

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektroenergetiky a ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Návrh malé plynové kotelny pro krytí tepelné spotřeby
čínžovního domu**

Originál (kopie) zadání BP/DP

Abstrakt

Obsahem této diplomové práce je navrhnutí plynové kotelny pro budovu v Horní Bříze. Objekt je řešen jako jednopodlažní víceúčelová budova bez tepelné izolace před rekonstrukcí. Práce se zabývá výpočtem tepelných ztrát, pro které je navržena otopná soustava. Jako zdroj tepla je zvolen kondenzační kotel, který je navržen pro potřebu tepla pro vytápění a ohřev teplé vody. Celá soustava je hydraulicky vyregulována a v samotném závěru je ekonomicky vyhodnocena se současnou soustavou.

Klíčová slova

Vytápění, tepelné ztráty, tepelná energie, spotřeba, tlakové ztráty, dimenzování potrubí, ohřev teplé vody, radiátory

Abstract

The content of this master's thesis is the design of a gas boiler room for building in Horní Bříza. This building is designed as a one-floor multi-purpose building without thermal insulation before reconstruction. The work deals with the calculation of heat losses for which a heating system is designed. A condensing is selected as the heat source, which is designed for the heating requirement for heating and hot water heating. The entire system is hydraulically controlled and ultimately economically evaluated with the current system.

Key words

Heating, heat losses, heat energy, consumption, pressure losses, pipe dimensioning, hot water heating, radiators

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 18.6.2020

Jan Dobšíček

(Nepovinná část)

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Doc. Ing. Emilovi Dvorskému, CSc., za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	7
ÚVOD	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	11
SEZNAM OBRÁZKŮ	15
SEZNAM TABULEK	15
1 SOUČASNÉ ZPŮSOBY ZÁSOBENÍ BUDOVY TEPEM	16
1.1 KOTEL NA TUHÁ PALIVA.....	16
1.2 PLYNOVÝ KOTEL.....	17
1.3 ELEKTRICKÁ ENERGIE.....	18
1.4 CENTRÁLNÍ ZÁSOBOVÁNÍ TEPEM CZT.....	20
2 VÝPOČET SPOTŘEBY TEPLA BUDOVY	21
2.1 POPIS BUDOVY.....	21
2.1.1 <i>Popis konstrukce obálkových stěn budovy</i>	24
2.2 VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT PROSTUPEM.....	26
2.3 VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT VĚTRÁNÍM.....	31
2.4 VÝPOČET CELKOVÝCH ZTRÁT BUDOVY.....	32
2.5 VÝPOČET TEPELNÉ ENERGIE PRO VYTÁPĚNÍ.....	33
2.6 POTŘEBA TEPLA NA OHŘEV TUV.....	34
2.6.1 <i>Denní potřeba tepla na ohřev teplé vody</i>	34
2.6.2 <i>Roční potřeba tepla na ohřev teplé vody</i>	34
2.7 CELKOVÁ ROČNÍ POTŘEBA TEPLA.....	35
3 NÁVRH POKRYTÍ SPOTŘEBY TEPLA POMOCÍ PLYNOVÉ KOTELNY	36
3.1 NÁVRH OTOPNÝCH TĚLES.....	37
3.1.1 <i>Výpočet výkonu otopných těles</i>	37
3.1.2 <i>Výběr otopných těles</i>	37
3.2 NÁVRH PODLAHOVÉHO VYTÁPĚNÍ.....	38
3.2.1 <i>Výpočet podlahového vytápění</i>	38
3.3 DIMENZOVÁNÍ OTOPNÉ SOUSTAVY.....	41
3.3.1 <i>Výpočet tlakových ztrát v potrubí</i>	42
3.3.2 <i>Tlakové ztráty třením</i>	42
3.3.3 <i>Tlakové ztráty místními odpory</i>	44
3.3.4 <i>Celkové tlakové ztráty</i>	45
3.3.5 <i>Hydraulické posouzení a vyregulování soustavy</i>	45
3.4 VÝBĚR OBĚHOVÉHO ČERPADLA.....	49
3.5 ZDROJ TEPLA.....	50
3.6 EXPANZNÍ NÁDOBA.....	51
4 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	54
4.1 ROČNÍ POTŘEBA TEPLA NA VYTÁPĚNÍ A OHŘEV TUV.....	54
4.2 ROČNÍ PROVOZNÍ NÁKLADY PŘI VYTÁPĚNÍ PLYNEM.....	54
4.3 ROČNÍ PROVOZNÍ NÁKLADY PŘI VYTÁPĚNÍ STÁVAJÍCÍM KOTLEM NA TUHÁ PALIVA.....	55
4.4 ROČNÍ PROVOZNÍ NÁKLADY PŘI VYTÁPĚNÍ ELEKTRICKOU ENERGIÍ.....	55
4.5 POŘIZOVACÍ NÁKLADY.....	56
4.6 POROVNÁNÍ NÁKLADŮ JEDNOTLIVÝCH ZPŮSOBŮ VYTÁPĚNÍ.....	56
4.7 PROVOZNÍ NÁKLADY PŘI ZATEPLENÍ BUDOVY.....	57
ZÁVĚR	58

SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....	1
PŘÍLOHY	3

Úvod

Tato diplomová práce se zaměřuje na problematiku návrhu plynové kotelny pro sokolovnu v Horní Bříze. Inspirací pro vybrání této sokolovny, jako posuzovaného objektu v diplomové práci, byla současná rekonstrukce budovy, kdy je prováděna výměna oken a podlahy s tepelnou izolací. Stane se tak hmotným přínosem pro investora, a to jak z hlediska ekonomického porovnání jednotlivých typů zdroje tepla, tak kompletního návrhu otopné soustavy. Investor si tak na základě této diplomové práce může vybrat vhodný tepelný zdroj pro budovu a využít návrh jako základ pro projektovou dokumentaci.

Práce se zaměřuje především na čtyři základní body, kterými jsou současné možné způsoby zásobování budovy teplem, spotřeba tepla budovy, návrh pokrytí spotřeby tepla pomocí plynové kotelny a závěrečné ekonomické zhodnocení.

V prvním bodě jsou zmíněné celkem čtyři způsoby zásobení teplem, které jsou dostupné pro budovu. Stávající způsob zásobení budovy je řešeno pomocí kotle na tuhá paliva s automatickým podavačem na černé uhlí. V kapitole jsou popsány jeho výhody a nevýhody, přičemž jako největší nevýhoda se jeví pravidelné manuální doplňování zásobníku na černé uhlí. To zaměstnává nanejvýš jednu osobu, bez které by se vytápění neobešlo. Jako další nevýhoda je zajisté znečišťování ovzduší a tím i nepříznivý dopad na jeho okolí. Dalším způsobem je použití plynového nebo kondenzačního kotle, na který je zaměřena i tato práce. Kondenzační kotle dosahují velmi vysoké účinnosti a při dnešní ceně na trhu se tak jeví jako výhodnější varianta oproti kotli na tuhá paliva. Jako dalším způsobem vytápění je použití elektrokotle, které se jeví z těchto tří variant jako nejekologičtější a nejkomfortnější. Oproti plynovému kotli je i méně náročný na údržbu až téměř bezúdržbový. Při dnešní ceně elektrické energie na trhu je ovšem použití elektrokotle pro budovy s vyššími tepelnými ztrátami nejméně ekonomické. Posledním vybraným možným způsobem zásobení budovy teplem je pomocí centrálního zásobování z přilehlé teplárny TEBYT-HB, spol. s.r.o.

V druhém bodě je popsána konstrukce budovy, ze které jsou vypočítány tepelné ztráty prostupem tepla. Tyto tepelné ztráty jsou vypočítány pro obálku budovy, do které je zahrnuta podlaha, obvodová stěna, strop, okna a dveře. K těmto tepelným ztrátám prostupem tepla se přičítávají tepelné ztráty větráním, které jsou počítány na základě hygienicky stanoveného počtu větrání přes den. Z celkových tepelných ztrát je následně vypočítána roční spotřeba tepla pro vytápění a pro ohřev teplé užitkové vody.

V dalším bodě je pro pokrytí těchto tepelných ztrát navržena otopná soustava. Provádí se návrh otopných těles pro pokrytí tepelných ztrát každé obývané místnosti, dimenzování a hydraulické vyvážení otopného potrubí a podlahového vytápění, výběr kondenzační kotle společně s oběhovými čerpadly a expanzní nádobou. V chodbě se již během rekonstrukce počítalo s podlahovým vytápěním, a to napájené z topného potrubí. V práci je navrženo podlahové vytápění napájené z vratného potrubí, díky čemu tak zvýšíme celkovou účinnost vytápění a ušetříme výkon nutný pro jeho vytápění.

V posledním bodě se zabýváme ekonomickým zhodnocením třech zvolených druhů vytápění pro tuto budovu. Nejdříve je vypočítána roční spotřeba tepla pro vytápění a ohřev TUV, pro kterou jsou vypočítané roční provozní náklady společně s pořizovacími náklady jednotlivých typů zdrojů. Je provedeno ekonomické porovnání mezi sebou a konečná návratnost kondenzační kotle v porovnání s kotlem na tuhá paliva.

Cílem této diplomové práce je kompletní návrh plynové kotelny s otopnou soustavou využitelný pro danou budovu v Horní Bříze. Kromě návrhu je díky indispozice většiny technické dokumentace velkým přínosem věrohodný 3D model sokolovny a půdorys včetně všech rozměrů budovy pro další použití.

Seznam symbolů a zkratek

HDO	Hromadné dálkové ovládání
U	Součinitel tepelné vodivosti [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
t_{em}	Střední denní venkovní teplota pro začátek a konec otopného období
λ	Součinitel tepelné vodivosti [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
d	Šířka [m]
R_{T}	Odpor při prostupu tepla konstrukce [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$]
$\Phi_{\text{T},i}$	Tepelná ztráta prostupem tepla [W; $\text{W}\cdot\text{K}^{-1}$, K]
$H_{\text{T},ie}$	Měrná tepelná ztráta prostupem z vytápěné místnosti (i) do venkovního prostředí (e) pláštěm budovy [$\text{W}\cdot\text{K}^{-1}$]
$H_{\text{T},iue}$	Měrná tepelná ztráta prostupem z vytápěné místnosti (i) do venkovního prostředí (e) nevytápěným prostorem (u) [$\text{W}\cdot\text{K}^{-1}$]
$H_{\text{T},ig}$	Měrná tepelná ztráta prostupem z vytápěné místnosti (i) do zeminy (g) za ustáleného stavu [$\text{W}\cdot\text{K}^{-1}$]
$H_{\text{T},ij}$	Měrná tepelná ztráta prostupem z vytápěné místnosti (i) do sousedního prostoru (j) vytápěného na výrazně jinou teplotu [$\text{W}\cdot\text{K}^{-1}$]
$\theta_{\text{int},i}$	Vnitřní výpočtová teplota vytápěné místnosti (i) [$^{\circ}\text{C}$]
θ_e	Venkovní výpočtová teplota [$^{\circ}\text{C}$]
R_{si}	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$]
R_{se}	Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$]
A_{k}	Plocha stavební části [m^2]
ϵ_{k}	Korekční činitel, který se uplatňuje v případě tepelných mostů v konstrukci [-]
A_{j}	Plocha konstrukce [m^2]
b_{j}	Teplotní redukční činitel [-]
G_{w}	Korekční činitel zohledňující vliv spodní vody, volíme hodnotu 1 pokud je spodní voda hlouběji než 1 m pod úrovní podlahy [-]
$f_{\text{g}1}$	Korekční činitel zohledňující roční změnu venkovní teploty [-]
Θ_{j}	Výpočtová teplota nevytápěné místnosti [$^{\circ}\text{C}$]
$\Phi_{\text{V},i}$	Tepelná ztráta větráním [W]
$H_{\text{V},i}$	Měrná tepelná ztráta větráním [W/K]
Θ_e	Venkovní výpočtová teplota [$^{\circ}\text{C}$]

V_i	Objemový tok vzduchu vytápěné místnosti (i) [m^3/s]
ρ	Hustota vzduchu při teplotě $\Theta_{\text{int},i}$ [kg/m^3]
c_p	Měrná tepelná kapacita vzduchu při teplotě $\Theta_{\text{int},i}$ [$\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$]
Q_v	Tepelná energie pro vytápění [Wh/rok]
Φ_i	Celkové ztráty budovy [W]
d	Počet dnů ve vytápěcím období [dny]
Θ_{is}	Průměrná vnitřní teplota objektu nebo místnosti [$^{\circ}\text{C}$]
Θ_{es}	Průměrná venkovní teplota za otopné období [$^{\circ}\text{C}$]
Θ_{en}	Oblastní venkovní výpočtová teplota [$^{\circ}\text{C}$]
ε	Opravný součinitel [–]
$Q_{\text{TUV},d}$	Tepelná energie pro ohřev TUV [Wh]
c	Měrná tepelná kapacita vody [$\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$]
V_{2p}	Celková potřeba TV pro všechny osoby [m^3/den]
t_2	Teplota dodávané teplé vody [$^{\circ}\text{C}$]
t_1	Teplota vody na vstupu do zásobovacího systému [$^{\circ}\text{C}$]
$Q_{\text{TUV},r}$	Roční tepelná energie pro ohřev TUV [Wh/rok]
t_{svl}	Teplota studené vody v létě [$^{\circ}\text{C}$]
t_{svz}	Teplota studené vody v zimě [$^{\circ}\text{C}$]
N	Počet pracovních dní soustavy v roce [dny]
Q_R	Celková roční potřeba tepla na vytápění a ohřev teplé vody [Wh/rok]
Q_T	Tepelný výkon otopného tělesa do místnosti [W]
Λ_a	Tepelná propustnost vrstvy nad trubkami [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$]
s_i	Tloušťka jednotlivých vrstev nad osou trubek [m]
λ_i	Součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev nad osou trubek [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$]
α_p	Součinitel přestupu tepla na povrchu otopné plochy [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$]
Λ_b	Tepelná propustnost vrstvy nad trubkami [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$]
R_{str}	Tepelný odpor konstrukce pod vrstvou trubek [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$]
α'_p	Součinitel přestupu tepla na spodní straně otopné podlahy [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$]
m	Charakteristické číslo podlahy [m^{-1}]
λ_{vr}	Součinitel tepelné vodivosti materiálu, do kterého jsou zality trubky [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$]
d_t	Vnější průměr trubek [m]
R	Vzdálenost krajní trubky otopného hada od stěny [m]
α_p	Celkový součinitel prostupu tepla na povrchu otopné plochy

α_s	Tepelný tok sáláním
α_k	Tepelný tok konvekcí
ϵ_{pod}	Emisivita povrchu podlahy [-]
c_0	Součinitel sálání absolutně černého tělesa [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$]
t_p	Povrchová teplota podlahové plochy [$^{\circ}\text{C}$]
t_i	Teplota vzduchu [$^{\circ}\text{C}$]
q	Měrný tepelný výkon otopné plochy [W/m^2]
q'	Měrný tepelný tok podlahové otopné plochy směrem dolů [W/m^2]
Q_p	Tepelný výkon podlahové otopné plochy [W]
S_p	Skutečná podlahová plocha otopného hada [m^2]
Q_o	Tepelný výkon okrajové plochy u stěny [W]
O_p	Obvod otopné podlahové plochy vymezený krajními trubkami [m]
Q_{pc}	Výsledný tepelný výkon podlahové otopné plochy
m	Hmotnostní průtok [l/s]
Q	přenášený tepelný výkon [W]
t_1	teplota vstupní vody [$^{\circ}\text{C}$]
t_2	teplota vratné vody [$^{\circ}\text{C}$]
w	Rychlost teplotnosné látky v potrubí [m/s]
Re	Reynoldsovo číslo [-]
λ	Součinitel tření [-]
ν	Součinitel kinematické viskozity [m^2/s]
R	Měrná tlaková ztráta třením [Pa/m]
l	Délka posuzovaného úseku potrubí [m]
Δp_{zm}	Tlakové ztráty místními odpory [Pa]
ζ	Součinitel místního odporu [-]
Δp_z	Celkové tlakové ztráty [Pa]
Δp_{zt}	Tlakové ztráty třením [Pa]
Ú.O	Úplné otevření
V	Objemový průtok čerpadla [l/hod]
H	Dopravní výška čerpadla [m]
Δp	Tlakové ztráty okruhu [Pa]
g	Tíhové zrychlení [m/s^2]
ρ	Měrná hustota vody [kg/m^3]
$\Delta\Theta$	Maximální rozdíl teplot [$^{\circ}\text{C}$]

Θ_{\max}	Maximální teplota v soustavě [°C]
Θ_{\min}	Minimální teplota v soustavě [°C]
$p_{h,dov}$	Nejvyšší dovolený tlak [kPa]
p_{pv}	Nejvyšší povolený tlak pojistného ventilu [kPa]
p_b	Atmosférický tlak [kPa]
$p_{d,dov}$	Hydrostatický tlak soustavy [kPa]
η	Stupeň využití expanzní nádoby [-]
V_{exp}	Objem expanzní nádoby [l]
H_{ZP}	Výhřevnost zemního plynu [MJ/m ³]
Q_r	Celková spotřeba energie za rok [MJ/rok]
$H_{\check{C}U}$	Výhřevnost černého uhlí [MJ/kg]

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1.1 KONDENZAČNÍ KOTEL PANTHER CONDENS 48 kW [3].....	18
OBRÁZEK 2.1 PŮDORYS BUDOVY S JEDNOTLIVÝMI ROZMĚRY	23
OBRÁZEK 2.2 3D MODEL BUDOVY S PROCENTUÁLNÍM ZOBRAZENÍM TEPELNÝCH ZTRÁT PROSTUPEM	30
OBRÁZEK 2.3 GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ TEPELNÝCH ZTRÁT BUDOVY V PROCENTECH.....	33
OBRÁZEK 3.1 ROZDĚLOVAČ GIACOMINI R553D [19].....	46
OBRÁZEK 3.2 SYSTÉM IVAR.DD 351 [19]	47
OBRÁZEK 3.3 SCHÉMA PŘIPOJENÍ SYSTÉMU IVAR.DD 351 K OTOPNÉMU TĚLESU [19].....	47
OBRÁZEK 3.4 DIAGRAM PRO URČENÍ TLAKOVÝCH ZTRÁT REGULAČNÍHO ŠROUBENÍ [19].....	48
OBRÁZEK 3.5 DIAGRAM PRO URČENÍ TLAKOVÝCH ZTRÁT BY-PASSU [19]	49
OBRÁZEK 3.6 A) OBRÁZEK KONDENZAČNÍHO KOTLE VAILLANT VU ecoTEC PLUS 806/5-5, B) VNITŘNÍ SCHÉMA KONDENZAČNÍHO KOTLE [20]	51
OBRÁZEK 3.7 EXPANZNÍ NÁDOBA REFLEX NG 12/6	53
OBRÁZEK 4.1 GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ CELKOVÝCH NÁKLADŮ TEPELNÝCH ZDROJŮ.....	57
OBRÁZEK 0.1 PŮDORYS BUDOVY V NÁVRHEM OTOPNÉ SOUSTAVY	4

Seznam tabulek

TABULKA 2.1 VNITŘNÍ VÝPOČTOVÉ TEPLoty JEDNOTLIVÝCH MÍSTNOSTÍ [5]	22
TABULKA 2.2 VENKOVNÍ VÝPOČTOVÁ TEPLota PRO OBLAST [6]	22
TABULKA 2.3 PARAMETRY KONSTRUKCE PODLAHY NAD SKLEPEM	24
TABULKA 2.4 PARAMETRY KONSTRUKCE OBVODOVÉ STĚNY.....	25
TABULKA 2.5 PARAMETRY KONSTRUKCE PODLAHY NAD ZEMINOU	25
TABULKA 2.6 PARAMETRY KONSTRUKCE STROPU POD NEVYTÁPĚNÝM PROSTOREM	26
TABULKA 2.7 TEPELNÝ ODPOR PŘI PŘESTUPU TEPLA	28
TABULKA 2.8 TEPELNÉ ZTRÁTY JEDNOTLIVÝCH KONSTRUKCÍ BUDOVY A JEJICH CELKOVÁ ZTRÁTA.....	30
TABULKA 2.9 TEPELNÉ ZTRÁTY VĚTRÁNÍM	31
TABULKA 2.10 CELKOVÉ ZTRÁTY PROSTUPEM TEPLA A VĚTRÁNÍM CELÉHO OBJEKTU	32
TABULKA 3.1. TEPELNÉ ZTRÁTY MÍSTNOSTÍ	37
TABULKA 3.2 VÝBĚR OTOPNÝCH TĚLES PRO JEDNOTLIVÉ MÍSTNOSTI	38
TABULKA 3.3 MAXIMÁLNÍ POVRCHOVÉ TEPLoty	38
TABULKA 3.4 ROZBOR VRSTVY NA TRUBKAMI.....	39
TABULKA 3.5 ROZBOR POD NA TRUBKAMI.....	39
TABULKA 3.6 VYPOČÍTANÉ HODNOTY PRO JEDEN PODLAHOVÝ OKRUH	41
TABULKA 3.7 NÁVRH OTÁČEK ŠROUBENÍ A BY-PASSU PRO VYREGULOVÁNÍ SOUSTAVY	46
TABULKA 3.8 TABULKA HODNOT PRO URČENÍ OTÁČEK ŠROUBENÍ.....	48
TABULKA 3.9 TABULKA HODNOT PRO URČENÍ OTÁČEK BY-PASSU	48
TABULKA 3.10 NÁVRHOVÉ HODNOTY PRO OBĚHOVÉ ČERPADLO OTOPNÉ SOUSTAVY	50
TABULKA 3.11 NÁVRHOVÉ HODNOTY PRO CÍRKULAČNÍ ČERPADLO PODLAHOVÉHO VYTÁPĚNÍ	50
TABULKA 3.12 OBJEM VODY V SOUSTAVĚ	52
TABULKA 3.13 SOUČINITEL ZVĚTŠENÍ OBJEMU PRO DANÝ MAXIMÁLNÍ ROZDÍL TEPLot	52
TABULKA 3.14 VYPOČÍTANÉ HODNOTY PRO NÁVRH EXPANZNÍ NÁDOBY	53
TABULKA 4.1 CELKOVÁ SPOTŘEBA TEPELNÉ ENERGIE PRO VYTÁPĚNÝ OBJEKT	54
TABULKA 4.2 CENY PLYNU DODAVATELŮ PRO PLZEŇSKÝ KRAJ	55
TABULKA 4.3 PŘEHLED POŘIZOVACÍCH CEN KOTLŮ.....	56
TABULKA 4.4 PROVOZNÍ NÁKLADY JEDNOTLIVÝCH ZDROJŮ PO DOBU 7 LET.....	56
TABULKA 4.5 CELKOVÁ NÁVRATNOST V OBDOBÍ PROVOZU 7 LET	57
TABULKA 0.1 TABULKA SOUČINITELŮ MÍSTNÍCH ODPORŮ	3

1 Současné způsoby zásobení budovy teplem

Při průzkumu oblasti v Horní Bříze a územního plánu jsou zvoleny možné způsoby zásobení budovy teplem. Na pozemku, kde se budova nachází, vede ve vzdálenosti do 5 m od budovy středotlaký plynovod, na který je možné zřídit plynovou přípojku pro vytápění plynovým kotlem. Kromě vytápění plynem je zde možnost se napojit na centrální zásobování teplem z přilehlé teplárny firmy TEBYT-HB, spol. s.r.o., která zásobuje např. veškeré bytové jednotky v Horní Bříze i se základní školou. Jako další možný způsob, avšak dosud nejnákladnější, se jeví způsob elektrického vytápění. Jako elektrické vytápění zde můžeme použít buď elektrický kotel, tepelné čerpadlo nebo připojení na HDO. V neposlední řadě se musí zahrnout i vytápění kotlem na tuhá paliva, které na úkor nekomfortnosti se stále jeví jako nejméně nákladné. Porovnání těchto možností zásobení budovy teplem je zanalyzováno v následujících podkapitolách.

1.1 Kotel na tuhá paliva

I přesto, že topení tuhými palivy jako je například uhlí, dřevo nebo brikety, má značné nevýhody, tak se stále využívá i v dnešní době, a ještě dlouho bude. Nesporná výhoda topení tuhými palivy spočívá především v levných nákladech za topení. Dnešní ceny na trhu za uhlí, brikety či dřevo mohou ušetřit roční náklady za topení až téměř trojnásobně oproti topení například plynem. Proto se v současné době v České republice využívají kotle na tuhá paliva u více než 500 tisíci domácností. Nemusí jít ani tak o hlavní zdroj tepla domácnosti, ale i jako doplňkové vytápění před spuštěním primárního zdroje tepla nebo jako vytápění v krbových kamnech. Mezi tuhá paliva patří kromě různých druhů fosilních paliv, jako je antracit, lignit, rašelina, černé uhlí a hnědé uhlí také zušlechtěná tuhá paliva, vzniklá přeměnou jiných druhů paliv, jako jsou koks, polokoks a nejčastěji používané brikety. [1]

Kotle na tuhá paliva se rozdělují na 4 základních druhy, podle technologie spalování, a to na automatický, zplyňovací, odhořivací a prohořivací kotel.

Prohořivací kotel

Spaliny vzniklé postupným spalováním procházejí přes vrstvu paliva. V tomto kotli dochází k rychlému nahoření celé vrstvy paliva a díky tomu je i tento kotel značně omezený v regulaci výkonu. I přes jednu z nejnižších účinností 40–60 % je tento typ v domácnostech velmi oblíbený, a to především díky možnosti spalováním čehokoliv. Tato

technologie spalování ovšem nesplňuje legislativu pro ochranu ovzduší pro rok 2022 a proto nebudou po tomto roce moci být provozovány.

Odhořovací kotel

Vzhledem k tomu, že palivo je spalováno ve spodní části násypky, spaliny neprocházejí přes celou vrstvu paliva. Tato technologie spalování je proto snadněji regulovatelná přísunem vzduchu. Účinnost je u tohoto kotle 60–75 %. Vyšší účinnost oproti předchozímu kotli je zapříčiněna tím, že hořlavina uvolněná z palivové násypky prochází vysokoteplotní zónou ve spalovací komoře a tím se dosáhne vyššího využití této hořlaviny.

Zplyňovací kotel

Jediným rozdílem oproti odhořovacímu kotli je přidání ventilátor, kterým je řízen přísun spalovacího vzduchu. Tento ventilátor tak může přesněji regulovat průběh spalování i výkon kotle. Díky této regulaci je tak dosaženo o něco vyšší účinnosti 70-80 % při spalování hnědého uhlí oproti předchozím dvěma kotlům. [2]

Automatický kotel

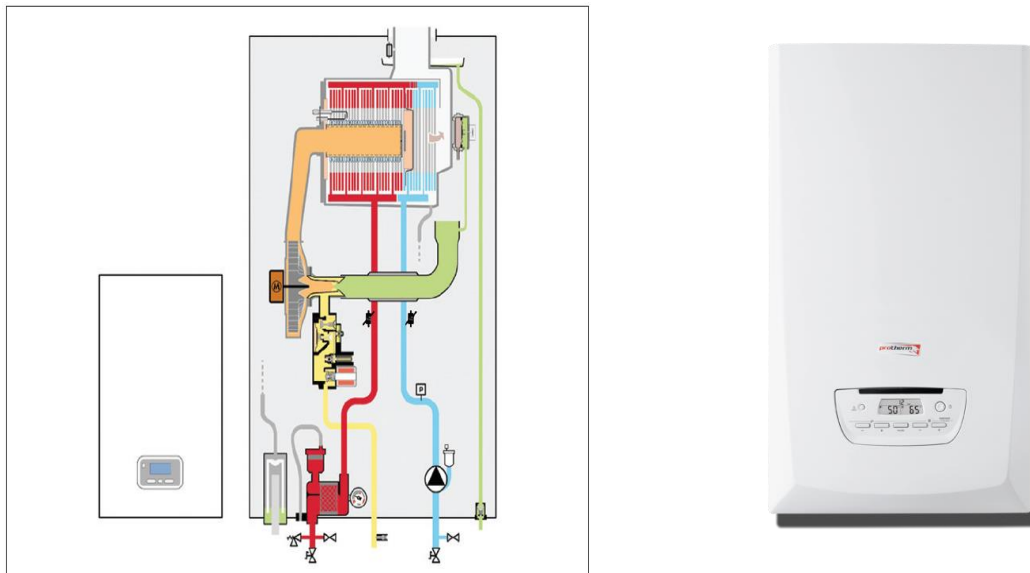
Jak je již zmíněno v samotném názvu kotle, dochází zde k samočinné dodávce paliva do kotle a regulace přísunu vzduchu ventilátorem. Díky tomu zde dosahujeme nejlepší účinnosti mezi kotly na tuhá paliva, a to 75-85 % při spalování hnědého uhlí. Tato technologie si získává jistý potenciál díky této účinnosti a produkovaných emisí.

Pro naši budovu se jako nejvýhodnější varianta jeví nejúčinnější automatický kotel, resp. Kotel na tuhá paliva s automatickým podavačem. Díky kotlíkovým dotacím, které nám ušetří až 70 % z ceny kotle se dostaneme na bezkonkurenční cenu. S přihlédnutím k těmto okolnostem již teď mohu s jistotou říci, že tato varianta bude nejvýhodnější pro majitele, ovšem nejméně šetrná k životnímu prostředí. [2]

1.2 Plynový kotel

Vytápění plynovými kotly je v dnešní době nejvyužívanější metodou. Je to především vzhledem k nižším provozním nákladům oproti elektrokotlům. Při spalování plyných paliv je nejčastěji využíván zemní plyn díky jeho ceně na trhu. Účinnost využití vytápění zemním plynem s využitím kondenzace a dokonalé regulace spalovacího procesu dosahuje až 98 %. Kromě zemního plynu se ještě využívají plyny jako je svítiplyn, propanbutan a bioplyn. Svítiplyn se pro vytápění využívá jen omezeně, je to především z důvodu obsahu oxidu uhelnatého. [2]

Plynové kotle se dělí na standartní nebo vysoce účinné plynové kondenzační kotle, které mohou dosahovat účinnosti až 108 %. Tento rozdíl účinnosti vzhledem k ostatním tepelným zdrojům nám z dlouhodobého hlediska může ušetřit značné provozní náklady. Příklad kondenzačního kotle je uveden v obrázku 1.1.



Obrázek 1.1 Kondenzační kotel Panther Condens 48 kW [3]

1.3 Elektrická energie

Vytápění pomocí elektrické energie je z hlediska komfortnosti nejpohodlnějším způsobem vytápění. Elektrické zdroje tepla můžeme rozdělit na elektrokotle, tepelná čerpadla a přímotopy nebo akumulární zdroje, které jsou popsány v následujícím textu níže. Co se týče pořizovacích nákladů, patří elektrokotel mezi nejlevnější variantu oproti plynovému nebo kotli na tuhá paliva. Oproti tomu cena tepelného čerpadla výrazně převyšuje pořizovací náklady všech zmíněných druhů zdrojů tepla. I když je způsob vytápění pomocí elektrické energie nákladnější oproti ostatním způsobům, existuje pro něj speciální dvoutarifové sazby cen elektřiny, kdy mohou koncový uživatelé ušetřit v případě využití nižšího tarifu. Na tento nižší tarif se přechází jen v daném období, které je dáno potřebou elektrické soustavy. V případě potřeby je elektrická topná soustava informována prostřednictvím HDO signálu z dané přípojky a uživatel tak odebírá levnější elektrickou energii. V případě využití této možnosti ušetříme téměř 50 % ceny za energii. Cena plného tarifu je aktuálně 4,33 Kč za kWh a nízkého tarifu 2,02 Kč za kWh. [4]

Přímotop

Jako přímotopy mohou být použity různé technologické prvky jako jsou sálavé panely, radiátory, infrazářiče, přímotopné konvektory nebo podlahové topné fólie. V naší

budově, která má některé místnosti vysoké až 5,9 m, by se sálavé panely nebo infrazářiče na tolik neuplatnili.

Akumulace

Akumulační zdroje slouží právě k ukládání energie získané v době nízkého tarifu do akumulátoru tepla a následně v době klasického tarifu byla energie uvolněna v podobě tepla pro vyhřátí vnitřního vzduchu. Tyto zdroje mohou být umístěné ve vytápěném prostoru jako akumulční kamna, topné podlahové kabely nebo topné fólie nebo jako zdroj pro rozvod teplé vody do otopné soustavy v podobě akumulčního teplovodního zásobníku.

Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo se v dnešní době stává čím dál větším hitem pro vytápění rodinných domů. Topení tepelným čerpadlem v dnešní době využívá více jak 300 tisíc domácností. Nespornou zásluhu na tomto množství tepelných čerpadel v provozu mají především kotlíkové dotace. Tepelná čerpadla rozdělujeme do třech základních skupin, a to podle druhu nízkoteplotního zdroje tepla, poskytující daná lokalita. Tepelné čerpadlo může být vzduch/voda, země/voda nebo voda/voda. Nejčastěji využívaná tepelná čerpadla jsou vzduch/voda, je to dáno především dostupností nízkoteplotního zdroje tepla a finančními náklady. V případě lokality poblíž řeky, potoka nebo možnosti využití studny se využívá čerpadlo voda/voda, které má oproti vzduch/voda výhodu především v poměrně stálé výpočtové teploty venkovní vody pro ohřev chladiva v čerpadle oproti vzduchu. Nejnákladnější, avšak neúčinnější dodávku tepla chladivu představuje typ země/voda, kdy nízkoteplotní zdroj tepla představuje zemní vrt nebo kolektory zabudované pod povrchem zemi. Toto provedení tepelného čerpadla však stále není moc využíváno vzhledem k nákladnému zemnímu vrtu.

Pro tepelné čerpadlo je nutné, aby příslušné jím vytápěné budovy byly důkladně tepelně izolovány. V případě návratnosti investičních nákladů na tepelné čerpadlo by se v případě nedostatečné izolace budovy nekompensovali sníženými provozními náklady a investice by byla více nevýhodná nežli výhodná. Proto měrný tepelný výkon vztahující se na plochu podlahy budovy nesmí překročit hodnotu 75 až 80 W/m². Pro navrhovanou budovu překračuje tento měrný výkon hodnotu 105 W/m², a proto je pro budovu momentálně nevýhodné. V případě budoucí rekonstrukce zateplení budovy a podlahy se tento způsob vytápění jeví již jako přijatelný, avšak s počátečními, vysokými, finančními náklady.

Elektrokotel

Elektrokotel pomocí elektrických topných patron ohřívá vodu v trubkách elektrokotle. Tento způsob značí poměrně jednoduchou konstrukci zařízení, a i přes ní dosahují elektrokotle výborné účinnosti přesahující 99 %. S elektrokotlem také odpadají veškeré pravidelné čištění a revize. Díky tomu jsou náklady na servis a náhradní díly téměř nulové. I přes nízký noční tarif jsem po analýze elektrokotle usoudil, že se tento zdroj tepla využívá především v bytech nebo malých zateplených rodinných domech, kde se ocení zejména jeho malé rozměry, tichý provoz nebo nepotřeba zajištění přístupu vzduchu. Pro naši budovu je tak nevhodný. [1]

1.4 Centrální zásobování teplem CZT

Centrální zásobování teplem je z principu výroba tepla z jednoho nebo více zdrojů a jeho následný rozvod zajištěný tepelnými sítěmi k jednotlivým celkům jako je sídliště, výrobní haly apod.

Tyto zdroje tepla mohou být:

- Výtopna
- Teplárna
- Paroplynová teplárna
- Kogenerační motor

V naší lokalitě v Horní Bříze se nachází výtopna, zásobující místní sídliště, školu či obchodní centrum. Pro náš objekt by se muselo navrhnout teplovodní potrubí dlouhé přibližně 100 m k napojení ze sídliště. Tato přípojka by byla poměrně nákladná, ale z hlediska dlouhodobých provozních nákladů jistě zajímavá varianta. Ekonomické zhodnocení s dalšími varianty vytápění bude provedeno v poslední kapitole této diplomové práce. [1]

2 Výpočet spotřeby tepla budovy

2.1 Popis budovy

Sokolovna je osaměle stojící budova na nechráněném místě v Horní Bříze, pro kterou je stanovena venkovní výpočtová teplota -12 °C . Jedná se o jednopodlažní budovu s nevytápěným podkrovím, která je částečně podsklepená. Sklep se rozprostírá pod celou společenskou místností až do poloviny délky chodby. Je ze dvou třetin zapuštěný pod úroveň povrchu zeminy, proto je pro něj stanovena výpočtová teplota 3 °C . Budova je stavěna z plných pálených cihel. Tato, skoro sto let stará budova, je ještě bez tepelné izolace podlahy, protože se dříve tento způsob zateplení podlahy nepoužíval a místo něj se pod podlahu většinou dávala suť s drceným dřevem. Aktuálně probíhají rekonstrukce a prozatím jsou vyměněná veškerá okna a dveře za plastové, se součinitelem tepelné vodivosti $U = 1,1\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. V budoucnu se chystá i výměna a zateplení podlahy v tělocvičně. Počet větrání za hodinu je stanoven na $n = 0,3\text{ h}^{-1}$. Délku otopného období nám určuje zvolená hodnota, pod kterou klesne teplota alespoň po dobu dvou za sebou jdoucích dnů, nazývána střední denní venkovní teplotou pro začátek a konec otopného období t_{em} . Tuto hodnotu si každý může zvolit dle uvážení a dle své hranice tepelného pohodlí, ovšem nejčastěji se volí hodnoty 12, 13 nebo 15 stupňů. V našem případě jsme si zvolili hodnotu 13 °C , pro kterou se dle tabulky 2.2 vztahují hodnoty střední venkovní teploty za otopné období $3,6\text{ °C}$ a délka otopného období je 242 dnů. Z těchto určených hodnot se bude primárně vycházet u denostupňové metody.

Kromě těchto klimatických údajů je zapotřebí si stanovit vnitřní výpočtové teploty ve všech vytápěných místnostech. Tabulka 2.1 znázorňuje vnitřní výpočtové teploty místností našeho objektu dle normy ČSN EN 12831 a relativní vlhkost vycházející z normy ČSN 06 0210.

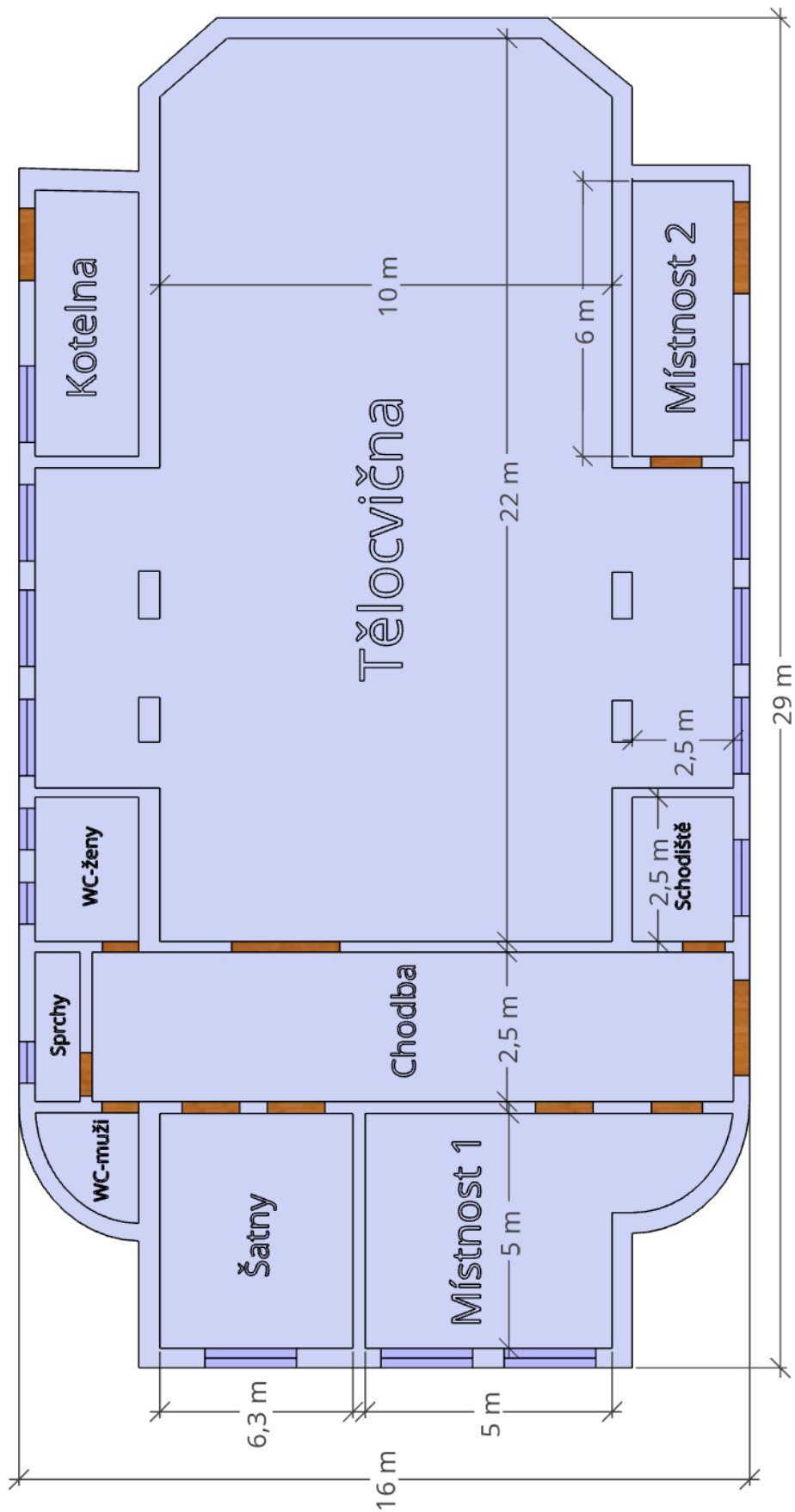
Tabulka 2.1 Vnitřní výpočtové teploty jednotlivých místností [5]

	Teplota [°C]	Vlhkost [-]
Tělocvična	15	70
Šatna	20	60
Umývárna, sprcha	24	90
Chodba	15	60
Společenská místnost	20	60
Záchody	20	60
Převlékárna	20	60

Tabulka 2.2 Venkovní výpočtová teplota pro oblast [6]

Lokalita (místo měření)	Nadmořská výška	Venkovní výpočtová teplota	Otopné období pro					
			$t_{em}=12^\circ$		$t_{em}=13^\circ$		$t_{em}=15^\circ$	
			t_{es}	d	t_{es}	d	t_{es}	d
	h	t_e	[°C]	[dny]	[°C]	[dny]	[°C]	[dny]
	[m]	[°C]	[°C]	[dny]	[°C]	[dny]	[°C]	[dny]
Plzeň	311	-12	3,3	233	3,6	242	4,8	272

Rozměry budovy pro výpočet jsou znázorněné v obrázku 2.1.



Obrázek 2.1 Půdorys budovy s jednotlivými rozměry

2.1.1 Popis konstrukce obálkových stěn budovy

Obálku budovy tvoří stěny, mezi které řadíme ty, které jsou přímo ochlazovány venkovním vzduchem nebo zeminou. Budovu si tak rozdělíme na části, pro které počítáme ztráty prostupem tepla a těmi je strop, obvodová stěna, okna, venkovní dveře a podlaha. V našem případě podlahu ještě rozdělujeme na podlahu nad zeminou a podlahu nad sklepem. V následujících tabulkách jsou vyobrazeny jednotlivé vrstvy stěn s jejich šířkou d a tepelnou vodivostí λ . Z těchto vstupních parametrů je spočten jejich součinitel prostupu tepla konstrukce, který potom dosazujeme do výpočtu tepelných ztrát.

V tabulce 2.3 můžeme vidět složení podlahy nad sklepem, kde z pohledu z interiéru je pokryta dlaždicemi a obsahuje vrstvu asfaltové lepenky, sloužící jako hydroizolace. Součinitel prostupu tepla zde vychází $U = 1,76 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, což je poněkud vyšší hodnota oproti doporučené. V současné době se zde provádějí stavební práce, kdy se upravuje stávající podlaha na vytápěnou podlahu. Touto úpravou povrchu bude dosažena výrazně nižší hodnota.

Tabulka 2.3 Parametry konstrukce podlahy nad sklepem

		Podlaha nad sklepem		
		Materiál	Tloušťka d [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
interiér ↓		Keramické dlaždice	0,01	1,3
		Lepící tmel	0,008	0,2
		Beton hutný	0,05	1,23
exteriér		Asfalt	0,005	0,7
		Železobeton	0,2	1,43
		Odpor při prostupu tepla konstrukce	R_T [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$]	0,57
		Součinitel prostupu tepla konstrukce	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]	1,76

Jako jedna z největších slabin budovy, co se týče úniku tepla prostupem se jeví obvodová stěna, jejíž konstrukce je znázorněná v tabulce 2.4. Ta je před rekonstrukcí zateplení budovy, a proto je tvořena pouze z pálených cihel a omítky. Součinitel prostupu tepla zde vychází $U = 1,28 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, což je nevyhovující oproti doporučené hodnotě v normě ČSN 73 0540.

Tabulka 2.4 Parametry konstrukce obvodové stěny

		Obvodová stěna (d = 0,48m)		
		Materiál	Šířka d [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W.m-1.K-1]
interiér ← exteriér		Omítka vápenná	0,015	0,88
		Cihla pálená 290*140*65	0,45	0,78
		Omítka vápenná	0,015	0,88
		Odpor při prostupu tepla konstrukce	R_T [m ² .K/W]	0,78
		Součinitel prostupu tepla konstrukce	U [W.m-2.K-1]	1,28

V následující tabulce 2.5 je popsána konstrukce podlahy nad zemínou, složená pouze z betonu, lepicího tmele, asfaltové vrstvy a keramických dlaždicí. Součinitel prostupu tepla této podlahy nabývá hodnoty $U = 1,71 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$, což se výrazně vychyluje od požadované hodnoty $0,35 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ podle normy ČSN 73 0540. Jako zásadní prvek v konstrukci chybí tepelná izolace polystyrénem, který se bohužel do takto starých budov ještě nedával. Během dosavadních informací se má tato podlaha zateplovat v průběhu jednoho následujícího roku. Porovnání těchto podlah a následná úspora budou znázorněné v další kapitole.

Tabulka 2.5 Parametry konstrukce podlahy nad zemínou

		Podlaha nad zemínou		
		Materiál	Tloušťka d [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
interiér ← exteriér		Dřevo	0,02	0,12
		Lepicí tmel	0,008	0,2
		Beton hutný	0,05	1,23
		Asfalt	0,005	0,7
		Beton hutný	0,05	1,23
		Odpor při prostupu tepla konstrukce	R_T [m ² .K/W]	0,59
		Součinitel prostupu tepla konstrukce	U [W.m ⁻² .K ⁻¹]	1,71

Veškeré místnosti v budově zastřešuje strop pod nevytápěným podkrovím, jehož prvky jsou znázorněny v tabulce 2.6. Díky použití 30 cm skelné vaty po celé ploše stropu je dosaženo hodnoty součinitele prostupu tepla $U = 0,15 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$. Z této hodnoty vyplývá, že skrze strop uniká nejméně tepla ze všech použitých konstrukcí.

Tabulka 2.6 Parametry konstrukce stropu pod nevytápěným prostorem

		Strop pod nevytápěným prostorem		
		Materiál	Tloušťka d [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
interiér ←		Omítka vápenná	0,015	0,88
		Železobeton	0,2	1,43
exteriér		Skelná vata	0,3	0,05
		Dřevotřískové desky	0,02	0,18
		Odpor při prostupu tepla konstrukce	R_T [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$]	6,47
		Součinitel prostupu tepla konstrukce	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]	0,15

2.2 Výpočet tepelných ztrát prostupem

Výpočet tepelných ztrát prostupem tepla obvodovou stěnou je rozdělený na jednotlivé části podle místností sousedící s venkovním prostředím. Tímto je zahrnuta odlišná vnitřní výpočtová teplota a odlišné výšky konstrukce. Stejně rozdělení podle vnitřních teplot místností jsme použili i pro výpočet ztrát prostupem podlahy a stropu. Výsledná tepelná ztráta prostupem celého objektu je součet všech těchto ztrát. Tepelné ztráty budovy se počítají dle stávající normy ČSN EN 12831. Tato norma nově zahrnuje i tzv. „tepelné mosty“, což je místo v konstrukci stěny, ve kterém dochází k většímu úniku tepla z interiéru do exteriéru, oproti jeho blízkému okolí. Pomocí této normy dnes již počítáme tepelné ztráty především u moderních pasivních, nízkoenergetických domů, u kterých se vliv těchto mostů projeví nejzásadněji. Avšak pro náš výpočet jsem postupoval pomocí staré normy ČSN 06 0210, která tyto mosty zanedbává. Uplatnění této normy najdeme při výpočtech pro staré budovy, kde se tyto mosty zvláště neuplatňují a nevznikne tak zbytečně předimenzovaný zdroj tepla, s čím souvisejí i vyšší počáteční náklady. Tepelná ztráta prostupem tepla vytápěné místnosti nebo prostoru se vypočítá podle vzorce

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [\text{W}; \text{W}\cdot\text{K}^{-1}, \text{K}] \quad (1)$$

kde

$H_{T,ie}$ měrná tepelná ztráta prostupem z vytápěné místnosti (i) do venkovního prostředí (e) pláštěm budovy [$\text{W}\cdot\text{K}^{-1}$]

$H_{T,iue}$ měrná tepelná ztráta prostupem z vytápěné místnosti (i) do venkovního prostředí (e) nevytápěným prostorem (u) [$\text{W}\cdot\text{K}^{-1}$]

$H_{T,ig}$	měrná tepelná ztráta prostupem z vytápěné místnosti (i) do zeminy (g) za ustáleného stavu	[W.K ⁻¹]
$H_{T,ij}$	měrná tepelná ztráta prostupem z vytápěné místnosti (i) do sousedního prostoru (j) vytápěného na výrazně jinou teplotu	[W.K ⁻¹]
$\theta_{int,i}$	vnitřní výpočtová teplota vytápěné místnosti (i)	[K]
θ_e	venkovní výpočtová teplota	[K]

Tento vzorec zjednodušeně znázorňuje tepelnou ztrátu prostupem tepla pro budovu jako součet dílčích ztrát skrze všechny stěny vynásobený rozdílem teploty venkovní a vnitřní výpočtové. [2]

Pro výpočet měrných tepelných ztrát prostupem tepla stěny je potřeba si nejprve vypočítat součinitel prostupu tepla konstrukce U. Tento součinitel prostupu tepla ukazuje, jak moc jednotlivá konstrukce je schopná tepelně izolovat okolí od vytápěného prostoru. S pojmem „tepelně izolovat“ úzce souvisí pojem tepelný odpor neboli odpor při prostupu tepla stěnou značený jako R_T . Vypočítá se podle vztahu

$$R_T = R_{si} + R_{se} + R_k \left[\frac{m^2 K}{W} \right] \quad (2)$$

kde

R_{si} odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [m².K/W]

R_{se} odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [m².K/W]

a R_k se vypočítá ze vztahu

$$R_k = \frac{d}{\lambda} \left[\frac{m^2 K}{W} \right] \quad (3)$$

Odpory R_{si} a R_{se} jsou dány normou ČSN 73 0540-3 a jsou znázorněny v tabulce 2.7.

Tabulka 2.7 Tepelný odpor při přestupu tepla

Povrch	Účel výpočtu	Konstrukce / povrch	Tepelný odpor při přestupu tepla R_{se} a R_{si} [$m^2 \cdot K/W$]
vnější	souč.prostupu tepla, povrchové teploty	jednoplášťová	0,04
		dvouplášťová	stejně jako R_{si}
zemina		styk se zeminou	0
vnitřní	souč.prostupu tepla, tepelné toky	stěna (horizont. tep. tok)	0,13
		střecha (tep. tok vzhůru)	0,10
		podlaha (tep. tok dolů)	0,17

Převrácenou hodnotou výsledného tepelného odporu konstrukce získáme součinitel prostupu tepla konstrukce U . [7]

$$U = \frac{1}{R_T} \left[\frac{W}{m^2 K} \right] \quad (4)$$

Měrná tepelná ztráta prostupem tepla z vytápěné místnosti (i) do venkovního prostředí (e) pláštěm budovy se vypočítá ze vztahu

$$H_{T,ie} = \sum A_j \cdot U_j \cdot \varepsilon_k \left[\frac{W}{K} \right] \quad (5)$$

kde

A_k	plocha stavební části	[m^2]
U_j	součinitel prostupu tepla	[$W \cdot M^{-2} \cdot K^{-1}$]
ε_k	korekční činitel, který se uplatňuje v případě tepelných mostů v konstrukci	[-]

V našem výpočtu jsme si tento vzorec zjednodušili, kdy jsme vzhledem ke staré budově, neuvažovali tepelné mosty v konstrukci, a proto korekční činitel $\varepsilon_k = 1$.

Měrná tepelná ztráta prostupem z vytápěné místnosti (i) do zeminy (g) za ustáleného stavu

$$H_{T,ig} = f_{gl} \cdot \sum (A_j \cdot U_j \cdot b_j \cdot G_w) \left[\frac{W}{K} \right] \quad (6)$$

kde

A_j	plocha konstrukce	[m^2]
U_j	součinitel prostupu tepla	[$W \cdot M^{-2} \cdot K^{-1}$]
b_j	teplotní redukční činitel	[-]
G_w	korekční činitel [-] zohledňující vliv spodní vody, volíme hodnotu 1 pokud je spodní voda hlouběji než 1 m pod úrovní podlahy	
f_{gl}	korekční činitel [-] zohledňující roční změnu venkovní teploty, národní hodnota 1,45;	

Měrná tepelná ztráta prostupem z vytápěné místnosti (i) do sousedního prostoru (j) vytápěného na výrazně jinou teplotu

$$H_{T,ij} = \sum A_j \cdot U_j \cdot b_j \left[\frac{W}{K} \right] \quad (7)$$

kde

A_j	plocha konstrukce	$[m^2]$
U_j	součinitel prostupu tepla	$[W \cdot M^{-2} \cdot K^{-1}]$
b_j	teplotní redukční činitel a vypočítá se podílem rozdílů teplot podle vzorce	

$$b_j = \frac{\theta_{int,i} - \theta_j}{\theta_{int,i} - \theta_e} [-] \quad (8)$$

kde

θ_j	výpočtová teplota nevytápěné místnosti	$[^{\circ}C]$
$\theta_{int,i}$	vnitřní výpočtová teplota vytápěné místnosti (i)	$[^{\circ}C]$
θ_e	venkovní výpočtová teplota	$[^{\circ}C]$

Měrná tepelná ztráta prostupem z vytápěné místnosti (i) do venkovního prostředí (e) nevytápěným prostorem (u)

$$H_{T,iue} = \sum A_j \cdot U_j \cdot b_j \left[\frac{W}{K} \right] \quad (9)$$

kde

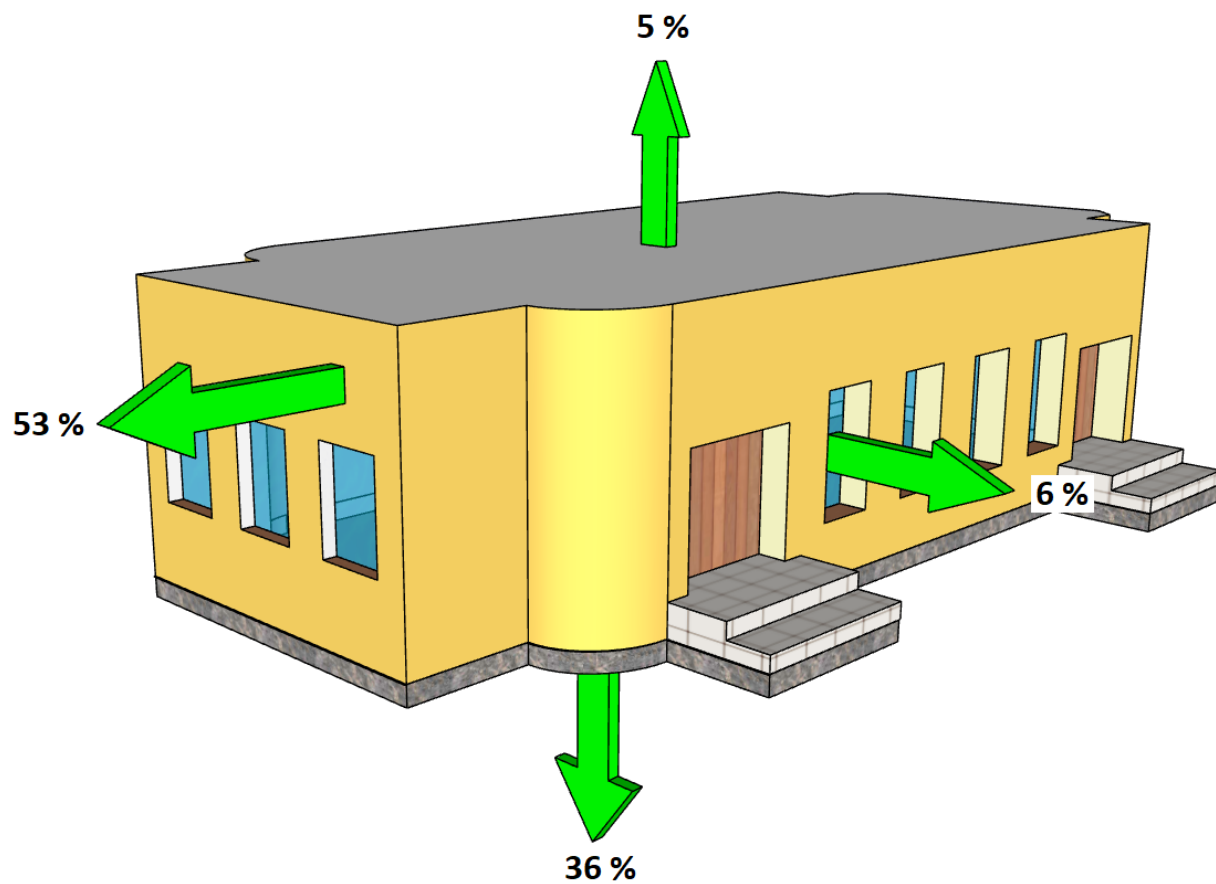
A_j	plocha konstrukce	$[m^2]$
U_j	součinitel prostupu tepla	$[W \cdot M^{-2} \cdot K^{-1}]$
b_j	teplotní redukční činitel	$[-]$

Tento výpočet jsme použili při počítání tepelných ztrát skrze strop do nevytápěného podkrovního prostoru.

Výsledné tepelné ztráty prostupem jsou znázorněny v tabulce 2.8, kde největší únik tepla byl zpozorován přes obvodovou stěnu. Proto je na místě budoucí tepelná izolace pláště budovy. Výsledné z hodnocení před zateplením a po zateplení budovy bude ekonomicky zhodnoceno v poslední kapitole této práce. Procentuální podíl tepelných ztrát je znázorněn v jednoduchém 3D modelu budovy na obrázku 2.2. [2]

Tabulka 2.8 Tepelné ztráty jednotlivých konstrukcí budovy a jejich celková ztráta

Typ konstrukce	Tepelné ztráty [W]
Obvodová stěna	14315
Okna + dveře	1765
Podlaha	9848
Strop	1352
Celkové ztráty	27280



Obrázek 2.2 3D model budovy s procentuálním zobrazením tepelných ztrát prostupem

2.3 Výpočet tepelných ztrát větráním

Tepelnou ztrátu větráním $\Phi_{V,i}$ vypočteme podle vzorce

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [W] \quad (10)$$

kde

$H_{V,i}$	měrná tepelná ztráta větráním	[W/K]
$\Theta_{int,i}$	vnitřní výpočtová teplota vytápěné místnosti (i)	[°C]
Θ_e	venkovní výpočtová teplota	[°C]

Měrnou tepelnou ztrátu větráním $H_{V,i}$ vytápěného prostoru (i) vypočítáme dle vzorce

$$H_{V,i} = V_i \cdot \rho \cdot c_p \left[\frac{W}{K} \right] \quad (11)$$

kde

V_i	objemový tok vzduchu vytápěné místnosti (i)	[m ³ /s]
ρ	hustota vzduchu při teplotě $\Theta_{int,i}$	[kg/m ³]
c_p	měrná tepelná kapacita vzduchu při teplotě $\Theta_{int,i}$	[kJ/(kg · K)]

Tento vzorec si můžeme pro další počítání zjednodušit dosazením konstant pro vzduch. Hustota vzduchu při teplotě $\theta_{int,i}$ se rovná přibližně hodnotě 1,2 kg.m⁻³, měrná tepelná kapacita c_p 1010 J/kg.K. Objemový tok vzduchu V_i vytápěné místnosti (i) (m³/s) musíme převést na základní jednotky (m³/h) vydělením číslem 3600. Výsledný vzorec po zjednodušení je

$$H_{V,i} = \left(\frac{V_i}{3600} \right) \cdot 1205 \left[\frac{W}{K} \right] \quad (12)$$

Tepelné ztráty větráním jsou znázorněné v tabulce 2.9. Představují nezanedbatelných 23 % z celkových ztrát. [2]

Tabulka 2.9 Tepelné ztráty větráním

Typ ztrát	Tepelné ztráty [W]
Ztráty větráním	6547

2.4 Výpočet celkových ztrát budovy

Celkové ztráty budovy se vypočítají součtem tepelných ztrát prostupem tepla a ztrát větráním všech místností v budově podle vztahu

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} \text{ [W]} \quad (13)$$

kde

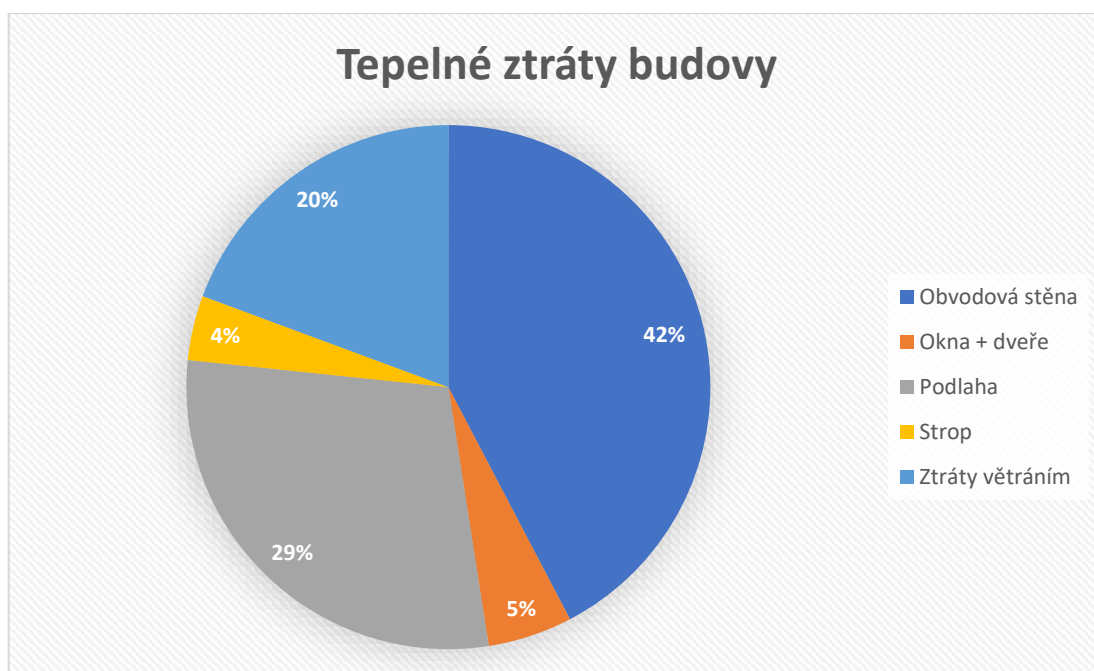
$\Phi_{T,i}$ tepelná ztráta prostupem tepla vytápěné místnosti (i) [W]

$\Phi_{V,i}$ tepelná ztráta větráním vytápěné místnosti (i) [W]

Výsledné tepelné ztráty jsou zobrazeny v tabulce 2.10. Ztráty větráním dosahují téměř hodnoty ztrát podlahy při použití počtu větrání $n = 0,3 \text{ h}^{-1}$. Tato hodnota je daná jako hygienické minimum. Při použití hodnoty 0,5 výměny vzduchu za hodinu, dosáhnou téměř dvojnásobných tepelných ztrát větráním. Proto je nedílnou součástí přesně znát požadavky majitele budovy, jak často bude budova větrána pro dostatečné navrzení rezervy tepelného výkonu kotle. Případná navržená kotelna by nemusela stačit pro vytopení celé budovy při výrazné odchylce počtu větrání místností. Grafické znázornění těchto ztrát je znázorněné na obrázku 2.3. [2]

Tabulka 2.10 Celkové ztráty prostupem tepla a větráním celého objektu

Typ konstrukce	Tepelné ztráty [W]
Obvodová stěna	14315
Okna + dveře	1765
Podlaha	9848
Strop	1352
Ztráty větráním	6547
Celkové ztráty	33827



Obrázek 2.3 Grafické znázornění tepelných ztrát budovy v procentech

2.5 Výpočet tepelné energie pro vytápění

Pro výpočet tepelné energie pro vytápění budovy jsem použil tzv. denostupňovou metodu, která se počítá podle vzorce

$$Q_v = 24 \cdot \Phi_i \cdot 3600 \cdot d \cdot \varepsilon \cdot \frac{\theta_{is} - \theta_{es}}{\theta_{int,i} - \theta_{en}} \left[\frac{Wh}{rok} \right] \quad (14) [8]$$

kde

Φ_i	celkové ztráty budovy	[W]
d	počet dnů ve vytápěcím období	[dny]
θ_{is}	průměrná vnitřní teplota objektu nebo místnosti[°C]	
θ_{es}	průměrná venkovní teplota za otopné období	[°C]
$\theta_{int,i}$	vnitřní výpočtová teplota	[°C]
θ_{en}	oblastní venkovní výpočtová teplota	[°C]
ε	opravný součinitel	[-]

Opravný součinitel ε se zde skládá dále ze tří složek, a to e_i zahrnující nesoučasnost tepelné ztráty infilrací a tepelné ztráty prostupem, e_t respektující snížení teploty v místnosti během dne, respektive noci a e_d znázorňující zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami v provozu. V našem případě jsme uvažovali $e_i = 1$, $e_t = 0,85$ a $e_d =$

0,9 z důvodu šestidenním využití budovy. Výsledný opravný součinitel ε je součin těchto tří součinitelů

$$\varepsilon = e_i \cdot e_t \cdot e_d = 0,765 \quad [-] \quad (15)$$

Při dosazení celkové tepelné ztráty $\Phi_i = 33827$ W, počet dnů ve vytápěcím období $d = 242$, průměrné vnitřní teploty objektu $\Theta_{is} = 19,4$ °C, průměrné venkovní teploty za otopné období $\Theta_{es} = 3,6$, vnitřní výpočtové teploty $\Theta_{int,i} = 19$ °C a oblastní venkovní výpočtové teploty $\Theta_{en} = -12$ °C nám vyjde celková tepelná energie nutná dodat vytápěnému objektu $Q_v = 279,36$ GJ/rok. To odpovídá spotřebě tepla 77,6 MWh/rok. [8]

2.6 Potřeba tepla na ohřev TUV

Při výpočtu potřeby tepla na ohřev teplé užitkové vody vycházíme z hodnot, kdy denní návštěvnost se pohybuje kolem 20 osob a potřebu teplé vody jsem stanovil na 30 l na osobu za den. Při počtu 20 osob za den nám vychází celková denní potřeba vody $V_{2p} = 0,6$ m³/den.

2.6.1 Denní potřeba tepla na ohřev teplé vody

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

kde

ρ	měrná hmotnost vody (1000 kg/m ³)	[kg/m ³]
c	měrná tepelná kapacity vody (4180 J/kg.K)	[J/kg.K]
V_{2p}	celková potřeba TV pro všechny osoby	[m ³ /den]
t_2	teplota dodávané teplé vody (55 °C)	[°C]
t_1	teplota vody na vstupu do zásobovacího systému (10 °C)	[°C]

Po dosazení hodnot do vztahu mi vyšla denní potřeba tepla na ohřev teplé vody 31,4 kWh.

2.6.2 Roční potřeba tepla na ohřev teplé vody

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot (N - d) \cdot \frac{55 - t_{svl}}{55 - t_{svz}} \quad \left[\frac{Wh}{rok} \right] \quad (17) [2]$$

kde

d	počet dnů otopného období v roce (pro náš výpočet je 242 dnů)	
0,8	součinitel zohledňující snížení potřeby TV v létě	
t_{svl}	teplota studené vody v létě (15 °C)	[°C]

t_{svz}	teplota studené vody v zimě (5 °C)	[°C]
N	počet pracovních dní soustavy v roce (350–365)	[dny]

Při dosazení počtu pracovních dní v roce $N = 350$ získáme roční potřebu tepla na ohřev teplé vody $Q_{TUV,r} = 9,77$ MWh/rok. Což odpovídá roční potřebě energie 35,17 GJ/rok. [8]

2.7 Celková roční potřeba tepla

$$Q_R = Q_C + Q_{TUV,r} \left[\frac{Wh}{rok} \right] \quad (18)$$

kde

Q_R	celková roční potřeba tepla na vytápění a ohřev teplé vody [Wh/rok]
Q_C	roční potřeba tepla na vytápění [Wh/rok]
$Q_{TUV,r}$	roční potřeba tepla na ohřev teplé vody [Wh/rok]

Po dosazení nám vyšla celková roční potřeba tepla $Q_R = 87,37$ MWh/rok.

3 Návrh pokrytí spotřeby tepla pomocí plynové kotelny

Při návrhu otopné teplovodní soustavy je potřeba si nejprve stanovit konkrétní informace o objektu, jako je účel budovy, provoz, či konstrukce. Tato budova je určena pro sportovní činnosti, kdy se uvnitř přes den narázově nachází kolem 30 lidí. Provoz je proto přerušovaný a z těchto základních informací budeme vycházet pro návrh vytápění.

Samotnou otopnou soustavu charakterizuje několik návrhových parametrů, a to:

- Prostorové uspořádání otopné soustavy
- Nejvyšší pracovní teplota
- Konstrukce expanzní nádoby
- Druh oběhu otopné vody
- Materiál rozvodného potrubí

Jelikož se jedná o budovu jednopodlažní a v půdních prostorech se nebude nacházet žádná obývací místnost, bude se v našem případě jednat o tzv. etážové vytápění. Vzájemné propojení těles bude pomocí dvoutrubkové měděné soustavy, která má oproti jednotrubkové několik výhod, a to zejména provozní spolehlivost společně s hydraulickou a tepelnou stabilitou. Vzhledem k rozsáhlému půdorysu budovy jsem zvolil dvoutrubkovou soustavu v zapojení souproutém. Umístění ležatého rozvodu bude spodní. Vedení přípojek k tělesům u jednopodlažní budovy je horizontální. Nejvyšší pracovní teplota bude 80 °C při zvoleném teplotním spádu 80/60 °C. Při rozlehlosti budovy a větším tepelným příkonem je potřeba do oběhu zařadit oběhové čerpadlo, které s sebou nese pro nás i jisté výhody. Díky čerpadlu jsme schopni volit vyšší rychlost proudění, což má za následek snížení jmenovité světlosti potrubí. V případě oběhového čerpadla máme i několik možností regulace a umožnění rychlého zátoku. Čerpadlo bude umístěno v přívodním potrubí vzhledem k lepšímu rozložení tlaku.

3.1 Návrh otopných těles

Při návrhu otopných těles jsme vycházeli z tepelných ztrát jednotlivých místností a námi zvoleného teplotního spádu 80/60. Velikost teplotního spádu nám přímo ovlivňuje skutečný výkon, který těleso bude dodávat. Rozmístění těles jsme volili na základě největších tepelných mostů v konstrukci, kterými jsou okna. Proto, pro největší efektivnost výhřevu místnosti, jsou tělesa umístěná pod okny.

Tabulka 3.1. Tepelné ztráty místností

	Podlaha		Okna+dveře		Obvodová stěna		Strop		$\Phi_{v,i}$ [W]	Celkové ztráty místnosti
	S [m ²]	Φ [W]	S [m ²]	Φ [W]	S [m ²]	Φ [W]	S [m ²]	Φ [W]		
Tělocvična	268	6745	27	990	148	7987	270	929	4637	21288
Koupelna	3	79	0	6	12	666	3	11	54	815
WC ženy	6	158	0	12	12	657	6	21	108	956
WC muži	4	98	0	6	15	833	4	13	54	1005
Šatny	32	794	2	88	20	1101	32	108	437	2529
Spol. místnost	29	729	5	176	15	820	29	99	401	2225
Chodba	34	867	4	161	8	437	34	118	596	2179
Místnost 2	15	378	9	326	34	1813	15	52	260	2829

3.1.1 Výpočet výkonu otopných těles

Při výběru vhodného otopného tělesa je potřeba si přepočítat jeho tepelný výkon na velikost jeho plochy a zvoleného tepelného spádu. Výsledný výkon získáme ze vztahu

$$Q_T = k \cdot A \cdot (t_w - t_i) \text{ [W]} \quad (19)$$

kde

Q_T tepelný výkon otopného tělesa do místnosti [W]

Ovšem dnes již mnoho výrobců nabízí pro snazší výběr těles na svých webových stránkách využití jejich online výpočtové kalkulačky, a proto ve většině případech nemusíme přepočítávat každé těleso zvlášť. [9]

3.1.2 Výběr otopných těles

Při výběru otopných těles jsme zvolili tělesa od výrobce KORADO. Jejich skutečné výkony jsou přepočítané pomocí jejich online kalkulačky a uvedené v tabulce 3.2. [10]

Tabulka 3.2 Výběr otopných těles pro jednotlivé místnosti

Druh prostoru	Typ otopného tělesa	Počet [ks]	délka [mm]	výška [mm]	Přepočítaný tepelný výkon [W/ks]
Tělocvična	Korado 33 VKU	6	1600	500	3736
Sprchy	Koralux Linear max	1	600	1495	996
WC ženy	Koralux Linear max	1	750	1495	1110
WC muži	Koralux Linear max	1	750	1495	1110
Šatny	Korado 22 VKU	1	1200	700	2560
Spol. místnost	Korado 21 VKU	2	1200	500	1505
Místnost 2	Korado 22 VKU	1	1600	600	3019

3.2 Návrh podlahového vytápění

Podlahové vytápění jsme použili v chodbě budovy, které je rozdělené na 2 topné hady. Každý topný had podlahového vytápění bude napájen z vratné vody z okruhu 1 a okruhu 3 dle schématu v příloze 2. Rozdělení je nutné z důvodu maximální délky topného hadu, kdy by neměla přesáhnout více než 120 m délky. Napájení podlahového vytápění jsme zvolili separátně z odlišných okruhů. Je to z důvodu redundance při případné poruše na některém z topných okruhů. Pro návrh bylo použito potrubí od firmy Top Heating, RED PE-X 16x2. [11]

Při návrhu podlahového vytápění jsme uvažovali s možnými odlišnými hodnotami tepelných ztrát větráním, které jsou závislé na četnosti průchodu lidí. Proto je podlahové vytápění mírně naddimenzované pro určitou tepelnou rezervu. Tepelný spád jsme zvolili 45/35. Výpočet jsme provedli pro rozteč trubek 0,2 m. Maximální povrchovou teplotu jsme zvolili 30 °C podle tabulky 3.3. [12–14]

Tabulka 3.3 Maximální povrchové teploty

MAXIMÁLNÍ POVRCHOVÉ TEPLoty PRO NÁVRH PODLAHOVÉHO VYTÁPĚNÍ	
$t_p = 27 \text{ až } 28 \text{ °C}$	u místností pro trvalý pobyt (obytné místnosti, kanceláře, ...)
$t_p = 30 \text{ až } 32 \text{ °C}$	u pomocných místností, kde člověk jen příležitostně přechází (předsíně, chodby, schodiště)
$t_p = 32 \text{ až } 34 \text{ °C}$	u místností, kde člověk převážně chodí bos (plovárny, lázně, koupelny)

3.2.1 Výpočet podlahového vytápění

Při výpočtu podlahového vytápění je zapotřebí znát skladbu jednotlivých vrstev nad trubkami i pod trubkami pro určení tepelné propustnosti vrstvy Λ_a a Λ_b . Tyto skladby vrstev jsou znázorněny v tabulce 3.4 a 3.5. [15]

Tabulka 3.4 Rozbor vrstvy na trubkami

Vrstvy nad trubkami	s_i [m]	λ_i [W/m·K]
keramická dlažba	0,005	1,01
stavební lepidlo	0,002	0,8
cementový potěr	0,06	1,4

Tabulka 3.5 Rozbor pod na trubkami

Vrstvy pod trubkami	s_i [m]	λ_i [W/m·K]
tepelná izolace	0,05	0,04
hydroizolace	0,0051	0,2
podkladový beton	0,2	1,25
Tepelná izolace	0	1
Omítka	0,0015	0,88

Pro výpočet tepelné propustnosti vrstvy nad trubkami se použije vzorec

$$\Lambda_a = \frac{I}{\frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{I}{\alpha_p}} \left[\frac{W}{m^2 K} \right] \quad (20)$$

kde

- s_i tloušťka jednotlivých vrstev nad osou trubek [m]
 λ_i součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev nad osou trubek [W/m.K]
 α_p celkový součinitel přestupu tepla na povrchu otopné plochy [W/m².K]

Tepelná propustnost vrstvy pod trubkami se počítá ze vztahu

$$\Lambda_b = \frac{I}{\frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{I}{\alpha'_p}} \left[\frac{W}{m^2 K} \right] \quad (21)$$

kde

- R_{str} tepelný odpor konstrukce pod vrstvou trubek [m².K /W]
 α'_p součinitel přestupu tepla na spodní straně otopné podlahy (volí se obvykle $\alpha'_p = 8$ W/m².K)

Při dosazení výsledných hodnot tepelných propustností vrstev Λ_a a Λ_b do vztahu (22) získáme charakteristické číslo podlahy m . [15]

$$m = \frac{\sqrt{2} \cdot (\Lambda_a + \Lambda_b)}{\pi^2 \cdot d_t \cdot \lambda_{vr}} [m^{-1}] \quad (22)$$

kde

λ_{vr}	součinitel tepelné vodivosti materiálu, do kterého jsou zality trubky	[W/m.K]
d_t	vnější průměr trubek	[m]

Pomocí charakteristického čísla m určíme vzdálenost krajní trubky otopného hada od stěny dle empirického vztahu

$$R = \frac{2,3}{m} \quad [-] \quad (23)$$

Odečtením této vzdálenosti od rozměrů místnosti a následné použití standardního vzorce pro výpočet plochy získáme skutečnou podlahovou plochu otopného hada S_p , pomocí které vypočítáme tepelný výkon podlahové otopné plochy Q_p . [15]

Následně je potřeba si vyjádřit zatím neznámý celkový součinitel prostupu tepla na povrchu otopné plochy α_p . Ten je dán součtem tepelného toku sáláním α_s a konvekcí α_k při známé povrchové teplotě t_p , kterou jsme stanovili dle tabulky 3.3 na 30°C. Vypočítá se dle vztahu

$$\alpha_p = \alpha_s + \alpha_k \left[\frac{W}{m^2 K} \right] \quad (24)$$

kde

ϵ_{pod}	emisivita povrchu podlahy (obvykle se volí 0,95)	[-]
c_0	součinitel sálání absolutně černého tělesa ($c_0 = 5,67 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)	
t_p	povrchová teplota podlahové plochy	[°C]
t_i	teplota vzduchu	[°C]

Měrný tepelný výkon otopné plochy lze vypočítat ze vztahu

$$q = \alpha_p \cdot (t_p - t_i) \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (25)$$

Měrný tepelný tok podlahové otopné plochy směrem dolů lze přibližně stanovit ze vztahu

$$q' = \Lambda_b \cdot (t_p - t_i) \cdot \left(\frac{\alpha_p'}{\Lambda_a} \right) \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (26)$$

Tepelný výkon podlahové otopné plochy Q_p získáme ze vzorce

$$Q_p = S_p \cdot (q + q') \quad [W] \quad (27)$$

kde

S_p	skutečná podlahová plocha otopného hada	[m ²]
-------	---	-------------------

Pro zjištění skutečného tepelného výkonu je zapotřebí vyjádřit si tepelný výkon, který sdílí okrajová plocha u stěny, ve které nejsou položeny trubky otopného hada. Tento tepelný tok se spočítá jako

$$Q_o = Q_p \cdot \frac{O_p}{S_p} \cdot \frac{0,448 \cdot l}{\tan \frac{l}{2} \cdot m} \quad [W] \quad (28) [15]$$

kde

O_p obvod otopné podlahové plochy vymezený krajními trubkami [m]

Vliv nábytku, který v chodbě bude pouze v předsínce, můžeme v našem případě zanedbat.

Výsledný tepelný výkon podlahové otopné plochy je pak: [15]

$$Q_{pc} = Q_p + Q_o \quad [W] \quad (29)$$

Tabulka 3.6 Vypočítané hodnoty pro jeden podlahový okruh

λ_a [W/m ² ·K]	6,65
λ_b [W/m ² ·K]	0,39
m [m ⁻¹]	14,40
q [W/m ²]	99,88
q' [W/m ²]	9,81
α_p [W/m ² ·K]	9,99
r [m]	0,16
Q_p [W]	1360
Q_o [W]	173
Q_{pc} [W]	1533

Výsledný tepelný výkon jednoho otopného hada je 1533 W. Při použití dvou těchto otopných hadů tak získáme dostatečnou rezervu při případném vzniku vyšších tepelných ztrát větráním v chodbě.

3.3 Dimenzování otopné soustavy

Při dimenzování otopné soustavy je důležité si nejprve rozdělit potrubní soustavu na jednotlivé úseky. Tito úseky znamenají pro nás část potrubní sítě, kdy se nemění hmotnostní průtok. Ten je proměnný s každým přidaným otopným tělesem, a proto tyto úseky vedou mezi jednotlivými tělesy. V příloze 2, která znázorňuje schéma rozvodu potrubní sítě, můžeme vidět celkem 3 okruhy. Ty jsou dále rozdělené na jednotlivé úseky značené čísly, kdy číslo s negací značí úsek vratné vody a samostatné číslo značí úsek topné vody. Topná voda je poháněná čerpadlem umístěným na přívodním potrubí před

rozdělovačem. Pro rozvod otopné vody je použito měděné potrubí, které představuje z hlediska drsnosti velmi hladké potrubí. Při použití tohoto typu materiálu se tak dosáhne nízkých tlakových ztrát třením.

3.3.1 Výpočet tlakových ztrát v potrubí

Z výpočtu celkových tlakových ztrát otopné soustavy se vychází při návržení oběhového čerpadla dimenzovaného na tyto ztráty. Tlakové ztráty se rozlišují na tlakové ztráty třením a tlakové ztráty místními odpory, kterými jsou myšlené jednotlivé prvky vložené do cesty proudění teplotonosné látky. Tlakové ztráty třením vyjadřují úbytek tlakové energie při průchodu dopravované vody v přímých úsecích potrubí, kde dochází ke tření vody o stěnu tohoto potrubí. Velikost těchto ztrát se odvíjí od celkové délky jednotlivých úseků, proto se snažíme při návrhu potrubní sítě o co možná nejkratší vzdálenosti potrubí.

3.3.2 Tlakové ztráty třením

Při výpočtu tlakových ztrát třením je potřeba si nejprve vypočítat hmotnostní průtoky v jednotlivých úsecích. Tento hmotnostní průtok se spočítá dle vztahu

$$m = \frac{Q}{c \cdot (t_1 - t_2)} \left[\frac{l}{s} \right] \quad (30)$$

kde

Q	přenášený tepelný výkon	[W]
c	měrná tepelná kapacita [c = 4186,8 (J/kg.K)]	[J/kg.K]
t ₁	teplota vstupní vody	[°C]
t ₂	teplota vratné vody	[°C]

Tento vypočtený hmotnostní průtok se následně použije pro předběžný návrh světlosti potrubí. Pro tento předběžný návrh světlosti potrubí existují celkem tři metody, které můžeme použít, a to metoda optimálních rychlostí v potrubí, metoda ekonomické měrné tlakové ztráty a metoda daného tlakového rozdílu. V našem případě jsme postupovali dle metody optimálních rychlostí v potrubí, kdy v tabulkách tlakových ztrát v potrubí dle hmotnostního průtoku a doporučené měrné tlakové ztráty 110-200 Pa/m pro teplovodní soustavy s nuceným oběhem jsme vyhledali přibližnou rychlost w [m/s]. Tato rychlost se musí pohybovat v rozmezí od 0,05 – 1 m/s, aby nedocházelo k nepříjemnému hluku v potrubí. Při uvážení těchto parametrů se z tabulek vybere nejvhodnější průměr potrubí pro daný úsek. [2, 16, 17]

Po určení průměru potrubí v jednotlivých úsecích je nyní možné jej dosadit do vztahu (31) a vypočítat skutečnou rychlost teplotnosné látky v potrubí.

$$w = \frac{4 \cdot m}{d^2 \cdot \pi \cdot \rho} \left[\frac{m}{s} \right] \quad (31)$$

kde

m	hmotnostní průtok v jednotlivých úsecích	[l/s]
d	vnitřní průměr potrubí	[m]
ρ	hustota vody [při 70 °C, $\rho = 978$ (kg/m ³)]	[kg/m ³]

Pro výpočet tlakových ztrát třením je zapotřebí číselně vyjádřit součinitele tření λ . Tento součinitel tření je funkcí pěti proměnných, a proto jeho výpočet je poměrně náročný. Pro jednodušší výpočet tak bylo zavedeno tzv. Reynoldsovo číslo Re , podle kterého rozlišujeme proudění celkem do tří oblastí, a to oblast laminárního proudění, turbulentního proudění a přechodovou oblast. Pro tyto oblasti existuje mnoho jednotlivých vztahů s experimentálně odměřenými daty v Nikuradseho diagramu. Ovšem tento diagram, který byl vytvořený na základě umělé drsnosti potrubí, nelze porovnávat s vypočtenými hodnotami v přechodové oblasti turbulentního proudění. Naopak při použití měděného potrubí, které je hydraulicky hladké, lze tento diagram použít velice dobře. Součinitel tření je zde závislý na hodnotě Re , oproti relativní drsnosti povrchu potrubí. [2]

Pro laminární proudění, kdy je $Re < 2320$, platí Hagen-Poiseuille vztah

$$\lambda = \frac{64}{Re} [-] \quad (32)$$

Pro oblast turbulentního proudění v oblasti hladkého proudění, je z hlediska jednoduchosti a přesnosti výpočtu možné použít tzv. Blasiusův vztah, který je určen pro oblast $Re < 10^5$.

[18]

Blasius:

$$\lambda = 0,3164 \cdot Re^{-0,25} [-] \quad (33)$$

Velmi důležitým parametrem je Reynoldsovo číslo vyjadřující vliv vnitřního tření v závislosti na viskozitě dané kapaliny při proudění. Platí pro něj vztah

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} [-] \quad (34)$$

kde

ν	součinitel kinematické viskozity	[m ² /s]
-------	----------------------------------	---------------------

Dle velikosti Reynoldsova čísla je tak možné určit, do jaké oblasti proudění spadá a následně tak použít vhodný vzorec pro výpočet součinitele tření. [16, 18]

Součinitel kinematické viskozity je dán vztahem

$$v = \frac{1,79 \cdot 10^{-6}}{1 + 0,0337 \cdot t + 0,000221 \cdot t^2} \left[\frac{m^2}{s} \right] \quad (35)$$

kde

t střední teplota otopné vody ($t = 70 \text{ }^\circ\text{C}$) $[\text{ }^\circ\text{C}]$

Měrná tlaková ztráta třením je dána vztahem

$$R = \frac{\lambda \cdot w^2 \cdot \rho}{2 \cdot d} \left[\frac{Pa}{m} \right] \quad (36)$$

kde

λ	součinitel tření	[-]
w	rychlost proudění vody v potrubí	[m/s]
d	vnitřní průměr potrubí	[m]
ρ	hustota vody [při $70 \text{ }^\circ\text{C}$, $\rho = 978 \text{ (kg/m}^3\text{)}$]	[kg/m ³]

Výsledné tlakové ztráty třením jsou funkcí délky počítaného úseku potrubí vyjádřené vztahem

$$\Delta p_{zt} = R \cdot l \text{ [Pa]} \quad (37) [16]$$

kde

R	měrná tlaková ztráta třením	[Pa/m]
l	délka posuzovaného úseku potrubí	[m]

3.3.3 Tlakové ztráty místními odpory

Pod pojmem tlakové ztráty místními odpory si můžeme představit tlakové ztráty, které vznikají v jednotlivých armaturách a tvarovkách při průchodu otopné vody. Tyto ztráty jsou především závislé na druhé mocnině rychlosti proudění vody v potrubí. Lze je vyjádřit vztahem

$$\Delta p_{zm} = \frac{\sum \zeta \cdot w^2 \cdot \rho}{2} \text{ [Pa]} \quad (38)$$

kde

ζ	součinitel místního odporu	[-]
w	rychlost proudění vody v potrubí	[Pa]
ρ	hustota vody [při $70 \text{ }^\circ\text{C} = 978 \text{ (kg/m}^3\text{)}$]	[kg/m ³]

Pro součinitel místního odporu ζ se hodnoty stanovují experimentálně, především z důvodu velkého množství faktorů mající vliv na jeho velikost. Existuje proto mnoho tabulek od různých autorů, které se od sebe liší určitými hodnotami součinitelů, a proto tak nejde přesně stanovit hodnotu pro jednotlivé armatury nebo tvarovky, aniž by došlo k odchylce. Pro návrh těchto ztrát byla použita tabulka hodnot součinitelů místních odporů, uvedená v příloze č. 1. [2, 17]

3.3.4 Celkové tlakové ztráty

Celkové tlakové ztráty jsou dány tlakovými ztrátami třením a tlakovými ztrátami místními odpory ze vztahu

$$\Delta p_z = \Delta p_{zm} + \Delta p_{zt} \text{ [Pa]} \quad (39)$$

kde

Δp_{zm}	tlakové ztráty místními odpory	[Pa]
Δp_{zt}	tlakové ztráty třením	[Pa]

Vypočítané hodnoty všech okruhů jsou uvedeny v příloze č. 2.

3.3.5 Hydraulické posouzení a vyregulování soustavy

Po výpočtu tlakových ztrát v jednotlivých úsecích je nutné soustavu hydraulicky vyvážit dle vypočtených hodnot, aby nedocházelo k nežádoucím přetlakům v soustavě. V případě mnohem větší tlakové ztráty v jednom okruhu by tak teplá voda proudila více do tohoto okruhu a v ostatních okruzích by tak byl nedostatek vody k vytápění.

Hydraulické tlakové vyvážení je možné provést několika způsoby. V praxi se nejčastěji používá využití různých druhů termoregulačních ventilů, regulačního šroubení, BY-PASSU apod. Pro přesnější vyregulování je zajisté možné použít kombinaci několika způsobů dohromady.

Pro vyregulování soustavy je zapotřebí určit okruh tělesa s největší tlakovou ztrátou, na kterou se budou dimenzovat všechny ostatní okruhy. Okruh otopného tělesa znamená cesta topného potrubí od zdroje tepla k tělesu a následně cesta vratným potrubím od daného tělesa zpět ke zdroji. V tomto okruhu se sečtou všechny tlakové ztráty jednotlivých úseků. Výsledná hodnota po sečtení značí tlakovou ztrátu okruhu daného tělesa. V tomto projektu je soustava rozdělená do 3 hlavních větví, které mají společné tlakové ztráty od zdroje k rozdělovači, a proto tyto ztráty do výpočtu nemusíme zahrnovat. Částečné vyregulování můžeme provést i na rozdělovači, ovšem v našem případě jsem

zjistil, že by bylo neúčinné z důvodu malých tlakových rozdílů, které není možno vyregulovat při daném hmotnostním průtoku pomocí zvoleného rozdělovače od GIACOMINI R553D. [19]



Obrázek 3.1 Rozdělovač GIACOMINI R553D [19]

Tlakové ztráty okruhů otopných těles jsou uvedené v tabulce 3.7. V této tabulce je oranžovou barvou zvýrazněn okruh tělesa 11 s největší tlakovou ztrátou 7343 Pa. Na tuto hodnotu jsou vyregulovány všechny ostatní okruhy.

Tabulka 3.7 Návrh otáček šroubení a BY-PASSU pro vyregulování soustavy

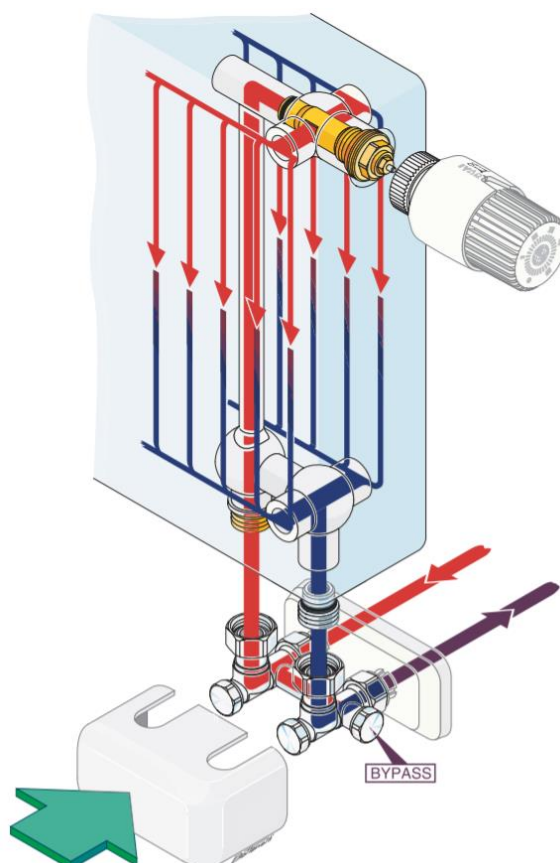
	Otopné těleso	Q tělesa [W]	m [kg/h]	Tlaková ztráta okruhu [Pa]	Tlakový rozdíl [Pa]	Otáčky šroubení	Otáčky BY-PASS
Větev 3	31	3019	130	6342	1001		1/2
	32	3736	161	6421	922		1
	33	3736	161	6514	829		1
	34	3736	161	6596	747		1
Větev 1	11	1505	65	7343	0	Ú.O	
	12	1505	65	6737	606	3+1/4	
	13	2560	110	6465	878	4	
Větev 2	21	3736	161	1445	5898	2+1/4	
	22	3736	161	2325	5018	3	
	23	3736	161	3321	4022	3	
	24	1110	48	4060	3283	1+3/4	
	25	996	43	4986	2357	1+3/4	
	26	1110	48	5222	2121	1+3/4	

Ú.O úplné otevření

Vyregulování je provedeno kombinací regulačním šroubením a BY-PASSEM, které je umožněné pomocí systému IVAR.DD 351. Pro větev 3 je použita regulace BY-PASSEM, jelikož tak malé tlakové rozdíly při daném hmotnostním průtoku nebylo možné vyregulovat pomocí regulačního šroubení. Použití systému IVAR.DD 351 je ovšem možné jen u spodního rozvodu v soustavě, kdy vstupuje potrubí do tělesa v samé blízkosti. Při bočním rozvodu tento systém regulace nemůže být použit. Způsob připojení k otopným tělesům je znázorněn na obrázku 3.3.



Obrázek 3.2 Systém IVAR.DD 351 [19]



Obrázek 3.3 Schéma připojení systému IVAR.DD 351 k otopnému tělesu [19]

Při vyregulování tlakových ztrát se vychází z diagramu daného regulačního systému. Pro hmotnostní průtok otopného tělesa a tlakového rozdílu, který je nutný pomocí

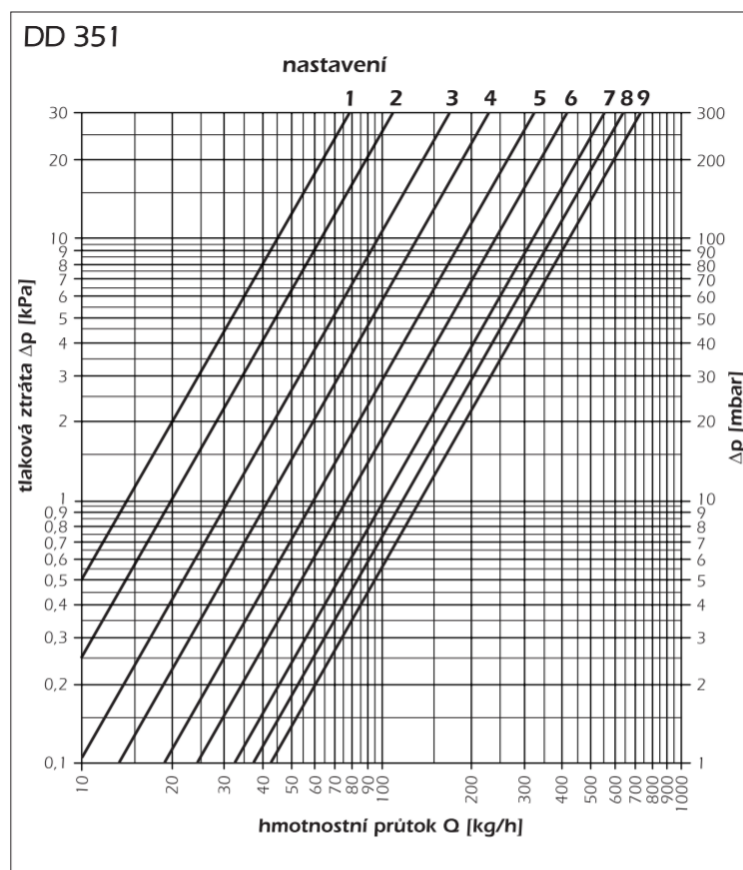
tohoto systému vyregulovat, se zjistí pozice v diagramu a dle příslušné tabulky pak následně počet otáček regulačního šroubení nebo BY-PASSU. Diagram pro určení počet otáček regulačního šroubení je uveden na obrázku 3.4. Pro BY-PASS potom slouží diagram znázorněný na obrázku 3.5.

Tabulka 3.8 Tabulka hodnot pro určení otáček šroubení

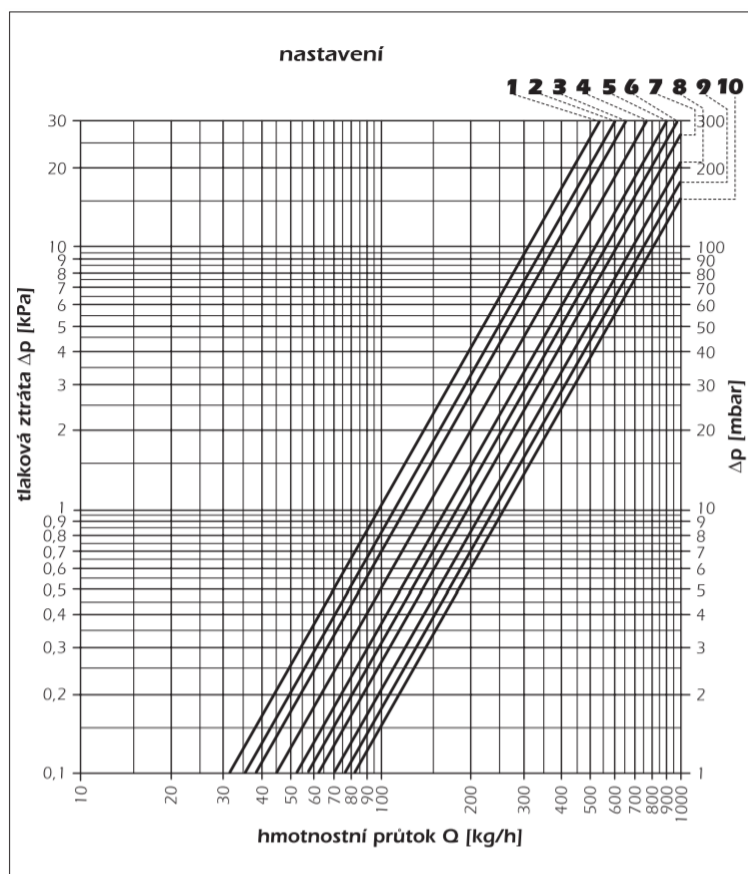
Pozice	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Otáčky	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	2	$2\frac{1}{2}$	3	$3\frac{1}{2}$	4	Ú.O.
K_v	0,14	0,20	0,31	0,43	0,60	0,79	1,00	1,20	1,35

Tabulka 3.9 Tabulka hodnot pro určení otáček BY-PASSU

Pozice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Otáčky (BY-PASS)	0	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	1	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$	4
K_v (BY-PASS)	0	0,13	0,22	0,43	0,65	0,80	0,97	1,20	1,38	1,60
K_{vs}	1,00	1,13	1,22	1,43	1,65	1,80	1,97	2,20	2,38	2,60



Obrázek 3.4 Diagram pro určení tlakových ztrát regulačního šroubení [19]



Obrázek 3.5 Diagram pro určení tlakových ztrát BY-PASSU [19]

3.4 Výběr oběhového čerpadla

Při známých hodnotách tepelného výkonu přenášeného soustavou a největší tlakové ztráty okruhu je možné vybrat oběhové čerpadlo na základě těchto parametrů. Pro výběr čerpadla je důležité zvolit jeho pracovní bod. Ten je určen dvěma základními parametry, kterými je dopravní výška čerpadla a objemový průtok v soustavě. [16]

Objemový průtok se počítá dle vztahu

$$V = \frac{Q_c}{c \cdot (t_1 - t_2)} \left[\frac{l}{h} \right] \quad (40)$$

kde

Q_c	přenášený tepelný výkon	[W]
c	měrná tepelná kapacita [$c = 1,163$ (W·h/kg·K)]	
t_1	teplota vstupní vody	[°C]
t_2	teplota vratné vody	[°C]

Přepočítání tlakových ztrát na dopravní výšku čerpadla je dáno vztahem

$$H = \frac{\Delta p}{g \cdot \rho} [m] \quad (41)$$

kde

Δp	tlakové ztráty okruhu	[Pa]
g	tíhové zrychlení	[m/s ²]
ρ	měrná hustota vody	[kg/m ³]

K tlakovým ztrátám hlavního okruhu se musí připočítat i ztráty v přívodním potrubí mezi zdrojem tepla a rozvaděčem. Parametry pro návrh oběhového čerpadla jsou znázorněné v tabulce 3.8. Pro zjednodušení realizace v dnešní době již mnoho výrobců osazuje kotle oběhovými čerpadly. Při našem výběru kotle je proto zapotřebí se dívat v případě integrovaného čerpadla v kotli i na jeho parametry a dle nich zvolit vhodný kotel pro vytápění. [16]

Pro podlahové topení je zapotřebí také cirkulačního čerpadla, ovšem zde se počítá pouze pro okruh topného hada, nikoliv pro okruh v celé soustavě. Návrh tohoto cirkulačního čerpadla je znázorněný v tabulce 3.9.

Tabulka 3.10 Návrhové hodnoty pro oběhové čerpadlo otopné soustavy

Návrhové parametry		
Přenášený výkon	33827	W
Tlaková ztráta hlavního okruhu	8798	Pa
Dopravní výška	0,9	m
Potřebný průtok	1454	l/h

Tabulka 3.11 Návrhové hodnoty pro cirkulační čerpadlo podlahového vytápění

Návrhové parametry		
Přenášený výkon	1533	W
Tlaková ztráta hlavního okruhu	9763	Pa
Dopravní výška	1	m
Potřebný průtok	131,8	l/h

3.5 Zdroj tepla

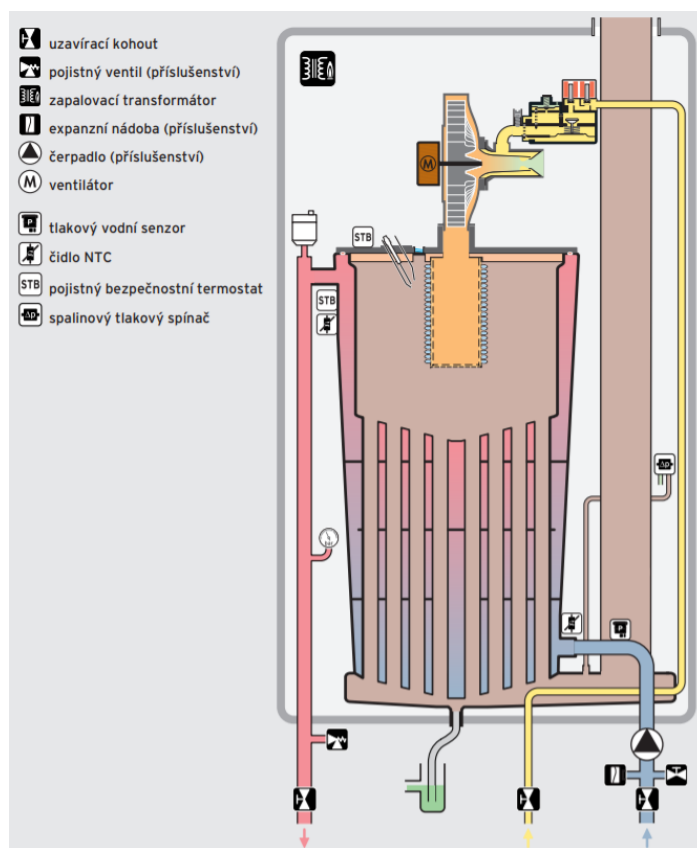
Při výběru plynového kotle pro pokrytí tepelné potřeby budovy je možné si vybrat mezi klasickým plynovým kotlem nebo kondenzačním plynovým kotlem. Účinnost obou typů plynových kotlů je vysoká, ovšem kondenzační kotel z hlediska účinnosti vychází v dnešní době nejlépe. Jeho účinnost může dosahovat při vhodném tepelném spádu až 108 %. Pro návrh pokrytí tepelné potřeby tepla byl zvolen právě kondenzační kotel.

Jeho přednosti byly již zmíněné na začátku této diplomové práce. Při výběru vycházíme z několika základních údajů. Tepelný výkon, který potřebujeme, musí být z hlediska tepelných ztrát vyšší než 34 kW. Při variantě s integrovaným čerpadlem uvnitř kotle je potřeba, aby čerpadlo bylo schopné objemového průtoku alespoň 1,5 m³/h a dopravní výšky minimálně 1 m. S přihlédnutím k těmto údajům byl zvolen kondenzační kotel Vaillant VU ecoTEC plus 806/5-5, který dosahuje výkonu 14,9-74,7 kW při teplotním spádu 80/60. Je vybaven vnitřním oběhovým čerpadlem umožňující objemový průtok až 2,99 m³/h a dopravní výšku 240 mbar, přepočtená na 24000 Pa tlakové ztráty. [20]

a)



b)



Obrázek 3.6 a) obrázek kondenzačního kotle Vaillant VU ecoTEC plus 806/5-5, b) vnitřní schéma kondenzačního kotle [20]

3.6 Expanzní nádoba

Expanzní nádoba slouží v soustavě jako jistící prvek zdroje tepla při náhlých změnách tlaku v soustavě, které jsou zapříčiněné náhlými změnami teplot.

Při návrhu expanzní nádoby se vychází z vodního objemu celé soustavy. Celkový vodní objem soustavy je znázorněn v tabulce 3.10. Vodní objem otopné soustavy se počítá dle dimenzí potrubí. Pro kotel a otopná tělesa nám udává množství vody výrobce.

Tabulka 3.12 Objem vody v soustavě

Vodní objem soustavy		
Otopná soustava	53	1
Kotel	17	1
Otopná tělesa	86	1
Celkový objem V_0	156	1

Při známém objemu vody je zapotřebí si nejprve vypočítat rozdíl maximální teploty v soustavě a minimální teploty. Dle tohoto rozdílu se zjistí součinitel zvětšení objemu podle tabulky 3.13.

$$\Delta\theta = \theta_{max} - \theta_{min} = 80 - 10 = 70 \text{ K} \quad (42)$$

kde

$\Delta\theta$	maximální rozdíl teplot	[°C]
Θ_{max}	maximální teplota v soustavě	[°C]
Θ_{min}	minimální teplota v soustavě	[°C]

Tabulka 3.13 Součinitel zvětšení objemu pro daný maximální rozdíl teplot

$\Delta t = t_{max} - 10$ 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

Následně je potřeba zjistit pro výpočet stupně využití expanzní nádoby hodnoty nejvyššího dovoleného tlaku a hydrostatického tlaku soustavy.

Nejvyšší dovolený tlak v soustavě je určen podle pojistného ventilu v kotli. Pro náš kotel udává výrobce $p_{h,dov}$ 300 kPa. K tomuto tlaku se musí započítat ještě atmosférický tlak p_b , který je přibližně roven 100 kPa.

Nejvyšší dovolený tlak je tak roven součtu dle vztahu

$$p_{h,dov} = p_{pv} + p_b \text{ [kPa]} \quad (43)$$

kde

$p_{h,dov}$	nejvyšší dovolený tlak v soustavě	[kPa]
p_{pv}	nejvyšší povolený tlak pojistného ventilu	[kPa]
p_b	atmosférický tlak	[kPa]

Hydrostatický tlak soustavy se vypočítá ze vztahu

$$p_{d,dov} = \frac{1,1 \cdot h \cdot \rho_{max} \cdot g}{1000} + p_b \text{ [kPa]} \quad (44)$$

kde

$p_{d,dov}$	hydrostatický tlak soustavy	[kPa]
ρ_{max}	měrná hustota vody při teplotě 70 °C	[kg/m ³]

Dle těchto vypočítaných hodnot se stanoví stupeň využití expanzní nádoby ze vztahu

$$\eta = \frac{p_{h,dov} - p_{d,dov}}{p_{h,dov}} \text{ [-]} \quad (45)$$

Dosazením výše vypočítaných hodnot do vztahu (46) získáme objem expanzní nádoby.

$$V_{exp} = 1,3 \cdot V_0 \cdot n \cdot \frac{1}{\eta} \text{ [l]} \quad (46)$$

Tabulka 3.14 Vypočítané hodnoty pro návrh expanzní nádoby

Návrh expanzní nádoby			
Součinitel zvětšení objemu	n	0,02863	[-]
Nejvyšší absolutní tlak	$p_{h,dov}$	400	[kPa]
Nejnižší absolutní tlak	$p_{d,dov}$	111	[kPa]
Stupeň využití	η	0,72	[-]
Objem expanzní nádoby	V_{exp}	8,06	[l]

Navrhovaná expanzní nádoba musí mít objem minimálně 8,06 l. Dle této hodnoty se volí nádoba o objemu vyšší a nejbližší této hodnotě. Byla vybrána expanzní nádoba od výrobce Reflex, model NG 12/6 o objemu 12 l. Tento objem splňuje naše požadavky i s dostatečnou rezervou. [21, 22]



Obrázek 3.7 Expanzní nádoba Reflex NG 12/6

4 Ekonomické zhodnocení

4.1 Roční potřeba tepla na vytápění a ohřev TUV

Celková roční spotřeba energie na vytápění je dána součtem spotřeby energie na ohřev teplé užitkové vody a vytápění. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4.1.

Spotřeba tepelné energie na vytápění dle tepelných ztrát objektu je počítána již v kapitole 2.5. Spotřeba tepelné energie pro ohřev TUV je uvedena v kapitole 2.6. Celková spotřeba energie je znázorněná v kapitole 2.7.

Tabulka 4.1 Celková spotřeba tepelné energie pro vytápěný objekt

Spotřeba tepelné energie		
Q_v	77,6	MWh/rok
Q_{TUV}	9,77	MWh/rok
Q_r	87,37	MWh/rok
$Q_{r(MJ)}$	314532	MJ/rok

4.2 Roční provozní náklady při vytápění plynem

Při zjištění provozních nákladů vytápění určitým palivem je potřeba zjistit, jakou výhřevnost má každé palivo. Podle výhřevnosti paliva se zjistí roční spotřeba a při analýze cen paliv na trhu se vypočítá celková kalkulace spotřeby energie během roku. Výhřevnost zemního plynu je dle aktuálních tabulek 33,48 MJ/m³. Celkové množství zemního plynu pro pokrytí spotřeby energie 314 532 MJ/rok se vypočítá dle vztahu

$$V = \frac{Q_r}{H_{zp}} [m^3] \quad (47)$$

kde

H_{zp}	výhřevnost zemního plynu	[MJ/m ³]
Q_r	celková spotřeba energie za rok	[MJ/rok]

Při dosazení hodnot do vzorce je celková roční potřeba zemního plynu pro pokrytí tepelné spotřeby $V = 9394,6 \text{ m}^3$. V tabulce 4.2 jsou znázorněni tři nejlevnější dodavatelé plynu v Plzeňském kraji. Při sjednání dodávky plynu od dodavatele E.ON Energie, a.s. jsou celkové roční provozní náklady 81 358 Kč/rok.

Tabulka 4.2 Ceny plynu dodavatelů pro Plzeňský kraj

Dodavatel	Cena	Jednotka
E.ON Energie, a.s.	8,66	Kč/m ³
innogy Česká republika a.s.	9	Kč/m ³
BOHEMIA ENERGY entity s.r.o.	8,68	Kč/m ³

4.3 Roční provozní náklady při vytápění stávajícím kotlem na tuhá paliva

Stávajícím zdrojem vytápění objektu je kotel na tuhá paliva, konkrétně na černé uhlí. Tento kotel H845-C, o výkonu 45 kW, je v provedení s automatickým podavačem neboli dopravníkem. Díky této automatizaci tak dosahuje značně vyšší účinnosti 94,8 % oproti manuálně doplňovaným kotlům na tuhá paliva, které mají účinnosti kolem 90 %.

Při určování provozních nákladů pro zdroj na tuhá paliva hraje podstatnou roli kvalita dodávaného uhlí. Uhlí je možné dovážet z několika českých uhelných dolů, kdy každý z nich těží různě kvalitní uhlí z hlediska výhřevnosti, která se tak pohybuje od 15 MJ/kg až do 30 MJ/kg. Při výpočtu provozních nákladů je počítáno s průměrně kvalitním uhlím s výhřevností 22,61 MJ/kg. Pro výpočet celkového množství uhlí pro pokrytí roční spotřeby energie se použije následující vztah

$$m = \frac{Q_r}{H_{\text{ču}}} \quad [\text{kg}] \quad (48)$$

kde

$H_{\text{ču}}$ výhřevnost černého uhlí [MJ/kg]

Po dosazení hodnot do vztahu získáme potřebné množství uhlí 13 912 kg za rok. Při průměrné ceně černého uhlí s danou výhřevností pro automatické kotle na trhu 6 Kč/kg, tak dostaneme celkové roční provozní náklady 83 472 Kč.

4.4 Roční provozní náklady při vytápění elektrickou energií

Jako další způsob vytápění této budovy je možné pomocí elektrokotle. Pro vytápění pomocí elektrické energie je možné si sjednat s dodavatelem dvoutarifovou sazbu. Při vytápění s vysokým tarifem se průměrná cena elektrické energie pro rok 2020 pohybuje kolem 4,76 Kč/kWh. Pro nízký tarif se cena za jednu kilowatthodinu pohybuje okolo 3 Kč. Při tepelné spotřebě 87,37 MWh/rok by vyšli provozní náklady při vysokém tarifu 415 880 Kč/rok. Při nízkém tarifu to činí 262 110 Kč. Lze tak usoudit, že vytápění

pomocí elektrické energie je z těchto tří variant nejvíce nákladné a z hlediska dlouhodobého provozu tak nevýhodné.

4.5 Pořizovací náklady

Do cenové kalkulace nákladů zajisté patří i počáteční pořizovací náklady za kotle. Tyto pořizovací náklady pro vybrané kotle splňující pokrytí spotřeby budovy jsou uvedené v tabulce 4.6.

Tabulka 4.3 Přehled pořizovacích cen kotlů

Typ zdroje	Výkon [kW]	Cena [Kč]
Kondenzační kotel VU EcoTec 806/5-5	45	109762
Kotel na tuhá paliva OPOP H845-C	45	98155
Elektrokotel Bosch Tronic 5000 H	45	30169

4.6 Porovnání nákladů jednotlivých způsobů vytápění

V tabulce 4.4 jsou uvedeny provozní náklady pro jednotlivé zdroje vytápění. Při porovnání těchto provozních nákladů lze říci, že vytápění kondenzačním kotlem se jeví jako nejvýhodnější volba zdroje pro budovu. Při vytápění po dobu 7 let se ušetří oproti stávajícímu kotli na tuhá paliva necelých 15 000 Kč.

Tabulka 4.4 Provozní náklady jednotlivých zdrojů po dobu 7 let

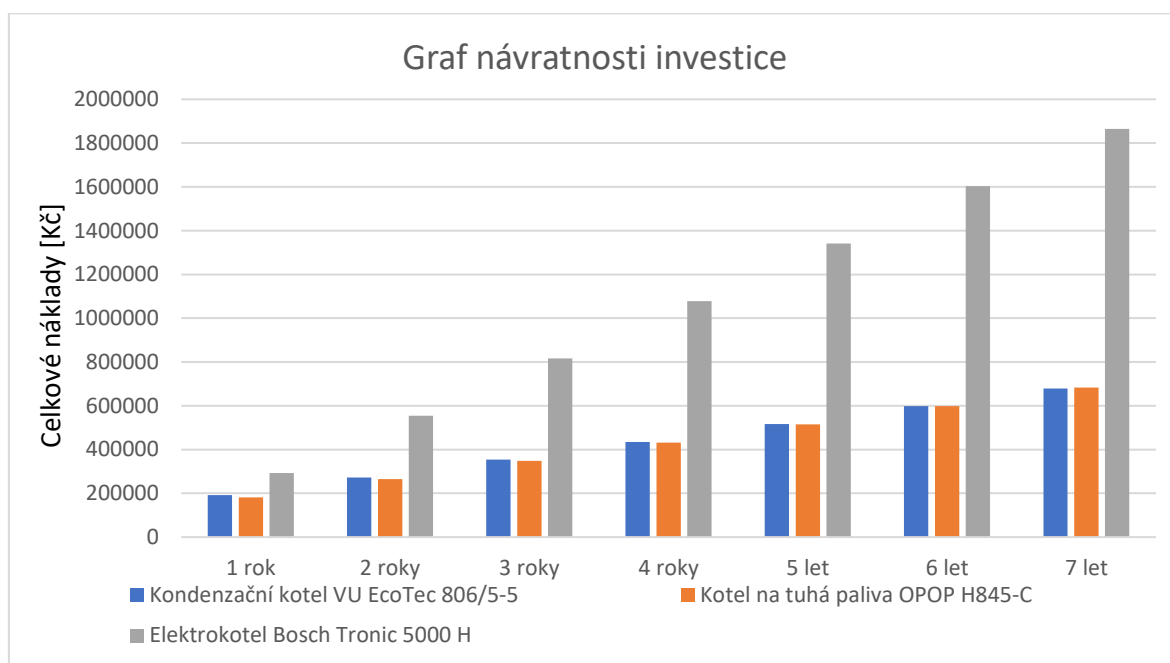
Typ zdroje	Provozní náklady [Kč]						
	1 rok	2 roky	3 roky	4 roky	5 let	6 let	7 let
Kondenzační kotel VU EcoTec 806/5-5	81358	162716	244074	325432	406790	488148	569506
Kotel na tuhá paliva OPOP H845-C	83472	166944	250416	333888	417360	500832	584304
Elektrokotel Bosch Tronic 5000 H	262110	524220	786330	1048440	1310550	1572660	1834770

Při zahrnutí pořizovacích nákladů za kotle k provozním je možné určit celkovou počáteční investici a dobu návratnosti. V tabulce 4.5 jsou uvedeny celkové náklady za období 7 let.

Tabulka 4.5 Celková návratnost v období provozu 7 let

Typ zdroje	Provozní + pořizovací náklady [Kč]						
	1 rok	2 roky	3 roky	4 roky	5 let	6 let	7 let
Kondenzační kotel VU EcoTec 806/5-5	191120	272478	353836	435194	516552	597910	679268
Kotel na tuhá paliva OPOP H845-C	181627	265099	348571	432043	515515	598987	682459
Elektrokotel Bosch Tronic 5000 H	292279	554389	816499	1078609	1340719	1602829	1864939

Z Grafu 4.1 je patrné, že vyšší pořizovací náklady oproti kotli na tuhá paliva se vykompenzují po době provozu alespoň 6 let a oproti levnému elektrokotli již během jednoho roku provozu.



Obrázek 4.1 Grafické znázornění celkových nákladů tepelných zdrojů

4.7 Provozní náklady při zateplení budovy

Budova je v současné době ve velmi nevhodném stavu, kdy chybí tepelná izolace obvodové stěny a tepelná izolace v podlaze. Těmito dvěma konstrukcemi uniká nejvíce tepla. Při použití tepelné izolace může dojít ke snížení tepelných ztrát až o 65 %. To by znamenalo tepelné ztráty 21 988 W. Při těchto tepelných ztrátách je roční spotřeba energie podle vzorce (14) a s přičtením energie nutné pro ohřev TUV rovna 59,57 MWh/rok. To odpovídá roční spotřebě 5355 m³ zemního plynu. Při dnešní ceně na trhu 8,66 Kč/m³ to odpovídá ročním provozním nákladům 46 374 Kč. To je rozdíl o 35 000 Kč ročně méně než provozní náklady nezateplené budovy.

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navržení plynové kotelny pro pokrytí spotřeby zvolené budovy. Budova je jednopodlažní, nachází se ve městě Horní Bříza, pro které byla stanovena venkovní výpočtová teplota dle tabulky $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$. Byl proveden rozbor konstrukce budovy, díky kterému se podařilo vypočítat celkové tepelné ztráty budovy 33827 W . Z těchto tepelných ztrát se následně vypočítala roční spotřeba energie na vytápění, která činí $77,6\text{ MWh/rok}$ a s připočítáním roční spotřeby energie za ohřev teplé vody $9,77\text{ MWh}$ dostaneme celkovou spotřebu budovy za rok $87,37\text{ MWh}$.

Pro pokrytí této spotřeby vzhledem k rozlehlosti budovy bylo zvoleno dvoutrubkové provedení teplovodní soustavy v zapojení souproutém s tepelným spádem $80/60$. Vytápění místností budou zajišťovat desková otopná tělesa RADIK VKU s dolním připojením od výrobce KORADO. Tlakové vyregulování je tak možné pomocí šroubení a BY-PASSU na ventilu. Na záchodech a ve sprše jsou navrhnutá trubková tělesa KORALUX Linear max od stejného výrobce. Pro rozvod tepelné energie od zdroje k tělesům slouží měděné potrubí, které je zvoleno na základě jeho nízké vnitřní drsnosti a tím i vznik menších tlakových ztrát.

Tlakové ztráty je nutné vyregulovat, aby nedocházelo ke špatné dodávce tepla do některých otopných těles. Nejvyšší tlaková ztráta okruhu, na kterou se regulují, respektive přiškrcují všechny ostatní okruhy, je na okruhu k tělesu 11 a má hodnotu 7343 Pa .

Po vyregulování soustavy je navrženo oběhové čerpadlo a expanzní nádoba. Při výběru kondenzačního kotle VU EcoTec plus, které již obsahuje čerpadlo v sobě splňující naše požadavky jsme tak nemuseli vybírat separátní čerpadlo. Objem expanzní nádoby vyšel $8,06\text{ l}$. Tento objem je nejmenší možný, který je možný použít pro náš návrh.

V závěru této práce je provedené porovnání jednotlivých zdrojů a jejich provozní a pořizovací náklady. I když se zdá elektrokotel na první pohled jako velmi levný oproti ostatním kotlům, jeho provozní náklady při dnešní ceně elektrické energie by po 7 letech dosahovali hodnoty $1\,834\,770\text{ Kč}$. To činí téměř trojnásobně více než u kotle na tuhá paliva či kondenzačního kotle. Finanční rozdíly mezi kotlem na tuhá paliva a kondenzačním kotlem jsou velmi malé, avšak s přihlédnutím na pořizovací náklady je už po roce ušetřeno více než $10\,000\text{ Kč}$ oproti kotli na tuhá paliva.

Jako další možné finanční ušetření se dosáhne při zvolení menšího tepelného spádu 60/40, kdy se účinnost tohoto kondenzačního kotle zvedne z 98 % na 105 %. Na závěr této diplomové práce jsou spočítané provozní náklady při zateplení budovy, kdy bychom ročně ušetřili zhruba 35 000 Kč a lze tak s jistotou říci, že se rekonstrukce zateplení pro danou budovu vyplatí.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] DUFKA, Jaroslav. *Vytápění domů a bytů*. 1. vyd. dotisk 1998. Praha: Grada, 1997. ISBN 8071694010;9788071694014;
- [2] PETRÁŠ DUŠAN, 1956 and Jana FÁBRYOVÁ. *Vytápění rodinných a bytových domů*. 1. české vyd. Bratislava: Jaga, 2005. ISBN 8080760209;9788080760205;
- [3] *Panther condens-48* [online]. [cit. 2020-01-17]. Dostupné z: <https://www.protherm.cz/files/downloads/projekcni-podklady/pp-1-5-ver-3-panther-condens-48-1245843.pdf>
- [4] *Ceny elektrické energie 2020 - TZB-info* [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energie/14-prehled-cen-elektricke-energie#d57>
- [5] *Vnitřní výpočtové teploty* [online]. [cit. 2020-01-16]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/28-vnitri-vypoctove-teploty-dle-csn-en-12831-a-doporucene-relativni-vlhkosti-vzduchu-dle-csn-06-0210>
- [6] *Venkovní výpočtové teploty* [online]. [cit. 2019-11-16]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>
- [7] *Tepelný odpor a součinitel prostupu* [online]. Dostupné z: <https://www.izolace-info.cz/technicke-informace/vypocet-prostupu-tepla/21201-tepelný-odpor-a-soucinitel-prostupu-tepla-a.html#.XuqfI2gzY2w>
- [8] *Patří denostupňová metoda do archivu?* [online]. [cit. 2020-03-06]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/14332-patri-denostupnova-metoda-do-archivu>
- [9] *Dvoutrubková otopná soustava - KORADO, a.s.* [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.korado.cz/produkty/radik/vseobecne-udaje/dvoutrubkova-otopna-soustava.html>
- [10] *RADIK VKU - KORADO, a.s. - KORADO, a.s.* [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.korado.cz/produkty/radik/radik-vku.html>
- [11] *TOP HEATING potrubí RED* [online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://www.topheating.de/podlahove-topeni-potrubí-red.php>
- [12] *Podlahové vytápění (III) - TZB-info* [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/podlahove-vytapani/3449-podlahove-vytapani-iii>
- [13] *Regulace v praxi I - topný okruh a podlahové vytápění - TZB-info* [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/7338-regulace-v-praxi-i-topny-okruh-a-podlahove-vytapani>
- [14] ŠPANIHELOVÁ, Kateřina. *NÁVRH OTOPNÉ SOUSTAVY* [online]. Brno 2014. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=85198
- [15] VAVŘIČKA, Roman. *Použité vzorce pro výpočty programu* [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/PV11.pdf>
- [16] *Katalog-Srdce teplovodního topení-hydraulika* [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.herz.cz/data/uploadHTML/files/Srdce-teplovodního-topení-hydraulika.pdf>
- [17] HAVLÍK, Aleš and Tomáš PICEK. *POHYB KAPALINY* [online]. [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/HY2V/ke_stazeni/prednasky/HY2V_04_Hydraulika_potrubí.pdf

- [18] ŠTEFAN, David. *Hydraulické ztráty v potrubí* [online]. Brno 2009. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=15930
- [19] *Topenářské armatury Vekolux* [online]. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/Vytapeni/Vekolux_regulacni.pdf
- [20] *Závěsný kondenzační plynový kotel VU ecoTEC plus (80 - 120 kW)* [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.vaillant.cz/pro-partnery/produkty-planovani/zavesny-kondenzacni-kotel-vu-ecotec-plus-80-120-kw-38094.html>
- [21] *Reflex expanzní nádoba NG 12/6 - 12l, 6 bar | TOPENILEVNE.CZ* [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.topenilevne.cz/reflex-ng-12-6-p2570/#gallery>
- [22] MACHÁT ALEŠ. *Studie vytápění činžovního domu* [online]. Praha 2017. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/70854/F2-DP-2017-Machat-Ales-DP%2018-TZP-2017%20Machat.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

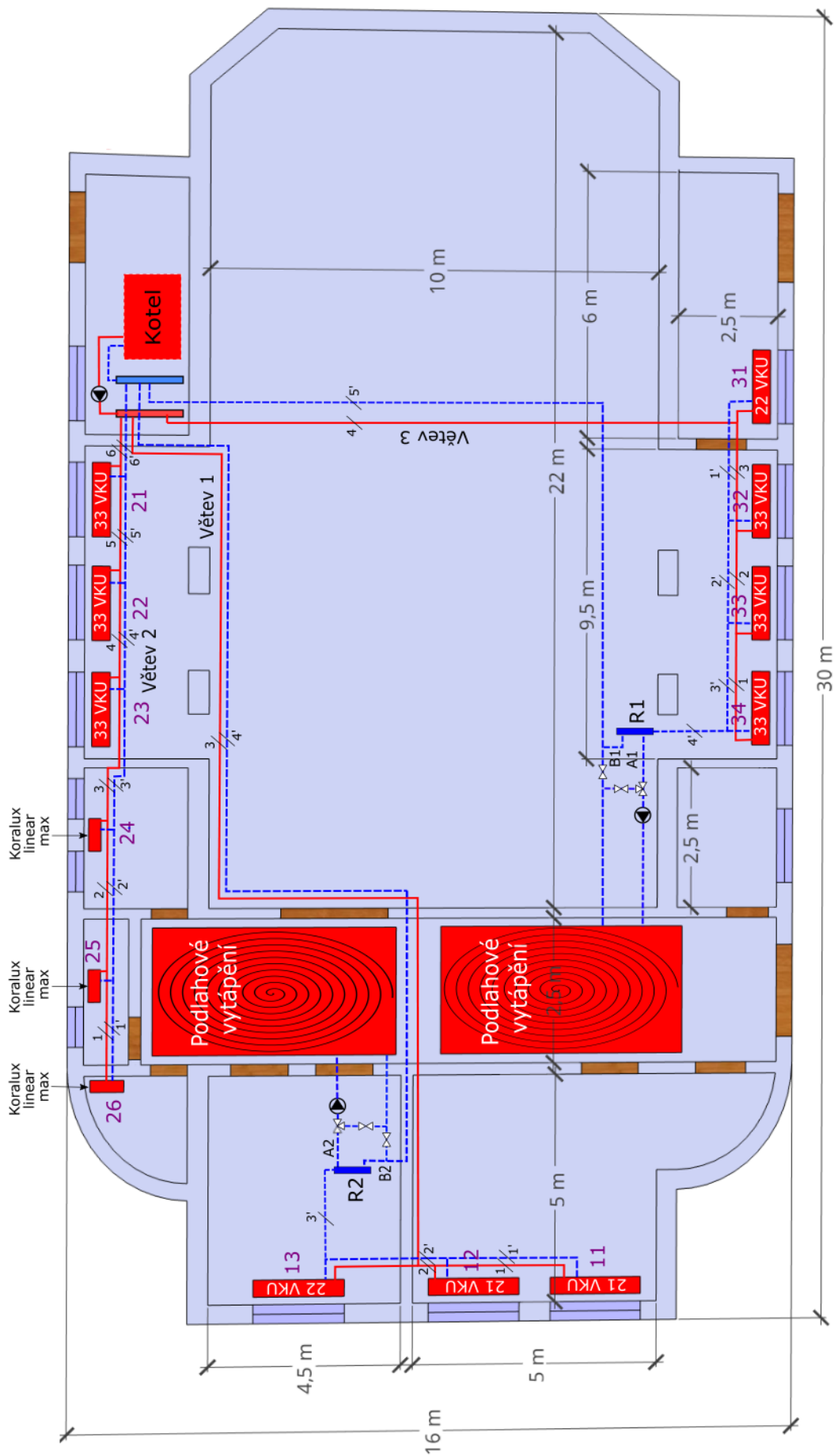
Přílohy

Příloha 1

Tabulka 0.1 Tabulka součinitelů místních odporů

Místní odpor		Součinitel místního odporu $\xi^{(1)}$	
Ohyb trubky		0,2	
Koleno		90°	1,5
		45°	1
Oblouk	Jednoduchý $r \geq 3d$	1	
	Dvojitý	ostrý	2
		mírný	1
Tvarovka T	Odbočení (rozdělení)	1,5	
	Odbočení (spojení)	1,5	
	Průchod (rozdělení)	0,5	
	Průchod (spojení)	3	
	Protiproud	3	
Kříž	rozdělení	2	
	spojení	4	
Redukce	na menší DN	0,5 ²⁾	
	na větší DN	1	
Nástěnka koncová i průtočná		3	
Přechodka na jiný materiál		0,7	
Hrdlo čerpadla		1,5	
Vtok do nádrže		1	
Výtok z nádrže		1	
Zásobníkový ohřivač		3	
Kompenzátor	osový	0,5	
	vlnocový	2	
	trubkový	2	

Příloha 2



Obrázek 0.1 Půdorys budovy v návrhu otopné soustavy

Příloha 3

Tlakové ztráty pro okruh 1

Úsek	Přenášený výkon	Hmotnostní průtok	Hmotnostní průtok	Délka úseku	Vnitřní průměr potrubí	Rychlost proudění vody	Reynoldsovo číslo	Součinitel tření	Měrná tlaková ztráta třením	Součinitel místního odporu	R . I	Δp_{zm}	R . I + Δp_{zm}
	Q [W]	m [kg/h]	m [l/s]	l [m]	d [m]	w [m/s]	Re [-]	λ [-]	R [Pa/m]	$\Sigma \xi$ [-]			
1	3736	161	0,04	3	0,013	0,34	11087	0,031	137	2	411	116	527
2	7472	321	0,09	3	0,016	0,45	18016	0,027	172	0,5	516	50	566
3	11208	482	0,13	3	0,02	0,44	21619	0,026	121	1	363	93	456
4	14227	612	0,17	12	0,02	0,55	27442	0,025	184	1,5	2205	224	2430
1'	3019	130	0,04	3	0,013	0,28	8959	0,033	94	2,5	283	94	377
2'	6755	290	0,08	3	0,016	0,41	16287	0,028	144	0,5	432	41	473
3'	10491	451	0,13	3	0,02	0,41	20236	0,027	108	1,5	324	122	445
4'	14227	612	0,17	3,5	0,02	0,55	27442	0,025	184	1,5	643	224	868
5'	15760	678	0,19	20	0,025	0,39	24319	0,025	76	3	1523	225	1749
													Celková ztráta
													7890

Tlakové ztráty pro okruh 2

Úsek	Přenášený výkon	Hmotnostní průtok	Hmotnostní průtok	Délka úseku	Vnitřní průměr potrubí	Rychlost proudění vody	Reynoldsovo číslo	Součinitel tření	Měrná tlaková ztráta třením	Součinitel místního odporu	R . I	Δp_{zm}	R . I + Δp_{zm}
	Q [W]	m [kg/h]	m [l/s]	l [m]	d [m]	w [m/s]	Re [-]	λ [-]	R [Pa/m]	$\Sigma \xi$ [-]			
1	1110	48	0,01	1,5	0,01	0,17	4282	0,039	57	2	85	29	115
2	2106	91	0,03	2,5	0,01	0,33	8124	0,033	175	0,5	437	26	463
3	3216	138	0,04	3	0,013	0,30	9543	0,032	105	1	316	43	359
4	6952	299	0,08	3	0,016	0,42	16762	0,028	151	0,5	454	44	498
5	10688	460	0,13	3	0,02	0,42	20616	0,026	111	1	334	84	419
6	14424	620	0,17	2	0,02	0,56	27822	0,024	188	2,5	377	384	761
1'	1110	48	0,01	1,5	0,01	0,17	4282	0,039	57	2,5	85	36	122
2'	2106	91	0,03	2,5	0,01	0,33	8124	0,033	175	0,5	437	26	463
3'	3216	138	0,04	3	0,013	0,30	9543	0,032	105	1,5	316	64	380
4'	6952	299	0,08	3	0,016	0,42	16762	0,028	151	0,5	454	44	498
5'	10688	460	0,13	3	0,02	0,42	20616	0,026	111	1,5	334	127	461
6'	14424	620	0,17	2	0,02	0,56	27822	0,024	188	2	377	307	684
													Celková ztráta
													5222

Tlakové ztráty pro okruh 3

Úsek	Přenášený výkon	Hmotnostní průtok	Hmotnostní průtok	Délka úseku	Vnitřní průměr potrubí	Rychlost proudění vody	Reynoldsovo číslo	Součinitel tření	Měrná tlaková ztráta třením	Součinitel místního odporu	R . I	R . I + Δp_{zm}
	Q [W]	m [kg/h]	m [l/s]	l [m]	d [m]	w [m/s]	Re [-]	λ [-]	R [Pa/m]	$\Sigma \xi$ [-]		Δp_{zm}
1	1505	65	0,02	2,5	0,01	0,23	5806	0,036	97	2	243	296
2	3010	129	0,04	0,5	0,013	0,28	8932	0,033	94	2	47	122
3	5570	239	0,07	25	0,016	0,34	13430	0,029	103	1,5	2570	2653
1'	1505	65	0,02	2,5	0,01	0,23	5806	0,036	97	2,5	243	310
2'	3010	129	0,04	1	0,013	0,28	8932	0,033	94	1,5	94	150
3'	5570	239	0,07	4	0,016	0,34	13430	0,029	103	0,5	411	439
4'	7103	305	0,08	20	0,016	0,43	17126	0,028	157	2,5	3146	3373
											Celková ztráta	7343

Tlakové ztráty podlahového vytápění

Úsek	Přenášený výkon	Hmotnostní průtok	Hmotnostní průtok	Délka úseku	Vnitřní průměr potrubí	Rychlost proudění vody	Reynoldsovo číslo	Součinitel tření	Měrná tlaková ztráta třením	Součinitel místního odporu	R . L	R . I + Δp_{zm} [Pa]
	Q [W]	m [kg/h]	m [l/s]	l [m]	d [m]	w [m/s]	Re [-]	λ [-]	R [Pa/m]	$\Sigma \xi$ [-]	[Pa]	Δp_{zm} [Pa]
1	1533	132	0,04	64,7	0,012	0,33	9857	0,032	142	11	9173	9763
2	1533	132	0,04	64,7	0,012	0,33	9857	0,032	142	11	9173	9763
											Celková ztráta	19526