



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

TECHNICKO-EKONOMICKÁ STUDIE VYTÁPĚNÍ RODINNÉHO DOMU

ANALYSIS OF HEATING SYSTEMS FOR FAMILY HOUSE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Oleksandr Holubka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Lisý, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Oleksandr Holubka**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojírenského inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Martin Lisý, Ph.D.**
Akademický rok: 2021/22

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:

Technicko–ekonomická studie vytápění rodinného domu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce bude zaměřena na moderní způsoby vytápění rodinných domů a následný modelový výpočet pro vybraný objekt.

Cíle bakalářské práce:

- zpracovat základní přehled inovací ve vytápění rodinných domů,
- stručně porovnat jednotlivé způsoby vytápění rodinných domů,
- pro modelový dům zpracovat výpočet tepelných ztrát.
- pro modelový dům zpracovat základní technicko–ekonomickou studii vytápění.

Seznam doporučené literatury:

JANDAČKA, J., MIKULÍK, M.: Technologie pre zvyšovanie energetickeho potencialu biomasy. TU Žilina 2007, ISBN 978-80-969595-4-9

BAŠTA, J.: Regulace vytápění, ČVUT v Praze, 2007 ISBN - 978-80-01-02582-6

BROŽ, K.: Vytápění. Praha 2006, ISBN 80-01-02536-5

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je shrnutí možností a inovací ve vytápění rodinných domů. Tyto možnosti jsou následně porovnány. V poslední části jsou použity poznatky pro technicko-ekonomický návrh vytápění pro modelový dům.

Klíčová slova

Vytápění, dřevo, teplo, dům, palivo, zdroje, energie, krb, plynový kotel, tepelné čerpadlo.

ABSTRACT

The aim of this bachelor's thesis is the assessment of options and innovations when it comes to heating of family houses. These options are then compared. In the last part of this thesis, the gathered insight is used for a technical and economical evaluation and subsequent proposal of a heating system of the model house.

Key words

Heating, wood, heat, house, fuel, resources, energy, fireplace, gas boiler, heat pump.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HOLUBKA, Oleksandr. *Technicko-ekonomická studie vytápění rodinného domu* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139857>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Martin Lisý.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem *bakalářskou* práci na téma **Technicko-ekonomická studie vytápění rodinného domu** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Jméno a příjmení

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Martinu Lisému, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce. Dále děkuji své rodině a přítelkyni za trpělivost a podporu při studiu.

OBSAH

ÚVOD	11
1 Vytápění tuhými palivy	12
1.1 Vytápění biomasou	12
1.1.1 Kusové dřevo	12
1.1.2 Pelety.....	12
1.1.3 Brikety.....	12
1.2 Vytápění tuhými fosilními palivy	12
1.2.1 Hnědé uhlí	12
1.2.2 Černé uhlí	12
1.2.3 Koks	12
1.3 Vytápění uzavřenými krby a kamny	13
1.3.1 Krby s krbovou vložkou.....	13
1.3.2 Teplovzdušní a teplovodní krby.....	13
1.3.3 Krbová kamna	14
1.4 Kotly na tuhá paliva.....	14
1.4.1 Kotle s manuálním přikládáním	14
1.4.2 Automatické kotle	16
2 Vytápění plynem	17
2.1 Zemní plyn.....	17
2.2 Kotle na zemní plyn.....	17
3 Vytápění elektřinou	18
3.1 Typy vytápění za pomoci elektřiny	18
3.1.1 Elektrické přímotopné zdroje.....	18
3.1.2 Elektrické akumulární zdroje.....	20
4 Vytápění tepelnými čerpadly	22
4.1 Kompresorová tepelná čerpadla	22
5 Vytápění pomocí slunečního záření	25
6 Akumulace energie.....	27
6.1 Akumulace tepelné energie	27
6.2 Akumulace elektrické energie	27
7 Porovnání jednotlivých druhů vytápění	29
7.1 Porovnání z ekonomického hlediska	29
7.2 Porovnání z ekologického hlediska	30
7.3 Porovnání z hlediska komfortu.....	31
8 Návrh vytápění pro modelový dům.....	32
8.1 Popis modelového domu	32
8.2 Energetická náročnost domu	32
8.3 Aktuální způsob vytápění	34
8.4 Alternativní zdroje vytápění	36

8.4.1	Plynový kondenzační kotel	36
8.4.2	Tepelné čerpadlo vzduch-voda	37
8.5	Vyhodnocení.....	38
ZÁVĚR.....		40
Seznam použité literatury		41
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....		48
SEZNAM OBRÁZKŮ		50

ÚVOD

V dnešní době je na trhu k dispozici velké množství různých typů a možností vytápění rodinných domů. Volba vhodného zdroje vytápění se stává čím dál komplikovanější, ale stále je neméně důležitá. Základní parametry, rozhodující o volbě systému vytápění, jsou v první řadě ekonomické a komfortní. Dalším důležitým faktorem je v současnosti ekologie vytápění. Těmto parametrům se snaží co nejvíce přiblížit moderní zdroje vytápění. Tomuto okruhu otázek se věnuje tato práce. Práce je rozdělena do dvou částí. První část je rešeršní a druhá vychází z poznatků první části a zaměřuje se na technicko-ekonomický návrh vytápění pro rodinný dům.

V první části jsou uvedené informace o základních zdrojích vytápění. Vytápět můžeme tuhými fosilními palivy, plynem, elektřinou, tepelnými čerpadly, slunečním zářením a topnými oleji. Vzhledem k tomu, že použití topných olejů v porovnání s ostatními zdroji vytápění je minoritní, v další části práce se o nich nebudu zmiňovat. Dále v práci jsou shrnuté způsoby vytápění, jejich účinnosti a vliv na ekologii. Na konci první části jsou srovnávány jednotlivé druhy vytápění z pohledu ekonomiky, komfortu a dopadu na životní prostředí.

Ve druhé části práce je vypočítán odhad tepelných ztrát rodinného domu a spotřeba energie na ohřev teplé vody. Pote jsou navržené alternativní zdroje vytápění s ohledem na ekonomické a ekologické hledisko. Dále jsou spočítány roční náklady na vytápění a ohřev teplé vody. Také je určen odhad investičních nákladů na alternativní zdroje vytápění a spočítána jejich návratnost. V poslední části je uvedeno zhodnocení těchto zdrojů vytápění.

1 Vytápění tuhými palivy

1.1 Vytápění biomasou

Biomasa je veškerá hmota biologického původu. Biomasa splňuje požadavek na neutralitu produkce oxidu uhličitého do ovzduší – množství oxidu uhličitého pohlceného při růstu organické hmoty by se mělo rovnat jeho emisi při energetickém využití této hmoty. Rozlišujeme dřevní biomasu, biomasu rostlin, biomasu zemědělských plodin a biomasu živočišného původu. [1]

1.1.1 Kusové dřevo

Dřevo patří k nejlépe dostupným zdrojům vytápění. Můžeme ho rozdělit na dřevo z jehličnanů, které je měkké a vhodnější k rozpalování a na dřevo z listových stromů, které je tvrdší a jeho hoření trvá delší dobu.

Relativní vlhkost dřeva má zásadní vliv na jeho výhřevnost. Čerstvě pokácené dřevo má vlhkost kolem 55–60 %. Optimální vlhkost dřeva je kolem 20 % – při této vlhkosti se výhřevnost dřeva pohybuje kolem 15 MJ/kg. [2]

1.1.2 Pelety

Jsou to granule kruhového průřezu s průměrem 6 až 14 mm a s délkou 1 až 5 cm. Vyrábějí se slisováním za vysokého tlaku a teploty okolo 160 °C. Při výrobě se nepoužívají žádná pojiva. Materiálem pelet může být: dřevo, dřevní odpad, piliny, nebo stébelniny.

Pelety patří k nejušlechtlejším dřevním palivům. Jejich vlhkost se pohybuje okolo 10 %, mají nízký obsah popelu a vysokou výhřevnost, až do 18,5 MJ/kg. [3]

1.1.3 Brikety

Brikety se vyrábějí stejně jako pelety, pomocí slisování za vysokého tlaku. Při výrobě nejsou použita žádná pojiva nebo lepidla. Surovinou pro výrobu briket jsou dřevní nebo rostlinní zbytky. Ty jsou stlačované do tvaru válců nebo hranolů. Též se vyrábějí brikety z měkkého dřeva, které obsahují průchozí díru. Takovýto typ briket je vhodný pro rychlé vytopení prostoru. Pro stabilnější a delší hoření jsou vhodné klasické brikety.

Relativní vlhkost briket se pohybuje okolo 8 %, mají také vysokou výhřevnost, a to 15 až 19 MJ/kg. [4]

1.2 Vytápění tuhými fosilními palivy

1.2.1 Hnědé uhlí

Hnědé uhlí se používá častěji než černé, je zároveň levnější, má nižší kvalitu a obsah uhlíku v něm se pohybuje okolo 50 až 70 %. Čerstvě těžené hnědé uhlí obsahuje 20 až 60 % vody. Výhřevnost hnědé uhlí je 17,6 MJ/kg. [5]

1.2.2 Černé uhlí

Černé uhlí má menší obsah vody než uhlí hnědé. Je kvalitnější a dražší. Výhřevnost černého uhlí je kolem 23 MJ/kg. [5]

1.2.3 Koks

Koks je pevný uhlíkový zbytek vyrobený z nízkopopelového, nízkosírného čteného uhlí. Má vysokou výhřevnost kolem 27,5 MJ/kg. [6]

1.3 Vytápění uzavřenými krby a kamny

1.3.1 Krby s krbovou vložkou

Základní součástí krbu jsou krbové vložky. Vložky rozdělujeme podle materiálů na litinové a plechové, podle konstrukce na jednovlášťové a dvouvlášťové. Litinové vložky jsou používány kvůli dobré odolnosti při vysokých teplotách. Jejich nevýhodou je jejich křehkost. Plechové vložky jsou vyrobené ze žáruvzdorných plechů. Jsou levnější než vložky litinové, ale zevnitř je nutno je chránit šamotovou vyzdívkou. Účinnost krbů dosahuje 75–80 % a vhodným palivem do nich je dřevo. [7]

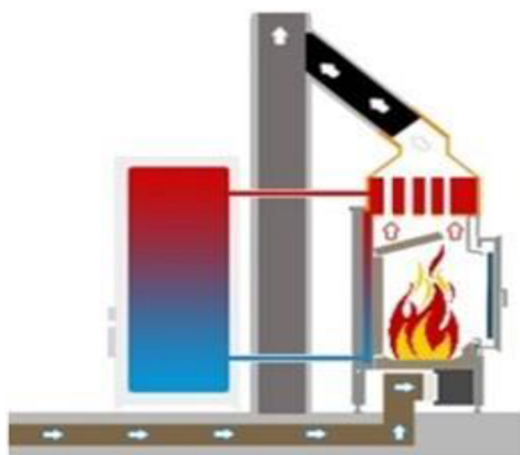


Obr. 1.1 Krbová vložka [54]

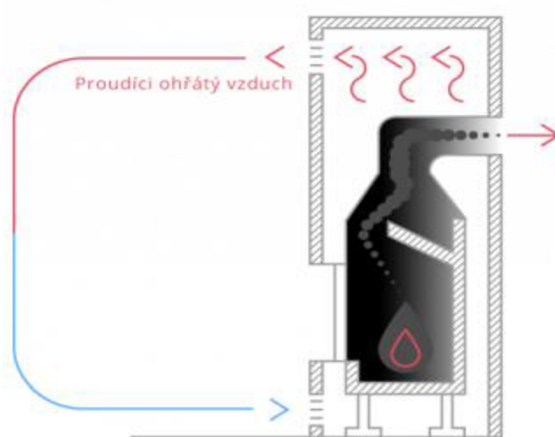
1.3.2 Teplovzdušné a teplovodní krby

Teplovzdušný krb se skládá z krbové vložky, která je obklopená vyzdívkou. Teplovzdušní krby ohřívají vzduch v přilehlé místnosti pomocí tepelné komory krbu. Takto ohřátý vzduch proudí zpět do místnosti pomocí komínového efektu uvnitř tepelné komory krbu. Použitím rozvodu teplého vzduchu, je možné vytápět více místností.

Teplovodní krby používají jako médium vodu, která proudí skrze vodní výměník v krbové vložce a ohřívá otopná tělesa v jednotlivých místnostech. Pro vytápění je používáno dřevo a brikety. Účinnost dosahuje hodnot 75–80 %. [7] [8]



Obr. 1.2 Teplovodní krb [55]



Obr. 1.3 Teplovzdušný krb [56]

1.3.3 Krbová kamna

Krbová kamna pracují na podobném principu jako krb, ale na rozdíl od pevně postaveného krbu je možné krbové kamna přemístit nebo vyměnit za jiný typ. Výhodou kamen jsou jejich rozměry, a tudíž mohou být dobrou náhradou krbu. Jako palivo jsou používány pelety, brikety a dřevo. Účinnost krbových kamen se pohybuje kolem 80 %. [7] [8]



Obr. 1.4 Krbová kamna [57]

1.4 Kotly na tuhá paliva

Mnoho lidí řeší otázku, jakým způsobem zajistit vytápění, případně ohřev teplé vody ve své domácnosti. Uživatel, který preferuje spalovací zařízení na tuhá paliva, má v dnešní době na výběr z mnoha kotlů od různých výrobců. Základní parametry pro výběr kotle jsou jeho pořizovací cena a výkon. Dalším často pomíjivým parametrem je komfort uživatele. Pod komfortem je myšleno, jak často je potřeba přikládat palivo a vynášet popel. Četnost přiložení přímo souvisí s typem zařízení, velikostí dávky paliva a typem paliva. [9]

Při provozu kotle na tuhá paliva je dobré mít základní představu o jeho emisích. Právě kouř z lokálních topenišť patří k největším zdrojům znečištění ovzduší hlavně v malých městech a vesnicích.

Kotle na pevná paliva se rozdělují do tříd dle normy z roku 2012 ČSN EN 303-5:1012. Emisní třídy rozdělují kotle podle jejich účinností a množství a složení jejich emisí. Kotle první emisní třídy jsou v tomhle ohledu nejhorší, naopak kotle páté emisní třídy mají velmi čistý provoz. V současné době je již zakázán prodej kotlů první, druhé a třetí emisní třídy. Od 1.9.2024 bude zakázáno používání kotlů první a druhé emisní třídy. Informace o emisní třídě kotle jsou obvykle uvedeny v technické dokumentaci. [10]

Omezení použití kotlů na tuhá paliva, které nesplňují požadavky EKODESIGNU jsou stanovené směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES. [82]

1.4.1 Kotle s manuálním přikládáním

Kotle se navrhují tak, aby byly jednoduché a levné. Nejrozšířenějším konstrukčním řešením je velkoobjemové ohniště, do kterého se přikládá velké množství paliva, čímž se zajistí delší doba mezi přikládáním. [11]

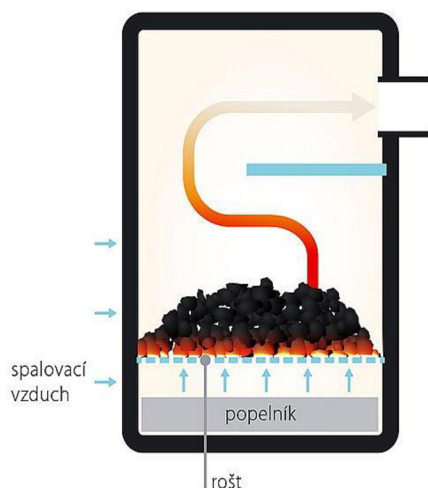
Prohořivací kotle

U prohořivacích kotlů spalování probíhá v celé dávce paliva ve stejnou dobu. Kotle jsou vybavené přívodem primárního vzduchu, který prochází přes celou dávku paliva. Částečná regulace výkonu je umožněna pomocí termostatického regulátoru tahu. Tento typ

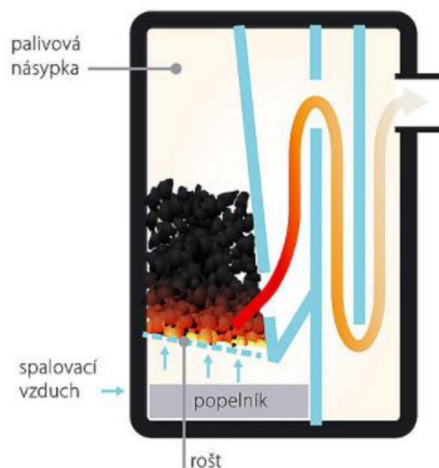
kotlů má větší emisivitu prachu a menší účinnost, která se pohybuje kolem 50–60 %. Tento typ kotlu nespĺňuje požadavky EKODESIGNU. Nejrozšířenějším palivem prohořivacích kotlů je dřevo, černé uhlí a koks. [9] [12]

Odhořivací kotle

Konstrukce odhořivacího kotle neumožňuje spalování celé vrstvy paliva, což umožňuje ustálenější průběh spalování ve srovnání s prohořivacím kotlem. V důsledku stabilnějšího spalování, je produkováno méně emisí než u prohořivacího kotle, ale emisivita prachu je stále vysoká. Účinnost kotlů se pohybuje kolem hodnot 55–75 %. Znovu nejsou splněné požadavky EKODESIGNU. Obvyklým palivem pro tento typ kotlů je dřevo a hnědé uhlí. [9] [12]



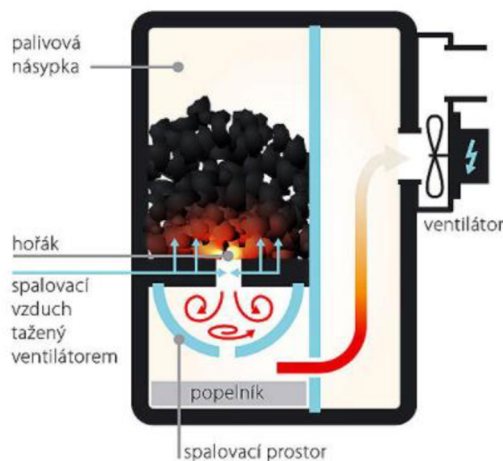
Obr. 1.5 Prohořivací kotel [58]



Obr. 1.6 Odhořivací kotel [58]

Zplyňovací kotel

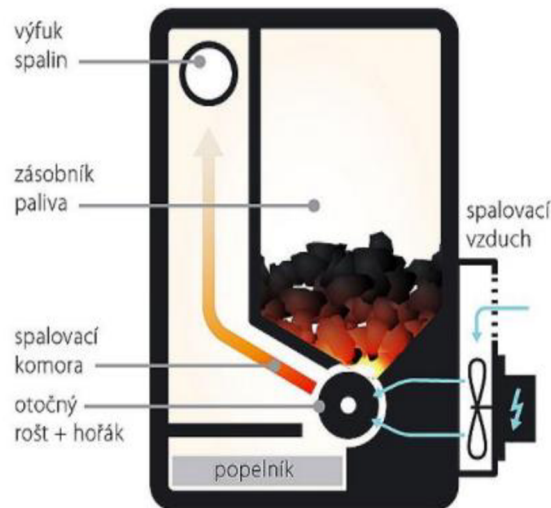
Zplyňovací kotel převádí problematiku spalování tuhých paliv na problematiku spalování plynu. V zásobníku paliva se z tuhého paliva uvolňuje prchavá hořlavina, která je spalována v spalovací komoře. Spalovací vzduch je dodáván ventilátorem, takže množství vzduchu je možné regulovat. Spalovací ventilátor zmenšuje vliv komínového tahu na kvalitu spalování. Vzhledem k vyšší kvalitě spalování paliva, je emisivita prachu těchto kotlů mnohem nižší než u výše zmíněných kotlů. Účinnost je také vyšší, 60–85 %. Obvyklým palivem je dřevo a hnědé uhlí. [9] [12]



Obr. 1.5 Zplyňovací kotel [58]

1.4.2 Automatické kotle

Pomocí kotlů s automatickým řízením je možné regulovat tepelný výkon, způsob spalování a způsob dodávání paliva. Palivo se skladuje v zásobníku – objem zásobníku při běžném provozu je potřeba plnit v intervalu 1 až 10 dní. Palivo je přiváděné dvěma způsoby, buď kontinuálně nebo stupňovitě. Automatické dodávání paliva má příznivý vliv na emisivitu, účinnost a životnost. Za splnění podmínky správného provozu, se jedná o nejekologičtější spalovací zařízení na tuhá paliva. Účinnost se pohybuje kolem 75–90 %. Běžně používané palivo je hnědé uhlí, pelety nebo černé uhlí. [9] [12]



Obr. 1.6 Automatické kotle [58]

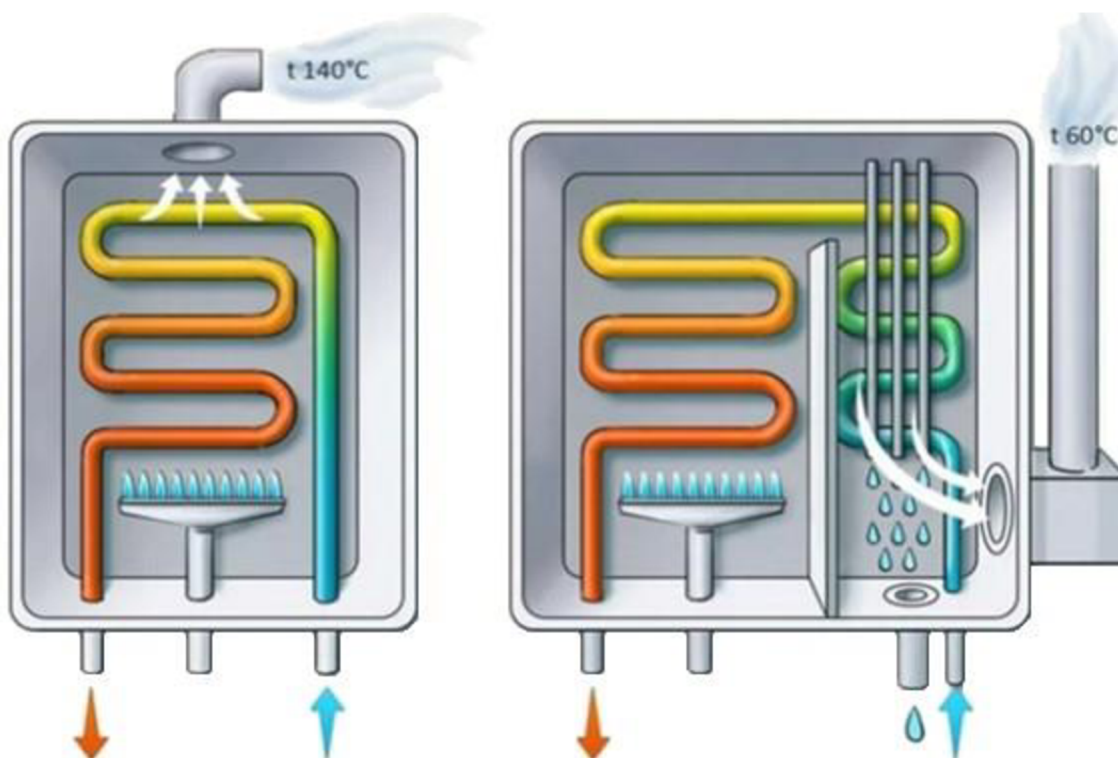
2 Vytápění plynem

2.1 Zemní plyn

Zemní plyn je tvořen organickými látkami stlačenými pod zemí za velmi vysokého tlaku po dlouhou dobu. Ve složení zemního plynu je převážně metan CH_4 70–90 %, minoritní složky jsou s obsahem 0–20 % etanol C_2H_6 a propan C_3H_8 . Zemní plyn je považován za ekologické palivo, jeho spalováním vzniká ve srovnání s pevnými a kapalnými palivy daleko méně škodlivin. Výhřevnost zemního plynu se pohybuje kolem $33,5 \text{ MJ/m}^3$. [13] [14] [15]

2.2 Kotle na zemní plyn

Kotle na zemní plyn se dají rozdělit na klasické atmosférické plynové konvenční kotle a na kondenzační kotle. U atmosférických plynových konvenčních kotlů teplo získáváme prostým spalováním zemního plynu. Teplota otopné vody je udržována nad teplotou rosného bodu spalin, aby nedocházelo ke kondenzaci páry ve spalinách. Účinnost těchto kotlů dosahuje 89 %. Vzhledem k jejich nižší účinnosti v této době už nejsou používány. Kondenzační plynové kotle využívají energii zemního plynu lepším způsobem nežli kotle atmosférické. Při spalování zemního plynu vzniká vedle oxidu uhličitého také určité množství vody, která odchází ve formě vodní páry s ostatními složkami spalin do atmosféry. Vodní pára ve spalinách s sebou odnáší určité množství energie. Ochlazením spalin na teplotu rosného bodu dojde ke kondenzaci vodní páry na teplý kondenzát, a tím získáme teplo nejen z výhřevnosti zemního plynu, ale také z kondenzace páry obsažené ve spalinách. Účinnost kondenzačních plynových kotlů dosahuje až 108 %. [15] [16] [17]



Obr. 2.1 Klasický plynový kotel (vlevo) a kondenzační plynový kotel (vpravo) [59]

3 Vytápění elektrinou

3.1 Typy vytápění za pomoci elektřiny

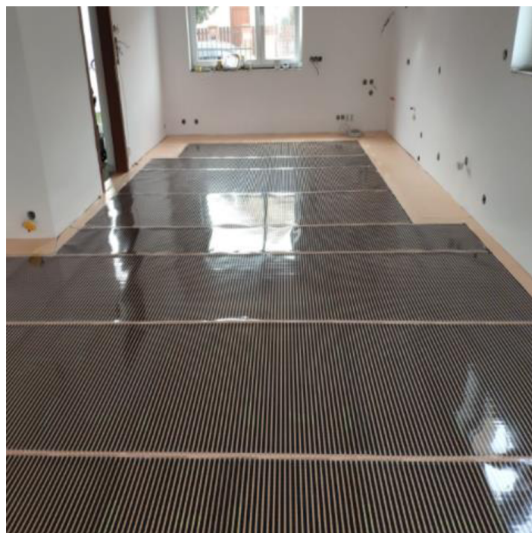
Při vytápění elektrinou vzniká teplo přeměnou elektrické energie. Jedna z možností rozdělení typů vytápění je podle způsobu přenosu tepla. Šíření tepelné energie může probíhat pomocí proudění (konvekce), sálání (radiací) nebo vedení (kondukcí). Při vytápění kondukcí není používána. Další možností je rozdělení podle typu zdroje, a to na elektrický přímotopný zdroj, elektrický akumulární zdroj a tepelné čerpadlo. [18] [19]

3.1.1 Elektrické přímotopné zdroje

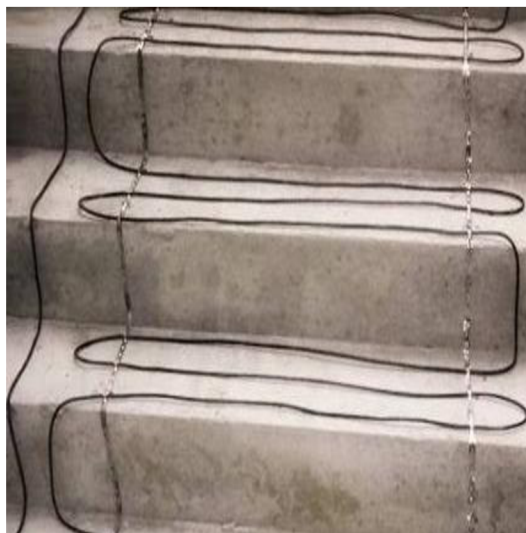
Přímotopné zdroje mění elektrickou energii na tepelnou průchodem elektrického proudu vodičem s potřebným elektrickým odporem. Zdroje tepla mohou být umístěny ve vytápěné místnosti za účelem přímého vyrábění a předávání tepla, nebo se nacházejí mimo vytápěný prostor. Tyhle zdroje pak předávají teplo prostřednictvím otopné vody nebo ohřívání vzduchu. [19]

Elektrické podlahové vytápění

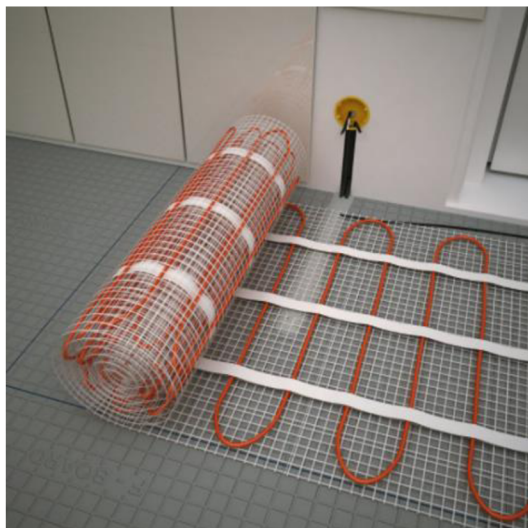
Vytápěná místnost má v podlaze zabudovány ukládány elektrické topné kabely, topné kabely pevně upevněné v rohožích nebo elektrické topné fólie. Tvar podlahového vytápění lze přizpůsobit na jakýkoliv půdorys vytápěné místnosti. Elektrická přípojka musí být dostatečně dimenzována pro tento způsob vytápění. Každý elektrický okruh je připojen na samostatný jistič. Účinnost elektrického podlahového vytápění dosahuje 99 %. Nachází-li se na vytápěné ploše nábytek s nízkými nohama, pak se výkon podlahové otopné plochy snižuje o cca 50 %. Vliv nábytku na vysokých nohách je možné zanedbat. [20]



Obr. 3.1 Topné fólie [60]



Obr. 3.2 Elektrické topné kabely [61]



Obr. 3.1 Topné rohože [62]

Infrazářiče

Infrazářiče jsou zdroje s větší plošnou koncentrací přeměny elektrické energie na tepelnou, a z tohoto důvodu jsou kompaktní. Činnost infrazářiče je založena na ohřátí topné infratrubicе umístěné v zářiči, kde se následně vytvářejí infračervené paprsky. Tyto paprsky pak prochází vzduchem a při dopadu na okolní předměty dochází k jejich přeměně na teplo. Tím je zajištěn dostatečný tepelný komfort i při nižších teplotách. Vzduch je ohříván nepřímo, v důsledku rozdílných teplot mezi okolními předměty a samotným vzduchem. Jejich požití je vhodné v málo vytápěných koupelnách nebo ve větších halách. [19] [21]



Obr. 3.2 Infrazářič [63]

Nástěnné elektrické konvektory

Veškeré teplo je dodáváno konvekcí. Vzduch je nasáván ve spodní části konvektoru, pak je ohříván prouděním kolem topného tělesa a nakonec samovolně vystupuje mřížkou v horní části topidla. Konvektory mohou být vybaveny ventilátorem pro rychlejší přenos tepla. Dodávka tepla je řízená termostatem, který reaguje na aktuální okolní teplotu vytápěného prostoru. [22]

Nástěnné sálavé přímotopy

Jedná se o hybrid mezi konvektorem a infračerveným topným panelem. Díky speciální konstrukci je téměř 50 % tepla předáváno sáláním. Tenhle přímotop vyzařuje teplo z pláště topidla a zároveň ohřívá vzduch, který přes dané topidlo proudí. [18]

Sálavé stropní panely

U tohoto zdroje vytápění vysoce převažuje sálavá složka přenosu tepla nad konvekční složkou. Topným prvkem těchto panelů je tkaná topná folie na bázi grafitu, která je oddělena od pohledové části dielektrickou deskou. [18]

Elektrické kotle

Elektrický kotel pracuje na principu ohřátí topné vody pomocí elektrických topných těles. Ohřátá voda z kotle cirkuluje ve vytápěcím systému pomocí rozváděcího čerpadla nebo samotíží. Požadovaná teplota je regulována prostorovým termostatem, který je umístěn v referenční místnosti. [23]



Obr. 3.5 Nástěnný elektrický konvektor [64]



Obr. 3.6 Nástěnný sálavý přímotop [65]



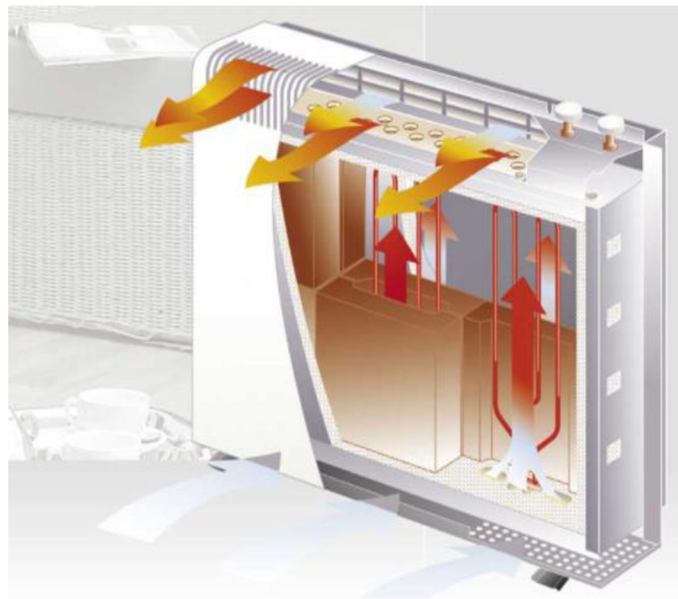
Obr. 3.7 Sálavý stropní panel [66]



Obr. 3.8 Elektrický kotel [67]

3.1.2 Elektrické akumulční zdroje

K elektrickým akumulčním zdrojům vytápění patří **akumulační kamna**. Ty jsou složeny z tepelně izolovaného pláště vyplněného vysoce výhřevným jádrem – například z magnezitových cihel, mezi které jsou uloženy topné tyče. Tepelná energie je ukládána do akumulčních cihel. K vybití dochází buďto přirozeným prouděním vzduchu kolem cihel, nebo procházení vzduchu pomocí ventilátoru. [22] [24]



Obr. 3.3 Akumulační kamna [68]

4 Vytápění tepelnými čerpadly

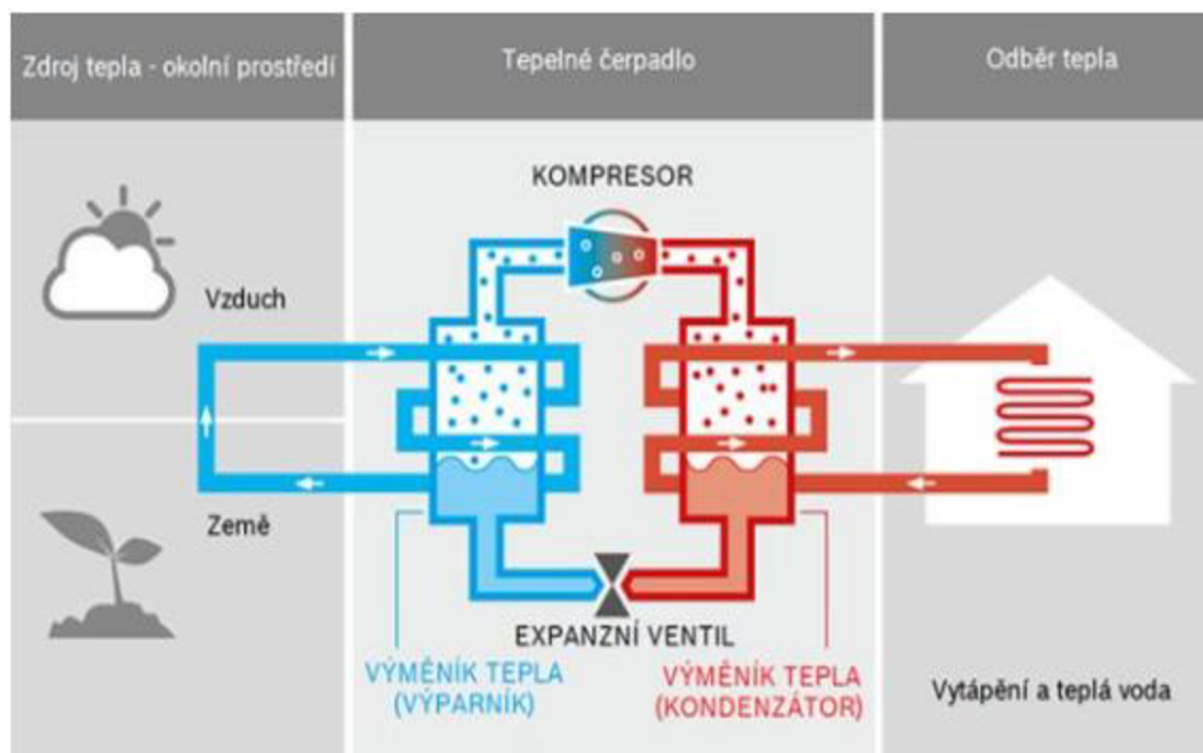
Tepelné čerpadlo odnímá teplo z okolí vytápěného objektu (vzduchu, země nebo vody) a převádí ho na vyšší teplotní hladinu použitelnou pro vytápění a ohřev teplé vody. Okolí má nižší teplotu než vytápěný objekt. Pro přenos tepelné energie z prostředí s teplotou nižší do prostředí s teplotou vyšší je třeba dodat energii – buď na pohon kompresoru, nebo na procesy probíhající v sorpčním materiálu. [25] [26]

U tepelných čerpadel jsou používána speciální chladiva (čpavek, freony, uhlovodíky), jež mají při atmosférickém tlaku nízkou teplotu varu.

Veličina, podle které se posuzuje energetická efektivita tepelného čerpadla, je topný faktor (značí se COP, z anglického Coefficient of Performance). Je to poměr získané tepelné energie ku spotřebované elektrické energii. Vzhledem k tomu, že teplo získané z okolí se neuvažuje, topný faktor je vždy větší než 1 (obvykle 2–5). Topný faktor je okamžitá veličina, vždy se vztahuje k přesně daným podmínkám, za jakých byl zjištěn. [27]

4.1 Kompresorová tepelná čerpadla

Kompresorové tepelné čerpadlo pracuje podle obráceného Rankinova oběhu. V první části oběhu se nachází výparník. V této oblasti se chladivo vypařuje – pro tento děj je třeba dodat tepelnou energii, takzvané latentní teplo. Toto teplo je získáno z okolí. Pak chladivo ve formě páry proudí do kompresoru, kde kompresí zvýšíme jeho teplotu. Ve třetí části se nachází kondenzátor. V této části se chladivo ochlazuje a poté kondenzuje, čím je získáváno teplo, kterým je ohřívána voda nebo vzduch. V poslední části oběhu je škrtkovací ventil, který slouží k snížení tlaku chladiva na původní hodnotu a zároveň snižuje teplotu ochlazení. Ochlazené, a se sníženým tlakem, chladivo proudí do výparníku, kde se oběh opakuje. [28]



Obr. 4.1 Schéma kompresorového tepelného čerpadla [69]

Tepelné čerpadlo země-voda

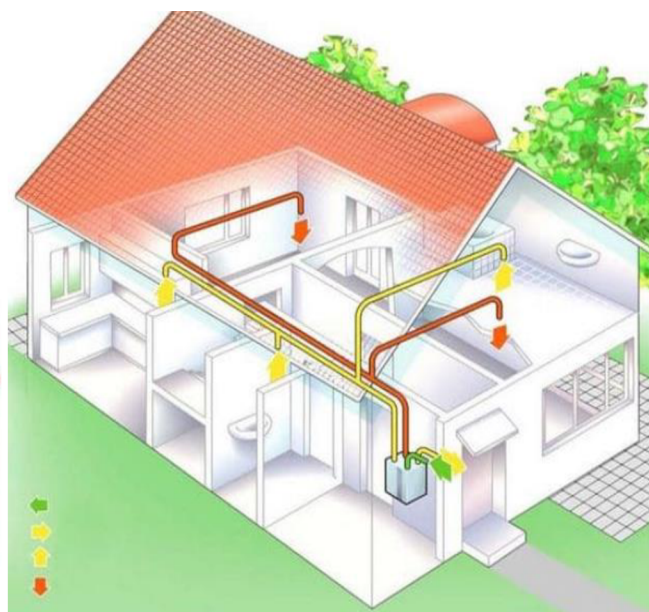
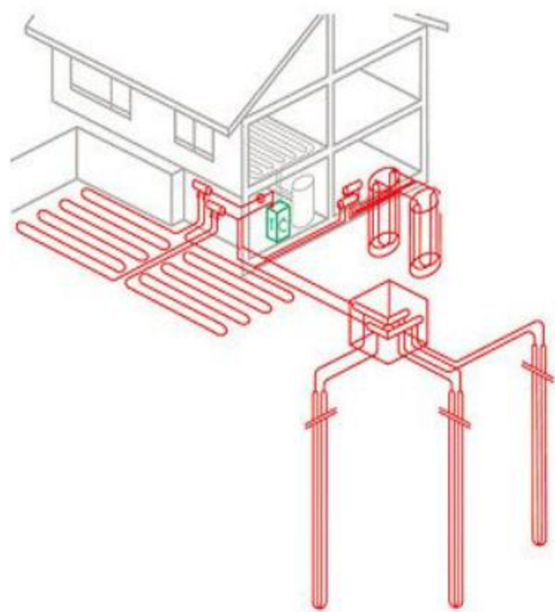
U tohoto typu tepelného čerpadla je teplo získáváno z půdy. Jsou dvě možné realizace: hlubinný vrt nebo zemní plošný kolektor.

S rostoucí hloubkou pod povrchem země roste teplota hornin. V hloubce 100 metrů je teplota přibližně 10 °C. Teplota v průběhu roku je zde neměnná. Tato vlastnost je využita při použití tepelného čerpadla s hlubinným vrtem. Hloubka vrtu je závislá na požadovaném výkonu a na geologických podmínkách. Jejich hodnoty se pohybují od 50 do 180 m. Tepelné čerpadlo o výkonu 10 kW má hloubku vrtu přibližně 140 m. Důležitou předností tohoto typu tepelného čerpadla je vysoký topný faktor, který v průběhu roku zůstává prakticky neměnný.

Dalším možným zdrojem je využití půdního kolektoru. Do hloubky 1,1–1,8 m se umístí polyetylenové potrubí, ve kterém proudí chladivo. Půda je ochlazována tímto chladivem, čímž se získává teplo. [28]

Tepelné čerpadlo vzduch-vzduch

Tepelné čerpadlo odebírá teplo z venkovního vzduchu a ohřívá vzduch uvnitř budovy. Topný faktor klesá se snižující se teplotou vzduchu. Tento typ tepelného čerpadla se dá také použít jako chladič. [29]



Obr. 4.2 Tepelné čerpadlo země-voda [70] Obr. 4.3 Tepelné čerpadlo vzduch-vzduch [71]

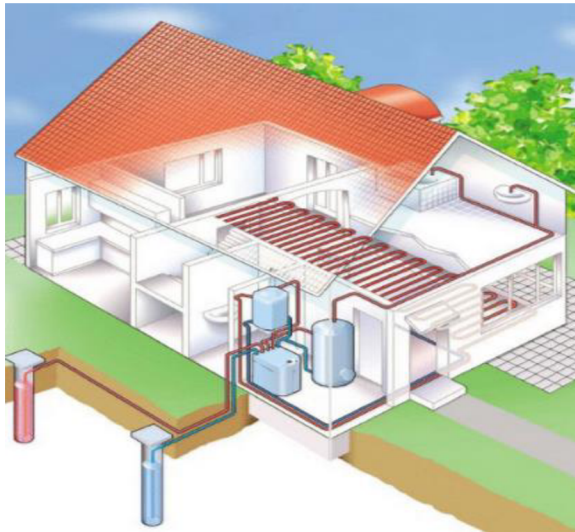
Tepelné čerpadlo voda-voda

Zdrojem tepla je spodní voda. Ta se odebírá ze zdrojové studny a po ochlazení se vypouští do druhé, takzvané vsakovací studny. Teplota vody v hloubce od 10 metrů je stálá během celého roku a pohybuje se v rozmezích 8–10 °C. Výhodou tohoto systému je vysoký průměrný topný faktor. [28]

Tepelné čerpadlo vzduch-voda

Tepelné čerpadlo pracuje na podobném principu jako varianta vzduch-vzduch. Jediný rozdíl je v tom, že místo předání tepelné energie vzduchu, se teplo předává do vodního

okruhu, kterým se objekt vytápí. Topný faktor klesá se snižující se teplotou vzduchu. Tepelné čerpadlo se dá používat i jako chladič. [30]



Obr. 4.4 Tepelné čerpadlo voda-voda [72]

Obr. 4.5 Tepelné čerpadlo vzduch-voda [73]

Bivalentní zdroj tepla

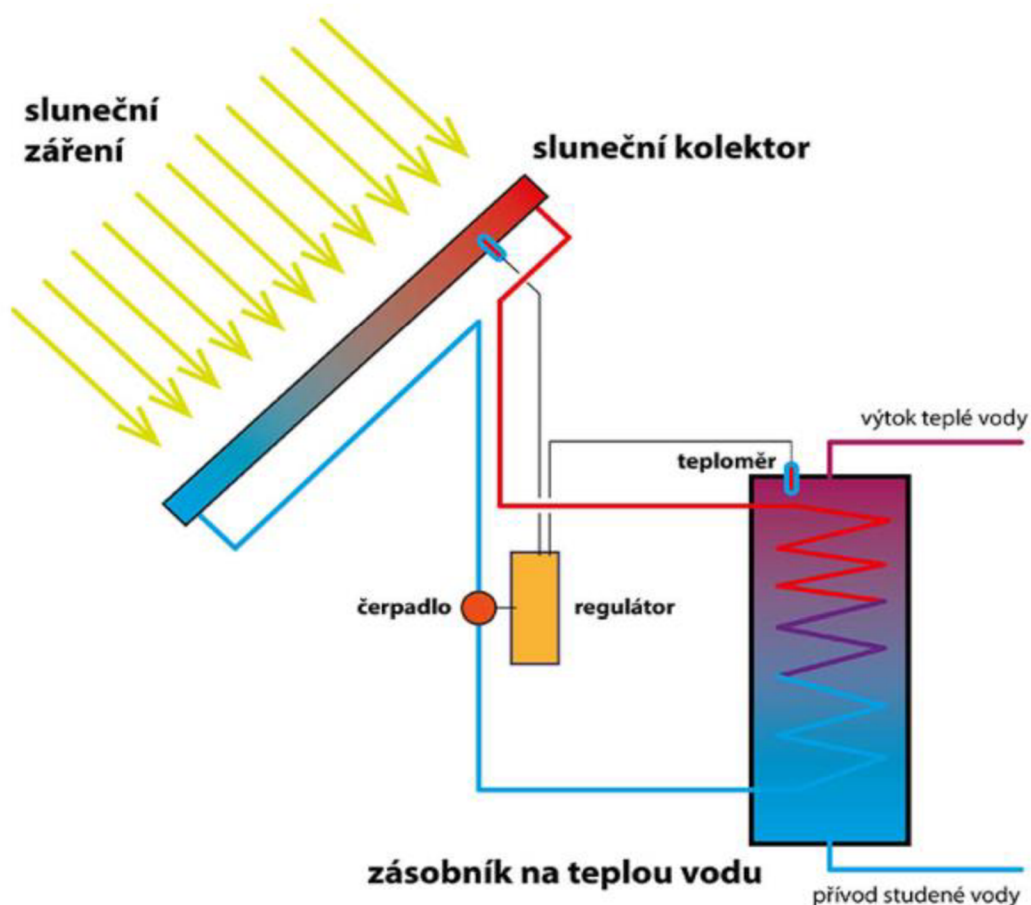
V případě, že kompresor tepelného čerpadla není schopen sám dodávat potřebné množství tepla, používá se pomocný zdroj tepla. Tato situace může nastat při nižších teplotách venkovního vzduchu, kdy je používáno tepelné čerpadlo vzduch-vzduch nebo vzduch-voda. Jako bivalentní zdroj se nejčastěji používá elektrický kotel, ale také se můžou použít plynové kotle nebo kotle na pevná paliva.

5 Vytápění pomocí slunečního záření

Slunce je největším zdrojem energie pro naši planetu. Díky absorpci slunečního záření povrchem Země, je na Zemi průměrná teplota kolem 15 °C. Sluneční energii je možné využívat aktivním způsobem, pod čímž rozumíme přeměnu slunečního záření na teplo nebo na elektrickou energii. Získané teplo se používá na ohřátí vody nebo vzduchu. Podle ohřivaného média se solární vytápění rozděluje na kapalinné a teplovzdušné. Pro přeměnu slunečního záření na elektrickou energii slouží fotovoltaické solární systémy. [31] [32]

Kapalinové solární vytápění

Základním prvkem jsou kapalinové solární kolektory. Jsou to plochá zařízení opatřená průsvitným sklem, pod kterým je systém trubek, ve kterých proudí kapalina (nejčastěji voda). Sluneční paprsky prochází přes průhlednou část kolektoru a dopadají na absorbér, čímž ho ohřívají. Podle konstrukce, rychlosti průtoku, plochy kolektoru a intenzity slunečního záření dokáže solární kolektor při jednom průtoku ohřát vodu o 5 až 80 °C. Nedostatečný ohřev vody lze vyřešit několikanásobným průtokem vody slunečním kolektorem. [33]



Obr. 5.1 Schéma kapalinového solárního vytápění [74]

Teplovzdušné solární vytápění

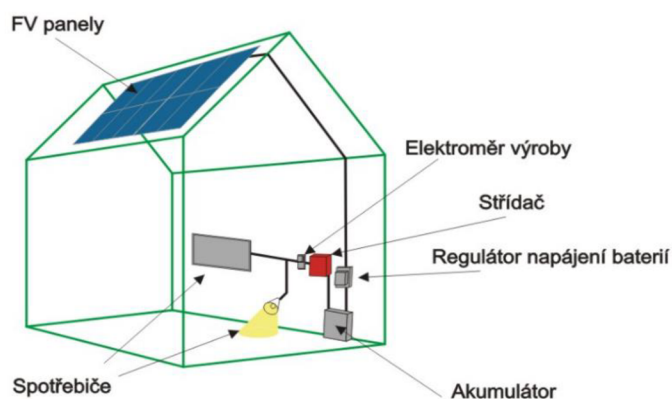
Základní součástí jsou teplovzdušné solární kolektory. Podobně jako u kapalinových solárních kolektorů se opět jedná o ploché panely s průsvitným skly, pod kterými se nachází systém trubek, ve kterých proudí vzduch. V teplovzdušném solárním kolektoru dochází ke ohřátí vzduchu slunečním zářením. Ohřátý vzduch je pak ventilátory vyháněn do systému teplovzdušného vytápění objektu. [33]



Obr. 5.2 Schéma teplovzdušného solárního vytápění [75]

Fotovoltaické solární vytápění

Přeměna zářivé energie v elektrický proud probíhá ve fotovoltaickém slunečním článku. Nejpoužívanější sluneční článek je vyroben z křemíku. Je to tenká destička z krystalu křemíku. Spojením slunečních článků vznikne sluneční panel. V průběhu letního poledne vyprodukuje sluneční panel o ploše 1 m² 150 W stejnosměrného proudu. V dnešní době je nejvyšší dosažená účinnost fotovoltaických panelů 25 %. Kromě toho je negativním faktorem i jejich závislost na intenzitě a době slunečního záření. V ČR jsou v průběhu roku tyto veličiny relativně proměnlivé, a proto se fotovoltaické solární panely nedají používat jako samostatné zdroje elektrické energie. [31] [34]



Obr. 5.3 Schéma funkce fotovoltaického solárního panelu [76]

6 Akumulace energie

Výkon fotovoltaických a fototermických solárních panelů v průběhu dne je relativně proměnlivý. Podobný efekt se dá pozorovat i u tepelných čerpadel získávajících teplo ze vzduchu, kde se jejich topný faktor mění během dne vlivem měnící se teploty vzduchu.

V případě vytápění elektrinou je možné odebírat elektrickou energii ve dvou tarifech. V dražším, takzvaném vysokém tarifu, v jehož platnosti je provoz elektrického vytápění blokován a v levnějším, takzvaném nízkém tarifu, který je využíván jak pro vytápění, tak pro používání ostatních elektrických spotřebičů. [35]

Akumulací energie je možné tyto nevýhody z části eliminovat. Akumulace energie se rozděluje na akumulaci tepla a akumulaci elektrické energie.

6.1 Akumulace tepelné energie

Akumulační zdroje tepla jsou založeny na principu ukládání tepelné energie do akumulátoru tepla. Nejjednodušší způsob akumulace tepla je ohřev pracovní látky, přičemž se využívá měrné teplo této látky. Vhodnou pracovní látkou je voda – má velkou tepelnou kapacitu $4,2 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ a nízkou cenu. Akumulačními zásobníky tepla jsou bojler nebo akumulační nádoby.

V menší míře se používá kamenivo nebo jiná pevná látka. Výhodou těchto látek je vyšší rozsah provozních teplot, jednodušší konstrukce, a na rozdíl od vody, nemůže dojít k poškození systému mrazem. Nevýhodou je mnohem nižší měrná tepelná kapacita $0,8 \text{ až } 1 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$. Do této skupiny patří akumulační kamna a kachlová kamna. V případě podlahového vytápění se používá jako zásobník tepla betonová vrstva podlahy. [36]



Obr. 6.1 Bojler [77]



Obr. 6.2 Kachlová kamna [78]

6.2 Akumulace elektrické energie

Elektrickou energii zatím nelze skladovat přímo, proto se využívá vratná přeměna elektřiny na jinou formu energie – chemickou energii. K tomu slouží bateriové úložiště. Základním požadavkem baterie je dostatečná akumulační schopnost a dlouhá živostnost. Klasické hodnoty kapacity baterie se pohybují od 2 od 16 kWh.

Elektrickou energii je možné čerpat z distribuční sítě v době nízkého tarifu, akumulovat ji do baterie a využívat ji v době vysokého tarifu. Další možností je používání fotovoltaických elektráren, které během dne vyrábějí víc elektřiny, než domácnost potřebuje. Přebytky jsou ukládány do akumulátoru a využívány během noci. [37] [38] [39]



Obr. 6.3 Baterie [79]

7 Porovnání jednotlivých druhů vytápění

Při volbě způsobů vytápění pro rodinný dům je možné vybírat z množství technologií, kde každá má svoje výhody a nevýhody. Vhodnou volbu je možné udělat na základě mnoha kritérií, přičemž každé může mít jinou váhu pro různé uživatele. Mezi zásadní kritéria se řadí ekonomické, ekologické a komfortní hledisko.

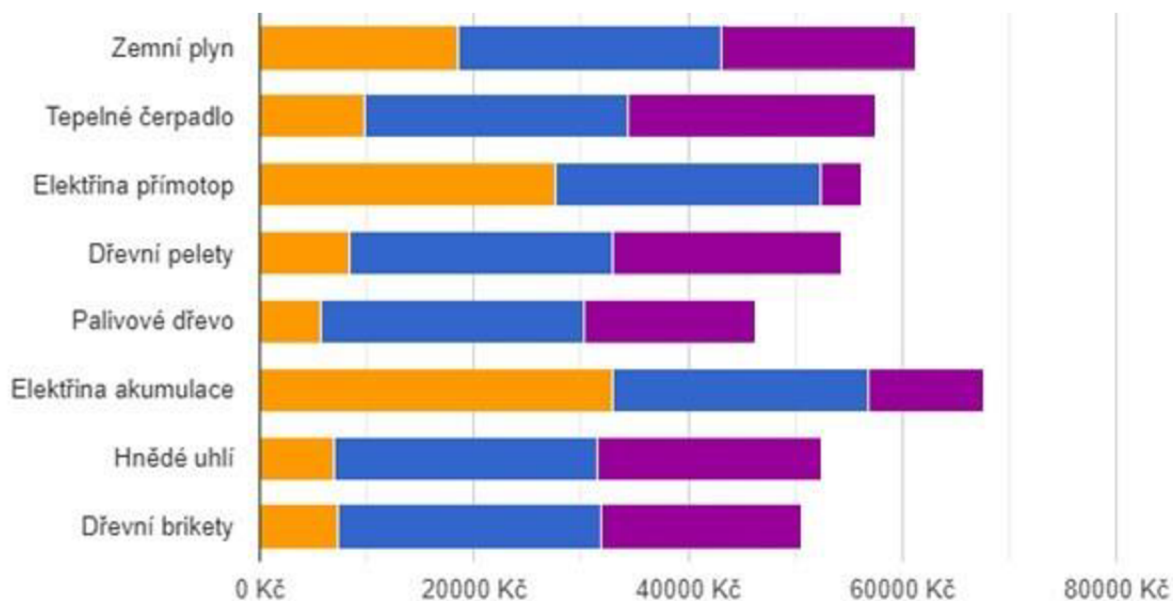
7.1 Porovnání z ekonomického hlediska

Základní otázkou při návrhu zdroje vytápění je jeho ekonomické hledisko. To je závislé na mnoha faktorech, kde základní z nich jsou počáteční investice a roční náklady na energii. Počáteční investice se pohybují v širokém rozmezí hodnot – od 15 000 Kč pro elektro kotel až 500 000 Kč pro tepelné čerpadlo. Roční náklady na energii jsou závislé na energetických ztrátách budovy a tepla potřebného na ohřev teplé vody. Tepelná ztráta závisí na klimatické oblasti, nadmořské výšce a izolaci domu. [40] [41]

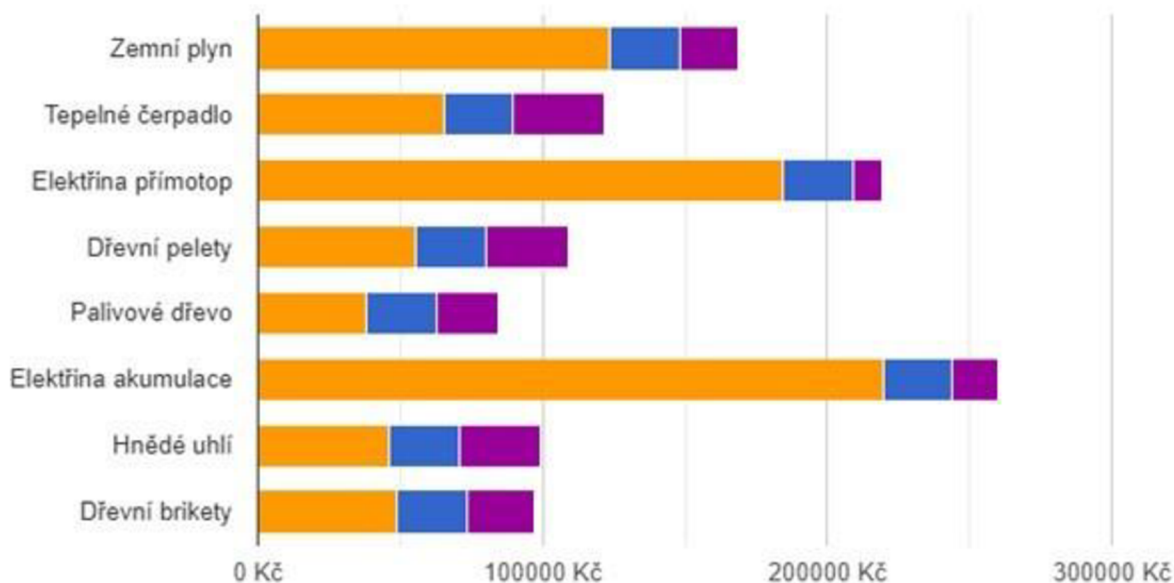
Pro posouzení rozdílu mezi jednotlivými zdroji jsem se rozhodl porovnat dva domy, které mají stejnou plochu a objem, nachází se ve totožné nadmořské výšce a ve stejné klimatické oblasti. Spotřeba teplé vody je pro oba domy identická. Jediný rozdíl je v tepelných ztrátách domů – dům č. 1 má tepelnou ztrátu 3 kW a dům č. 2 ji má 20 kW. Výpočet je proveden pomocí online kalkulačky na webu Tzb-info.

Investiční náklady a náklady na údržbu jsou vypočítány s ohledem na životnost topného systému.

Náklady na vytápění (žlutá barva), náklady na ohřev teplé vody (modrá barva), investiční náklady a náklady na údržbu (fialová barva). [40]



Obr. 7.1 dům č. 1 náklady na vytápění [40]



Obr. 7.2 dům č. 2 náklady na vytápění [40]

V současné době dochází k prudkému zvyšování cen energií a paliv. U zemního plynu a elektrické energie dochází k zvláště velkým výkyvům cen. [40]

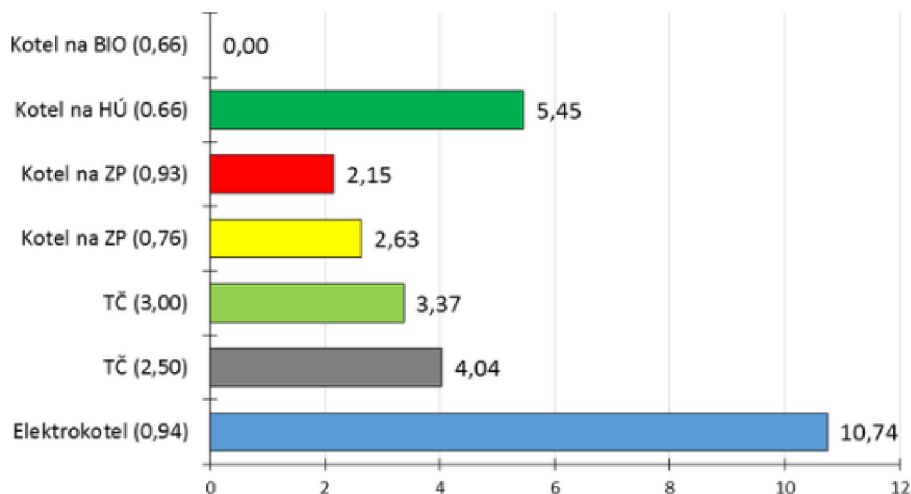
Jak je vidět z Obr. 8.1 a 8.2, nejlevnějším zdrojem vytápění je palivové dřevo, hnědé uhlí a dřevní brikety. Nejdražší je vytápět elektřinou a plynem.

7.2 Porovnání z ekologického hlediska

Moderní zdroje vytápění musí splňovat požadavky na kvalitu paliva z ekologického hlediska. Množství emisí, jež tyto zdroje produkují, jsou omezené emisními limity, které stanovuje zákon č. 201/2012 Sb.

Podle množství emisí CO₂ je za ekologická paliva možno považovat zemní plyn a biomasu. Nejvíce znečišťuje ovzduší vytápění elektřinou a vytápění hnědým uhlím. I když elektrické vytápění nevytváří žádné emise přímo, více než třetina elektrické energie je vyráběna z černého a hnědého uhlí.

Na Obr. 8.1 je uveden příklad vytápění rodinného domu se spotřebou tepla 10 MWh/rok. Dům je vytápěn různými zdroji tepla a srovnávají se jeho roční produkce CO₂. [42] [43] [44]



Obr. 7.3 Produkce CO₂ [t CO₂/rok] [44]

7.3 Porovnání z hlediska komfortu

Komfort při vytápění a ohřátí teplé vody patří v současnosti k standardům bydlení. Přesto snadnost obsluhy různých systémů vytápění může být dosti odlišná. Mezi kritéria ovlivňující komfort uživatele je možné zařadit: míru údržby, potřebu prostor pro skladování paliva, potřebu komínu atd.

V tabulce 7.1 je uvedeno srovnání jednotlivých druhů vytápění z pohledu komfortu uživatele. Nejnáročnější na obsluhu jsou kotle na tuhá paliva s ručním přikládáním. U těchto kotlů je zapotřebí několikrát za den přikládat palivo, čistit zásobník na popel a dvakrát za rok čistit komín. Vyšší komfort poskytují automatické kotle na tuhá paliva, u nich se používá zásobník na palivo, čímž je zajištěna menší perioda mezi přikládáním paliva. Pro vytápění plynovým kotlem je nutné mít komín pro odvod spalin, jinak nepotřebují prakticky žádnou obsluhu. Nejnižší nároky na obsluhu má elektrický kotel nebo tepelné čerpadlo. [45]

Tab. 7.1 Porovnání z hlediska komfortu uživatele

Druh vytápěcího zařízení	Jednoduchost obsluhy (přikládání paliva)	Míra údržby	Potřeba skladu na palivo	Potřeba komínu
Kotel na tuhá paliva s ručním přikládáním	náročná	častá	ano	ano
Automatický kotel na tuhá paliva	méně náročná	častá	ano	ano
Kotel na zemní plyn	nenáročná	ojedinělá	ne	ano
Elektrický kotel	nenáročná	ojedinělá	ne	ne
Tepelné čerpadlo	nenáročná	ojedinělá	ne	ne

8 Návrh vytápění pro modelový dům

Pro návrh vytápění rodinného domu je nutné spočítat energetickou náročnost domu, která je závislá například na lokalitě budovy (průměrná teplota ovzduší v průběhu roku), tepelné izolaci budovy, požadované vnitřní teplotě, počtu osob bydlících v domě, způsobu ohřívání teplé užitkové vody a celkové tepelné ztrátě.

V prvním kroku se vypočítá odhad celkových tepelných ztrát objektu a potřebné teplo pro ohřev teplé užitkové vody. Dle získaných výsledků se vybere výkonově vhodný systém vytápění.

8.1 Popis modelového domu

Objekt se nachází v obci Kočí okres Chrudim v Pardubickém kraji. Jedná se o rodinný dům, ve kterém bydlí 4 osoby. Dům leží v nadmořské výšce 258 m. Konstrukce domu je provedena z cihel. Dům je zateplený polystyrenem tloušťky 100 mm. Pod podlahou se nachází izolace tloušťky 50 mm. Strop je zateplený polystyrenem tloušťky 100 mm. V domě jsou zavedena moderní eurookna s trojsklem. Celková obytná plocha je 129,7 m².

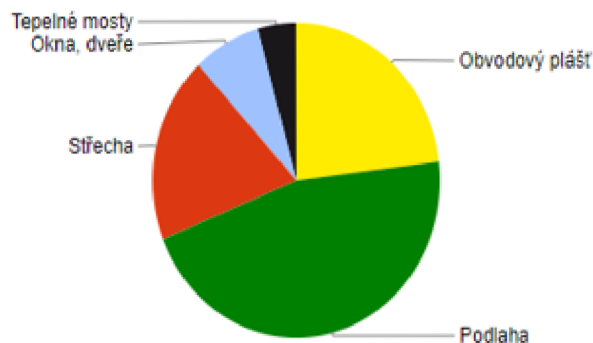


Obr. 8.1 Modelový dům

8.2 Energetická náročnost domu

V prvním kroku je vypočítán odhad tepelných ztrát. Výpočet tepelných ztrát budovy byl proveden pomocí online kalkulačky na webu Tzb-info. Tepelné ztráty domu při vnitřní teplotě pohybující se kolem 20 °C činí 8 kW. [46]

Typ konstrukce (větrání)	Tepelná ztráta [W]
Obvodový plášť	1,514
Podlaha	2,999
Střecha	1,260
Okna, dveře	495
Jiné konstrukce	0
Tepelné mosty	282
Větrání	1,532
--- Celkem ---	8,082



Obr. 8.2 Tepelné ztráty domu [46]

Lokalita (Tabulka) $t_{em} = 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ $t_{em} = 13\text{ }^{\circ}\text{C}$ $t_{em} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$???

Město Délka topného období [dny]

Venkovní výpočtová teplota $t_e = -12\text{ }^{\circ}\text{C}$ Prům. teplota během otopného období $t_{es} = 4.1\text{ }^{\circ}\text{C}$

Vytápění

Tepelná ztráta objektu $Q_C = 8\text{ kW}$

Průměrná vnitřní výpočtová teplota $t_{is} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$???

Vytápěcí denostupně
 $D = d \cdot (t_{is} - t_{e2}) = 3578\text{ K.dny}$

Opravné součinitele a účinnosti systému

$e_i = 0.75$??? $\eta_o = 0.90$???

$e_t = 0.90$??? $\eta_r = 0.95$???

$e_d = 1.00$???

Opravný součinitel ϵ ???

$\epsilon = e_i \cdot e_t \cdot e_d = 0.675$

$\epsilon = 0.75$

$$Q_{VVT,r} = \frac{\epsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_C \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}$$

$Q_{VVT,r} = (18.8 \text{ MWh/rok})$

Ohřev teplé vody

$t_1 = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$??? $\rho = 1000\text{ kg/m}^3$???

$t_2 = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$??? $c = 4186\text{ J/kgK}$???

$V_{2p} = 0.328\text{ m}^3/\text{den}$???

Koeficient energetických ztrát systému $z = 0.5$???

Denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody

$$Q_{TUV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} = 25.7\text{ kWh}$$

Teplota studené vody v létě $t_{svl} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$

Teplota studené vody v zimě $t_{svz} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$

Počet pracovních dní soustavy v roce $N = 365$ [dny]

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d)$$

$Q_{TUV,r} = (29.2 \text{ GJ/rok})$

$Q_{TUV,r} = (8.1 \text{ MWh/rok})$

Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody

$Q_r = Q_{VVT,r} + Q_{TUV,r} = (96.9 \text{ GJ/rok})$

$Q_r = Q_{VVT,r} + Q_{TUV,r} = (26.9 \text{ MWh/rok})$

Obr. 8.3 Celková spotřeba energie [47]

V dalším kroku je vypočítána celková spotřeba energie potřebná na vytápění a ohřev teplé vody. Pro tento výpočet byl použitý online výpočetní program, který se nachází na webu Tzb-info. Vstupními parametry (vycházejícími z předchozích výpočtů) pro výpočet byly: délka topného období a celková tepelná ztráta domu.

Celková spotřeba energie je 26,9 MWh/rok, z toho 18,8 MWh připadá na vytápění a zbylých 8,1 MWh připadá na ohřev teplé užitkové vody (Obr. 9.3). [47]

8.3 Aktuální způsob vytápění

Aktuálním zdrojem vytápění je teplovodní krbová vložka značky **BeF Home Aqua 7 Black** s výkonem 16,5 kW, ve které výkon do vody je 11,5 kW a výkon do vzduchu 5 kW. Její účinnost je 83 %. Krbová vložka je využívána také pro ohřátí teplé vody. Tento způsob vytápění a ohřívání teplé vody je využíván jen v průběhu otopného období, které trvá pro zvolenou lokalitu zhruba 225 dní. Za tuto dobu je spotřebováno celkově 23,8 MWh. Tato hodnota vychází ze sečtení energie na vytápění za celý rok a energie potřebné pro ohřev teplé vody v průběhu 225 dní.

Po skončení topné sezony je teplá voda ohřívána zásobníkovým ohřivačem vody značky **Dražice OKCE 200** o výkonu 2 kW a účinnosti 84 %. Za toto období – 140 dní – je spotřebováno 3,1 MWh. Spotřeba TUV je rozdíl hodnot celkové potřebné energii na ohřev teplé vody a potřeby energii na ohřev teplé vody v průběhu topného období.



Obr. 8.4 Krbová vložka



Obr. 8.5 Zásobníkový ohřivač vody

Výpočet nákladů na energii

Celková spotřeba energie v průběhu otopné sezony je 23,8 MWh. V následujícím výpočtu je tato hodnota převedena, celková spotřeba je 85 680 MJ. Tato energie se získává ze

spalování dříví. Pro vytápění se používá tvrdé dřevo (buk) s výhřevností 10830 MJ/plm. Jeden plometr dřeva stojí 3294 Kč. [48] [49]

Náklady na vytápění a ohřev TUV:

$$N_{kr} = \frac{E_{kr}}{n_{kr} \cdot H_{buk}} \cdot C_d \quad [Kč]$$

$$N_{kr} = \frac{85\,680}{0,83 \cdot 10\,830} \cdot 3\,294 = 31\,398 \text{ Kč}$$

Kde:

N_{kr}	[Kč]	náklady na vytápění krbem a ohřev TUV
E_{kr}	[MJ]	spotřeba energií na vytápění a ohřev TUV
n_{kr}	[-]	účinnost krbové vložky
H_{buk}	[MJ/plm]	výhřevnost dřeva
C_d	[Kč/plm]	cena dřeva za 1 plm

Tyto náklady přibližně odpovídají skutečným nákladu na vytápění krbovou vložkou.

Spotřeba energií pro ohřev TUV po skončení otopného období je 3,1 MWh. Sazba pro bojler je určena podle tarifu D25d. Aktuální hodnota sazby je 3 952 Kč/MWh. [50]

$$N_b = \frac{E_b}{n_b} \cdot C_{el1} \quad [Kč]$$

$$N_b = \frac{3,1}{0,84} \cdot 3\,952 = 14\,585 \text{ Kč}$$

Kde:

N_b	[Kč]	náklady pro ohřátí teplé vody bojlerem
E_b	[MWh]	spotřeba energie pro ohřev teplé vody
n_b	[-]	účinnost bojleru
C_{el1}	[Kč/MWh]	cena 1 MWh elektřiny

$$N_c = N_{kr} + N_b \quad [Kč]$$

$$N_c = 31\,398 + 14\,585 = 45\,983 \text{ Kč}$$

Kde:

N_c	[Kč]	celkové náklady na vytápění a ohřev TUV
-------	------	---

Investiční náklady:

$$N_{inv} = C_{kr} + C_b$$

$$N_{invkr} = 45\,600 + 8\,500 = 54\,100 \text{ Kč}$$

Kde:

N_{invkr}	[Kč]	celkové investiční náklady
C_{kr}	[Kč]	cena krbové vložky
C_b	[Kč]	cena bojleru

8.4 Alternativní zdroje vytápění

U návrhu alternativních zdrojů vytápění se vychází hlavně z teoretické části této práce. Cílem je pokusit se navrhnout ekonomicky vhodnější a zároveň šetrný k životnímu prostředí zdroj vytápění. Z tohoto důvodu jsem nevolil kotel na uhlí. Při návrhu alternativního zdroje byly vybrány dvě varianty: plynový kondenzační kotel a tepelné čerpadlo vzduch-voda. Zdroje vytápění jsem volil s větším výkonem, než jsou tepelné ztráty budovy.

8.4.1 Plynový kondenzační kotel

První volbou je závěsný plynový kondenzační kotel s externím zásobníkem na teplou vodu **VAILLANT Sestava VU 146/5-5 eco TEC plus + VIH R 150/6 M**. Rozsah tepelného výkonu kotle je 3,3 – 14,9 kW. Účinnost kotle je 108 %. Zásobník na teplou vodu má objem 144 litrů. [51]



Obr. 8.6 Plynový kondenzační kotel + zásobník teplé vody [80]

Aktuálně nabídka cen plynu je velmi proměnlivá vzhledem k politické situaci ve světě. Nejnižší aktuální cena plynu pro nové odběrateli nabízí společnost innogy. Pro spotřebu 26,9 MWh je sazba 3040 Kč/MWh. Podmínkou této sazby je smlouva na dobu určitou na 36 měsíců. [52]

Náklady na vytápění a ohřev TUV:

Účinnost plynového kotle v průběhu roku kolísá, pro to je u výpočtu použita nižší hodnota, než je uváděna výrobcem.

$$N_k = \frac{E_c}{n_{pk}} \cdot C_{pl} \quad [\text{Kč}]$$

$$N_k = \frac{26,9}{1} \cdot 3040 = \mathbf{81\,776\,Kč}$$

Kde:

N_k [Kč]

E_c [MWh]

náklady na vytápění a ohřev TUV
plynovým kondenzačním kotlem
spotřeba energie na vytápění a ohřev

n_{pk}	[-]	TUV
C_{pl}	[Kč/MWh]	účinnost plynového kotle
		cena 1 MWh plynu

Investiční náklady:

$$N_{invpl} = C_{pk} [Kč]$$

$$N_{invpl} = 65\,832\,Kč$$

Kde:

N_{invpl}	[Kč]	celkové investiční náklady
C_{pk}	[Kč]	cena plynového kotle a externího zásobníku

Návratnost investice:

Provozní náklady při použití plynového kondenzačního kotle jsou vyšší, než u stávajícího zdroje vytápění. Tudíž investice do tohoto zdroje vytápění by se nikdy nevrátila.

8.4.2 Tepelné čerpadlo vzduch-voda

Druhou volbou je tepelné čerpadlo vzduch-voda firmy Nibe. **NIBE F2040-12** s vnitřní jednotkou **VVM 320**. Systém zajišťuje i ohřev teplé vody. Čerpadlo je určeno pro tepelné ztráty domu od 8 do 12 kW. Topný faktor (COP) je 4,4 při podmínkách A7/W35. Při výpočtu nákladu je uvažován průměrný topný faktor. Čerpadlo je schopné efektivně pracovat do teploty -20 °C. [53]



Obr. 8.7 Tepelné čerpadlo vzduch/voda [81]

Elektrina je dodávána od společnosti ČEZ. Při výpočtu je použita dvoutarifová sazba D57d. Cena za 1 MWh v nízkém tarifu je 3860 Kč. Pro zjednodušení výpočtu budu uvažovat, že tepelné čerpadlo má dostatečný výkon pro vytápění a ohřev teplé vody. Případné větší výkyvy teplot, při kterých TČ nebude mít dostatečný výkon, je možné pokrýt stávající krbovou vložkou. [50]

Náklady na vytápění a ohřev TUV:

Pro zjednodušení výpočtu, nejsou uvažovány provozní náklady při použití bivalentního zdroje tepla. Výsledná hodnota by neměla velký vliv na dobu návratnosti.

$$N_{t\check{c}} = \frac{E_c}{\varepsilon_t} \cdot C_{el2} \quad [\text{K}\check{c}]$$

$$N_{t\check{c}} = \frac{26,9}{3,2} \cdot 3\,860 = \mathbf{32\,448\,K}\check{c}$$

Kde:

$N_{t\check{c}}$	[Kč]	náklady na vytápění tepelným čerpadlem
E_c	[MWh]	celková spotřeba energie
ε_t	[-]	topný faktor

Investiční náklady:

$$N_{inv\check{c}} = C_{t\check{c}}$$

$$N_{inv\check{c}} = 296\,355\,K\check{c}$$

Kde:

$N_{inv\check{c}}$	[Kč]	celkové investiční náklady
$C_{t\check{c}}$	[Kč]	cena tepelného čerpadla

Návratnost investice:

Jako bivalentní zdroj tepla může se požívat stávající krbová vložka. Z toho důvodu nejsou k investičním nákladu za bivalentní zdroj tepla.

$$D_{nt\check{c}} = \frac{N_{inv\check{c}}}{N_c - N_{t\check{c}}} = \frac{296\,355}{45\,983 - 32\,448} = 21,89 \text{ let}$$

Kde:

$D_{nt\check{c}}$	[rok]	doba návratností celkové investice vytápění TČ
-------------------	-------	--

8.5 Vyhodnocení

Tab. 8.1 Srovnání získaných hodnot pro navrhované zdroje vytápění

Druh vytápění	Počáteční investice [Kč]	Roční náklady na vytápění a ohřev TUV [Kč]	Návratnost [rok]
Stávající zdroj vytápění	54 100	45 893	-
Plynový kondenzační kotel	65 832	81 776	-
Tepelné čerpadlo vzduch-vody	296 355	32 448	17,89

Při konečném vyhodnocení zdrojů vytápění jsem dospěl k následujícím závěrům. Stávající zdroj vytápění má nejnižší počáteční investici a je výhodnější než plynový kondenzační kotel, který má téměř dvojnásobné roční náklady a vyšší počáteční investici ve srovnání s vytápěním krbovou vložkou. Nejnižších ročních nákladů dosáhneme při vytápění tepelným čerpadlem. Můžeme ušetřit až 13 445 Kč za rok. Ale je potřeba vzít do úvahy, že pro případ nižších teplot, než jsou teploty efektivní práce TČ je nutné mít doplňkový zdroj vytápění (v našem případě je to krbová vložka) a také počáteční investice jsou nejvyšší. Návratnost investici při koupi tepelného čerpadla je 22 let.

Vzhledem k vysoké době návratnosti a nestálým cenám elektřiny, které ji mohou výrazně ovlivnit docházím k závěru, že přechod na vytápění tepelným čerpadle je příliš nejistý.

Z výše uvedených poznatků vyplývá – stávající zdroj vytápění se jeví jako nejlepší volba ve srovnání se zvolenými alternativními zdroji vytápění.

ZÁVĚR

Cílem první části této práce bylo zpracovat základní přehled inovací ve vytápění rodinných domů a porovnat jednotlivé způsoby vytápění. Mezi nejdůležitější faktory, které v dnešní době ovlivňují směr vývoje systémů vytápění patří ekonomika, komfort a ekologie. Trendem dnešní doby je přechod od neobnovitelných zdrojů paliv ke zdrojům alternativním a ekologičtějším. Tento přechod je podporován státem – legislativa omezuje použití kotlů, které překračují emisní limity a zároveň podporuje ekologické zdroje vytápění prostřednictvím dotací. Tato omezení vedou k inovacím klasických kotlů, pro zvýšení jejich efektivity a snížení negativního dopadu na ekologii. Modernizací také prochází alternativní zdroje vytápění, jako jsou fotovoltaické a fototermitické panely a tepelná čerpadla. Nicméně stále nejsou většinou schopné pokrýt celkovou potřebu tepla na vytápění a ohřev TUV. Proto jsou používány nejčastěji v kombinaci s elektrickým nebo plynovým kotlem, případně s krbovými kamny. Další jejich nevýhodou je počáteční investice. Z porovnání jednotlivých systémů vytápění vyplývá – nejnižší pořizovací náklady má elektrický kotel, naproti tomu nejvyšší tepelné čerpadlo. Co se týká provozních nákladů je potřeba říct, že v současné době dochází k velmi dynamickému vývoji cen zdrojů energií. Tyto změny nutí spotřebitele přecházet k stabilnějším a méně nákladným palivům. Nejnákladnější je vytápění elektrickým přímotopem nebo použití elektrické akumulace, méně nákladné je vytápění plynem. Jako nejeekonomičtější je vytápění dřevem, uhlím nebo tepelným čerpadlem.

Z pohledu komfortu uživatele se ukázalo, že nejméně pohodlné systémy vytápění jsou ty, co mají nejnižší provozní náklady, (výjimkou jsou tepelná čerpadla). U kotlů na tuhá paliva nebo u krbových kamen, je stále nezbytné přikládat palivo a periodicky čistit zásobník na popel. I když moderní kotle už jsou z velké míry automatizované, jejich úroveň komfortu je nižší, než ji mají elektrické a plynové kotle, které nepotřebují téměř žádnou údržbu.

Každý systém vytápění má svoje výhody a nevýhody, neexistuje tedy univerzální způsob vytápění, který by splňoval všechny výše uvedené parametry. Mimo jiné, při výběru topného systému hrají také důležitou roli subjektivní požadavky uživatele.

V poslední části práce je vypracováno ekonomicko-technické posouzení pro modelový dům. V první řadě byl vypočítán odhad tepelných ztrát budovy. Poté byla určena celková spotřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody. Následně pro stávající topný systém (krbová vložka + bojler) jsem vypočítal provozní roční náklady a stanovil počáteční investici. Na základě těchto výsledků a poznatků z první části práce byl proveden rozbor dvou alternativních zdrojů vytápění (kondenzační plynový kotel a TČ vzduch-voda). Z rozboru vyplynulo – provozní náklady při vytápění plynovým kondenzačním kotlem jsou vyšší než při použití stávajícího topného systému. Tudíž investice do tohoto zdroje vytápění by se nikdy nevrátila. Oproti tomu provozní roční náklady tepelného čerpadla jsou o 42 % nižší ve srovnání se současným topným zdrojem. Jenomže TČ má nejvyšší investiční náklady, do kterých nebyla přičtena cena bivalentního zdroje tepla z důvodu použití stávající krbové vložky jako náhradního zdroje. Za těchto předpokladů doba návratnosti TČ je téměř 22 let. Vzhledem k vysoké době návratnosti a nestálým cenám elektřiny, které jí mohou výrazně ovlivnit, docházím k závěru, že investice do tepelného čerpadla je příliš riziková.

Stávající systém vytápění klade větší nároky na obsluhu a zároveň není nejspornější. Nicméně je dostatečně efektivní. Tudíž přechod k zvoleným alternativním zdrojům vytápění je nevýhodný.

Seznam použité literatury

- [1] BENDA, Vítězslav, Helena DOLEŽALOVÁ, Peter DUŠIČKA et al. *Obnovitelné zdroje energie*. 1. vydání. Praha: Profi Press, 2012, 208 stran : ilustrace (převážně barevné), mapy. ISBN 978-80-86726-48-9.
- [2] Obnovitelné zdroje energie: Biomasa. In: *ESG* [online]. [cit. 2022-04-07]. Dostupné z: <http://www.esg.sk/sk/produkty-a-sluzby/obnovitelne-zdroje-energie/biomasa>
- [3] KLOBUŠNÍK, Lubomír. *Pelety: palivo budoucnosti*. 1. vyd. České Budějovice: Sdružení Harmonie, 2003, 112 s. : il. ISBN 80-239-1956-3.
- [4] STUPAVSKÝ, Vladimír a Tomáš HOLÝ. Brikety z biomasy - dřevěné, rostlinné, směsné brikety. In: *Biom.cz* [online]. [cit. 2022-04-07]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/brikety-z-biomasy-drevene-rostlinne-smesne-brikety>
- [5] PONCAROVÁ, Jana. Fosilní paliva: Výhody a nevýhody. In: *ekoLid* [online]. [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://www.ekolid.cz/fosilni-paliva-vyhody-a-nevyhody/>
- [6] Úvodem o koksu. In: *Koksovny* [online]. [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <http://www.koksovny.cz/cz/uvodem-o-koksu>
- [7] KOLONIČNÝ, Jan, Silvie PETRÁNKOVÁ ŠEVČÍKOVÁ a Jiří HORÁK. *Technologie krbových kamen a krbových vložek* [online]. Ostrava, 2010 [cit. 2022-05-09]. ISBN 978-80-248-2254-9. Dostupné z: <http://www.iczt.cz/cs/doc/krbkamna.pdf>
- [8] Krby teplovzdušné. In: *Krby Kašpar* [online]. [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://www.krby-kaspar.cz/krby-teplovzdusne>
- [9] RYŠAVÝ, Jiří, Jiří HORÁK, František HOPAN, Kamil KRPEC, Petr KUBESA a Jiří KREMER. Komfort kotlů na tuhá/pevná paliva – část I.: Jak dlouho vydrží teplo z jednoho přiložení či nabitě akumulací nádoby?. In: *TZB-info* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-pevnymi-palivy/17137-komfort-kotlu-na-tuha-pevna-paliva-cast-i>
- [10] LYČKA, Zdeněk. Zákaz provozu starých kotlů na pevná paliva bude platit jen pro někoho?. In: *TZB-info* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vymeny-kotlu/23707-zakaz-provozu-starych-kotlu-na-pevna-paliva-bude-platit-jen-pro-nekoho>
- [11] KOLONIČNÝ, Jan, Veronika HASE a David KUPKA. *Lokální vytápění – reálné možnosti a podmínky snížení škodlivých emisí* [online]. Ostrava, 2011 [cit. 2022-05-09]. ISBN 978-80-248-2374-4. Dostupné z: http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/lok_vyt.pdf

- [12] KOLONIČNÝ, Jan, Jiří HORÁK a Silvie PETRÁNKOVÁ ŠEVČÍKOVÁ. *Kotle malých výkonů na pevná paliva* [online]. Ostrava, 2011 [cit. 2022-05-13]. ISBN 978-80-248-2542-7. Dostupné z: <http://www.iczt.cz/cs/doc/kotleMV.pdf>
- [13] KAMEŠ, Josef. *Fosilní paliva: uhlí, ropa a zemní plyn*. 1. vyd. Praha: [s.n.], 2012, 227 s. : il., mapy, grafy. ISBN 978-80-260-1291-7.
- [14] BAJEROVÁ, Jarmila. Výhřevnost zemního plynu: Jak si vede ve srovnání s ostatními palivy?. In: *Elektrina* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/vyhrevnost-zemniho-plynu-jak-si-vede-ve-srovnani-s-ostatnimi-palivy>
- [15] MUSIL, Ladislav. Plyn ve vytápění (I). In: *TZB-info* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-plynem/1163-plyn-ve-vytapani-i>
- [16] KVASNIČKA, Pavel a Michal KABRHEL. Výměny plynových atmosférických kotlů za kondenzační, úspornější a ekologičtější – část 1. In: *TZB-info* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/14978-vymeny-plynovych-atmosferickyh-kotlu-za-kondenzacni-uspornejsi-a-ekologictejsi-cast-1>
- [17] Účinnost a výkon plynového kotle. In: *Viessmann* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/ucinnost-a-vykon-plynoveho-kotle.html>
- [18] BLAŽÍČEK, Jan. Sálavé elektrické vytápění. In: *TZB-info* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/elektricke-vytapani/11073-varianty-salaveho-elektrickeho-vytapani>
- [19] KOPAČKOVÁ, Dagmar, Jan BLAŽÍČEK a Josef HODBOŮ. Varianty elektrického vytápění – rozdělení podle zdroje tepla. In: *TZB-info* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/elektricke-vytapani/10833-varianty-elektrickeho-vytapani-rozdeleni-podle-zdroje-tepla>
- [20] DUFKA, Jaroslav. Základy podlahového vytápění a chlazení. Část 6. Elektrické podlahové vytápění obecně. In: *TZB-info* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/podlahove-vytapani/19354-zaklady-podlahoveho-vytapani-a-chlazení-cast-6-elektricke-podlahove-vytapani-obecne>
- [21] Infrazářič – Co to je a jak funguje?. In: *ALTA TRADING* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.altatrading.cz/clanky-o-infrazaricich/infrazaric-co-to-je-a-jak-funguje/>
- [22] BLAŽÍČEK, Jan. Konvekční elektrické vytápění. In: *TZB-info* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/elektricke-vytapani/11256-varianty-konvekcního-elektrickeho-vytapani>

- [23] Elektrokotle. In: *TC NvF* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.tcnvf.cz/elektrokotle-obecne.php>
- [24] BLAŽÍČEK, Jan. Elektrické vytápění ohřívající vzduch. In: *TZB-info* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/elektricke-vytapani/11487-varianty-elektrickeho-vytapani-se-zdroji-ohrivajicimi-primo-vzduch>
- [25] Princip tepelných čerpadel. In: *IVT: Tepelná čerpadla* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/princip-tepelnych-cerpadel>
- [26] HODBOŮ, Josef. Tepelná čerpadla – základní informace. In: *TZB-info* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/23093-tepelna-cerpadla-zakladni-informace>
- [27] HODBOŮ, Josef. Vliv změny topného faktoru tepelného čerpadla na spotřebu elektřiny: Výměny kotlů - vyšší topný faktor tepelného čerpadla snižuje vliv nepřizpůsobení otopné soustavy. In: *TZB-info* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/23564-vliv-zmeny-topneho-faktoru-tepelneho-cerpadla-na-spotrebu-elektriny>
- [28] SRDEČNÝ, Karel a Jan TRUXA. *Tepelná čerpadla*. 1. vyd. Brno: ERA, 2005, vi, 68 s. : il. ISBN 80-7366-031-8.
- [29] Vzduch/vzduch. In: *IVT: Tepelná čerpadla* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-vzduch-vzduch>
- [30] MATUŠKA, Tomáš, Jan SCHWARZER a Bořivoj ŠOUREK. Tepelná čerpadla - teorie a schémata (I): D1. Zapojení s akumulacním zásobníkem - základní zapojení. In: *TZB-info* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/2820-tepelna-cerpadla-teorie-a-schemata-i>
- [31] KLECZEK, Josip. Slunce a jeho energie. In: *TZB-info* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/1948-slunce-a-jeho-energie>
- [32] Solární vytápění – přímé topení energií slunce. In: *Topeni-topenari.eu* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-alternativni/solarni-vytapani/>
- [33] CHMEL, Ladislav a Ivo HAMERNÍK. *Fotovoltaika, fototermika* [online]. 2016 [cit. 2022-05-13]. ISBN 978-80-88058-02-1. Dostupné z: <https://publi.cz/books/91/08.html>
- [34] Jak účinné jsou solární panely?. In: *E.ON* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/zelena-energie/solarni-energie/jak-ucinne-jsou-solarni-panely/>

- [35] HODBOŮ, Josef. Cena elektrické energie pro vytápění. In: *TZB-info* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/elektricke-vytapani/23510-cena-elektricke-energie-pro-vytapani>
- [36] BECHNÍK, Bronislav. Akumulace tepelné energie - fyzikální principy. In: *TZB-info* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-tepla/1482-akumulace-tepelne-energie-fyzikalni-principy>
- [37] HRZINA, Pavel. Akumulace elektřiny v budovách: základní parametry a technologie. In: *TZB-info* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elekriny/20292-akumulace-elekriny-v-budovach-zakladni-parametry-a-technologie>
- [38] Fotovoltaická elektrárna pro rodinný dům S-Power MAXI. In: *S-Power* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.s-power.cz/s-power-test/fotovoltaicka-elektrarna-s-power-maxi/>
- [39] HORČÍK, Jan. Tesla představila levné domácí baterie PowerWall. In: *Hybrid.cz* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.hybrid.cz/tesla-predstavila-domaci-baterie-powerwall/>
- [40] Porovnání nákladů na vytápění, teplou vodu a elektrickou energii - TZB-info: Výpočet provozních a investičních nákladů u rodinných domů. In: *TZB-info* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/138-porovnani-nakladu-na-vytapani-teplou-vodu-a-elektrickou-energii-tzb-info>
- [41] HONZÍK, Jiří. Jaké jsou náklady na vytápění a provoz rodinného domu - srovnání. In: *AC Heating* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.ac-heating.cz/jake-jsou-naklady-na-vytapani-a-provoz-rodinneho-domu-srovnani/>
- [42] HEMERKA, Jiří a František HRDLIČKA. Emise z kotelen a ochrana ovzduší (I). In: *TZB-info* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-pevnymi-palivy/2294-emise-z-kotelen-a-ochrana-ovzdusi-i>
- [43] Více než třetina elektřiny vyrobené v Česku pochází i v létě stále z uhlí. In: *OEnergetice.cz* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/energetika-v-cr/vice-nez-tretina-elekriny-vyrobene-v-cesku-pochazi-i-v-lete-stale-z-uhli>
- [44] NOVOTNÝ, Jiří a Tomáš MATUŠKA. Emise CO₂ a jejich dopad na hodnocení zdrojů v budovách. In: *TZB-info* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/provoz-a-udrzba-vytapani/17112-emise-co2-a-jejich-dopad-na-hodnoceni-zdroju-v-budovach>
- [45] HODBOŮ, Josef. Kritéria pro volbu způsobu vytápění. In: *TZB-info* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/20968-kriteria-pro-volbu-zpusobu-vytapani>

- [46] On-line kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám: Zjednodušený výpočet potřeby tepla na vytápění a tepelných ztrát obálkou budovy. In: *TZB-info* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/128-on-line-kalkulacka-uspor-a-dotaci-zelena-usporam>
- [47] Výpočet potřeby tepla pro vytápění, větrání a přípravu teplé vody. In: *TZB-info* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-vypocet-potreby-tepla-pro-vytapani-vetrani-a-pripravu-teple-vody>
- [48] Palivové dříví a vše o něm: Tabulky hmotnosti, výhřevnosti, ... palivového dříví. In: *Drevomorava.cz* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.drevomorava.cz/inpage/vse-o-palivovem-drivi/>
- [49] Palivové dřevo prodej - ceník. In: *Palivove-drevo-kos.cz* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <http://www.palivove-drevo-kos.cz/cenik-palivove-drevo.php>
- [50] Elektrína. In: *ČEZ* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2022/moo/web_new-cenik_elektrina_dobu_neurcitou_moo_202112_cezdi.pdf
- [51] VAILLANT Sestava VU 146/5-5 ecoTEC plus + VIH R 150/6 M. In: *GAS* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.gas.cz/vaillant-sestava-vu-1465-5-ecotec-plus--vih-r-1506-m/produkt/14771/252/>
- [52] Dodávka zemního plynu - porovnání nabídek. In: *TZB-info* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://kalkulator.tzb-info.cz/cz/dodavka-zemniho-plynu-porovnani-nabidek?id=2>
- [53] NIBE F2040-12 + NIBE VVM 320 - tepelné čerpadlo vzduch-voda - akční komplet s montáží. In: *Nibe-shop.cz* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.nibe-shop.cz/NIBE-F2040-12-NIBE-VVM-320-tepelne-cerpadlo-vzduch-voda-akcni-komplet-s-montazi-d239.htm>
- [54] Krbová vložka UNIFLAM 720 PRESTIGE s klapkou a externím přívodem vzduchu 607-834. In: *EkoFlam* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: https://www.ekoflam.cz/p/krbova-vlozka-uniflam-720-prestige-s-klapkou-a-externim-privodem-vzduchu-607-834?gclid=CjwKCAiAprGRBhBgEiwANJEY7O4r3XPrAP-0YtchSC8nrJINEWVbIC9J8cd5kVQXaufeKeekkePgcRoCVeAQAvD_BwE
- [55] *Schéma zapojení teplovodních krbových vložek* [online]. In: *TZB-info*. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/116652-teplovodni-krbove-vlozky-firmy-bef-home-se-vyrabene-z-nejkvalitnejsich-materialu-a-s-tesi-se-stale-vetsi-popularite>
- [56] Jak fungují teplovzdušné krby. In: *Banador* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.banador.cz/cs/technologie/teplovzduzne-krby/fungovani/>

- [57] Saba krbová kamna STORCH - keramika, keramika čelo. In: *Namir* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.namir.cz/saba-krbova-kamna-romotop-19685.html>
- [58] Jak vybrat kotel na tuhá paliva? Dle účinnosti, emisní třídy i dotace. In: *Ireceptar.cz* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.ireceptar.cz/domov-a-bydleni/jak-vybrat-kotel-na-tuha-paliva-dle-ucinnosti-emisni-tridy-i-dotace.html>
- [59] Rozdíl v účinku kondenzačního a konvenčního kotle. In: *Engineer.decorexpro.com/cs/* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://engineer.decorexpro.com/cs/otoplenie/kotly/atmosfernyy-ili-turbirovannyy-gazovyy-kotel.html>
- [60] Topné fólie. In: *Cesketopeni.cz* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <http://cesketopeni.cz/o-nas/>
- [61] Vyhřívání schodů v koupelně k vaně topným kabelem. In: *TZB-info* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/podlahove-vytapani/19379-zaklady-podlahoveho-vytapani-a-chlazení-cast-7-elektrické-podlahove-vytapani-a-jeho-casti>
- [62] Topné rohože pro přímé vytápění - instalace. In: *Fenix* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.fenixgroup.cz/cs/produkty/topne-rohoze-pro-prime-vytapani>
- [63] Elektrický infrazářič SUNLINE PROFESIONAL SP2000. In: *Tepelnezarice.cz* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.tepelne-zarice.cz/elektricky-infrazaric-sunline-profesional-sp2000.html>
- [64] Korawall. In: *AAAradiatory.cz* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.aaaradiatory.cz/nastenny-konvektor-korawall-wk-economic-45x6x040-vykon-266-wattu-p17413/#gallery>
- [65] Sálavý konvektor Ecoflex Solius 15 II. In: *Infapredaj.sk* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.infapredaj.sk/salavy-konvektor-ecoflex-solius-15-ii/pro533.html>
- [66] Sálavý stropní panel. In: *Topin* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.topin.cz/clanky/salave-panely-prekvapi-schopnosti-vyvijet-se-a-uspokojit-ruznorode-naroky-detail-8776>
- [67] Elektrický kotel Ray Protherm. In: *Ceskestavby.cz* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/clanky-foto/elektricky-kotel-je-skvelou-volbou-pro-vas-domov-25756.html?photo=2>
- [68] Statická akumulční kamna TECHNOTHERM řady TTB. In: *Technoterm* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.topeni-technotherm.cz/akumulacni-kamna-staticka-ttb-8-850-w/>

- [69] Jak tepelné čerpadlo vlastně funguje?. In: *Buderus* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.buderus.com/cz/cs/informace/obecne-o-tepelnych-cerpadlech/faq-tepelna-cerpadla/>
- [70] Systémy tepelných čerpadel země - voda. In: *Gerotop* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.gerotop.cz/tepelna-cerpadla-zeme---voda>
- [71] Tepelná čerpadla vzduch-vzduch. In: *M-klima* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.m-klima.cz/tepelna-cerpadla/tepelna-cerpadla-vzduch-vzduch/>
- [72] Tepelná čerpadla voda-voda. In: *M-klima* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.m-klima.cz/tepelna-cerpadla/tepelna-cerpadla-voda-voda/>
- [73] Tepelná čerpadla vzduch-voda. In: *M-klima* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.m-klima.cz/tepelna-cerpadla/tepelna-cerpadla-vzduch-voda/>
- [74] Základní schéma fototermického systému na přípravu teplé vody. In: *Pozorovanislunce.eu* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://pozorovanislunce.eu/slunce/energie-ze-slunce/vyuziti-slunecni-energie/solarni-systemy-a-jejich-vyuziti.html>
- [75] *Schéma teplovzdušného vytápění* [online]. In: CHMEL, Ladislav a Ivo HAMERNÍK. [cit. 2022-05-14]. ISBN 978-80-88058-02-1. Dostupné z: <https://publi.cz/books/91/11.html>
- [76] Zapojení FV elektrárny formou ostrovního systému. In: *CNE* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.cne.cz/fotovoltacke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>
- [77] Hybridní ohřívač teplé vody Lydos Hybrid - bojler využívající energii z tepelného čerpadla. In: *Ceskykutil.cz* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://ceskykutil.cz/clanek-296111-hybridni-ohrivac-teple-vody-lydos-hybrid-bojler-vyuzivajici-energii-z-tepelneho-cerpadla>
- [78] Akumulační kachlová kamna malovaná. In: *Krby Zlin* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.krbyzlin.cz/akumulacni-kachlova-kamna-malovana>
- [79] Auto Tesla PowerWall baterie stacionární domácí. In: *Hybrid.cz* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.hybrid.cz/tesla-predstavila-domaci-baterie-powerwall/>
- [80] Vaillant VU 146/5-5 + VIH R 120/6 B. In: *Zbozi.cz* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.zbozi.cz/vyrobek/vaillant-vu-146-5-5-vih-r-120-6-b/>
- [81] NIBE F2040-8 + NIBE VVM 310 Tepelné čerpadlo vzduch-voda - akční komplet. In: *Nibe-shop.cz* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.nibe-shop.cz/NIBE-F2040-8-NIBE-VVM-310-Tepelne-cerpadlo-vzduch-voda-akcni-komplet-d62.htm>

- [82] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES. In: EUR-Lex [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0125&from=DA>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Popis
TČ	Tepelné čerpadlo
ČR	Česká republika
COP	Topný faktor
TUV	Teplá užitková voda
Plm	Plnometr
PKK	Plynový kondenzační kotel

Symbol	Jednotka	Popis
N_{kr}	[Kč]	Náklady na vytápění krbem a ohřev TUV
E_{kr}	[MJ]	Spotřeba energií na vytápění a ohřev TUV
n_{kr}	[-]	Účinnost krbové vložky
H_{buk}	[MJ/plm]	Výhřevnost dřeva
C_d	[Kč/plm]	Cena dřeva za 1 plm
N_b	[Kč]	Náklady pro ohřátí teplé vody bojlerem
E_b	[MWh]	Spotřeba energie pro ohřev teplé vody
n_b	[-]	Účinnost bojleru
C_{el1}	[Kč/MWh]	Cena 1 MWh elektřiny
N_c	[Kč]	Celkové náklady na vytápění a ohřev TUV
N_{inv}	[Kč]	Celkové investiční náklady
C_{kr}	[Kč]	Cena krbové vložky
C_b	[Kč]	Cena bojleru
N_k	[Kč]	Náklady na vytápění a ohřev TUV PKK
E_c	[MWh]	Spotřeba energií na vytápění a ohřev TUV
n_{pk}	[-]	Účinnost plynového kotle
C_{pl}	[Kč/MWh]	Cena 1 MWh plynu
N_{invpl}	[Kč]	Celkové investiční náklady
C_{pk}	[Kč]	Cena PKK a externího zásobník
$N_{tč}$	[Kč]	Náklady na vytápění tepelným čerpadlem
E_c	[MWh]	Celková spotřeba energie
$N_{invtč}$	[Kč]	Celkové investiční náklady
$C_{tč}$	[Kč]	Cena tepelného čerpadla
$D_{ntč}$	[rok]	Dobrá návratností celkové investice vytápění TČ

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 Krbová vložka [54].....	13
Obr. 1.2 Teplovodní krb [55]	13
Obr. 1.3 Teplovzdušný krb [56]	13
Obr. 1.4 Krbová kamna [57].....	14
Obr. 1.5 Odhořivací kotel [58]	15
Obr. 1.6 Prohořivací kotel [58].....	15
Obr. 1.7 Zplyňovací kotel [58]	15
Obr. 1.8 Automatické kotle [58].....	16
Obr. 2.1 Klasický plynový kotel (vlevo) a kondenzační plynový kotel (vpravo) [59] ...	17
Obr. 3.1 Elektrické topné kabely [61]	18
Obr. 3.2 Topné fólie [60].....	18
Obr. 3.3 Topné rohože [62]	19
Obr. 3.4 Infrazářič [63].....	19
Obr. 3.5 Elektrický kotel [67].....	20
Obr. 3.6 Sálavý stropní panel [66].....	20
Obr. 3.7 Nástěnný elektrický konvektor [64].....	20
Obr. 3.8 Nástěnný sálavý přimotop [65]	20
Obr. 3.9 Akumulační kamna [68].....	21
Obr. 4.1 Schéma kompresorového tepelného čerpadla [69].....	22
Obr. 4.2 Tepelné čerpadlo země-voda [70]	23
Obr. 4.3 Tepelné čerpadlo vzduch-vzduch [71]	23
Obr. 4.5 Tepelné čerpadlo voda-voda [72].....	24
Obr. 4.4 Tepelné čerpadlo vzduch-voda [73].....	24
Obr. 5.1 Schéma kapalinového solárního vytápění [74]	25
Obr. 5.2 Schéma teplovzdušného solárního vytápění [75].....	26
Obr. 5.3 Schéma funkce fotovoltaického solárního panelu [76].....	26
Obr. 6.1 Bojler [77]	27
Obr. 6.2 Kachlová kamna [78]	27
Obr. 6.3 Baterie [79].....	28
Obr. 7.1 dům č. 1 náklady na vytápění [40]	29
Obr. 7.2 dům č. 2 náklady na vytápění [40]	30
Obr. 7.3 Produkce CO ₂ [t CO ₂ /rok] [44]	30
Obr. 8.1 Modelový dům	32
Obr. 8.2 Tepelné ztráty domu [46].....	33
Obr. 8.3 Celková spotřeba energie[47].....	33
Obr. 8.4 Krbová vložka.....	34
Obr. 8.5 Zásobníkový ohříváč vody.....	34
Obr. 8.6 Plynový kondenzační kotel + zásobník teplé vody[80].....	36
Obr. 8.7 Tepelné čerpadlo vzduch/voda [81].....	37