



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

POROVNÁNÍ ZDROJŮ TEPLA PRO RODINNÝ DŮM

COMPARISON OF HEAT SOURCES FOR FAMILY HOUSE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Rudolf Prachař

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Filip Toman, Ph.D.

BRNO 2025

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Rudolf Prachař**
Studijní program: Energetika
Studijní obor: bez specializace
Vedoucí práce: **Ing. Filip Toman, Ph.D.**
Akademický rok: 2024/25

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:

Porovnání zdrojů tepla pro rodinný dům

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Z důvodu významných nárůstů cen energií, začíná celá řada majitelů rodinných domů hledat způsoby, jak na nákladech za tyto energie ušetřit. Jedním ze způsobů je i možné zateplení domu.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Zpracovat přehled tepelných zdrojů a systémů určených pro vytápění rodinných domů.
- 2) Výpočet tepelných ztrát vybraného rodinného domu.
- 3) Ekonomické porovnání vypočtených variant při použití kondenzačního kotle, tepelného čerpadla a kotle na dřevo jako zdroje tepla.

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

ČSN EN 12831-3: Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 3: Tepelný výkon pro soustavy přípravy teplé vody a charakteristika potřeb, Modul M8-2, M8-3. 12/2018. Praha.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2024/25

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zaměřuje na problematiku tepelných ztrát rodinného domu. Skládá se ze tří hlavních částí. První část se věnuje přehledu možností vytápění rodinného domu, přičemž zohledňuje různé typy tepelných zdrojů a jejich charakteristiky. Druhá část popisuje současný stav vytápění konkrétního domu a postup výpočtu celkových tepelných ztrát způsobených prostupem tepla skrze zdi a okna, přes vytápěné i nevytápěné prostory, do venkovního prostředí, samovolným i nuceným větráním během jednoho roku. Třetí část se zaměřuje na návrh vhodných zdrojů tepla, posouzení možnosti výměny oken za účelem snížení tepelných ztrát a ekonomické zhodnocení jednotlivých variant, včetně analýzy návratnosti investice do výměny oken v kombinaci s různými zdroji tepla. Na závěr je určen nejvhodnější scénář vytápění pro daný rodinný dům na základě technických a ekonomických kritérií.

Klíčová slova

Zdroje tepla, okna, rodinný dům, tepelný výkon, návratnost investice

ABSTRACT

This bachelor's thesis focuses on the issue of heat loss in a family house. It consists of three main parts. The first part is devoted to an overview of the possibilities of heating a family house, taking into account various types of heat sources and their characteristics. The second part describes the current state of heating of a specific object and the procedure for calculating total heat losses caused by heat transfer through walls and windows, through heated and unheated spaces, to the outside environment, by spontaneous and forced ventilation during one year. The third part focuses on the design of suitable heat sources, assessment of the possibility of replacing windows in order to reduce heat losses and economic evaluation of individual variants, including an analysis of the return on investment in replacing windows in combination with various heat sources. Finally, the most suitable heating scenario for a given family house is determined based on technical and economic criteria.

Key words

Heat sources, windows, family house, thermal output, return on investment

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PRACHAŘ, Rudolf. Porovnání zdrojů tepla pro rodinný dům. Online, bakalářská práce. Filip TOMAN (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2025. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/165215>. [cit. 2025-03-24].

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Porovnání zdrojů tepla 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. Filip Toman, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce.

OBSAH

ÚVOD.....	1
1 Zdroje vytápění rodinného domu	2
1.1 Kotle na tuhá paliva	2
1.1.1 Prohořivací kotel	3
1.1.2 Odhořivací kotel.....	3
1.1.3 Zplyňovací kotel.....	4
1.1.4 Vlastnosti tuhých paliv	4
1.2 Kotle na plynná paliva	5
1.2.1 Klasický plynový kotel.....	5
1.2.2 Nízkoteplotní plynový kotel.....	5
1.2.3 Kondenzační plynový kotel.....	5
1.3 Tepelná čerpadla	6
1.3.1 Tepelné čerpadlo vzduch – voda.....	7
1.3.2 Tepelné čerpadlo voda – voda.....	7
1.3.3 Tepelné čerpadlo země – voda.....	7
1.3.4 Tepelné čerpadlo vzduch – vzduch	7
1.4 Solární systémy.....	7
1.4.1 Kapalínové kolektory	8
1.4.2 Teplovzdušné kolektory	8
1.4.3 Fotovoltaika.....	8
1.5 Elektrické systémy	8
1.5.1 Přímotop	8
1.5.2 Akumulace	9
2 Výpočet tepelných ztrát	10
2.1 Popis domu	10
2.2 Výpočet tepelných ztrát prostupem vytápěných prostor.....	11
2.2.1 Měrný tepelný tok prostupem přímo do venkovního prostředí $H_{T,ie}$	11
2.2.2 Prostup do sousedních vytápěných prostor $H_{T,ia}$	13
2.2.3 Prostup tepla přes nevytápěné prostory $H_{T,iae}$	13
2.2.4 Měrný tepelný tok prostupem do zeminy $H_{T,ig}$	14
2.2.5 Celková návrhová tepelná ztráta prostupem $\sum\Phi_{T,i}$	14
2.3 Výpočet tepelné ztráty větráním $\sum\Phi_{V,i}$	15
2.3.1 Celková návrhová tepelná ztráta větráním $\sum\Phi_{V,i}$	15
2.4 Celkový návrhový tepelný výkon $\sum\Phi_{HL,i}$	16
2.5 Tepelný výkon domu s návrhem nových oken	16
3 Návrh a ekonomické zhodnocení tepelných zdrojů.....	17
3.1 Celková roční spotřeba tepelné energie pro vytápění	17
3.1.1 Celková roční spotřeba energie s novými okny	19
3.2 Výběr tepelného zdroje	20

3.2.1	Plynový kondenzační kotel Buderus Logamax Plus GB122i.....	20
3.2.2	Kotel Klimosz IRON X 10 kW	21
3.2.3	Tepelné čerpadlo IVT AIR X 90	21
3.3	Porovnání nákladů	22
3.3.1	Vstupní náklady	22
3.3.2	Roční náklady	23
3.3.3	Náklady na výměnu oken	25
ZÁVĚR		27
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ		28
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		32
SEZNAM PŘÍLOH.....		35

ÚVOD

Téměř každý, kdo v dnešní době renovuje starý rodinný dům je nucen změnit zdroj vytápění, ať už kvůli stále se zvyšujícím požadavkům na emisní třídy jednotlivých zdrojů, nebo z důvodu zdražování cen energií s cílem ušetřit z dlouhodobého hlediska, což byl jeden z hlavních důvodů pro vybrání tohoto tématu vzhledem k našemu domu, kde zdroj tepla již není optimální k dnešním požadavkům. Dalším důležitým faktorem u starších domů je posouzení stavu izolace oken daného domu, přes která odchází značná část tepla v topné sezóně. Tuhle problematiku jsem se rozhodl popsat v této bakalářské práci a pomocí výsledků ilustrovat na rodinném domě mých rodičů.

První kapitola se zabývá obecným popisem jednotlivých zdrojů tepla, jejich paliv, funkcí, možnosti využití, výhodami a nevýhodami.

Druhá kapitola se zaměřuje na rodinný dům, který byl postaven před 25 lety, a hodnotí jeho způsob vytápění a stav izolace oken. Následně se kapitola věnuje výpočtu tepelného výkonu domu dle normy ČSN EN 12831-1. Tento výpočet je proveden ve dvou variantách – pro současná okna a pro případ jejich výměny za nová.

Třetí kapitola se zabývá návrhem vhodných tepelných zdrojů na základě vypočtené tepelné ztráty. Jsou zde porovnány jednotlivé varianty nejen z technického, ale i ekonomického hlediska, včetně návratnosti investice do různých zdrojů tepla a výměny oken. V závěru kapitoly je provedeno celkové zhodnocení a určen optimální způsob vytápění pro daný dům.

1 Zdroje vytápění rodinného domu

K vytápění rodinného domu lze využít různé zdroje tepla. Při jejich výběru hraje zásadní roli dostupnost a cena paliva. Tato kapitola poskytuje přehled nejběžnějších zdrojů tepla a paliv, která se pro ně používají.

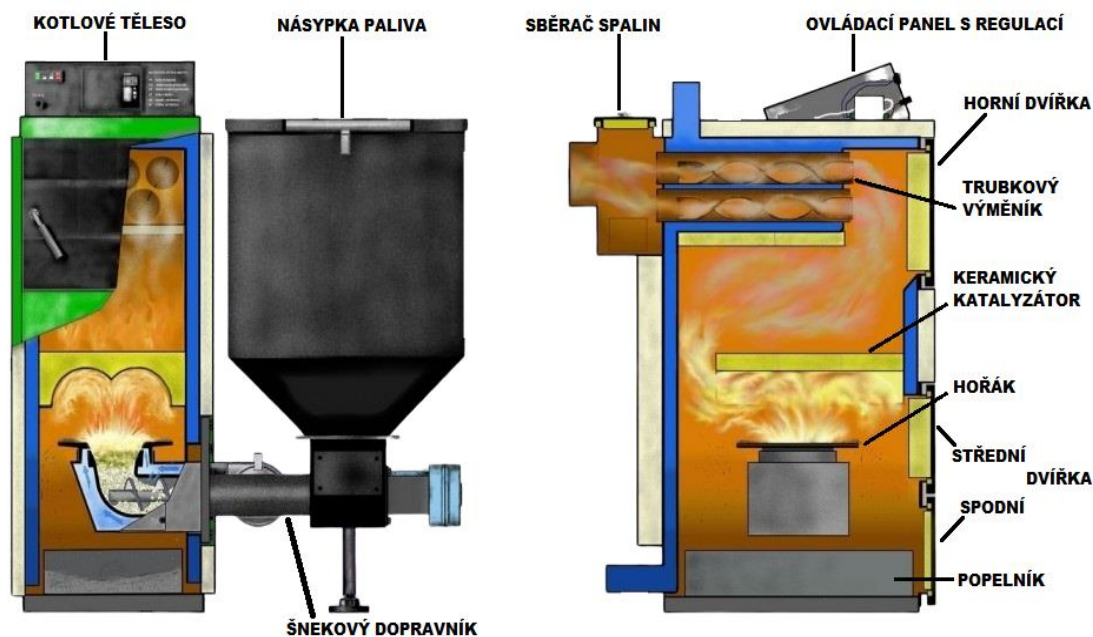
1.1 Kotle na tuhá paliva

Mezi nejčastěji používané tepelné zdroje pro rodinné domy na vesnicích patří kotle na tuhá paliva. Tyto kotle získávají tepelnou energii přeměnou chemické energie paliva při procesu spalování. Jako palivo lze využít jak fosilní materiály, například lignit, černouhelné brikety, koks, tak obnovitelné zdroje, jako jsou dřevní štěpky, pelety, brikety nebo kusové dřevo.

Pro efektivní spalování je nezbytné zajistit dostatečný přívod vzduchu do spalovací komory, který může být buď přirozený, kde je základem tah komínu, který vytváří podtlak v ohništi, čímž je nasáván vzduch z mechanicky regulovatelných otvorů. Naopak u nuceného je potřeba ventilátor, který vytváří podtlak v případě umístění za ohništěm, nebo přetlak v případě před ohništěm. V obou případech je nutná správná regulace. Malý přívod vzduchu může snížit životnost a naopak velký sníží účinnost a zvýší spotřebu paliva.

Nejčastěji se používají teplovodní kotle, kde je teplotním médiem voda. Dalším způsobem mohou být teplovzdušné kotle, kde médium pro přenos tepla je vzduch, nebo s parním vytápěním, které se spíše používají v průmyslových objektech.

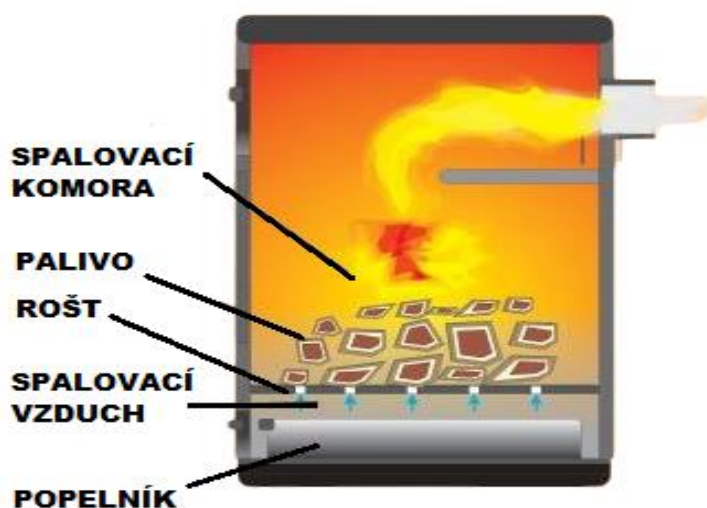
Kotle mohou být s ručním přikládáním, kde je velkou nevýhodou časová náročnost obsluhy při provozu, nižší stabilita hoření a menší účinnost, proto se u těchto kotlů doporučuje akumulární nádrž, do které se ukládá přebytečná energie při vyšším výkonu kotle v podobě teplé vody, na dobu, kdy je kotel například mimo provoz. Naopak automatické kotle mají vyšší účinnost, stabilitu, nižší spotřebu paliva, nižší emise a mají delší provozní dobu bez nutnosti obsluhy díky automatickým procesům, jako jsou automatický zápal, přívod vzduchu a paliva pomocí regulační soustavy podle výkonu kotle, a měření produkce emisí. Tyto procesy dokáží zaručit nepřetržitý provoz po několik dní, podle velikosti zásobníku paliva. Nevýhodou těchto kotlů jsou vyšší požadavky na kvalitu, vlastnosti paliva a výrazně vyšší pořizovací cena způsobená technologickou náročností kotle [1] [2].



Obrázek 1 – Automatický kotel [3].

1.1.1 Prohořivací kotel

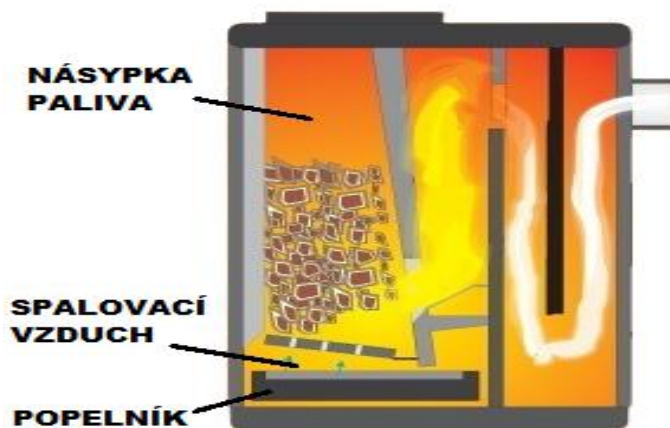
Primární vzduch je do kotle přiváděn zespodu skrz rošt. Palivo se přikládá přímo na hořící vrstvu, což vede k tlumení plamene během hoření. Tento proces způsobuje nepravidelnost výkonu kotle, vyšší emise, nižší účinnost a nestabilitu teploty teplotnosného média. To má vliv na životnost kotle a teplotnosných komponent. Další nevýhodou je nutnost přikládat palivo v krátkých intervalech a v malých dávkách, abychom dosáhli ideálního chodu kotle. Účinnost je také závislá na typu paliva, u kterého je požadován nižší obsah prchavé hořlaviny (koks, černé uhlí, dřevo) a pohybuje se okolo 50 – 60 %. Primární spalovací vzduch přichází zespodu do ohniště a prochází skrz vrstvu paliva na roštu. Nevýhody tohoto typu kotle jsou vykompenzovány jednoduchostí a nižší cenou [3] [4].



Obrázek 2 – Prohořivací kotel [3].

1.1.2 Odhořivací kotel

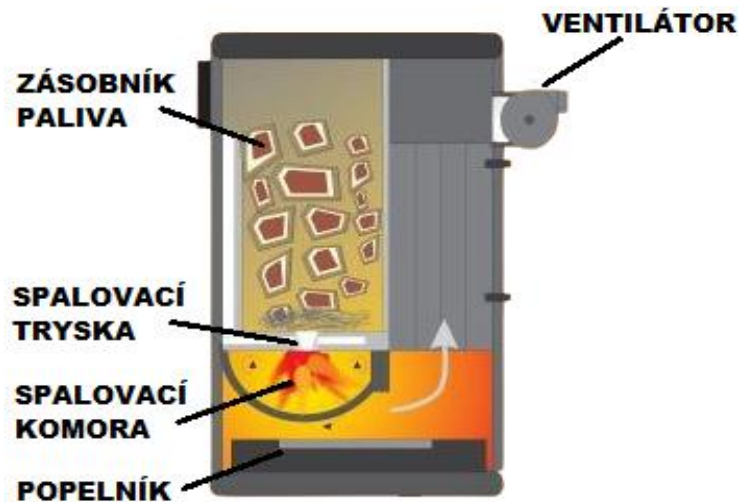
Možností regulace a konstrukcí je podobný prohořivacímu kotli, ovšem rozdíl je v tom, že spalovací vzduch prochází pouze částí paliva. Palivo je uloženo v násypce, kde se ohřívá, díky čemuž se z něho uvolňuje prchavá hořlavina, která je společně se spalovacím vzduchem vtažena do spalovací komory. Díky kontinuálnímu sesypávání paliva na roštu získáme plynulejší průběh spalování, čímž získáme nižší emise, vyšší životnost a účinnost, okolo 55 – 75 %. Další výhodou je, že má kotel nižší nároky na kvalitu paliva. Používá se dřevo, hnědé uhlí [3] [4].



Obrázek 3 – Odhořivací kotel [3].

1.1.3 Zplyňovací kotel

Kotel se skládá ze dvou hlavních částí. První z nich je zásobník paliva, kde dochází k jeho ohřevu a sušení bez přístupu kyslíku, tím se z něho uvolňuje prchavá hořlavina, která je vedena skrz trysky do druhé komory (spalovací). Spalovací vzduch je přiváděn nuceně do zásobníku paliva a do trysek díky ventilátoru, tudíž není tak velký požadavek na tah komínu. Pro dokonalé vyhoření je potřeba udržovat dlouhý plamen za vysokých teplot nad 1000 °C. Díky tomu, že spalujeme pouze plynnou část paliva, máme nižší emise a vyšší účinnost než u předchozích typů. Účinnost je 60 – 85 %. Nevýhodou je vyšší cena a větší požadavek na kvalitu paliva, které musí být dobře vysušené a mít vysoký podíl prchavé hořlaviny (dřevo, hnědé uhlí) [3] [4].



Obrázek 4 – Zplyňovací kotel [3].

1.1.4 Vlastnosti tuhých paliv

U paliv je potřeba znát výhřevnost pro určení potřebného množství paliva do spalovací komory a prvkový rozbor pro výpočet přiváděného vzduchu do spalovací komory pro ideální spalování [1]. V tabulce 1 je souhrn zmíněných vlastností tuhých paliv.

- **Uhlí**

Uhlí patří k neobnovitelným zdrojům energie. V přírodě se uhlí vyskytuje v různých formách. Podle svého geologického stáří se dělí na atrancit, černé uhlí, hnědé uhlí, lignit a rašelinu. Obecně platí, že starší uhlí obsahuje více uhlíku, méně prchavých látek a má vyšší výhřevnost. Existují také upravené formy uhlí, jako jsou lisované brikety nebo koks získávané pyrolýzou [1]. Od spalování atrancitu, rašeliny a lignitu se v dnešní době ustupuje z důvodu ekologického dopadu na planetu při náročné těžbě a vzniku velkého množství emisí při jejich spalování [48].

- **Biomasa**

Biomasa patří k obnovitelným zdrojům energie. Dělí se podle původu na živočišnou a rostlinnou biomasu. Oproti fosilním palivům má nižší obsah popeloviny a vysoký podíl prchavé hořlaviny. Biomasa se před spalováním mechanicky upravuje podle požadavků konkrétního kotle. Může mít podobu kusového dřeva, briket, pelet nebo štěpky [1].

Tabulka 1 – Vlastnosti tuhých paliv [6].

	Č. uhlí	H. uhlí	Dřevo	Atrancit	Rašelina	Lignit
Výhřevnost (MJ/kg)	15-30 [7]	10-17 [7]	14,6 [7]	33 [1]	8-11 [8]	8,79 [7]
Vlhkost (%)	5,2	23,4	16,5	7,7	20	33,3
Prchavá hořlavina (%)	40,2	40,8	78,6	6,4	68	43,6
Popelovina (%)	9,1	5,2	0,5 [9]	10,5	12	11,1
Uhlík (%)	74	72	51,2	83,7	57,5	63,3
Vodík (%)	5,1	5	6,3	1,9	5,5	4,5
Kyslík (%)	7,9	16,4	33	2,3	35	19
Dusík (%)	1,6	0,9	1,9	0,9	1,9	1,0
Síra (%)	2,3	0,4	0,22 [5]	0,7	0,1	1,1

1.2 Kotle na plynná paliva

Kotle na plynná paliva jsou v dnešní době hodně probírané téma, díky svým výhodám jako jsou nízké emise, jednoduchá regulovatelnost, vysoká účinnost a výhřevnost (viz tabulka 2), tichý provoz bez nutnosti obsluhy a přijatelná cena paliva, která je závislá na způsobu dopravy. Jako palivo se používá zemní plyn, bioplyn, propan a butan. Nevýhodou plynových kotlů je nutnost mít přípojku k plynu, doporučený každoroční odborný servis plynového kotle, a díky vysoké výbušnosti plynu hrozí nebezpečí výbuchu. U starších typů plynových kotlů je riziko nedokonalého spalování a vzniku jedovatého plynu CO, proto se do místností ke kotlům umisťují detektory jedovatých plynů [11] [10].

Kotle mohou být stacionární s objemem kotlového tělesa okolo 30 litrů, u kterých je možnost rozvodu teplé vody v soustavě samovolně (bez použití čerpadla), nebo závěsné kotle, které mají objem okolo 1,5 litru. Díky lepší regulaci ohřevu u závěsných kotlů lze dosáhnout nižší spotřeby paliva [11].

1.2.1 Klasický plynový kotel

Konvekční plynové kotle jsou určeny výhradně pro teplovodní otopné soustavy. Při spalování plynu vzniká vodní pára, která je spolu se spalinami odváděna komínem. Aby nedošlo ke kondenzaci, je nutné udržovat teplotu vstupní vody minimálně na 60 °C. Spaliny dosahují teplot v rozmezí 120 – 180 °C a celková účinnost kotle se pohybuje mezi 80 – 90 % [11] [49].

1.2.2 Nízkoteplotní plynový kotel

Nízkoteplotní kotle, stejně jako klasické, pracují se suchými spalinami. Oproti běžným kotlům mají však výměník vyrobený z nerezových materiálů, například z litiny, což jim za určitých podmínek umožňuje využít kondenzaci spalin. Díky tomu jsou schopné pracovat se studenější vstupní vodou, okolo 35 – 40 °C [11]. Účinnost je až 93 % [50].

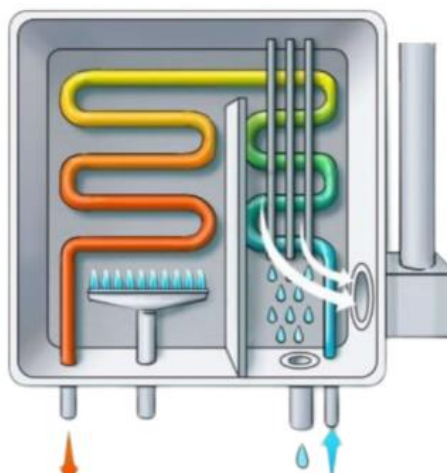
1.2.3 Kondenzační plynový kotel

Kondenzační kotel funguje na principu, kdy dochází ke kondenzaci vodní páry ze spalin, díky čemuž využívá část energie, která u běžných typů odchází společně se spalinami komínem, čímž dosahují vyšších účinností. Stěny kotle musí být vyrobeny z ušlechtilého materiálu, aby odolaly proti zkondenzované vodě. Používá se ušlechtilá ocel, nebo slitiny mědi, hliníku a hořčíku. Teplota spalin je okolo 40 – 90 °C, závisí na teplotě vstupní vody. Takto nízká teplota spalin nám nevytvoří dostatečný tah spalin v komíně, proto musí být v kotli vzduchový, nebo

spalinový ventilátor, který vytvoří dostatečný tlak pro odvod spalin [11]. Účinnost vztažená k výhřevnosti je až 110 % [49].



Obrázek 5 – Konvekční plynový kotel [12].



Obrázek 6 – Kondenzační kotel [12].

Tabulka 2 – Výhřevnosti plyných paliv [1].

Plyn	Zemní plyn	Dřevoplyn	Koksárenský plyn	Vysokopeční plyn	Generátorový plyn	Bioplyn
Výhřevnost (MJ/m ³)	33,5	4,5	16,3	3,9	5,2	20

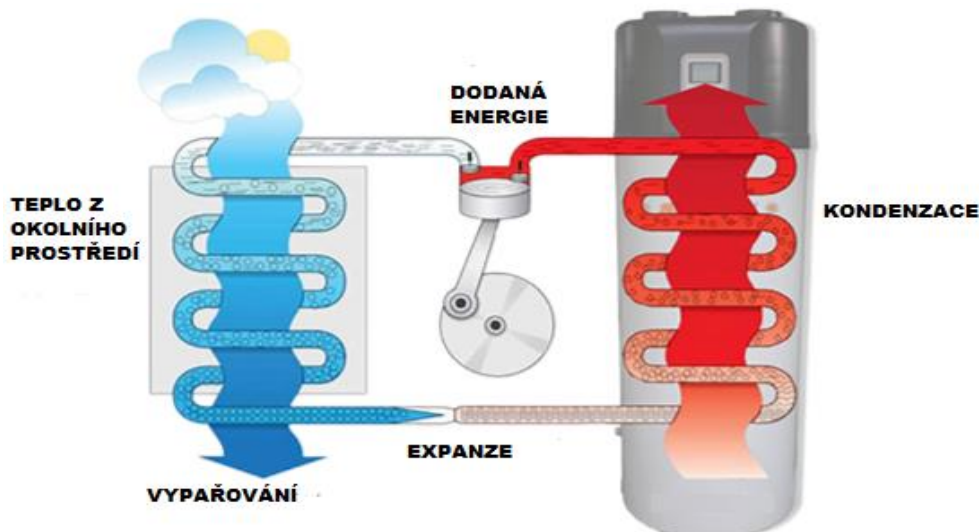
1.3 Tepelná čerpadla

Tepelné čerpadlo je ekologický zdroj energie, který využívá obnovitelné zdroje. Skládá se ze zdrojové a vytápěcí části. V nízkotlaké odběrové části okruhu se nachází absorbér, který odebírá teplo z okolního prostředí, například ze vzduchu, vody nebo země. Získané teplo předává na straně vytápěcí v kondenzátoru ohřívanému médium (vytápěná voda, vzduch) s vyšší teplotou. Za kondenzátorem je expanzní ventil, který nám udržuje vysoký tlak ve vytápěcí části a nízký tlak v odběrové části. Tudiž na venkovní straně prostředí ochlazujeme a na vnitřní ohříváme, aby mohlo dojít k transportu energie z chladnějšího prostředí do teplejšího, musíme médium dodat dostatečnou energii. Některá tepelná čerpadla jsou schopná fungovat mimo otopné období obráceně pomocí čtyř cestného ventilu a slouží jako klimatizace.

K dodání energie tepelnému čerpadlu můžeme použít kompresor, který nám přečerpá médium na vyšší teplotní (tlakovou) hladinu. Pracovní médium cyklicky mění své skupenství, v odběrové části se odpařuje při nízkých teplotách, a ve vytápěcí kondenzuje. Teplota vypařování a kondenzace závisí na chemickém složení pracovního média a tlaku [13].

Další způsob dodání energie může být sorpční, kde ji dodáváme v podobě tepla, které umožní navázat pracovní látku na absorbent při nízké teplotě v odběrové části a opětovně jej uvolnit při vyšší teplotě na straně vytápění. Absorbent je plyn nebo kapalina, která se rozpouští ve studené vodě, čímž ji ochlazuje a získává teplo z teplotonosné látky (voda, vzduch), a v ohřivači se opět uvolňuje. Sorpční tepelná čerpadla mají nižší topný faktor, na druhou stranu jsou levnější, a lze u nich využít k ohřevu odpadní teplo. [13].

Topný faktor vyjadřuje účinnost tepelného čerpadla a je to poměr získaného tepla a energie, kterou jsme museli do systému dodat [14].



Obrázek 7 – Schéma tepelného čerpadla [15].

1.3.1 Tepelné čerpadlo vzduch – voda

Mezi nejběžnější typy tepelných čerpadel patří zařízení využívající teplo z okolního vzduchu, které předávají vodě v otopném systému. Jejich nevýhodou je výrazný pokles výkonu při nízkých venkovních teplotách, což může v zimních měsících negativně ovlivnit účinnost vytápění [16].

1.3.2 Tepelné čerpadlo voda – voda

Další variantou je čerpadlo, které čerpá teplo z podzemní vody. Hloubka vrtu musí být taková, aby teplota vody zůstávala stabilní v rozmezí 8 – 12 °C, což zajistí optimální provoz a maximální výkon. Tento systém vyžaduje dvě studny – jednu pro čerpání vody a druhou pro její návrat zpět do podloží, přičemž mezi nimi musí být minimálně 15 metrů odstup. I když je instalace finančně náročnější, tento typ dosahuje vysokého topného faktoru [16].

1.3.3 Tepelné čerpadlo země – voda

Teplo využívá ze země, které předává vodě pomocí soustavy trubek v otopném systému. Existují dvě varianty, a to s geotermálním hloubkovým vrtem, které jsou vhodné v případě omezeného prostoru okolo domu, nebo plošné kolektory, které se umísťují 120 – 150 cm pod zeminu. Jako médium pro získání tepla ze země se používá solanka [16].

1.3.4 Tepelné čerpadlo vzduch – vzduch

Fungují podobně jako čerpadla vzduch – voda, ovšem rozdíl je, že místo radiátorů s teplou vodou proudí teplý vzduch vnitřními jednotkami pomocí ventilátorů. Výhodou je nižší pořizovací cena a ušetření místa v domácnosti, nemusíme řešit zastínění otopných těles a dobře funguje i jako klimatizace. Nevýhodou je, že systém nevytápí vodu [16].

1.4 Solární systémy

Systémy využívající pouze sluneční energii, jakožto obnovitelný zdroj energie. Využívají se jako doplňkový zdroj pro vytápění nebo ohřev vody. Výhodou je ekologičnost, neprodukují žádné emise, nehrozí nedostatek paliva a nejsou takřka žádné provozní náklady. Nevýhodami jsou vysoké instalační náklady, účinnost systému je ovlivněna klimatickými podmínkami a lokací umístění. Solární systémy obvykle vyžadují velkou nezastíněnou plochu k instalaci, a také pravidelnou údržbu funkčních ploch [17]. Další nevýhodou je nízká teplota média v otopné soustavě, tudíž je vhodné pro velkoplošné vytápění, jako je např. podlahové vytápění [18].

1.4.1 Kapalinové kolektory

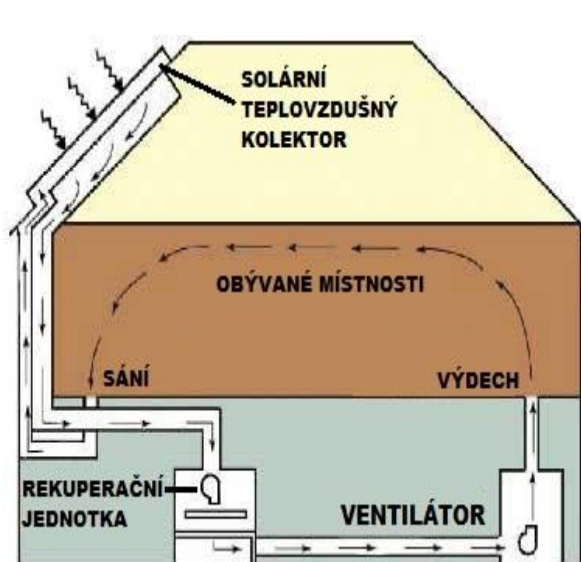
Nejčastějším typem solárních systémů jsou kapalinové kolektory. Jejich klíčovou součástí jsou absorbery propojené s trubkovým systémem pod skleněným krytem. Cirkulující kapalina může během jednoho průtoku kolektorem dosáhnout ohřevu až o 80 °C. Pro zvýšení efektivity se kolektory zapojují sériově nebo paralelně, a obvykle jsou propojeny s akumulacním zásobníkem teplé vody [19].

1.4.2 Teplovzdušné kolektory

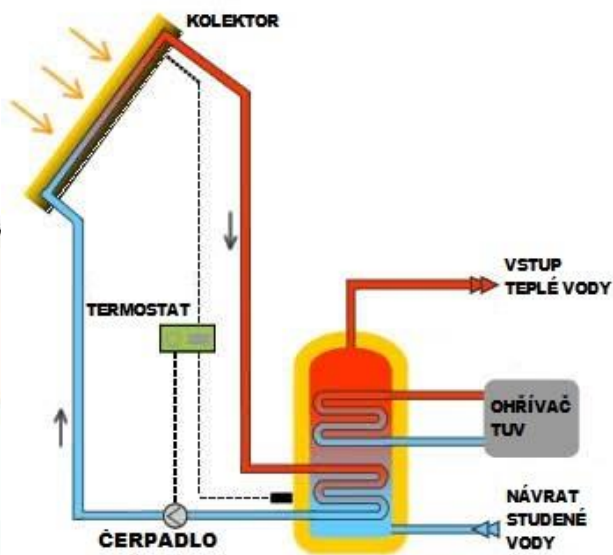
Vzduchové solární kolektory fungují na podobném principu jako kapalinové, ale místo kapaliny v nich proudí vzduch. Jsou napojeny na systém teplovzdušného vytápění, a mohou sloužit nejen k vytápění, ale i ke klimatizaci. Nevýhodou je, že v tomto systému nelze ohřívat teplou vodu [19].

1.4.3 Fotovoltaika

Oproti předchozím systémům panelem neproudí žádné médium. Panel je pokryt vrstvou fotovoltaických článků, měnících sluneční energii přímo na elektrickou. Vyrobenou elektrickou energii můžeme dále akumulovat do baterie, využít k napájení domu, nebo transformovat do jiného typu energie, např. pro ohřev vody [19].



Obrázek 8 – Teplovzdušný kolektor [19].



Obrázek 9 – Kapalinový kolektor [19].

1.5 Elektrické systémy

Elektrické systémy pro ohřev jsou levné, bezemisní, velmi efektivní, jednoduché a snadno regulovatelné, jejichž hlavní nevýhodou jsou provozní náklady. Ohřívání médium může být voda nebo vzduch. Přenos tepla probíhá konvekcí, radiací, nebo jejich kombinací. Zdroj tepla může být umístěn přímo v místnosti, nebo je teplo dovedeno pomocí rozvodů z centrálního zdroje, což je výhodnější a lze kombinovat s rekuperačním systémem, kde získáme až 90 % ze zpětného získávání tepla, a elektrický ohřev slouží pouze jako doplňkový zdroj tepla [20].

1.5.1 Přímotop

Elektrická energie se mění na tepelnou průchodem proudu odporovým materiálem (drát, fólie). Zdroj tepla může být umístěn přímo ve vytápěném prostoru (sálavé panely, infrazářiče, konvektory, topné fólie a kabely), nebo je teplo přiváděno teplonosným médiem z centrálního zdroje (elektrokotel, přímotopný ohřívač) [21].

1.5.2 Akumulace

Akumulační systémy využívají elektrickou energii v době nízkého tarifu k přeměně na teplo, které ukládají do zásobníků (např. teplovodních nebo z magnezitových cihel), a následně ho využívají během dražšího tarifu [21].

2 Výpočet tepelných ztrát

V této kapitole je popsán postup výpočtu tepelného výkonu konkrétního rodinného domu. Výpočet je proveden ve 2 variantách, a to s aktuálními okny a s návrhem nových oken. Výpočet je určen podle základní metody podle normy ČSN EN 12831-1 Energetická náročnost budov – výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3 [23].

2.1 Popis domu

Rodinný dům (viz obrázek 10) byl postaven v roce 2000 na Vysočině, žije v něm 4členná rodina. Dům má 2 patra, sklep s garáží, kotelnou a podkroví. Vytápěné prostory jsou v 1. patře chodba, ložnice, kuchyň, obývací pokoj, záchod, koupelna a ve 2. patře chodba, technická místnost, 3 pokoje, koupelna a záchod. Podkroví a sklep vytápěné nejsou. Pro vytápění a ohřev teplé vody je využíván kotel VARIANT SL27 s výkonem 9-27 kW. Kotel je z roku 2011 a je na typ paliva ořech 1.

Pro výpočet tepelných ztrát je nutné znát objemy a plochy jednotlivých vytápěných místností (viz tabulka 3). Technická a výkresová dokumentace domu je uvedena v příloze B a podrobné výpočty objemů a ploch jsou v příloze A.



Obrázek 10 – Vybraný dům pro výpočet.

Tabulka 3 – Parametry počítaných místností.

Místnost	Obsah (m ²)	Objem (m ³)
předsíň - 101	4,3	10,6
chodba - 102	11,5	31,3
ložnice - 103	14,4	35,9
obývací pokoj - 104	18,9	47,2
kuchyň - 105	12,7	31,7
komora - 106	1,2	3,0
koupelna - 107	4,5	11,3
záchod - 108	2,8	6,9
chodba - 201	12,2	27,0
pokoj - 202	14,4	29,9
pokoj - 203	20,3	43,0
pokoj - 204	13,2	27,9
koupelna - 205	4,8	11,9
koupelna - 206	1,3	3,2
komora - 207	6,0	10,7
CELKEM	141,2	331,3

2.2 Výpočet tepelných ztrát prostupem vytápěných prostor

Tepelná ztráta prostupem se počítá podle měrných tepelných toků a rozdílů teplot, které způsobují tepelné ztráty. Tuto ztrátu definuje rovnice (1) [23].

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ia} + H_{T,iae} + H_{T,iaBE} + H_{T,ig}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (1)$$

2.2.1 Měrný tepelný tok prostupem přímo do venkovního prostředí $H_{T,ie}$

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí byl určen z rovnice (2) [23].

$$H_{T,ie} = \sum_k [A_k \cdot (U_k + \Delta U_{TB}) \cdot f_{U,k} \cdot f_{ie,k}] \quad (2)$$

Kde je:

$H_{T,ie}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí,	(W/K)
A_k	plocha stavební části,	(m ²)
U_k	součinitel prostupu tepla stavební části,	(W/(m ² /K))
ΔU_{TB}	přirážka na vliv tepelných vazeb,	(W/(m ² /K))
$f_{U,k}$	opravný činitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy,	(–)
$f_{ie,k}$	teplotní opravný činitel.	(–)

Součinitel prostupu tepla U_k vyjadřuje, jak snadno prochází tepelná energie přes konstrukci (např. stěna, okno). Byl stanoven podle rovnice (3) pro každou stavební část. Čím je hodnota U_k nižší, tím je lepší izolace tepla [23].

$$U_k = \frac{1}{R_{in} + R + R_{out}} \quad (3)$$

Kde je:

R_{in}	tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce,	$(m^2 \cdot K/W)$
R	tepelný odpor samotné konstrukce,	$(m^2 \cdot K/W)$
R_{out}	tepelný odpor na vnější straně konstrukce.	$(m^2 \cdot K/W)$

Tepelné odpory na vnitřní a vnější straně konstrukce byly stanoveny z normy podle směru tepelného toku. Tepelný odpor jednotlivých konstrukcí byl určen podle rovnice (4) [23].

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (4)$$

Kde je:

d	tloušťka vrstvy,	(m)
λ	součinitel tepelné vodivosti.	$(W/(m \cdot K))$

Výpočty součinitelů tepla U_k jednotlivých stavebních ploch jsou v příloze A. V tabulce 4 je ukázka vzorového výpočtu součinitele prostupu tepla. Součinitele tepelné vodivosti byly stanoveny z [25] [26] [27] [28] [29].

Tabulka 4 – Výpočet součinitele prostupu tepla U_k .

Zed' č. 1 – obvodová zed'	Tloušťka (m)	Součinitel tepelné vodivosti λ (W/(m · K))	R_{se} ($m^2 \cdot K/W$)	R_{si} ($m^2 \cdot K/W$)
malta vápenná	0,01	0,87	0,04	0,13
porotherm cihla	0,3	0,175		
skelná vata	0,1	0,04	Součinitel prostupu tepla U_k (W/($m^2 \cdot K$))	
vápencocementová malta	0,015	0,97	0,227	

Dále byla z normy stanovena přírážka na vliv tepelných vazeb $\Delta U_{TB} = 0,1$. Poté byl započítán opravný činitel $f_{U,k}$, který zohledňuje vlastnosti stavebních částí s povětrnostními vlivy. Vzhledem k tomu že není požadována žádná úprava U-hodnot a nejsou k dispozici žádné národní údaje, zvolíme si $f_{U,k} = 1$. Teplotní opravný činitel $f_{ix,k}$ byl určen podle rovnice (5) [23].

$$f_{ix,k} = f_1 + f_2 \quad (5)$$

Kde je:

f_1	opravný činitel zohledňující rozdíl mezi teplotou sousedního prostoru a venkovní výpočtovou teplotou,	(–)
f_2	opravný činitel zohledňující rozdíl mezi vnitřní výpočtovou teplotou prostoru a průměrnou povrchovou teplotou stavební části.	(–)

Opravné činitele f_1 a f_2 byly stanoveny podle rovnic (6) a (7) [23].

$$f_1 = \frac{\theta_{\text{int},i} - \theta_x}{\theta_{\text{int},i} - \theta_e} \quad (6)$$

Kde je:

$\theta_{\text{int},i}$	vnitřní výpočtová teplota uvažovaného vytápěného prostoru,	(°C)
θ_x	teplota sousedního prostoru,	(°C)
θ_e	venkovní výpočtová teplota.	(°C)

$$f_2 = \frac{\theta_{\text{int},k}^* - \theta_{\text{int},i}}{\theta_{\text{int},i} - \theta_e} \quad (7)$$

Kde je:

$\theta_{\text{int},k}^*$	průměrná vnitřní povrchová teplota stavební části.	(°C)
---------------------------	--	------

Z normy byla určena hodnota $f_1 = 1$ a $f_2 = 0$ protože žádná z počítaných prostor není vyšší než 4 metry, z čehož vyplývá podle rovnice (5), že teplotní opravný činitel $f_{\text{ie},k} = 1$ [23]. Výpočty měrného tepelného toku prostupem přímo do venkovního prostředí jsou v příloze A, v tabulce 5 je znázorněn vzorový výpočet.

Tabulka 5 – Výpočet měrného tepelného toku prostupem přímo do venkovního prostředí.

Místnost 101	A_k (m ²)	U_k (W/m ² K)	ΔU_{TB} (m ² K/W)	f_{Uk} (-)	$f_{\text{ix},k}$ (-)	$H_{\text{T,ie}}$ (W/K)
zeď - sever	2,18	0,226	0,1	1	1	0,71
podlaha	4,25	0,334	0	0	0	0
dveře	2,07	4,7	0,1	1	1	9,94

2.2.2 Prostup do sousedních vytápěných prostor $H_{\text{T,ia}}$

Tepelný prostup mezi sousedními vytápěnými prostory byl zanedbán, protože se při pohledu na dům jako celek jedná o vyrovnané přenosy tepla – jedna část se ochlazuje, zatímco druhá ohřívá o stejnou hodnotu, proto je hodnota $H_{\text{T,ia}} = 0$ W/K. Teploty místností byly stanoveny dle normy: chodba 15 °C, koupelna 24 °C a ostatní vytápěné prostory 20 °C [23].

2.2.3 Prostup tepla přes nevytápěné prostory $H_{\text{T,iae}}$

Prostup tepla přes nevytápěné prostory se týká nevytápěné půdy z druhého patra a přízemí z prvního patra. Měrný tepelný tok prostupem byl vypočítán z rovnice (8) [23].

$$H_{\text{T,iae}} = \sum (A_k \cdot U_k \cdot f_{\text{iae},k}) \quad (8)$$

Kde je:

A_k	plocha stavební části,	(m ²)
U_k	součinitel prostupu tepla stavební částí,	(W/(m ² /K))
$f_{\text{iae},k}$	teplotní opravný činitel.	(-)

Teplotní opravný činitel $f_{iae,k}$ byl určen z rovnic (5, 6, 7), jejich hodnoty jsou v příloze A a v tabulce 6 je vzorový výpočet. Z normy byla určena venkovní výpočtová teplota na základě klimatických údajů pro oblast Žďár nad Sázavou $\theta_e = -15 \text{ °C}$ a teplota v podkroví s tepelnou izolací a ve větraném sklepe (částečně pod terénem) $\theta_x = 0 \text{ °C}$. Výpočty měrného tepelného toku prostupem přes nevytápěné místnosti jsou v příloze A, v tabulce 7 je znázorněn vzorový výpočet [23].

Tabulka 6 – Výpočet teplotního opravného činitele $f_{iae,k}$.

Teplota $\theta_{int,1}$ (°C)	15
Teplota θ_x (°C)	0
Teplota venku θ_e (°C)	-15
Teplotní opravný činitel $f_{iae,k}$ (-)	0,5

Tabulka 7 – Výpočet měrného tepelného toku přes nevytápěné místnosti $H_{T,iae}$.

Místnost 101	A_k (m ²)	U_k (W/(m ² /K))	$f_{iae,k}$ (-)	$H_{T,iae}$ (W/K)
podlaha	4,25	0,334	0,5	0,71

2.2.4 Měrný tepelný tok prostupem do zeminy $H_{T,ig}$

Tepelnou ztrátu měrným tepelným tokem do zeminy zanedbáváme, jelikož žádný z vytápěných prostor nemá společnou stěnu se zeminou, tudíž $H_{T,ig} = 0 \text{ W/K}$ [23].

2.2.5 Celková návrhová tepelná ztráta prostupem $\sum \Phi_{T,i}$

Celkové ztráty prostupem tepla byly získány jako součet tepelných ztrát jednotlivých místností, přičemž výpočet probíhal podle rovnice (1). Výsledky jsou uvedeny v tabulce 8 a podrobné výpočty lze nalézt v příloze A.

Tabulka 8 – Výpočet celkové návrhové tepelné ztráty prostupem $\sum \Phi_{T,i}$.

Místnost	$\Phi_{T,i}$ (W)
předsíň - 101	341
chodba - 102	346
ložnice - 103	538
obývací pokoj - 104	1009
kuchyň - 105	488
komora - 106	25
koupelna - 107	231
záchod - 108	84
chodba - 201	174
pokoj - 202	500
pokoj - 203	745
pokoj - 204	487
koupelna - 205	239
koupelna - 206	33
komora - 207	147
CELKEM (W)	5386

2.3 Výpočet tepelné ztráty větráním $\sum \Phi_{V,i}$

Tepelná ztráta větráním byla určena ze zjednodušeného výpočtu pro vzduchotěsné budovy bez koncových vzduchotechnických zařízení a bez nuceného větrání podle rovnice (9) [23].

$$\Phi_{V,i} = \rho \cdot c_p \cdot q_{V,\min,i} \cdot (\theta_{\text{int},i} - \theta_e) \quad (9)$$

Kde je:

ρ	hustota vzduchu při vnitřní výpočtové teplotě $\theta_{\text{int},i}$,	(kg/m ³)
c_p	měrná tepelná kapacita vzduchu při vnitřní výpočtové teplotě,	(Wh/(kg · K))
$q_{V,\min,i}$	minimální objemový průtok vzduchu místnosti,	(m ³ /h)
$\theta_{\text{int},i}$	vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru,	(°C)
θ_e	venkovní výpočtová teplota.	(°C)

Hustota vzduchu byla stanovena podle normy na hodnotu $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$, zatímco měrná tepelná kapacita vzduchu činí $0,28 \text{ Wh/(kg}\cdot\text{K)}$. Pro stanovení minimálního objemového průtoku vzduchu v místnosti byla využita rovnice (10), přičemž detailní postup výpočtu je uveden v příloze A [23].

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

Kde je:

$n_{\min,i}$	minimální intenzita větrání místnosti,	(h ⁻¹)
V_i	vnitřní objem místnosti.	(m ³)

Minimální intenzita větrání byla stanovena podle normy na hodnotu $n_{\min,i} = 0$ pro místnosti bez oken a $n_{\min,i} = 0,5$ pro ostatní typy místností. Ukázkový výpočet návrhové tepelné ztráty větráním pro konkrétní místnost je zpracován v tabulce 9 na základě rovnic (11, 12) [23]. Kompletní výpočty jsou uvedeny v příloze A.

Tabulka 9 – Výpočet minimální intenzity větrání pro místnost 101.

Místnost	ρ (kg/m ³)	c_p (Wh/(kg · K))	$n_{\min,i}$ (1/h)	V_i (m ³)	$q_{V,\min,i}$ (m ³ /h)	$\theta_{\text{int},i}$ (°C)	θ_e (°C)	$\Phi_{V,i}$ (W)
101	1,2	0,28	0,5	10,6	5,3	15	-15	54

2.3.1 Celková návrhová tepelná ztráta větráním $\sum \Phi_{V,i}$

Celková návrhová tepelná ztráta větráním byla stanovena součtem dílčích ztrát pro jednotlivé místnosti [23]. Přehled vypočtených hodnot je uveden v tabulce 10, s výjimkou místnosti 207, jelikož zde nejsou okna, tudíž je $\Phi_{V,207} = 0 \text{ W}$. Detailní výpočet je uveden v příloze A.

Tabulka 10 – Výpočet celkové návrhové tepelné ztráty větráním $\sum \Phi_{V,i}$.

Místnost	101	102	103	104	105	106	107
$\Phi_{V,i}$ (W)	54	158	211	277	186	18	74
Místnost	108	201	202	203	204	205	206
$\Phi_{V,i}$ (W)	40	136	176	253	164	78	21
CELKEM (W)	1845						

2.4 Celkový návrhový tepelný výkon $\sum \Phi_{HL,i}$

Návrhový tepelný výkon se určuje jako součet tepelných ztrát prostupem a větráním podle rovnice (11) [23].

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

Kde je:

$\Phi_{T,i}$	návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru,	(W)
$\Phi_{V,i}$	návrhová tepelná ztráta větráním místnosti,	(W)
$\Phi_{hu,i}$	volitelný dodatečný zátopový tepelný výkon při přerušovaném vytápění,	(W)
$\Phi_{gain,i}$	trvalé tepelné zisky ve vytápěném prostoru.	(W)

Neuvažujeme trvalé tepelné zisky a přerušované vytápění, tudíž je podle normy hodnota $\Phi_{hu,i}$ a $\Phi_{gain,i} = 0$ [23]. Celkový návrhový výkon byl určen součtem tepelné ztráty větráním a prostupem, výsledek je vyobrazen v tabulce 11.

Tabulka 11 – Celkový návrhový tepelný výkon domu.

Φ_T (W)	5386
Φ_V (W)	1845
CELKEM (W)	7231

2.5 Tepelný výkon domu s návrhem nových oken

Z aktuálního celkového návrhového tepelného výkonu $\Phi_{HL} = 7231$ W tvoří tepelná ztráta okny 38 % (2753,9 W) viz příloha A. Proto byl výpočet proveden znovu, přičemž namísto původních dřevěných oken s dvojsklem a se součinitelem prostupu tepla $U_k = 2,9$ W/(m²K) byly zohledněny nová plastová okna s izolačním trojsklem a součinitelem prostupu tepla $U_k = 2,1$ W/(m²K) [29]. Nový výpočet tepelné ztráty je prakticky totožný s předchozím, jediná změna nastane ve výpočtu měrného tepelného toku prostupem přímo do venkovního prostředí $H_{T,ie}$ skrz okna a na to v navazujících výpočtech. Celý výpočet tepelné ztráty s novými okny je v příloze C. V tabulce 12 je porovnání výsledných hodnot z obou variant.

Tabulka 12 – Porovnání výsledků tepelných ztrát pro původní a nová okna.

	Dřevěná okna s dvojsklem	Plastová okna s trojsklem
tepelná ztráta přes okna vytápěných místností Φ_T (W)	2754	2020
celková návrhová tepelná ztráta prostupem Φ_T (W)	5386	4651
celkový návrhový tepelný výkon Φ_{HL} (W)	7231	6496

Po výměně oken za plastová okna s izolačním trojsklem se snížila tepelná ztráta skrz okna o 734 W, což je zlepšení o 26,7 % od původních. Celkový návrhový tepelný výkon domu se snížil o 10,2 %.

3 Návrh a ekonomické zhodnocení tepelných zdrojů

3.1 Celková roční spotřeba tepelné energie pro vytápění

Výpočet celkové roční spotřeby tepelné energie pro vytápění je určen podle rovnice (12) a výsledek vyobrazen v tabulce 13, případně v příloze A [24].

$$Q_{\text{VYT},r} = \frac{\varepsilon}{\eta_0 \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot \sum \Phi_{\text{HL},i} \cdot D}{\theta_{\text{int},i} - \theta_e} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \quad (12)$$

Kde je:

$Q_{\text{VYT},r}$	celková roční spotřeba energie pro vytápění,	(GJ/rok)
ε	opravný součinitel,	(–)
η_0	účinnost obsluhy (možnosti regulace soustavy),	(–)
η_r	účinnost rozvodu vytápění,	(–)
$\sum \Phi_{\text{HL},i}$	celkový navrhovaný tepelný výkon objektu,	(kW)
D	vytápěcí denostupně,	(K · dny)
$\theta_{\text{int},i}$	průměrná vnitřní výpočtová teplota,	(°C)
θ_e	venkovní výpočtová teplota.	(°C)

Opravný činitel ε se určí podle rovnice (13) [24].

$$\varepsilon = e_i \cdot e_t \cdot e_d \quad (13)$$

Kde je:

e_i	nesoučasnost tepelné ztráty větrání a tepelné ztráty prostupem,	(–)
e_t	snížení teploty v místnosti během dne, respektive noci,	(–)
e_d	zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami v provozu.	(–)

Nesoučasnost tepelné ztráty větráním a tepelné ztráty prostupem e_i se určí z rovnice (14) [24].

$$e_i = \frac{\sum H_{T,i}}{\sum \Phi_{\text{HL},i}} \quad (14)$$

Kde je:

$H_{T,i}$	celková tepelná ztráta prostupem,	(kW)
$\Phi_{\text{HL},i}$	celkový návrhový tepelný výkon objektu.	(kW)

Hodnota e_i je v rozmezí od 0,8 až 1 v závislosti na regulaci vnitřní teploty domácnosti během dne, respektive noci. Hodnota e_d je v rozmezí 0,8 až 1 podle množství dní v týdnu, kdy je budova v provozu. Účinnost obsluhy byla určena podle kotle na tuhá paliva na hodnotu 0,9. Účinnost rozvodu vytápění byla určena na hodnotu 0,95 podle provedení [24]. Vytápěcí denostupně D se určí z rovnice (15) [24].

$$D = d_o \cdot (\theta_{\text{int},i} - \theta_{\text{es}}) \quad (15)$$

Kde je:

d_o	počet dní topného období v roce,	(dny)
θ_{es}	průměrná teplota během topného období.	(°C)

Délka otopného období a průměrná teplota během otopného období byla určena na základě klimatických podmínek z normy podle lokace domu pro oblast Žďár nad Sázavou [23]. Průměrná vnitřní teplota byla stanovena průměrem ze všech vytápěných prostor. V tabulce 13 jsou konkrétní hodnoty potřebné k výpočtům a výsledek celkové roční spotřeby energie pro vytápění.

Tabulka 13 – Celkový návrhový tepelný výkon domu.

celková tepelná ztráta $\Phi_{HL,i}$ (kW)	7,231
ztráta prostupem $\Phi_{T,i}$ (kW)	5,386
nesoučasnost tepelné ztráty e_i (-)	0,745
snížení teploty v místnosti během noci e_t (-)	1
zkrácení doby vytápění (přestávky v provozu) e_d (-)	1
opravný činitel ε (-)	0,745
účinnost obsluhy η_o (-)	0,9
účinnost rozvodu vytápění η_r (-)	0,95
průměrná vnitřní teplota $\theta_{int,i}$ (°C)	19,8
průměrná venkovní teplota θ_{es} (°C)	3,1
venkovní výpočtová teplota θ_e (°C)	-15
počet dnů za otopné období d (dny)	270
vytápěcí denostupně D (K · dny)	4509
celková roční spotřeba na vytápění $Q_{VYT,r}$ (GJ/rok)	70,5

Roční spotřeba energie na vytápění činí 70,5 GJ/rok, což odpovídá 19,6 MWh/rok. Pokud se započítá i ohřev teplé vody pro potřeby 4 osob s denní spotřebou cca 50 l/osoba, výpočet pokračuje dle rovnic (16, 17) [24].

$$Q_{TUV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} \quad (16)$$

Kde je:

$Q_{TUV,d}$	denní spotřeba energie pro ohřev teplé vody,	(kWh)
z	koeficient energetických ztrát systému,	(-)
ρ	měrná hmotnost vody,	(kg/m ³)
c	měrná tepelná kapacita vody,	(J/(Kg · K))
V_{2p}	celkový objem ohřáté vody za den,	(m ³ /den)
t_2	teplota ohřáté vody,	(°C)
t_1	teplota studené vody.	(°C)

$$Q_{TUV,r} = \left(Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d) \right) \cdot 0,0036 \quad (17)$$

Kde je:

$Q_{TUV,r}$	denní spotřeba energie pro ohřev teplé vody,	(kWh)
d	délka otopného období,	(den)
t_2	teplota ohřáté vody,	(°C)
t_{svl}	teplota studené vody v létě,	(°C)
t_{svz}	teplota studené vody v zimě,	(°C)
N	počet pracovních dní za rok.	(den)

V tabulce 14 najdeme potřebné hodnoty k výpočtu energie pro ohřev denní a roční spotřeby teplé vody pro domácnost a výsledná hodnota určená součtem celkové roční spotřeby energie na vytápění a na ohřev teplé vody.

Tabulka 14 – Výpočet spotřeby energie na ohřev teplé vody.

teplota vody t_1 (°C)	9
teplota vody t_2 (°C)	60
objem ohřáté vody V_{2p} (m ³ /den)	0,2
hustota vody ρ (kg/m ³)	998
měrná tepelná kapacita vody c (J/kg · K)	4180
koeficient energetických ztrát z (–)	1
teplota studené vody v létě t_{svl} (°C)	12
teplota studené vody v zimě t_{svz} (°C)	6
počet dní N	365
denní spotřeba tepla pro ohřev vody $Q_{tuv,d}$ (kWh)	23,64
energie k ohřevu vody za rok $Q_{tuv,r}$ (GJ/rok)	28,7
energie k ohřevu vody za rok $Q_{tuv,r}$ (MWh/rok)	8
celková roční spotřeba energie (GJ/rok)	99,24

Celková roční spotřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody činí 99,24 GJ/rok, což odpovídá 27,6 MWh/rok.

3.1.1 Celková roční spotřeba energie s novými okny

Nový výpočet celkové roční spotřeby s novými okny je shodný s předchozím, jelikož vychází ze stejných rovnic. Podrobný postup výpočtu roční spotřeby energie je uveden v příloze C. V tabulce 15 jsou srovnány výsledky obou variant, přičemž je patrné, že výměna oken vedla ke snížení celkové roční spotřeby energie na vytápění o 9,6 GJ (2,7 MWh), což představuje úsporu energie o 13,8 %. Celková roční spotřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody se snížila o 9,8 %.

Tabulka 15 – Porovnání výsledků aktuálního stavu izolace oken s novým návrhem.

	Dřevěná okna s dvojsklem	Plastová okna s trojsklem
celková roční spotřeba na vytápění $Q_{VYT,r}$ (GJ/rok)	70,5	60,9
celková roční spotřeba na vytápění $Q_{VYT,r}$ (MWh/rok)	19,6	16,9
celková roční spotřeba energie (GJ/rok)	99,2	89,6
celková roční spotřeba energie (MWh/rok)	27,6	24,9

3.2 Výběr tepelného zdroje

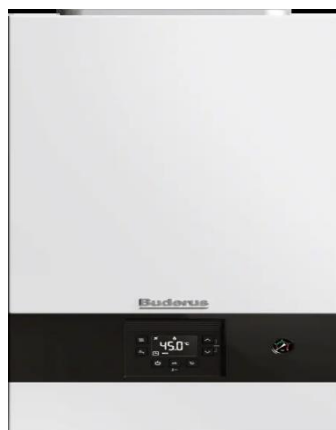
Pro vytápění a ohřev teplé vody byly zvoleny ke srovnání 3 zdroje tepla: kondenzační kotel, tepelné čerpadlo vzduch – voda a kotel na dřevo s ručním přikládáním, který bude splňovat minimální emisní třídu 5. Tyto zdroje byly vybrány z důvodu praktičnosti, co se prostoru pro daný zdroj tepla a dostupnosti paliva týče.

3.2.1 Plynový kondenzační kotel Buderus Logamax Plus GB122i

Jako primární zdroj tepla k vytápění a ohřevu teplé vody byl zvolen závěsný plynový kondenzační kotel od firmy Buderus, s označením Logamax Plus GB122i-24 K H, jehož výhodami jsou malé rozměry, vysoká efektivita s energetickým štítkem A+ s regulací podle venkovní teploty a nízká hlučnost při provozu. Technické parametry plynového kotle najdeme v tabulce 16 [31].

Tabulka 16 – Technické parametry kotle Buderus Logamax Plus GB122i [31].

Energetický štítek	A+ s regulací podle venkovní teploty
Jmenovitý výkon	3-25 kW
Max. teplota na výstupu	85 °C
Hmotnost	36 kg
Rozměry	400 x 713 x 300
Palivo	Zemní plyn
Sezónní energetická účinnost	94 %
Objem expanzní nádoby	6 l
Cena [32]	43.560 Kč



Obrázek 11 – Kotel Buderus Logamax Plus GB122i [31].

3.2.2 Kotel Klimosz IRON X 10 kW

Jako další zdroj byl vybrán kotel s ručním přiřkládáním od firmy Klimosz, s označením IRON X 10 kW. Kotel je na tuhá paliva typu ořech 2. Splňuje emisní třídu 5 a ECODESIGN 2022 [33]. V tabulce 17 jsou uvedeny technické parametry kotle.

Tabulka 17 – Technické parametry kotle Klimosz IRON X 10 kW [33].

Emisní třída	5
Třída energetické náročnosti	B
Výkon	10 kW
Účinnost	90,6 %
Rozměry	592 x 1229 x 1023
Palivo	ořech 2
Teplota spalin	115 °C
Objem vody	82 l
Cena	69.160 Kč



Obrázek 12 – Kotel Klimosz IRON X 10 kW [33].

3.2.3 Tepelné čerpadlo IVT AIR X 90

Jako poslední zdroj bylo vybráno tepelné čerpadlo vzduch – voda, s označením IVT AIR X 90 PRO KLIMA KOMFORT + AIR MODUL 9 s topným faktorem až 5,01 a velmi tichým provozem 47 dB. Výhodou je, že v rámci dotací Nová zelená úsporám lze získat dotaci, pokud se jedná o výměnu tepelného čerpadla s účinností aspoň 150 % za starý kotel na tuhá paliva, který splňuje pouze 1. a 2. emisní třídu, dále musí být doloženo potvrzení o likvidaci původního kotle, a instalaci tepelného čerpadla musí provést certifikovaná firma, následně výška dotace činí pro typ vzduch – voda polovinu nákladů (maximálně 90 tisíc Kč). Další výhodou je, že tepelné čerpadlo v létě může pracovat jako klimatizace [34] [35]. Technické údaje tepelného čerpadla najdeme v tabulce 18.

Tabulka 18 – Technické parametry tepelného čerpadla IVT AIR X 90 [34].

Energetický štítek	A+++
Max. topný faktor	až 5,01
Hlučnost	47 dB
Účinnost	194 %
Výkon při A7/W35	až 11,92 kW
Max. teplota na výstupu při venkovní teplotě -15 °C	55 °C
Rozměry	1380 x 930 x 440 (mm)
Cena (bez dotace) [34]	224.990 Kč



Obrázek 13 – Tepelné čerpadlo IVT AIR X 90 [34].

3.3 Porovnání nákladů

V této části je práce zaměřena na porovnání jednotlivých nákladů k dílčím zdrojům tepla, náklady jsou rozděleny do vstupních neboli pořizovacích nákladů, kde je zahrnuta částka za samotný zdroj tepla, za instalaci, dopravu, materiál, uvedení do provozu a roční náklady, které zahrnují částku za servis, revize a palivo.

3.3.1 Vstupní náklady

Konkrétní částky vstupních nákladů, respektive za samotný zdroj, jednotlivé komponenty, instalaci, uvedení do provozu a další, byly získány přímo z webových stránek jednotlivých dodavatelů, respektive po konzultaci s dodavateli o teoretickém návrhu cenové nabídky. Ceny za jednotlivé položky jsou vyobrazeny v tabulce 19.

Tabulka 19 – Pořizovací náklady zdrojů tepla [34][33][32].

Pořizovací náklady	Kotel na tuhá paliva	Tepelné čerpadlo	Plynový kotel
Cena zdroje	69.160	224.990	43.560
Materiál	3.875	41.000	7.420
Termostat	–	3.680	3.680
Regulátor tahu	949	–	–
Instalace	6.030	36.500	2.300
Uvedení do provozu	–	15.500	2.280
Likvidace starého kotle [36]	–	1.890	–
Dotace [35]	–	90.000	–
Celkem (Kč)	80.014	233.560	59.240

U tepelného čerpadla byla započtena dotace ve výši 90.000 Kč, kvůli čemuž jsou vyšší vstupní náklady, protože musela být započtena i ekologická likvidace starého kotle, aby byly splněny všechny podmínky pro získání dotace. Naopak nejlevněji vyšlo pořízení plynového kotle. Ve vstupních nákladech byl zanedbán zásobník teplé vody, jelikož dům je již vybaven funkčním boilerem o objemu 230 l, tudíž by stačilo pouze připojení k patřičnému zdroji tepla.

3.3.2 Roční náklady

Mezi roční náklady patří náklady na údržbu, servis, revize a palivo k jednotlivým zdrojům tepla na vypočtenou spotřebu energie pro vytápění a ohřev teplé vody viz tabulka 15. Roční náklady vytápění kotlem na tuhá paliva jsou určeny z rovnice (18) [51].

$$C_r = \frac{Q_{VYT,r} + Q_{TUV,r}}{\eta_Z \cdot H_P} \cdot C_P + C_D + C_{SE} \quad (18)$$

Kde je:

C_r	celkové roční náklady,	(Kč)
$Q_{VYT,r}$	roční spotřeba energie na vytápění,	(GJ/rok)
$Q_{TUV,r}$	roční spotřeba energie na ohřev teplé vody,	(GJ/rok)
η_Z	účinnost zdroje tepla,	(–)
H_P	výhřevnost paliva,	(GJ/rok)
C_P	cena paliva,	(Kč/kg)
C_D	cena za distribuci paliva,	(Kč)
C_{SE}	cena za roční servis zdroje tepla.	(Kč)

Bylo použito tvrdé palivové dřevo (buk, habr) s výhřevností 0,01423 GJ/kg při 20 % vlhkosti [38]. Cena paliva je 6,29 Kč/kg s vlhkostí paliva do 22 % a doprava je zdarma [37]. Revize kotle na tuhá paliva stojí 1.300 Kč a musí se provádět jednou za 3 roky, tudíž ročně vychází revize na 433,4 Kč [39] [40].

$$C_r = \frac{70,515 + 28,726}{0,906 \cdot 0,01423} \cdot 6,29 + 433,4 = 48.852 \text{ Kč/rok}$$

Roční náklady vytápění kotlem na plynná paliva jsou určeny z rovnice (18) ale celková spotřeba energie je uvedena v MWh. Cena za 1 MWh byla určena z ceníku, který bude platný od 1. 3. 2025 podle výše odběru od dodavatele Innogy na 2228,93 Kč/MWh za plyn Standard, plus poplatek za distribuci 515,04 Kč/měsíc [41]. Revize plynových kotlů musí být prováděna podle vyhlášky jednou za 3 roky, ale je doporučena každoročně pro bezpečný provoz [42]. Cena za roční revizi je 2.500 Kč [43].

$$C_r = \frac{27,567}{0,94} \cdot 2228,93 + (12 \cdot 515,04) + 2.500 = 74.047 \text{ Kč/rok}$$

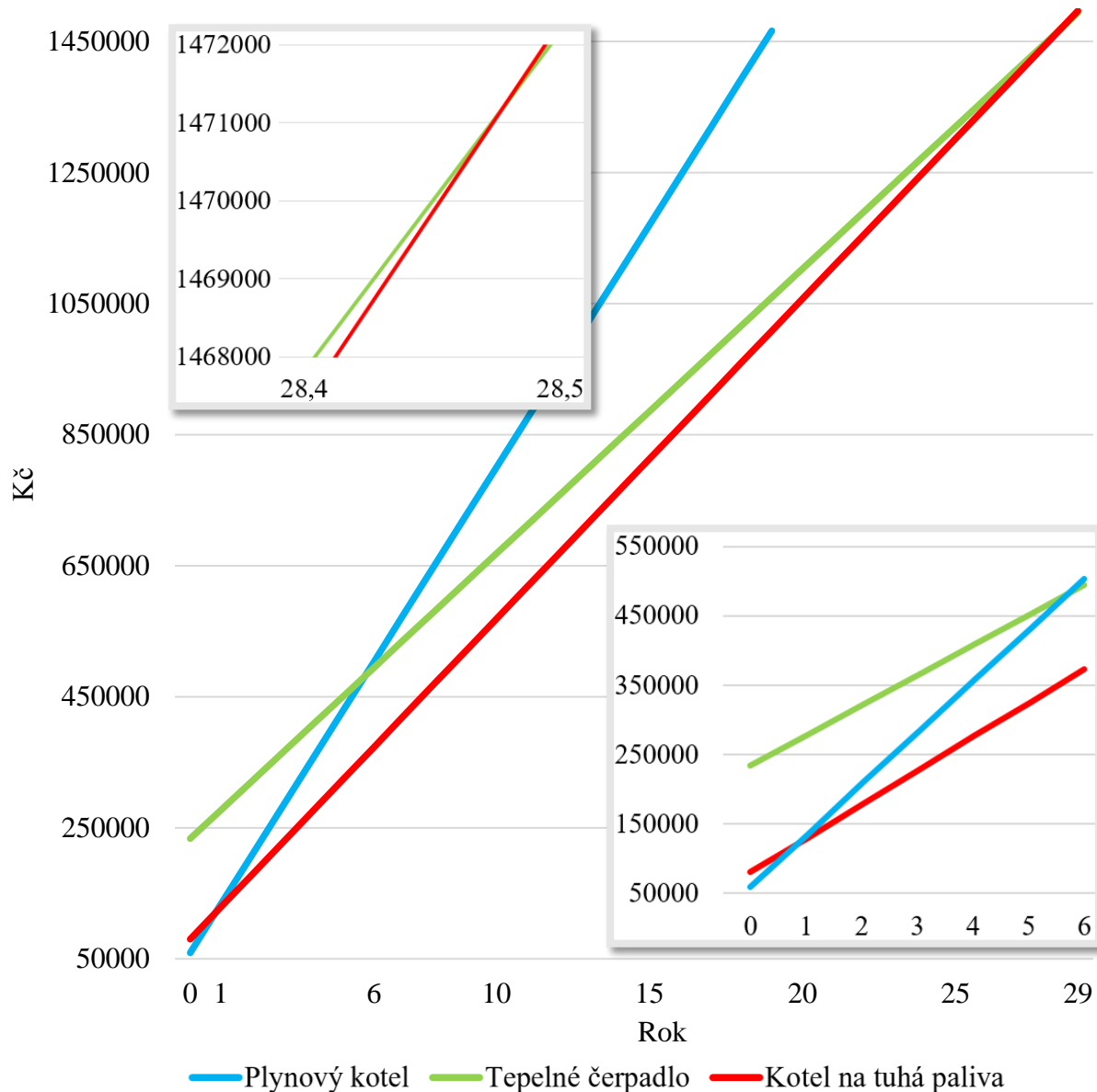
Roční náklady na provoz tepelného čerpadla pro vytápění byly taktéž určeny z rovnice (18), s rozdílem, že místo účinnosti se v rovnici dosadí sezónní topný faktor (SCOP), který je 4,65 a celková spotřeba energie je uvedena v MWh [44]. Cena za elektřinu byla zvolena podle ceníku od E.ON pro vytápění tepelným čerpadlem v rámci vysokého tarifu D57d na 4931,94 Kč/MWh a stálý měsíční poplatek za distribuční sazbu, sazba za příkon podle hlavního jističe a cena za provoz nesíťových infrastruktur. Nakonec byla připočtena cena za podporu elektřiny z podporovaných zdrojů energie (POZE). Součástí ceny za odběr elektřiny je i služba E.ON Kontrola tepelného čerpadla, což je pravidelný servis tepelného čerpadla pro odběratele zdarma [45].

$$C_r = \frac{27,567}{4,65} \cdot 4.931,94 + 12 \cdot (350 + 526 + 13,12) + 5,93 \cdot 598,95 = 43.460 \text{ Kč/rok}$$

Tabulka 20 – Porovnání ročních nákladů jednotlivých zdrojů.

Roční náklady	Kotel na tuhá paliva	Tepelné čerpadlo	Plynový kotel
Energie	48.419	29.239	65.367
Distribuce + POZE	–	14.221	6.180
Servis	433	–	2.500
CELKEM (Kč)	48.852	43.460	74.047

Z tabulky 20 je vidět, že tepelné čerpadlo má nejnižší roční náklady na provoz. Na rozdíl od toho nejdražší roční provoz vyšel u plynového kotle. Roční spotřeba energie u kotle na tuhá paliva je pouze teoretická, jelikož značnou část paliva během roku máme z vlastních zdrojů.



Obrázek 14 – Celkové náklady na vytápění v průběhu let.

Z grafu na obrázku 14 je vidět, že z dlouhodobého hlediska je nejvýhodnější investice do tepelného čerpadla, jelikož i přes vysokou počáteční investici se nám cena dorovná s plynovým kotlem již za necelých 6 let, a s kotlem na tuhá paliva i přes jeho nízké roční náklady za necelých 29 let.

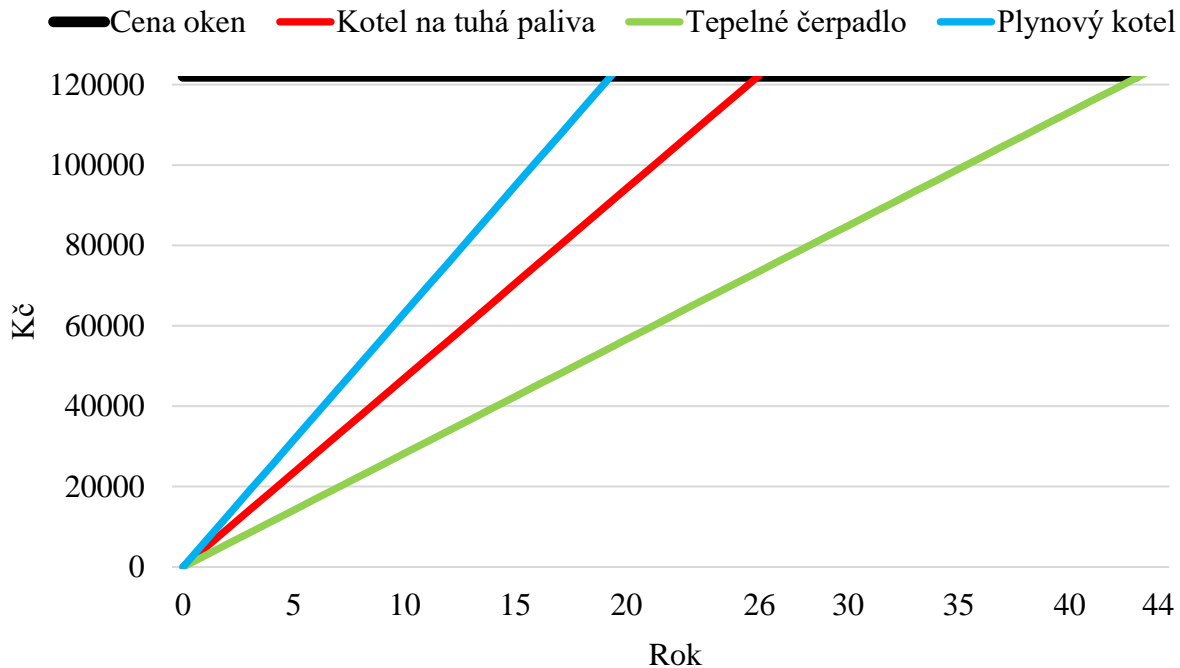
3.3.3 Náklady na výměnu oken

Výroba 14 plastových oken a 2 balkónových dveří s izolačním trojsklem a se stejnou barvou jako jsou aktuální okna (tmavý dub) by stála 122.054 Kč [30]. Do nákladů na nová okna není zahrnutá instalace, jelikož výměnu zvládnou sám.

V následující části je určeno o kolik se změní náklady na roční provoz u jednotlivých zdrojů v případě výměny oken, respektive snížení tepelné ztráty domu na hodnotu viz tabulka 15. Výsledné roční náklady po výměně oken jsou vypočteny stejně z rovnice (18) a vyobrazeny v tabulce 21.

Tabulka 21 – Roční náklady jednotlivých zdrojů po výměně oken.

Roční náklady	Kotel na tuhá paliva	Tepelné čerpadlo	Plynový kotel
Celkem (Kč)	44.148	40.631	67.723
Ušetřeno za rok (Kč)	4.704	2.829	6.324



Obrázek 15 – Návratnost výměny oken s jednotlivými zdroji tepla.

Z grafu na obrázku 15 je vidět, že investice do výměny oken se vrátí nejdříve při použití plynového kotle, a to za necelých 20 let, s kotlem na tuhá paliva za 26 let, naopak nejdéle se vrátí investice s tepelným čerpadlem, a to za 44 let. Živostnost plastových oken může převyšovat i 50 let, ovšem musí se počítat s výměnou těsnění v průběhu životnosti oken, což je nenákladná záležitost [46].

ZÁVĚR

V první kapitole byl zpracován přehled tepelných zdrojů a systémů určených pro vytápění rodinných domů. Zdroje byly rozděleny podle typů paliv na kotle na tuhá paliva, plyná paliva, tepelná čerpadla, solární, a nakonec elektrické topné systémy. Tuhá a pevná paliva byla rozdělena podle vlastností, která právě ovlivňují výkon, účinnost a další důležité parametry jednotlivých typů kotlů.

V další kapitole je práce zaměřena na konkrétní rodinný dům, který byl postaven v roce 2000 na Vysočině. Dům má 4 patra a z toho 2 vytápěná. Dále je popsán současný stav zdroje vytápění, což je kotel na tuhá paliva z roku 2011, který již není optimální na provoz vzhledem ke spotřebě paliva a k tvorbě emisí. Další částí druhé kapitoly je samotný výpočet tepelné ztráty pro vytápěnou část domu, respektive 141,2 m². Výpočet zahrnuje tepelné ztráty prostupem z vytápěných prostor přímo do venkovního prostředí, do nevytápěných prostor a ztráta nuceným větráním. Výpočet byl proveden ve dvou variantách. V první variantě s aktuálními dřevěnými okny s izolačním dvojsklem a ve druhé variantě s novými plastovými okny s izolačním trojsklem. Výsledný celkový návrhový tepelný výkon s aktuálním stavem oken vyšel 7231 W (19,6 MWh/rok) a po teoretické výměně oken 6496 W (16,9 MWh/rok). Následně byla určena roční spotřeba tepla na vytápění teplé vody pro 4 osoby s odhadovanou spotřebou 200 l/den a výsledkem 8 MWh/rok.

V poslední části této práce byly navrženy 3 zdroje vytápění, a to plynový kondenzační kotel Buderus Logamax Plus GB122i, kotel na tuhá paliva Klimosz IRON X 10 kW a tepelné čerpadlo vzduch-voda IVT AIR X 90. Následně byly porovnány pořizovací náklady jednotlivých zdrojů, kam patří cena za samotný zdroj, instalace s materiálem a uvedení do provozu. Nejlevněji vyšla investice do kondenzačního kotle, poté do kotle na tuhá paliva a nejdražší vyšla investice do tepelného čerpadla, která byla 4x větší než do kondenzačního kotle, a 2,9x větší než do kotle na tuhá paliva. Poté byly zhodnoceny roční náklady, kde rozhodovala cena paliva, distribuce, servis a revize. Nejlevněji vyšlo tepelné čerpadlo na 43.460 Kč/rok, poté kotel na tuhá paliva 48.852 Kč/rok a plynový kotel 74.047 Kč/rok. Následně byly vyobrazeny celkové náklady do grafu na obrázku 14 v průběhu 29 let, což ukázalo, že se nejvíce vyplatí investice do tepelného čerpadla. Nakonec byl určen cenový odhad výroby plastových oken s izolačním trojsklem a s výslednou cenou 122.054 Kč. Poté bylo vypočteno, kolik by ušetřil každý zdroj na palivu při výměně oken, z čehož byla stanovena návratnost do investice výměny oken, která je vyobrazena v grafu na obrázku 15.

Musíme brát v potaz, že nynější okna na domě jsou již 25 let stará a doposud u nich nebylo měněno těsnění, tudíž součinitel prostupu tepla u nich bude ve skutečnosti horší, než s kterým jsme počítali tepelnou ztrátu, respektive skutečná návratnost investice do výměny oken bude lepší než vypočtená. A co se zdrojů tepla týče, bude pro nás určitě nejvýhodnější investovat do výměny kotle na tuhá paliva, vzhledem k tomu, že máme přístup k palivu z vlastního zdroje, alespoň do té doby, dokud nebudou zakázány tuhá paliva úplně.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Jak vybrat kotel na tuhá paliva. *Kotelnaklic.cz* [online]. [cit. 2024-11-26]. Dostupné z: <https://www.kotelnaklic.cz/jak-vybrat-kotel-na-tuha-paliva/>
- [2] BÁLÁŠ, Marek. *Kotle a výměníky tepla*. Vydání čtvrté. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2022. ISBN 978-80-214-6093-5.
- [3] AM LICOTHERM. *Intoma.cz* [online]. [cit. 2024-11-26]. Dostupné z: https://www.intoma.cz/topeni-instalace/automaticke_kotle_na_pelety/am-licotherm/
- [4] RYŠAVÝ, Jiří. Komfort kotlů na tuhá/pevná paliva - část I. *TZB-info.cz* [online]. [cit. 2024-11-26]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-pevnymi-palivy/17137-komfort-kotlu-na-tuha-pevna-paliva-cast-i>
- [5] BRZEZINA, Jáchym. Kotle na tuhá paliva. *Infoviz.cz* [online]. [cit. 2024-11-26]. Dostupné z: <https://www.infoviz.cz/graphic.php?ID=177>
- [6] KOLONIČNÝ, Jan. Paliva a jejich vlastnosti. *Ceet.vsb.cz* [online]. [cit. 2024-11-26]. Dostupné z: <https://ceet.vsb.cz/export/sites/ceet/vec/.content/galerie-souboru/Paliva-a-jejich-vlastnosti.pdf>
- [7] BALÁŠ, Marek. Kotle a paliva. *TZB-info.cz* [online]. [cit. 2024-11-26]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/8382-kotle-1-cast>
- [8] NOVÁK, Jan. Výhřevnost paliv. *TZB-info.cz* [online]. [cit. 2024-11-26]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/11-vyhrevnost-paliv>
- [9] Vlastnosti pevných biopaliv, obsah vody, obsah popele a výhřevnost. *TZB-info.cz* [online]. [cit. 2024-11-26]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/112-vlastnosti-pevných-biopaliv-obsah-vody-obsah-popele-a-vyhrevnost>
- [10] Vytápíme plynem. *TZB-info.cz* [online]. [cit. 2024-11-26]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-plynem>
- [11] BECHYNĚ, Milan. Výhody a nevýhody klasických zdrojů tepla pro vytápění domu. *Estav.cz* [online]. [cit. 2024-11-26]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/11541-vyhody-a-nevyhody-klasicky-zdroju-tepla-pro-vytapani-domu>
- [12] Jak vybrat plynový kotel. *Usetreno.cz* [online]. [cit. 2024-11-26]. Dostupné z: <https://www.usetreno.cz/clanky/jak-vybrat-plynovy-kotel/>
- [13] Jak zabránit plýtvání zdroji. *Warm.techinfus.com* [online]. [cit. 2024-11-26]. Dostupné z: https://warm.techinfus.com/cs/kotly/kondensacionnye-otopleniya.html#google_vignette
- [14] HODBOŮ, Josef. Tepelná čerpadla – účel, historie, princip, chladiivo. *TZB-info.cz* [online]. [cit. 2024-11-26]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/23093-tepelna-cerpadla-zakladni-informace>
- [15] Tepelná čerpadla. *TZB-info.cz* [online]. [cit. 2024-11-26]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla>
- [16] ŘEZNÍČEK, Martin. Jak funguje tepelné čerpadlo. *Trasko.cz* [online]. [cit. 2024-11-26]. Dostupné z: <https://www.trasko.cz/jak-funguje-tepelne-cerpadlo>

- [17] 4+1 rada pro výběr tepelného čerpadla. *Remko.cz* [online]. [cit. 2024-11-26]. Dostupné z: <https://www.remko.cz/rady-pro-vyber-tepelneho-cerpadla>
- [18] KASAL, Jakub. Solární vytápění v porovnání s jinými zdroji vytápění. *Dotace-jednoduse.cz* [online]. [cit. 2024-11-26]. Dostupné z: <https://dotace-jednoduse.cz/solarni-vytapeni-v-porovnani-s-jinymi-zdroji-vytapeni-vyhody-a-nevyhody>
- [19] MATUŠKA, Tomáš. Solární vytápění. *TZB-info.cz* [online]. [cit. 2024-11-26]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/142-solarni-vytapeni>
- [20] Solární vytápění. *Topeni-topenari.eu* [online]. [cit. 2024-11-26]. Dostupné z: <https://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-alternativni/solarni-vytapeni/>
- [21] BLAŽÍČEK, Jan. Elektrické vytápění ohřívající vzduch. *TZB-info.cz* [online]. [cit. 2024-11-26]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/elektricke-vytapeni/11487-varianty-elektrickeho-vytapeni-se-zdroji-ohrivajicimi-primo-vzduch>
- [22] KOPAČKOVÁ, Dagmar. Varianty elektrického vytápění. *TZB-info.cz* [online]. [cit. 2024-11-26]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/elektricke-vytapeni/10833-varianty-elektrickeho-vytapeni-rozdeleni-podle-zdroje-tepla>
- [23] ČSN EN 12831-1. *Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018.
- [24] REINBERK, Zdeněk. Výpočet potřeby tepla pro vytápění, větrání a přípravu teplé vody. *TZB-info.cz* [online]. [cit. 2025-2-9]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-vypocet-potreby-tepla-pro-vytapeni-vetrani-a-pripravu-teple-vody>
- [25] BRÁZDIL, Radek. Druhy tepelných izolací a jejich vlastnosti. *Izomat.cz* [online]. [cit. 2025-2-9]. Dostupné z: <https://www.izomat.cz/druhy-tepelnych-izolaci-a-jejich-vlastnosti/>
- [26] Podložka pod plovoucí podlahy Mirelon 3 mm. *lasamba.cz* [online]. [cit. 2025-2-9]. Dostupné z: <https://www.lasamba.cz/podlozka-pod-plovouci-podlahy-mirelon-3-mm-p39>
- [27] LABOUTKA, Karel. Hodnoty fyzikálních veličin vybraných stavebních materiálů. *TZB-info.cz* [online]. [cit. 2025-2-9]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/58-hodnoty-fyzikalnich-velicin-vybranych-stavebnich-materialu#t09>
- [28] Cihly Porotherm. *Wienerberger.cz* [online]. [cit. 2025-2-9]. Dostupné z: <https://www.wienerberger.cz/zdivo-porotherm/produkty/cihly.html?loadmore=2>
- [29] Součinitel prostupu tepla. *TZB-info.cz* [online]. [cit. 2025-2-9]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/32-soucinitel-prostupu-tepla-a-soucinitel-sparove-pruvzdučnosti-oken-a-dveri-dle-csn-73-0540>
- [30] Konfigurator oken online. *Konfigurator-oken.cz* [online]. [cit. 2025-2-9]. Dostupné z: <https://www.konfigurator-oken.cz/>

- [31] Nástěnný plynový kondenzační kotel. *Buderus.com* [online]. [cit. 2025-2-9]. Dostupné z: <https://www.buderus.com/cz/cs/ocs/rodinne-domy-a-byty/logamax-plus-gb122i-924438-p/>
- [32] Buderus GB122i-24 K H. *koupelny-radiatory.cz* [online]. [cit. 2025-2-26]. Dostupné z: <https://www.koupelny-radiatory.cz/buderus-gb122i-24-k-h-nastenny-kondenzacni-kotel-kombi?hgtid=1606894c-7fc1-4452-b2e4-94f4fababc7e>
- [33] Klimosz IRON X 10 kW. *Kotlenauhli.cz* [online]. [cit. 2025-2-24]. Dostupné z: <https://www.kotlenauhli.cz/kotle/eshop/10-1-Kotle-s-rucnim-prikladanim/0/5/2631-Klimosz-IRON-X-10-kW>
- [34] Tepelné čerpadlo s vysokou účinností IVT AIR X 90 PRO KLIMA KOMFORT + AIR MODUL 9. *Eurosystemy.cz* [online]. [cit. 2025-2-9]. Dostupné z: <https://www.eurosystemy.cz/tepelne-cerpadlo-ivt-air-x-90.php>
- [35] Podmínky poskytování dotací pro rodinné domy od února 2025. *Novazelenausporam.cz* [online]. [cit. 2025-2-9]. Dostupné z: https://novazelenausporam.cz/dokumenty/podminky-unor-2025/?fbclid=IwY2xjawIDPvFleHRuA2FlbQIxMAABHRFupjRqHcYb-1fz6iusXHphT8s5A75FOmLBd9Mft5XyGahsyuOMvPDA5w_aem_FzW0czMyHzW8POylmqkkNg
- [36] Nabídka služeb. *Kotelnaklic.cz* [online]. [cit. 2025-2-9]. Dostupné z: <https://www.kotelnaklic.cz/nabidka-sluzeb-2/>
- [37] Suché palivové dřevo sypané. *Optimtop.cz* [online]. [cit. 2025-2-27]. Dostupné z: https://www.optimtop.cz/suche-palivove-drevo-sypane-buk-habr-delka-28-cm-14-prms/?fbclid=IwY2xjawItf65leHRuA2FlbQIxMAABHcJLsKbygluH_ZbtULcGtKAuY5ff3cLion9wMDSV3u0HlsR4jpAqhl1Jkg_aem_zuOvC4VuGX_xT-K5Dsyuyw
- [38] NOVÁK, Jan. Výhřevnosti a měrné jednotky palivového dřeva. *TZB-info.cz* [online]. [cit. 2025-2-9]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/12-vyhrevnosti-a-merne-jednotky-palivoveho-dreva>
- [39] Cena revize a oprav kotlů. *Av-s.cz* [online]. [cit. 2025-2-9]. Dostupné z: https://www.av-s.cz/Cena-revize-a-oprav-kotlu-c23_38_2.htm
- [40] Ministerstvo životního prostředí. *Mzp.cz* [online]. [cit. 2025-2-9]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/news_20190910-databaze-servisnich-techniku-revize-kotlu?
- [41] Ceník plyn standard. *Innogy.cz* [online]. [cit. 2025-2-9]. Dostupné z: <https://www.innogy.cz/ceniky/plyn/>
- [42] Odborní prohlídky a revize plynových kotlů. *Viessmann.cz* [online]. [cit. 2025-2-9]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/technologie/vytapeni-plynem/revize-plynovych-kotlu.html?>
- [43] Základní (orientační) ceník technik-plyn. *Technik-plyn.cz* [online]. [cit. 2025-2-9]. Dostupné z: <https://www.technik-plyn.cz/cenik.html>
- [44] 9kW-IVT AIR X 90. *Ivt-heatingsystems.cz* [online]. [cit. 2025-2-9]. Dostupné z: <https://www.ivt-heatingsystems.cz/air-x/ivt-air-x-90/>
- [45] Průvodce vás dovede k ceníku který hledáte. *Eon.cz* [online]. [cit. 2025-2-9]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/domacnosti/zakaznicka-pece/ceniky/>

- [46] Jaká je životnost plastových oken. *Okna-vrata.cz* [online]. [cit. 2025-2-9]. Dostupné z: <https://www.okna-vrata.cz/jaka-je-zivotnost-plastovych-oken/>
- [47] Ministerstvo životního prostředí. *Mzp.cz* [online]. [cit. 2025-2-9]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/news_20240520_Od-prvniho-zari-zacne-platit-zakaz-pouzivani-kotlu-1-a-2-emisni-tridy-MZP-upravilo-podporu-vymeny-kotlu-od-zari-a-oznamilo-jak-budou-probihat-kontroly
- [48] ŠKORPÍK, Jiří. Organická paliva a jejich cykly. *Transformacni-technologie.cz* [online]. [cit. 2025-2-20]. Dostupné z: <https://www.transformacni-technologie.cz/07.html>
- [49] Účinnost plynových kotlů. *Plyn.cz* [online]. [cit. 2025-2-24]. Dostupné z: <https://www.plyn.cz/ucinnost-plynovych-kotlu>
- [50] Nízkoteplotní a kondenzační kotle. *Asb-portal.cz* [online]. [cit. 2025-2-24]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/technicka-zarizeni-budov/vytapeni/nizkoteplotni-akondenzacni-kotle>
- [51] Co zahrnout do výpočtu nákladů za vytápění. *Plyn.cz* [online]. [cit. 2025-3-12]. Dostupné z: <https://www.plyn.cz/co-zahrnout-do-vypoctu-nakladu-za-vytapeni>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Veličina	Jednotka
$\Phi_{T,i}$	tepelná ztráta prostupem	(W)
$H_{T,ie}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí	(W/K)
$H_{T,ia}$	prostup do sousedních vytápěných prostor	(W/K)
$H_{T,iae}$	prostup tepla přes nevytápěné prostory	(W/K)
$H_{T,iaBE}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousedních funkčních částí budovy	(W/K)
$H_{T,ig}$	měrný tepelný tok prostupem do zeminy	(W/K)
$\theta_{int,i}$	vnitřní výpočtová teplota uvažovaného vytápěného prostoru	(°C)
θ_e	venkovní výpočtová teplota	(°C)
A_k	plocha stavební části	(m ²)
U_k	součinitel prostupu tepla stavební části	$\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$
ΔU_{TB}	přirážka na vliv tepelných vazeb	$\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$
$f_{U,k}$	opravný činitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy	(-)
$f_{ix,k}$	teplotní opravný činitel	(-)
R_{in}	tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce	(m ² · K/W)
R	tepelný odpor samotné konstrukce	(m ² · K/W)
R_{out}	tepelný odpor na vnější straně konstrukce	(m ² · K/W)
d	tloušťka vrstvy	(m)
λ	součinitel tepelné vodivosti	$\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$
f_1	opravný činitel zohledňující rozdíl mezi teplotou sousedního prostoru a venkovní výpočtovou teplotou	(-)
f_2	opravný činitel zohledňující rozdíl mezi vnitřní výpočtovou teplotou prostoru a průměrnou povrchovou teplotou stavební části	(-)
θ_x	teplota sousedního prostoru	(°C)
$\theta_{int,k}^*$	průměrná vnitřní povrchová teplota stavební části	(°C)
$f_{iae,k}$	teplotní opravný činitel	(-)
$\Phi_{V,i}$	tepelná ztráta větráním	(W)
ρ	hustota	(kg/m ³)
c_p	měrná tepelná kapacita	$\left(\frac{Wh}{kg \cdot K}\right)$

$Q_{V,min,i}$	minimální objemový průtok vzduchu místnosti	(m ³ /h)
$\theta_{int,i}$	vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru	(°C)
θ_e	venkovní výpočtová teplota	(°C)
$n_{min,i}$	minimální intenzita větrání místnosti	(h ⁻¹)
V_i	vnitřní objem místnosti	(m ³)
$\Phi_{HL,i}$	celkový návrhový tepelný výkon	(W)
$\Phi_{hu,i}$	volitelný dodatečný zátopový tepelný výkon při přerušovaném vytápění	(W)
$\Phi_{gain,i}$	trvalé tepelné zisky ve vytápěném prostoru	(W)
$Q_{VVT,r}$	celková roční spotřeba energie pro vytápění	(GJ/rok)
ε	opravný součinitel	(-)
η_0	účinnost obsluhy	(-)
η_r	účinnost rozvodu vytápění	(-)
D	vytápěcí denostupně	(K· dny)
e_i	nesoučasnost tepelné ztráty větrání a tepelné ztráty prostupem	(-)
e_t	snížení teploty v místnosti během dne, respektive noci	(-)
e_d	zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami v provozu	(-)
d_o	počet dní topného období v roce	(dny)
θ_{es}	průměrná teplota během topného období	(°C)
z	koeficient energetických ztrát systému	(-)
V_{2p}	celkový objem ohřáté vody za den	(m ³ /den)
t_2	teplota ohřáté vody	(°C)
t_1	teplota studené vody	(°C)
$Q_{TUV,r}$	denní spotřeba energie pro ohřev teplé vody	(kWh)
d	délka otopného období	(den)
t_{svl}	teplota studené vody v létě	(°C)
t_{svz}	teplota studené vody v zimě	(°C)
N	počet pracovních dní za rok	(den)
C_r	celkové roční náklady	(Kč)
η_z	účinnost zdroje tepla	(-)
H_p	výhřevnost paliva	(GJ/kg)
C_p	cena paliva	(Kč/kg)
C_D	cena za distribuci paliva	(Kč)

C_{SE} cena za roční servis zdroje tepla

(Kč)

SEZNAM PŘÍLOH

- 1 Příloha A
- 2 Příloha B
- 3 Příloha C