



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

NÁVRH ZDROJE VYTÁPĚNÍ PRO RODINNÝ DŮM

DESIGN OF HEATING SOURCES FOR A FAMILY HOUSE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Roman Svoboda

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Filip Toman

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Roman Svoboda**
Studijní program: Základy strojního inženýrství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Filip Toman**
Akademický rok: 2022/23

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh zdroje vytápění pro rodinný dům

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Výběr způsobu topení a zdroje energie k vytápění patří mezi klíčová rozhodnutí, před která je majitel při výstavbě nebo rekonstrukci postaven. Je třeba nalézt správný kompromis mezi náklady spojenými s pořízením a provozem systému vytápění, časovou náročností instalace a nároky obyvatel na komfort a pohodu vytápěných prostor.

Cíle bakalářské práce:

Zpracovat stručný přehled tepelných zdrojů pro rodinné domy.
Výpočet tepelné ztráty vybraného domu.
Ekonomické zhodnocení zdrojů vytápění na základě tepelné ztráty.

Seznam doporučené literatury:

PETRÁŠ, Dušan, Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie. Bratislava: Jaga. 2008. Vytápění. ISBN 9788080760694

PAVELEK, Milan, Termomechanika. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 2011. ISBN 9788021443006

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce zaměřena na volbu zdroje vytápění staršího rodinného domu. Nejprve obsahuje shrnutí typů distribuce tepla. Druhou část pak tvoří přehled aktuálně používaných zdrojů vytápění s jejich výhodami i nevýhodami a možností kombinace s dalšími konstrukčními prvky. Třetím oddílem je výpočet tepelné ztráty předem zvoleného objektu. Na závěr se práce zabývá ekonomickým zhodnocení konkrétních zdrojů a jejich návratnost.

Klíčová slova

Tepelná ztráta, zdroje vytápění, návratnost zdroje na vytápění, volba zdroje tepla

ABSTRACT

This bachelor thesis is focused on the choice of heating source for an older family house. It contains a summary of currently used heating sources with their advantages and disadvantages and possibility of combination with other structural elements. The third section is the calculation of the heat loss of pre-selected object. Finally the thesis deals with the economic appreciation of specific sources and their cost-effectiveness.

Key words

Heat loss, heating sources, cost-effectiveness of heating source, choice of heating source

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SVOBODA, Roman. *Návrh zdroje vytápění pro rodinný dům* [online]. Brno, 2023 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/148357>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Filip Toman.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Návrh zdroje vytápění pro rodinný dům** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

.....
Jméno a příjmení

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Filipu Tomanovi za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce.

OBSAH

ÚVOD	11
1 Základní rozdělení otopných soustav	12
1.1 Lokální vytápění	12
1.2 Etážové vytápění	12
1.3 Ústřední vytápění	12
1.4 Dálkové vytápění	12
2 Základní rozdělení otopných soustav	14
2.1 Zdroje získávající teplo spalováním	14
2.1.1 Kotle na plynná paliva.....	14
2.1.2 Kotle na kapalná paliva	15
2.1.3 Kotle na tuhá paliva.....	15
2.1.4 Krby, kamna a krbové vložky	16
2.2 Zdroje získávající teplo přeměnou elektrické energie	18
2.3 Zdroje získávající teplo přejímáním tepla okolního prostředí	19
2.3.1 Tepelné čerpadlo typu vzduch/voda.....	19
2.3.2 Tepelné čerpadlo typu země/voda.....	20
2.3.3 Tepelné čerpadlo typu voda/voda	21
2.3.4 Tepelné čerpadlo typu vzduch/vzduch.....	21
2.4 Zdroje získávající teplo sběrem solární energie.....	22
3 Výpočet tepelné ztráty objektu	23
3.1 Popis řešeného objektu	23
3.2 Výpočet návrhové tepelné ztráty prostupem.....	23
3.2.1 Měrný tepelný tok prostupem přímo do venkovního prostředí.....	23
3.2.2 Měrný tepelný tok prostupem do nebo přes sousedních prostor	26
3.2.3 Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do země	27
3.2.4 Celková návrhová tepelná ztráta prostupem	27
3.3 Výpočet návrhové tepelné ztráty větráním	28
3.4 Výpočet celkového návrhového tepelného výkonu vytápěných prostor ...	29
4 Ekonomické zhodnocení potenciálních zdrojů.....	31
4.1 Vybrané potenciální zdroje tepla	31
4.1.1 Plynový kotel Vaillant VU 206/5-5 ecoTEC plus - ERP 4,2-21,2kW...	31
4.1.2 Zplynovací kotel na dřevo Atmos DC18S	32
4.1.3 Elektrokotel Thermona THERM EL 23.....	32
4.1.4 Tepelné čerpadlo NORDline N17B	32
4.2 Výpočet potřeby tepla pro vytápění.....	33
4.3 Výpočet ročních nákladů na vytápění	34
4.3.1 Roční náklady na vytápění plynovým kotlem.....	34
4.3.2 Roční náklady na vytápění kotlem na biomasu.....	34
4.3.3 Roční náklady na vytápění kotlem na biomasu.....	35
4.3.4 Roční náklady na vytápění tepelným čerpadlem vzduch-voda.....	36
4.4 Výsledné náklady.....	36

5	ZÁVĚR	38
6	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	39
7	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	42
8	SEZNAM OBRÁZKŮ	45
9	SEZNAM TABULEK.....	46
10	SEZNAM PŘÍLOH.....	47

ÚVOD

V dnešní době kolísání cen energií a nespolehlivosti dodávek fosilních paliv, je vytápění důležitým tématem, a spolu s ním související volba zdroje vytápění. Rozmach technologií a rozličné zdroje energie, nabízí v dnešní době širokou škálu možných zdrojů tepla. Správná volba zdroje vytápění má kardinální dopad na ekonomičnost provozu domácnosti, potažmo i komfort obyvatel vytápěného objektu. Volbu zdroje vytápění ovlivňuje spousta faktorů. Samotná podoba konstrukce obydlí a z ní vyplývající tepelná ztráta. Lokalita, ve které se objekt nachází, ovlivňuje volbu okolním podnebím a okolní zástavbou. Možnost přístupu k přípojkám elektrické energie zemního plynu. Důležitým prvkem při pořizování nového zdroje vytápění je perspektivita samotného zdroje a predikce vývoje jeho ceny na trhu a jeho ekologičnost.

V první kapitole je nejdříve seznámení s možnostmi distribuce tepla. Volba způsobu získávání tepla je silně ovlivněna lokalitou v případě dálkového vytápění, ale hlavně velikostí řešeného objektu.

Prvním krokem k úspěšné volbě zdroje vytápění je základní znalost druhů vytápění, princip jejich fungování a situace, v kterých je za vhodné použít. Takovéto shrnutí je provedeno v druhé kapitole. Zdroje vytápění jsou kategorizovány podle zdroje energie, ze kterého získávají teplo. U každého zdroje je uveden princip funkce, jeho výhody a nevýhody a typové příklady, kdy je vhodné daný zdroj použít.

Pro správné nadimenzování zdroje vytápění je třeba navrhnout jeho výkon z tepelné ztráty objektu, která se počítá dle normy ČSN EN 12831-1. Tato část volby může mít kritické následky z hlediska toho, že při poddimenzování by nebylo možné zajistit komfort obyvatel a při naddimenzování by se u některých zdrojů, které jsou navrženy pro vyšší výkony, snížila účinnost, nehledě na vyšší pořizovací náklady.

Konečnou volbu zdroje vytápění korunuje ekonomické zhodnocení, jenž porovnává vstupní náklady společně s náklady na provoz, a tím udává návratnost systému. Toto zhodnocení je provedeno v poslední kapitole pro čtyři vybrané zdroje na prvních sedm let, po tomto čase jsou už trendy celkových nákladů zřejmé.

1 Základní rozdělení otopných soustav

1.1 Lokální vytápění

Lokální vytápění je charakteristické vytápěním jedné až dvou místností jedním topidlem, které je zároveň i topným tělesem, což může například být elektrický přímotop, krb, kamna nebo topidla na propan-butan[26]. Výhodou tohoto způsobu vytápění jsou: nízké pořizovací náklady, rychlé oteplení vytápěného prostoru a absence potřeby trubkových rozvodů. Nevýhody tohoto způsobu jsou: velmi nákladný provoz, nutnost více topidel při vytápění větších objektů. V případě krbu a kamen je to starost s příkládáním paliva, odstraňováním popela a obtížná regulace teploty[1]. Hlavní využití lokálního vytápění je zejména v malých vytápěných prostorech či v prostorech s nízkou frekvencí využití.[26]

1.2 Etážové vytápění

Etážové vytápění je systém vytápění, při kterém se jedno topidlo používá k vytápění více místností pomocí rozvedení teplonosného média do otopných těles v jedné rovině s topidlem v jedné etáži, respektive v jednom patře[27]. Výhodou je vyšší ekonomičnost oproti lokálním topidlům. Mimoto celý otopný systém se nachází jen u jednoho spotřebitele, který může nezávisle ovládat činnost zdroje tepla a v porovnání s krbem zajišťuje větší čistotu prostředí a malé tepelné ztráty z důvodu přenosu tepla jen na krátkou vzdálenost. Nevýhody jsou: pomalý nástup oteplení oproti lokálním topidlům, potřeba zajištění požadavků pro zdroj tepla, například odvod spalin či přívod vzduchu a nutnost vyčlenění místa pro umístění zdroje tepla, jenž je zpravidla podstatně větší než lokální topidla. Oběhové systémy etážového vytápění mohou být buď nucené, tzn. cirkulace oběhu je zajištěna pomocí čerpadla, nebo termosifonové, kde se oběh zajišťuje pomocí přirozeného proudění, které zapříčiňuje ohřátí vody v jednom místě oběhu. Se zvyšující se teplotou se zvyšuje tlak, a to vyústí v proudění oběhu. Pro tento způsob jsou proto zapotřebí velké průměry potrubí, což zvýší potřebné množství vody v oběhu a tepelnou kapacitu systému, zapříčiňující obtížnější regulovatelnost. Obvyklým užitím je vytápění jednoho patra domu či jedné bytové jednotky.[1]

1.3 Ústřední vytápění

Ústřední vytápění je systém obsahující jeden zdroj tepla, který dodává teplo pomocí trubkových rozvodů skrze stoupačky v každém patře do otopných těles po celém vícepodlažním objektu[28]. Výhodami jsou ekonomičnost, kvůli většímu počtu spotřebitelů napojených na jeden zdroj a nízké tepelné ztráty zapříčiňené distribucí tepla na krátkou vzdálenost. Na rozdíl od etážového vytápění se zdroj umísťuje mimo obytné prostory. Nevýhody jsou složitější regulace tepla a celkově vyšší složitost celého vytápěcího systému. V případě poruchy hrozí odstavení většího množství uživatelů od přístupu k teplu a zamrznutí celého systému. Vzhledem ke komplexnosti systému je oběh vždy nucený. Tento způsob vytápění se užívá pro vícepatrové a bytové budovy.[1]

1.4 Dálkové vytápění

Dálkové vytápění je systém, kde se teplo přivádí ze zdroje mimo vytápěný objekt. To je buď ústřední kotelna, pro více domů nebo teplárna, jenž vyrábí elektrickou energii a zbytkové teplo posílá potrubím k jednotlivým odběratelům (nebo jen k výrobě tepla)[29]. Jako látka pro přenos tepla může sloužit voda či vysokotlaká pára, v tomto případě se ve vytápěné oblasti musí zřídit výměník tepla. Vzhledem ke své nebezpečnosti se již pára přímo k topení nepoužívá. Výhody jsou: jedna z největších ekonomičností, díky dokonalějšímu spalování paliva za vyšších teplot v teplárnách i ekologičtější a snadnější regulace tepla. Nevýhodou jsou značné tepelné ztráty vznikající přenosem tepla na dlouhé vzdálenosti.

Další nevýhodou je, že se u větších objektů musí odhadovat spotřeba tepla. Když dojde k odchýlení odhadu, tak spotřebitel platí pokutu. Dále nutnost instalace výměníku a přístupnost jen v blízkosti tepláren, které se nachází pouze v urbanisticky vyvinutých oblastech. Nejčastěji se využívá při vytápění velkých objektů jako jsou například bytové domy, školy a nemocnice.[11]

2 Základní rozdělení otopných soustav

Zdroje tepla jsou určeny k přeměně různorodých druhů energie. Od elektrické energie přes chemickou energii, solární energii sbíranou slunečními kolektory, až k energii tepelné. Takto získaná tepelná energie, je vodícím médiem, skrze potrubní systém dopravována k otopným tělesům. Tepelné zdroje se dají roztrždit podle způsobu přeměny energie, jímž teplo získávají, na zdroje získávající teplo pomocí spalování, přeměny elektrické energie, sběrem solární energie a přejímání tepla z okolí. Zdroje tepla by měly výkonostně odpovídat tepelné ztrátě domu pro udržení tepelného komfortu.

2.1 Zdroje získávající teplo spalováním

Zdroje získávající teplo spalováním přetváří chemickou energii uchovanou v palivu (kapalném, pevném a plynném) na tepelnou energii spalováním, při kterém probíhá řízená příprava hořlavé směsi paliva a okysličovadla, a jejich slučováním za intenzivního uvolňování tepla.[3] Takto získané teplo se většinou pomocí pracovního média rozvádí do vytápěného objektu, s výjimkou lokálního topidla.[2]

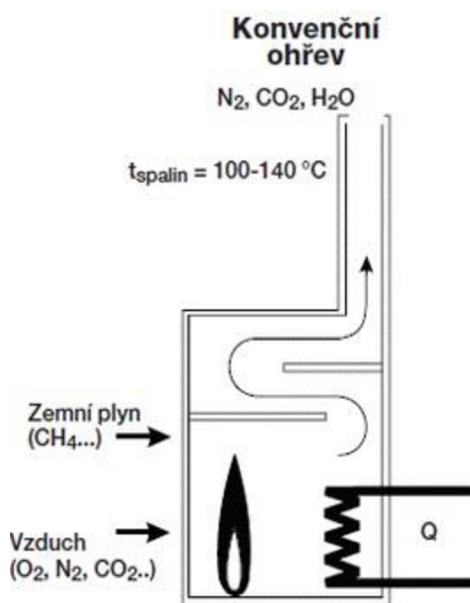
2.1.1 Kotle na plynná paliva

Kotle na plynná paliva se využívají k výrobě tepla plynnými palivy buď dodávanými, z přípojky k inženýrským sítím, či z izolovaného zdroje jako plynová bomba, v případech, kde není v okolí vytápěného objektu zaveden plynovod. Do plynných paliv se řadí všech plyny obsahující hořlavé složky. Nejčastěji se vzhledem k rozsáhlé rozvodné síti používá zemní plyn, avšak mohou se používat i jiné plyny jako například propan-butan, bioplyn, svítiplyn a LPG, v závislosti na konstrukci kotle a na faktu, že každý plyn má jinou teplotu hoření.[2]

Plynové kotle se rozdělují podle přívodu spalovaného vzduchu a odvodu spalin. Spotřebiče s odvodem i přívodem plynu z místnosti (skupina A), tento způsob se u kotlů využívá zřídka. Kotle, které přivádí vzduch z místnosti, v které jsou umístěny s odvodem spalin ven, se nazývají kotle s otevřenou spalovací komorou (skupina B). Tyto kotle musí splňovat předepsané požadavky na velikost a větrání místnosti, v níž jsou umístěny. Kotle s odvodem spalin ven, a i přívodem vzduchu mimo objekt se nazývají kotle s uzavřenou spalovací komorou (skupina C). Umístění kotlů je vymezeno normami a vyhláškami pro bezpečný provoz.[2]

- Klasické (konvenční) kotle

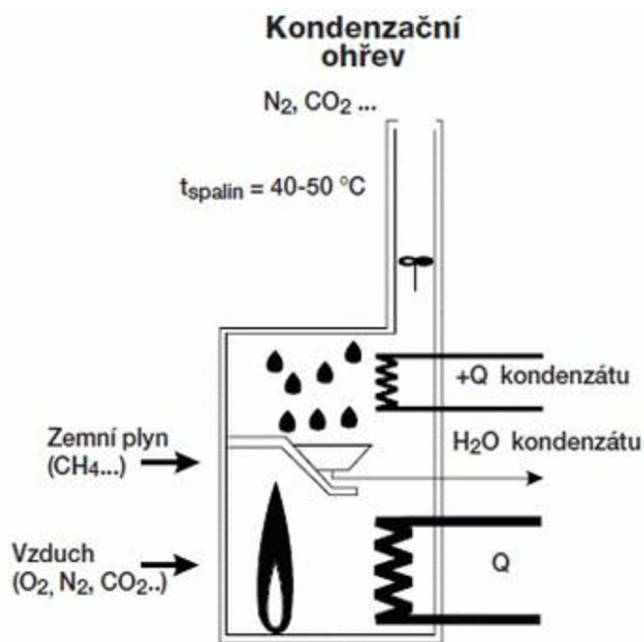
V konvenčním kotli probíhá ohřev spalováním plynu v otevřené komoře, s nenuceným odvodem spalin (viz obr. 2.1). Spaliny odchází přirozeným tahem komína, k čemuž je třeba vyšší teplota spalin, než u kondenzačního kotle.[4] Spaliny musí být o vyšší teplotě 120-180°C, aby se zabránilo tvorbě kondenzátu ze spalin, který je agresivní a mohl by zapříčinit korozi kotle.[5] Konvenční kotle mají sice nižší náklady, ale i s tím spojenou nižší účinnost (do 93%).[4] Nyní je však povoleno tyto kotle montovat jen do domů se společným otevřeným kouřovodem jako náhradu za stávající.[6]



Obr.2.1: Konvenční kotel[35]

- **Kondenzační kotle**

Kondenzační kotle se od konvenčních liší tím, že využívají latentní teplo odcházejících spalin. Spaliny využitě k ohřevu teplotnosného média se dále ještě využívají k předehřátí teplotnosného média před vstupem do kotle (viz obr. 2.2). Na jeho dohřátí je poté zapotřebí méně energie, přičemž účinnost stoupne až na 98%. [7] Vzhledem ke snížení teploty spalin je pro jejich řádný odvod třeba nucený tok spalin. Při přejímání latentního tepla od spalin probíhá jejich kondenzace. Takto vytvořený kondenzát, který je korozně agresivní, se musí odvádět, což souvisí s nutností přístupu ke kanalizaci. [8] Kondenzací spalin se snižuje množství škodlivin vypuštěných do ovzduší, které je nižší, než určuje zákon na ochranu životního prostředí.[7] Nevýhody těchto kotlů, mimo již zmíněných, jsou vyšší pořizovací náklady, materiály musí být odolné vůči korozi, nutnost vyvločkování komínu kvůli kondenzátu a potřeba pravidelné revize a údržby kotle. Výhodou je že se na tyto kotle vztahuje kotlíková dotace.[9] Díky své nízké emisivitě jsou jediným povoleným typem plynových kotlů bez omezení.[10]



Obr.2.2: Kondenzační kotel[35]

2.1.2 Kotle na kapalná paliva

Kotle na kapalná paliva se používají především v místech bez připojení k plynové přípojce a zároveň periferních oblastech kde by doprava jiných druhů paliva byla neekonomická. Jako palivo se v tomto případě používají převážně ropné výrobky, například lehký topný olej, či nafta. Tyto paliva ale vyžadují výstavbu bezpečného prostoru pro ukládání, což dosti navyšuje pořizovací cenu. Paliva v těchto systémech mohou být lehký topný olej a ojediněle nafta, která se používá zejména když se do objektu nafta přiváží už z jiných důvodů.[12]

2.1.3 Kotle na tuhá paliva

Kotle na tuhá paliva mohou být buď poháněna palivovým dřívím, uhlím nebo peletami. Používají se v místech bez přístupu k inženýrským sítím a radí se do systémů s nejnižšími náklady. S tímto způsobem vytápění však přichází nutnost dodávání paliva do kotle a odstraňování popela, což je spojeno se značnou prací oproti předchozím metodám.[13] Navíc v tomto případě se zde vyskytuje i další problém, a to vlhkost, která snižuje výhřevnost paliva a při spalování odchází v podobě vodní páry, u které když klesne teplota na rosný bod, začne kondenzovat a tím urychlí korozi spalinovodů.[14] Tento systém má velmi špatnou regulovatelnost a je k ní zapotřebí obsluha. Navíc klade nároky na prostor pro skladování paliva.[13]

- Prohořivací kotel

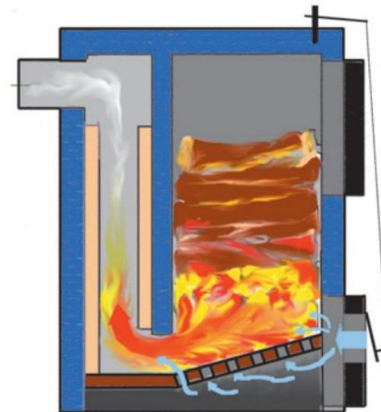
V prohořivacím kotli probíhá postupné spalování paliva, při němž spaliny procházejí vrstvou tohoto paliva (viz Obr. 2.3). U tohoto způsobu dochází k nahoření celého objemu paliva v kotli, s čímž souvisí velmi obtížná regulovatelnost hoření.[15]



Obr.2.3: Prohořivací kotel[36]

- Odhořivací kotel

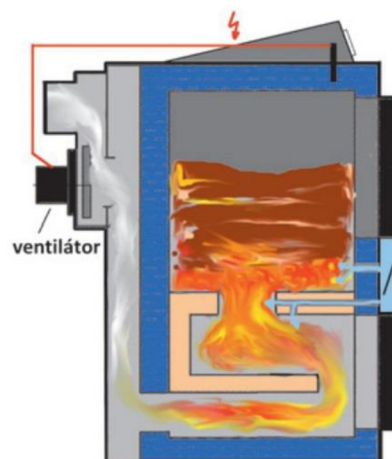
V odhořivacím kotli palivo hoří ve spodní části násypky (viz Obr. 2.4), kde je vrstva hořícího paliva postupně doplňována, přičemž spaliny neprocházejí vrstvou paliva. V tomto případě však přichází potřeba pravidelného čištění roštu od popela který by mohl zamezit přísunu kyslíčkovadla.[15]



Obr.2.4: Odhořivací kotel[36]

- Zplyňovací kotel

Zplyňovací kotel je modifikovaný odhořivací kotel, kde je vyšší úroveň spalování docílena regulací přívodu vzduchu pomocí ventilátoru (viz Obr. 2.5).[15] Zplyňováním se pomocí zplyňovacího média (kyslík) a tepla mění uhlíkaté materiály na výhřevný plyn. Při tomto spalování nevznikají tuhé emise.[16] Ventilátorem lze regulovat výkon kotle a průběh spalování. Ke zplyňování dochází i u klasických technologií, ovšem v tomto případě lze podstatně snáze kontrolovat uvolňování výhřevného plynu.[15]



Obr.2.5: Zplyňovací kotel[36]

2.1.4 Krby, kamna a krbové vložky

Předem zmíněné zdroje tepla mohou být buď lokální topidla nebo po zařízení výměníku tepla a trubkových rozvodů s otopnými tělesy, systémy pro ústřední vytápění. Díky spalování relativně levného palivového dříví jsou tyto zdroje velmi hospodárny, avšak mají ze všech zdrojů nejmenší účinnost. Nutnost vysoké frekvence příkládání paliva lze značně redukovat instalací akumulčního zařízení, které pohltí část vyrobeného tepla, a to poté postupně uvolňuje. Takovým zařízením může být akumulční nádrž - velká nádrž s ohřátou vodou připojena do

teplovodního systému. Nevýhody tohoto systému jsou podobné jako u kotlů na tuhá paliva, a to větší pracnost skrze zajišťování paliva a odstraňování popela. Pro zefektivnění se dají tyto systémy kombinovat s dalším zdrojem energie. Akumulační nádrž může být například vyhřívána elektrickým ohřevem, aby se udržovala teplota, například za nepřítomnosti obsluhy a v noci.[1]

- Krb
Krb se lze definovat jako zděné, otevřené hořeniště umístěné ve zdi, kde je napojeno na komín (viz Obr. 2.6).[1] Jelikož není krb nijak oddělen od vytápěného prostoru, může se do něj dostávat nežádoucí kouř, popel a saze, které jsou škodlivé pro alergiky a osoby s respiračními problémy, jako jsou například astmatici.[17]



Obr.2.6: Krb[37]

- Krbová kamna
Kamna jsou samostatně stojící, uzavřené hořeniště, napojené na komín ve zdi pomocí roury a jsou zpravidla kovová nebo kachlová.[1] Kamna jsou oddělena od okolí dvířky (většinou prosklenými), a tak během topení nedochází k znečištění. [17]



Obr.2.7: Kamna[38]

- Krbová vložka
Krbová vložka je hybridní kombinací dvou předchozích. Jednoduše řečeno zadržovaná kamna. [1] Krbová vložka se dá nainstalovat společně s výměníkem, který umožňuje vytápění více objektů z jednoho zdroje. Krbová vložka s takovýmto výměníkem lze snadno připojit k ústřednímu topení a propojit s plynovým či elektrickým zdrojem vytápění. [17]



Obr.2.8: Krbová vložka[39]

2.2 Zdroje získávající teplo přeměnou elektrické energie

Zdroje sloužící k přímé přeměně elektrické energie v energii tepelnou. Vzhledem k tomuto principu nepotřebují žádný přívod vzduchu či odvod spalin. Jejich instalace je rychlá a jednoduchá, avšak podmíněná potřebou dostatečně naddimenzovanému elektrickému obvodu, ke kterému jsou připojeny. Poměrně nízké pořizovací náklady a dobrá regulace jsou zastíněny vysokými provozními náklady. Může se ovšem hodit jako sekundární systém vytápění, kde jsou využity například v kombinaci s kotlem na tuhé palivo, který zajišťuje hlavní vytápění, umístěno v obvodu topné elektrické těleso, které má za úkol udržování teploty v objektu v době nepřítomnosti obsluhy nebo v noci.

- Akumulační kamna

Akumulační kamna fungují na principu akumulace tepelné energie do speciální vyzdívky, která obklopuje topná tělesa. Akumulují v době nízkého tarifu, tedy přes noc, kdy je energie levnější a poté teplo přes den, kdy je sazba vyšší, postupně uvolňují. Jsou snadno instalovatelné, mají tichý bezúdržbový chod. Skalní nevýhodou je jejich velká hmotnost a rozměry (viz Obr. 2.9), navíc jsou velmi špatně regulovatelná. Vytopení místnosti těmito kamny trvá poměrně dlouho, proto se hodí především k temperaci a udržování teploty.[18] Pro každou místnost je třeba mít vlastní, což zvyšuje náklady, ale na druhou stranu se může teplota v každé místnosti ovládat zvlášť.[19]



Obr.2.9: Akumulační kamna EMKO CZ M 30K[40]

- Elektrické kotle pro vytápění

Elektrické kotle vyrábí teplo pomocí elektrických topných těles které přímo ohřívají teplotnosné médium. Má velmi vysokou účinnost, až 99%. Je to bezemisní zdroj tepla, tudíž není zapotřebí komín pro odvod spalin či plynová přípojka. Jedinou podmínkou pro instalaci je dostatečně naddimenzovaná elektrická síť v objektu. Elektrické kotle mají menší rozměry než jiné druhy zdrojů, takže mají široké možnosti umístění (viz Obr. 2.10) a jsou vhodné k podlahovému vytápění. Kvůli svým vysokým provozním nákladům, avšak nízkým požadavkům pro instalaci, se elektrické kotle hodí k vytápění malých prostor nebo prostor trvale neobývaných (například chaty). Dále jsou vhodné pro nízkoenergetické nebo pasivní domy.[20] Elektrické kotle se mohou používat i pro kombinovaný provoz, jak pro vytápění, tak pro ohřev užitkové vody.



Obr.2.10: Elektrický kotel[41]

- **Přímotopy**

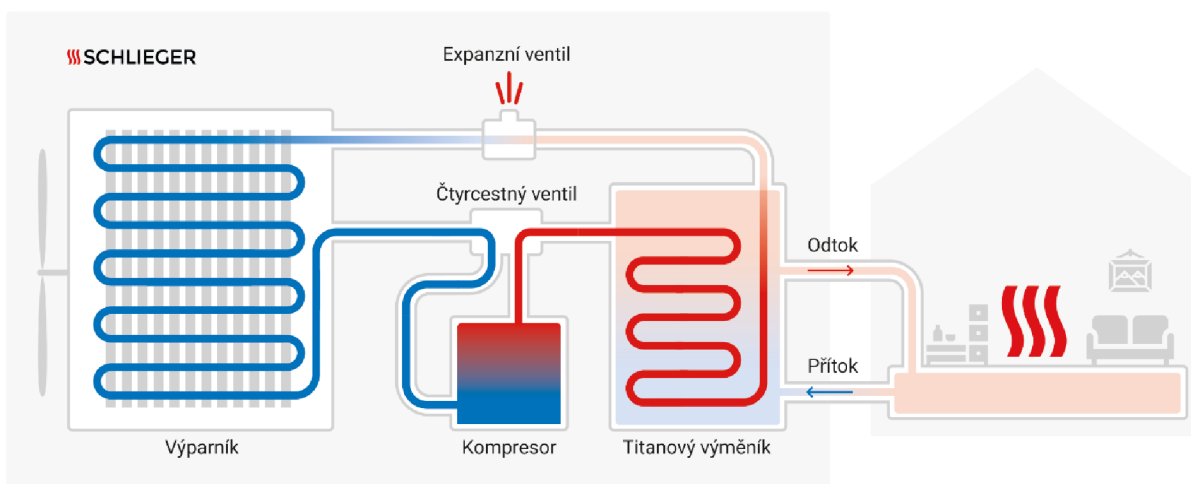
Přímotopy ohřívají chladný vzduch pomocí konvekce (prouděním) a tímto ho i distribuují po místnosti.[21] Jasnou výhodou je nízká pořizovací cena a jednoduché ovládání. Zatížení sítě je nižší než u akumulčních kamen, ale celkové náklady na provoz je nutno očekávat vyšší.[20] Přímotopy se hodí jako dodatečný zdroj tepla pro případy, kdy je třeba rychle vytopit chladnou místnost, nebo do malých či netrvale obývaných objektů. Přímotopy patří mezi lokální vytápěcí systémy.



Obr.2.11: Elektrický přímotop 1000/2000 W DESCON DA-T200[42]

2.3 Zdroje získávající teplo přejímáním tepla okolního prostředí

Principem je odebrání tepla z vybraného prostředí (voda, vzduch, země). Pracovním médiem bývá především kapalina, ale může jím být i vzduch. Funguje na principu, kdy pracovní médium ohřáté ve výparníku teplem z okolí, putuje přes škrťací ventil, kde médium expanduje (zvýší se úroveň jeho tepla), k výměníku tepla, kde předá teplo do otopné soustavy a je dál poháněna kompresorem znovu k ohřevu z okolí. Celý cyklus je viditelný na Obr. 2.12. Zdroje tepla využívající tento princip jsou tepelná čerpadla. Jejich poněkud vyšší pořizovací náklady kompenzují nízké provozní náklady a státní dotace. Jsou však oproti jiným zdrojům tepla limitovány minimální teplotou, při které mohou fungovat, tudíž se instalují v kombinaci s dalším zdrojem tepla pro pokrytí největších mrazů. [22]



Obr.2.12: Schéma funkce tepelného čerpadla[43]

2.3.1 Tepelné čerpadlo typu vzduch/voda

Tepelné čerpadlo vzduch/voda je velmi jednoduše instalovatelné na téměř jakýkoliv objekt. Nejsou zapotřebí komplikované zemní práce, jako je tomu u systému země/voda, což znamená nižší pořizovací náklady. Provoz tohoto typu čerpadla však doprovází značný hluk, proto je třeba dbát na umístění v zájmu pořizovatele i jeho okolí. Výkon tepelného čerpadla

závisí na teplotě okolního vzduchu. S klesající teplotou klesá i výkon TČ a naopak. Z tohoto důvodu se tento systém používá v kombinaci s doplňkovým zdrojem tepla. Doplňkový zdroj tepla, klasicky plynový nebo elektrický kotel, se musí začít používat při venkovní teplotě $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při dosažení teploty nižší jak $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ musí doplňkový zdroj přebrat vytápění celého objektu sám. Z těchto důvodů musí být výkon doplňkového zdroje tepla, schopen pokrýt potřeby celého objektu.[22]

Provedení tohoto systému se může skládat buď ze dvou jednotek (venkovní a vnitřní) (viz Obr.2.13 vlevo) nebo z kompaktní jednotky umístěné celé uvnitř (viz Obr.2.13 vpravo) nebo venku. V případě děleného provedení, venkovní část nasává okolní vzduch a vnitřní zajišťuje ohřev teplovodného média a topného systému. U tohoto systému je nutné propojit jednotky oddělené obvodovou zdí vzduchotechnickým potrubím. [22]

Vzduch–voda pro venkovní instalaci



Ideální pro domy s větším odstupem
od sousedních domů

Vzduch–voda pro vnitřní instalaci



Ideální pro domy s menším
pozemkem okolo

Obr.2.13: Schémata tepelných čerpadel vzduch/voda kompaktní (vpravo), dělený (vlevo)[44]

2.3.2 Tepelné čerpadlo typu země/voda

System typu země/voda lze hodnotit jako jeden z nejstabilnějších systémů tepelných čerpadel a vyznačuje se dlouhou životností. Zařízení je umístěno uvnitř objektu, ale pro jeho instalaci je zapotřebí provedení zemních prací. Pro čerpání tepla ze země se užívá, buď zemní kolektor (viz Obr.2.14 vlevo), u nějž jsou potřeba provést rozsáhlé výkopové práce, nebo geotermální vrt kolektor (viz Obr.2.14 vpravo), jenž nemá takové nároky na prostor, na druhou stranu se však řadí k nejdražším položkám při pořizování TČ. Volba kolektoru spočívá v geologické situaci podloží a rozložení zástavby v okolí objektu. V případě nedostatku prostoru pro umístění zemního kolektoru přichází na řadu geotermální vrt. Geotermální vrty se upřednostňují provádět v kompaktních horninách. V případě geotermálního vrtu lze v letním období využít TČ i k chlazení. Tento systém je nezávislý na venkovní teplotě. Většinou se tento

systém používá s doplňkovým zdrojem tepla popsaným u systému vzduch/voda, který se spolu s TČ stará o vytápění objektu od hranice $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$. [22]

Země-voda s plošnými kolektory



Ideální pro domy
s velkým pozemkem

Země-voda se zemním vrtem



Ideální pro domy
s menším pozemkem

Obr.2.14: Tepelné čerpadlo země/voda s vertikálním kolektorem (vlevo) s horizontálním kolektorem (vpravo)[44]

2.3.3 Tepelné čerpadlo typu voda/voda

Energii pro systém voda/voda lze odebrat povrchové nebo podzemní vody. Lokalit vhodných pro tento systém není mnoho. Podzemní voda má poměrně stabilní teplotu okolo $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, což z ní činí nejteplejší přírodní zdroj s nejvyšším topným faktorem. Při využití podzemní vody jsou potřeba dvě studny - topná a vsakovací (viz Obr.2.15). Tyto studny by měly být od sebe vzdáleny minimálně 15m. Pořizovací cena těchto studní bývá nižší než geotermální vrt, ale je třeba zkouškami ověřit kapacitu pramene. Oproti geotermálnímu vrtu však přibývají náklady na provoz z důvodu čerpání vody. Využití povrchové vody jako zdroje bývá vzácné, jelikož je spojeno s náročnou administrativou a navíc teplota povrchových vod kolísá. [22]



Obr.2.15: Tepelné čerpadlo voda/voda při využití podzemní vody[45]

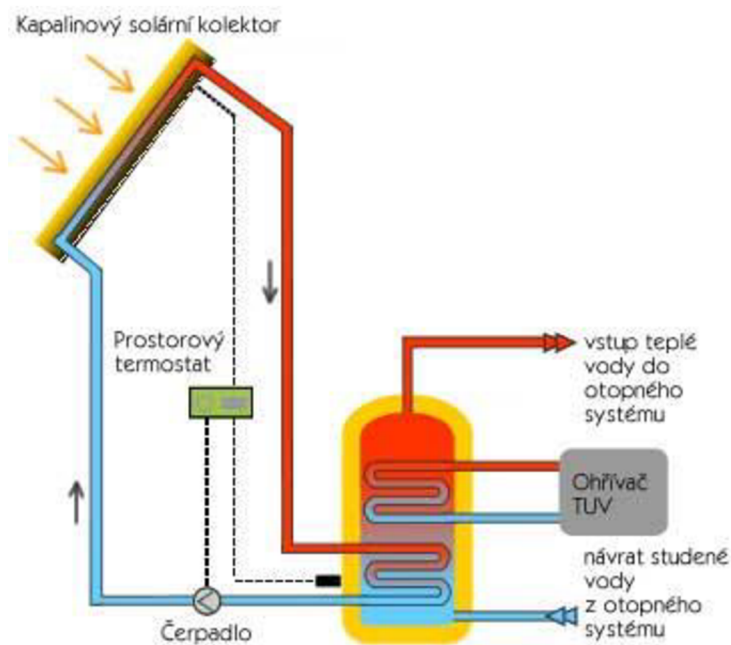
2.3.4 Tepelné čerpadlo typu vzduch/vzduch

Tepelná čerpadla typu vzduch/vzduch pracují obdobně jako systém vzduch/voda, jen s tím rozdílem, že neohřívají teplotnosné médium, ale přímo vzduch uvnitř objektu. Tento

systém je vhodný především do malých objektů, jelikož ohřívá především vzduch v místnosti, kde je umístěný, a také k temperaci objektu po většinu topné sezóny, například chaty.[22]

2.4 Zdroje získávající teplo sběrem solární energie

Pro sběr sluneční energie se používají solární kolektory. Tyto kolektory absorbují solární energii a mění ji na energii tepelnou, kterou předávají teplonosnému médium odváděnému k vytápění či ohřevu užitkové vody(viz. Obr. 2.16). Jako teplonosné médium se většinou využívají kapaliny, ojediněle i vzduch. Díky snižujícím se tepelným ztrátám, a tím nižší spotřebě přivedeného tepla, je možné zavést vytápění těmito kolektory. Pro využití tohoto nízkoteplotního zdroje je třeba mít vhodnou otopnou soustavu se zásobníkem tepla a velkoplošnými otopnými tělesy jako podlahové nebo stěnové vytápění. Spotřeba tepla se však časově neshoduje s obdobím nejvyššího tepelného výkonu tohoto systému. Z tohoto důvodu nepokrývá celkovou potřebu tepla a hodí se k vykrytí přechodové oblasti mezi létem a zimou, kdy je potřeba zvolit jiný typ vytápění.[23]



Obr.2.16: Vytápění solárními kolektory[46]

3 Výpočet tepelné ztráty objektu

Výpočet tepelných ztrát objektu je proveden základní metodou pro výpočet návrhového tepelného výkonu dle normy ČSN EN 12831-1 Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3[24].

3.1 Popis řešeného objektu

Určený objekt je třípatrový rodinný dům postaven roku 1928. Za své existence prodělal řadu rekonstrukcí včetně nedávné rekonstrukce střechy a výměny všech oken za plastová. Schéma rozvržení domu v příloze B. Kromě tří pater má tento dům malou půdu a sklep které jsou ještě s verandami, schodištěm a průjezdem v druhém a prvním patře nevytápěné. První patro má tloušťku zdi 60 cm, druhé a třetí pak 45 cm, zeď je z každé strany opatřena vrstvou vápencové omítky o tloušťce 1 cm, jižní strana a boky objektu nejsou zaizolovány, kvůli vyhřívání sluncem. Na Severní straně jsou místo izolace verandy. Střecha je v jedné části sypaná na dřevěných deskách, s dalším dřevěným obložením v nejnižší části, střecha je polita vrstvou asfaltu. Dodatečně byla sypaná střecha zaizolována 10cm polystyrénem a pokryta IPA 500. V druhé části je střecha ksalicky ze střešních tašek.

Tabulka 3.1: Vstupní hodnoty počítaného objektu

Kontakt s venkovním prostředím	A_k [m ²]	Větrané zóny	V_i [m ³]	Kontakt vytápěných a nevytápěných prostor	A_k [m ²]
přízemí čelo	26,81	Místnost1, Kuchyně1	126,88	průjezd	45,21
1. patro čelo, boky	71,44	Místnost2	48,55	Půda	55,86
2. patro	95,07	Místnost4,5, Kuchyně2, Koupelna2	195,89	Sklep	82,67
Střecha sypaná	50,16	Místnost3	99,64	veranda1	17,99
Dveře dřevěné	7,56	Místnost8,9, Kuchyně3, Koupelna3+WC	186,53	Schodiště+ chodby	100,32
Okna plastová	19,70	Místnost6,7	104,69	veranda2	17,99

3.2 Výpočet návrhové tepelné ztráty prostupem

3.2.1 Měrný tepelný tok prostupem přímí do venkovního prostředí

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěných prostor přímí do venkovního prostředí je stanoven následující rovnicí[24]:

$$H_{T,ie} = \sum_k \langle A_k \cdot (U_k + \Delta U_{TB}) \cdot f_{U,k} \cdot f_{ie,k} \rangle \quad (1)$$

kde je

$H_{T,ie}$ Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí

A_k Plocha stavební částí(k)

U_k Součinitel prostupu tepla stavební částí(k)

ΔU_{TB} Přírážka na vliv tepelných vazeb, pro zohlednění tepelných mostů vybíráme tabulkovou hodnotu pro konstrukce s běžnými tepelnými mosty $\Delta U_{TB} = 0,1 \frac{W^2}{m^2 \cdot K}$

- $f_{U,k}$ Opravný činitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy, v případě že se žádná taková oprava nepožaduje $f_{U,k} = 1$
 $f_{ie,k}$ Teplotní opravný činitel

Součinitel prostupu tepla vyjadřující teplo uniklé konvekcí a vedením. Vypočítá se jako převrácená hodnota součtu odporu při vedení a přestupu tepla materiálem[25].

$$U_k = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} \quad (2)$$

kde je

- U_k Součinitel prostupu tepla stavební částí(k)
 R_{si} Tepelný odpor na vnitřní straně stěny
 R Tepelný odpor vedením materiálem
 R_{se} Tepelný odpor na vnější straně stěny

Tepelný odpor vedením v materiálu se vypočítá jako podíl tloušťky stěny a tepelné vodivosti materiálu, která je materiálová konstanta úměrnosti mezi tepelným tokem a gradientem teploty. Tepelný odpor na přechodech mezi materiály, tedy i mezi stěnou a okolním vzduchem se vypočítá jako převrácená hodnota z lokálního součinitele přestupu tepla konvekcí[26].

$$R = \frac{\delta}{\lambda} \quad (3)$$

kde je

- δ Tloušťka stěny
 λ Tepelná vodivost materiálu stěny
 α_e Lokální součinitel přestupu tepla na vnější straně
 α_i Lokální součinitel přestupu tepla na vnitřní straně

Tloušťka stěny v přízemí je 60 cm a tloušťky v prvním a druhém patře jsou 45 cm. Vytápěné prostory jsou v přímém kontaktu s okolím v následujících částech: přízemí v předu, první patro, v předu a po stranách a druhé patro celé. Každá stěna je pak opatřena z každé strany vrstvou vápencové omítky o tloušťce 1 cm. Střecha je sypaná na dřevěných deskách, s dalším dřevěným obložení v nejnižší části, Dřevní hmota dohromady tvoří 3 cm, střecha je polita 1cm vrstvou asfaltu. Dodatečně byla střecha zaizolována 10cm polystyrénem a pokryta IPA 500 o tloušťce 4mm.

• Vzorový výpočet součinitele prostupu tepla

Vzorový výpočet je proveden pro zeď v přízemí a je označen jako U_{z60} . Charakteristika zdi je popsána výše přičemž R_c je tepelný odpor cihel a R_o je tepelný odpor omítky. Nejprve je třeba vypočítat tepelný odpor viz. Vzorce 3.

$$R_c = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,6}{0,6} = 1 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$R_o = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{2 \cdot 0,01}{0,88} = 0,02273 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Tepelný odpor na vnitřní straně $R_{si} = 0,13 \frac{m^2 \cdot K}{W}$ a vnější straně $R_{se} = 0,04 \frac{m^2 \cdot K}{W}$ jsou tabulkové hodnoty pro svislou stěnu. Tepelný odpor pro prostup vodorovnou stěnou (sypaná střecha) je odlišný. Dosazením do vzorce 2 byl získán součinitel prostupu tepla.

$$U_{z60} = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} = \frac{1}{1 + 0,02273 + 0,13 + 0,04} = 0,891 \frac{W}{m^2 K}$$

Tabulka 3.1: Tepelná vodivost materiálů Tabulka 3.2: Součinitel prostupu tepla

Materiál	λ [W/mK]
Cihly	0,6
Vápenatá omítka	0,88
IPA 500	0,2
Asfalt	0,2
Dřevní hmota	0,046
Polystyren	0,044
Křemelina	0,19

Stavební část	Uk[W/m ² K]
Zed' 60 cm	0,891
Zed' 45 cm	1,070
střecha sypaná	0,233
dveře	3,500
okna	1,800

Teplotní opravný součinitel, počítá se pro průchod tepelných toků do sousedních prostor s jinou teplotou.

$$f_{ie,k} = f_1 + f_2 \quad (4)$$

kde je

- $f_{ie,k}$ Teplotní opravný součinitel
- f_1 Opravný činitel zohledňující rozdíl mezi teplotou sousedního prostoru a venkovního prostředí, pro venkovní prostředí $f_1 = 1$
- f_2 Opravný činitel zohledňující rozdíl mezi vnitřní výpočtovou teplotou prostoru a průměrnou povrchovou teplotu stavební části. Výška uvažovaných místností je vždy pod 4 m, tudíž $f_2 = 0$

$$f_{ie,k} = 1$$

• **Vzorový výpočet měrného tepelného toku prostupem do venkovního prostředí**

Vzorový výpočet je proveden vzorcem 1 pro přízemí, vytápěné místnosti v přízemí jsou přímo v kontaktu s venkovním prostředím jen v čele, tj. z ulice, vyjma průjezdu. Do výpočtu nejsou zahrnuty ztráty okny a dveřmi, ty jsou počítány zvlášť.

$$H_{T,ie} = \sum_k \langle A_{z60} \cdot (U_{z60} + \Delta U_{TB}) \cdot f_{U,z60} \cdot f_{ie,z60} \rangle =$$

$$= 26,81 \cdot (0,891 + 0,1) \cdot 1 \cdot 1 = 26,58 \frac{W}{K}$$

Tabulka 3.3: Měrný tepelný tok do venkovního prostředí

Kontakt s venkovním prostředím	$H_{T,ie}$ [W/K]
přízemí čelo	26,58
1.patro čelo, boky	83,59
2.patro	111,24
střecha sypaná	16,70
dveře	27,22
okna	37,43
Celkem	302,75

3.2.2 Měrný tepelný tok prostupem do nebo přes sousedních prostor

- **Měrný tepelný tok prostupem do nebo přes sousední vytápěný prostor**

Ve všech vytápěných místnostech je uvažována stejná vnitřní teplota $\Theta_{int,i} = 20^{\circ}\text{C}$, která je adekvátní vzhledem k teplotnímu komfortu obyvatel objektu. Dle normy jsou výpočtové teploty pro kuchyně koupelny atd. rozdílné, ale v tomto reálném případě budou všechny místnosti vytápěny stejně. Z tohoto předpokladu vyvstává důsledek že mezi jednotlivými místnostmi bude nulový teplotní rozdíl, tudíž tok mezi těmito místnostmi nebudeme brát v potaz. Stejný předpoklad zavádíme i pro vytápěné sousední objekty sousedící s přízemím budovy (sousední budovy jsou jednopatrové)

$$H_{T,ia} = 0 \frac{W}{K}$$

- **Měrný tepelný tok prostupem do nebo přes sousední nevytápěný prostor**

Z důvodů uvedených v předchozím odstavci budeme brát v potaz pouze tok do nevytápěných prostor (půda, sklep, verandy, průjezd).

$$H_{T,iae} = \sum_K \langle A_k \cdot U_k \cdot f_{ia(\dots),k} \rangle \quad (5)$$

kde je

$H_{T,iae}$ Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousedních nevytápěných prostor

A_k Plocha stavební části (k)

U_k Součinitel prostupu tepla stavební částí (k)

$f_{ia(\dots),k}$ Teplotní opravný činitel

Teplotní opravný součinitel, počítá se pro průchod tepelných toků do sousedních prostor s jinou teplotou. Teploty jednotlivých nevytápěných místností, jsou možné zjistit z normy ČSN 06 0210 pro výpočtovou teplotu -12°C z tabulky klimatických údajů dle normy ČSN EN 12831-1[24].

Tabulka 3.4: Vnitřní výpočtová teplota nevytápěných prostor

Charakteristika prostor	Výpočtová teplota [$^{\circ}\text{C}$]
Půda bez tepelné izolace	-3
Sklep částečně pod terénem větraný	0
Místnosti sousedící s převážně vytápěnými místnostmi	15
Místnosti sousedící zčásti s vytápěnými místnostmi a zčásti s venkovním prostředím	0

Teplotní opravný součinitel se určuje pomocí rovnice 3

kde se

f_1 opravný činitel zohledňující rozdíl mezi teplotou sousedního prostoru a venkovního prostředí

f_2 Opravný činitel zohledňující rozdíl mezi vnitřní výpočtovou teplotou prostoru a průměrnou povrchovou teplotou stavební části. Výška uvažovaných místností je vždycky pod 4 m, tudíž $f_2 = 0$

$$f_1 = \frac{\Theta_{int,i} - \Theta_x}{\Theta_{int,i} - \Theta_e} \quad (6)$$

kde je

- $\Theta_{int,i}$ Vnitřní výpočtová teplota
- Θ_e Venkovní výpočtová teplota
- Θ_x Výpočtová teplota sousedních prostor

- **Vzorový výpočet teplotního opravného součinitele**

Opravný teplotní součinitel $f_{ie,s+ch}$ je vypočítán pro místnosti sousedící s převážně vytápěnými místnostmi tj. schodiště a chodby. Nejdříve je třeba vypočítat opravný činitel zohledňující rozdíl mezi teplotou sousedního prostoru a venkovního prostředí podle rovnice 6 z hodnot z tabulky 3.5.

$$f_1 = \frac{\Theta_{int,i} - \Theta_x}{\Theta_{int,i} - \Theta_e} = \frac{20 - 15}{20 - -12} = 0,165$$

Dosazením do rovnice 4 s hodnotou f_2 byl vypočten opravný teplotní součinitel.

$$f_{ia(...),s+ch} = f_1 + f_2 = 0,165 + 0 = 0,165$$

- **Vzorový výpočet měrného tepelného toku prostupem do sousedních nevytápěných prostor**

Měrný tepelný tok je vypočten pro schodiště a chodby, dosazením do rovnice 5.

$$H_{T,iae} = A_{s+ch} \cdot U_{s+ch} \cdot f_{ia(...),s+ch} = 100,32 \cdot 1,07 \cdot 0,156 = 16,77 \frac{W}{K}$$

Tabulka 3.5: Vypočtené hodnoty při prostupu tepla do sousedních prostor

Místo kontaktu	A_k [m ²]	$f_{ie,k}$ [-]	U_k [W/m ² K]	$H_{T,iae}$ [W/K]
Průjezd	45,21	0,625	0,8	30,24
Půda	55,86	0,718	1,4	56,21
Sklep	82,67	0,625	0,8	41,33
Veranda1	17,98	0,625	0,89	10,02
Schodiště+ chodby	100,32	0,156	1,07	16,77
Veranda2	17,98	0,625	1,07	12,03
Celkový měrný tepelný tok				154,57

Hodnoty tepelného toku průjezdem sklepem a půdou jsou tabulkové hodnoty, protože se nepodařilo zjistit konstrukci stropů a podlah.

3.2.3 Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do země

Tepelný tok zeminou se dá opět zanedbat, jelikož všechny místnosti v kontaktu se zeminou jsou nevytápěny a vzhledem k ostatním ztrátám jsou triviální.

$$H_{T,ig} = 0 \frac{W}{K}$$

3.2.4 Celková návrhová tepelná ztráta prostupem

Celková návrhová tepelná ztráta je počítána dle dílčích měrných tepelných toků prostupem a rozdílu vnějších a vnitřních teplot. Měrné tepelné toky jsou vždy vztaženy k rozdílu vnější a vnitřní výpočtové teploty, nehledě na aktuální rozdíl teplot[24].

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ia} + H_{T,iae} + H_{T,iaBE} + H_{T,ig}) \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e) \quad (7)$$

kde je

- $\Phi_{T,i}$ Celková návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru
- $H_{T,ie}$ Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí
- $H_{T,ia}$ Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousedních vytápěných prostor
- $H_{T,iae}$ Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí přes nevytápěné prostory a přilehlé budovy
- $H_{T,iaBE}$ Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousedních funkčních částí budovy
- $H_{T,ig}$ Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do zeminy
- $\Theta_{int,i}$ Vnitřní výpočtová teplota
- Θ_e Venkovní výpočtová teplota

- **Vzorový výpočet celkové návrhové tepelné ztráty prostupem**

Dosazením do vzorce číslo 7 získáme celkový návrhový součinitel pro všechny prostupy tepla do všech vytápěných místností.

$$\Phi_{T,i} = (302,75 + 154,57) \cdot (20 - -12) = 14634,3 \text{ W}$$

3.3 Výpočet návrhové tepelné ztráty větráním

Výpočet návrhové tepelné ztráty větráním je proveden zjednodušeným přístupem se sníženým počtem vstupů. Tento způsob je možný použít jen za následujících předpokladů: pro relativně vzduchotěsné budovy bez nuceného větrání s nízkou intenzitou a bez koncových vzduchotechnických zařízení[24].

$$\Phi_{V,buid} = \sum_i \langle \Phi_{V,z} \rangle \quad (8)$$

kde je

- $\Phi_{V,buid}$ Tepelná ztráta větráním celé budov
 - $\Phi_{V,z}$ Tepelná ztráta větráním v jednotlivých zónách
- $$\Phi_{V,z} = \rho \cdot c_p \cdot \sum_z \langle q_{v,min,i} \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e) \rangle \quad (9)$$

kde je

- $\Phi_{V,z}$ Tepelná ztráta větráním v jednotlivých zónách
- ρ Hustota vzduchu při vnitřní výpočtové teplotě $\rho = 1,205 \frac{kg}{m^3}$
- c_p Měrná tepelná kapacita vzduchu při vnitřní výpočtové teplotě $c_p = 0,28 \frac{kJ}{kgK}$
- $q_{v,min,i}$ Minimální objemový průtok vzduchu místností
- $\Theta_{int,i}$ Vnitřní výpočtová teplota
- Θ_e Venkovní výpočtová teplota

Minimální objemový průtok vzduchu místností je vypočítán z minimální intenzity větrání, jenž je obecně pro všechny větrané prostory $n_{min,i} = 0,5 \text{ h}^{-1}$

$$q_{v,min,i} = n_{min,i} \cdot V_i \quad (10)$$

kde je

- $q_{v,min,i}$ Minimální objemový průtok vzduchu místností
- $n_{min,i}$ Minimální intenzita větrání
- V_i Vnitřní objem místnosti

- **Vzorový výpočet minimálního objemového průtoku místností**

Výpočet je proveden pomocí vzorce 10 pro větranou zónu místnost1+kuchyně1.

$$q_{v,min,i} = n_{min,i} \cdot V_i = 0,5 \cdot 126,88 = 63,44 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

- **Vzorový výpočet návrhové tepelné ztráty větráním**

Výpočet je proveden pomocí vzorce 19, přičemž hodnoty teplot jsou v kapitole 3.2.2

$$\Phi_{V,z1} = \rho \cdot c_p \cdot q_{v,min,z1} \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e) = 1,205 \cdot 0,28 \cdot 63,44 \cdot (20 - -12) = 684,93\text{W}$$

Tabulka 3.6: Tepelné ztráty větráním

Větrané zóny	$V_i[\text{m}^3]$	$q_{v,min,i}[\text{m}^3/\text{h}]$	$\Phi_{V,z}[\text{W}]$
Místnost1, Kuchyně1	126,88	63,44	684,93
Místnost2	48,55	24,27	262,01
Místnost4,5, Kuchyně2, Koupelna2	195,89	97,94	1057,48
Místnost3	99,64	49,82	537,91
Místnost8,9, Kuchyně3, Koupelna3+WC	186,53	93,26	1006,93
M6,7	104,69	52,34	565,13
Celková tepelná ztráta větráním $\Phi_{V,buid}$			4114,5

3.4 Výpočet celkového návrhového tepelného výkonu vytápěných prostor

Návrhový tepelný výkon pro vytápěný prostor je stanoven jako součet jednotlivých tepelných ztrát větráním a prostupem[24].

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,buid} + \Phi_{hu,i} - \Phi_{gain,i} \quad (11)$$

kde je

- $\Phi_{HL,i}$ Návrhový tepelný výkon pro vytápěný prostor
- $\Phi_{T,i}$ Celková návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostor
- $\Phi_{V,buid}$ Tepelná ztráta větráním celé budov
- $\Phi_{hu,i}$ Volitelný dodatečný zátopový tepelný výkon vytápěného prostoru, v případě přerušovaného vytápění
- $\Phi_{gain,i}$ Trvalé tepelné zisky ve vytápěném prostoru, které se vyskytují při venkovních výpočtových podmínkách.

Pro řešený objekt se nepředpokládají žádné tepelné zisky, ani přerušované vytápění. Z těchto důvodů se $\Phi_{hu,i}$ a $\Phi_{gain,i}$ zanedbává.

- **Vzorový výpočet celkového návrhového tepelného výkonu vytápěných prostor**

Vzorový výpočet je proveden pomocí vzorce 11 z hodnot vypočítaných v kapitolách 3.2 a 3.3

$$\Phi_{HL,i} = 14634,3 + 4114,5 = 18748,8 \text{ W}$$

Celkový návrhový tepelný výkon vyšel poměrně velký, 18,78 kW s přihlédnutím na stáří, stav a velikost budovy se tento výsledek zdá být za odpovídající. Kompletní výpočet tepelné ztráty je obsažen v příloze A Největší úniky tepla probíhají skrze nezaizolované obvodové zdi a skrze půdní prostory. Obvodové zdi na jižní straně jsou však záměrně neizolované kvůli tepelným ziskům ze slunce. Pro snížení tepelné ztráty by bylo vhodné zaizolovat boční stěny, severní stěnu 2. patra nad verandami a také především půdu.

4 Ekonomické zhodnocení potenciálních zdrojů

V první řadě můžeme vyloučit některé zdroje vytápění, které by pro řešený objekt nebyly vhodné zvažovat. Krb, kamna nebo krbová vložka by vyžadovali velké úpravy a pro takto velký objekt se zdají být nevhodná. Obdobně jsou na tom solární kolektory, které by s největší pravděpodobností nebyly schopny dům vytápět. Tepelné čerpadlo se zemním kolektorem by nebylo možno namontovat z důvodů husté zástavby v okolí objektu. A pro typ Voda-Voda není přítomen zdroj. Kotel na kapalná paliva je vyloučen přítomností plynové přípojky.

4.1 Vybrané potenciální zdroje tepla

Po vyloučení z předchozích charakteristik objektu se tedy budou brát v potaz jen kotle plynové, elektrické a kotle na tuhá paliva, dále s tepelnými čerpadly.

4.1.1 Plynový kotel Vaillant VU 206/5-5 ecoTEC plus - ERP 4,2-21,2kW

Jako první možnost, kvůli přítomnosti přípojky k plynu je uvažován plynový kotel společnosti Vaillant odpovídající požadavkům. Byl vybrán díky dostupnosti detailních parametrů.

Vybraný kotel je závěsný na zemní plyn s regulovatelným výkonem 4,2-21,2 kW. Kotel má automatický odlučovač vzduchu z otopné vody. Kotel je vybaven energeticky úsporným vysoce účinným čerpadlem a kondenzačním výměníkem z nerezové oceli. [30]



Obr.:4.1 Vaillant VU 206/5-5 ecoTEC plus – ERP[30]

Tabulka 4.1: Charakteristiky kotle Vaillant VU 206/5-5 ecoTEC plus - ERP

Rozsah jmenovitého tepelného výkonu	4,2-21,2 kW
Elektrický příkon	70 W
Průměr kouřového hrdla	60/100
Předepsané palivo	zemní plyn / propan
Spotřeba zemního plynu	2,6 m ³ /h
Cena	43400 Kč
Montáž	15 400 Kč
Teplota spalin	40/74 °C
Hmotnost	33 kg

4.1.2 Zplynovací kotel na dřevo Atmos DC18S

Dalším vybraným kotlem je kotel značky Atmos jenž je známá svými výrobky. Těleso kotlů je vyrobeno jako svařenec z ocelových plechů. Tvoří je násypka paliva, která je ve spodní části opatřena zplynovací tryskou s podélným otvorem pro průchod spalin a plynů. Dohořovací prostor pod ní je opatřen keramickými tvarovkami pro ideální vyhoření všech spalitelných látek s vysokou účinností při ekologicky šetrném spalování. V zadní části tělesa kotlů je svislý spalinový kanál, opatřený ve vrchní části zatápěcí záklopkou. Vrchní část spalinového kanálu je opatřena odtahovým hrdlem pro připojení na komín. Součástí kotle je velký zásobník paliva a také je schopen spalovat velké kusy dřeva.[31]



Obr.:4.2 Zplynovací kotel na dřevo Atmos DC18S[31]

Tabulka 4.2: Charakteristiky kotle Atmos DC18S

Tepelný výkon	20 kW
Tepelný příkon	22 kW
Průměr kouřového hrdla	150/152
Předepsané palivo	Suché dřevo o výhřevnosti 15 – 17 MJ/kg s vlhkosti 12 – 20 %
Spotřeba zemního plynu	5,6 kg/h
Ceny	55 500 Kč
Montáž	26 400 Kč

4.1.3 Elektrokotel Thermona THERM EL 23

Elektrokotel značky Thermona byl vybrán vzhledem k své průměrné ceně a rozsáhlou dostupností jeho parametrů. Elektrokotel spolupracuje i s tzv. sazbovým spínačem HDO, který spouští kotel v tzv. snížené sazbě. Kotel má díky zvoleným spínacím relé velmi tichý provoz[32].

Tabulka 4.3: Charakteristiky kotle THERM EL 23

Jmenovitý tepelný výkon	22,5 kW
Minimální regulační stupeň výkonu	2,5 kW
Napájecí napětí	3x400 V
Maximální teplota otopné vody	80 °C
Účinnost při jmenovitém výkonu	99,50%
Cena	31 300 Kč
Montáž	14 500 Kč



Obr.:4.3 THERM EL 23[32]

4.1.4 Tepelné čerpadlo NORDline N17B

NORDline N17B je tepelné čerpadlo vzduch - voda s invertorem. Disponuje technologií EVI, režimem topení/chlazení, inteligentním odtáváním a nízkou hladinou hluku. Jedná se kompaktní jednotku celou umístěnou ve venkovních prostorech[33].

Tabulka 4.4: Charakteristiky tepelného čerpadla NORDline 17B

Výkon vytápění	7 ~ 20,5 (kW)
Příkon vytápění:	1,5 ~ 6 (kW)
Přípojovací potrubí	1 ¼ (")
Akustický výkon:	68 (dB(A))
Hmotnost	140kg
Vnější rozměry	1070 x 435 x 1340 (mm)
Kompresor	Rotační EVI
Napájení	400/3N-50
Typ chladiva	R32/2.0
COP t = -15°	2,29
COP t = -7°	2,56
COP t = 2°	3,11
COP t = 7°	3,49
COP t = 20°	3,87
Cena	290 800 Kč
Montáž	150 000 Kč
Státní dotace	-80 000 Kč



Obr.:4.4 Tepelné
čerpadlo NORDline
17B9[33]

4.2 Výpočet potřeby tepla pro vytápění

K zhodnocení nahrnutých zdrojů tepla je třeba zjistit roční potřebu tepla pro vytápění, aby bylo možné vypočítat roční náklady na provoz jednotlivých zdrojů. Výpočet roční potřeby tepla byl využit ze stránky vytapani.tzb-info.cz. Tento výpočet originálně zahrnuje i teplo potřebné pro ohřev teplé vody, to je však v řešeném objektu řešeno pomocí elektrických bojlerů[34].

$$Q_{VYT} = \frac{e_i}{\eta_r} \cdot \frac{24 \cdot \Phi_{HL,i} \cdot d \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_{es})}{\Theta_{int,i} - \Theta_e} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \quad (12)$$

kde je

- Q_{VYT} Roční potřeba energie na vytápění
- $\Theta_{int,i}$ Vnitřní výpočtová teplota
- Θ_e Venkovní výpočtová teplota
- Θ_{es} Průměrná teplota během otopného období lokality objektu $\Theta_{es} = 4,4^\circ C$
- $\Phi_{HL,i}$ Návrhový tepelný výkon pro vytápěný prostor
- d Délka topného období v lokalitě objektu 232 dní
- η_r Účinnost rozvodu vytápění zvoleno $\eta_o = 0,95$
- e_i Nesoučasnost tepelné ztráty větráním a tepelné ztráty prostupem. Součinitel se počítá jako podíl tepelné ztráty prostupem k celkové tepelné ztrátě $e_i = 0,77$

$$Q_{VYT} = \frac{0,77}{0,95} \cdot \frac{24 \cdot 18748,8 \cdot 232 \cdot (20 - 4,4)}{20 - -12} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} = 41,3 MWh/rok$$

4.3 Výpočet ročních nákladů na vytápění

Roční náklady jsou všechny potřebné prostředky vynaložené k funkci zdroje vytápění, jsou to zejména cena samotného paliva, ale i cena za dopravu a poplatky vztahované k dodávce paliva distributorem.

4.3.1 Roční náklady na vytápění plynovým kotlem

Roční náklady se spočítají jako součin potřebného tepla s cenou plynu zvýšené o účinnost, k těmto nákladům je ještě nuto přičíst poplatky dané dodavatelem. V případě plynu se dá postupovat ještě dalším způsobem, kde figuruje výhřevnost plynu ve jmenovateli a cena plynu je vztahována na objem dodaného plynu, ne na energii jako v použité metodě. Volba metody závisí na informaci od distributora, který do budovy plyn dodává. V případě řešené budovy distributor Innogy udává pouze cenu vztahovanou na energii.

$$L_{\text{plyn}} = \frac{Q_{\text{VYT}} \cdot C_{\text{plyn}}}{\eta_{\text{plyn}}} + C_{\text{plyn,dopl.p}} \quad (13)$$

kde je

L_{plyn}	Roční náklady na provoz plynového kotle
Q_{VYT}	Roční potřeba energie na vytápění
C_{plyn}	Cena plynu, i s cenou za distribuci
$C_{\text{plyn,dopl.p}}$	Doplňkové poplatky dané distributorem
η_{plyn}	Účinnost plynového kotle

Tabulka 4.5: Vstupní hodnoty plynového kotle

Cena plynu	2,804 Kč/kWh
Účinnost kotle	108%
Výhřevnost plynu	33,48 MJ/m ³ =9,3kWh/m ³
Cena doplňkových poplatků	109 Kč/měsíc

$$L_{\text{plyn}} = \frac{41300 \cdot 2,804}{1,08} + 109 \cdot 12 = 108382 \text{ Kč/rok}$$

4.3.2 Roční náklady na vytápění kotlem na biomasu

Ve vzorci pro výpočet ročních nákladů pro kotel na dřevní hmotu se výhřevnost násobí hmotností dřeva která musela být převedena na prms. Výhřevnost dřeva je vztahována ku hmotnosti a tímto je převedena na objem. Cena palivového dříví byla získána ze stránky <https://hosekdrevo-rezivo.cz>.

$$L_{\text{dřevo}} = \frac{Q_{\text{VYT}} \cdot C_{\text{dřevo}}}{\eta_{\text{dřevo}} \cdot H_{\text{dřevo}} \cdot m_{\text{dřevo}}} + C_{\text{dřevo,dopl.p}} \quad (14)$$

kde je

$L_{\text{dřevo}}$	Roční náklady na provoz kotle na biomasu
Q_{VYT}	Roční potřeba energie na vytápění
$C_{\text{dřevo}}$	Cena dřeva za 1 m ³ štípaných polen
$C_{\text{dřevo,dopl.p}}$	Doplňkové poplatky dané distributorem
$\eta_{\text{dřevo}}$	Účinnost kotle na biomasu
$H_{\text{dřevo}}$	Výhřevnost dřevní hmoty
$m_{\text{dřevo}}$	Hmotnost dřevní hmoty na prms

$$L_{plyn} = \frac{41300 \cdot 1940}{0,901 \cdot 4,2 \cdot \frac{585}{1,6}} + 1320 = 59228,4 \text{ Kč/rok}$$

Tabulka 4.6: Vstupní hodnoty kotle na biomasu

Cena dřeva	1940 Kč/prms
Účinnost kotle	90,10%
Výhřevnost dřeva	4,2 kWh/kg
Doplňkové poplatky	1 320 Kč
Hmotnost dřeva na 1 prmr	585 kg/prmr
Poměr mezi prms a prmr	1,6
Hustota dřevní hmoty	350 kg/m ³

- Výpočet objemu potřebného dřeva

Z důvodu že cena dřeva je brána po předešlé topné sezóně, čili je nižší. Je vhodné zjistit kolik místa potřebný materiál zabere. Z následující rovnice lze spočítat celkovou hmotnost potřebného dřeva a podělením této hodnoty hustotou dřeva je získán objem dřevní hmoty, který se pomocí konstanty 1,4 přepočítá na prmr.

$$m_{celk,dřevo} = \frac{Q_{VYT}}{\eta_{dřevo} \cdot H_{dřevo}} = \frac{41300}{0,905 \cdot 4,2} = 10865,6 \text{ kg}$$

$$V_{dřevo} = \frac{m_{celk,dřevo}}{\rho_{dřevo}} = \frac{10865,6}{350} = 31 \text{ m}^3$$

4.3.3 Roční náklady na vytápění kotlem na elektrickou energii

Ve výpočtu pro elektrický kotel se oproti předchozím objevují v členu doplňkové poplatky také poplatky za distribuci za jistič. Nízký i vysoký tarif jsou v současné době shodnými. Řešený objekt je v lokalitě spadající pod síť EG.D a distributor Innogy.

$$L_{el.} = \frac{Q_{VYT} \cdot C_{el}}{\eta_{el}} + C_{el,dopl.p} \quad (15)$$

kde je

$L_{el.}$	Roční náklady na provoz elektrického kotle
Q_{VYT}	Roční potřeba energie na vytápění
C_{el}	Cena elektřiny, i s cenou za distribuci, daní poplatkem za systémové služby
$C_{el,dopl.p}$	Doplňkové poplatky dané distributorem, poplatek za činnost OTE, jističe
η_{el}	Účinnost elektrického kotle

Tabulka 4.7: Vstupní hodnoty pro elektrokotel

Cena elektřiny	8993 Kč/MWh
Doplňkové poplatky	1077 Kč/měsíc
Účinnost kotle	99,5%

$$L_{el.} = \frac{41,3 \cdot 8993}{0,995} + 12 \cdot 1077 = 386201,3 \text{ Kč/rok}$$

4.3.4 Roční náklady na vytápění tepelným čerpadlem vzduch-voda

Vstupy do tepelného čerpadla v podobě elektrické energie jsou stejné jako u elektrického kotle jen se liší množstvím spotřebované energie. Topný faktor byl konzervativně zvolen 2,5 dle údajů od výrobce, který udává topný faktor vztažený k různým teplotám až do -12 °C. Topný faktor by vybrán mezi nižšími provozními teplotami pro zajištění konzervativnosti.

$$L_{tep.č.} = \frac{Q_{VYT} \cdot C_{el}}{COP} + C_{el,dopl.p} \quad (16)$$

kde je

$L_{tep.č.}$	Roční náklady na provoz tepelného čerpadla
Q_{VYT}	Roční potřeba energie na vytápění
C_{el}	Cena elektřiny, i s cenou za distribuci, daní poplatkem za systémové služby
$C_{el,dopl.p}$	Doplňkové poplatky dané distributorem, poplatek za činnost OTE, jističe
COP	Topný faktor

Tabulka 4.8: Charakteristiky tepelného čerpadla

Cena elektřiny	8993 Kč/MWh
Doplňkové poplatky	1077 Kč/měsíc
Topný faktor	2,5

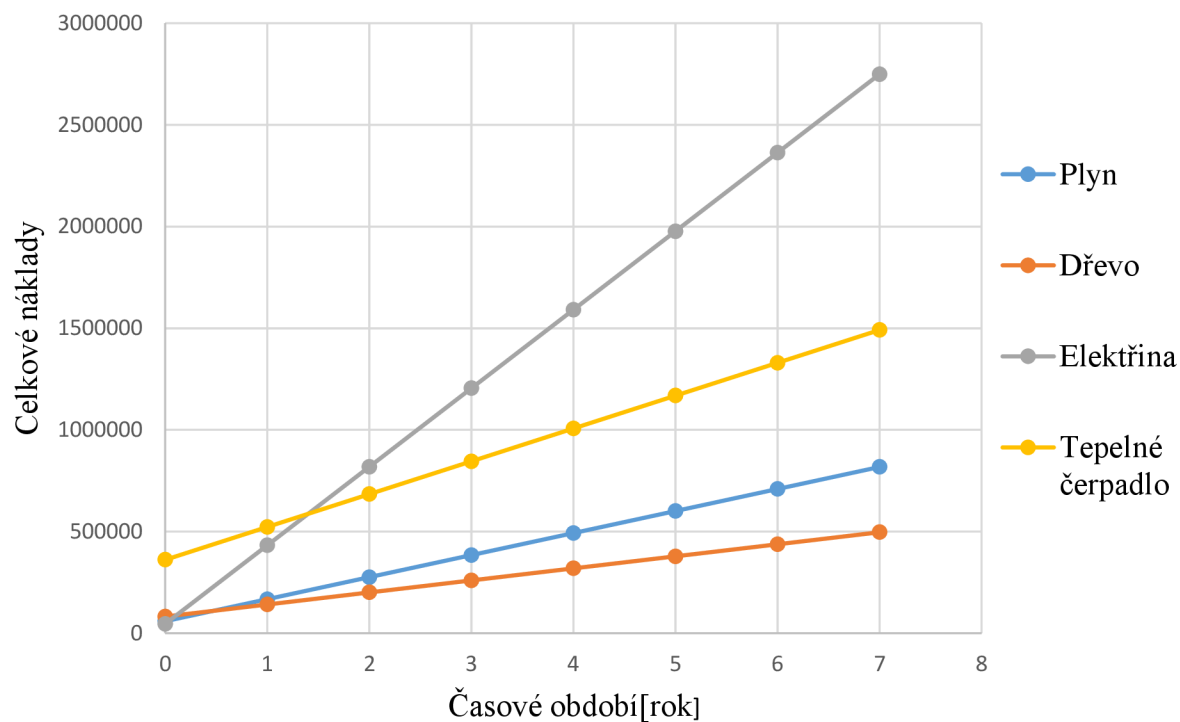
$$L_{tep.č.} = \frac{41,3 \cdot 8993}{2,5} + 12 \cdot 1077 = 161488,4 \text{ Kč/rok}$$

4.4 Výsledné náklady

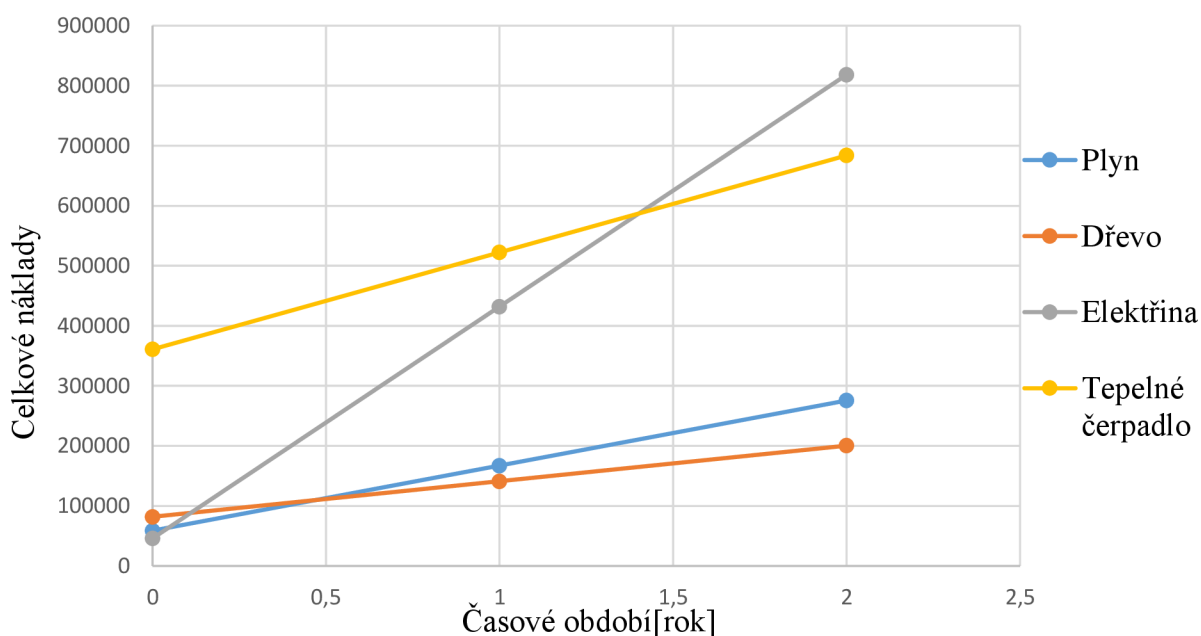
Pro zhodnocení celkového nákladu je nejhodnější zobrazit náklady v grafu postupem času. Tento způsob nejlépe ukáže návratnost jednotlivých zdrojů energie.

Tabulka 4.9: Vývoj celkových nákladů za 7 let

Zdroj energie	Pořizovací cena	Provozní náklady	Časové období provozu [rok]						
			1	2	3	4	5	6	7
Plyn	58800	108382	167182	275564	383946	492328	600710	709092	817474
Dřevo	81900	59228	141128	200356	259584	318812	378040	437268	496496
Elektřina	45800	386201	432001	818202	1204403	1590604	1976805	2363006	2749207
Tepelné čerpadlo	360800	161488	522288	683776	845264	1006752	1168240	1329728	1491216



Obr. 4.5: Grafická závislost návratnosti vstupních investic



Obr. 4.6: Detail prvních dvou let provozu

5 ZÁVĚR

Volba zdroje vytápění je, v dnešní době nejisté ceny fosilních paliv, velmi důležitým tématem. Moudrá volba zdroje vytápění může provozovatelům domácností ušetřit značné sumy. Důležitým prvkem v tomto výběru je celková tepelná ztráta domu, bez které by hrozila koupě nedostatečného zdroje, nebo naopak předimenzovaného, který by musel pracovat na nižší výkon, což má negativní vliv na účinnost.

První oddíl shrnuje všechny možné způsoby dopravy tepla do vytápěného objektu. V případě této bakalářské práce je v budově již zavedeno ústřední topení, a z toho se dále vychází.

V druhé části se tato bakalářská práce zabývá momentálním stavem a metodami získávání tepla. Je v ní zahrnuta většina relevantních zdrojů vytápění.

Třetí kapitola obsahuje výpočet tepelné ztráty podle normy ČSN EN 12831-1 Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3. Metodika výpočtu je doplněna o tabulky vypočítaných hodnot s vzorovým dosazením pro vybraný konstrukční celek. Tepelná ztráta prostupem 14634,3W a tepelná ztráta větráním 4114,5W dávají dohromady značnou tepelnou ztrátu, která je ale pochopitelná vzhledem ke stáří budovy a absenci zateplení.

V poslední, čtvrté části, se zhodnocuje ekonomický potenciál kotlů na plyn, elektřinu a dřevo zároveň s tepelným čerpadlem.

Z informací zjištěných v předešlých výpočtech a grafických závislostech jasně vyplývá, že topení elektrickým kotlem je nejméně vhodná forma pro daný objekt. Elektrokotel má sice nejnižší pořizovací náklady, ale již při druhém roce provozu převyšuje celkovými náklady všechny ostatní zdroje, a jelikož má nejvyšší provozní náklady, dále náklady astronomicky stoupají. Z těchto důvodů není vhodným zdrojem pro řešený objekt.

Tepelné čerpadlo s nejvyššími pořizovacími náklady se zdá být lepší možností, jeho provozní náklady jsou oproti elektrokotli méně než poloviční, avšak stále značně převyšují zbylé zdroje vytápění. Bylo by možné ale zvážit pořízení větrné turbíny na střechu budovy, která by mohla pokrýt značnou část nákladů na provoz tepelného čerpadla. Budova je k pořízení takovéto turbíny vhodná, stojí na mírném kopci a je to největší stavba v okolí, tzn. že se okolo nenachází žádné překážky pro proudění větru.

Plynový kotel s relativně nízkými pořizovacími náklady a přijatelnými provozními náklady se zdá být jednou z možných konečných voleb. Jeho hlavní výhodou je absence nutnosti obsluhy a to, že řešený objekt je původně řešen s plynovým kotlem, tudíž není potřeba instalace přidružených prvků.

Nejnižší provozní náklady připadají kotli na tuhá paliva. Jeho poněkud vyšší pořizovací náklady, ovšem v porovnání s tepelným čerpadlem nižší, kompenzují kotle na tuhá paliva velmi nízké provozní náklady. Velkou nevýhodou je nutnost obsluhy kotle v podobě přikládání paliva a odstraňování popela. Dalším problematickým aspektem je také potřeba uložení paliva na celou topnou sezónu, což činí 31 m². Takovýto prostor již není zanedbatelný, navíc by měl být krytý a ve stíněném prostoru, ve kterém se budova nachází, je toto velmi problematické. Pro využití kotle na tuhá paliva by bylo vhodné dům nejprve zateplít, čímž by se snížilo potřebné teplo i množství potřebné dřevní hmoty.

Srovnáním předchozích kritérií a vzhledem ke komfortu osazenstva obydlí vychází jako nejlepší možný zdroj vytápění nový kondenzační plynový kotel. Ten by mohl být vylepšen inovativní metodou kombinování plynového kotle, jako bivalentního zdroje a tepelného čerpadla, které dále zpracovává teplo z plynového kotle.

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] VLK, Václav. Krby, kamna a teplovodní vytápění. Praha: Grada Publishing, 2017. ISBN 978-80-247-4426-1.
- [2] DUFKA, Jaroslav. *Hospodárné vytápění domů a bytů*. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-2019-7.
- [3] Spalování paliv. In: <https://energetika.cvut.cz/wp-content/uploads/VTK-pr5-text-1.pdf> [online]. [cit. 2022-11-16].
- [4] *Konvenční kotle* [online]. [cit. 2022-11-18]. Dostupné z: <https://www.alltechsro.cz/konvencni-kotle>
- [5] *ČÍM TOPIT: KONVENČNÍ, NÍZKOTEPLTNÍ Či KONDENZAČNÍ KOTEL?* [online]. [cit. 2022-11-18]. Dostupné z: <https://www.receptyprimanapadu.cz/dum-a-stavba/cim-topit-plyn-drevo-nebo-elektrina/>
- [6] *Co se změní u plynových kotlů od září 2015?* [online]. [cit. 2022-11-18]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-plynem/12934-co-se-zmeni-u-plynovych-kotlu-od-zari-2015>
- [7] *Nízkoteplotní a kondenzační kotle* [online]. [cit. 2022-11-18]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/technicka-zarizeni-budov/vytapani>
- [8] *PLYNOVÉ KOTLE PRO VYTÁPĚNÍ* [online]. [cit. 2022-11-18]. Dostupné z: http://fast10.vsb.cz/tzb_FBI/12.html
- [9] *Výhody a nevýhody kondenzačního kotle* [online]. [cit. 2022-11-18]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/clanky/vyhody-a-nevychody-kondenzacniho-kotle-na-co-si-dat-pri-vyberu-pozor-149048>
- [10] *Plynové kotle Viessmann* [online]. [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/obytno-budovy/plynove-kotle/plynove-kondenzacni-kotle.html>
- [11] *Stroje pro IV.ročník průmyslových škol 3. v PRAZE: Státní pedagogické nakladatelství, 1961. Dostupné fyzicky*
- [12] *Kotle na kapalná paliva* [online]. [cit. 2022-11-27]. Dostupné z: <https://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-klasicka/kotle-na-kapalna-paliva/>
- [13] *Kotle na tuhá paliva* [online]. [cit. 2022-11-30]. Dostupné z: <https://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-klasicka/kotle-na-tuha-paliva/>
- [14] *Spalování paliv* [online]. [cit. 2022-11-30]. Dostupné z: <http://energetika.cvut.cz/wp-content/uploads/VTK-pr5-text-1.pdf>
- [15] *MALÉ TEPELOVODNÍ KOTLE NA PEVNÁ PALIVA* [online]. In: . 2012, s. 37-39 [cit. 2022-11-30]. ISBN 978-80-904914-2-7. Dostupné z: doi:7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a
- [16] *Zplyňování biomasy* [online]. 2018 [cit. 2022-11-30]. Dostupné z: <http://energetika.cvut.cz/wp-content/uploads/2018/06/OZE-p8.pdf>
- [17] *Otevřený krb, krbová kamna nebo krbová vložka* [online]. [cit. 2022-12-08]. Dostupné z: <https://www.give.cz/a/otevreny-krb-krbova-kamna-nebo-krbova-vlozka-kdo-se-stane-vasim-favoritem>
- [18] *Jak fungují akumulční kamna a kam se hodí?* [online]. [cit. 2022-12-08]. Dostupné z: <https://vytapani-klimatizace.bydleniprokazdeho.cz/krby-kamna-kominy/jak-funguji-akumulacni-kamna-a-kam-se-hodi.php>
- [19] *Jak vybrat kotel* [online]. [cit. 2022-12-08]. Dostupné z: <https://www.covybrat.cz/nejlepsi-kotle/#typy-kotlu-elektricky-kotel>
- [20] *Rady-a-tipy/jak-vybrat-elektrokotel* [online]. [cit. 2022-12-08]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/jak-vybrat-elektrokotel.html>

- [21] *Proc_je_elektricke_salave_topeni_usporne* [online]. [cit. 2022-12-08]. Dostupné z: https://www.primotopy.eu/radce-faq-a100/#proc_je_elektricke_salave_topeni_usporne
- [22] KARLÍK, Robert. *Tepelné čerpadlo pro váš dům*. Praha: Grada, 2009. ISBN 978-80-247-2720-2.
- [23] MATUŠKA, Tomáš. *Solární soustavy pro bytové domy*. Praha: Grada, 2010. ISBN 978-80-247-3503-0.
- [24] ČSN EN 12831-1. Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3. 2018.
- [25] PAVELEK, Milan. *Termomechanika*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-214-4300-6.
- [26] *Lokální vytápění* [online]. [cit. 2022-12-09]. Dostupné z: <https://www.topeni-topenari.eu/topeni/systemy-vytapeni/lokalni/>
- [27] *Etážové vytápění* [online]. [cit. 2022-12-09]. Dostupné z: <https://www.topeni-topenari.eu/topeni/systemy-vytapeni/etazove/>
- [28] *Ústřední vytápění* [online]. [cit. 2022-12-09]. Dostupné z: <https://www.topeni-topenari.eu/topeni/systemy-vytapeni/ustredni/>
- [29] *Dálkové vytápění* [online]. [cit. 2022-12-09]. Dostupné z: <https://www.topeni-topenari.eu/topeni/systemy-vytapeni/dalkove/>
- [30] *Závěsný plynový kotel Vaillant VU 206/5-5 ecoTEC plus - ERP 4,2-21,2kW* [online]. [cit. 2023-03-12]. Dostupné z: [33] <https://www.kotelnaklic.cz/kotle/kotel-plynovy-zavesny-kondenzacni-vaillant-vu-206-5-5-ecotec-plus-erp-4-2-21-2kw/>
- [31] *Zplyňovací kotel na dřevo* [online]. [cit. 2023-03-12]. Dostupné z: <https://www.atmos.eu/produkt/zplynovaci-kotle-na-drevo-drevoplyn/>
- [32] *Elektrický kotel Thermona THERM EL 23* [online]. [cit. 2023-03-12]. Dostupné z: <https://www.topenilevne.cz/thermona-therm-el-23-p10633/#gallery>
- [33] *NORDline N17B Tepelné čerpadlo 20,5 kW, R32 (invertor), Cloud* [online]. [cit. 2023-03-13]. Dostupné z: https://www.obchod-vtp.cz/Nordline-N17B-tepelne-čerpadlo-vzduch-voda-invertor-chladivo-R32?utm_campaign=zbozi.cz&utm_content=Dum%2C+byt+a+zahrada+%7C+Vytapeni+a+ohrev+%7C+Tepelna+čerpadla&utm_medium=cpc&utm_source=zbozi&utm_term=NORDline+N17B+Tepelne+čerpadlo+20%2C5+kW%2C+R32+%28invertor%29%2C+Cloud+N17B
- [34] *Výpočet potřeby tepla pro vytápění, větrání a přípravu teplé vody* [online]. [cit. 2023-03-22]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-vypocet-potreby-tepla-pro-vytapeni-vetrani-a-pripravu-teple-vody>
- [35] Konvenční a kondenzační ohřev. In: *Tzb-info.cz* [online]. Bosch Termotechnika s.r.o. - obchodní divize Bosch Junkers, 2011 [cit. 2022-11-18]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-plynem/7912-junkers-tipy-pro-topenare-xii-teoreticke-zaklady-kondenzacni-techniky>
- [36] *Malé teplovodní kotle na pevná paliva* [online]. In: . Krnov: LING Vydavatelství s.r.o, 2012 [cit. 2022-11-30]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/2207-ling-vydavatelstvi-kotle.pdf>
- [37] Krb Velké síně na hradě v Edinburghu. In: *Puzzle garage* [online]. [cit. 2022-12-08]. Dostupné z: <https://puzzlegarage.com/puzzle/8041/?lang=cs>
- [38] KACHLOVÁ KAMNA HAAS + SOHN TREVISO MINI ZELENÁ. In: *Krby.cz* [online]. [cit. 2022-12-08]. Dostupné z: <https://www.krbycz.cz/kachlova-kamna-haas-sohn-treviso-mini-zelena-d-6078.html>

- [39] Krbová vložka Dik Geurts Instyle 1000 EA. In: *E-teplo.cz* [online]. [cit. 2022-12-08]. Dostupné z: <https://www.e-teplo.cz/krbova-vlozka-dik-geurts-instyle-1000-ea.html>
- [40] Akumulační kamna. In: *Testino.cz* [online]. [cit. 2022-12-08]. Dostupné z: <https://www.testino.cz/akumulacni-kamna>
- [41] Elektrický kotel. In: *Topin.cz* [online]. [cit. 2022-12-08]. Dostupné z: <https://www.topin.cz/clanky/elektricky-kotel-skvela-volba-pro-vas-domov-detail-2393>
- [42] Elektrický přímotop 1000/2000 W DESCON DA-T200. In: *Market-online.cz* [online]. [cit. 2022-12-08]. Dostupné z: <https://www.market-online.cz/primotop-da-t200-230v-1000-2000w-s-vent-/>
- [43] Jak funguje tepelné čerpadlo vzduch-voda. In: *Schlieger.cz* [online]. [cit. 2022-12-18]. Dostupné z: <https://www.schlieger.cz/radce/jak-funguje-tepelne-cerpadlo-vzduch-voda/>
- [44] Tepelné čerpadlo vzduch–voda. In: *www.drevoastavby.cz/* [online]. [cit. 2022-12-18]. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/vse-o-drevostavbach/stavba-drevostavby/vytapeni-a-vzduchotechnika/5530-tepelna-cerpadla-jak-vybrat-to-nejlepsi-pro-drevostavby>
- [45] Tepelné čerpadlo Voda-voda. In: *M-klima.cz* [online]. [cit. 2022-12-18]. Dostupné z: <https://www.m-klima.cz/tepelna-cerpadla/tepelna-cerpadla-voda-voda/>
- [46] Kapalinové solární vytápění. In: *Topeni-topenari.eu* [online]. [cit. 2022-12-18]. Dostupné z: <https://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-alternativni/solarni-vytapeni/>

7 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Veličina	Jednotka
$H_{T,ie}$	Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí	W/K
A_k	Plocha stavební části(k)	m^2
U_k	Součinitel prostupu tepla stavební části(k)	$\frac{W}{m^2 K}$
ΔU_{TB}	Přirážka na vliv tepelných vazeb	$\frac{W^2}{m^2 \cdot K}$
$f_{U,k}$	Opravný činitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy	-
$f_{ie,k}$	Teplotní opravný činitel	-
R_{si}	Tepelný odpor na vnitřní straně stěny	$\frac{m^2 \cdot K}{W}$
R	Tepelný odpor vedením materiálem	$\frac{m^2 \cdot K}{W}$
R_{se}	Tepelný odpor na vnější straně stěny	$\frac{m^2 \cdot K}{W}$
R_c	Tepelný odpor vedením cihlou	$\frac{m^2 \cdot K}{W}$
R_o	Tepelný odpor vedením vápenatou omítkou	$\frac{m^2 \cdot K}{W}$
U_{z60}	Součinitel prostupu tepla zdi v přízemí	
$H_{T,ia}$	Měrný tepelný tok prostupem do nebo přes sousedních prostor	W/K
$H_{T,iae}$	Měrný tepelný tok prostupem do nebo přes sousední nevytápěný prostor	W/K
f_1	Opravný činitel zohledňující rozdíl mezi teplotou sousedního prostoru a venkovního prostředí	-
f_2	Opravný činitel zohledňující rozdíl mezi vnitřní výpočtovou teplotou prostoru a průměrnou povrchovou teplotu stavební části	-
$f_{ia(...),k}$	Teplotní opravný činitel	-
$\Theta_{int,i}$	Vnitřní výpočtová teplota	°C
Θ_e	Venkovní výpočtová teplota	°C
Θ_x	Výpočtová teplota sousedních prostor	°C
$H_{T,ig}$	Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do zeminy	W/K
$\Phi_{T,i}$	Celková návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru	W

$H_{T,iaBE}$	Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousedních funkčních částí budovy	W/K
$\Phi_{V,buid}$	Tepelná ztráta větráním celé budov	W
$\Phi_{V,z}$	Tepelná ztráta větráním v jednotlivých zónách	W
ρ	Hustota vzduchu při vnitřní výpočtové teplotě	kg/ m ³
c_p	Měrná tepelná kapacita vzduchu při vnitřní výpočtové teplotě	$\frac{Wh}{kg \cdot K}$
$q_{v,min,i}$	Minimální objemový průtok vzduchu místností	m ³ /h
$n_{min,i}$	Minimální intenzita větrání	h ⁻¹
V_i	Vnitřní objem místnosti	m ³
$\Phi_{HL,i}$	Návrhový tepelný výkon pro vytápěný prostor	W
$\Phi_{hu,i}$	Volitelný dodatečný zátopový tepelný výkon vytápěného prostoru, v případě přerušovaného vytápění	W
$\Phi_{gain,i}$	Trvalé tepelné zisky ve vytápěném prostoru, které se vyskytují při venkovních výpočtových podmínkách	W
δ	Tloušťka stěny	m
λ	Tepelná vodivost materiálu stěny	W/mK
Q_{VYT}	Roční potřeba energie na vytápění	MWh/rok
θ_{es}	Průměrná teplota během otopného období	°C
d	Délka topného období	dny
η_r	Účinnost rozvodu vytápění	-
e_i	Nesoučasnost tepelné ztráty větráním a tepelné ztráty prostupem	-
L_{plyn}	Roční náklady na provoz plynového kotle	Kč/rok
C_{plyn}	Cena plynu, i s cenou za distribuci	Kč/kWh
$C_{plyn,dopl.p}$	Doplňkové poplatky dané distributorem	Kč/měsíc
η_{plyn}	Účinnost plynového kotle	%
$L_{dřevo}$	Roční náklady na provoz kotle na biomasu	Kč/rok
$C_{dřevo}$	Cena dřeva za 1 m ³ štípaných polen	Kč/prms
$C_{dřevo,dopl.p}$	Doplňkové poplatky dané distributorem	Kč
$\eta_{dřevo}$	Účinnost kotle na biomasu	%
$H_{dřevo}$	Výhřevnost dřevní hmoty	kWh/kg
$m_{dřevo}$	Hmotnost dřevní hmoty n	kg/prms
$\rho_{dřevo}$	Hustota dřeva	kg/m ³
$V_{dřevo}$	Objem skládaného dřeva pro jedno topné období	m ³
$L_{el.}$	Roční náklady na provoz elektrického kotle	Kč/rok
C_{el}	Cena elektřiny, i s cenou za distribuci, daní poplatkem za systémové služby	Kč/MWh

$C_{el,dopl.p}$	Doplňkové poplatky dané distributorem, poplatek za činnost OTE, jističe	Kč/měsíc
η_{el}	Účinnost elektrického kotle	%
$L_{tep.č.}$	Roční náklady na provoz tepelného čerpadla	Kč/rok
COP	Topný faktor	-

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr.:2.1 Konvenční kotel[37].....	14
Obr.:2.2 Kondenzační kotel[37]	15
Obr.:2.3 Prohořivací kotel[38]	16
Obr.:2.4 Odhořivací kotel[38]	16
Obr.:2.5 Zplyňovací kotel[38]	16
Obr.:2.6 Krb[39]	17
Obr.:2.7 Kamna[40]	17
Obr.:2.8 Krbová vložka[41]	17
Obr.:2.9 Akumulační kamna EMKO CZ M 30K[42]	18
Obr.:2.20 Elektrický kotel[43]	18
Obr.:2.11 Elektrický přímotop 1000/2000 W DESCON DA-T200[44]	18
Obr.:2.12 Schéma funkce tepelného čerpadla[45]	19
Obr.:2.13 Schémata tepelných čerpadel vzduch/voda kompaktní, dělený[46]	20
Obr.:2.14 Tepelné čerpadlo země/voda s vertikálním kolektorem (vlevo) s horizontálním kolektorem (vpravo)[46]	21
Obr.:2.15 Tepelné čerpadlo voda/voda při využití podzemní vody[47]	21
Obr.:2.16 Vytápění solárními kolektory[48]	22
Obr.:4.1 Vaillant VU 206/5-5 ecoTEC plus – ERP[32]	31
Obr.:4.2 Zplyňovací kotel na dřevo Atmos DC18S[33]	32
Obr.:4.3 THERM EL 23[34]	32
Obr.:4.4 Tepelné čerpadlo NORDline 17B9[35]	33
Obr. 4.5: Grafická závislost návratnosti vstupních investic	37
Obr. 4.6: Detail prvních dvou let provozu	37

9 SEZNAM TABULEK

Tabulka 3.1: Vstupní hodnoty počítaného objektu	23
Tabulka 3.7: Tepelná vodivost materiálů	25
Tabulka 3.8: Součinitel prostupu tepla	25
Tabulka 3.9: Měrný tepelný tok do venkovního prostředí	25
Tabulka 3.10: Vnitřní výpočtová teplota nevytápěných prostor	26
Tabulka 3.11: Vypočtené hodnoty při prostupu tepla do sousedních prostor	27
Tabulka 3.12: Tepelné ztráty větráním	29
Tabulka 4.1: Charakteristiky kotle Vaillant VU 206/5-5 ecoTEC plus – ERP	31
Tabulka 4.2: Charakteristiky kotle Atmos DC18S	32
Tabulka 4.3: Charakteristiky kotle THERM EL 23	32
Tabulka 4.4: Charakteristiky tepelného čerpadla NORDline 17B	33
Tabulka 4.5: Vstupní hodnoty plynového kotle	34
Tabulka 4.6: Vstupní hodnoty kotle na biomasu	35
Tabulka 4.7: Vstupní hodnoty pro elektrokotel	35
Tabulka 4.8: Charakteristiky tepelného čerpadla	36
Tabulka 4.9: Vývoj celkových nákladů za 7 let	36

10 SEZNAM PŘÍLOH

- 1 Příloha A
- 2 Příloha B