ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
INTELIGENTNÍ BUDOVY

Rekonstrukce vytápění bytového domu s variantním řešením zdrojů tepla

Reconstruction of Heating System in Apartement House with Variant Solutions of Heat Sources

Diplomová práce

ROBERT BICEK 1-IB-2017

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Bicek** Jméno: **Robert** Osobní číslo: **369263**

Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**

Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**

Studijní program: **Inteligentní budovy**

Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Rekonstrukce vytápění bytového domu s variantním řešením zdrojů tepla

Název diplomové práce anglicky:

Reconstruction of Heating System in Apartment House with Variant Solutions of Heat Sources

Pokyny pro vypracování:

Stanovte tepelně-technické vlastnosti stávajícího objektu a navrhněte nové parametry dle ČSN EN 730540. Tyto hodnoty porovnejte a okomentujte. Popište stávající zdroj tepla a otopnou soustavu a navrhněte nové řešené, které může zahrnovat jak částečné využití stávajícího systému, nebo zcela nové řešení. Zároveň diskutujte a porovnejte různé zdroje tepla, které připadají v úvahu. Zamyslete se rovněž nad přípravou teplé vody, přičemž tyto různé systémy porovnejte z hlediska investičních i provozních nákladů.

Seznam doporučené literatury:

BROŽ, Karel. Vytápění. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02536-5.
BAŠTA, Jiří. Otopné plochy. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02365-6
BAŠTA, Jiří a Karel KABELE. Otopné soustavy teplovodní. 3., přeprac. vyd. Praha: Společnost pro techniku prostředí, odborná sekce vytápění, 2008. Sešit projektanta - pracovní podklady. ISBN 978-80-02-02064-6.
BAŠTA, Jiří. Výkresová dokumentace ve vytápění. 2., přeprac. vyd. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2001. Sešit projektanta - pracovní podklady. ISBN 80-02-01465-0.
LABOUTKA, Karel a Tomáš SUCHÁNEK. Výpočtové tabulky pro vytápění: vztahy a pomůcky. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2001. Sešit projektanta - pracovní podklady. ISBN 80-02-01466-9.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jindřich Boháč, Ú 12116

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

Datum zadání diplomové práce: **20.04.2017** Termín odevzdání diplomové práce: **30.06.2017**

Platnost zadání diplomové práce:

Podpis vedoucí(ho) práce | Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry | Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

26.4.2017

Datum převzetí zadání | Podpis studenta

© ČVUT v Praze, Design: ČVUT v Praze, VIC

Souhrn

Náplní této diplomové práce je vypracování návrhu několika možných variant rekonstrukce vytápění bytového domu. Jedná se o bytový dům rozdělený do dvou samostatných částí. Obytná část s č. p. 592 a druhá obytná část s č. p. 593. Budova byla postavena v devadesátých letech minulého století. Vyhodnotím stávající stav a navrhnu vhodné zateplení obálky budovy, tak aby jednotlivé konstrukce obálky budovy splňovaly doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla dle normy ČSN 73 0540-2. Nejvhodnější zdroj tepla navrhnu na základě technických možností budovy, finančního zatížení a požadovaného komfortu. Otopná soustava bude v části bytového domu s č. p. 593 využita stávající, kromě otopných těles, která budou nahrazena novými deskovými otopnými tělesy. Ve druhé části bytového domu s č. p. 592 bude navržena celá nová otopná soustava včetně otopných těles. Po návrhu optimální otopné soustavy navrhnu vhodný způsob přípravy teplé vody

Summary

The aim of this thesis is to design several suitable versions of a reconstruction of a specific family house's heating system. The family house in question is divided into two separate parts, both being residential; a house with a land registry number 592 and a house with a land registry number 593. The building itself was built in the 1990s. For the purpose of my thesis I will evaluate the current state of heating and desing a suitable solution for a new heat insulation of the building envelope, with an emphasis on maintaining the overall coefficient of heat transfer values according to the norm ČSN 73 0540-2 throughout all of the individual building envelope construction elements. The most suitable heat source will be chosen in accordance with the technical possibilities of the building, financial cost and desired comfort. For the house with a land registry number 593 the design will use the current heating system with the exception of the radiators, which will be replaced by panel radiators. However, for the house with a land registry number 592 an entirely new heating system will be proposed. Once the optimal heating system is designed I will also suggest a suitable method for hot water heating.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: Rekonstrukce vytápění bytového domu s variantním řešením zdrojů tepla vypracoval samostatně, pod vedením Ing. Jindřicha Boháče s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne Robert Bicek ……

podpis

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Jindřichu Boháčovi za ochotu, vstřícnost a trpělivost s jakou mě vedl po celou dobu této práce.

OBSAH

1 ÚVOD ..... - 11 -
2 POPIS BUDOVY ..... - 12 -
2.1 Skladba konstrukcí ..... - 13 -
3 TEPELNÁ ZTRÁTA ..... - 19 -
3.1 Celková tepelná ztráta ..... - 19 -
4 STÁVAJÍCÍ OTOPNÁ SOUSTAVA ..... - 23 -
4.1 Stávající zdroje tepla ..... - 23 -
5 OPTIMÁLNÍ ZDROJ TEPLA NA VYTÁPĚNÍ ..... - 24 -
5.1 Technické možnosti zdrojů tepla ..... - 25 -
5.1.1 Zdroj na tuhá paliva s ručním přikládáním paliva ..... - 25 -
5.1.2 Automatický kotel na tuhá paliva ..... - 26 -
5.1.3 Plynový kondenzační kotel ..... - 26 -
5.1.4 Elektrokotel ..... - 27 -
5.1.5 Tepelné čerpadlo ..... - 28 -
5.2 Pořizovací a provozní náklady ..... - 29 -
5.2.1 Plynové kondenzační kotle ..... - 29 -
5.2.2 Kotle na tuhá paliva ..... - 30 -
5.2.3 Elektrokotle ..... - 32 -
5.2.4 Vyhodnocení investičních a provozních nákladů ..... - 32 -
5.2.5 Potřeba tepla na vytápění ..... - 36 -
5.3 Výběr optimální varianty ..... - 38 -
5.3.1 Obytná část s č. p. 592 ..... - 38 -
5.3.2 Obytná část s č. p. 593 ..... - 39 -
6 NÁVRH NOVÉ OTOPNÉ SOUSTAVY ..... - 41 -
6.1 Návrh otopného tělesa ..... - 42 -
6.1.1 Přepočet výkonu otopných těles ..... - 44 -
6.2 Tlakové ztráty otopné soustavy ..... - 46 -
6.3 Hydraulické vyvážení otopné soustavy ..... - 48 -
6.3.1 Hydraulické vyvážení otopné soustavy u bytové části č.p. 592 - 49 -
6.3.2 Hydraulické vyvážení otopné soustavy u bytové části č.p. 593 - 51 -
6.4 Zabezpečovací zařízení ..... - 52 -

6.5 Oběhové čerpadlo - 54 -
6.6 Přívod spalovacího vzduchu a odkouření - 55 -
7 PŘÍPRAVA TEPLÉ VODY - 57 -
7.1 Příprava teplé vody v č. p. 592 - 58 -
7.1.1 Návrh systému přípravy teplé vody - 59 -
7.2 Příprava teplé vody v č. p. 593 - 61 -
8 ZÁVĚR - 63 -
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A PODKLADŮ - 65 -
SEZNAM PŘÍLOH - 66 -
PŘÍLOHY - 68 -

PŘEHLED POUŽITÝCH SYMBOLŮ

c	Teplotní podílový součinitel	[-]
c_{vody}	Měrná tepelná kapacita vody	[J.kg^{-1}.K^{-1}]
d	Délka otopného období	[den]
d	Vnitřní průměr potrubí	[m]
d	Tloušťka stěny	[mm]
e_d	Opravný součinitel na zkrácení doby provozu	[-]
e_i	Opravný součinitel na nesoučasnost tepelných ztrát	[-]
e_t	Opravný součinitel na snížení teploty	[-]
f	Počet měrných jednotek – osob	[kWh.den^{-1}]
H_{ok}	Výška okna	[m]
H_{ot}	Výška otopného tělesa	[m]
$H_{T,ie}$	Součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	[W.K^{-1}]
$H_{T,ig}$	Součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do zeminy	[W.K^{-1}]
$H_{T,ij}$	Součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do prostoru vytápěného na jinou teplotu	[W.K^{-1}]
$H_{T,iue}$	Součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí nevytápěným prostorem	[W.K^{-1}]
H_V	Součinitel tepelné ztráty větráním	[W.K^{-1}]
k_V	Jmenovitý průtok armaturou	[m^3.h^{-1}]
l	Délka potrubí	[m]
L_{ok}	Délka okna	[m]
L_{ot}	Délka otopného tělesa	[m]
n	Intenzita výměny venkovního vzduchu	[h^{-1}]
n	Teplotní exponent otopného tělesa	[-]
n	Součinitel zvětšení objemu	[-]
p_B	Barometrický tlak	[Pa]
p_d	Nejnižší pracovní přetlak soustavy	[Pa]
$p_{d,A}$	Nejnižší absolutní tlak soustavy	[Pa]
$p_{h,dov}$	Nejvyšší dovolený přetlak soustavy	[Pa]
$p_{h,dov,A}$	Nejvyšší dovolený absolutní tlak soustavy	[Pa]

Q_{2p}	Teplo dodané ohřívačem TV	[kWh.den^{-1}]
Q_{2t}	Teplo pro ohřev vody	[kWh.den^{-1}]
Q_{2z}	Teplo ztracené při ohřevu a distribuci	[kWh.den^{-1}]
Q_c	Tepelná ztráta budovy	[W]
Q_m	Tepelná ztráta místnosti	[W]
Q_d	Teoretická potřeba tepla na vytápění	[GJ.otop.období$^{-1}$]
$Q_{d,sk}$	Skutečná potřeba tepla na vytápění	[GJ.otop.období$^{-1}$]
Q_k	Tepelný výkon zdroje tepla	[W]
Q_{OT}	Výkon otopného tělesa	[W]
R	Měrná tlaková ztráta	[Pa.m^{-1}]
R	Tepelný odpor stěny	[m^2.K.W^{-1}]
t_1	Teplota studené vody	[°C]
t_2	Teplota teplé vody	[°C]
t_D	Teplota vzduchu	[°C]
t_e	Venkovní oblastní výpočtová teplota	[°C]
t_{es}	Průměrná venkovní teplota za otopné období	[°C]
t_i	Vnitřní výpočtová teplota	[°C]
t_{ok}	Teplota okna	[°C]
t_{ot}	Povrchová teplota otopného tělesa	[°C]
t_{w1}	Teplota vstupní vody do otopného tělesa	[°C]
$t_{w1,N}$	Jmenovitá teplota vstupní vody do otopného tělesa	[°C]
t_{w2}	Teplota výstupní vody z otopného tělesa	[°C]
$t_{w2,N}$	Jmenovitá teplota výstupní vody z otopného tělesa	[°C]
U	Součinitel prostupu tepla	[W.m^{-2}.K^{-1}]
$U_{N_Doporuč.}$	Doporučená hodnota U	[W.m^{-2}.K^{-1}]
$U_{N_požad.}$	Požadovaná hodnota U	[W.m^{-2}.K^{-1}]
U_{ok}	Součinitel prostupu tepla okna	[W.m^{-2}.K^{-1}]
U_{ok}	Součinitel prostupu tepla okna	[W.m^{-2}.K^{-1}]
V	Objemový průtok	[m^3.h^{-1}]
V_0	Objem vody v otopné soustavě	[m^3]
V_{2p}	Celková potřeba teplé vody	[m^3.den^{-1}]
V_{et}	Objem expanzní nádoby	[m^3]
V_K	Objem vody v kotli	[m^3]

V_m	Objem vzduchu v místnosti	[m^3]
V_{OT}	Objem vody v otopných tělesech	[m^3]
$V_{Potrubí}$	Objem vody v potrubí otopné soustavy	[m^3]
$V_{W,f,day}$	Specifická potřeba teplé vody	[m^3.den^{-1}.os^{-1}]
V_z	Objem zásobníku	[m^3]
w	Rychlost proudění vody v potrubí	[m.s^{-1}]
y	Korekční faktor odběru tepla ze zásobníku TV	[-]
Z	Tlaková ztráta místními odpory	[Pa]
z	Poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci TV	[-]
α_e	Součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce	[W.m^{-2}.K^{-1}]
α_i	Součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	[W.m^{-2}.K^{-1}]
Δp	Tlaková ztráta	[Pa]
Δp_{celk}	Celková tlaková ztráta úseku	[Pa]
ΔQ_{max}	Největší možný rozdíl tepla mezi Q_{1p} a Q_{2p}	[kWh.den^{-1}]
δ_t	Teplotní rozdíl teplonosné látky	[K]
Δt_p	Spínací diference pro dohřev TV	[K]
ΔU_{tb}	Korekční součinitel	[W.m^{-2}.K^{-1}]
η	Stupeň využití expanzní nádoby	[-]
η_K	Účinost kotle	[-]
η_O	Účinost obsluhy	[-]
η_R	Účinost rozvodů	[-]
θ_e	Venkovní výpočtová teplota	[°C]
θ_i	Vnitřní výpočtová teplota	[°C]
λ	Součinitel tepelné vodivosti	[W.m^{-1}.K^{-1}]
ξ	Součinitel místních ztrát	[-]
$\rho_{stř}$	Hustota vody při střední teplotě zásobníku	[kg.m^{-3}]
ρ_w	Hustota vody	[kg.m^{-3}]
τ_a	Doba dohřevu TV při teplotním rozdílu Δt_p	[s]
Φ	Celková návrhová tepelná ztráta vytápěného prostoru	[W]
Φ_T	Návrhová tepelná ztráta prostupem	[W]
Φ_V	Návrhová tepelná ztráta větráním	[W]
$\varphi_{\Delta tN,ln}$	Opravný součinitel na teplotní rozdíl otopného tělesa	[-]

1 ÚVOD

Trendem dnešní doby je snaha o úsporu energií. Šetřit energií se snažíme, abychom šetřili nejen životní prostředí, ale abychom snížili celkové náklady na provoz domácnosti. Výstavba nízkoenergetických a pasivních domů je, jak již z názvu vyplívá, na snížení spotřeby energií zaměřena. Celé projekty jsou tomu uzpůsobeny. Přes snížení spotřeby energií však musí být zachován komfort vnitřního prostředí.

V minulosti na tyto úspory nebyl kladen takový důraz. Proto je v současné době potřeba staré budovy rekonstruovat. Rekonstrukce se musí týkat jak zateplení obálky budovy, tak modernizace technologií. Zateplení obálky budovy lze hodnotit podle požadavků normy ČSN 73 0540-2. U rekonstrukcí bytových domů se většinou neuvažuje s nuceným větráním, kde by bylo možné šetřit energii například rekuperací vzduchu. Proto je potřeba se u těchto objektů zaměřit především na zateplení a vytápění. Je potřeba zhodnotit celou otopnou soustavu a navrhnout moderní řešení, které splňuje technické požadavky při minimalizaci pořizovacích a provozních nákladů soustavy.

2 POPIS BUDOVY

V mé diplomové práci řeším tepelné ztráty bytového domu. Budova byla postavena v devádesátých letech minulého století. Stavba se nachází v Lomnici nad Lužnicí v okrese Jindřichův Hradec, kde je venkovní oblastní výpočtová teplota t_e = - 15 °*C*. Bytový dům je rozdělen do dvou samostatných částí. Každá část má své vlastní číslo popisné a svůj vlastní vchod.

Větší část s číslem popisným 592 má technické podlaží (přízemí) a tři nadzemní podlaží. V prvních dvou podlažích jsou vždy tři byty a ve třetím nadzemním podlaží se nachází jeden samostaný byt a nevytápěná půda.

Druhá část s číslem popisným 593 je menší. Stejně jako první část má technické podlaží (přízemí) a tři nadzemní podlaží. V prvním a druhém nadzemním podlaží jsou vždy dva byty na patře, třetí podlaží je tvořeno pouze nevytápěnou půdou. Skutečný stav je zakreslen v projektové dokumentaci této práce.

Technické podlaží domu je kompletně nad terénem a kromě technických prostorů je tvořeno také garážemi. Žádná část technického podlaží není vytápěná. Každý byt má v technickém podlaží svůj vlastní zdroj tepla pro vytápění na tuhá paliva a každý byt má rovněž individuální přípravu teplé vody (elektrické zásobníky).

Střecha je sedlová orientovaná na jih a na sever. Požadovaná výměna vzduchu bude zajištěna předepsaným manuálním větráním a mikroventilací oken.

2.1 Skladba konstrukcí

První bod této práce je zhodnocení stávajícího stavu a navržení vhodného řešení pro snížení tepelné ztráty budovy. Stávající obvodové konstrukce jsou tvořeny pouze pórobetonovými tvárnicemi. Zlepšení tepelně technických vlastností budovy bude dosaženo zateplením obvodových konstrukcí. Jednotlivé konstrukce budou zatepleny tepelnou izolací, díky čemuž splní doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla $U_{N,dop}$ dle ČSN 73 0540 - 2. Pro výpočet součinitele prostupu tepla u jednotlivých konstrukcí jsem vytvořil tabulku v Excelu. Vztahy použité v příloze [P01] pro výpočet součinitele prostupu tepla budou popsány v kapitole 2.2.

<u>Obvodové zdivo 400</u>

- Omítka vápenocementová

  d = 25 mm, λ = 0,99 W.m^{-1}.K^{-1}

- Porobetonová tvárnice NSM 304

  d = 400 mm, λ = 0,18 W.m^{-1}.K^{-1}

- Omítka vápenocementová

  d = 25 mm, λ = 0,99 W.m^{-1}.K^{-1}

- Podkladní materiál (lepidlo)

  d = 5 mm, λ = 0,87 W.m^{-1}.K^{-1}

- Minerální izolace Rockwool FRONTROCK MAX E [P01]

  d = 140 mm, λ = 0,036 W.m^{-1}.K^{-1}

- Tenkovrstvá omítka s výztužnou perlinkou

  d = 5 mm, λ = 0,7 W.m^{-1}.K^{-1}

Obvodové zdivo 300

- Omítka vápenocementová

d = 25 mm, λ = 0,99 W.m^{-1}.K^{-1}

- Porobetonová tvárnice NSM 304

d = 300 mm, λ = 0,18 W.m^{-1}.K^{-1}

- Omítka vápenocementová

d = 25 mm, λ = 0,99 W.m^{-1}.K^{-1}

- Podkladní materiál (lepidlo)

d = 5 mm, λ = 0,87 W.m^{-1}.K^{-1}

- Minerální izolace Rockwool FRONTROCK MAX E [P01]

d = 200 mm, λ = 0,036 W.m^{-1}.K^{-1}

- Tenkovrstvá omítka s výztužnou perlinkou

d = 5 mm, λ = 0,7 W.m^{-1}.K^{-1}

Obvodové zdivo je tvořeno z pórobetonových tvárnic. Větší část objektu (č. p. 592) má tloušťku obvodového zdiva 400 mm a menší část (č. p. 593) má tloušťku obvodového zdiva 300 mm. Zvolil jsem kontaktní zateplovací systém. Minerální vatu jsem volil z důvodu dobrých tepelně izolačních vlastností, kvůli snadné propustnosti vodní páry, akustickým vlastnostem, dlouhé životnosti a výborné požární odolnosti.

Stěna vnitřní 350

- Omítka vápenocementová

d = 10 mm, λ = 0,99 W.m^{-1}.K^{-1}

- Zdivo

d = 250 mm, λ = 0,53 W.m^{-1}.K^{-1}

d = 100 mm, λ = 0,6 W.m^{-1}.K^{-1}

- Omítka vápenocementová

d = 10 mm, λ = 0,99 W.m^{-1}.K^{-1}

Stěna vnitřní 300

- Omítka vápenocementová

d = 10 mm, λ = 0,99 W.m^{-1}.K^{-1}

- Zdivo

d = 290 mm, λ = 0,53 W.m^{-1}.K^{-1}

- Omítka vápenocementová

d = 10 mm, λ = 0,99 W.m^{-1}.K^{-1}

Stěna vnitřní 100

- Omítka vápenocementová

d = 10 mm, λ = 0,99 W.m^{-1}.K^{-1}

- Zdivo

d = 100 mm, λ = 0,53 W.m^{-1}.K^{-1}

- Omítka vápenocementová

d = 10 mm, λ = 0,99 W.m^{-1}.K^{-1}

Vnitřní nosné konstrukce a vnitřní příčky se liší jen tloušťkou zdiva a mají nosnou a dělící nebo pouze dělící funkci. Jelikož se jedná o vnitřní konstrukce, tak jsem neuvažoval o jejich zateplení.

Podlaha 1. NP

- Nášlapná vrstva

d = 25 mm, λ = 0,99 W.m^{-1}.K^{-1}

- Železobetonový panel

d = 150 mm, λ = 1,43 W.m^{-1}.K^{-1}

- Beton

d = 110 mm, λ = 1,23 W.m^{-1}.K^{-1}

- Omítka vápenocementová

d = 25 mm, λ = 0,99 W.m^{-1}.K^{-1}

- Podkladní materiál (lepidlo)

d = 5 mm, λ = 0,87 W.m^{-1}.K^{-1}

- Minerální izolace Rockwool FASTROG G [P02]

d = 60 mm, λ = 0,036 W.m^{-1}.K^{-1}

Podlaha nad technickým podlažím je izolována tepelnou izolací Rockwool. Zde je nutná kvalitní tepelná izolace, protože celé přízemí (technické podlaží) je nevytápěné. V budově není podlahové vytápění a tudíž je potřeba co nejvíce zamezit nepříjemnému chladu od nohou v prvním podlaží.

<u>Podlaha 2-3. NP</u>

- Nášlapná vrstva

d = 25 mm, λ = 0,99 W.m^{-1}.K^{-1}

- Železobetonový panel

d = 150 mm, λ = 1,43 W.m^{-1}.K^{-1}

- Beton

d = 110 mm, λ = 1,23 W.m^{-1}.K^{-1}

- Omítka vápenocementová

d = 25 mm, λ = 0,99 W.m^{-1}.K^{-1}

Stejně jako vnitřní nosná konstrukce nebude tato konstrukce zateplena, protože od sebe odděluje části budovy se stejnou vnitřní výpočtovou teplotou.

<u>Strop do půdy</u>

- Nášlapná vrstva

d = 25 mm, λ = 0,99 W.m^{-1}.K^{-1}

- Železobetonový panel

d = 150 mm, λ = 1,43 W.m^{-1}.K^{-1}

- Beton

d = 110 mm, λ = 1,23 W.m^{-1}.K^{-1}

- Omítka vápenocementová

d = 25 mm, λ = 0,99 W.m^{-1}.K^{-1}

- Podkladní materiál (lepidlo)

d = 5 mm, λ = 0,87 W.m^{-1}.K^{-1}

- Foukaná izolace Supafil Loft 045 [P03]

d = 200 mm, λ = 0,045 W.m^{-1}.K^{-1}

Tato konstrukce odděluje vytápěnou část budovy od nevytápěné půdy. Bude zde použita foukaná minerální izolace. Navrhl jsem foukanou izolaci kvůli velice dobrým tepelně izolačním vlastnostem, a také pro snadnou aplikaci v nepřístupných nebo špatně přístupných prostorách.

Okna a dveře

Celý bytový dům (č. p. 592 a č. p. 593) byl v roce 2010 osazen novými plastovými okny a dveřmi. Proto jsem neuvažoval o jejich výměně. Stávající okna mají dle údajů výrobce součinitel prostupu tepla U_{ok} = 1,1 W.m^{-2}.K^{-1}, Jedná se ale o součinitel prostupu tepla pouze izolačním dvojsklem. S ohledem na stáří oken a zohlednění rámu jsem při výpočtech danou hodnotu zvýšil na U_{ok} = 1,4 W.m^{-2}.K^{-1}, která již přibližně odpovídá celému oknu včetně ránu. Se stejnými vlastnostmi jako pro okna, jsem počítal i s balkonovými dveřmi.

2.2 Součinitel prostupu tepla

Doporučené a požadované součinitele prostupu tepla pro jednotlivé konstrukce jsou popsány v normě ČSN 73 0540 – 2, která odpovídá aktuálním evropským požadavkům.

Výsledný vztah pro výpočet součinitele prostupu tepla [2]:

$$U=\frac{1}{R}=\frac{1}{\frac{1}{\alpha_i}+\sum_{i=1}^{n}\frac{d}{\lambda}+\frac{1}{\alpha_e}} \tag{2.1}$$

R Tepelný odpor stěny...…….. [$m^2.K.W^{-1}$]

d Tloušťka stěny…….....…….…….[m]

λ Součinitel tepelné vodivosti…….[$W.m^{-1}.K^{-1}$]

α_i Součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce……....[$W.m^{-2}.K^{-1}$]

α_e Součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce……....[$W.m^{-2}.K^{-1}$]

n Počet vrstev…….[-]

U Součinitel prostupu tepla…….…….[$W.m^{-2}.K^{-1}$]

Vypočtená hodnota součinitele prostupu tepla U musí být menší nebo rovna požadované hodnotě U_N stanovené v normě ČSN 73 0540 – 2.

$$U \leq U_N \tag{2.2}$$

Nicméně, jak už bylo popsáno výše, navrhl jsem úpravu stávajících parametrů tak, aby konstrukce splňovaly doporučené hodnoty $U_{N,dop}$ viz tabulka 2.1. Při výpočtu jsem volil součinitel přestupu tepla na vnitřní straně α_i = 8 $W.m^{-2}.K^{-1}$ a na vnější straně α_e = 23 $W.m^{-2}.K^{-1}$.

Tab. 2.1 Vypočtené hodnoty součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí obálky budovy stávajícího stavu a stavu po zateplení.

Konstrukce	U [$W.m^{-2}.K^{-1}$]		
	Stavající stav	$U_{N,Dop}$	Nový stav
Obvodová stěna - 400 mm	*0,41*	*0,25*	*0,16*
Obvodová stěna - 300 mm	*0,53*	*0,25*	*0,13*
Podlaha 1.NP	*1,98*	*0,50*	*0,46*
Okno	*1,40*	*1,40*	*1,40*
Balkonové dveře	*1,40*	*1,40*	*1,40*
Strop do půdy	*2,27*	*0,40*	*0,18*

Veškeré výpočty jsou obsaženy v příloze [P06].

3 TEPELNÁ ZTRÁTA

Tepelné ztráty je možné počítat podle české normy ČSN 06 0210 nebo podle evropské normy ČSN EN 12 831. Přestože je česká norma ČSN 06 0210 již neplatná, je pro svou přehlednost a fyzikální srozumitelnost stále velice často používána mnoha projektanty. Rozhodl jsem se tepelné ztráty počítat podle evropské normy ČSN EN 12 831. Stejně jako česká norma ČSN 06 0210 počítá i evropská norma ČSN EN 12 831 celkovou tepelnou ztrátu jako součet tepelné ztráty prostupem a tepelné ztráty větráním. Oproti české normě zohledňuje evropská norma lineární tepelné vazby. V mojí diplomové práci jsem počítal tepelnou ztrátu budovy zjednodušenou metodou pomocí ΔU_{tb} [W.m^{-2}.K^{-1}]. Podrobný výpočet zohledňující lineární tepelné mosty pomocí činitele lineárního prostupu ψ (psí), kde hodnoty ψ většinou neznáme a volíme je na základě odborného odhadu, je velice komplikovaný. Při výpočtu tepelné ztráty stávajícího stavu jsem volil ΔU_{tb} = 0,1 W.m^{-2}.K^{-1} a pro nově navrhovaný stav jsem volil ΔU_{tb} = 0,02 W.m^{-2}.K^{-1}.

3.1 Celková tepelná ztráta

Celková tepelná ztráta budovy se skládá z tepelné ztráty prostupem a tepelné ztráty větráním. Vztahy pro výpočet jsou podrobně vysvětleny v normě ČSN EN 12 831 [3], proto v mé práci popíšu pouze základní rovnice, a použité jednotlivé části zde již nebudu dále rozvádět.

V excelu jsem vytvořil tabulku pro výpočet celkové tepelné ztráty jednotlivých místností. Součet celkových ztrát příslušných místností udává celkovou tepelnou ztrátu daného bytu. Příklad výpočtu pro místnost č.112 – Obývací pokoj v 1. NP bytové části s číslem popisným 593 je uveden v tabulce 3.2.

$$\Phi = \Phi_T + \Phi_V \tag{3.3}$$

Φ_T Návrhová tepelná ztráta prostupem…….[W]

Φ_V Návrhová tepelná ztráta větráním…….……..…….[W]

Φ Ceková návrhová tepelná ztráta vytápěného prostoru…….[W]

Návrhová tepelná ztráta prostupem Φ_T

$$\Phi_T = \left(H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}\right).(\theta_i - \theta_e) \qquad (3.4)$$

$H_{T,ie}$ Součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí…….……..…[W.K^{-1}]

$H_{T,iue}$ Součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí nevytápěným prostorem……...…...[W.K^{-1}]

$H_{T,ig}$ Součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do zeminy……[W.K^{-1}]

$H_{T,ij}$ Součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do prostoru vytápěného na jinou teplotu…….[W.K^{-1}]

θ_i Vnitřní výpočtová teplota……...…….[°C]

θ_e Venkovní výpočtová teplota……...….[°C]

Návrhová tepelná ztráta větráním Φ_V

$$\Phi_V = H_V.(\theta_i - \theta_e) \qquad (3.5)$$

H_V Součinitel návrhové tepelné ztráty větráním..……...[W.K^{-1}]

θ_i Vnitřní výpočtová teplota……...….[°C]

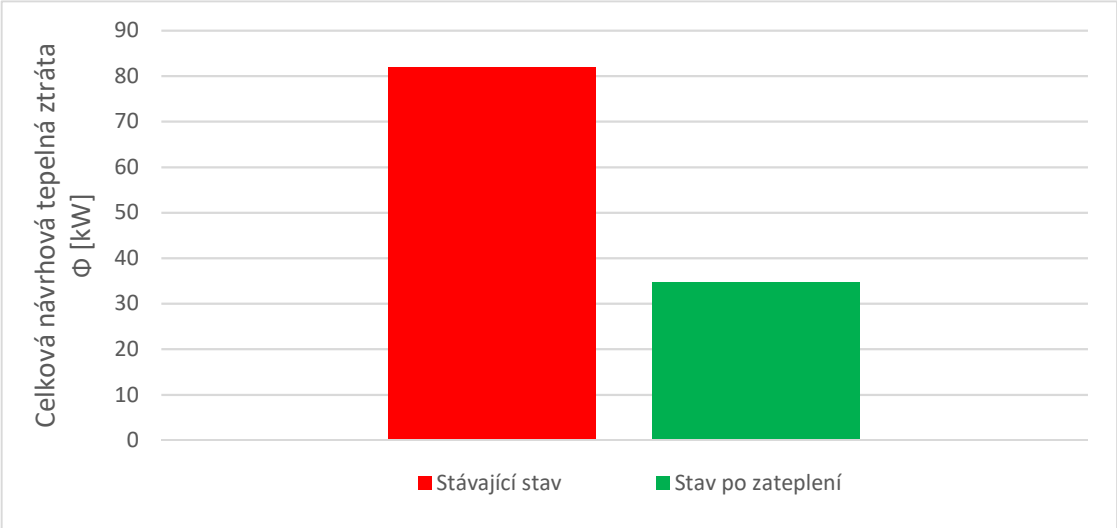
θ_e Venkovní výpočtová teplota……...….[°C]

Při výpočtu tepelné ztráty větráním jsem uvažoval pouze s minimální výměnou vzduch požadovanou z hygienických důvodů. S výměnou vzduchu infiltrací jsem neuvažoval, protože u plastových oken a balkonových dveřích, jaká jsou osazena v celé budově, je součinitel spárové provzdušnosti i [m^2.s^{-1}.Pa$^{-0,67}$] řádově 10^{-4}. Okna s takto malým součinitelem spárové provzdušnosti jsou velice

těsná a proto výměna vzduchu infiltrací bude menší, než výměna vzduchu požadovaná z hygienických důvodů. Proto u obytných částí budovy je předepsaná tzv. požadovaná intenzita výměny venkovního vzduchu n [h^{-1}]. Podle hygienických požadavků je intenzita výměny vzduchu pro obytné místnoti rovna n = 0,5 h^{-1}. V místnostech jako jsou WC, koupelna nebo kuchyň je mnohem větší vlhkost nebo intenzita nepříjemných či škodlivých pachů, a proto se pro tyto prostory uvažuje intenzita výměny vzduchu alespoň n = 1,5 h^{-1}. Pro vnitřní prostory, které neslouží k trvalému pobytu osob jsem uvažoval s intenzitou výměny vzduchu n = 0,3 h^{-1}. Kvůli možnosti vzniku hygienicky závadného prostředí je potředa tyto předepsané požadavky na výměnu vzduchu dodržovat. Podrobný výpočet tepelných ztrát po místnostech je v příloze [P07] a souhrn tepelných ztrát jednotlivých bytů je v příloze [P08].

Tab. 3.1 Porovnání tepelné ztráty budovy ve stávajícím stavu a po zateplení.

	Celková návrhová tepelná ztráta	
	Φ	
	kW	
	Stávající stav	Stav po zateplení
č. p. 592	51	21,6
č. p. 593	31	13,1
Celkem	**82**	**35**
	Zlepšení po zateplení o	**58%**



Obr 3.1 Porovnání celkové návrhové tepelné ztráty budovy ve stávajícím stavu a po zateplení.

Tab. 3.2 Příklad výpočtu celkové návrhové tepelné ztráty místnosti č.112 – Obývací pokoj v 1. NP bytové části s číslem popisným 593

Tabulka pro výpočet tepelné ztráty dle ČSN EN 12831

593 - 1.NP - Byt č.2

Místnost: Č. 112 - Obývací pokoj

Podlaží	Označení a popis konstrukce SO- ochlazovaná stěna OD- ochlazované okno DO- ochlazované dveře SN- vnitřní stěna DN- Vnitřní dveře PDL- podlaha STR- strop SCH-střecha	Plocha Stěny délka	šířka nebo výška	plocha	počet otvorů	plocha otvorů	plocha bez otvorů A	Součinitel prostupu tepla konstrukcí (včetně tepelných mostů a vazeb) U_k	činitel teplotní redukce f_{ij}, b_u	Součinitel tepelné ztráty prostupem	Vnitřní výpočtová teplota	Vnější výpočtová teplota			Návrhová tepelná ztráta prostupem a větráním	Celková návrhová tepelná ztráta
		m	m	m^2		m^2	m^2	$w\ m^{-2}\ K^{-1}$	-	$W\ K^{-1}$	°C	°C	K		W	W
	Podlaha 1.NP	23,4	1	23,4			23,4	0,48	0,571429	6,42597						
	Obvodová stěna - 300 mm	6	2,8	16,8			16,8	0,15		2,593225						
	Obvodová stěna - 300 mm	3,9	2,8	10,92	1	3,36	7,56	0,15		1,166951						
	Okno	2,1	1,6	3,36			3,36	1,42		4,7712						
	Stěna vnitřní 300	3,3	2,8	9,24			9,24	1,23	0	0						
	Stěna vnitřní 100	3,9	2,8	10,92			10,92	2,26	0	0						
	Strop 1-2.NP	23,4	1	23,4			23,4	2,29	0	0						
	Stěna vnitřní 300	2,7	2,8	7,56			7,56	1,23	0,057143	0,530726						
											θ_i	θ_e	θ_i-θ_e			
									H_T=	15,48807	20	-15	35	$\phi T=HTx(\theta i-\theta e)$=	542	
	Výměna vzduchu v požadovaném prostoru			$V_i=V_m x n$=		26,656	m^3/h									
	Požadovaná výměna vzduchu			n=		0,5	1/h	měrná tepelná kapacita vzduchu					c_p=	0,281	Wh/kgK	
	Objem vzduchu v místnosti			V_m=		53,312	m^3	hustota vzduchu					ρ=	1,2	kg/m^3	
	Světlá výška místnosti			v=		2,8	m						$Hv=V_i x c_p x \rho$=	9,0	W/K	$\phi=\phi_T+\phi_V$
														$\phi_v=H_v x(\theta_i-\theta_e)$	315	857

4 STÁVAJÍCÍ OTOPNÁ SOUSTAVA

V celém objektu (č. p. 592 a 593) je původní otevřená otopná soustava. Každá bytová jednotka má svůj vlastní stacionární zdroj tepla na tuhá paliva v technickém podlaží. Potrubí je ocelové. V části bytového domu s číslem popisným 592 je protiproudá vertikální soustava, kde na jedno stoupací potrubí připadají vždy maximálně dvě otopná tělesa a hlavní ležaté potrubí je v technickém podlaží. V části s číslem popisným 593 je protiproudá horizontální otopná soustava. Do každého bytu přivádí otopnou vodu vždy pouze jedno stoupací potrubí. V obou částech bytového domu jsou osazena článková litinová otopná tělesa.

4.1 Stávající zdroje tepla

Každá bytová jednotka v objektu s č. p. 592 a č. p. 593 má vlastní zdroj tepla na tuhá paliva. ETKA U 12 je ocelový kotel určený ke spalování hnědého uhlí odhořívacím způsobem.

Technické údaje

Jmenovitý výkon	12,5 Kw
Účinnost kotle	72-76 %
Vodní obsah kotle	26 dm^3
Konstrukční tlak	300 kPa
Provozní tah komínu	13 Pa
Rozměry kotle (VxŠxH)	890x384x620 mm
Předepsané palivo	hnědé uhlí

Kotle jsou v provozu od roku 1988, kdy proběhla kolaudace objektu. Vzhledem k jejich stáří a současnému stavu (viz Obr. 4.1) je překvapující, že stále fungují a neprotékají. Avšak účinnost, uváděná v technické dokumentaci kotle [P09], přesahující 70 % není reálná. Kromě pravidelných revizí komínů současná legislativa vyžaduje i pravidelné revize kotlů na tuhá paliva. Tyto revize ukázaly

již nevyhovující stav. Současný kotel by mohl být v technické místnosti provozován maximálně do roku 2022, ale pro nevyhovující stav je nutná výměna zdroje v nejbližším možném termínu.

Obr. 4.1 Stávající kotel ETKA U 12

5 OPTIMÁLNÍ ZDROJ TEPLA NA VYTÁPĚNÍ

Vyhodnocení a návrh optimálního zdroje tepla jsem udělal pro každou část bytového domu samostatně.

V současné době existuje mnoho možností, jak vyřešit moderní vytápění v bytovém domě. Do každého objektu je možné navrhnout několik variant podle mnoha kritérií. Nejdůležitější kritéria, která jsem při návrhu vhodného zdroje

zohlednil, jsou technická proveditelnost, počáteční investice, provozní vlastnosti a minimální nároky na obsluhu.

5.1 Technické možnosti zdrojů tepla

5.1.1 Zdroj na tuhá paliva s ručním přikládáním paliva

Výměna stávajícího zdroje na tuhá paliva za nový zdroj na tuhá paliva je jedno z mnoha řešení. Tento typ zdroje však není vhodný. Stávající objekt není zateplen. Zateplení jsem navrhl a bude se realizovat z důvodu zlepšení tepelně technických vlastností budovy. Takové zlepšení sníží tepelné ztráty jednotlivých bytů, které se v současném stavu pohybují mezi 6 – 9 kW na ztrátu od 2,5 – 4 kW.

Kotle na tuhá paliva s ručním přikládáním o výkonu, který by odpovídal zateplenému stavu (cca 4 kW), se nevyrábějí. Nejnižší výkony kotlů s ručním přikládáním se pohybují kolem 12 kW.

K těmto kotlům s ručním přikládáním je povinná akumulační nádrž, která by přebytky tepelné energie „uchovala“ a využila by je dodatečně. Tím by se zajistilo, že kotel bude pracovat při jmenovitých podmínkách. A při použití předepsaného paliva nebude docházet k dehtování, rosení a dalším nepříznivým vlivům. Zároveň dojde k určité úspoře paliva, jelikož bude využíváno naakumulované teplo v akumulační nádrži.

Akumulační nádrže mají své opodstatnění a v dnešní době se díky ní dokáže uspořit jak palivo, tak se i prodloužit životnost kotle, který bude pracovat ve výrobcem předepsaných provozních podmínkách. V minulosti se však většinou s připojením akumulační nádrže nepočítalo. Objem nádrže by měl odpovídat přibližne 55 l na 1 kW výkonu zdroje. Na každý nově navržený 12 kW kotel připadá 750 l akumulační nádrž. To sebou přináší velké požadavky na prostor v technické místnosti. V technickém podlaží je nedostatečný prostor pro instalaci 11 nových kotlů a dalších 11 akumulačních nádrží o minimálním objemu 750 l.

Další nezanedbatelné nevýhody kotlů s ručním přikládáním paliva jsou odtah spalin, nutnost doplňování paliva a výnášení popela. Komín s předepsanými

tahovými podmínkami od výrobce kotlů je nutný pro správné hoření paliva. Pravidelné doplňování paliva a vynášení popela může být časově a fyzicky náročné, což neodpovídá jednomu z mých základních kritérií pro výběr zdroje tepla na vytápění a to minimální nároky na obsluhu.

5.1.2 Automatický kotel na tuhá paliva

Technicky vhodnější by byl automatický kotel na tuhá paliva díky možnosti modulace výkonu. K automatickým kotlům na tuhá paliva není potřeba osazovat akumulační nádrž, ale z důvodu nutnosti zásobníku paliva nastává stejný problém s prostorem jako u kotle s ručním přikládáním a akumulační nádrží.

Vzhledem k nedostatku prostoru v technické místnosti není možné, aby měl každý byt svůj automatický kotel na tuhá paliva.

Doplňování paliva a vynášení popela není u automatických kotlů tak časté, jako u kotlů s ručním přikládáním. Nicméně se této činosti uživatel nevyhne.

5.1.3 Plynový kondenzační kotel

V současné době budova není připojena na plyn. Ten je ale veden v komunikaci před bytovým domem. Na připojení plynu je již vypracovaný projekt. Díky tomu je jedním z možných zdrojů tepla na vytápění plynový kondenzační kotel.

Přes širokou modulaci hořáku plynového kondenzačního kotle není vhodné využít pro každý byt jeden kotel pouze pro vytápění. Kotle by pracovaly na hranici svého minimální možného výkonu a hrozilo by zde možné cyklování kotle, které má nepříznivý vliv na provoz i životnost kotle.

Kdyby se uvažovalo i o přípravě teplé vody pomocí kondenzačního kotle a nepřímo ohřívaného zásobníku, tak by výkon kotle byl optimální. Jelikož je technická místnost v přízemí objektu, docházelo by kvůli velikým vzdálenostem k velkým tepelným ztrátám. V případě využití kondenzačního kotle s průtokovou přípravou teplé vody, by musel být kotel instalován přímo do bytu. Tato možnost

by byla velice nákladná vzhledem k problematickému vedení plynu objektem a obtížně řešitelnému odtahu spalin.

Vzhledem k výše uvedenému se nabízí využití jednoho společného kondenzačního kotle. Zde je však potřeba vyřešit dvě důležité věci. První je odvod kondenzátu. V tomto případě se jedná o nízké výkony a kondenzát je možné odvést přímo do kanalizace. U kondenzačních kotlů s výkonem nad 200 kW je potřeba řešit úpravu kondenzátu (neutralizaci). V některých případech je potřeba vyřešit odvod kondenzátu například přečerpáváním. V technické místnosti, kde jsou instalovány stávající zdroje na vytápění, je vyvedena kanalizace, takže kondenzát může být bez problémů odváděn.

Další složitou věcí je odtah spalin. Existuje několik variant. Vedení odtahu spalin stávajícím komínem, vedením skrz zeď (na fasádu), nebo novým odkouřením vedeným po fasádě. Ve všech případech je nutné, aby odkouření vyhovovalo požadavkům kondenzační techniky. Díky komínu od stávajích kotlů na tuhá paliva, který má dostatečný vnitřní průměr, lze vyřešit odkouření vyvložkováním komína plastovým potrubím průměru 80 mm. Tak bude zajištěno správné vedení spalin. Kondenzační kotel se řadí mezi plynové spotřebyče typu C. Spalovací vzduch si přisává z venkovního prostoru a je tudíž nezávislý na vzduchu v místě instalace.

Jakmile jsou vyřešeny všechny požadavky pro připojení kondenzačního kotle (odvod kondenzátu, odkouření, přívod plynu), tak instalace jednoho plynového kondenzačního kotle je jedno z možných řešení. Kotel bude napojen na jednotlivé okruhy, kdy jeden otopný okruh odpovídá jednomu bytu. Vhodnou regulací, kdy je využit plný potenciál kondenzačního kotle, což zahrnuje širokou modulaci výkonu a vysokou účinností a využitím latentního tepla ve spalinách k předehřevu otopné vody, se oproti klasickým či atmostferickým plynovým kotlům ušetří i značná část paliva.

5.1.4 Elektrokotel

Řešení vytápění pomocí elektrokotle je možné. Elektrokotel je relativně malé zařízení bez nutnosti dalších revizí. Není potřeba řešit odkouření, tudíž by instalace v bytě byla možná a minimalizovaly by se tím i tepelné ztráty rozvodů,

které nejsou zanedbatelné v případě, že jsou zdroje instalovány v technickém podlaží v přízemí. Příznivá je také hlučnost tohoto kotle. Dříve docházelo k hlasitému spínání jednotlivých topných tyčí, ale moderní elektrokotel je tichý a jeho chod nijak neruší obyvatele bytu. Díky široké škále možných výkonů a modulací po 1,3 kW je možné elektrokotel instalovat i do bytů s malou tepelnou ztrátou, jakou mají byty v řešeném objektu.

Uvažovaný elektrokotel Tronic Heat 3500 [P10] od firmy Bosch dokáže komunikovat s klasickými prostorovými termostaty nebo může být řízen i ekvitermní regulací. Kromě těchto dvou standardních typů řízení má elektrokotel možnost řízení pomocí tzv. adaptivní regulace.

5.1.5 Tepelné čerpadlo

Tepelná čerpadla jsou moderní zařízení pro vytápění a přípravu teplé vody, o které je stále rostoucí zájem. Dříve byla tepelná čerpadla těžko dosažitelná vzhledem k vysokým pořizovacím nákladům. Díky řadě dotačních programů, kde jsou tepelná čerpadla dotována nejštědřeji ze všech zdrojů tepla, se tepelná čerpadla stávají dostupným zdrojem tepla.

Tepelné čerpadlo je zařízení, které odjímá teplo z chladnějšího prostředí a předává ho do míst s vyšší teplotou. Aby to bylo fyzikálně možné, je potřeba vynaložení vnější práce, kterou v případě tepelného čerpadla koná kompresor. Nejběžnější tepelná čerpadla jsou země – voda a vzduch – voda.

Tepelná čerpadla země – voda využívají tepelnou energii z hlubinných vrtů nebo plošných zemních kolektorů. Díky téměř konstantní teplotě zeminy několik metrů pod povrchem, dokáže tepelné čerpadlo pracovat celoročně s relativně vysokým výkonem a dobrým topným faktorem. V okolí navrhovaného bytového domu je zastavěná plocha a není možné zde instalovat plošný zemní kolektor ani vyvrtat hlubinný vrt. Z tohoto hlediska je tepelné čerpadlo země – voda technicky nevhodné řešení.

Dalším typem tepelného čerpadla je vzduch – voda. Tento typ můžeme rozdělit do dvou základních skupin.

Splitové a kompaktní provedení. Splitové provedení se skládá z vnitřní a venkovní jednotky, které jsou propojeny potrubím s chladivem, to znamená, že má tepelné čerpadlo rozdělený chladivový okruh.

Druhým typem je kompaktní provedení, kde je celý chladivový okruh ve venkovní jednotce.

Instalace tepelného čerpadla vzduch – voda je jednodušší než země – voda. Stále je však potřeba prostor, kam umístit venkovní jednotku. V případě zadaného bytového domu (č. p. 592 a č. p. 593) tento prostor není k dispozici a nedoporučuje se ani instalace na obvodovou konstrukci z důvodu možnosti šíření hluku. Vzhledem k tomu a k neúměrným finančním nákladům s tímto zdrojem dále neuvažuji.

5.2 Pořizovací a provozní náklady

Pořizovací náklady v současnosti mají asi největší vliv na to, co a jak se bude realizovat. Vyhodnocení počáteční investice pro jednotlivé varianty, které jsem v rámci mé práce poravnával, je uvažováno v doporučených ceníkových cenách. Určitě by se jednotlivé varianty daly sehnat levněji přes montážní topenářské firmy, velkoobchody nebo na internetu, ale nemělo by to být dražší než ceníkové ceny. Ve vypracovaném ceníku také není zahrnuta montáž, uvedení do provozu a pravidelné revize. Cena těchto služeb se může velice lišit v závislosti na regionu. V jihočeském kraji stojí uvedení do provozu přibližně 1000 Kč, zatímco v Praze až 3000 Kč.

Varianty, se kterými jsem uvažoval při stanovení počáteční investice, jsou elektrokotle, plynové kondenzační kotle a kotle na tuhá paliva.

5.2.1 Plynové kondenzační kotle

U plynových kondenzačních kotlů jsem navrhl dvě varianty. Na cenu investice měla veliký vliv cena plynové přípojky. Firma Plynoinstalace s.r.o. vypracovala cenovou nabídku na přípojku plynu pro každou část bytového domu

samostatně. Zavedení plynu do objektu by vyšlo na cca 170 000 Kč bez DPH pro každou bytovou část.

První varianta je náhrada stávajích kotlů na tuhá paliva kondenzačními plynovými kotli Cerapur Compact ZSB 14-1 DE o výkonu 14 kW, vždy kus za kus. Jelikož je potřeba instalace více kotlů, prodražuje se počáteční investice. Další nezanedbatelnou finanční položkou je zřízení odpovídajícího odtahu spalin. Pro sedm kotlů v bytové části s č. p. 592 a čtyři v bytové části s č. p. 593 by se muselo zřídit odkouření pro každý kotel samostatně. Výhodou této varianty je, že každý nájemník má svůj vlastní plynoměr a tudíž má přehled o své spotřebě.

Druhou variantou je náhrada stávajících zdrojů za jeden plynový kondenzační kotel Cerapur Comfort ZSBR 28-3 E společný pro všechny byty v dané části bytového domu. Při provozu jednoho společného kondenzačního kotle, by byl využit plný potenciál kondenzačního kotle. Kotel by mohl pracovat v celém svém modulačním rozsahu a nehrozilo by jeho cyklování. Každý byt by byl vytápěn samostatnou otopnou větví. Všechny byty by tak měly možnost samostatné regulace a vyučtování nákladů za energie. Podle vyhlášky č. 269/2015 Sb., o rozúčtování nákladů na vytápění a společnou přípravu teplé vody pro dům se výdaje rozpočítávají následovně:

Náklady se rozdělí na základní a spotřební složku. Základní složka je 30 % celkových nákladů a je rozdělena mezi spotřebitele na základě užitné plochy jednotlivých bytů. Zbylých 70 % nákladů je rozděleno podle spotřeby tepla jednotlivých bytů. Rozdělení spotřební složky je dáno poměrem hodnot kalorimetrů, které se umisťují na každou otopnou větev. Rozdělení spotřební složky je možné dále vynásobit koeficientem, na kterém se shodnou členové bytového družstva nebo společenství vlastníků jednotek. Koeficient však bývá nejčastěji roven jedné.

5.2.2 Kotle na tuhá paliva

Výměna stávajích kotlů na tuhá paliva ETKA U 12 za nové zdroje s ručním přikládáním by se mohla jevit jako nejjednodušší varianta a to jak z technického, tak z finančního hlediska. 12 kW kotel DOR F [P11], který by přicházel v úvahu

pro výměnu za stávající zdroje, stojí v ceníkové ceně okolo 30 000,- Kč. Vhodnější by byl kotel s nižším výkonem než 12 kW, ale takové kotle se nevyrábějí. Kotle s ručním přikládáním je ale možné používat pouze s akumulační nádrží. Potřebná akumulační nádrž k 12 kW kotli má objem 750 l. Takováto nádrž vychází na 15 000,- Kč. Jde o další nezanedbatelnou položku v rozpočtu a to vzhledem k tomu, že je potřeba pro bytovou část č. p. 592 sedm akumulačních nádrží a pro bytovou část č. p. 593 čtyři tyto nádrže.

Odkouření zde také hraje významnou roli, neboť stávají komín je potřeba vyvložkovat. Dnes se komíny u rekonstrukcí vložkují nerezovými vložkami, které jsou značně drahé. Jeden metr nerezové vložky vyjde přibližně na 450 Kč. Výška komínu je patnáct metrů. Komín je potřeba vyvložkovat pro každý zdroj tepla.

Cena kotle na tuhá paliva společně s akumulační nádrží se liší o cca 5 000,- Kč od ceny automatického kotle. Kvůli nedostatečnému prostoru v technickém podlaží není možné automatický kotel instalovat pro každý byt samostaně. Je ale vhodné a možné využít jeden automatický kotel pro dva až tři byty, které jsou nad sebou. Při takovém řešení by nebylo potřeba vložkovat všechny komíny, ale pouze dva až tři.

Akumulační nádrž k automatickým kotlům také není potřeba. Na rozdíl od kotlů s ručním přikládáním, lze automatické kotle osadit vhodnou regulací. Ta dokáže regulovat výkon kotle v rozsahu 100 % – 30 % a díky tomu šetřit provozní náklady. Uvažované automatické kotle DOR N automat [P12], o výkonu 15 kW jsou na hnědé uhlí (ořech 2) nebo dřevní pelety. Nároky na používání předepsaného palivo jsou u automatických kotlů vysoké. Díky předepsanému typu paliva je zaručeno, že se palivo nebude zasekávat v podavači, a že kotel bude pracovat v předepsaných podmínkách. Kotel DOR N automat je kotel, který dokáže spalovat jak hnědé uhlí, tak pelety. Pro správnou funkci hořáku je na regulaci kotle potřeba nastavit typ paliva. Možnost volby paliva může být v současné době, kdy se neustále mění ceny paliva, výhodou.

5.2.3 Elektrokotle

Elektrokotle se v minulosti hojně používaly. Avšak z důvodu vysoké ceny elektrické energie se od nich začalo odstupovat. V současné době jejich obliba opět stoupá. Je to dáno několika faktory. Nejnižší pořizovací cena ze všech uvedených zdrojů je jedním z těchto faktorů. K elektrokotli je pro domácnost zajištěn výhodnější tarif elektrické energie. V současné době platí pro elektrokotel stejné tarifní podmínky jako pro tepelné čerpadlo. Například v Rakousku mají domácnosti oddělené tarify. Jeden tarif na vytápění a přípravu teplé vody a druhý tarif na spotřebu elektrické energie v domácnosti.

V České republice je to jinak. Zde je vždy jeden společný tarif pro veškerou spotřebu. Díky elektrokotli dostane majitel výhodnější tarif pro celou domácnost. To znamená, že se vaří, pere, žehlí atd. za zvýhodněnou cenu, což přináší finanční úsporu pro chod celé domácnosti.

Regulace výkonu je zajištěna spínáním jednotlivých topných tyčí. Uvažovaný elektrokotel Tronic Heat 3500 - 4 má topné tyče o výkonu 1,3 kW. Spínání jednotlivých topných tyčí je prostřídáváno podle daného algoritnu, tak aby docházelo k rovnoměrnému zatížení a tím se prodloužila jejich životnost. Díky široké škále výkonů dané počtem topných tyčí je dosahováno optimálního výkonu. Na základě této optimalizace je minimalizována spotřeba elektrické energie.

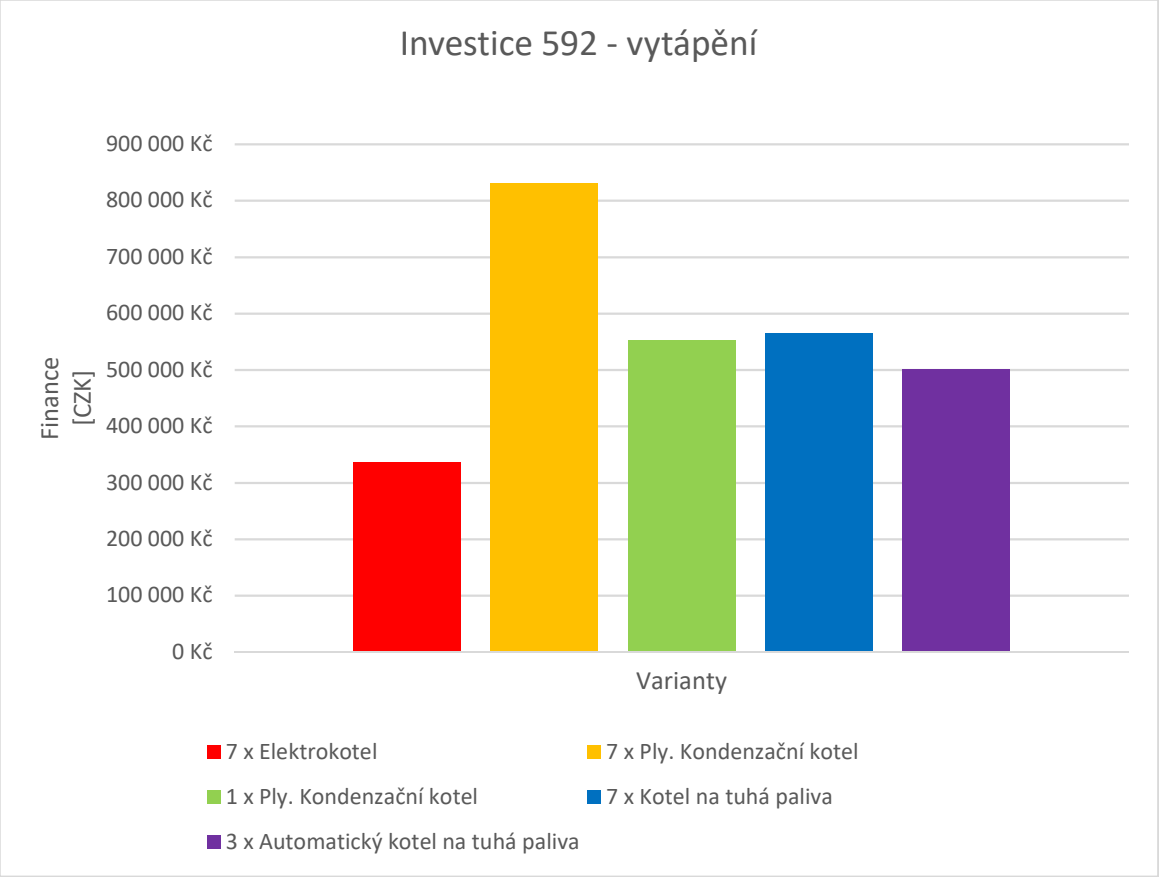
5.2.4 Vyhodnocení investičních a provozních nákladů na vytápění

Pro každou bytovou část jsem vypracoval ceník jednotlivých variant popsaných v kapitole 5.2.

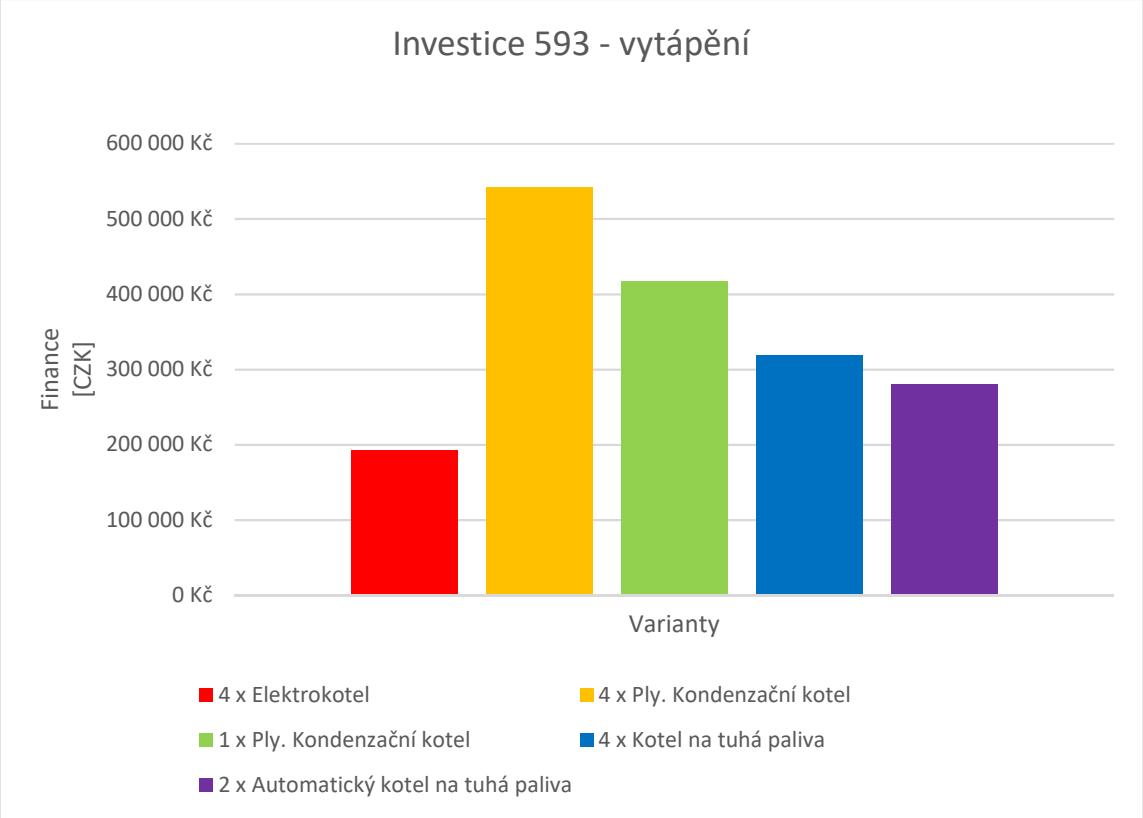
V bytové části s č. p. 592 dle počáteční investice vyšla nejvýhodněji varianta s elektrokotli. Druhá nejvýhodnější varianta je s automatickými kotli, dále je následována jedním společným kondenzačním kotlem a náhradou za kotle na tuhá paliva s ručním přikládáním. Nejdráže vyšla výměna stávajích zdrojů tepla za kondenzační kotel vždy pro každý byt zvlášť.

Pro bytovou část s č. p. 593 vyšla nejdražší a nejlevnější varianta stejně jako u bytové části č. p. 592. Druhá nejdražší varianta je jeden společný kondenzační kotel, což se oproti bytové části č. p. 592 liší. Rozdíl je dán nižším počtem zdrojů pro jednotlivé byty než u bytové části č. p. 592.

Jednotlivé varianty jsem zobrazil v grafu Obr. 5.1 a Obr. 5.2. Položkový rozpočet všech variant pro bytovou část č. p. 592 je v příloze [P13]. Položkový rozpočet pro bytovou část č. p. 593 je v příloze [P14]. V rozpočtu není uveden automatický kotel na pelety, protože kotel je totožný s kotlem na uhlí a tudíž i rozpočet je identický.



Obr 5.1 Výše investice pro jednotlivé varianty pro bytovou část č. p. 592



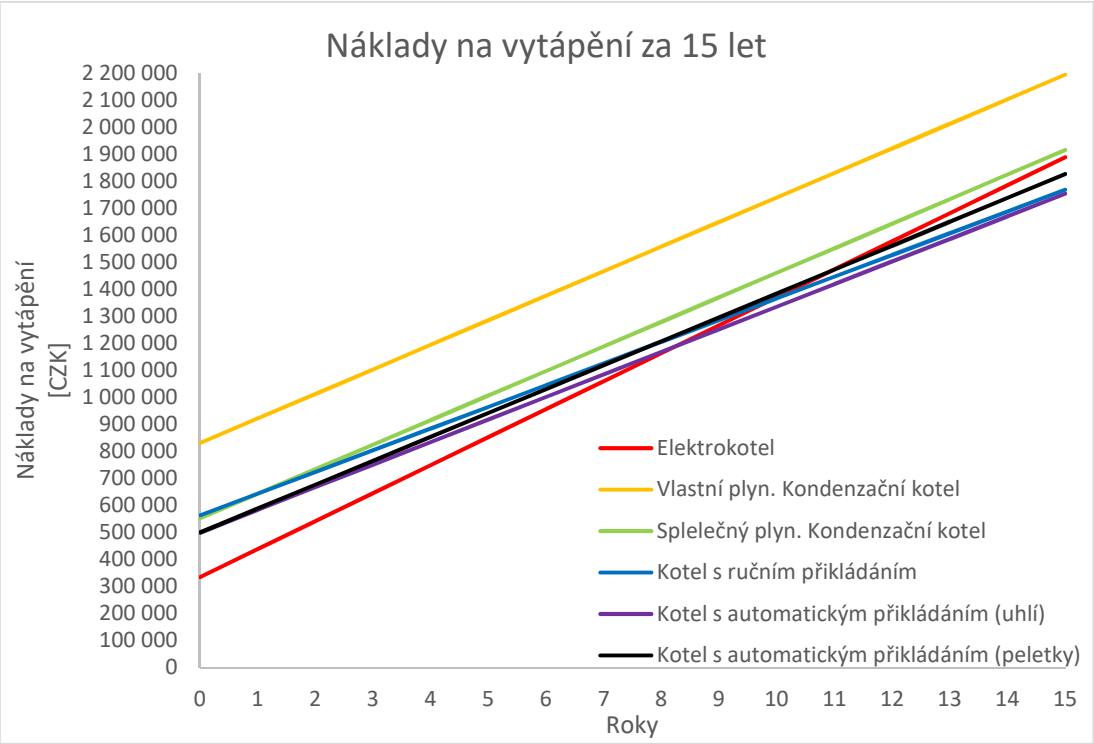
Obr 5.2 Výše investice pro jednotlivé varianty pro bytovou část č. p. 593

Provozní náklady jsem stanovil pro následujících patnáct let provozu. Přestože záruka na zdroje tepla jsou standardně dva roky podle zákona nebo pět let v případě prodloužené záruky, uvažoval jsem s dobou provozu patnáct let. Může se stát, že kotel má výrobní vadu, která by se měla vždy projevit během prvních dvou let provozu. Pokud kotel však výrobní vadu nemá a je užíván podle výrobcem předepsaných podmínek, je optimální (praxí ověřená) doba provozu patnáct let.

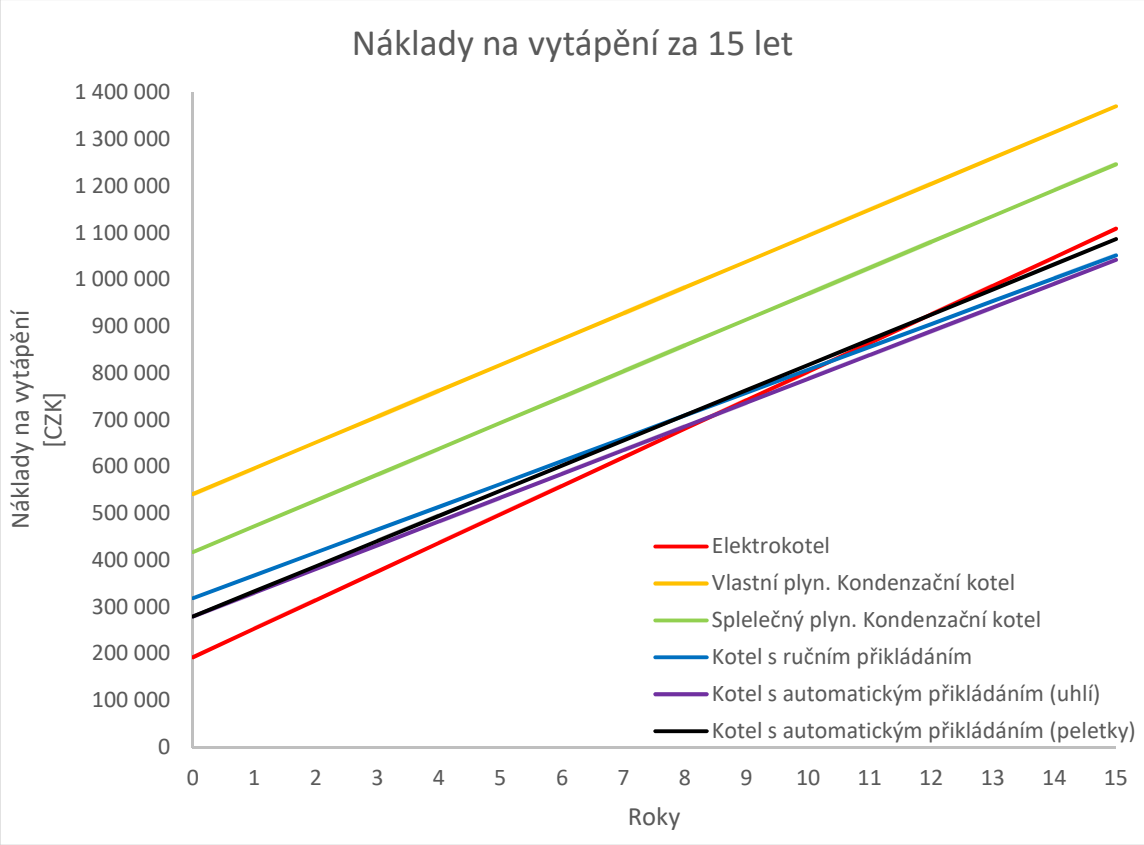
Množství jednotlivých paliv se udává vždy v různých jednotkách. Uhlí nebo pelety jsou kg, plyn v m^3, elektřina v kWh. Abych mohl provozní náklady porovnat, potřeboval jsem jednu jednotku pro všechny typy paliva. Na webových stánkách www.cenyenergie.cz [10] jsem našel tabulku, kde byla cena za 1 kWh pro jednotlivé typy paliva. Cenu uhlí, která byla 0,85,- Kč na 1 kWh, jsem použil pro kotel s ručním přikládáním. Pro automatický kotel na uhlí jsem zvolil hodnotu 1,- Kč na 1 kWh, z důvodu předepsaného paliva, tím je hnědé uhlí - ořech 2, které je dražší.

Potřebu tepla na vytápění jsem spočítal denostupňovou metodou. Podrobný výpočet denostupňové metody je popsán v kapitole 5.2.5. Denostupňovou metodou jsem vypočítal teoretickou potřebu tepla pro vytápění Q_d [J·otop.období$^{-1}$] jednotlivých částí bytového domu na základě jejich tepelných ztrát a lokality, pro kterou je dána venkovní oblastní výpočtová teplota t_e = - 15 °C a t_{es} = 3,5 °C průměrná venkovní teplota za otopné období. Na základě teoretické potřeby tepla pro vytápění jsem vypočítal skutečnou potřebu tepla pro vytápění $Q_{d,sk}$ [J·otop.období$^{-1}$] pro navržené zdroje tepla. Rozdíl je dán účinnostmi jednotlivých zdrojů η_K, regulací η_O a rozvodů η_R. Skutečnou potřebu tepla na vytápění $Q_{d,sk}$ jsem převedl z J na kWh.

Výpočet nákladů na vytápění v excelu je v příloze [P15] pro č. p. 592 a v příloze [P16] pro č. p. 593. Vynásobením Skutečné potřeby tepla na vytápění cenou za 1 kWh jsem spočítal provozní náklady na vytápění za otopné období. V roce nula jsem počítal pouze s pořizovacími náklady a každý další rok jsem připočítal cenu za skutečnou potřebu tepla. Provozní náklady jsem zobrazil v grafech Obr 5.3 pro č. p. 592 a Obr 5.4 pro č. p. 593.



Obr 5.3 Náklady na vytápění za 15 let pro č. p. 592



Obr 5.4 Náklady na vytápění za 15 let pro č. p. 593

5.2.5 Potřeba tepla na vytápění

Teoretická potřeba tepla na vytápění

$$Q_d = 3600.24.Q_c.\frac{d.(t_i - t_{es})}{(t_i - t_e)}.e_d.e_t.e_i \qquad (5.1)$$

d Délka otopného období……..……..……..[den]

t_i Vnitřní výpočtová teplota……...…….[°C]

t_e Venkovní oblastní výpočtová teplota…….…….[°C]

t_{es} Průměrná venkovní teplota za otopné období……...….[°C]

e_d Opravný součinitel na zkrácení doby provozu……..….[-]

e_i Opravný součinitel na nesoučasnost tepelných ztrát…….….[-]

e_t Opravný součinitel na snížení teploty……...…….[-]

Q_c Tepelná ztráta budovy…….…….[W]

Q_d Teoretická potřeba tepla na vytápění……...…….[GJ.otop.období$^{-1}$]

Vypočítaná teoretická potřeba tepla podle vztahu (5.1) bude dosazena do vztahu pro výpočet skutečné potřeby tepla $Q_{d,sk}$ [GJ.otop.období$^{-1}$].

Skutečná potřeba tepla na vytápění

$$Q_{d,sk} = \frac{Q_d}{\eta_K \cdot \eta_R \cdot \eta_O} \tag{5.2}$$

Q_d Teoretická potřeba tepla na vytápění……...….[GJ.otop.období$^{-1}$]

η_K Účinost kotle…….……[-]

η_R Účinost rozvodů…….……[-]

η_O Účinost obsluhy…….……[-]

$Q_{d,sk}$ Skutečná potřeba tepla na vytápění…….[GJ. otop.období$^{-1}$]

V tabulce Tab 5.1 jsou zobrazeny vypočítané hodnoty teoretické a skutečné potřeby tepla na vytápění pro bytovou část č. p. 592 a v tabulce 5.2 jsou zobrazeny hodnoty pro bytovou část č. p. 593.

Tab 5.1 Potřeba tepla na vytápění pro bytovou část č. p. 592

Skutečná potřeba tepla na vytápění pro č.p. 592							
		Elektrokotel	Vlastní plyn. Kondenzační kotel	Spleléčný plyn. Kondenzační kotel	Kotel s ručním přikládáním	Kotel s automatickým přikládáním (uhlí)	Kotel s automatickým přikládáním (peletky)
$Q_{d,sk}$	MJ·otop.období$^{-1}$	207 090	225 498	225 498	340 036	300 664	250 553
$Q_{d,sk}$	kWh·otop.období$^{-1}$	57525	62638	62638	94454	83518	69598

Tab 5.2 Potřeba tepla na vytápění pro bytovou část č. p. 593

Skutečná potřeba tepla na vytápění pro č.p. 592							
		Elektrokotel	Vlastní plyn. Kondenzační kotel	Spleléčný plyn. Kondenzační kotel	Kotel s ručním přikládáním	Kotel s automatickým přikládáním (uhlí)	Kotel s automatickým přikládáním (peletky)
$Q_{d,sk}$	MJ·otop.období$^{-1}$	122 140	137 196	137 196	206 884	182 929	152 440
$Q_{d,sk}$	kWh·otop.období$^{-1}$	33928	38110	38110	57468	50813	42345

5.3 Výběr optimální varianty

Při výběru optimální varianty zdroje tepla na vytápění jsem nevycházel pouze z investičích nákladů, ale také z předpokládaných provozních nákladů, technické vhodnosti a komfortu obsluhy.

5.3.1 Obytná část s č. p. 592

Otopnou soustavu v bytové části s č. p. 592 jsem navrhl kompletně novou. Původní protiproudá vertikální soustava, kde na jedno stoupací potrubí připadají vždy maximálně dvě otopná tělesa a hlavní ležaté potrubí je v technickém podlaží, není ideální. Současné potrubí není izolované, tudíž dochází k velkým tepelným ztrátám.

V této bytové části jsem jako optimální variantu zvolil jeden kondenzační kotel Cerapur Comfort ZSBR 28-3 E [P17] o výkonu 28 kW, který bude vytápět všechny bytové jednotky a připravovat teplou vodu pomocí nepřímo ořívaného zásobníku SK 500-5 ZB [P18] o objemu 0,5 m^3. Pro tuto variantu jsem navrhl i celou otopnou soustavu.

Elektrokotle nebo kotle na tuhá paliva sice vyšly z investičních a provozních nákladů lépe, ale pro jeden kondenzační kotel jsem se rozhodl z několika důvodů. Nejlépe, podle investičních nákladů, vyšly elektrokotle, ale pro navrženou otopnou soustavu se nehodí. Nejlépe vyšly celkové náklady na vytápění pro kotle na tuhá paliva. Kotle s ručním přikládáním jsem nezvolil, protože je potřeba přidat akumulační nádrž a v technické místnosti není dostatek místa. Hlavním důvodem proč jsem kotle na tuhá paliva nezvolil byl však komfort. Nikoliv tepelný komfort, ale komfort nutnosti obsluhy. U kotlů s ručním přikládáním je potřeba i několikrát denně jít doplnit palivo. Ve vícepodlažním domě, kde žijí obyvatelé všech věkových kategorií není žádoucí, aby museli vždy sejít dolů do technické místnosti doplnit palivo a jít zpět. U automatických kotlů na tuhá paliva není potřeba doplňovat palivo několikrát denně. Doplňování paliva je zajištěno ze zásobníku pomocí šnekového dopravníku. Přesto je potřeba přibližně jednou týdně zásobník doplnit. A pravidelně vynášet popel. Kondenzační plynový kotel v tomto směru zajišťuje vysoký komfort. Ekvitermní regulátor FW 500 [P19] řídí výkon kotle.

Jednotlivé byty budou osazeny prostorovým regulátorem FR 120 [P20], který slouží i jako dálkové ovládání pro FW 500 Tím pádem budou mít obyvatelé zajištěn maximální požadovaný komfort.

Při výpočtu provozních nákladů nebyla zahrnuta doprava paliva do objektu, revize komína a povinné revize kotlů na tuhá paliva. Tyto položky nejsou zanedbatelné. V případě více zdrojů se tyto náklady dále násobí. Pokud bych ještě připočítal cenu lidské práce (skládání a doplňování paliva), tak by se provozní náklady na vytápění pro kotle na tuhá paliva dostaly na cenu provozních nákladů kondenzačního kotle.

U investičních nákladů plynového kondenzačního kotle jsem počítal s navrhovanou cenou pro připojení plynu. Připojení plynu většinou poté odkoupí dodavatel plynu, takže je možné, že by tato hodnota investiční náklady dále snížila.

Na základě faktorů popsaných v této kapitole jsem vyhodnotil jako optimální řešení použití jednoho plynového kondenzačního kotle Cerapur Comfort ZSBR 28-3 E o výkonu 28 kW. Kotel bude hydraulicky oddělen od otopné soustavy díky termohydraulickému rozdělovači HW 25 [P21]. Každý byt bude vytápěn vlastní otopnou větví.

5.3.2 Obytná část s č. p. 593

U obytné části s č. p. 593 je původní protiproudá horizontální otopná soustava. V každé bytové jednotce jsou rozvody vedeny v podlaze. Stávající rozvody je možné využít a tím snížit celkové náklady na rekonstrukci.

S možností využití rozvodného potrubí v bytech jsem jako optimální variantu navrhl elektrokotle Tronic Heat 3500. Elektrokotel o výkonu 4 kW bude osazen v každém bytě.

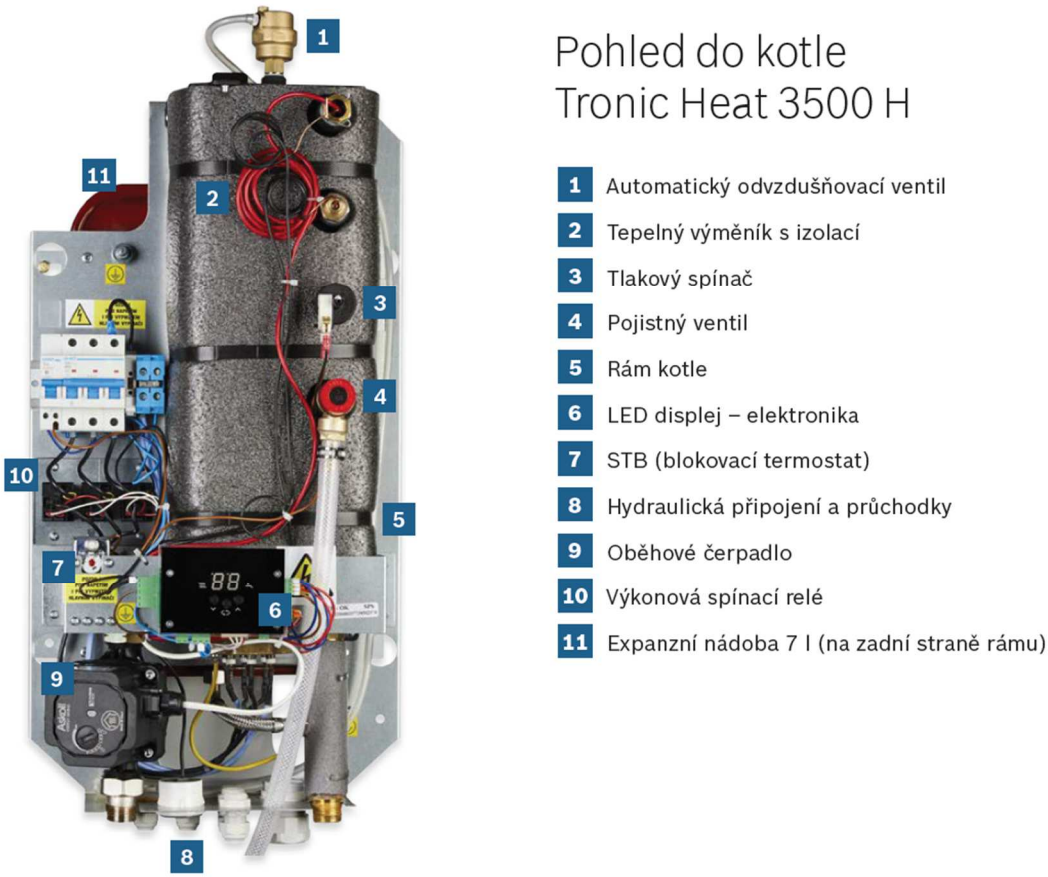
Výměna stávajích zdrojů tepla za nové kotle na tuhá paliva by vyšla v rámci počáteční investice dráž, ale v horizontu deseti let se náklady srovnají a poté vycházejí kotle na tuhá paliva lépe. Nezvolil jsem je jako optimální variantu kvůli komfortu a dalším faktorům popsaným v kapitole 5.3.1.

Plynový kondenzační kotel, ať jeden společný nebo více kotlů, jsem nevolil z hlediska vysokých nákladů. Jelikož v budově není zaveden plyn, muselo by se zřídit jeho připojení. Připojení plynu se v případě bytového části č. p. 592 vyplatí, jelikož se cena rozpočítá mezi více účastníků. Připojení plynu pro bytovou část č. p. 593 je velkým finančním zatížením.

Plynový kotel v bytové části č. p. 593 by se vyplatil v případě instalace samostatných zdrojů tepla přímo v bytové jednotce, kde by kromě vytápění zajišťovaly i přípravu teplé vody. Takové řešení by však bylo velmi obtížně řešitelné vzhledem k problematickému vedení plynu a řešení odtahu spalin.

Elektrokotel Tronic Heat 3500 o výkonu 4 kW bude umístěn v každé bytové jednotce na toaletě, kde bude možné bezproblémové napojení na stávající rozvodné potrubí. Kotel o výkonu 4 kW jsem zvolil tak, aby pokrýval tepelnou ztrátu bytové jednotky a aby měl co možná nejširší rozsah výkonu. V kotli jsou tři topné tyče o výkonu 1,3 kW. Díky tomu dokáže kotel modulovat svůj výkon i v přechodném období. Tepelná ztrátá bytové jednotky je počítána pro jmenovité hodnoty uváděné normou. Jmenovitých výpočtových hodnot je během otopné sezóny dosahováno výjimečně, proto reálná tepelná ztráta bude po většinu otopného období nižší.

Výhodou elektrokotle je široká možnost použití regulace. Kotel může být řízen prostorovým regulátorem nebo ekvitermním. Novinkou je tzv adaptivní regulace, kdy se kotel „přizpůsobuje“ domácnosti. Nemusí se zde řešit žádné odkouření a ani revize a díky tomu, že je velice tichý, tak je možná bezproblémová instalace v obytném prostoru.



Obr 5.5 Elektrokotel Tronic Heat 3500 [9]

6 NÁVRH NOVÉ OTOPNÉ SOUSTAVY

V bytové části č.p. 593 jsem využil části stávajících rozvodů. V každém bytě bude osazen elektrokotel. Jeho umístění jsem navrhl na toaletu, která je situována uprostřed bytu, kde za stěnou, na které bude kotel zavěšen je šachta. V té šachtě vede stávající stoupací potrubí. Stoupací potrubí se zaslepí a elektrokotel se napojí na bytový rozvod. V bytech jsou původní článková otopná tělesa, která jsou předimenzovaná. Pro jejich nadbytečný výkon a hranici životnosti jsem navrhl nová desková otopná tělesa. Následně jsem soustavu hydraulicky vyvážil pomocí termostatických ventilů a regulačních šroubení. Postup návrhu otopných těles a hydraulického vyvážení otopné soustavy jsou popsány v kapitolách 6.1, 6.2 a 6.3.

Stávající otopná soustava v bytové části č.p. 592 byla nevyhovující a kvůli optimálnímu návrhu nové otopné soustavy nebylo možné její využitítí. Proto jsem

po vyhodnocení optimálního zdroje tepla navrhl novou otopnou soustavu. Navrhl jsem soustavu pro vytápění jedním plynovým kondenzačním kotlem. Stejně jako u bytové části č. p. 593 jsem navrhl nová desková otopná tělesa, která jsem se pokusil následně hydraulicky vyvážit. Hydraulicky nejvzdálenější těleso ze všech (celé bytové části č. p. 592) jsem osadil plně otevřenými regulačními armaturami a následně jsem vyvážil pomocí regulačních armatur navržená otopná tělesa ve stejné otopné větvi. Problém nastal, když jsem chtěl vyvážit ostatní otopné větve. Tlakový rozdíl, mezi jednotlivý větvemi nebylo možné doškrtit pouze regulačními armaturami. Pro správné vyvážení otopné soustavy jsem na každou otopnou větev navrhl vyvažovací ventil. Na vyvažovacím ventilu jsem doškrtil veliký tlakový rozdíl oproti hydraulicky nejvzdálenějšímu otopnému tělesu. Zbylý rozdíl tlaků jsem doškrtil pomocí regulačníc šroubení a termostatických ventilů. Návrh vyvažovacího ventlu jsem popsal v kapitole 6.2.

6.1 Návrh otopného tělesa

V celé budově jsou původně osazena článková otopná tělesa. Navrhl jsem jejich výměnu. Důvodem výměny je předimenzování článkových otopných těles na nově navrženou otopnou soustavu. Kromě předimenzování jsem vzal v úvahu i fakt, že jsou v provozu přibližně třicet let a v nejbližších letech by pravděpodobně výměna byla nutná.

Všechna otopná tělasa jsem navrhl podle návrhu zohledňujícího v plné míře tepelnou pohodu uživatele.

Postup návrhu zohledňujícího tepelnou pohodu uživatele se uvádí ve třech základních bodech [3, str. 139].

A. Délka otopného tělesa je stejná jako délka okna, nebo větší

$$L_{OT} \geq L_{OK} \tag{6.1}$$

B. Součin průmětné čelní plochy (výšky) tělesa a rozdílu mezi střední teplotou otopného tělesa a vnitřního vzduchu se musí nejméně

rovnat součinu plochy (výšky) okna s rozdílem teploty vnitřního vzduchu a teploty povrchu okna.

$$L_{OT}.H_{OT}.(t_{OT} - t_i) \geq L_{OK}.H_{OK}.(t_i - t_{OK}) \tag{6.2}$$

V případě rovnosti délky okna a otopného tělesa se vztah zjednoduší na

$$H_{OT}.(t_{OT} - t_i) \geq H_{OK}.(t_i - t_{OK}) \tag{6.3}$$

Z této rovnice vyjádříme střední teplotu otopného tělesa

$$t_{OT} \geq t_i.\left(1 + \frac{H_{OK}}{H_{OT}}\right) - t_{OK}.\frac{H_{OK}}{H_{OT}} \tag{6.4}$$

Jedinou neznámou je povrchová teplota okna. Tu určíme z rovnosti prostupu a přestupu tepla na vnitřní straně okna.

$$t_{OK} = t_i.\left(1 - \frac{U_{OK}}{\alpha_{i,OK}}\right) + t_e.\frac{U_{ok}}{\alpha_{i,OK}} \tag{6.5}$$

Po dosazení teploty okna do vztahu pro výpočet teploty otopného tělesa dostáváme teplotu, podle které volíme teplotní spád soustavy.

C. Tepelný výkon otopného tělesa musí být alespoň roven tepelné ztrátě místnosti.

$$Q_{OT} \geq Q_c \tag{6.6}$$

U_{ok} Součinitel prostupu tepla okna..……..….[W.m^{-2}.K^{-1}]

L_{ok} Délka okna……...…….[m]

H_{ok} Výška okna……..…….[m]

L_{ot} Délka otopného tělesa……..….[m]

H_{ot} Výška otopného tělesa…….…….[m]

t_{ok} Povrchová teplota okna…...……...….[°C]

t_{ot} Povrchová teplota otopného tělesa...……..…….[°C]

Q_m Tepelná ztráta místnosti……..….[W]

Q_{OT} Jmenovitý výkon otopného tělesa……...….[W]

t_i Vnitřní výpočtová teplota……...…….[°C]

t_e Venkovní oblastní výpočtová teplota…….…….[°C]

Zvolený teplotní spád soustavy jsem zvolil podle výpočítané teploty otopného tělesa. Podle teploty t_{OT}, která přibližně odpovídá teplotě vratné vody, volím teplotní spád 60/45 °C. Všechna otopná tělesa mají stejnou výšku 600 mm, a to z estetického důvodu. Požadovaný výkon otopného tělesa jsem dosahoval tzv. hloubky otopného tělesa.

6.1.1 Přepočet výkonu otopných těles

Pro vhodný výběr nového otopného tělesa z katalogu výrobků jsem přepočítal výkon otopných těles. Přepočítaný tepelný výkon je pro jmenovité teplotní podmínky 75/65/20 °C.

Přepočet otopného tělesa závisí na teplotním podílu c. [3]

$$c = \frac{t_{w2} - t_D}{t_{w1} - t_D} \tag{6.7}$$

t_D Teplota vzduchu…….....….[°C]

t_{w1} Teplota vstupní vody do otopného tělesa……....[°C]

t_{w2} Teplota výstupní vody z otopného tělesa……...….[°C]

c Teplotní podílový součinitel……..….[-]

Při teplotním spádu 60/45 °C, který jsem zvolil, vyšel teplotní podílový součinitel $c < 0{,}7$, proto jsem určil rozdíl teplot Δt a rozdíl jmenovitých teplot Δt_N logaritmicky. Pokud by teplotní podílový součinitel vyšel $c > 0{,}7$, tak by se rozdíl teplot počítal aritmeticky.

$$\Delta t = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{ln\frac{t_{w1} - t_D}{t_{w2} - t_D}} \tag{6.8}$$

$$\Delta t_N = \frac{t_{w1,N} - t_{w2,N}}{ln\frac{t_{w1,N} - t_D}{t_{w2,N} - t_D}} \tag{6.9}$$

$t_{w1,N}$ Jmenovitá teplota vstupní vody do otopného tělesa……..…….[°C]

$t_{w2,N}$ Jmenovitá teplota výstupní vody z otopného tělesa……..…….[°C]

Pro výpočet je nutná znalost teplotního exponentu, který udává výrobce deskových otopných těles *n* [-] a opravný součinitel na teplotní rozdíl $\varphi_{\Delta t}$.

$$\varphi_{\Delta t} = \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_N}\right)^n \tag{6.10}$$

Nakonec jsem přepočítal tepelný výkon otopného tělesa, který je roven tepelné ztrátě místnosti, na tepelný výkon při jmenovitých podmínkách.

$$Q_n = \frac{Q_c}{\varphi_{\Delta t}} \tag{6.11}$$

Kromě opravného součinitele na teplotní rozdíl $\varphi_{\Delta t}$ jsem neuvažoval s žádným dalším opravným součinitelem.

Podle vypočítaného jmenovitého výkonu, výšky tělesa a požadované délky, jsem vybíral z katalogu desková otopná tělesa potřebné hloubky. V koupenách jsem navrhl trubková otopná tělesa. Výpočet a zvolené typy otopných těles jsou součástí přílohy [P22]. Nominální hodnoty výkonu otopných těles jsou z katalogu Korado [11]. V tabulce 6.1 uvádím příklad návrhu otopných těles pro byt č 1.

Tab. 6.1 Tabulka pro výpočet a návrh otopných těles

		592					
		1NP					
		Byt č1					
		101 - Ložnice	102 - Pokoj	103 - Pokoj	104 - Obývací pokoj	105 - Kuchyně	107 - Koupelna
L_{OK}	m	1,2	1,2	1,2	2,1	0,9	
L_{OT}	m	1,2	1,2	1,2	2	0,9	
H_{OK}	m	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
H_{OT}	m	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
$L_{OT} \geq L_{OK}$		Splněno	Splněno	Splněno	Nesplněno	Splněno	
k_{OK}	$W.m^{-2}.k^{-1}$	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
$\alpha_{i,OK}$		8	8	8	8	8	8
t_{OK}	°C	13,875	13,875	13,875	13,875	13,875	13,875
T_{OT}	°C	36,3	36,3	36,3	36,3	36,3	36,3
Q_c	W	**735**	**385**	**461**	**900**	**583**	**632**
$\varphi_{\Delta tN,In}$		0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
Q_n	W	1311	687	822	1607	1041	1128
TYP OT		21VK - 600x1200	10VK- 600X1200	20VK- 600X1200	20VK- 600X2000	21VK- 600X900	KORALUX 750X1500
Katalogový výkon	W	1546	725	1174	1956	1159	1131
Q_{OT}	W	**866**	**406**	**658**	**1096**	**649**	**634**
$Q_{OT} \geq Q_c$		**Splněno**	**Splněno**	**Splněno**	**Splněno**	**Splněno**	**Splněno**

6.2 Tlakové ztráty otopné soustavy

Celou navrženou otopnou soustavu jsem rozdělil na jednotlivé úseky. Úsekem otopné soustavy je označena část, která má konstantní hmotnostní průtok a následně tudíž i průměr. Výpočet celkové tlakové ztráty je popsán vztahem

$$\Delta p_{celk} = R.l + Z \tag{6.12}$$

l Délka potrubí……...….[m]

R Měrná tlaková ztráta……..[Pa.m^{-1}]

Z Tlaková ztráta místními odpory…….…….[Pa]

V bytové části č. p. 592, kde nebylo možné využít stávajících rozvodů a kde jsem navrhl celou novou otopnou soustavu, jsem rozvody navrhl z mědi. Měď není nejlevnější materiál, který se pro rozvody vytápění používá, ale manipulace s ní je poměrně jednoduchá.

Jelikož se jedná o nízkoteplotní otopnou soustavu a rozvody nejsou z plastového potrubí, neuvažoval jsem s délkovou teplotní roztažností. Měrnou tlakovou ztrátu R [Pa.m^{-1}] jednotlivých úseků jsem nepočítal, ale hodnoty jsem odečetl z tabulky pro měděné potrubí [P23]. Abych mohl odečíst správnou hodnotu měrné tlakové ztráty R [Pa.m^{-1}], vypočítal jsem nejprve hmotnostní průtok m [kg.h^{-1}] a rychlost teplonosné látky w [m.s^{-1}] v jednotlivých úsecích.

$$m = \frac{Q}{c_{vody}.\delta_t} \tag{6.13}$$

$$w = \frac{m}{\rho.\frac{\pi.d^2}{4}} \tag{6.14}$$

c Měrná tepelná kapacita vody ……..……...……,,,….[J.kg^{-1}.K^{-1}]

δ_t Teplotní rozdíl teplonosné látky….……..……...….[K]

d Vnitřní průměr potrubí……..[m]

Rychlost teplonosné látky pro dvoutrubkovou otopnou soustavu w [m.s^{-1}] v potrubí by neměla přesáhnout 0,6 m.s^{-1}, aby v soustavě nevznikaly nepříznivé hlukové projevy.

Vynásobením měrné tlakové ztráty R [Pa.m^{-1}] délkou úseku l [m] jsem vypočítal tlakovou ztrátu třením v daném úseku.

Kromě tlakové ztráty třením vznikají v potrubí rovněž tlakové ztráty místnímy odpory. Místní odpory jsou části otopné soustavy jako jsou kolena, T-kusy, uzavírací armatury apod. které jsou určeny vztahem (6.15) [4].

$$Z = \sum_{i=1}^{n} \xi.\frac{w^2}{2}.\rho \tag{6.15}$$

w Rychlost proudění vody v potrubí……...…….[m.s^{-1}]

ξ Součinitel místních ztrát……...…….….[-]

Z Tlaková ztráta místními odpory…….…….[Pa]

ρ_w Hustota vody……..…..…….….[kg.m^{-3}]

Tabulka uvádějící celkové tlakové ztráty jednotlivých úseků je součástí přílohy [P24]. Hydraulicky nejvzdálenější otopné těleso vyšlo v bytě č. 2 v 1. NP v pokoji č. 121. Tlaková ztráta hlavní otopné větve je 13 580 Pa.

V bytové části č. p. 593 jsem využil stávající ocelové potrubí. Postup výpočtu je stejný pro měděné i ocelové potrubí, pouze hodnoty měrné tlakové ztráty R [Pa.m^{-1}] jsem odečetl z tabulky pro ocelové potrubí [P25]. Tabulka uvádějící celkové tlakové ztráty jednotlivých úseků je součástí přílohy [P26].

6.3 Hydraulické vyvážení otopné soustavy

Pro správné fungování otopné soustavy je hydraulické vyvážení nezbytné. Zajistí se tím rovnoměrné zásobování jednotlivých otopných těles teplonosnou látkou a tím i jejich požadovaný výkon. Pokud otopná soustava není správně hydraulicky vyvážena, může dojít k nedostatečnému zásobení otopných těles teplonosnou látkou a tím k nežádoucímu snížení jejich požadovaného výkonu. Soustavu jsem hydraulicky vyvážil pomocí regulačních prvků. Okruh je regulován pomocí termostatických regulačních ventilů (TRV) a regulačních šroubení (RŠ) IVAR [13].

Výpočtem jsem stanovil hydraulicky nejvzdálenější těleso otopné soustavy. Toto těleso se osadí regulačními armaturami, které se nechají plně otevřené. Plné otevření zajistí maximální průtok daným otopným tělesem. Hydraulicky nejvzdálenější těleso by nemuselo být osazeno regulačními armaturami, protože se nechávají plně otevřené. Navíc i plně otevřené regulační armatury mají určitý hydraulický odpor a zvyšují celkovou tlakou ztrátu hlavní větve. Navrhl jsem tělesa jimi osadit z čistě praktických důvodů. Umožní to, v případě výměny nebo opravy, těleso oddělit bez přidání neestetických uzavíracích armatur.

Tlaková ztráta hydraulicky nejvzdálenějšího otopného tělesa, ztráty na regulačních armaturách (TRV, RŠ) a tlaková ztráta potrubní sítě dohromady dávají celkovou tlakovou ztrátu hydraulicky nejvzdálenější větve.

Zbývající otopná tělesa je třeba doškrtit vhodným nastavením termoregulačního ventilu (TRV) a regulačního šroubení (RŠ) na hodnotu tlakové ztráty, co možná nejbližší celkové tlakové ztrátě hydraulicky nejvzdálenější větve.

6.3.1 Hydraulické vyvážení otopné soustavy u bytové části č. p. 592

Soustava, kterou jsem navrhl v bytové části č. p. 592 je pro hydraulické vyvážení komplikovaná. Tlaková ztráta hlavní otopné větve je 13 580 Pa. Tlakový rozdíl mezi jednotlivými větvemi bylo možné doškrtit pouze regulačními armaturami. V takovém případě bylo potřeba použít nastavaní 1 u regulačních armatur. Nastavení 1 sice regulační armatury umožňují, ale pro praxi je toto nastavení nevhodné. Při tomto nastavení je průtočný průřez velmi malý a mohlo by docházet k jeho ucpání kvůli nečistotám v soustavě. U TRV se navíc potlačí jeho pracovní rozsah.

Proto jsem, pro správné vyvážení otopné soustavy, navrhl vyvažovací ventily STAD [P27] pro otopné větve. Pomocí vyvažovacích ventilů jsem zvýšil hydraulický odpor celé otopné větve. Tím jsem vyrovnal tlakovou ztrátu hydraulicky nejvzdálenějšího tělesa otopné soustavy a hydraulicky nejvzdálenějšího tělesa dané otopné větve. Toto těleso je osazeno plně otevřenými regulačními armaturami. Zbývající otopná tělesa v otopné větvi je pak možné doškrtit pomocí TRV a RŠ. Vyvažovacími ventily se osadí všechny otopné větve kromě té, kde je hydraulicky nejvzdálenější otopné těleso. Příklad výpočtu pro byt č. 1 v 1NP je uveden v tebulce 6.2. Návrh vyvažovacího ventilu jsem popsal v kapitole 6.3.1. Hydraulický výpočet pro celou otopnou soustavu v bytové části č. p. 592 je součástí přílohy [P28].

Tab 6.2 Hydraulické vyvážení otopné větve pro byt č. 1 v 1NP č. p. 592

		1NP					
		Byt č1					
		101 - Ložnice	102 - Pokoj	103 - Pokoj	104 - Obývací pokoj	105 - Kuchyně	107 - Koupelna
Potrubní síť	Pa	9 301	9 188	9 082	9 413	9 110	6 427
Tlaková ztáta OT	Pa	44	10	25	70	25	23
TRV	Pa	580	578	449	719	437	605
RŠ	Pa	401	573	780	220	760	3 306
Tlaková ztráta	Pa	10 326	10 349	10 336	10 422	10 332	10 361
Ztráta hydraulicky nejvzdálenějšího tělesa v dané větvi	Pa	10 422					
Tl. ztráta nutná nastvit na VV	Pa	3 158					
Navržená ztráta na VV	Pa	3 150					
Ztráta hydraulicky nejvzdálenějšího tělesa v celé soustavě	Pa	**13 580**					
Rozdíl mezi tlakovou ztrátou hydraulicky nejvzdálenější větve a mezi seškrcenými větvemi	Pa	3 254	3 231	3 244	3 158	3 248	3 219
Rozdíl mezi tlakovou ztrátou hydraulicky nejvzdálenějšího tělesa a tělesa, které je nutné zaregulovat	Pa	104	81	94	8	98	69
nastavení TRV	-	7	3	6	8	6	5
nastavení RŠ	-	6	3	4	9	4	2
Nastavení otáček na VV dle diagramu	-	**2,85**					
K_V hodnota TVR	$m^3.h^{-1}$	0,66	0,31	0,57	0,75	0,57	0,47
K_V hodnota RŠ	$m^3.h^{-1}$	0,79	0,31	0,43	1,35	0,43	0,2

6.3.1.1 Návrh vyvyžovacího ventilu STAD

Pro správný návrh vyvažovacího ventilu je potřeba znát tlakovou ztrátu a průtok otopnou větví, na které je vyvažovací ventil osazen a světlost potrubí. Pokud tyto údaje známe, hledáme nastavení vyvažovacího ventilu. Ke správnému nastavení můžeme dojít dvěma způsby.

Prvním způsobem je výpočet podle vztahu 6.16, kdy je možné vypočítat k_V hodnotu. Podle ní zvolíme příslušné nastavení [7].

$$k_V = \frac{V}{\sqrt{\Delta p}} \tag{6.16}$$

k_V Jmenovitý průtok……..……...……[$m^3.h^{-1}$]

V Objemový průtok……...……..…...[$m^3.h^{-1}$]

Δp Tlaková ztráta …….……..[kPa]

Druhý způsob určení správného nastavení je pomocí diagramu. V diagramu se spojí hmotnostní průtok a tlaková zráta, která je potřeba doškrtit, přímkou. Průsečík s osou k_V nám určuje hodnotu jmenovitého průtoku. Z průsečíku vedeme kolmici k ose k_V na osu světlosti potrubí. Na ose světlosti potrubí DN odečteme přesné nastavení vyvažovacího ventilu.

Pro určení správného určení nastavení vyvažovacího ventilu jsem volil druhý zmiňovaný postup. Diagram, ze kterého jsem určil nastavení vyvažovacích ventilů pro jednotlivé otopné větve, je v příloze [P29].

Obr 6.1 Vyvažovací ventil STAD [13]

6.3.2 Hydraulické vyvážení otopné soustavy u bytové části č. p. 593

V části č. p. 593 má každý byt svůj zdroj tepla na vytápění. V rámci daného bytu je vždy jedna otopná větev. Pro hydraulické vyvážení těchto větví postačilo správné nastavení TRV a ŘŠ. Postup výpočtu byl stejný jako u bytové části s č. p. 592.

Výpočtem jsem stanovil hydraulicky nejvzdálenější otopné těleso, které se osadí plně otevřenými regulačními armaturami a zbylá tělesa v otopné soustavě se k hydraulicky nejvdálenějšímu tělesu doškrtí vhodným nastavením TRV a RŠ. Jelikož se soustava skládá pouze z jedné otopné větve, nebylo potřeba osazovat

vyvažovací ventily. Příklad výpočtu pro byt č. 2 ve 2NP je v tabulce 6.3. Výpočet pro všechny byty, celou bytovou část č. p. 593, je v příloze [P30].

Tab 6.3 Hydraulické vyvážení otopné soustavy pro byt č. 2 v 2NP

		108 - Koupelna	110 - Pokoj	111 - Kuchyně	112 - Obývací pokoj	113 - Pokoj	114 - Ložnice
		OT1	OT2	OT3	OT4	OT5	OT6
Výkon OT	W	630	491	638	917	830	830
w_{DN15}	$m.s^{-1}$	0,050	0,039	0,051	0,073	0,066	0,066
Potrubní síť	Pa	349	593	1 010	1 055	1 522	1 508
Tlaková ztáta OT	Pa	23	14	24	49	40	40
TRV	Pa	307	562	315	503	413	413
RŠ	Pa	1376	836	734	449	126	126
Σ	Pa	2 055	2 005	2 083	2 056	2 102	2 088
		2 102					
		47	97	19	46	0	14
nastavení TRV	-	7	4	7	8	8	8
nastavení RŠ	-	3	3	4	6	9	9
K_V hodnota TVR	$m^3.h^{-1}$	0,66	0,38	0,66	0,75	0,75	0,75
K_V hodnota RŠ	$m^3.h^{-1}$	0,31	0,31	0,43	0,79	1,35	1,35

6.4 Zabezpečovací zařízení

Stávající zabezpečovací zařízení otopné soustavy je otevřená expanzní nádoba umístěná na půdě bytových částí č. p. 592 a č. p. 593. Nově navržené zdroje je možné používat pouze v uzavřených systémech. Navržené zdroje tepla na vytápění obsahují integrovanou tlakovou expanzní nádobu.

Plynový kondenzační kotel, který jsem navrhl pro bytovou část č. p. 592, má integrovanou 12 l tlakovou expanzní nádobu. Nově navržená otopná soustava je rozsáhlá a obsahuje velké množství vody. Je nutné expanzní nádobu překontrolovat, aby odpovídala požadavkům navržené soustavy a správně plnila svou funkci.

Pro správný výpočet expanzní nádoby je potřeba zjistit objem vody v celé otopné soustavě V_o, součinitel zvětšení objemu n a spočítat stupeň využití expanzní nádoby η. Návrh tlakové expanzní nádoby jsem provedl podle [4].

Objem vody v soustavě

$$V_o = V_K + V_{OT} + V_{Potrubí} \tag{6.17}$$

V_o Objem vody v otopné soustavě……...…….[m^3]

V_K Objem vody v kotli…….….[m^3]

V_{OT} Objem vody v otopných tělesech……...…….[m^3]

$V_{Potrubí}$ Objem vody v potrubí otopné soustavy……..…….[m^3]

Součtem všech dílčích objemů vyšel celkový objem vody v otopné soustavě 396 l.

Součinitel zvětšení objemu pro maximální rozdíl teplot Δt_{max} = 50 K byl určen dle příslušné tabulky [P31] n = 0,01672 [-]

Stupeň využití expanzní nádoby jsem výpočetem stanovil η = 0,706

$$\eta = \frac{p_{h,dovA} - p_{d,dovA}}{p_{h,dovA}} \tag{6.18}$$

$p_{h,dov,A}$ Nejvyšší dovolený absolutní tlak …….……...….[kPa]

$p_{d,dov,A}$ Nejnižší dovolený absolutní tlak …….……..…..…….[kPa]

Horní dovolený absolutní tlak jsem stanovil jako součet barometrického tlaku p_B =100 kPa a tzv. otevíracího tlaku pojistného ventilu p_{OT} =300 kPa.

Nejnižší dovolený absolutní tlak $p_{d,dov,A}$ = 202,5 kPa. Výška otopné soustavy h = 9,5 m. Gravitační zrychlení g = 9,81 m.s^{-2} a hustota vody ρ = 1000 kg.m^{-3}.

$$p_{d,dovA} = 1{,}1.\rho.g.h.10^{-3} + p_B \tag{6.19}$$

ρ Hustota vody…….….[kg.m^{-3}]

h Výška otopné soustavy……...…….….[m]

g Gravitační zrychlení……...…….…….[m.s^{-2}]

p_B Barometrický tlak…….[Pa]

Výpočet tlakové membránové expanzní nádoby V_{et} = 17,4 l

$$V_{et} = 1{,}3.V_o.n.\frac{1}{\eta} \tag{6.20}$$

Výpočet objemu tlakové expanzní nádoby V_{et} = 17,4 l ukázal, že 12 l integrovaná expanzní nádoba ve zdroji tepla má nedostatečný objem. Přesný výpočet je v příloze [P32]. Podle vypočítaného objemu jsem navrhl novou tlakovou expanzní nádobu. Z katalogu výrobků firmy Reflex jsem zvolil tlakovou expanzní nádobu o objemu 18 l [P33].

Elektrokotle osazené v bytové části č. p. 593 mají integrovanou 7 l tlakovou expanzní nádobu. Jelikož se jedná o jednoduchou otopnou soustavu, ve které je malé množství vody, tak integrovaná tlaková expanzní nádoba v kotli je dostačující.

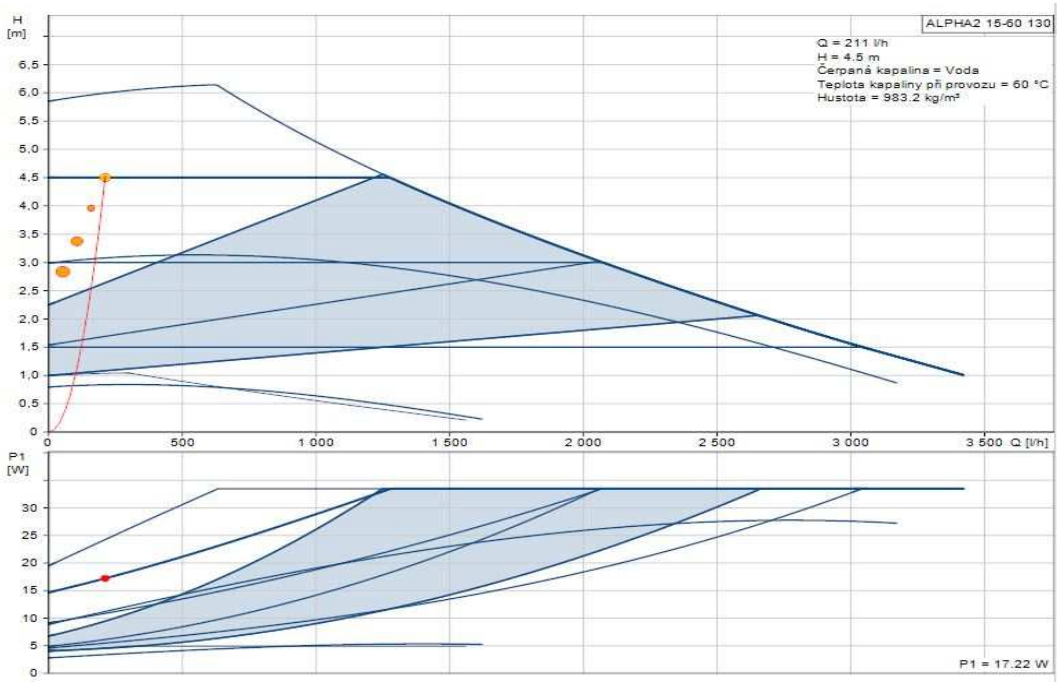
6.5 Oběhové čerpadlo

Plynový kondenzační kotel má integrované oběhové čerpadlo. Zdroj tepla je oddělen od zbytku otopné soustavy pomocí termohydraulického rozdělovače. Integrované čerpadlo tak bude dopravovat otopnou vodu pouze v rámci kotlového okruhu.

Každý otopný okruh v bytové části č. p. 592 bude osazen oběhovým čerpadlem. Volil jsem oběhová čerpadla Grundfos Alpha2 15-60 130. Příklad návrhu čeradla je znázorněn na obrázku 6.1.

Tato čerpadla budou osazena na otopné větve, které zajišťují vytápění bytů v prvním a druhém nadzemním podlaží. Pro otopnou větev, zajišťující vytápění bytu ve třetím podlaží, nemělo čerpadlo Grundfos Alpha2 15-60 130 dostačující dopravní výšku. Kvůli dopravní výšce, přibližně 7,5 m, jsem pro poslední otopnou větev zvolil oběhové čerpadlo Grundfos Alpha2 25-80 130. Technické specifikace jednotlivých čerpadel, včetně jejich charakteristik, jsou v příloze [P34].

V elektrokotlích jsou oběhová čerpadla Askoll ES2 C 15-60 130. Jejich charakteristiky jsou v instalačním návodu ke kotli Tronic Heat 3500.



Obr 6.1 Navržená charakteristika oběhového čerpadla pro hydraulicky nejvzálenější otopné těleso [12]

6.6 Přívod spalovacího vzduchu a odvod spalin

Kondenzační kotel je plynové zařízení typu C, tzn. že si spalovací vzduch přisává z venkovního prostředí a je tudíž nezávislé na množství vzduchu v místnosti instalace.

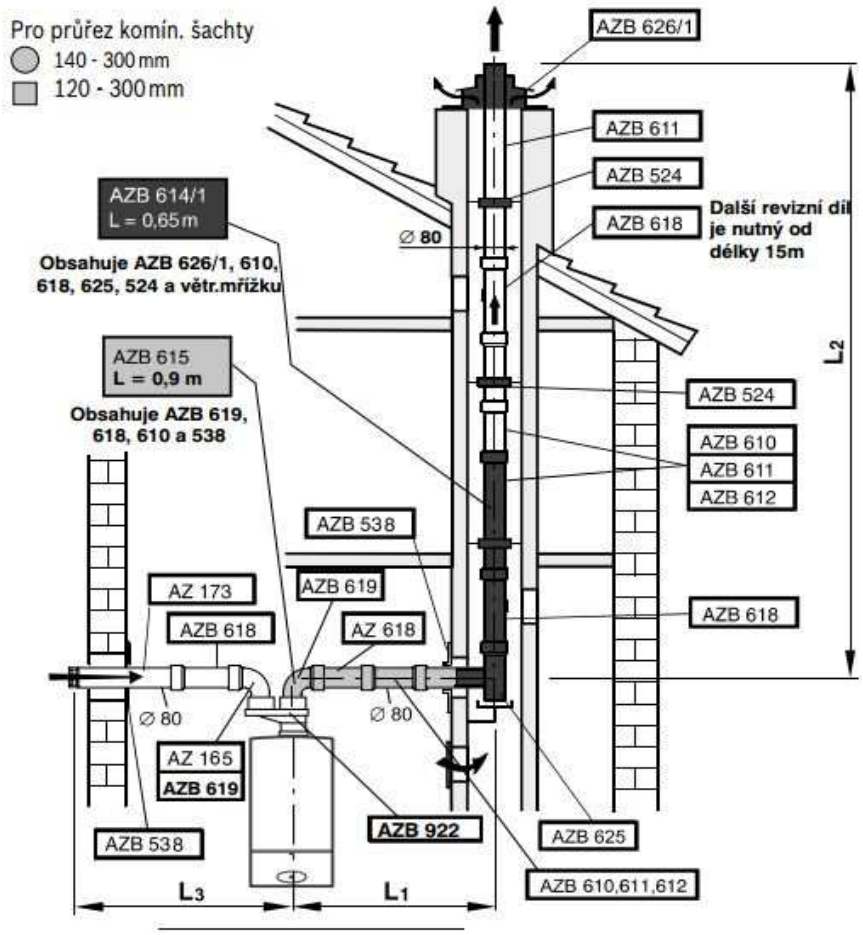
Způsobů, jak vyřešit přívod spalovací vzduchu a odvod spalin, je několik. Běžný způsob je svislé koaxiální potrubí Ø 80/125 mm. Materiál pro vyvložkování komínu je plast. Výhodou plastu je odolnost proti agresivnímu kondenzátu, dostupná cena a snadná manipulace s jednotlivými díly. Vnitřním potrubím s Ø 80 mm jsou vedeny spaliny. V mezikruží mezi vnitřním potrubím o Ø 80 mm a vnějším potrubím o Ø 125 mm je nasáván spalovací vzduch.

Toto provedení by mohlo být vedeno stávajícím komínem, který má pro tuto realizaci dostačující vnitřní průměr. Nicméně tato varianta však není možná, protože maximální možná délka tohoto typu odkouření je 15 m. V případě, že by se přidalo například další koleno, by se tato délka ještě snížila. Budova je vysoká

přibližně 15 m. Proto jsem se z důvodu bezpečnosti rozhodl pro návrh děleného odkouření 2 x Ø 80 mm.

Schéma děleného odkouření je zobrazeno na obrázku 6.2. U tohoto typu je standardní připojovací adaptér Ø 80/125 mm, kterým se kotel Cerapur Comfort osazuje, nahrazen adaptérem s měřícími body. Na obrázku 6.2 je tento díl označen jako AZB 922. Do tohoto dílu se přivedou dvě trubky o Ø 80 mm.

V této variantě je přívod spalovacího vzduchu realizován pomocí trubky Ø 80 mm, která je vyvedena skrz zeď do venkovního prostoru. Odvod spalin je řešen potrubím Ø 80 mm, které je vedeno stávajícím komínem. Při použití tohoto typu se prodlouží maximální možná délka vedení spalin na 50 m. Do délky 50 m se musí vejít součet délek přívodu spalovacího vzduchu, horizontálního vedení spalin a vedení spalin ve stávajícím komínu. U této budovy není problém se do dané délky vejít.



Obr. 6.2 Schéma děleného odkouření 2 x Ø 80 mm [9]

U obytné části s č. p. 593 jsem odkouření ani přívod vzduchu neřešil. Elektrokotle ohřívají otopnou vodu elektrickými tyčemi. Nedochází u nich k žádnému typu spalování. Není proto důvod odkouření a přívod spalovacího vzduchu řešit.

7 PŘÍPRAVA TEPLÉ VODY

Příprava teplé vody je důležitou součástí technického návrhu zařízení budov. Přestože jsem v této práci řešil hlavně vytápění bytové domu, tak příprava teplé vody bývá s tímto problémem velice úzce spjata. Teplá voda je velmi často připravována zdrojem tepla na vytápění.

V současné době narůstá význam potřeby tepla na přípravu teplé vody. Stále lépe zateplené budovy potřebují čím dál tím méně energie pro pokrytí tepelné ztráty budovy, kdežto potřeba tepla na přípravu teplé vody neklesá.

Základní principy ohřevu teplé vody dělíme na místní přípravu, centrální přípravu a ústřední přípravu teplé vody.

Místní přípravou teplé vody lokálně zajišťují jednotkové ohřívače, které jsou buďto průtočné nebo zásobníkové. Každý ohřívač dodává teplou vodu vždy pouze pro jedno odběrné místo. Příkladem místní přípravy teplé vody je malý 10 – 15 l elektrický zásobník pod umyvadlem.

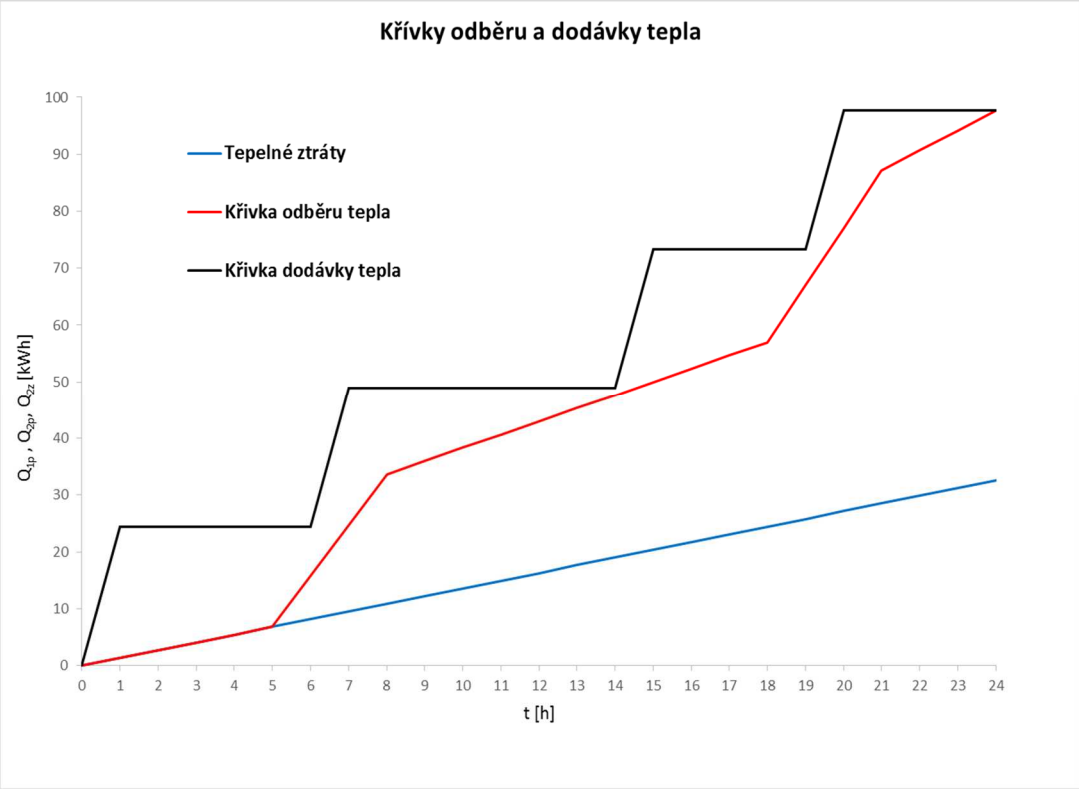
Centrální příprava teplé vody je často nazývána skupinovou. Jeden ohřívač zásobuje několik odběrných míst. Centrální příprava teplé vody se realizuje často v bytech, kdy jeden elektrický zásobník o objemu např. 150 l zásobuje umyvadlo, vanu a dřez. Při použití tohoto typu je potřeba zásobník vhodně umístit. Vzdálenost mezi zásobníkem a odběrným místem by měla být co nejkratší.

Přípravu teplé vody považujeme za ústřední, jestliže všechna odběrná místa v budově jsou zásobována z jednoho ohřívače společným rozvodem teplé vody. V případě ústřední přípravy teplé vody u složitějších soustav se využívá cirkulace, aby byla zajištěna požadovaná teplota teplé vody i na nejvzdálenějším místě soustavy.

7.1 Příprava teplé vody v č. p. 592

V bytové části č. p. 592 jsem navrhl ústřední přípravu teplé vody. Všechna odběrná místa v budově budou zásobována z jednoho 500 l nepřímo ohřívaného zásobníku teplé vody. Ten bude ohříván plynovým kondenzačním kotlem. Kotel má možnost připojení takového zásobníku. Teplá voda bude připravována s absolutní předností, kdy v čase přípravy TV bude zablokován přívod otopné vody do soustavy.

Pro navržení správné velikosti nepřímo ohřívaného zásobníku a výkonu potřebného pro jeho ohřev jsem sestavil křivky odběru a dodávky tepla. Křivky jsou zobrazeny v obrázku 7.1.



Obr. 7.1 Křivka odběru a dodávky tepla

Profil odběru jsem stanovil na základě normou ČSN EN 15 316-3 doporučených hodnot. V tabulce 7.1 jsem uvedl podíl z celkově odebraného tepla pro přípravu TV [%] v jednotlivých časových intervalech.

Tab. 7.1 Procentuální podíl z odebraného tepla pro přípravu TV v daných časových intervalech.

Křivka odběru TV	Čas odběru tepla pro přípravu TV	Podíl z celkově odebraného tepla pro přípravu TV [%]
ČSN EN 15 316-3	0:00 až 6:00	0
	6:00 až 9:00	35
	9:00 až 19:00	15
	19:00 až 22:00	40
	22:00 až 24:00	10

Při sestavení křivek odběru a dodávky tepla jsem zjistil, že největší rozdíl ΔQ_{max}=24,15 kWh je v 7 hodin ráno. Na základě této hodnoty jsem stanovil velikost zásobníku. Velikost zásobníku mi výpočtem vyšla V_z=0,415 m^3. Nepřímo ohřívaný zásobník této velikosti se nevyrábí, proto jsem zvolil nejbližší vyšší typ z výrobní řady, což je zásobník o objemu V_z=0,5 m^3.

Když jsem stanovil velikost zásobníku, ověřil jsem, jestli je doba dohřevu τ_a < 20 minut. Při výkonu zdroje tepla 26 kW jsem vypočítal dobu dohřevu nepřímo ohříveného zásobníku τ_a = 12,5 minut. Při výpočtu jsem uvažoval s výkonem zdroje 26 kW, protože 26 kW je maximální možný výkon kotle při výstupní teplotě teplonosné látky 80 °C. Zároveň jsem u výrobce ověřil, že topná spirála v nepřímo ohřívaném zásobníku SK 500-5 ZB dokáže daný výkon přenést. Postup návrhu jsem popsal v kapitole 7.1.1 a podrobný výpočet je součástí přílohy [P35].

Vzhledem k jižní orientaci a vhodnému sklonu sedlové střechy, by byla do budoucna možná instalace solárních kolektorů. Díky solárním kolektorům by se snížily náklady na přípravu teplé vody.

7.1.1 Návrh systému přípravy teplé vody

Návrh systému přípravy teplé vody závisí na sestavení správného odběrového profilu tepla dodaného ohřívačem za danou periodu. Periodu jsem zvolil 24 hodin. Potřebu tepla dodaného ohřívačem teplé vody za 24 hodin lze vyjádřit jako [6]:

$$Q_{2p} = Q_{2t} + Q_{2z} \frac{(1+z) \cdot V_{2p} \cdot \rho_{st\check{r}} \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{3600 \cdot 1000} \qquad (7.1)$$

Q_{2p} Teplo dodané ohřívačem TV…….…….[kWh.den^{-1}]

Q_{2t} Teplo pro ohřev vody…….…….…….[kWh.den^{-1}]

Q_{2z} Teplo ztracené při ohřevu a distribuci…….…….[kWh.den^{-1}]

z Poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci TV…….……....[-]

V_{2p} Celková potřeba teplé vody…….……..……..[m^3.den^{-1}]

$\rho_{st\check{r}}$ Hustota vody při střední teplotě zásobníku……..…..[kg.m^{-3}]

c Měrná tepelná kapacita vody…….……..……..[J.kg^{-1}.K^{-1}]

t_1 Teplota studené vody…….……..……....[°C]

t_2 Teplota teplé vody…….……...……....[°C]

Pro výpočet celkové potřeby tepla jsem použil vztah z evropské normy ČSN EN 15 316-3 Tepelné soustavy v budovách. Poslední díl normy ČSN EN 15 316-3-3 je věnován zjednodušenému výpočtu ročního provozu systému přípravy TV. Pro určení potřeby teplé vody v dané periodě (24 h) jsem využil vztah:

$$V_{2p} = V_{W,f,day} \cdot f \qquad (7.2)$$

$V_{W,f,day}$ Specifická potřeba teplé vody….…….[m^3.den^{-1}.os^{-1}]

f Počet měrných jednotek – osob..……...…….…….[kWh.den^{-1}]

Specifickou potřebu teplé vody jsem ve výpočtu stanovil dle normy ČSN EN 15 316-3-1. Pro bytový dům je $V_{W,f,day}$ = 0,04 m^3.den^{-1}.os^{-1}.

Hodnoty uvedené v normě ČSN EN 15 316-3-1 pro bytový dům jsou stanoveny pro vysoký komfort přípravy TV. Pro bytové domy je obvyklejší počítat s hodnotou v rozmezí 0,02 až 0,04 [m^3.den^{-1}.os^{-1}].

Při návrhu vlikosti zásobníku jsem použil metodu křivek dodávky a odběru tepla. Křivka dodávky musí vždy převyšovat křivku odběu, aby nenastal nedostatek tepelné energie pro ohřev teplé vody na požadovanou teplotu. Objem zásobníku

teplé vody jsem stanovil z maximálního rozdílu mezi křivkami dodávky a odběru tepla:

$$V_z = \frac{\Delta Q_{max}}{\rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1)} \cdot 3600 \cdot 1000 \tag{7.3}$$

V_z Objem zásobníku…..……...…….[m^3]

ΔQ_{max} Největší možný rozdíl tepla mezi Q_{1p} a Q_{2p}……...…….[$kWh.den^{-1}$]

Po výpočtu velikosti zásobníku jsem ověřil, jestli není doba dohřevu zásobníku příliš dlouhá, aby nedošlo k citelnému poklesu teploty ve vytápěném prostoru. Doba dohřevu by neměla, u středně těžkých a těžkých staveb, být delší než 20 minut. Dobu dohřevu τ_a jsem stanovil ze vztahu:

$$\tau_a = \frac{V_z \cdot y \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta t_p}{Q_k} \tag{7.4}$$

Q_k Tepelný výkon zdroje tepla……...……..….[W]

V_z Objem zásobníku…..……...…….[m^3]

τ_a Doba dohřevu TV při teplotním rozdílu Δt_p……...…...….….[s]

c Měrná tepelná kapacita vody…..……..….[$J.kg^{-1}.K^{-1}$]

ρ Hustota vody při střední teplotě v zásobníku……...….[$kg.m^{-3}$]

Δt_p Spínací diference pro dohřev TV……....…...….….[K]

y Korekční faktor odběru tepla ze zásobníku TV….....……...…….[-]

7.2 Příprava teplé vody v č. p. 593

V bytové části č. p. 592 je příprava teplé vody řešena centrálně. Každá bytová jednotka má v koupelně instalovaný 120 l elektrický zásobník Tatramat.

Zvažoval jsem možnost přípravy teplé vody pomocí nepřímo ohřívaného zásobníku. Ohřev zásobníku by zajišťoval elektrokotel. Tuto variantu jsem nakonec nezvolil. Elektrokotel není možné instalovat v koupelně kvůli nedostatečnému

elektrickému krytí. Na toaletě, kde jsem elektrokotel navrhl, není dostatek místa pro instalaci nepřímo ohřívaného zásobníku, takže by se muselo najít jiné umístění elektrokotle a zásobníku. Abych mohl maximálně využít stávající otopnou soustavu bez dalších větších úprav, tak by bylo přemístění zásobníku nevhodné.

V případě, že bych přesto navrhl sestavu elektrokotle a nepřímo ohřívaného zásobníku, musel bych použít kotel o vyšším výkonu, minimálně 9 kW. Kotel Tronic Heat 3500 o výkonu 9 kW má tři topné tyče o výkonu 3 kW, což je prakticky vypočítaná tepelná ztráta, tzn., že kotel by zbytečně přetápěl. Z těchto důvodů a kvůli minimalizaci nákladů jsem se rozhodl přípravu teplé vody ponechat stávající. Vzhledem ke stáří současných elektrických zásobníků bude do budoucna nutná výměna za nové. Ty však bude možné instalovat na stávající místo a rozvody teplé vody. Navržený elektrokotel má výkon 4 kW, a je dostačující pro pokrytí tepelných ztrát. Při přednostní přípravě teplé vody by 4 kW kotel nedokázal teplou vodu připravovat dostatečně rychle. Kvůli dlouhým intervalům přípravy teplé vody by v obytných prostorách mohl vznikat tepelný diskomfort.

Elektrokotel Tronic Heat 3500 o výkonu 4 kW jsem volil mimo jiné pro možnost spínání topných tyčí o výkonu 1,3 kW. Toto umožňuje kotlům regulovat výkon i v případě velmi nízkých tepelných ztrát.

8 ZÁVĚR

Cílem mojí diplomové práce bylo vypracování studie vytápění bytového domu v Lomnici nad Lužnicí. Bytový dům je rozdělen do dvou částí, které jsem řešil nezávisle na sobě.

Nejdříve jsem spočítal tepelné ztráty. Celková tepelná ztráta stávajícího stavu vyšla u části s č. p. 592 přibližně 51 kW a u části č. p. 593 cca 31 kW. Návrhem vhodného zateplení obálky budovy se snížila celková tepelná ztráta na 21,5 kW (č. p. 592) a 13,1 kW (č. p. 593). Zateplením se snížila tepelná ztráta celé budovy o 58 %.

Po návrhu zateplení obálky jsem popsal stávající stav otopné soustavy. V obou bytových částech měl původně každý byt svůj vlastní kotel na tuhá paliva s ručním přikládáním ETKA U 12 o výkonu 12,5 kW. Kotle jsou ve velmi špatném stavu a jejich výměna je nutná. Pro výběr nejlepší náhrady za stávající zdroje jsem porovnával plynové kondenzační kotle, kotle na tuhá paliva s ručním a automatickým přikládáním a elektrokotle. Porovnání spočívalo v technických možnostech jednotlivých zdrojů tepla, investičních nákladech, provozních nákladech za 15 let a komfortu provozování. Stejně jako výměna kotlů je nutná i výměna otopných článkových těles, která jsou předimenzovaná a po přibližně 30 letech provozu jsou na hranici své životnosti. Stávající článková otopná tělesa budou vyměněna za nová desková otopná tělesa.

V bytové části č. p. 592 jsem navrhl celou novou otopnou soustavu. Jako zdroj tepla na vytápění jsem zvolil výměnu stávajících kotlů na tuhá paliva za jeden společný plynový kondenzační kotel Cerapur Comfort ZSBR 28-3 E o výkonu 28 kW. Tento kotel bude zajišťovat vytápění celé otopné soustavy, kdy každý byt bude zásobován jednou otopnou větví.

V bytové části č. p. 593 jsem využil části stávající otopné soustavy. Soustava byla řešena jako protiproudá horizontální. Jedním stoupacím potrubím je otopná voda přivedena do bytu a následně vedena potrubím v podlaze. Díky tomu jsem vyhodnotil jako nejlepší řešení výměnu stávajících zdrojů tepla za elektrokotle Tronic Heat 3500 o výkonu 4 kW. Elektrokotle budou umístěny na toaletě v jednotlivých bytech.

Pomocí TRV a RŠ jsem následně hydraulicky vyvážil otopnou soustavu. V bytové části č. p. 592 jsem musel použít ještě vyvažovací ventily, protože velké tlakové rozdíly mezi jednotlivými otopnými větvemi nebylo možné doškrtit pouze na TRV a RŠ. Odkouření jsem řešil pouze u kondenzačního kotle, kde jsem volil typové řešení, které splňuje potřebné délky odtahu spalin. V otopné soustavě č. p. 592 je velké množství vody, proto jsem výpočtem zkontroloval velikost expanzní nádoby. Integrovaná expanzní nádoba v kotli je nedostačující, tak jsem zvolil dodatečnou 18 l tlakovou expanzní nádobu od firmy Reflex.

Na závěr této práce jsem navrhl přípravu teplé vody. V bytové části č. p. 592 bude přednostní příprava TV, kterou bude zajišťovat plynový kondenzační kotel Cerapur Comfort ZSBR 28-3 E pomocí 500 l nepřímo ohřívaného zásobníku teplé vody SK 500-5 ZB. V bytové části č. p. 593 bude teplá voda připravována pomocí elektrických zásobníků instalovaných v koupelnách bytů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A POKLADŮ

1. NOVÝ, Richard a kol. *Technika prostředí*, druhé přepracované vydání. Praha :Nakladatelství ČVUT, 2006. 267 s. ISBN 80-01-03492-5
2. ČSN EN 12 831:2003., Tepelné soustavy v budovách.
3. BAŠTA, Jíří. *Otopné plochy*. Praha: Nakladatelství ČVUT,2001. 328 s. ISBN 80-01-02365-6
4. BAŠTA, J., Kabele, K. *Otopné soustavy-teplovodní, třetí přepracované vydání*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2008. 96s. ISBN 978-80-02-02064-6
5. BAŠTA, Jiří a kol. *Výkresová dokumentace ve vytápění, druhé přepracované vydání*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2001. 55s. ISBN 80-02-01465-0
6. VAVŘIČKA, Roman a kol. *Příprava teplé vody*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2017. 151s. ISBN 978-80-02-02713-3
7. BAŠTA, Jiří. *Regulace v technice prostředí staveb*. Praha :Nakladatelství ČVUT, 2014. 193 s. ISBN 978-80-01-05455-0
8. www.tzb-info.cz [online]
9. www.junkers.cz [online]
10. www.cenyenergie.cz [online]
11. www.korado.cz [online]
12. www.grundfos.cz [online]
13. www.ivarcs.cz [online]
14. BICEK, R. *Bakalářská práce*. Praha: FS ČVUT, 2014. 46s.
15. ŠUBRT, R. *Tepelné izolace v otázkách a odpovědích*. Ben – technická literatura, Praha 10: 2008. 112 s. ISBN 978-80-7300-234-3

SEZNAM PŘÍLOH

[P01]	Tepelná izolace Rockwool (ovodové konstrukce)	(na CD)
[P02]	Tepelná izolace Rockwool (podlahy, stropy)	(na CD)
[P03]	Tepelná foukaná izolace Supafil	(na CD)
[P04]	Výpočet součinitele prostupu tepla U [W.m^{-2}.K^{-1}]	
[P05]	Přehled součinitelů prostupu tepla U [W.m^{-2}.K^{-1}]	
[P06]	Výpočet U [W.m^{-2}.K^{-1}] pro jednotlivé konstrukce	(na CD)
[P07]	Výpočet tepelných ztrát po místnostech	(na CD)
[P08]	Souhrn tepelných ztrát po jednotlivých bytech	
[P09]	ETKA U12	(na CD)
[P10]	Tronic Heat 3500	(na CD)
[P11]	DOR F 12	(na CD)
[P12]	DOR N automat	(na CD)
[P13]	Ceník č. p. 592	(na CD)
[P14]	Ceník č. p. 593	(na CD)
[P15]	Náklady na vytápění č. p. 592	
[P16]	Náklady na vytápění č. p. 593	
[P17]	Cerapur Comfort ZSBR 28-3 E	(na CD)
[P18]	SK 500-5 ZB	(na CD)
[P19]	FW 500	(na CD)
[P20]	FR 120	(na CD)
[P21]	HW 25	(na CD)
[P22]	Otopná tělesa	(na CD)
[P23]	Měrná tlaková ztráta R [Pa.m-1] - měděné potrubí	(na CD)
[P24]	Tlakové ztráty č. p. 592	(na CD)
[P25]	Měrná tlaková ztráta R [Pa.m-1] - ocelové potrubí	(na CD)
[P26]	Vyvažovací ventil STAD	(na CD)
[P28]	Hydraulické vyvážení otopné soustavy č. p. 592	(na CD)
[P29]	Diagram vyvažovacího ventilu STAD	(na CD)
[P30]	Hydraulické vyvážení otopné soustavy č. p. 593	(na CD)
[P31]	Součinitel zvětšení obemu	
[P32]	Výpočet EN	(na CD)

[P33] EN Reflex (na CD)

[P34] Oběhová čerpadla Grundfos (na CD)

[P35] Příprava TV 592 (na CD)

PŘÍLOHY

[P04] Příklad výpočtu součinitele prostupu tepla *U* [W.m^{-2}.K^{-1}] pro stávající stav obvodové stěny – 400 mm

Současný stav								
Obvodová stěna - 400 mm								
Vrstva	1	2	3	4	5	6	7	8
Materiál	Omítka vápenocem entová	Porobetonová tvárnice NSM 304	Omítka vápenocem entová					
d_i [mm]	25,0	400,0	25,0					
λ_i [w m^{-2} K^{-1}]	0,990	0,180	0,990					
R_i [m^2 K W^{-1}]	0,025	2,222	0,025					
Celá konstrukce	d	R	U	$U_{N_požad.}$	$U_{N_Doporuč.}$	α_i	α_e	$R_{int} + R_{ext}$
	0,45	2,27	0,41	0,3	0,25	8	23	0,17
	m	m^2 K W^{-1}	W m^{-2} K^{-1}	nesplněno	nesplněno	W m^{-2} K^{-1}	W m^{-2} K^{-1}	m^2 K W^{-1}

[P05] Přehled součinitelů prostupu tepla *U* [W.m^{-2}.K^{-1}] pro stávající a nově navržený stav konstrukcí

Konstrukce	$U_{stavajici}$ W.m^{-2}.K^{-1}	$U_{nové}$ W.m^{-2}.K^{-1}
Obvodová stěna - 400 mm	0,41	0,16
Obvodová stěna - 300 mm	0,53	0,13
Stěna vnitřní 300	1,21	1,21
Stěna vnitřní 100	2,24	2,24
Stěna vnitřní 350 - mezi byty	1,09	1,09
Podlaha 1.NP	1,98	0,46
Podlaha 2-3.NP	2,27	2,27
Strop Technického podlaží	1,98	0,46
Strop 1-2.NP	2,27	2,27
Střecha	0,74	0,16
Okno	1,40	1,40
Balkonové dveře	1,40	1,40
Strop do půdy	2,27	0,18

[P08] Souhrn tepelných ztrát po jednotlivých bytech

Klimatické údaje							
Popis	Označení	Jednotka	Hodnota				
Výpočtová venkovní teplota	θ_e	°C	-15				
Roční průměrná teplota vzduchu	$\theta_{e,m}$	°C	5				
Údaje o vytápěných místnostech							
Označení místnosti	Výpočtová vnitřní teplota	Plocha místností	Objem místností	Tepelná ztráta místnosti - stávající stav	Tepelná ztráta místnosti - stávající stav celý byt	Tepelná ztráta místnosti - nový stav	Tepelná ztráta místnosti - nový stav celý byt
	$\theta_{int,i}$	A_i	V_i	Q_C	Q_C	Q_C	Q_C
	°C	m^2	m^3	W	W	W	W
1 NP - 592							
Byt č.1							
101 - Ložnice	20	13,4	34,5	1446	8245	735	3966
102 - Pokoj	20	8,1	20,8	868		385	
103 - Pokoj	20	8,5	21,8	1059		461	
104 - Obývací pokoj	20	19,4	49,8	2021		900	
105 - Kuchyně	20	11,9	30,6	1160		583	
107 - Koupelna	24	3,0	7,8	817		632	
Chodba + WC	20	15,9	40,9	874		270	
Byt č.2							
110 - Ložnice	20	13,1	33,7	1681	6770	566	3131
111 - Pokoj	20	9,6	24,6	1023		486	
112 - Obývací pokoj	20	17,5	45,0	1643		805	
113 - Kuchyně	20	8,4	21,6	923		494	
115 - Koupelna	24	3,7	9,5	757		524	
Chodba + WC	20	12,3	31,6	742		255	
Byt š.3							
119 - Ložnice	20	12,2	31,5	1133	7624	498	3535
120 - Pokoj	20	9,1	23,5	1055		494	
121 - pokoj	20	12,1	31,0	1269		581	
122 - Obývací pokoj	20	19,7	50,7	1721		791	
123 - Kuchyně	20	8,9	22,7	874		396	
125 - Koupelna	24	3,6	9,3	745		527	
Chodba + WC	20	15,1	38,8	827		249	
2 NP - 592							
Byt č.1							
201 - Ložnice	20	13,4	34,5	1551	6362	632	3153
202 - Pokoj	20	8,1	20,8	936		318	
203 - Pokoj	20	8,5	21,8	1129		392	
204 - Obývací pokoj	20	19,4	49,8	1532		704	
205 - Kuchyně	20	11,9	30,6	528		438	
207 - Koupelna	24	3,0	7,8	599		582	
Chodba + WC	20	15,9	40,9	86		88	
Byt č.2							
210 - Ložnice	20	13,1	33,7	872	7382	424	2679
211 - Pokoj	20	9,6	24,6	1099		412	
212 - Obývací pokoj	20	17,5	45,0	1777		675	
213 - Kuchyně	20	8,4	21,6	2007		513	
215 - Koupelna	24	3,7	9,5	797		485	
Chodba + WC	20	12,3	31,6	829		170	
Byt š.3							
219 - Ložnice	20	12,2	31,5	1229	8250	404	2926
220 - Pokoj	20	9,1	23,5	1129		422	
221 - pokoj	20	12,1	31,0	1362		490	
222 - Obývací pokoj	20	19,7	50,7	1870		647	
223 - Kuchyně	20	8,9	22,7	946		326	
225 - Koupelna	24	3,6	9,3	782		490	
Chodba + WC	20	15,1	38,8	931		147	
3 NP - 592							
Byt č.1							
301 - Obýací pokoj	20	23,5	62,6	2519	6338	971	2234
302 - Kuchyně	20	9,5	25,4	940		388	
303 - Koupelna	24	5,0	13,2	1048		518	
309 - Pokoj	20	6,1	16,3	715		208	
Chodba + WC	20	12,9	34,4	1117		150	

1 NP - 593							
Byt č.1							
101 - Obýací pokoj	20	19,4	49,9	1652	6668	766	3152
102 - Kuchyně	20	9,6	24,7	1060		530	
103 - Pokoj	20	16,0	41,1	1291		504	
104 - Ložnice	20	12,2	31,5	1234		585	
107 - Koupelna	24	4,2	10,8	822		560	
Chodba + WC	20	10,1	26,0	609		206	
Byt č.2							
108 - Koupelna	24	4,4	11,3	873	8327	598	3984
110 - Pokoj	20	7,9	20,3	940		464	
111 - Kuchyně	20	9,9	25,3	1022		538	
112 - Obýací pokoj	20	19,0	48,9	1950		857	
113 - Pokoj	20	16,0	41,1	1671		712	
114 - Ložnice	20	12,2	31,5	1308		646	
Chodba + WC	20	10,5	26,9	565		171	
2 NP - 593							
Byt č.1							
201 - Obýací pokoj	20	19,4	49,9	1743	7017	635	2634
202 - Kuchyně	20	9,6	24,7	1103		458	
203 - Pokoj	20	16,0	41,1	1366		393	
204 - Ložnice	20	12,2	31,5	1284		498	
207 - Koupelna	24	4,2	10,8	852		517	
Chodba + WC	20	10,1	26,0	669		135	
Byt č.2							
208 - Koupelna	24	4,4	11,3	923	9130	517	3387
210 - Pokoj	20	7,9	20,3	1008		397	
211 - Kuchyně	20	9,9	25,3	1094		467	
212 - Obýací pokoj	20	19,0	48,9	2084		731	
213 - Pokoj	20	16,0	41,1	1786		600	
214 - Ložnice	20	12,2	31,5	1597		575	
Chodba + WC	20	10,5	26,9	638		99	

[P15] Tabulka nákladů na vytápění č. p. 592

		Elektrokotel	Vlastní plyn. Kondenzační kotel	Spleléčný plyn. Kondenzační kotel	Kotel s ručním přikládáním	Kotel s automatickým přikládáním (uhlí)	Kotel s automatickým přikládáním (peletky)
Investice	CZK	335 494	831 536	552 993	563 935	500 793	500 793
Sk. Potřeba tepla na vytápění	kWh / rok	57 525	62 638	62 638	94 454	83 518	69 598
Cena za kWh	CZK	1,8	1,45	1,45	0,85	1	1,27
Provozní náklady za rok	CZK	103 545	90 825	90 825	80 286	83 518	88 390
Provozní náklady za měsíc	CZK	8 629	7 569	7 569	6 691	6 960	7 366
ROK		**Var 1**	**Var 2**	**Var 3**	**Var 4**	**Var 5 (Uhlí)**	**Var 5 (Pelety)**
0	CZK	335 494	831 536	552 993	563 935	500 793	500 793
1	CZK	439 039	922 361	643 818	644 221	584 311	589 183
2	CZK	542 584	1 013 187	734 644	724 508	667 828	677 572
3	CZK	646 129	1 104 012	825 469	804 794	751 346	765 962
4	CZK	749 673	1 194 838	916 295	885 080	834 864	854 351
5	CZK	853 218	1 285 663	1 007 120	965 367	918 381	942 741
6	CZK	956 763	1 376 488	1 097 946	1 045 653	1 001 899	1 031 130
7	CZK	1 060 308	1 467 314	1 188 771	1 125 939	1 085 417	1 119 520
8	CZK	1 163 853	1 558 139	1 279 597	1 206 226	1 168 934	1 207 909
9	CZK	1 267 398	1 648 965	1 370 422	1 286 512	1 252 452	1 296 299
10	CZK	1 370 942	1 739 790	1 461 248	1 366 798	1 335 970	1 384 688
11	CZK	1 474 487	1 830 616	1 552 073	1 447 084	1 419 487	1 473 078
12	CZK	1 578 032	1 921 441	1 642 898	1 527 371	1 503 005	1 561 467
13	CZK	1 681 577	2 012 267	1 733 724	1 607 657	1 586 523	1 649 857
14	CZK	1 785 122	2 103 092	1 824 549	1 687 943	1 670 040	1 738 246
15	CZK	1 888 667	2 193 918	1 915 375	1 768 230	1 753 558	1 826 636

[P16] Tabulka nákladů na vytápění č. p. 593

		Elektrokotel	Vlastní plyn. Kondenzační kotel	Spleléčný plyn. Kondenzační kotel	Kotel s ručním přikládáním	Kotel s automatickým přikládáním (uhlí)	Kotel s automatickým přikládáním (peletky)
Investice	CZK	192 786	541 541	417 551	318 990	279 916	279 916
Sk. Potřeba tepla na vytápění	kWh / rok	33 928	38 110	38 110	57 468	50 813	42 345
Cena za kWh	CZK	1,8	1,45	1,45	0,85	1	1,27
Provozní náklady za rok	CZK	61 070	55 260	55 260	48 848	50 813	53 778
Provozní náklady za měsíc	CZK	5 089	4 605	4 605	4 071	4 234	4 481
ROK		Var 1	Var 2	Var 3	Var 4	Var 5 (Uhlí)	Var 5 (Pelety)
0	CZK	192 786	541 541	417 551	318 990	279 916	279 916
1	CZK	253 856	596 801	472 811	367 838	330 729	333 694
2	CZK	314 926	652 060	528 070	416 685	381 543	387 471
3	CZK	375 996	707 320	583 330	465 533	432 356	441 249
4	CZK	437 065	762 580	638 590	514 380	483 170	495 026
5	CZK	498 135	817 839	693 849	563 228	533 983	548 804
6	CZK	559 205	873 099	749 109	612 075	584 797	602 582
7	CZK	620 275	928 359	804 369	660 923	635 610	656 359
8	CZK	681 345	983 618	859 628	709 770	686 424	710 137
9	CZK	742 415	1 038 878	914 888	758 618	737 237	763 915
10	CZK	803 484	1 094 138	970 148	807 465	788 051	817 692
11	CZK	864 554	1 149 397	1 025 407	856 313	838 864	871 470
12	CZK	925 624	1 204 657	1 080 667	905 160	889 678	925 247
13	CZK	986 694	1 259 917	1 135 927	954 008	940 491	979 025
14	CZK	1 047 764	1 315 177	1 191 187	1 002 855	991 305	1 032 803
15	CZK	1 108 834	1 370 436	1 246 446	1 051 703	1 042 118	1 086 580

[P30] Součinitel zvětšení objemu *n* [-] [8]

$\Delta t = t_{max}$ - 10 [K]	20	30	40	45	50	55	60	65	70
n [-]	0,00401	0,00749	0,01169	0,01413	0,01672	0,01949	0,02243	0,02551	0,02863
$\Delta t = t_{max}$ - 10 [K]	75	80	85	90	95	100	105	110	115
n [-]	0,03198	0,03553	0,03916	0,04313	0,04704	0,05112	0,05529	0,05991	0,06435