrně, očekává jistou finanční úsporu. Investice do alternativního zdroje může být i vynucená, například kvůli změně vyhlášky nebo zákona. Investor je povinen reagovat na změny zákonů a vyhlášek, například výměnou zdroje vytápění nebo zateplením budovy [68].

Výměna zdroje tepla a energonostiele může investorům přinést finanční úsporu v podobě neplacení takzvané ekologické daně. Ekologická daň je územní poplatek, který odvádí investor státu, pokud svým chováním negativně ovlivňuje životní prostředí. Ekologická daň se odráží například v ceně uhlí. Podle zákona č. 44/1988 Sb. je ekologickou daní zatížena těžba nerostných surovin. Ekologické dani podléhá i znečišťování ovzduší emisemi při spalování tuhých paliv v kotlích podle zákona č. 201/2012 Sb., O ochraně ovzduší. Výjimkou jsou kotle rodinných a bytových domů [69].

Úspory můžeme dosáhnout i výměnou energonositele za volně dostupné zdroje – energii prostředí nebo energii Slunce. Jedinými náklady jsou náklady investiční a provozní, odpadají náklady na palivo. Investora u investice do zmíněných obnovitelných zdrojů zajímá doba návratnosti, za jak dlouho se mu vrátí investované peníze. U některých případů lze využít státní dotaci, která dobu návratnosti výrazně zkrátí. Formy státní podpory a možnosti čerpání dotací jsou popsány v následující kapitole.

6.1 Státní podpora obnovitelných zdrojů energie

Soukromé investory, nejčastěji starší rodinné nebo bytové domy, může k výměně zdroje vytápění motivovat podpora státu. V České republice existuje několik dotačních programů, které se zaměřují nejen na výměnu zdroje tepla ale i na úsporu energie. Nejznámější a nejvyužívanější dotační programy jsou uvedeny v Tabulce 10.

Nejznámějším dotačním programem je Zelená úsporám, respektive Nová zelená úsporám. Zaměřuje se na rodinné domy mimo Prahu a na bytové domy v Praze. Nová zelená úsporám přináší 3 oblasti podpory. Oblast podpory A poskytuje dotaci na zateplení obvodových stěn, zateplení podlahy, zateplení střechy případně stropu nad posledním vytápěným podlažím, nebo na výměnu výplní otvorů. V rámci oblasti podpory A lze také čerpat dotaci na stínící techniku výplní otvorů. Oblast podpory B poskytuje dotaci na výstavbu rodinných domů v pasivním standardu. Dotaci lze získat například na realizaci zelené střechy nebo na vyhotovení odborného posudku nebo zkoušku průvzdušnosti obálky budovy. Oblast podpory C poskytuje dotaci na obnovitelné zdroje, dotaci lze získat například na solární panely, tepelné čerpadlo nebo na nucené větrání s rekuperací.

Výše dotace u Nové zelené úsporám může být až 30 % celkových způsobilých nákladů. Obecně platí, že čím více je úsporných opatření a čím vyšší je úspora energie, tím vyšší je i poskytnutá dotace. Přidělení dotace a její výše je určena komisí, která rozhoduje na základě výpočtu energetického odborníka a předepsané výsledné úspory energie. Jediným a hlavním cílem dotačního programu je motivovat uživatele budov ke snížení spotřeby energie a ke zvýšení podílu obnovitelných zdrojů [70].

Tabulka 10: Programy státní podpory

Dotační program	Ministerstvo	Fond	Čerpání dotace	Předmět
Nová zelená úsporám	Ministerstvo životního prostředí	Státní fond životního prostředí	Rodinné domy mimo Prahu, Bytové domy v Praze	Zateplení, OZE, pasivní standard
Integrovaný regionální operační program (IROP)	Ministerstvo pro místní rozvoj	Evropský fond	Bytové domy mimo Prahu	Zateplení, zdroj vytápění, OZE
Kotlíkové dotace	Ministerstvo životního prostředí	Státní fond životního prostředí	Rodinné domy	Výměna zdroje vytápění
Panel 2013+	Ministerstvo pro místní rozvoj	Státní fond rozvoje bydlení	Bytové domy	Snížení energetické náročnosti
Operační program Životní prostředí	Ministerstvo životního prostředí	Státní fond životního prostředí	Veřejné budovy	Komplexní i dílčí renovace
Operační program pro podnikání a inovace	Ministerstvo průmyslu a obchodu	Evropský fond	Podnikatelé	Výzkum, inovace, úspory energií
Efekt	Ministerstvo průmyslu a obchodu	-	Kraj, město, stát	Úspory energie

Zdroj: vlastní zpracování

Integrovaný regionální operační program (IROP) se od roku 2018 specializuje na poskytování dotací pro bytové domy mimo hlavní město Prahu. Dotaci v rámci IROPu lze získat na opatření, která povedou ke zvýšení energetické účinnosti a snížení spotřeby energie. Pro získání dotace je nutné mít zpracovanou projektovou dokumentaci autorizovaným inženýrem dle zákona č. 360/1992 Sb. a zpracovaný energetický posudek energetickým specialistou podle zákona č. 406/2002 Sb. V rámci dotačního programu IROP lze získat dotaci ve výši 30 až 40 % z celkových způsobilých výdajů. Způsobilé výdaje musí být doloženy jako součást žádosti o dotaci a v případě poskytnutí dotace jsou následně kontrolovány. Dotaci lze získat například na kompletní zateplení obálky budovy, výměnu původního kotle na tuhá fosilní paliva za plynový kotel, tepelné čerpadlo, kogenerační jednotku nebo kotel na biomasu nebo na solární termické kolektory. Dotaci lze získat i na připojení k soustavě centrálního zásobování teplem nebo na vyregulování a modernizaci otopné soustavy včetně měření a regulace [71].

Výměnu zdroje vytápění u rodinných domů lze provést v rámci Kotlíkové dotace. Kotlíkové dotace probíhají v rámci Operačního programu Životní prostředí již od roku 2014. O dotaci může žadatel požádat na příslušném krajském úřadě až do konce roku 2020 v rámci 3. výzvy Kotlíkové dotace. Cílem Kotlíkových dotací je snížit množství emisí z lokálních topenišť. V rámci dotace lze vyměnit starý neekologický kotel na tuhá fosilní paliva za nový moderní kotel na biomasu nebo zemní plyn, za tepelné čerpadlo nebo solární kolektory [72].

Program Panel 2013+ se zaměřuje na snížení energetické náročnosti panelových a bytových domů. Poskytuje dotaci na opravy poruch obálky budovy, na opravy společných prostor a opravy jader. Program Panel 2013+ klade důraz na komplexnost oprav. Dotace je čerpána formou uzavření smlouvy o úvěru. Výše poskytnutého úvěru dosahuje až 90 % nákladů na opravy, referenční úroková míra je 2,27 % a maximální splatnost 30 let. Program Panel 2013+ se řídí nařízením vlády č. 468/2012 Sb [73].

Operační program Životní prostředí (OPŽP) poskytuje dotace veřejnému sektoru v rámci pěti prioritních os. Pro pozemní stavitelství a energetický management budov jsou důležité prioritní osy 2 a 5. Prioritní osa 2 se zaměřuje na ochranu ovzduší a poskytuje dotace například na snížení emisí lokálních zdrojů vytápění. Prioritní osa 5 se zaměřuje na snížení energetické náročnosti budov, dotaci lze v rámci osy 5 získat například na využití obnovitelných zdrojů nebo na komplexní zateplení. Program OPŽP poskytuje dotace do roku 2020 také na veškeré komplexní i dílčí renovace budov [74].

Právnícké osoby (podnikatelé) mohou pro své společnosti a firmy využít dotace Operačního programu pro podnikání a inovace (OPPIK). Dotace programu lze čerpat v rámci 4 prioritních os. Pro energeticky úsporná opatření lze čerpat dotace v rámci prioritní osy 3 (efektivnější nakládání energií). Dotaci lze čerpat na zateplování obálky budovy i na komplexní rekonstrukce. Dotační program je zaměřen především na výzkum a vývoj [75].

Posledním zmíněným dotačním programem je program Efekt. Program Efekt je doplňkovým programem k operačním programům (IROP, OPPIK, OPŽP) a k ostatním národním programům (Nová zelená úsporám). V rámci Efektu lze čerpat dotace na opatření vedoucí k úspoře energie, na snižování energetické náročnosti budov. Dotaci mohou čerpat budovy patřící městu, kraji nebo státu, například školy, školky nebo zdravotnická zařízení. Cílem Efektu je splnění Státní energetické koncepce, konkrétně její části snižování energetické náročnosti a zvyšování energetické efektivity. V rámci Efektu byla zřízena Energetická konzultační a informační střediska (EKIS), která poskytují poradenství a konzultace v případě investičního záměru. V Energetických a informačních střediscích jsou pořádány semináře a odborné přednášky, které jsou určeny státním zaměstnancům i soukromým společnostem [76].

6.2 Náklady v průběhu investice

Náklady spojené s investicí se dělí na investiční a provozní. Pokud k těmto nákladům připojíme i náklady na likvidaci, dostaneme náklady životního cyklu stavby nebo její části. V průběhu jednotlivých fází investice (přípravná, investiční, provozní a likvidační) lze náklady ovlivňovat. Největší úspory pozdějších provozních nákladů dosáhneme na základě cenově optimálního návrhu v předinvestiční (přípravné) fázi investičního procesu [77].

Předinvestiční fáze projektu je fází zkoumání a porovnávání variant. Náklady spojené s touto fází mohou být například náklady na pokrytí specialistů zabývajících se studii příležitosti nebo zkoumajících rizika projektu. V případě investice do alternativních zdrojů vytápění je v přípravné fázi nutné zhodnotit jednotlivé varianty alternativních zdrojů z hlediska proveditelnosti. Některé alternativní zdroje nemusí být pro vybraný objekt vhodné a je nutné je vyloučit hned na začátku analýzy investičního záměru.

Zvolené varianty alternativních zdrojů vytápění musí být zhodnoceny v rámci studie příležitosti. Studie příležitosti obsahuje zjednodušenou finanční analýzu. Finanční analýza zkoumá návratnost investice na základě úspory provozních nákladů. Součástí zjednodušené finanční analýzy je stanovení výše investičních nákladů, odhad budoucích příjmů a výdajů, sestavení cash flow projektu a ekonomické vyhodnocení investice. Na základě této finanční analýzy může investor rozhodnout o realizaci projektu nebo vybrat jednu z uvažovaných variant. V případě investice do alternativního zdroje vytápění může investor rozhodnout, který zdroj vytápění se mu vyplatí, nebo může investici zamítnout [77].

Přípravnou fází prochází také investice do energeticky účinných opatření. Součástí analýzy investičního záměru je v tomto případě nejčastěji posuzování několika variant. Hodnotí se výše investičních nákladů a výše úspory energie a nákladů vybrané varianty. Cílem investora je vybrat nákladově optimální řešení. Při sestavování analýzy investičního záměru lze pro přesný výpočet energetických a finančních úspor využít data ze článku [78].

Investiční fáze projektu je spojena s investičními náklady. V průběhu investiční fáze lze výši investičních i provozních nákladů ovlivnit minimálně. Některé zdroje uvádí míru ovlivnění maximálně 20 % v průběhu investiční fáze projektu [77]. Investiční náklady mohou pocházet z vlastních nebo cizích zdrojů. Vlastním zdrojem je například nerozdělený zisk nebo fond ze zisku. Cizími zdroji se rozumí akcie nebo dlouhodobé či krátkodobé úvěry.

Provozní náklady jsou spojené s provozem objektu. Jedná se o náklady na energie, služby, odpisy, osobní náklady, náklady na mzdy zaměstnanců a další. V případě investice do alternativních zdrojů vytápění se provozními náklady rozumí náklady na palivo, obsluhu, pravidelný servis a povinné revize a náklady na případné opravy. V případě alternativního zdroje vytápění v podobě kotle na biomasu je dalším provozním nákladem náklad na likvidaci odpadů – popílků. Investiční i provozní náklady investice do alternativních zdrojů vytápění vstupují do cash flow projektu [68].

6.3 Cash flow

Cash flow (CF) projektu je základním ukazatelem při vyhodnocení analýzy investičního záměru, ukazuje rentabilitu projektu. Cash flow sestavujeme v rámci vyhodnocení investice (bez vlivu financování) nebo finančního rozhodnutí (s vlivem financování). Při sestavování cash flow investice do alternativního zdroje vytápění se používá první varianta cash flow. Základními vstupy pro sestavení CF projektu musíme nejprve odhadnout výši investičních a provozních nákladů. Výši těchto nákladů lze určit na základě předchozích zkušeností (například u projektů podobného rozsahu), cenových nabídek nebo expertních odhadů [68].

Do CF vstupují investiční náklady, příjmy a výdaje. Výpočtovým obdobím mohou být měsíce nebo roky. V případě sestavování jednoduchého cash flow investice do alternativních zdrojů vytápění jsou investiční náklady rovny výdajům v nultém období (investiční období). Provozní náklady jsou rovny výdajům za jednotlivá období. Uspořené náklady vstupují do sestavování CF jako příjmy. V nultém (investičním) období je cash flow i kumulované cash flow záporné. V následujících obdobích je v rámci kumulovaného cash flow projektu patrné, zda je posuzovaná varianta rentabilní.

6.4 Ekonomické vyhodnocení investice

Ekonomické vyhodnocení investice je součástí finanční analýzy projektu. K vyhodnocení slouží statické a dynamické metody vyhodnocení. Výpočet pomocí statických metod je jednodušší, ale nezahrnuje časovou hodnotu peněz. Dynamické metody zahrnují časovou hodnotu peněz a udávají přesnější výsledky výpočtu.

Nejpoužívanější statickou metodou je prostá doba návratnosti investice (PP). Prostá doba návratnosti představuje období, ve kterém se investorovi vrátí vložené investiční náklady. V případě konstantního CF ve všech obdobích se vypočítá jako podíl původní investice a ročního CF. V případě měnícího se CF lze prostou dobu návratnosti odečíst z kumulovaného cash flow. Dobou návratnosti je první období, kdy kumulované cash flow dosáhne kladné hodnoty [68].

Dynamickým metodám vyhodnocení investice se věnuje vyhláška č. 480/2012 Sb. Hlavním rozhodovacím kritériem při výběru optimální varianty je podle vyhlášky čistá současná hodnota (NPV). Doplnujícím kritériem je vnitřní výnosové procento (IRR) a reálná (diskontovaná) doba návratnosti (DPP) [66]. Vyhláška se nezmiňuje o indexu ziskovosti (PI).

Čistá současná hodnota (NPV) udává, kolik peněz přinese realizace investice v posuzovaném období nebo po dobu její životnosti a vypočítá se podle Rovnice 11 [68]. Hodnota diskontního činitele (odúročitele) je pro účely výpočtu energetických posudků rovna 1,04 [66].

Rovnice 11: Výpočet čisté současné hodnoty (NPV), zdroj [66]

$$NPV = \sum CF_t \times (1 + r)^{-t} - IN \quad [\text{Kč/rok}]$$

Kde CF_t – roční CF projektu [Kč],
 r – diskont [-],
 $(1 + r)_t$ – odúročitel [-],
 t – hodnocené období,
 IN – investiční náklady.

Hodnota vnitřního výnosového procenta (IRR) udává procento, při kterém je NPV rovna nule. IRR udává reálný výnos projektu při zadaných hodnotách. Pokud je hodnota IRR vyšší než požadovaný výnos, projekt je přijatelný a pro investora výhodný. Pokud je hodnota IRR nižší než požadovaný výnos, projekt se investorovi nevyplatí. Vnitřní výnosové procento se vypočte podle Rovnice 12 za pomoci interpolace.

Rovnice 12: Výpočet vnitřního výnosového procenta (IRR), zdroj [66]

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

Při porovnávání variant podle zmíněných kritérií (NPV a IRR) může nastat situace, kdy hodnota NPV bude vyšší u první varianty a zároveň IRR této varianty bude nižší. V takovém případě je výhodné realizovat obě varianty, pokud se navzájem nevylučují. Pokud se navzájem vylučují, použije se pravidlo NPV. Výhodnější je projekt s vyšší hodnotou NPV [68].

Třetím kritériem podle vyhlášky je reálná doba návratnosti (DPP, ve vyhlášce značena jako T_{ds}). Diskontovaná doba návratnosti je období, ve kterém diskontované CF projektu překročí výši původní investice. V případě konstantního CF lze diskontovanou dobu návratnosti vypočítat pomocí Rovnice 13. V případě nekonstantního CF se diskontovaná doba návratnosti odečte z kumulovaného diskontovaného CF projektu.

Rovnice 13: Výpočet diskontované doby návratnosti (DPP), zdroj [68]

$$\sum CF_t \times (1 + r)^{-t} - IN = 0 \quad \text{[roky]}$$

Posledním kritériem je index ziskovosti (PI). Index ziskovosti je doplňujícím kritériem a nepřináší investorovi již žádné nové informace. Vypočte se jako podíl současné hodnoty a počáteční investice. Pokud je PI větší než nula, projekt je vhodný k odsouhlasení [68].

Výsledky ekonomického vyhodnocení investice podle vyhlášky č. 480/2012 Sb. se zapisují do tabulky, která je přílohou zmíněné vyhlášky. Tabulka zahrnuje přínosy projektu, investiční výdaje a provozní náklady. Posuzuje se výchozí stav a uvažované varianty, dobou hodnocení variant je 20 let. Tabulka podle vyhlášky porovnává varianty na základě čisté současné hodnoty, vnitřního výnosového procenta a reálné doby návratnosti [66].

Veškeré výše zmíněné dynamické metody zohledňují časovou hodnotu peněz a jsou založeny na současné hodnotě. Mezi dynamickými metodami existují i metody založené na budoucí hodnotě. Patří mezi ně čistá budoucí hodnota a metoda průměrné roční hodnoty. Zmíněné metody založené na budoucí hodnotě jsou pro posuzování variant projektů používány jen velmi zřídka [68].

7. Případové studie

Obě budovy, které jsem si vybrala pro případové studie, se nachází ve městě Kladno. Kladno leží ve Středočeském kraji zhruba 20 km severozápadně od hlavního města Prahy. Stejně jako celá Česká republika se i Kladno nachází v mírném podnebném pásu a střídají se zde čtyři roční období. Průměrná roční teplota venkovního vzduchu na Kladensku byla v roce 2018 10 °C. Průměrné teploty v jednotlivých měsících posledních pěti let jsou zachyceny v Tabulce 5 stejně jako počet dní dodávky tepla a počet denostupňů. Přestože se Kladno řadí průměrnou roční teplotou spíše k teplejším oblastem České republiky, venkovní výpočtová teplota je zde uvažována -15 °C [63, 79].

Tabulka 11: Průměrná venkovní teplota, počet dní ÚT a denostupně na Kladensku v letech 2016 – 2018

sezóna	2016			2017			2018		
měsíc	venk. teplota [°C]	počet dní ÚT	deno- stupně	venk. teplota [°C]	počet dní ÚT	deno- stupně	venk. teplota [°C]	počet dní ÚT	deno- stupně
leden	-0,94	31	680,14	-4,41	31	787,71	2,60	31	570,40
únor	2,12	29	547,52	-2,16	28	527,52	-3,02	28	672,56
březen	2,90	31	561,10	0,14	31	429,66	1,18	31	614,42
duben	7,73	30	398,10	7,87	30	393,90	10,21	13	140,27
květen	10,77	12	122,76	11,90	13	118,30	17,27	0	0,00
červen	-	0	0,00	20,53	0	0,00	19,15	0	0,00
červenec	-	0	0,00	20,52	0	0,00	22,11	0	0,00
srpen	-	0	0,00	19,72	0	0,00	21,92	0	0,00
září	12,85	4	32,60	11,88	15	136,80	9,35	7	81,55
říjen	7,91	28	366,52	10,83	31	315,27	10,09	31	338,21
listopad	3,08	30	537,60	4,58	30	492,60	4,08	30	507,60
prosinec	0,73	31	628,37	1,45	31	606,05	2,23	31	581,87

POZN. Data o průměrné venkovní teplotě z června, července a srpna roku 2016 nejsou dostupná.

Zdroj: vlastní zpracování, podle [79]

Kladno se v minulosti proslavilo těžbou černého uhlí a hutními závody Poldi Kladno. První písemná zmínka o těžbě černého uhlí na Kladensku pochází z 15. století, první záznamy o skutečném důlním podnikání potom z 18. století. Díky těžbě uhlí bylo město Kladno povýšeno roku 1898 na královské horní město a roku 1914 dostalo do svého znaku hornická kladívka a přezdívku „Černé Kladno“. V okolí Kladna se nacházelo na 30 dolů a jam, kde se černé uhlí těžilo. Nejznámějším a také největším dolem na Kladensku byl Důl Caroli těžící kounovskou sloj, nejmladším dolem byl Důl Tuchlovice. Těžba černého uhlí na Kladensku byla zastavena v dubnu roku 2002 po tragédii, při které byli výbuchem metanu usmrceni 4 horníci. V současnosti je možné některé doly navštívit, například v dole Mayrau se stále pořádají exkurze pro širokou veřejnost. V případě zájmu je možné navštívit i hornické muzeum, které se nachází ve štole pod Kladenským zámečkem [80, 81].

Hutní závody v Kladně založil podnikatel Karl Wittgenstein roku 1889 a pojmenoval je po své ženě Leopoldine z Prahy – Poldina huť. Kladenské ocelárny vyráběly především děla, hlavně, ocelové nástroje a dráty. Není proto divu, že největší úspěch měly ocelárny v období světových válek, kdy se zde mimo děla vyráběly i součástky vojenských lodí a letounů. Mimo vojenský průmysl vyráběla Poldina huť součástky i pro automobilový průmysl – v roce 1909 byl sestaven vůz Blitzen Benz, se kterým byl překonán dosavadní rychlostní rekord, právě z kladenské oceli. V poválečném období začaly ocelárny vyrábět chirurgické nástroje z korozivzdorných ocelí později potom speciální ocel Poldi Atabor pro ukládání jaderného odpadu, za který dostaly železářny Poldi v roce 1990 ocenění na výstavě Brussels Euréka [82].

Pro mnoho hutních procesů je důležitá elektrická a tepelná energie. Doposud se v Pražských železárnách (součástí byla i Poldina huť) svítilo petrolejovými lampami. S rostoucí poptávkou po kladenské oceli rostla i poptávka oceláren po elektrické a tepelné energii. V roce 1898 Poldi Kladno daly za vznik nové Kladenské tepelné elektrárny. Teplárna byla postavena v blízkosti závodů tak, aby byly zachovány minimální tepelné ztráty. Ve čtvrti Kladno – Dubí vyrostla tepelná elektrárna se dvěma parními stroji. v roce 1911 byla uvedena do provozu první turbína znaky AEG v areálu Koněv. V roce 1914 byly turbíny v areálu Koněv již dvě (AEG a ČKD), obě s frekvencí 25 Hz. V roce 1920 bylo stanoveno sjednocení frekvence proudu na 50 Hz a turbíny byly opatřeny měničem period.

Období druhé světové války znamenalo rozvoj oceláren Poldi i tepelné elektrárny Kladno. Němečtí vojáci postavili v roce 1945 tepelnou elektrárnu II v areálu oceláren Poldi. V období let 1962 až 1963, kdy se začalo Kladno rozrůstat v podobě nových sídlišť s převážně bytovou výstavbou, došlo k mnohonásobnému zvýšení poptávky po tepelné energii. Tepelná elektrárna Kladno reagovala na poptávku výstavbou teplárny s horkovodními turbínami. Bytové a panelové domy však nebyli jedinými odběrateli tepla, dálkově byla vytápěna například i nemocnice, dvě kladenská gymnázia a mnoho dalších budov občanské vybavenosti. V roce 1985 došlo v kladenské teplárně k havárii a jedna z turbín shořela.

V roce 1989 byly ocelárny Poldi privatizovány a v roce 1993 je odkoupil soukromý podnikatel. Tento rok se zapsal do historie oceláren Poldi i tepelné elektrárny jako rok, kdy málem došlo ke krachu celého podniku. V roce 1997 odkoupili kladenskou tepelnou elektrárnu američtí investoři jako brownfield. Mezi lety 1998 a 2000 postavili američtí investoři v areálu kladenské tepelné elektrárny dva bloky s fluidními kotli a jeden blok s paroplynovým kotlem. V roce 2002 přešla kladenská tepelná elektrárna na hnědé uhlí a v následujícím roce byly kotle jednotlivých bloků zregulovány kvůli kolísání ceny elektřiny. V roce 2006 byly postaven další paroplynový blok v areálu Dříň. Tento blok je vybaven paroplynovou turbínou a leteckým motorem. Výhodou tohoto motoru je rychlost náběhu. V roce 2007 koupila kladenskou tepelnou elektrárnu švýcarská společnost Alpiq Generation, respektive její dceřiná společnost Alpiq Generation (CZ) s.r.o. [30, 83].

Tepelná elektrárna Kladno (Obrázek 5) se skládá z pěti bloků, tři bloky jsou hnědouhelné – spaluje se zde hnědé uhlí s možností spoluspalování biomasy až do výše 10 % objemu paliva, a dva paroplynové – na zemní plyn. Do srpna roku 2019 vlastnila kladenskou elektrárnu švýcarská firma Alpiq Geeration, která nechala v roce 2011 zrekonstruovat jeden z původních hnědouhelných bloků. Rekonstrukce trvala 3 roky a výsledkem bylo zvýšení elektrického i tepelného výkonu, zvýšení účinnosti bloku a také snížení emisí. Od září 2019 vlastní tepelnou elektrárnu Kladno česká společnost Teplárna Kladno s.r.o., která je součástí skupiny Sev.en Energy AG [83].



*Obrázek 5: Tepelná elektrárna Kladno
Zdroj: Archiv TE Kladno*

Teplo vyrobené tepelnou elektrárnou Kladno je dále rozváděno po městě distributorem tepelné energie – společností TEPO s.r.o. Společnost TEPO s.r.o. spravuje síť 29 km primárního, 24 km sekundárního rozvodu tepelné energie a 134 výměňkových stanic. Zásobuje tepelnou energií 90 % domácností a má ve městě celkem 713 celkových odečtů. V Kladně je hlavním zdrojem paliva pro CZT hnědé uhlí, které tvoří 96 % celkového objemu, druhým zdrojem se 4 % objemu je zemní plyn. Průměrná cena dodávky tepelné energie v Kladně je 587,00 Kč/GJ (163Kč/MWh) [1, 79].

7.1 Sportovní gymnázium Kladno

Prvním objektem vybraným pro případovou studii je Sportovní gymnázium Kladno (Obrázek 6). Sportovní gymnázium se nachází v městské čtvrti Sítná, v blízkosti zimního stadionu. Jedná se o areál šesti vzájemně propojených budov, bytové jednotky a sportovního hřiště. Projekt objektu sportovního gymnázia je z roku 1978, samotný objekt byl dostavěn v roce 1983. Nejdéle trvala výstavba hřiště, které bylo dostaveno až koncem roku 1987. Provoz Sportovního gymnázia byl zahájen 1. září 1984 [84].



Obrázek 6: Sportovní gymnázium Kladno
Zdroj: vlastní fotografie

Areál školy patří kraji a nachází se na krajských pozemcích kromě části venkovního hřiště, která se nachází na pozemku města. V šesti propojených budovách školy se nachází vstupní aula, učebny, přednáškové místnosti, kabinety, atletický tunel, tělocvičny, posilovna a školní jídelna včetně kuchyně, chladírny a mrazírny. Součástí školního areálu je venkovní atletický ovál a fotbalové hřiště. V zadní části hřiště se nachází poslední objekt náležící k areálu školy, objekt bytové jednotky, který je obýván školníkem [85].

Jednotlivé budovy mají své historické označení z 80. let minulého století, například pavilon CF (centrální funkce) nebo pavilon U 1.1 (pavilon učeben 1. stupně). Všechny budovy jsou obdélníkového tvaru, nejvyšší budovou je pavilon U 2.2 se třemi poschodími. Budovy školního areálu jsou nepodsklepené s výjimkou pavilonu CF, kde se ve sklepních prostorách nachází skříňky studentů [86].

7.1.1 Popis konstrukcí

Typické výstavbě 80. let minulého století odpovídá konstrukční systém objektů. Všechny šest spojených objektů má montovaný rámový skelet typového označení MS 71 s prefabrikovanými sloupy, průvlaky a stropními panely. Prefabrikované sloupy jsou čtvercového průřezu o rozměrech 400 × 400 mm. Konstrukční výška sloupů a podlaží je 3,6 m. Osobní vzdálenost sloupů se různí podle dispozice objektů a pohybuje se od 3,6 m (v místě hlavních chodeb) do 6,1 m (v místě učeben). Na sloupy navazují v horizontální rovině deskové průvlaky tloušťky 250 mm. Skládají se z nesoucí části (hlavice) a vložené části. Stropní prefabrikované dutinové panely jsou vložené na deskové průvlaky a stejně jako průvlaky mají tloušťku 250 mm. Nosný rámový skelet je doplněn nosným obvodovým pláštěm (keramickými panely) na příčných stranách objektů a ztužujícími betonovými stěnami v prostoru každého schodiště [86].

Objekty jsou založeny na železobetonových monolitických patkách, respektive pasech. Pasy i patky jsou provedeny z prostého betonu B135 (odpovídá dnešnímu C8/10). Z důvodu rozbrídavosti zemin a hornin pod objektem je základová spára upravena pískovým podsypem. Rámový skelet navazuje na patky železobetonovými krčky z betonu B170 (odpovídá dnešnímu C12/15).

Obvodový plášť je tvořen keramickými nebo boletickými panely (panely OD-001). Keramické panely tloušťky 300 mm jsou součástí nosné konstrukce objektů. Vnější strana panelů je obložena skleněnou mozaikou bez přítomnosti tepelné izolace. Původní boletické panely tloušťky 90 mm jsou tvořeny ocelovým rámem o průřezu 40 x 80 mm. Ocelový rám je opláštěn z vnitřní strany dřevotřískovou deskou a z vnější strany opakním sklem. Prostor mezi opláštěnými je vyplněn tepelnou izolací (minerální vlnou) tloušťky 40 mm a vzduchovou mezerou. Některé obvodové panely byly rekonstruovány, původní tepelné izolace tloušťky 40 mm byla nahrazena novou izolací z minerální vlny tloušťky 100 mm.

Původní výplně otvorů byly rekonstruovány v letech 2005 a 2006. Původní dřevěná okna s jednoduchým zasklením byla vyměněna za plastová okna s dvojsklem. Výměnou prošly i vstupní prosklené dveře a obvodové prosklené stěny. Důsledkem této rekonstrukce byla patrná úspora nákladů na vytápění a dle uživatelů zvýšení komfortu. Negativním důsledkem bylo zvýšení výskytu plísní kvůli neprůvzdušnosti nových plastových oken [85].

Střecha objektů je řešena jako dvouplášťová. Na stropní konstrukci posledního nadzemního podlaží (prefabrikovaném dutinovém panelu) je položena tepelná izolace tloušťky 2 × 40 mm. Panel s izolací tvoří první plášť střechy. Druhý plášť je tvořen keramickými panely uloženými ve spádu na zděných spádových klínech. Na keramických panelech je provedena živičná hydroizolace. Vzduchová mezera mezi pláštěmi je provětrávána systémem větracích průduchů v atikových panelech.

Podlahy objektů jsou provedeny podle podkladů typizovaného řešení MS 71. Celková tloušťka všech podlah na zemině je 80 mm, podlahy mezi jednotlivými podlažími mají tloušťku 50 mm. Podlaha na zemině disponuje tepelnou izolací z XPS tloušťky 30 mm. Mezi podlažími je provedena izolace proti šíření zvuku v tloušťce 10 mm. Nášlapnou vrstvou podlah je PVC, na chodbách, sociálních zařízeních, v jídelně a v kuchyni je nášlapnou vrstvou keramická dlažba. Vnitřní příčky objektů jsou provedeny jako montované betonové. Tloušťky vnitřních příček se pohybují od 80 mm do 200 mm. Vnitřní dveře jsou dřevěné, jejich šíře se pohybuje od 700 do 900 mm. Mezi pavilony jsou instalovány vnitřní prosklené dveře [86].

7.1.2 Současný zdroj vytápění

Areál školy je v současnosti vytápěn dálkově. Teplo dodávané do objektu pochází z kladenské tepelné elektrárny, distributorem tepla je společnost TEPO s.r.o. Společnost TEPO s.r.o. je zároveň i správcem výměňkové stanice. Dodávané teplo slouží k vytápění a k ohřevu teplé užitkové vody. Sportovní gymnázium Kladno kupuje teplo od společnosti TEPO s.r.o. za 591,96 Kč/GJ [85].

Vytápění objektu je zajištěno horkovodní výměňkovou stanicí. Horká voda je přiváděna horkovodní přípojkou do výměňkové stanice, kde je přiváděna do rozdělovače. V rozdělovači dochází k větvení na větve pro ohřev teplé užitkové vody a pro vytápění. Soustava ústředního vytápění je tlakově nezávislá, horká voda pro vytápění je ohřívána přes systém devíti výměníků. Soustava ÚT Sportovního gymnázia je dvoutrubková teplovodní soustava s nuceným oběhem. V prostorách tříd, kabinetů, sociálních zařízení a jídelny jsou litinová tělesa s možností regulace pomocí osazených termoregulačních ventilů a hlavic. Prostor tělocvičny je vytápěn žebrovými tělesy a je regulován samostatně. Výměňková stanice byla rekonstruována kolem roku 2000, ve stejném roce proběhla i malá rekonstrukce rozvodů otopné soustavy.

Odpočtové zařízení pro zjištění reálné spotřeby je pouze jedno pro celý areál. Nejsou známy jednotlivé spotřeby objektů (pavilonů). Objem vytápěné části areálu je 38 274 m³ a podlahová plocha činí 8 469 m². Aktuální reálná spotřeba celého areálu je 2 824,76 GJ/rok (údaje za rok 2018). Pro srovnání, reálná spotřeba v roce 2004, před kompletní výměnou výplní otvorů, se pohybovala kolem 6 tisíc GJ za rok [85, 87].

7.1.3 Výpočet potřeby tepla pro vytápění

Pro výpočet potřeby tepla pro vytápění jsem vybrala pavilon U 1.1 (Obrázek 7). Jedná se o dvoupodlažní nepodsklepený objekt, který je propojen s pavilonem CF spojovacím tunelem. V každém patře objektu se nachází 4 kmenové učebny, 3 kabinety, respirium a sociální zařízení. Konstrukce pavilonu je obdobná jako u všech ostatních objektů gymnázia. Objekt má tvar kvádra o rozměrech 36,4 × 17,25 × 7,6 m. Nosná konstrukce je tvořena dvaceti železobetonovými prefabrikovanými sloupy s deskovými průvlaky, obvodovými keramickými panely na východní a západní straně objektu a ztužujícími železobetonovými stěnami v prostoru schodiště.

Obvodový plášť objektu je tvořen keramickými panely na příčných stranách (východní a západní strana) a panely OD-001 (boletickými panely) na podélných stranách (jižní a severní strana). Keramické panely mají z vnější strany povrchovou úpravu v podobě skleněné lepené mozaiky. Střešní plášť je tvořen jako u ostatních objektů dvouplášťovou střechou s provětrávanou vzduchovou mezerou. Do výpočtu součinitele prostupu tepla konstrukcí je zahrnut pouze spodní střešní plášť, který je tvořen stropními prefabrikovanými panely a tepelnou izolací. Podlaha na zemině je tvořena podkladním betonem, hydroizolací, cementovým potěrem a nášlapnou vrstvou. V kabinetech a učebnách je nášlapná vrstva provedena z PVC, na chodbách a sociálních zařízeních je nášlapná vrstva v podobě keramické dlažby. Skladby jednotlivých konstrukcí obálky pavilonu U 1.1 jsou podrobně popsány v Příloze 1 [86].

Pavilon U 1.1 byl pro účely výpočtu potřeby tepla na vytápění rozčleněn do 4 zón podle vnitřní návrhové teploty. Samostatnou zónou 1 jsou prostory chodby, schodiště, respiria a sociálních zařízení. Zóna 1 probíhá středem pavilonu, vnitřní návrhová teplota zóny je 15 °C. Zbývající tři zóny jsou odděleny zónou 1. Jedná se o prostory kabinetů (zóna 2 a zóna 3) a prostory čtyř učeben (zóna 4). Všechny tři zóny mají vnitřní návrhovou teplotu 20 °C.



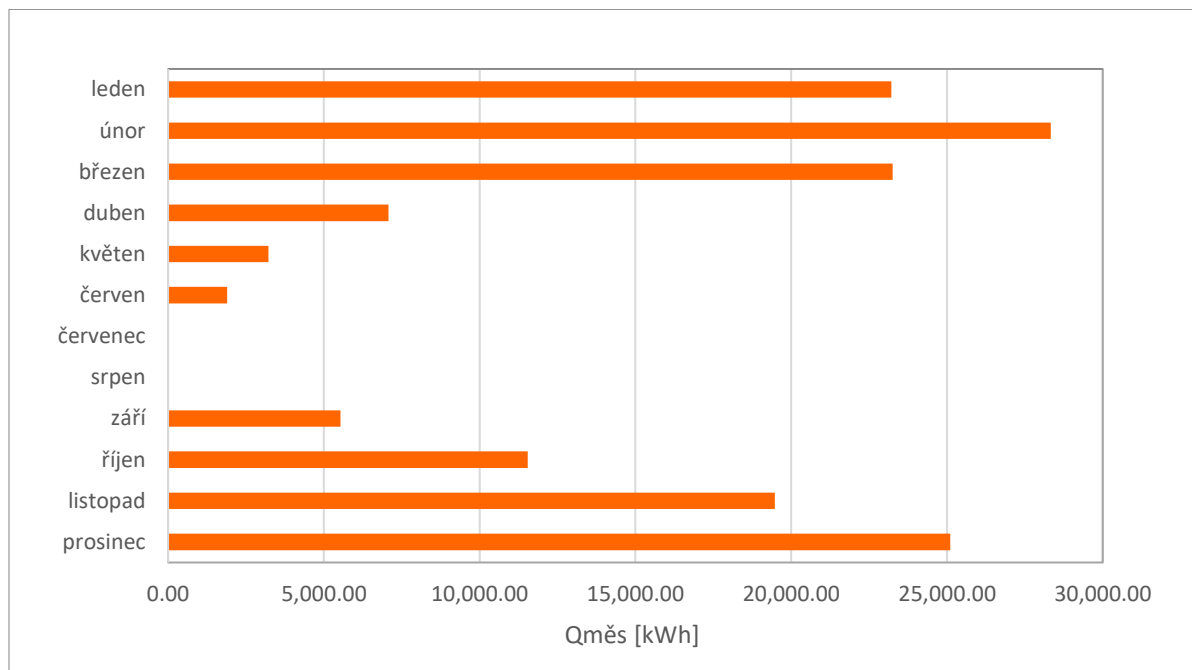
*Obrázek 7: Pavilon U 1.1
Zdroj: vlastní fotografie*

Výpočet musel být prováděn po zónách z důvodu různé vnitřní návrhové teploty zón. Kvůli velikosti ploch zón nemohly být zóny sloučeny. Výpočet probíhal v programu Excel, tepelné zisky a tepelné ztráty byly počítány pro každou zónu samostatně stejně jako tepelná bilance zón. Výsledná tepelná bilance pavilonu U 1.1 je součtem tepelných bilancí zón. Jednotlivé postupy a výstupy výpočtu jsou zaznamenány v tabulkách, které jsou Přílohou 2 této diplomové práce.

Při výpočtu tepelných ztrát byly zanedbány vlivy tepelných mostů. Větrání objektu je zajištěno otevíráním výplní otvorů uživateli. Výpočet uvažuje větrání přirozené v minimálním rozsahu dle vyhlášky č.268/2009 Sb. (25 m³/os.hod nebo 0,5/h) [59]. Zóna vytápěná na vnitřní návrhovou teplotu 15 °C (zóna 1) vykazovala v měsících duben až říjen místo tepelných ztrát prostupem tepla a větráním tepelné zisky. V těchto měsících není zóna vytápěna a ve výsledné tepelné bilanci je v těchto měsících rovna nule (pouze u zóny 1). V těchto měsících nejsou počítány ani zbylé tepelné zisky zóny (solární zisky, zisky od osob, spotřebičů a od osvětlení), protože konstrukce pavilonu U 1.1 nedokáže naakumulovat tyto zisky do dalších měsíců. Obdobně je uvažováno při výpočtu potřeby tepla ostatních třech zón, které nejsou vytápěny v měsících červenec a srpen.

Výsledkem výpočtu je tepelná bilance pavilonu, která se rovná potřebě tepla pro vytápění. Celková vypočtená potřeba tepla pro vytápění pavilonu U 1.1 vychází 148,66 MWh, respektive 535,19 GJ. Pokud vztáhneme výsledek k energeticky vztahné ploše pavilonu, vyjde hodnota 118,38 kWh/m². Potřeba tepla pro vytápění pavilonu v jednotlivých měsících roku je zobrazena v Grafu 4.

Graf 4: Měsíční potřeba tepla pro vytápění pavilonu U 1.1



Zdroj: vlastní zpracování

Reálná spotřeba tepla pro vytápění celého areálu Sportovního gymnázia Kladno je 2 824,76 GJ za rok. Reálnou spotřebu celého areálu nelze srovnávat s vypočítanou hodnotou pro jeden pavilon. Pokud vezmeme v úvahu, že zbylých 5 pavilonů je obdobně rozlehlých jako pavilon U 1.1 a jejich obvodové konstrukce se liší pouze minimálně, můžeme vypočítanou hodnotu vynásobit 6 a tím získáme orientační spotřebu tepla všech šesti objektů. Při tomto odhadování nesmíme zapomenout na spojovací krčky a atletický tunel, které mají v součtu plochu téměř 150 m². Vypočtenou hodnotu pro pavilon U 1.1 násobíme 6,2 a dostaneme orientační hodnotu 3 320 GJ (922 MWh).

Rozdíl mezi vypočtenou a reálnou potřebou tepla pro vytápění je 495 GJ. Rozdíl v hodnotách je nejspíše způsoben neodborností odhadu při jednoduchém násobení hodnoty vypočtené pro pavilon U 1.1 počtem objektů. Dalším důvodem může být špatný odhad velikosti ostatních pavilonů v poměru k pavilonu U 1.1. Posledním důvodem může být nepřesnost úvahy, že Sportovní gymnázium je vytápěno rovnoměrně po celou dobu otopného období. Model, se kterým jsem počítala, neuvažuje přerušování dodávky tepla v období prázdnin a víkendů. Předpokládá nepřerušovaný provoz 24 denně. U školních objektů je možné přerušování dodávky v době, kdy školní prostory nejsou využívány. Zmíněné pauzy v dodávce tepelné energie mohly způsobit rozdíl 495 GJ. Při návrhu alternativních zdrojů vytápění budu počítat s hodnotou odpovídající reálné spotřebě tepla pro vytápění.

Obálka pavilonu U 1.1 odpovídá konstrukcím z 80. let minulého století, kdy nebyly kladeny téměř žádné požadavky na obvodové konstrukce budov. Při výpočtu součinitele prostupu tepla byly zjištěny nedostatky obvodových konstrukcí. Bylo zjištěno, že obvodové panely, střešní plášť a podlaha nesplňují doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla konstrukcí podle ČSN 73 0540-2. Přehled vypočtených součinitelů prostupu tepla jednotlivých konstrukcí pavilonu U 1.1 jsou zapsány v Tabulce 12 včetně porovnání s doporučenou hodnotou podle normy.

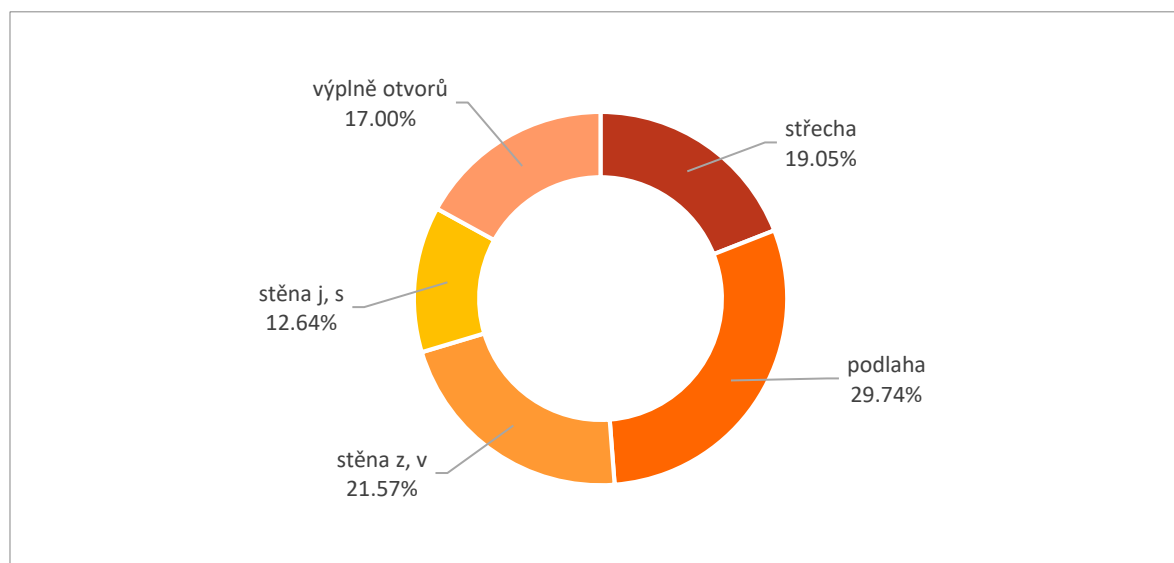
Tabulka 12: Přehled součinitelů prostupu tepla konstrukcí pavilonu U 1.1

Konstrukce	Un [W/(m2.K)]	Urec [W/(m2.K)]	Závěr
Dvoupříčková střecha	0,60	0,16	Nevyhovuje
Podlaha na zemině, keramická dlažba	1,09	0,30	Nevyhovuje
Podlaha na zemině, PVC	0,90	0,60	Nevyhovuje
Keramický panel, stěna V,Z	1,61	0,25	Nevyhovuje
Boletický panel	0,92	0,20	Nevyhovuje
Boletický panel rekonstruovaný	0,38	0,20	Nevyhovuje
Příčky mezi zónami	3,22	1,80	Nevyhovuje

Zdroj: vlastní zpracování, podle [58]

Hodnoty uvedené v Tabulce 12 dokazují, že součinitele prostupu tepla konstrukcí obálky pavilonu U 1.1 jsou od doporučených hodnot velmi vzdálené. Například součinitel prostupu tepla obvodové stěny na východní a západně straně, ve složení keramický panel a skleněná mozaika, je více než šestkrát horší, než je doporučená hodnota pro danou konstrukci. Pokud by Sportovní gymnázium Kladno chtělo snížit náklady na vytápění, doporučuji zaměřit se nejprve na nevyhovující zastaralé konstrukce. V následujícím Grafu 5 je patrné, že největší tepelné ztráty vykazuje konstrukce podlahy v kontaktu se zeminou.

Graf 5: Podíl tepelných ztrát konstrukcí Sportovního gymnázia Kladno



Zdroj: vlastní zpracování

Konstrukce střechy a západní a východní obvodové stěny vykazují podíl na celkových tepelných ztrátách objektu okolo 20 % a výplně otvorů 17 %. U konstrukce střechy je výše ztrát ovlivněna nízkou vrstvou izolace v prvním plášti střechy, vrstvu nyní tvoří pouze 80 mm tepelné izolace. Stejný původ mají i tepelné ztráty východní a západní stěny. U této konstrukce chybí tepelná izolace z vnější strany, keramický panel, který tvoří nosnou konstrukci, je oblepen pouze skleněnou mozaikou. Výplně otvorů vykazují vysoké procento tepelných ztrát kvůli velké ploše v poměru k ostatním konstrukcím.

Boletické panely, které tvoří severní a jižní obvodovou stěnu, vykazují nejmenší tepelné ztráty v porovnání s ostatními konstrukcemi. Jejich skladba je ale také nedostačující, jak je patrné z Tabulky 12. Mezera mezi deskami boletického panelu je vyplněna pouze 40 mm tepelné izolace. V případě rekonstrukce doporučuji vyměnit veškeré obvodové konstrukce včetně těchto historických panelů.

V případě rekonstrukce pavilonu U 1.1 by Sportovní gymnázium Kladno mohlo dosáhnout roční úspory energie téměř 320 GJ (hodnota úspory u pavilonu U 1.1). Pavilon U 1.1 by se tak dostal při přepočítání na energeticky vztažnou plochu na hodnotu 47,83 kWh/m² a odpovídal by požadované hodnotě pro pasivní domy. Podmínkou úspory je rekonstrukce všech obvodových konstrukcí v takovém rozsahu, aby splňovaly doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla podle ČSN 73 0540-2. Například u obvodové stěny tvořené keramickým panelem a skleněnou mozaikou by to znamenalo zateplení z vnější strany izolantem o tloušťce 180 mm. Dalším úsporným opatřením je investice do mechanického větrání objektů s instalací rekuperace. Případná investice do mechanického větrání s čidlem koncentrace oxidu uhličitého v místnosti by snížila ztráty větráním a zvýšila komfort uživatelů budovy.

7.1.4 Alternativní zdroje vytápění

Sportovní gymnázium je v současnosti vytápěno systémem CZT a za roční spotřebu tepla zaplatí přibližně 1 672 000 Kč. Teplárna Kladno, která je výrobcem dodávaného tepla, vyrábí teplo výhradně spalováním hnědého uhlí. Spalování hnědého uhlí, jak už bylo několikrát řečeno, není ekologické ani dlouhodobě udržitelné. Nabízí se řešení v podobě investice do alternativních zdrojů, přičemž hlavním kritériem při rozhodování je výše investice a doba návratnosti.

Areál Sportovního gymnázia Kladno je specifický svými nízkými obdélníkovými pavilony a velikostí zastavěné plochy a přilehlých pozemků (například hřiště). V případě areálu Sportovního gymnázia budu posuzovat investice do plynového kotle, do automatického kotle na peletky (biomasu), do tepelného čerpadla a solárních kolektorů. Záměrně vynechávám kogenerační jednotku pro složitost výpočtu investičních nákladů. Investiční náklady alternativních zdrojů vytápění obsahují mimo své vlastní investiční náklady také náklady na demontáž a likvidaci současného tepelného výměníku včetně zaslepení teplovodní přípojky a poplatku za odpojení.

Prvním posuzovaným zdrojem je plynový kotel jako zdroj tepla a zemní plyn jako energonositel. Pro pokrytí tepelných ztrát areálu sportovního gymnázia navrhuji soustavu 4 plynových kotlů. Součástí investice je kompletní vybudování plynové kotelny, vybudování plynovodní přípojky, zhotovení projektové dokumentace a inženýring. Investiční náklady na instalaci soustavy plynových kotlů jako zdroje tepla jsou podrobně rozepsány v Příloze 3 této diplomové práce. Vypočtené náklady jsou pouze orientační, nejedná se o přesné ceny nebo cenové nabídky. Celkové investiční náklady do plynové kotelny činí 1 246 tis. Kč.

Provozní náklady plynové kotelny se dělí na náklady fixní a variabilní. Variabilními náklady jsou náklady na palivo – zemní plyn, jejichž výše se mění každý měsíc podle aktuální spotřeby paliva. Výše jednotkové ceny zemního plynu se navíc zvyšuje každý rok v důsledku neustálého růstu ceny energií a komodit. Ve výpočtu cash flow a návratnosti je tento růst zohledněn, uvažuji růst ceny každoročně o 1 %. Fixní složku nákladů tvoří náklady na pravidelný servis a údržbu, náklady na povinné revize plynových kotlů a spalinových cest a náklady na případné opravy. Pro výpočet uvažuji malou opravu (ve výši 5 000 Kč) každoročně a velkou opravu (ve výši 35 000 Kč) jednou za 5 let. Provozní náklady plynové kotelny jsou podrobně rozepsány v Příloze 3.

Druhým navrhovaným zdrojem tepla je kotel na biomasu. Jako energonositel navrhuji biomasu v podobě peletek, protože mají oproti kusovému dříví vyšší výhřevnost a lépe se skladují. V areálu Sportovního gymnázia Kladno není problém najít prostory pro skladování peletek. Pro pokrytí tepelných ztrát areálu Sportovního gymnázia Kladno navrhuji soustavu dvou automatizovaných kotlů SMART 300 kW. Investiční náklady spojené s vybudováním kotelny činí 1 187 tis. Kč a zahrnují vybudování kotelny, napojení na stávající otopnou soustavu, vypracování projektové dokumentace a inženýring.

Provozní náklady variabilní tvoří náklady na peletky. Náklady na palivo se mění obdobně jako u plynové kotelny každý měsíc podle spotřeby paliva a každý rok v důsledku zvyšování ceny energií. Fixní náklady tvoří náklady na pravidelný servis a údržbu, náklady na povinné revize kotlů na tuhá paliva a povinné revize spalinových cest, náklady na opravy a náklady na školního kotelníka. Tuto funkci v případové studii zastává školník, který je za funkci kotelníka ohodnocen příplatkem. Díky volbě automatizovaného kotle nemusí kotelník doplňovat peletky a vynášet popel každý den, obsluha kotle neohrožuje jeho ostatní každodenní povinnosti. Investiční i provozní náklady jsou podrobně zapsány v tabulkách v Příloze 3.

Třetím navrhovaným zdrojem je tepelné čerpadlo. Z dříve popsanych typů čerpadel navrhuji pro areál Sportovního gymnázia Kladno tepelné čerpadlo vzduch-voda. Areál disponuje rozsáhlými pozemky v okolí budov, disponuje také rozsáhlým sportovním hřištěm, proto by bylo logické navrhnout čerpadlo typu země-voda s povrchovým zemním jímačem. Pro takový typ čerpadla by ale byla potřeba vybudovat povrchový zemní jímač v délce minimálně 2 km. Problémem není nedostatek prostoru pro vybudování jímače ale cena. Cena zemních prací při pokládání jímače do hloubky 2 m by byla mnohonásobně vyšší než cena tepelného čerpadla a zbylých prací. Ekonomicky výhodnější je návrh tepelného čerpadla typu vzduch – voda.

Investiční náklady u tepelného čerpadla představují dodávku a montáž soustavy tepelných čerpadel, napojení na současnou otopnou soustavu, napojení na zdroj elektrické energie, stavební práce a přípomoci, vypracování projektové dokumentace a inženýring. Z důvodu současné vysoké spotřeby energeticky nevyhovujícího areálu Sportovního gymnázia Kladno byla navržena soustava dvanácti tepelných čerpadel. Soustava dvou čerpadel byla navržena pro každý pavilon areálu. Výjimku tvoří pavilony tělocvičny a bytové jednotky, které jsou vytápěny každý jedním čerpadlem. Investiční náklady soustavy tepelných čerpadel činí 3 194 tis. Kč.

Provozní náklady zahrnují variabilní a fixní složku. Fixní složku provozních nákladů představují náklady na pravidelné revize a opravy a na evidenci těchto revizí, které bude provádět školník. Variabilní složku nákladů tvoří náklady na elektrickou energii, která je zapotřebí pro chod tepelných čerpadel.

Posledním navrhovaným alternativním zdrojem jsou solární termické kolektory. Výhodou Sportovního gymnázia Kladno je rozsáhlost areálu a obdélníkový tvar pavilonů a spojovacích krčků. Areál tak disponuje plochou střech téměř 4 600 m². Školní areál je vytápěn především ve dne, kdy jsou v areálu přítomni žáci a zaměstnanci. Konstrukce areálu se vyznačují nízkou schopností akumulace, proto je nutné uvažovat jako součást solárního systému akumulční nádrž. Akumulační nádrž musí být schopna pokrýt potřebu pro vytápění ve večerních a nočních hodinách.

Při současné spotřebě tepla areálu Sportovního gymnázia není jisté, zda by systém solárních termických kolektorů dokázal potřebu tepla pokrýt. Odborné články se přiklání k užívání termických kolektorů u objektů s velmi malou spotřebou tepla na vytápění. Tuto podmínku areál Sportovního gymnázia Kladno nespĺňuje. Řešením by mohlo být i využití solárních termických kolektorů jako bivalentní zdroj případně využití termických kolektorů pouze pro ohřev teplé vody.

Pro pokrytí tepelných ztrát Sportovního gymnázia Kladno byly navrženy solární termické kolektory společně s akumulčními nádržemi. V rámci výpočtu uvažují pro každý pavilon vlastní systém termických kolektorů a vlastní soustavu akumulčních nádrží. Investiční náklady solárních termických kolektorů činí 7 090 tis. Kč. Provozní náklady se v případě solárních termických kolektorů skládají pouze z fixní složky, která je tvořena náklady na revize a opravy.

Náklady uvedené výše jsou pouze odhadnutými cenami, nejedná se o cenové nabídky. Jedná se o ceny včetně 15 % DPH. Investiční náklady jednotlivých variant byly stanoveny na základě průzkumu cen na webech jednotlivých dodavatelů kotlů, tepelných čerpadel a solárních kolektorů. Zjištěné ceny byly pro účely diplomové práce zprůměrovány a zaokrouhleny. Stavební práce byly odhadnuty na základě zkušeností s přihlédnutím k cenám v cenících URS [88]. Náklady na servis a revize byly stanoveny na základě cen uvedených na webech společností zabývajících se revizemi kotlů, tepelných čerpadel a solárních termických kolektorů [89, 90, 91, 92, 93]. Ceny na webových stránkách jsou uvedeny pro rodinné domy, při sestavování nákladů pro sportovní gymnázium bylo přihlédnuto k velikosti areálu a rozsahu projektů. Náklady na palivo byly stanoveny na základě ceníku dodavatelů [94, 95].

7.1.5 Cash flow, návratnost investice

Při sestavování cash flow investice do alternativního zdroje jsem vycházela z investičních a provozních nákladů uvedených v předchozí kapitole. Příjmy areálu sportovního gymnázia se rovnají úspoře nákladů při využívání alternativního zdroje. U zemního plynu a biomasy se příjmy rovnají rozdílu nákladů na vytápění systémem CZT a nákladů na alternativní energonositel (zemní plyn nebo biomasu). U tepelného čerpadla se příjmy rovnají rozdílu nákladů na vytápění systémem CZT a nákladů na elektřinu potřebnou k chodu tepelného čerpadla.

V případě solárních kolektorů se příjmy rovnají nákladům na vytápění systémem CZT. Výdaje areálu se rovnají provozním nákladům alternativního zdroje tepla, výše provozních nákladů původního zdroje vytápění je zahrnuta v ceně tepla na 1 GJ. Tabulky zobrazující podrobné cash flow investic do alternativních zdrojů zmíněných v přechozí kapitole jsou zapsány v Příloze 3. Za pomoci diskontovaného cash flow byla zjištěna reálná doba návratnosti a čistá současná hodnota (po pěti a deseti letech).

Jednotlivé varianty investic do alternativních zdrojů vytápění se navzájem vylučují, proto je budu posuzovat podle čisté současné hodnoty (NPV). Uvažovaným obdobím je uvažovaná doba životnosti – 15 let. V následující Tabulce 13 jsou zapsána vybraná kritéria pro posouzení a vzájemné porovnání jednotlivých variant investic do alternativních zdrojů. V Tabulce 13 jsou zároveň uvedeny emise TZL vybraných alternativních zdrojů.

Tabulka 13: Posuzovaná kritéria investic do alternativních zdrojů vytápění Sportovního gymnázia Kladno

Kritérium hodnocení	měrná jednotka	plynový kotel	kotel na biomasu	tepelné čerpadlo	solární kolektory
Prostá doba návratnosti (PP)	roky	3,00	3,00	5,00	5,00
Diskontovaná doba návratnosti (DPP)	roky	3,00	3,00	5,00	5,00
Čistá současná hodnota (NPV) - 15 let	Kč	6 906 741	6 055 033	9 247 498	15 458 385
Vnitřní výnosové procento (IRR)	%	12,09	18,07	1,71	10,25
Emise tuhých znečišťujících látek	g/rok	1 658,13	240 104,60	0,00	0,00

Zdroj: vlastní zpracování

Vyhodnocení variant investic do alternativních zdrojů provádím podle kritéria čistá současná hodnota (NPV). Z Tabulky 13 lze vyčíst hodnotu NPV v období 15 let. Ekonomicky nejvýhodnějším zdrojem podle NPV v patnáctém roce jsou solární kolektory. Druhým ekonomicky nejvýhodnějším zdrojem je tepelné čerpadlo.

Rozdíl ve výši NPV v patnáctém roce mezi solárními kolektory a tepelným čerpadlem, případně zemním plynem, se pohybuje kolem 6 milionů Kč. hlavním důvodem jsou vysoké tepelné ztráty objektu a tím daná vysoká spotřeba. Při současné spotřebě a ceně tepla je roční úspora nákladů v případě varianty v podobě solárních kolektorů mnohonásobně vyšší než úspora nákladů u ostatních variant.

Posouzení variant podle kritéria prostá doba návratnosti nebo reálná doba návratnosti je nevýhodné pro solární termické kolektory i tepelné čerpadlo, přestože jejich NPV v roce 15 vykazuje nejvyšší hodnotu. Delší doba návratnosti investice do těchto alternativních zdrojů je způsobena vyšší počáteční investicí. Z Tabulky 13 vyplývá, že nejvýhodnější variantou pro investora je v tomto případě investice do solárních termických kolektorů se systémem akumulace.

Ekologické vyhodnocení variant provádím podle kritéria emise tuhých znečišťujících látek. Z Tabulky 13 je patrné, že nejvyšší množství emisí TZL je vyprodukováno spalováním biomasy (peletek), a sice 240 kg za rok. Na druhém místě je spalování zemního plynu s emisemi TZL odpovídajícími 1,66 kg za rok. Tepelné čerpadlo má v tabulce zapsány emise rovné nule, přestože při výrobě elektrické energie potřebné pro provoz čerpadla je spalováno hnědé uhlí, jehož emise TZL se nule nerovná. Je tomu tak z důvodu posuzování pouze lokálních emisí v místě uvažovaného alternativního zdroje vytápění.

Při posuzování variant podle kritéria množství emisí TZL vylučuji soustavu kotlů na biomasu jako vhodný alternativní zdroj. Množství emisí vyprodukované spalováním peletek za rok by lokálně znehodnotilo ovzduší v místě alternativního zdroje. Na základě množství emisí TZL vychází jako nejvýhodnější zdroj solární kolektory a tepelné čerpadlo. Přijatelné je také množství emisí vznikající spalováním zemního plynu.

7.2 Panelový dům, ulice Wednesbury, Kladno

Druhým vybraným objektem je panelový dům v ulici Wednesbury v Kladně. Nachází se na sídlišti Kročehlavy v sousedství 14. základní školy. Jedná se o panelový dům typické výstavby 70. let minulého století. Projekt panelového domu je datován do roku 1964. Ve stejném roce byl panelový dům postaven a kolaudován byl v roce 1966. V okolí panelového domu se nachází základní škola, fotbalové hřiště a další panelové domy postavené v 70. letech 20. století.



*Obrázek 8: Panelový dům Wednesbury 2222, Kladno
Zdroj: vlastní fotografie*

Panelový dům má 11 nadzemních a jedno podzemní podlaží. V prostoru suterénu se nachází sklepní kóje jednotlivých bytových jednotek a společná technická místnost. V suterénních prostorách se nachází také výměňková stanice pro objekt panelového domu Wednesbury 2222. V prvním nadzemním podlaží je vstup do domu, společná aula, kočárkárna (dříve drogerie) a 4 bytové jednotky. Zbylá patra jsou půdorysně totožná, na každém patře jsou tři bytové jednotky 2+1 a jedna bytová jednotka 3+1. Panelový dům celkově čítá 44 bytů. Objekt disponuje dvěma osobními výtahy a společným schodištěm. Správu panelového domu zajišťuje Státní bytové družstvo Ocelář (SBD Ocelář) [96].

7.2.1 Popis konstrukcí

Objekt je postaven v krajské variantě systému P61 „G“. Konstrukční systém panelového domu je příčný stěnový, stěny jsou prefabrikované železobetonové, tloušťky 200 mm. Prostorová tuhost je zajištěna ztužujícím jádrem v místě centrálního schodiště, které je tvořeno prefabrikovanými škvárobetonovými stěnami tloušťky 200 mm. Stropy jsou tvořeny prefabrikovanými železobetonovými panely tloušťky 120 mm. Prefabrikované stěny i stropy jsou provedeny z betonu třídy B170 a B250 (odpovídá dnešnímu označení C12/15 a C16/20).

Suterénní stěny jsou provedeny jako monolitické z důvodu vyšší stability. Tloušťka obvodových stěn je 300 mm, vnitřních stěn 200 mm. Kolem suterénních stěn je proveden škvárový násyp do vzdálenosti 1,3 m od stěny objektu. Základy objektu tvoří železobetonová monolitická deska tloušťky 500 mm. Základová deska je provedena na štěrkopískovém násypu tloušťky 100 mm.

Obvodové stěny panelového domu jsou tvořeny samonosnými prefabrikovanými železobetonovými panely. Vnější strana panelů je opatřena tepelnou izolací tloušťky 100 mm a vnější omítkou, vnitřní strana je opatřena vnitřní omítkou. Vnější zateplení bylo provedeno v roce 2009 v rámci rekonstrukce stejně jako výměna okenních otvorů. Původní dřevěná okna (součinitel prostupu tepla $2,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) byla vyměněna za nová plastová okna.

Střešní plášť tvoří jednoplášťová střecha s klasickým pořadím vrstev. Na stropním panelu posledního nadzemního podlaží je škvárový násyp, který měl sloužit jako tepelná izolace a zároveň spádová vrstva, a pěnosilikátová tepelná izolace tloušťky 50 mm. Poslední vrstvu střešního pláště tvoří živičná hydroizolace. Část střechy v prostoru nad schodištěm je tvořena sklobetonem, takzvanými luxferami. Vedle části nad schodišťovým prostorem je prostor dojezdu výtahu, který je schovaný ve střešním budníku. Stěny budníku tvoří škvárobetonové panely tloušťky 150 mm a škvárobetonová příčka tloušťky 50 mm.

Podlaha na zemině v suterénu je tvořena železobetonovou deskou na štěrkopískovém podsypu. Další vrstvou podlahy je škvárový násyp, na kterém je provedena betonová mazanina. Nášlapnou vrstvou v suterénu je betonová mazanina. V ostatních podlažích je nášlapná vrstva tvořena PVC a dřevěnými vlisy. Strop nad suterénem je zateplen tepelnou izolací tloušťky 60 mm. Vnitřní mezibytové stěny jsou tvořeny struskobetonem [96, 97].

7.2.2 Současný zdroj vytápění

Panelový dům je od roku 1964 vytápěn systémem centrálního zásobování teplem. Distributorem a dodavatelem tepla je společnost TEPO s.r.o. Dodávané teplo pochází z tepelné elektrárny v Kladně (Teplárna Kladno s.r.o.). V současnosti panelový dům odebírá ročně 696,2 GJ (193 MWh) za jednotkovou cenu 628,2 Kč/GJ [98].

Výměňníková stanice se nachází v suterénu panelového domu. Horká voda je přiváděna do výměníku dvoutrubkovou horkovodní přípojkou. Otopná soustava panelového domu je dvoutrubková s nuceným oběhem. Tlaková závislost soustavy bohužel není známá. V roce 2003 proběhla rekonstrukce otopné soustavy. Před rekonstrukcí byla otopná soustava neregulovaná, docházelo k přetápění a nedotápění některých místností bytových jednotek. Původní neregulovatelná otopná tělesa byla v rámci rekonstrukce osazena regulovatelnými termostatickými hlavicemi Danfoss. V rámci rekonstrukce byly regulující prvky osazeny i na stoupačí potrubí otopné soustavy. Otopná soustava je v současnosti regulovatelná a tepelně i hydraulicky stabilní [97, 99].

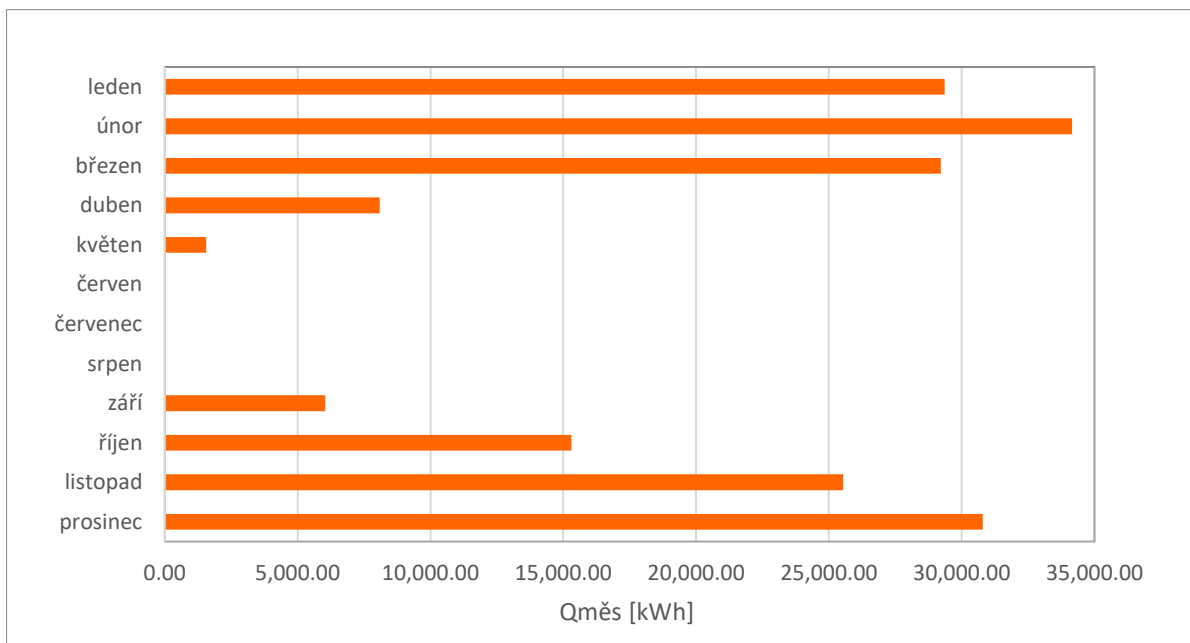
7.2.3 Výpočet potřeby tepla pro vytápění

U panelového domu jsem počítala potřebu tepla pro vytápění celého objektu. Objekt byl pro potřeby výpočtu rozdělen do tří výpočtových zón z důvodu různých vnitřních návrhových teplot. Zónou 1 je prostor jádra panelového domu, kde se nachází schodiště, hlavní chodba a výtahy. K hlavnímu vymezenému obdélníkovému prostoru zóny je přidružen prostor vstupu a kočárkárna. Vnitřní návrhová teplota zóny 1 je 15°C. Zónou 2 je prostor bytových jednotek s vnitřní návrhovou teplotou 20°C. Výjimkou jsou koupelny bytových jednotek, kde by měla být uvažována vnitřní návrhová teplota 24°C. Podle normy ČSN EN 52016-1 lze zóny sloučit, pokud má daná zóna užžitnou plochu menší nebo rovnu maximálně 1 % z celkové užžitné plochy objektu [55]. Koupelny bytových jednotek tuto podmínku splňují, proto byly pro účely výpočtu sloučeny se zónou bytových jednotek.

Třetí a poslední zónou jsou prostory nevytápěného suterénu s vnitřní návrhovou teplotou 10°C. Skladby konstrukcí ohraničujících jednotlivé zóny jsou podrobně popsány v Příloze 1. Všechny zóny objektu jsou větrány přirozeně otevíráním okenních otvorů. Zóna 1 disponuje pouze dvěma větracími otvory a je větrána minimálně. Zóna 2 je větrána přirozeně obyvateli bytů. Zóna 3 je větrána též minimálně, a sice suterénními okny těsně nad terénem. Zmíněná forma větrání zóny 2 splňuje požadavky na větrání obytných prostor stanovené vyhláškou č.268/2009 Sb [97].

Výsledná tepelná bilance objektu je součtem tepelných bilancí jednotlivých zón. Tepelné bilance jednotlivých zón objektu, stejně jako tepelné ztráty a tepelné zisky objektu jsou podrobně zapsány v tabulkách, které jsou Přílohou 2 této diplomové práce. Výsledná tepelná bilance objektu odpovídá potřebě tepla pro vytápění objektu. Celková výpočtová potřeba pro vytápění činí 648,22 GJ (180,06 MWh). Přepočteno k energeticky vztažné ploše 58,05 kWh/m². V následujícím Grafu 7 je znázorněna potřeba tepla pro vytápění v jednotlivých měsících roku.

Graf 6: Potřeba tepla pro vytápění panelového domu Wednesbury 2222



Zdroj: vlastní zpracování

Obvodové konstrukce panelového domu byly rekonstruovány v roce 2009 stejně jako výplně okenních otvorů. Rekonstrukce se bohužel netýkala střešního pláště ani podlahy v suterénu. Zatepleny byly obvodové stěny a strop nad suterénem. Přes výrazné zlepšení tepelně technických vlastností obvodových stěn a stropu, veškeré konstrukce panelového domu stále vykazují nedostatečné součinitele prostupu tepla konstrukcí, jak je patrné z Tabulky 14.

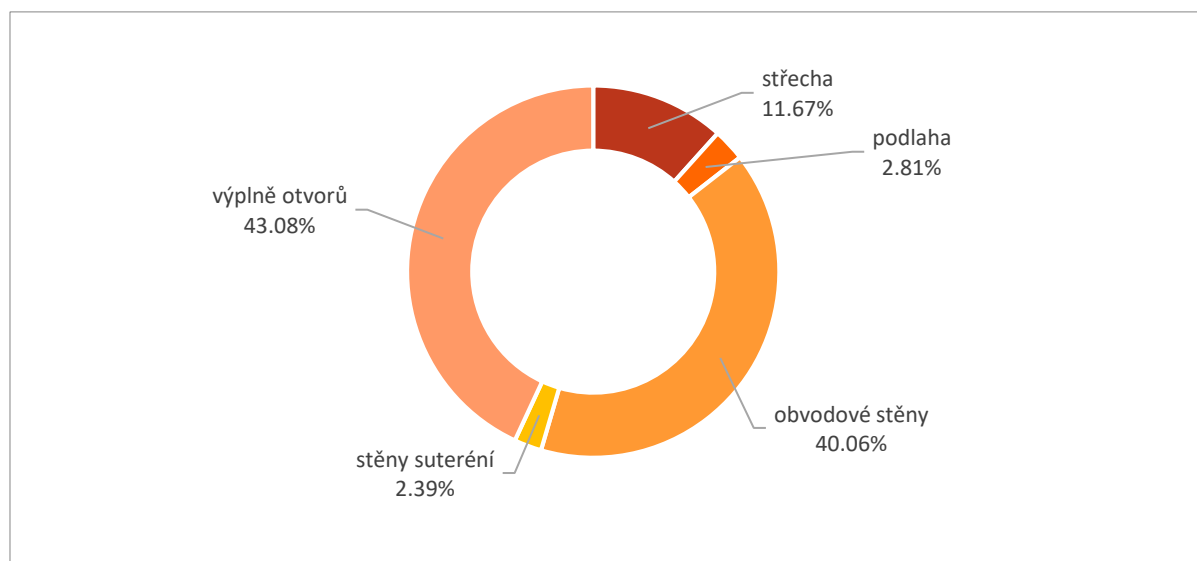
Tabulka 14: Součinitele prostupu tepla konstrukcí panelového domu Wednesbury 2222

Konstrukce	Un [W/(m2.K)]	Urec [W/(m2.K)]	Závěr
Jednoplášťová střecha	0,50	0,16	Nevyhovuje
Sklobetonová část střechy	3,00	0,16	Nevyhovuje
Podlaha na zemině	0,32	0,30	Nevyhovuje
Obvodové stěny	0,34	0,25	Nevyhovuje
Suterénní stěny	0,19	0,60	Vyhovuje
Stěny budníku	0,33	0,50	Vyhovuje
Strop nad suterénem	0,51	0,70	Vyhovuje
Stěny mezi byty a chodbou	1,95	1,80	Nevyhovuje

Zdroj: vlastní zpracování, podle [59]

Z tabulky je patrné, že pouze tři konstrukce splňují požadavky ČSN 73 0540-2. Obvodové stěny rekonstruované v roce 2009 v současnosti již nesplňují tepelně technické požadavky stanovené normou. V následujícím Grafu 8 si můžeme všimnout, že největší tepelné ztráty objektu vykazují obvodové stěny a výplně otvorů, obě přes 40 %. Hlavním důvodem výše tepelných ztrát u těchto konstrukcí je jejich celková plocha, která je v součtu téměř desetinásobně vyšší v porovnání například s plochou střešního pláště.

Graf 7: Podíl tepelných ztrát konstrukcí obálky panelového domu Wednesbury 2222



Zdroj: vlastní zpracování

Třetí nejvyšší tepelné ztráty vykazuje konstrukce střešního pláště, která zároveň převyšuje doporučenou hodnotu součinitele prostupu tepla více než třikrát. Případná investice do zateplení obvodových konstrukcí by měla být zaměřena na zmíněné tři konstrukce – obvodové stěny, výplně otvorů a střechu. Konstrukce podlahy a suterénních stěn vykazují malé ztráty v poměru k ostatním konstrukcím, protože prostor suterénu je temperován na teplotu pouze 10 °C. Konstrukce stropu mezi suterénem a zónou 2 (bytovými jednotkami) je zateplena a splňuje požadavky součinitele prostupu tepla dle normy.

Pokud by panelový dům zvažoval rekonstrukci, doporučuji zaměřit se na obvodové stěny a střešní plášť. Zateplení těchto konstrukcí tak, aby součinitel prostupu tepla odpovídal doporučené hodnotě dle ČSN 73 0540-2, by znamenalo pro panelový dům úsporu 87,71 GJ ročně. Přepočteno na peníze by zmíněná úspora energie znamenala úsporu 55 tis. Kč ročně při současné ceně za 1 GJ (CZT) zmíněné výše.

7.2.4 Alternativní zdroje vytápění

V současné době je panelový dům vytápěn CZT, dodávané teplo pochází z Teplárny Kladno s.r.o. Teplo je v teplárně odebíráno jako vedlejší produkt při výrobě elektrické energie spalováním hnědého uhlí. Investice do alternativních zdrojů by měla obyvatelům panelového domu Wednesbury 2222 ušetřit náklady a zároveň by měla být šetrnější k životnímu prostředí. Pro panelový dům navrhuji jako alternativní zdroje tepla plynovou kotelnu, kotel na biomasu a tepelné čerpadlo.

Záměrně nenavrhuji jako alternativní zdroj solární termické kolektory. Plocha střechy panelového domu činí 280 m², z této plochy lze použít pro instalaci solárních kolektorů plochu téměř 250 m². Plocha střechy by měla být postačující pro pokrytí tepelné ztráty panelového domu za předpokladu použití akumulace. Akumulace je nezbytnou součástí solárních kolektorů v tomto případě, protože panelový dům je potřeba vytápět ve dne i v noci. V jedenáctém podlaží není pro akumulační nádrž prostor ve společné části objektu. Akumulaci by bylo možno umístit v suterénu, kde je dostatek prostoru. Problém je v instalačních šachtách, které nejsou dimenzovány na další stoupačí potrubí. Systém solárních kolektorů nelze u panelového domu z uvedených důvodů instalovat.

Prvním navrhovaným alternativním zdrojem tepla je plynová kotelná. Pro pokrytí tepelných ztrát panelového domu navrhuji soustavu dvou plynových kotlů. V případě kolapsu jednoho z kotlů zajistí druhý kotel bezpečnou dodávku tepla celému objektu. Investiční náklady zahrnují vybudování plynové kotelny v suterénu panelového domu, stavební úpravy, zhotovení plynovodní přípojky, vyhotovení projektové dokumentace a inženýring. Investiční náklady do plynové kotelny u panelového domu činí 594 tis. Kč.

Provozní náklady jsou obdobně jako u sportovního gymnázia složeny z variabilních a fixních nákladů. Variabilní složku nákladů tvoří náklady na palivo, které se mění v průběhu roku podle aktuální měsíční spotřeb. V průběhu let se cena mění v důsledku ceny růstu energií. Ve výpočtu variabilních nákladů jsem zahrнула růst ceny energií navýšením ceny zemního plynu každý rok o 1 %. Fixní složku nákladů tvoří náklady na povinnou revizi kotlů, náklady na revizi spalinových cest a čištění komínu a náklady na předpokládané opravy.

Druhým navrženým alternativním zdrojem je soustava kotlů na biomasu. V případě panelového domu navrhuji soustavu dvou automatizovaných kotlů na peletky. Peletky jsou jednodušší na skladování než kusové dříví a brikety a jejich skladování je čisté. Investiční náklady kotelny na biomasu činí 495 tis. Kč a zahrnují vybudování kotelny se soustavou dvou kotlů včetně instalování dvou komínů s vývodem na fasádu, stavební přípomoci, vybudování skladu, vypracování projektové dokumentace a inženýring.

Provozní složku tvoří variabilní náklady na palivo – peletky, a fixní náklady. V případě panelového domu budou peletky skladovány v blízkosti automatických kotlů. Palivo musí být doplňováno přibližně každé tři dny a přibližně jednou za 14 dní musí být složeny nové peletky do prostoru skladu. Pro výpočet předpokládám, že tuto práci budou střídavě vykonávat uživatelé panelového domu. Pokud by obyvatelé panelového domu nebyli schopni tuto práci vykonávat sami, fixní náklady by se navýšily ročně o 240 tisíc Kč, tuto variantu ve výpočtu neuvažuji. Uvažované fixní náklady zahrnují povinné revize kotlů a komínů, každoroční servisní kontroly, čištění komínů a předpokládané opravy. Investice do kotelny na biomasu je pro účely výpočtu cash flow a návratnosti idealizována. Předpokládám, že všichni obyvatelé panelového domu jsou schopni a ochotni střídat se při skládání a přikládání peletek.

Třetím navrhovaným zdrojem je tepelné čerpadlo. Pozemky v okolí panelového domu patří městu, nejsou majetkem obyvatel panelového domu ani bytového sdružení. V případě tepelného čerpadla země-voda by sdružení muselo zažádat o povolení provést zemní jímače (povrchové nebo hloubkové) na pozemcích města. Není jisté, zda by této žádosti bylo vyhověno, nebo by byla zamítnuta. Ze zmíněného důvodu navrhuji pro panelový dům soustavu tepelných čerpadel vzduch-voda. Tepelná čerpadla vzduch-voda musí být posouzena odborníkem v oboru akustiky, a musí splňovat limitní hodnotu hladiny akustického ruchu [30]. V případě tepelného čerpadla vzduch-voda musí sdružení taktéž zažádat o povolení využívání okolních pozemků, protože hranice pozemku panelového domu končí v místě obvodové stěny. Pro potřeby výpočtu uvažuji povolení umístění soustavy tepelných čerpadel v blízkosti panelového domu na pozemku města.

Investiční náklady tvoří instalace soustavy 2 tepelných čerpadel systému vzduch-voda, stavební úpravy a přípomoci, napojení na elektrickou síť, vypracování projektové dokumentace a inženýring. Investiční náklady soustavy tepelných čerpadel činí 611 tis. Kč. Variabilní složku provozních nákladů tvoří náklady na elektrickou energii, která je potřeba pro chod čerpadel. Fixní složku provozních nákladů tvoří náklady na nezbytné revize a případné opravy soustavy.

Investiční a provozní náklady byly v případě panelového domu stanoveny stejnými metodami jako v případě sportovního gymnázia. Investiční a provozní náklady všech navrhovaných alternativních zdrojů jsou podrobně rozepsány v Příloze 3.

7.2.5 Cash flow, návratnost investice

Cash flow investic do alternativních zdrojů vytápění bylo v případě panelového domu sestavováno obdobně jako v případě sportovního gymnázia. Investiční a provozní náklady jednotlivých alternativních zdrojů jsou popsány v předchozí kapitole. Příjmy vstupující do cash flow se rovnají úspoře nákladů. Výdaje se rovnají provozním nákladům. Cash flow jednotlivých investic do alternativních zdrojů vytápění jsou zapsány v tabulkách, které jsou Přílohou 3 této diplomové práce.

Cash flow bylo sestaveno za účelem zhodnocení investice do různých variant alternativních zdrojů vytápění. V Tabulce 15 jsou zapsána hodnotící kritéria – čistá a diskontovaná doba návratnosti, čistá současná hodnota a množství tuhých znečišťujících látek za období jednoho roku.

Tabulka 15: Posuzovaná kritéria investic do alternativních zdrojů vytápění panelového domu Wednesbury 2222

Kritérium hodnocení	měrná jednotka	plynový kotel	kotel na biomasu	tepelné čerpadlo	solární kolektory
Prostá doba návratnosti (PP)	roky	5,00	5,00	3,00	-
Diskontovaná doba návratnosti (DPP)	roky	5,00	5,00	3,00	-
Čistá současná hodnota (NPV) - 15 let	Kč	1 367 780,40	1 235 519,07	2 745 899,36	-
Vnitřní výnosové procento (IRR)	%	7,25	5,54	27,76	-
Emise tuhých znečišťujících látek	g/rok	408,67	59 177,34	0,00	0,00

Zdroj: vlastní zpracování

Obdobně jako u objektu sportovního gymnázia Kladno posuzují varianty podle kritéria čistá současná hodnota (NPV). Podle čisté současné hodnoty vychází nejlépe varianta tepelného čerpadla. Druhým ekonomicky nejvýhodnějším zdrojem je podle výsledků v Tabulce 15 zemní plyn. V případě panelového domu je počáteční investice do tepelného čerpadla výrazně nižší než u objektu sportovního gymnázia. Díky nižší počáteční investici je diskontovaná doba návratnosti u tepelného čerpadla kratší než v případě investice do soustavy kotlů na zemní plyn.

V rámci ekologického zhodnocení investice do vybraných alternativních zdrojů je kritériem výše emisí TZL. Z vybraných variant vychází nejlépe tepelné čerpadlo s nulovými lokálními emisemi TZL. Z hlediska ekologie je přijatelným alternativním zdrojem i zemní plyn. Biomasa s lokálními emisemi TZL rovnými téměř 60 kg za rok nesplňuje úvodní požadavek práce na šetrnost alternativních zdrojů k životnímu prostředí.

7.3 Studie dopadu odpojení na tepelnou elektrárnu Kladno

Tepelná elektrárna Kladno vyrábí elektrickou energii spalováním hnědého uhlí a zemního plynu. Teplo dodávané spotřebitelům je vedlejším produktem procesu výroby elektrické energie. V současnosti prodává tepelná elektrárna Kladno odebrané teplo společnosti TEPO s.r.o, která ho dále distribuuje koncovým uživatelům.

V Kladně je systémem CZT vytápěno 90 % domácností. TEPO s.r.o. zaznamenává celkem 713 celkových odečtů. V roce 2018 prodalo TEPO s.r.o. odběratelům množství tepla ve výši 650 tisíc GJ za průměrnou cenu 587 Kč/GJ. Cenu tepla tvoří pohyblivá a pevná složka. Pohyblivou složku ceny tvoří náklad společnosti TEPO s.r.o. na teplo, jedná se o částku, kterou společnost zaplatí za teplo teplené elektrárně. Pevnou složku ceny tvoří náklady na chod společnosti – vlastní provozní a správní režie společnosti [79].

Pokud by se odpojila více než polovina odběratelů od systému CZT, můžeme předpokládat růst ceny tepla. Náklady na provozní a správní režie by byly v takovém případě rozpočítány na menší objem tepla, můžeme předpokládat zdvojnásobení ceny pevné složky. Pokud budeme uvažovat poměr složek 1:1, dojde ke zvýšení ceny o polovinu. Cena tepla by se mohla zvýšit až na 890 Kč/GJ.

Tepelná Elektrárna Kladno, jak už bylo řečeno, vyrábí především elektrickou energii. Podle slov Ing. Kostova, vedoucího technického rozvoje TE Kladno, by odpojení poloviny uživatelů od CZT neměl zásadní vliv na chod tepelné elektrárny, protože cílem tepelné elektrárny je vyrábět elektrickou energii. Se slovy Ing. Kostova souhlasí i Pavel Válek, vedoucí technik pro správu budov TE Kladno. Vzájemně se shodují také na možném navýšení ceny dodávky tepla [30, 83].

Významný dopad v případě odpojení více uživatelů by nastal v případě menší teplárny, která by mohla dojít až do stadia krachu. To ale není případ kladenské tepelné elektrárny. Jedinou otázkou tak zůstává, jestli není kontraproduktivní odpojovat se od systému CZT, který zajišťuje spolehlivou a pro uživatele bezúdržbovou dodávku tepla. Tepelná elektrárna bude při odpojení více uživatelů vyrábět dál ve stejné míře, odpojením nedojde ani ke snížení globálních emisí.

8. Diskuze výsledků a závěr

Výsledky případových studií mají různý význam v souvislosti s odlišnými pohledy jednotlivých účastníků odpojení od CZT. Pohled na výsledky se liší podle preferencí. Následující kapitola zhodnocuje výsledky z pohledu investora, uživatele budovy, z pohledu široké veřejnosti, města, kraje nebo státu. Dále hodnotí výsledky z pohledu distributora tepelné energie a pohledu tepelné elektrárny Kladno.

Uživatelé budovy, pokud není zároveň investorem, zajímá nejvíce komfort. V případě vytápění systémem centrálního zásobování teplem je komfort uživatelů vysoký. Servis výměníku i distribuční sítě zajišťuje správce nebo majitel distribuční sítě. V případě města Kladna zajišťuje servis společnost TEPO s.r.o. Odpojení od CZT znamená pro uživatele narušení komfortu.

Pokud zvolí jako alternativní zdroj plyn, tepelné čerpadlo nebo solární kolektor, přibude nutnost provádět revize zařízení. V případě panelového domu musí dojít ke shodě, kdo bude mít na starosti zmíněné revize. U sportovního gymnázia může revize provádět školník nebo hospodář za příplatek. Pokud uživatel zvolí jako alternativní zdroj kotel na biomasu, musí počítat s nutností doplňovat zásobník paliva. Obyvatelé panelového domu musí dospět k dohodě, jakým způsobem bude zásobník doplňován a určit osobu, která tímto doplňováním bude pověřena. Pokud by zvolili způsob střídání se v doplňování, musí být předem učeno jakým způsobem budou zásobník doplňovat lidé, kteří nemohou tuto práci vykonávat a bydlí sami. V případě placeného kotelníka musí být kotelník předem obeznámen s četností doplňování a musí s ním být sepsána smlouva, kterou je potřeba evidovat. V případě sportovního gymnázia může tyto práce provádět školník za předpokladu navýšení mzdy. Z pohledu uživatele budov a jejich komfortu může nastat problém i s hlučností tepelného čerpadla, které může dosahovat hladiny akustického hluku až 42 dB. V případě panelového domu si mohou stěžovat i obyvatelé okolních objektů. Z hlediska komfortu je pro uživatele nejvýhodnější zůstat u vytápění systémem CZT.

Odlišný může být pohled uživatele – investora. Cena za 1 GJ tepla ze systému CZT je na Kladensku poměrně vysoká. Případové studie ukazují, že úspora nákladů v případě investice do alternativních zdrojů převyšuje po období maximálně pěti let výši původní investice. Prvním důvodem vysoké úspory nákladů je vysoký rozdíl ceny za teplo z CZT a za teplo vyrobené z alternativního zdroje. Druhým důvodem jsou vysoké tepelné ztráty vybraných objektů, které generují vysoké celkové ceny placené majiteli objektů.

V případě panelového domu vychází pro investora nejvýhodněji investice do tepelného čerpadla. Druhým nejvýhodnějším zdrojem je zemní plyn. V případě areálu sportovního gymnázia jsou nejvýhodnějším zdrojem solární kolektory. Investice do alternativního zdroje by měla vždy probíhat současně se zateplením objektu, aby investor předešel předimenzování zdroje vytápění.

Z pohledu široké veřejnosti může být nechtěným alternativním zdrojem biomasa. Množství emisí tuhých znečišťujících látek uvolněné do ovzduší při spalování peletek v automatických kotlích by mohlo negativně ovlivnit ovzduší v okolí objektů. Problém s hlukem může nastat u příliš hlučných tepelných čerpadel, pokud by byla nevhodně orientována směrem k okolní zástavbě.

Investice do alternativních zdrojů, především do tepelných čerpadel nebo solárních kolektorů by mělo ocenit město, kraj i stát v rámci snahy o postupnou dekarbonizaci. V rámci kraje a státu může investor čerpat finance z různých dotačních programů. Z pohledu města může být nechtěná investice do soustavy kotlů na biomasu, které mohou lokálně zhoršit kvalitu ovzduší.

V případě tepelné elektrárny Kladno je zájem o odpojení od CZT hodnocen neutrálně. Tepelná elektrárna vyrábí především elektrickou energii a teplo je pouze doplňkovým produktem. Ani odpojení většiny odběratelů od centrálního zásobování teplem by tepelná elektrárna neznamenala takovou ztrátu, aby musela ukončit svůj provoz. Naopak pro distributora tepelné energie může odpojení více uživatelů znamenat ztrátu. Distributor tepla a správce tepelné sítě může reagovat na odpojení navýšením ceny tepla pro ostatní uživatele, při snaze vyrovnat ztráty způsoben odpojením.

Rozhodování o odpojení se od systému CZT a investování do vlastního zdroje vytápění musí být vždy provázeno zpracováním studie proveditelnosti a energetického posudku. Studie proveditelnosti zohledňuje okrajové podmínky projektu, které jsou při návrhu a následném posouzení investice do alternativních zdrojů tepla klíčové. Okrajové podmínky projektu rozhodují o jeho proveditelnosti a o jeho úspěšnosti.

V posuzovaných případech se nabízí řešení v podobě zateplení objektů a následné výměny zdroje vytápění. Obvodové konstrukce obou objektů nespĺňují hodnoty součinitele prostupu tepla doporučené normou. Nedostatečné zateplení střešního pláště, obvodového pláště a podlahy má za důsledek vysoké tepelné ztráty objektů. Tepelné ztráty přímo ovlivňují výši potřeby tepla pro vytápění. Pokud by majitelé těchto objektů chtěli výrazně ušetřit náklady na energie (teplo), doporučuji investovat do komplexní rekonstrukce, která bude zaměřena především na zateplení zmíněných konstrukcí.

Případové studie ukázaly, že nejvýhodnějším alternativním zdrojem pro objekt panelového domu je tepelné čerpadlo a pro objekt sportovního gymnázia solární termické kolektory. Pokud by vlastníci vybraných objektů zvažovali investici do alternativních bez předchozího zateplení, alternativní zdroje by musely být dimenzovány na velké tepelné ztráty. V případě tepelného čerpadla i solárních kolektorů to znamená vysokou počáteční investici. Pokud by investoři investovali v současnosti do alternativního zdroje vytápění a v horizontu deseti let do zateplení, instalované alternativní zdroje by byly předimenzovány. Proto doporučuji nejprve provést komplexní zateplení a následně výměnu zdroje vytápění.

Cíle diplomové práce byly splněny. Pro vybrané objekty byly navrženy, porovnány a zhodnoceny alternativní zdroje vytápění. Ekonomicky nejvýhodnějšími zdroji jsou solární kolektory v případě sportovního gymnázia a tepelné čerpadlo v případě panelového domu. Případové studie dokazují, že navržené alternativní zdroje vytápění jsou ekonomicky výhodné. Oba zmíněné zdroje využívají obnovitelnou energii a produkují nulové emise tuhých znečišťujících látek. Mimo ekonomické výhodnosti tak splňují i podmínku šetrnosti k životnímu prostředí a podmínku dlouhodobé udržitelnosti.

9. Citovaná literatura

- [1] Dálkové vytápění [online]. Teplárenské sdružení České republiky. [vid. 8. říjen 2019]. Dostupné z: www.naseteplo.cz
- [2] Počinková, M. Treuová, L. Vytápění. Brno: Computer Press, 2011. ISBN 978-80-251-3329-3
- [3] BP. BP Statistical Review of World Energy, Coal. [online] BP, 2019. [vid. 12. listopad 2019] Dostupné z: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-coal.pdf>
- [4] vlk, ČTK. Česko má zásoby hnědého uhlí už jen na 18 let. Další těžba za limity bude obtížná. [online] Hospodářské noviny, 27. únor 2012. [vid. 27. listopad 2019]. Dostupné z: <https://byznys.ihned.cz/c1-54858870-cesko-ma-zasoby-hnedeho-uhli-uz-jen-na-18-let-dalsi-tezba-za-limity-bude-obtizna>.
- [5] Dufka, J. Vytápění. Praha: Sobotáles, 2001. ISBN 80-85920-80-8
- [6] Ministerstvo průmyslu a obchodu. Vyhláška č. 78/2013 Sb., O energetické náročnosti budov. Praha: MPO, 2013
- [7] Rubinová, O. Budovy a energie; Energetická náročnost a legislativa ČR. [online] Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2019. [vid. 25. říjen 2019]. Dostupné z: fce.vutrb.cz/TZB/rubinovala/prednasky/tp08.pdg.
- [8] Karásek, J. Energetický management. [přednáška] Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, jaro 2019
- [9] Matuška, T. Hodnocení energetické náročnosti z pohledu primární energie. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta strojní, 2019.
- [10] Petráš, D. Vytápění rodinných a bytových domů. Bratislava: Jaga group, s.r.o., 2005. ISBN 80-8076-020-9.
- [11] International Energy Agency. [online] IEA, 2019. [vid. 10. duben 2019]. Dostupné z: <https://www.iea.org/geco/emissions/>
- [12] Ministerstvo životního prostředí. Obnovitelné zdroje energie. Praha: MŽP, 2009.
- [13] Ministerstvo životního prostředí. [online] MŽP, 2018 - 2019. [vid. 1. říjen 2019]. Dostupné z: www.mzp.cz
- [14] Tywoniak, J. a kol. Nízkoenergetické domy 3. Praha: Grada Publishing, s.r.o., 2012. ISBN 978-80-247-3832-1.
- [15] Svoboda, Z. Stavební fyzika. [přednáška]. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2016.
- [16] ANT studio. Šance pro budovy. [online] ANT studio, 2018. [vid. 20. září 2019]. Dostupné z: <https://sanceprobudovy.cz/energeticke-standardy/>
- [17] Ministerstvo průmyslu a obchodu. Vyhláška č. 309/2016 Sb., O energetickém auditu a energetickém posudku. Praha: MPO, 2016.

- [18] Ministerstvo průmyslu a obchodu. Vyhláška č. 194/2007 Sb., Vyhláška, kterou se stanoví pravidla pro vytápění a dodávku teplé vody, měrné ukazatele spotřeby tepelné energie pro vytápění a pro přípravu teplé vody a požadavky na vybavení vnitřních tepelných zařízení budov přístroji regulujícími dodávku tepelné energie konečným spotřebitelům. Praha: MPO, 2007.
- [19] Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. ČSN 06 0210, Výpočet tepelných ztrát budov oří ústředním vytápění. Praha: Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1994.
- [20] ČSN 38 3350, Zásobování teplem, všeobecné zásady. 91.140.10. Praha: ÚNMZ, 1989.
- [21] Vaněček, M. Instalační zařízení budov. Praha: Technické knihkupectví a nakladatelství, 1949.
- [22] Srbek, F. Topení a větrání budov. Praha: vlastní nakladatelství, 1913.
- [23] Kabele, K. Vytápění. [přednáška] Praha: Fakulta stavební, ČVUT v Praze, 2017.
- [24] Energetický regulační úřad. Roční zpráva o provozu teplotárenských soustav ČR. Praha: Oddělení statistiky a sledování kvality ERÚ, 2019.
- [25] Kabrhel, M. Využití biomasy a akumulární zdroje pro vytápění RD. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, katedra TZB, 2002.
- [26] Europe écologie les Verts. [online] Écolosites EELV 2012, 2019. [vid. 2. duben 2019]. Dostupné z: <http://energie.eelv.fr/la-transition-energetique/comment/des-energies-renouvelables-dans-le-batiment/>
- [27] Guduru, V., Suresh, B., Sumit, Ch. Use of renewable energy sources in construction of green building. Rajasthan, Indie: Volume 3 Issue, 2015. ISSN 2321-9653.
- [28] Aldrich, R. WBDG. [online] WBDG, 10. červen 2016. [vid. 31. březen 2019]. Dostupné z: <https://www.wbdg.org/resources/alternative-energy>
- [29] Sherrard, A., Jeřábková, J. Klimaticky příznivé dálkové vytápění s biocharem. Biom.cz, 2017.
- [30] Kostov, M. Alternativní zdroje a historie TE Kladno. [přednáška] Kladno: 2019.
- [31] Haron Robson. [online] Haron Robson, 2019. [vid. 1. duben 2019] Dostupné z: <http://www.haronrobson.com.au/product-and-technology-reviews/what-is-tri-generation>
- [32] ecosave. [online] ecosave, 11. prosinec 2017. [vid. 30. březen 2019] Dostupné z: <https://ecosave.com.au/news-insights/cogeneration-vs-trigeneration/>
- [33] Trávníček, Karafiát. Kogenerace pomocí plynových spalovacích motorů. [online] Biom, 2019. [vid. 30. březen 2019]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/kogenerace-pomoci-plynovych-spalovacich-motoru>
- [34] Svačinka, M. [online] tzb info, 24. červen 2017. [vid. 1. duben 2019]. Dostupné z: <https://m.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/15954-univerzita-topi-laserem-a-chladi-zemnimi-vrty>
- [35] Nepsen. Energies renouvelables. [online] Nepsen, 2019. [vid. 3. duben 2019] Dostupné z: <https://nepsen.fr/expertises/energies-renouvelables/>

- [36] Karlík, R. Tepelné čerpadlo pro Váš dům. Praha: Grada Publishing a.s., 2009. ISBN 978-80-247-2720-2
- [37] Český hydrometeorologický ústav. [online] Resort životního prostředí, 2018. [vid. 12. listopad 2019] Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data>.
- [38] Ramlow, B., Nusz, B. Solar water heating. Canada: New Society Publishers, 2009. ISBN 978-0-86571-561-5
- [39] Kabele, K. a kol. Energetické a ekologické systémy 1: Zdravotní technika, vytápění. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03327-9
- [40] Hadorn, J.-Ch.. Solar and Heat Pump Systems for Residential Buildings. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn, 2015. ISBN 978-3-433-03040-0
- [41] Čez, a.s. [online] Simopt, s.r.o., 1999. [vid. 12. listopad 2019]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/vykladovy-slovník-energetiky/hesla/vyhrevnost.html>.
- [42] Katedra technických zařízení buov. Projekční podklady a pomůcky - Výhřevnosti jednotlivých druhů paliv. [online] 2019. [vid. 26. listopad 2019]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/?mod=podklady&id=27>.
- [43] tzb info. Porovnání nákladů na vytápění podle druhu paliva. [online] tzb info, 2001 - 2020. [vid. 22. listopad 2019]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/139-porovnani-nakladu-na-vytapani-podle-druhu-paliva>
- [44] OKD. [online] OKD, 2012. [vid. 22. listopad 2019]. Dostupné z: <https://www.okd.cz/cs/o-nas>
- [45] Energie pro ČR. [online] [vid. 22. listopad 2019] Dostupné z: <http://www.naseuhli.cz/kde-se-tezi>
- [46] Krčová, M. Energetika info.cz. [online] 20. červen 2017. [vid. 5. květen 2019]. Dostupné z: https://www.energetikainfo.cz/33/vyvoj-teplarenstvi-v-prubehu-liberalizace-energetiky-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4Ev1_nn3lxjM1NfaZkAGNcLSMB8q2Z8oGSQ/
- [47] Teplárenské sdružení České republiky. [online] tscr, 2019. [vid 2. květen 2019] Dostupné z: <http://www.tscr.cz/>
- [48] Štěchovský, J. Vytápění. Praha: STNL - Nakladatelství technické literatury, 1987.
- [49] Felcman, J. Boje na poli teplárenství: Povolování odpojení od soustavy centrálního zásobování teplem. [online] Ministerstvo vnitra, 2011. [vid. 21. prosinec 2019]. Dostupné z: <https://www.mvcr.cz/cthh/docDetail.aspx?docid=21646121&doctype=ART>
- [50] Parlament České republiky. Zákon č. 183/2006 Sb., Zákon o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon). Praha: Parlament ČR, 2006
- [51] Ministerstvo životního prostředí. Zákon č. 201/2012 Sb., Zákon o ochraně ovzduší. Praha: MŽP, 2012.
- [52] Energo-Ervi, s.r.o. Územní energetická koncepce Středočeského kraje (2017 - 2041). Praha: Energo-Ervi, s.r.o., 2018.

- [53] Parlament ČR. Zákon č. 458/2000 Sb., Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon). Praha: Parlament ČR, 2000.
- [54] Ministerstvo pro místní rozvoj. Vyhláška č. 268/2009 Sb., Vyhláška o technických požadavcích na stavby. Praha: MMR, 2009.
- [55] 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. 91.120.10 Tepelné izolace. Praha: ÚNMZ, 2019.
- [56] ČSN EN 12831. Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu. ICS 91.120.10; 91.140.10 Praha: ÚNMZ, 2018.
- [57] ČSN 73 0540-3: Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin. 91.120.10 Tepelné izolace. Praha: ÚNMZ, 2005.
- [58] ČSN 73 0540-2: Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky. 91.120.10 Tepelné izolace. Praha: ÚNMZ, 2011.
- [59] Ministerstvo pro místní rozvoj. Vyhláška č. 268/2009 Sb., Vyhláška o technických požadavcích na stavby. Praha: Ministerstvo pro místní rozvoj, 2009.
- [60] Svoboda, S. Energie 2019. Praha: Energie EDU, program, 2019.
- [61] Parlament České republiky. Zákon č. 406/2000 Sb., O hospodaření energií. Praha: Parlament České republiky, 2000.
- [62] ČTK. O energetice. [online] ČTK, 13. březen 2018. [vid. 10. duben 2019]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/rychle-zpravy/hlavnim-znecistovatelem-v-cr-je-doprava-a-lokalni-vytapeni/>
- [63] ČHMÚ. [online] ČHMÚ, 2019. [vid. 10. duben 2019]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/ruzne/vyuka/CISTOTA/3.pdf>.
- [64] Ministerstvo životního prostředí. Národní program snižování emisí. Praha: MŽP, 2007.
- [65] Brzezina, J. CO₂ emise podle zemí. Brno: Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, 2018.
- [66] Ministerstvo průmyslu a obchodu. Vyhláška č.480/2012 Sb., Vyhláška o energetickém auditu a energetickém posudku. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2012.
- [67] Koloničný, J., Kupka, D., Horák, J., Tomšejová, Š. Vliv malých zdrojů tepla na ovzduší v obci včetně spoluspalování vybraných komunálních odpadů. Vliv spalování komunálního odpadu v malých zdrojích tepla na životní prostředí v obcích. Ostrava: Výzkumné energetické centrum, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2015.
- [68] Prostějovská, Z. Řízení stavebních projektů. Vstupy pro rozhodování investora, financování, časová hodnota. [přednáška] Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2019.
- [69] e.on. Za co se platí ekologická daň? [online]. eon, 2019 [vid. 15. prosinec 2019]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/za-co-se-plati-ekologicka-dan>.

- [70] Státní fond životního prostředí ČR. Nová zelená úsporám. [Online] Praha, 2019. [vid. 3. prosinec 2019]. Dostupné z: www.novazelenausporam.cz
- [71] Ministerstvo pro místní rozvoj. Integrovaný regionální operační program: Specifická příručka pro žadatele a příjemce. Praha: Odbor řízení operačních programů, 2018.
- [72] Státní fond životního prostředí ČR. [online] Praha, 2019. [vid. 4. prosinec 2019] Dostupné z: <https://www.sfzp.cz/dotace-a-pujcky/kotlikove-dotace/>
- [73] Ministerstvo pro místní rozvoj. Státní fond rozvoje bydlení. [online] Praha, 2019. [vid. 4. prosinec 2019]. Dostupné z: <http://www.sfrb.cz/programy-a-podpory/program-panel-2013/>
- [74] Ministerstvo životního prostředí. Operační program Životní prostředí. [online] 2019. [vid. 4. prosinec 2019] Dostupné z: <https://www.opzp.cz/o-programu/>
- [75] OPPIK: Informační portál o dotacích pro podnikatele. [online] 2019. [vid. 4. prosinec 2019]. dostupné z: <https://www.opdik.cz/>
- [76] Ministerstvo průmyslu a obchodu. Efekt: energie efektivně. [online] MPO, 2008. [vid. 4. prosinec 2019]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/cz/programy-podpory/efekt/aktivity-programu>
- [77] Schneiderová Heralová, R. Life Cycle Cost optimalization within decision making on alternative designs of public buildings. Praha: Procedia Engineering, 2014.
- [78] Karásek, J., Pojar, J., Koločai, L., Schneiderová Heralová, R. Cost optimum calculation of energy efficiency measures in the Czech Republic. Energy Policy, 2018, Sv. 123.
- [79] TEPO s.r.o. Výroční zpráva 2018 Tepo s.r.o. Kladno: Tepo s.r.o., 2019.
- [80] Konvička, V. Solvayovy lomy. [online] 2015. [vid. 5. říjen 2019]. Dostupné z: <http://podzemi.solvayovylomy.cz/histor/lokality/kladno/KLADNO.htm>
- [81] Horčíčková, K. Těžbu uhlí na Kladensku dodnes připomíná několik důlních objektů [online] Kladenské listy. červen, 2019, Sv. 23, Dostupné z: www.kladenskelisty.cz
- [82] Kovařík, J. Proměny: Z historie kladenských hutí. Kladno POLDI SONP Kladno, 1982.
- [83] Válek, P. Historie tepelné elektrárny Kladno. [rozhovor] Kladno, září 2019.
- [84] Sportovní gymnázium Kladno [online] SGAGY, 1. leden 2019. [viid. 20. listopad 2019]. Dostupné z: <https://www.sgagy.cz/skola.html>
- [85] Havlůjová, K. Sportovní gymnázium Kladno. [rozhovor] Kladno, 11. říjen 2019.
- [86] Ateliér B 11 - Švácha, Libický, Veselý. Architektonicko-stavební část. Projektová dokumentace Sportovního gymnázia Kladno. Praha: Krajský projektový ústav Praha, 1978.
- [87] Kárník, J. Energetický audit: Sportovní gymnázium Kladno. Kladno: REA Kladno, s. r. o. , 2007.
- [88] URS. Ceník URS 2019. Praha, URS, 2019
- [89] FK Servis. Ceník. [online] FK Servis, 2019 [vid. 25. prosinec 2019] Dostupné z: <http://fk-servis.cz/cenik>

- [90] el-ba group. Ceník služeb. [online] el-baa group, 2019 [vid. 25. prosinec 2019]. Dostupné z: <http://www.tepelna-technika.cz/cenik/>
- [91] cztc. Ceník služeb. [online] cztc, 2019 [vid. 25. prosinec 2019]. Dostupné z: <http://www.cztc.cz/cenik-tepelna-cerpadla/>
- [92] Sun Pi, s.r.o. Ceník servisních prací a materiálu solárních systémů 2018. [online] Sun Pi, s.r.o., 2018 [vid. 25. prosinec 2019] Dostupné z: <http://sun-pi.cz/wp-content/uploads/2018/01/SERVIS-TERMIKA-2018.pdf>
- [93] hqline. Ceník servisních prací a materiálu pro opravu termických solárních systémů. [online] hqline, 2019 [vid. 25. prosinec 2020] Dostupné z: https://www.hqline.cz/docs/Dokumenty/Cenk_servisnich_prac_a_materilu_pro_opravu_termickc_solrnch_systm.pdf
- [94] eon. Ceník Komplet plyn. [online] eon, 2018. [vid. 22. listopad 2019]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/domacnosti/elektrina-a-plyn/ceniky>
- [95] HOSTOMSKÝ - krbová kamna, kotle. [online] Hostomský, 2019 [vid. 3. prosinec 2019]. Dostupné z: <http://www.hostomsky.cz/brikety/brikety.htm>
- [96] Baroš, R. Projektová dokumentace. Architektonicko-stavební řešení. Praha: Krajský projektový ústav, 1963.
- [97] Mrázek, K. Energetický audit: Panelový dům, Wednesbury 2222. Kladno: Stavebně technický ústav - E, a.s., 2008.
- [98] TEPO, s.r.o. Faktura za dodané teplo v období 2018. Kladno: TEPO s.r.o., 2018.
- [99] SBD ocelář. Technická zpráva. Osazení termostatických ventilů Danfoss, Panelový dům, Wednesbury 2222. Kladno: 2003.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma kogenerační jednotky, Zdroj: vlastní zpracování.....	24
Obrázek 2: Schéma trigenerační jednotky, Zdroj: vlastní zpracování.....	25
Obrázek 3: Schéma kombinovaného systému solárních kolektorů a tepelného čerpadla.....	27
Obrázek 4: Schéma soustavy zásobování tepelnou energií.....	31
Obrázek 5: Tepelná elektrárna Kladno.....	56
Obrázek 6: Sportovní gymnázium Kladno.....	57
Obrázek 7: Pavilon U 1.1.....	60
Obrázek 8: Panelový dům Wednesbury 2222, Kladno.....	68

Seznam tabulek

Tabulka 1: Průměrná roční teplota a délka otopného období v České republice.....	16
Tabulka 2: Přehled energonositelů a zdrojů tepla.....	21
Tabulka 3: Výhřevnost vybraných energonositelů.....	28
Tabulka 4: Ceny paliv, porovnání let 2001, 2009 a 2019.....	29
Tabulka 5: Hodnoty Rsi a Rse dle ČSN 73 0540-3.....	40
Tabulka 6: Součinitele prostupu tepla vybraných konstrukcí dle ČSN 73 0540-2.....	41
Tabulka 7: Všeobecné emisní faktory.....	46
Tabulka 8: Měrné emisní faktory vybraných energonositelů.....	47
Tabulka 9: Měrné emisní faktory vybraných energonostielů vztažené k jednotce výhřevnosti.....	47
Tabulka 10: Programy státní podpory.....	49
Tabulka 11: Průměrná venkovní teplota, počet dní ÚT a denostupně na Kladensku v letech 2016 – 2018.....	54
Tabulka 12: Přehled součinitelů prostupu tepla konstrukcí pavilonu U 1.1.....	62
Tabulka 13: Posuzovaná kritéria investic do alternativních zdrojů vytápění Sportovního gymnázia Kladno.....	66
Tabulka 14: Součinitele prostupu tepla konstrukcí panelového domu Wednesbury 2222.....	71
Tabulka 15: Posuzovaná kritéria investic do alternativních zdrojů vytápění panelového domu Wednesbury 2222.....	74

Seznam grafů

Graf 1: Porovnání celkové potřeby energie budovy pro jednotlivé energetické standardy....	15
Graf 2: Podíl energonositelů na výrobě tepla.....	20
Graf 3: Podíl energonositelů na dodávce tepla CZT.....	30
Graf 4: Měsíční potřeba tepla pro vytápění pavilonu U 1.1.....	61
Graf 5: Podíl tepelných ztrát konstrukcí Sportovního gymnázia Kladno.....	62
Graf 6: Potřeba tepla pro vytápění panelového domu Wednesbury 2222.....	70
Graf 7: Podíl tepelných ztrát konstrukcí obálky panelového domu Wednesbury 2222.....	71

Seznam rovnic

Rovnice 1: Roční potřeba tepla pro vytápění, zdroj [8]	39
Rovnice 2: Měsíční potřeba tepla pro vytápění, zdroj [8]	39
Rovnice 3: Výpočet potřeby tepla pro vytápění denostupňovou metodou, zdroj [23]	39
Rovnice 4: Stanovení tepelného odporu materiálu, zdroj [2]	40
Rovnice 5: Stanovení součinitele prostupu tepla konstrukcí, zdroj [2]	40
Rovnice 6: Výpočet ztrát prostupem tepla, zdroj [39]	42
Rovnice 7: Výpočet tepelných ztrát větráním, zdroj [8]	42
Rovnice 8: Výpočet solárních zisků, zdroj [8]	43
Rovnice 9: Výpočet denní potřeby teplé vody, zdroj [8]	44
Rovnice 10: Výpočet roční potřeby tepla na ohřev teplé vody, zdroj [8]	44
Rovnice 11: Výpočet čisté současné hodnoty (NPV), zdroj [66]	52
Rovnice 12: Výpočet vnitřního výnosového procenta (IRR), zdroj [66]	52
Rovnice 13: Výpočet diskontované doby návratnosti (DPP), zdroj [68]	53

Seznam příloh

Příloha 1: Skladby konstrukcí

Příloha 2: Výpočet potřeby tepla pro vytápění

Příloha 3: Náklady alternativních zdrojů, cash flow