

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

VYTÁPĚNÍ RODINNÉHO DOMU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Souhrn

Předmětem této bakalářské práce bylo navrhnout vytápění pro zadaný nepodsklepený rodinný dům v Teplicích. Konstrukce byly voleny tak, aby splňovaly doporučené hodnoty požadavků kladených normou ČSN 06 0210. Pro návrhový stav byl navržen vhodný zdroj tepla, otopná tělesa, rozvody a vyvážení potrubní sítě. Dále byla stanovena potřeba tepla na vytápění.

Summary

The subject of this bachelor thesis was to design a heating system for a cellarless detached house in the town of Teplice. Construction system was chosen to meet recommended values required by ČSN 06 0210. The heating source, radiators, piping system and regulations were designed accordingly. Next the needed amount of heat for heating was calculated.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Vytápění rodinného domu“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jindřicha Boháče s použitím literatury uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Teplicích 30.6. 2017

Daniel Havlík

Poděkování

Děkuji Ing. Jindřichu Boháčovi za ochotné vedení a rady při zpracovávání této práce.

Obsah

Značky a jednotky	5
Indexy	6
1. ÚVOD	7
2. ZADANÝ OBJEKT	8
2.1. Umístění objektu	8
2.2. Dispozice.....	8
2.3. Skladba konstrukcí.....	9
2.3.1. Skladby svislých konstrukcí.....	9
2.3.2. Skladby vodorovných konstrukcí.....	11
2.4. Výpočet součinitele prostupu tepla	11
2.5. Výpočet tepelných ztrát.....	12
2.5.1. Příklad výpočtu pro místnost -111-.....	16
3. NÁVRH ZDROJE TEPLA	20
3.1. Plynový kondenzační kotel	21
3.2. Potřeba tepla na vytápění	21
4. NÁVRH OTOPNÉ SOUSTAVY	23
4.1. Otopná tělesa.....	23
4.1.1. Návrh a volba otopných těles	27
4.2. Návrh potrubní sítě.....	31
4.3. Hydraulické vyvážení otopné soustavy.....	34
5. ZABEZPEČENÍ.....	35
5.1. Pojistný ventil.....	35
5.2. Tlaková expanzní nádoba.....	36
6. ZÁVĚR	38
Seznam literatury	39
Seznam příloh na přiloženém CD.....	41
Seznam výkresové dokumentace:.....	41

Značky a jednotky

U	Součinitel prostupu tepla	[W/m ² .K]
R	Tepelný odpor	[m ² .K/W]
λ	Součinitel tepelné vodivosti	[W/m.K]
s	Tloušťka konstrukce	[m]
t	Teplota	[K]
Q	Tepelná ztráta/výkon	[W]
A	Plocha	[m ²]
\dot{V}	Objemový tok	[m ³ /s]
ρ	Hustota	[kg/m ³]
c	Měrná tepelná kapacita	[J/kg.K]
V	Objem	[m ³]
n	Intenzita výměny vzduch	[-]
	Součinitel zvětšení objektu	[-]
d	Počet dní	[den]
	Vnitřní průměr potrubí	[mm]
η	Účinnost	[-]
	Součinitel využití expanzní nádoby	[-]
f	Opravný součinitel	[-]
\dot{m}	Hmotnostní průtok	[kg/s]
L	Délka potrubí	[m]
Δp	Tlaková ztráta	[Pa]
w	Střední rychlost proudění	[m/s]
ξ	Součinitel místního odporu	[-]
R	Měrný tlakový spád	[Pa/m]
Z	Tlaková ztráta místními odpory	[Pa]
k_v	Jmenovitý průtokový součinitel	[m ³ /h]
h	Výška vodního sloupce	[m]
g	Tíhové zrychlení	[kg/m.s ⁻²]

Indexy

i	vnitřní
e	vnější
V	větráním
P	prostupem
ZTR	ztráta
CELK	celkový
O	základní
C	průměrný
si	při přestupu tepla na vnitřní straně
se	při přestupu tepla na vnější straně
hyg	hygienický
inf	infiltraci
teor	teoretický
skut	skutečný
N	jmenovitý
OT	otopné těleso
Δt	na teplotní rozdíl
w1	přívodní vody
w2	vratné vody
λ	třením
ξ	místními odpory
w	střední
max	maximální
min	minimální
h,dovA	horní dovolený
d,dovA	dolní dovolený
et	expanzní nádoba

1. ÚVOD

Tepelná pohoda je definována jako pocit, který člověk vnímá při pobytu v daném prostředí. Jelikož člověk při různých činnostech produkuje teplo, musí být zajištěn odvod tohoto tepla do prostoru tak, aby nedošlo k výraznému zvýšení teploty těla. Na druhé straně odvod tepla nesmí být tak intenzivní, aby nedošlo k výraznému snížení teploty těla. Člověk by tedy neměl cítit v daném prostředí ani pocit nepříjemného chladu ani nepříjemného tepla. Tepelná pohoda je jedním ze základních požadavků člověka. Dříve bylo jedinou možností ke zlepšení teploty vnitřního prostředí využití ohně, ať už otevřeného nebo v nejrůznějších druzích kamen. Součástí bylo také pracné rozdělávání, udržování a nízká účinnost v závislosti na dostupných palivech. V dnešní době a díky moderním technologiím je stále jednodušší této pohody dosáhnout a v nových inteligentních budovách mohou být podmínky, při kterých tato pohoda nastává, snímány a upravovány automaticky. Tyto systémy je potřeba navrhovat s ohledem na dopad na životní prostředí a finanční náročnost.

Předmětem této práce je návrh otopné soustavy podle normy ČSN 06 0210 [L4], tak, aby bylo vyhověno požadavkům na tepelnou pohodu člověka.

2. ZADANÝ OBJEKT

2.1. Umístění objektu

Zadaným objektem je rodinný dům situovaný ve městě Teplice. Pro správné určení tepelných ztrát objektu je důležité znát jeho polohu, jelikož pro různá místa v České republice platí různé venkovní výpočtové teploty. Tyto teploty byly zjištěny dlouhodobým měřením venkovních teplot v zimním období na území ČR a jejich následným zprůměrováním. Tyto zprůměrované hodnoty jsou uvedeny v normě ČSN 06 0210. Pomocí této normy byla pro zadaný objekt tato teplota stanovena na -12°C.

2.2. Dispozice

Dům je nepodsklepený, má neobydlený půdní prostor a jedno nadzemní podlaží. Toto podlaží se skládá z jedenácti místností. Vstupní dveře vedou do obývacího pokoje s kuchyňským koutem (101), ze kterého se vstupuje do komory (104). Ve východní části navazuje ložnice (102) s koupelnou (103). V západní části domu se nachází technická místnost (105), WC (106), koupelna (107), chodba (108) a tři ložnice (109,110,111). Vnitřní výpočtové teploty určené podle normy jsou uvedeny v tabulce 1 níže.

Tabulka 1 Vnitřní výpočtové teploty

Označení místnosti	Vnitřní výpočtová teplota [°C]
101	20
102	20
103	24
104	15
105	15
106	20
107	24
108	20
109	20
110	20
111	20

2.3. Skladba konstrukcí

Pro správný návrh systému vytápění je nutné znát tepelné ztráty celého objektu a místností, pro které otopná tělesa navrhujeme. Celková tepelná ztráta místnosti se určí součtem tepelné ztráty prostupem a tepelné ztráty větráním. Pro určení tepelné ztráty prostupem je třeba znát orientaci objektu a složení konstrukcí.

Nejdůležitějším parametrem, který musíme znát pro výpočet tepelných ztrát, je součinitel tepelné vodivosti stavební konstrukce λ [W/m.K]. V praxi se hodnoty udávané výrobcem nebo tabulkové hodnoty součinitele tepelné vodivosti navyšují o 10 %, jelikož tyto udávané hodnoty jsou zjišťovány laboratorně a neodpovídají reálným podmínkám. Návrhové hodnoty součinitele tepelné vodivosti pro různé materiály udává norma ČSN 73 0540-3. S pomocí součinitele tepelné vodivosti určíme součinitel prostupu tepla U [W/m².K], který vyjadřuje, kolik tepla unikne konstrukcí o ploše 1 m² při rozdílu teplot jejích dvou povrchů 1 K. Součinitel prostupu tepla lze spočítat podle rovnice [L1]:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^m R_n + R_{se}} = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^m \frac{s_n}{\lambda_n} + R_{se}} \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (1)$$

kde:

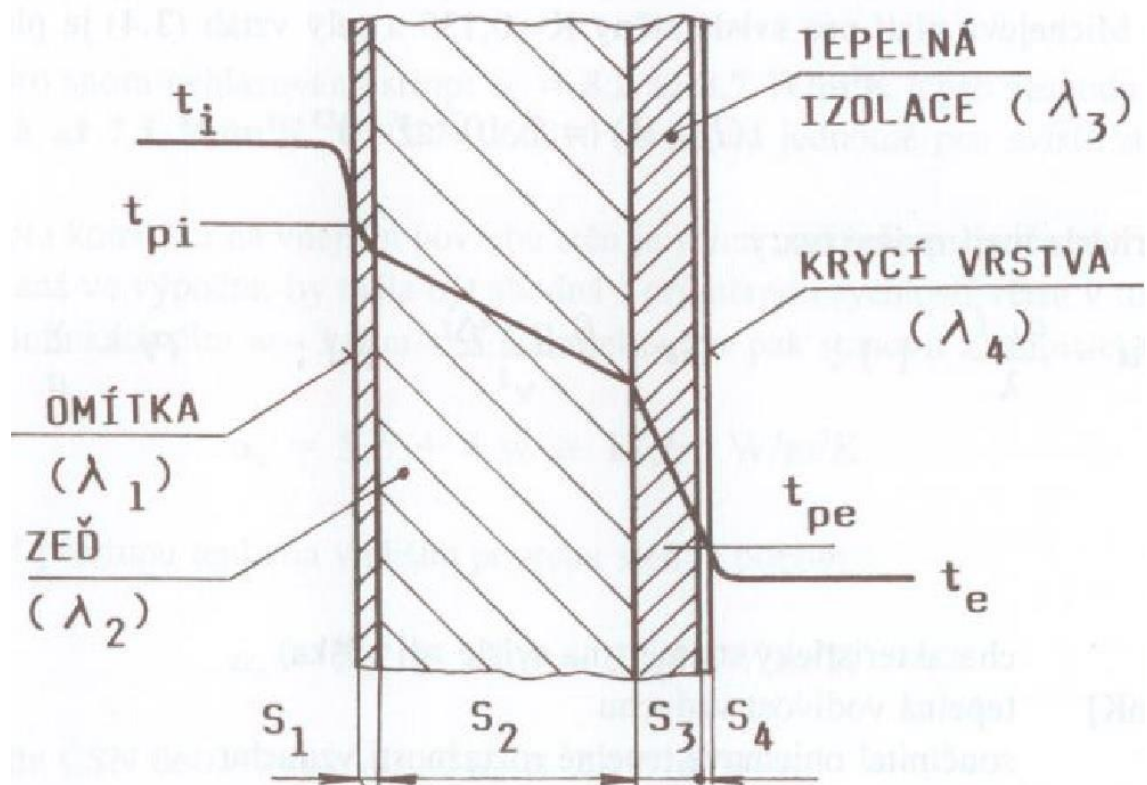
R_{si}	tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	[m ² .K/W]
R_{se}	tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	[m ² .K/W]
R_n	tepelný odpor vedením n-té pracovní konstrukce	[m ² .K/W]
s_n	tloušťka n-té stavební konstrukce	[m]
λ_n	součinitel tepelné vodivosti	[W/m.K]

2.3.1. Skladby svislých konstrukcí

V objektu, který je předmětem této práce, se nacházejí obvodové zdi, vnitřní nosné zdi, vnitřní nenosné zdi, stropy z předepjatých panelů a podlahy z železobetonových desek.

Obvodové zdi se obvykle skládají z omítky, zdiva, tepelné izolace a krycí vrstvy. Pro daný objekt bylo navrženo obvodové zdivo složené ze čtyř vrstev. První vrstvou je vápenocementová omítka. Tato vrstva má hlavně krycí a estetický charakter, její součinitel tepelné vodivosti je velký a to $\lambda = 0,99 \text{ W/m} \cdot \text{K}$. Druhou vrstvou je pálená

cihla Heluz plus 40 v broušené variantě pro přesné zdění s tepelnou vodivostí $\lambda=0,12$ W/m·K. Další vrstvou je izolace Rockwool Fastrock L o tepelné vodivosti $\lambda=0,047$ W/m·K. Poslední vrstvou obvodových zdí je izolační systém Sto s $\lambda=0,0085$ W/m·K, který v sobě zahrnuje minerální lepicí a armovací hmotu StoLevel UNI, dále silikátový mezinátěr StoPrep Miral a na závěr fasádní barvu na bázi pryskyřice StoSilco Color G, která slouží jako venkovní ochranná vrstva.



Obrázek 1 Skladba obvodového zdiva [L2]

Vnitřní nosné zdi jsou konstruovány z cihly Heluz 30 o tepelné vodivosti $\lambda = 0,175$ W/m · K a již dříve zmíněné vápenocementové omítky na obou površích.

Vnitřní příčky jsou složeny ze zdiva Heluz 14 s $\lambda = 0,268$ W/m · K a opět vápenocementové omítky.

Okna byla zvolena dřevěná s dvojitým zasklením ($U = 0,7$ W/m² · K) z katalogu firmy Slavona. Od stejné firmy byly zvoleny i dřevěné vchodové dveře ($U = 0,58$ W/m² · K).

Jako vnitřní dveře slouží výrobky od firmy Solodoor ($U = 2$ W · m/K).

2.3.2. Skladby vodorovných konstrukcí

Stropní konstrukci tvoří předepjaté železobetonové panely ($\lambda=0,12 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), vrstva betonové zálivky ($\lambda=1,3 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), hydroizolační asfaltové pásy Glastek ($\lambda=0,21 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), dále extrudovaný polystyren XPS Isover, který slouží jako tepelná izolace ($\lambda=0,047 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) a OSB desky $\lambda=0,018 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, které tvoří horní krycí vrstvu v půdním prostoru.

Podlaha je šestivrstvá. Základem je železobetonová deska ($\lambda=1,74 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) o hustotě 2500 kg/m^3 . Tato deska je pokryta dvěma vrstvami hydroizolačních pásů Glastek40 ($\lambda=0,21 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) a Elastek40 ($\lambda=0,21 \text{ W/m}\cdot\text{K}$). Pásy jsou následně pokryty deskami extrudovaného polystyrenu v jedné vrstvě ($\lambda=0,035 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) pro zlepšení izolačních vlastností podlahy. Dále následuje nivelační vrstva z lehčené cementové pěny Poriment P400 ($\lambda=0,1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$). Nášlapnou vrstvu tvoří dlažba ($\lambda=1,01 \text{ W/m}\cdot\text{K}$).

2.4. Výpočet součinitele prostupu tepla

Po navržení skladeb všech konstrukcí, se dosazením do vztahu (1) vypočte hodnota součinitele prostupu tepla. Tyto vypočtené hodnoty je dále potřeba porovnat s normou ČSN 73 0540-2, která stanoví požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla. V této práci byly skladby konstrukcí voleny tak, aby vypočtené hodnoty odpovídaly právě těmto doporučeným hodnotám.

Tepelné odpory přestupu tepla pro rovinné neprůsvitné povrchy stanoví norma ČSN EN ISO 6946 [3]. Je potřeba zaměřit se na směr tepelného toku.

Pro vodorovný směr tepelného toku jsou hodnoty tepelných odporů:

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Pro strop jsou hodnoty tepelných odporů:

$$R_{si} = 0,1 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{si} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Pro podlahu jsou hodnoty tepelných odporů:

$$R_{si} = 0,1 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{si} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Součinitel prostupu tepla pro obvodové zdi vyšel $U = 0,1776 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Norma udává jako doporučenou hodnotu $U = 0,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, tato konstrukce tudíž vyhovuje.

Pro vnitřní nosné zdi o tloušťce 300 mm byla stanovena hodnota součinitele prostupu tepla $U = 0,499 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Zde je podle normy doporučená hodnota $U = 1,8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ a i tato konstrukce vyhovuje.

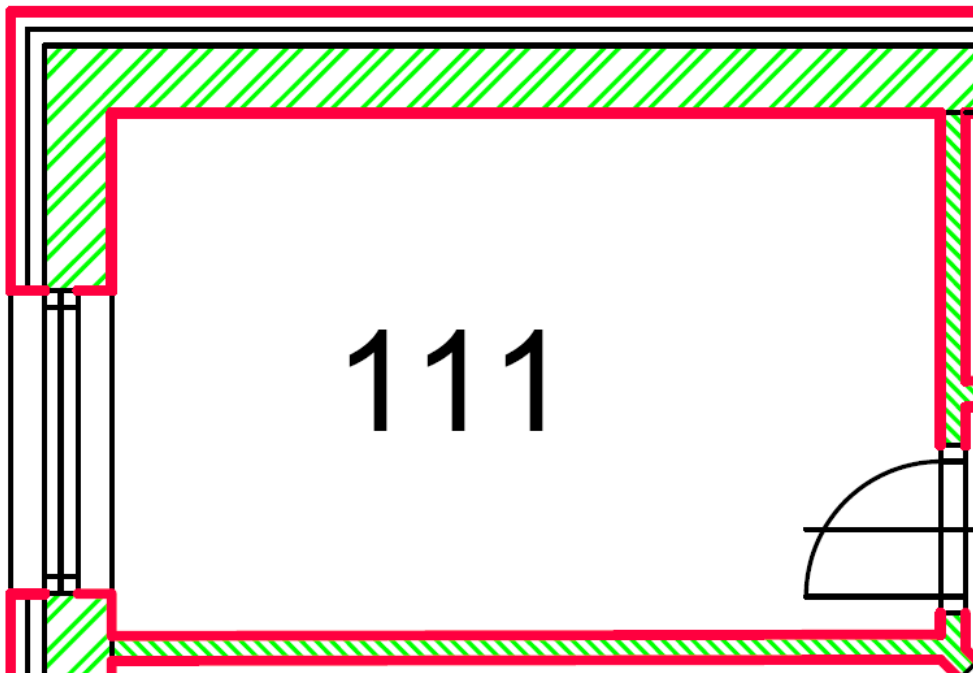
U vnitřních příček o tloušťce 140 mm vyšel součinitel prostupu tepla $U = 1,23 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Doporučená hodnota stanovená normou je $U = 1,8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Vypočtená hodnota je menší než doporučená, a i tato hodnota tedy vyhovuje požadavkům.

Podlaha je přilehlá k zemině a její součinitel prostupu tepla činí $U = 0,129 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Pro tento typ podlahy je doporučená hodnota $U = 0,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Pro zvolenou stropní konstrukci byl vypočten součinitel prostupu tepla $U = 0,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Což těsně vyhovuje doporučené hodnotě $U = 0,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

2.5. Výpočet tepelných ztrát

Tepelné ztráty jsou vypočteny podle normy ČSN 06 0210. Tato norma stanovuje postup výpočtu tepelných ztrát budov prostupem stěnami a větráním (infiltrací) při nepřerušovaném vytápění jako podklad pro dimenzování otopných soustav ústředního vytápění. Platnost této normy byla ukončena v roce 2008, je však stále využívána kvůli své přehlednosti. Postup výpočtu tepelných ztrát je identický pro všechny místnosti, pro ilustraci zde bude uveden pro místnost -111-. Uvažujeme venkovní výpočtovou teplotu $t_e = -12 \text{ }^\circ\text{C}$ a zároveň větrno.



Obrázek 2 Výkres místnosti -111-

Místnost -111- je ložnice, jejíž dvě vnější stěny jsou ochlazované, s jedním oknem. Vnitřní stěny sousedí s dalšími místnostmi. Na jedné straně s místností -107-, která je využívána jako koupelna s vnitřní výpočtovou teplotou $t_i = 24 \text{ }^\circ\text{C}$, současně tato stěna částečně sousedí s místností -108-, což je chodba, ale vzhledem k jejímu umístění ve středu domu je zde počítáno s identickou vnitřní výpočtovou teplotou $t_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Druhá stěna sousedí s místností -110-, která je využívána jako pracovna a její vnitřní teplota je také $t_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Celková tepelná ztráta místnosti se zjistí součtem tepelné ztráty větráním a tepelné ztráty prostupem. (2)

$$Q_{ZTR,CELK} = Q_V + Q_P \quad [\text{W}] \quad (2)$$

kde

$Q_{ZTR,CELK}$	celková tepelná ztráta	[W]
Q_V	tepelná ztráta větráním	[W]
Q_P	tepelná ztráta prostupem	[W]

Hodnotu tepelné ztráty prostupem zjistíme jako součin základní tepelné ztráty se součtem přírážek (3). Těmito přírážkami jsou přírážka na vyrovnání vlivu chladných stěn p_1 vypočtená podle vzorce (4), dále přírážka na urychlení zátoku (p_2), která se používá pouze v případě, že ani za nejnižších venkovních teplot není možné zajistit nepřerušovanou dodávku tepla. V tomto případě tato přírážka nebyla uvažována. Poslední přírážkou je přírážka na světovou stranu. O její hodnotě rozhoduje poloha nejvíce ochlazované konstrukce v místnosti. Její hodnoty jsou uvedeny v tabulce 2.

$$Q_P = Q_{O,CELK} \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3) \quad [\text{W}] \quad (3)$$

$$p_1 = 0,15 \cdot U_C \quad [-] \quad (4)$$

kde

$Q_{O,CELK}$	základní tepelná ztráta prostupem tepla	[W]
p_1	přírážka na vyrovnání vlivu chladných stěn	[-]
p_2	přírážka na urychlení zátoku	[-]
p_3	přírážka na světovou stranu	[-]
U_C	průměrný součinitel prostupu tepla konstrukcí	[W/m ² .K]

Tabulka 2 Hodnoty přírážek p_3

Světová strana	J	JZ	Z	SZ	S	SV	V	JV
Přírážka p_3	-0,05	0	0	0,05	0,1	0,05	0,05	0

Základní tepelná ztráta se spočte podle vzorce (5), jako suma součinu všech ploch konstrukcí, součinitele prostupu tepla ochlazované konstrukce a rozdílu vnitřní a vnější výpočtové teploty.

$$Q_{O,CELK} = \sum_j [U_j \cdot A_j \cdot (t_i - t_{e,j})] \quad [\text{W}] \quad (5)$$

kde

U_j	součinitel prostupu tepla ochlazované konstrukce	$[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$
A_j	plocha konstrukce	$[\text{m}^2]$
t_i	vnitřní výpočtová teplota (dána normou ČSN 06 0210)	$[\text{°C}]$
$t_{e,j}$	vnější výpočtová teplota (dána normou ČSN 06 0210)	$[\text{°C}]$

Tepelné ztráty větráním jsou ztráty do vnějšího prostředí větráním, nebo infiltrací a šíření tepla větráním z jednoho vytápěného prostoru do dalších vytápěných prostorů. Tyto ztráty se vypočtou podle vzorce (6).

$$Q_V = \dot{V} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_i - t_e) \quad [\text{W}] \quad (6)$$

kde

\dot{V}	objemový průtok vzduchu přiváděný do místnosti	$[\text{m}^3/\text{s}]$
ρ	hustota vzduchu (1,2 kg/m^3)	
c	měrná tepelná kapacita vzduchu (1010 $\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$)	
t_i	vnitřní výpočtová teplota (dána normou ČSN 06 0210)	$[\text{°C}]$
t_e	vnější výpočtová teplota (dána normou ČSN 06 0210)	$[\text{°C}]$

Objemové průtoky se dělí na dva typy, podle hygienických požadavků a podle infiltrace. Pro správné provedení návrhu je nutné spočítat oba průtoky a zvolit vyšší z hodnot. Tyto průtoky se spočítají podle vzorců (7) a (8).

Hygienické požadavky:

$$\dot{V}_{hyg} = \frac{V_m \cdot n}{3600} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (7)$$

kde

V_m vnitřní objem místnosti $[\text{m}^3]$

n intenzita výměny vzduchu $[\text{h}^{-1}]$

Infiltrace:

$$\dot{V}_{inf} = \sum(i_{LV} \cdot L) \cdot B \cdot M \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (8)$$

kde

i_{LV} součinitel spárové průvzdušnosti $[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-0,67}]$

L délka spáry otevíratelných částí oken $[\text{m}]$

B charakteristické číslo budovy $[\text{Pa}^{0,67}]$

M charakteristické číslo místnosti $[-]$

Charakteristické číslo budovy závisí na poloze budovy v krajině, na druhu budovy a také na typu krajiny, která ji obklopuje. Tyto hodnoty se pohybují od 3 do 16 $\text{Pa}^{0,67}$ a udává je norma ČSN 06 0210 v tabulce A.4.

Charakteristické číslo budovy vyjadřuje tlakové poměry v místnosti dané průvzdušností oken a vnitřních dveří, pro posuzovanou místnost nabývají hodnoty 0,4; 0,5; 0,7 a 1. Tyto hodnoty je možné najít v normě ČSN 06 0210 v tabulce A.5.

2.5.1. Příklad výpočtu pro místnost -111-

a) Ochlazovaná obvodová stěna s otvorem (okno):

$$\text{Plocha stěny } A = 13,03 \text{ m}^2$$

$$\text{Plocha otvoru } A_{OTV} = 1,8 \cdot 1,5 = 2,7 \text{ m}^2$$

$$\text{Plocha stěny bez otvoru } A_V = 10,33 \text{ m}^2$$

$$\text{Součinitel prostupu tepla } U = 0,1776 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\text{Vnitřní výpočtová teplota } t_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Vnější výpočtová teplota } t_{e,j} = -12 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Základní tepelná ztráta } Q_O = U \cdot A \cdot \Delta t = 0,1776 \cdot 10,33 \cdot (20 - (-12)) = \mathbf{58 \text{ W}}$$

b) Ochlazované okno

$$\text{Plocha otvoru } A_{OTV} = 1,8 \cdot 1,5 = 2,7 \text{ m}^2$$

$$\text{Součinitel prostupu tepla } U = 0,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\text{Vnitřní výpočtová teplota } t_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Vnější výpočtová teplota } t_{e,j} = -12 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Základní tepelná ztráta } Q_O = U \cdot A \cdot \Delta t = 0,7 \cdot 2,7 \cdot (20 - (-12)) = \mathbf{60 \text{ W}}$$

c) Ochlazovaná obvodová stěna bez otvoru

$$\text{Plocha stěny } A = 19,6 \text{ m}^2$$

$$\text{Součinitel prostupu tepla } U = 0,1776 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\text{Vnitřní výpočtová teplota } t_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Vnější výpočtová teplota } t_{e,j} = -12 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Základní tepelná ztráta } Q_O = U \cdot A \cdot \Delta t = 0,1776 \cdot 19,6 \cdot (20 - (-12)) = \mathbf{111 \text{ W}}$$

d) Podlaha

$$\text{Plocha podlahy } A = 14,4 \text{ m}^2$$

$$\text{Součinitel prostupu tepla } U = 0,129 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\text{Vnitřní výpočtová teplota } t_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Vnější výpočtová teplota } t_{e,j} = 4,1 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Základní tepelná ztráta } Q_O = U \cdot A \cdot \Delta t = 0,129 \cdot 14,4 \cdot (20 - 4,1) = \mathbf{29 \text{ W}}$$

e) Strop

Plocha stropu $A = 14,4 \text{ m}^2$

Součinitel prostupu tepla $U = 0,208 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Vnitřní výpočtová teplota $t_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Vnější výpočtová teplota $t_{e,j} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$

Základní tepelná ztráta $Q_O = U \cdot A \cdot \Delta t = 0,208 \cdot 14,4 \cdot (20 - 0) = \mathbf{60 \text{ W}}$

Vnitřní výpočtové teploty sousedních místností jsou stejné, nebo vyšší. Vzhledem k tomu, že teplo nemůže přecházet z chladnějšího prostředí do teplejšího nebo do prostředí o stejné teplotě, ostatní vnitřní konstrukce posuzované místnosti vykazují nulovou tepelnou ztrátu.

Celková základní tepelná ztráta místnosti -111- se získá součtem základních tepelných ztrát jednotlivých konstrukcí. Ve výsledku činí $Q_{O,CELK} = 318 \text{ W}$.

Pro výpočet přírážky na vyrovnání vlivu chladných stěn je potřeba zjistit průměrný součinitel prostupu tepla konstrukcí. Postupujeme podle vztahu (9).

$$U_C = \frac{Q_{O,CELK}}{A_M \cdot (t_i - t_e)} \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (9)$$

kde

$Q_{O,CELK}$	celková základní tepelná ztráta	[W]
A_M	celková plocha místnosti	[m ²]
t_i	vnitřní výpočtová teplota (dána normou ČSN 06 0210)	[°C]
t_e	vnější výpočtová teplota (dána normou ČSN 06 0210)	[°C]

$$U_C = \frac{Q_{O,CELK}}{A_M \cdot (t_i - t_e)} = \frac{318}{(10,33 + 2,7 + 19,6 + 14,4 + 14,4) \cdot (20 - (-12))} \\ = 0,126 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Celkový součinitel prostupu tepla konstrukcí nyní můžeme dosadit do rovnice (4), čímž získáme přírážku na vyrovnání vlivu chladných stěn.

$$p_1 = 0,15 \cdot U_C = 0,15 \cdot 0,126 = 0,0189$$

Přírážku na urychlení zátopy zde neuvažujeme, jelikož je zajištěna nepřerušená dodávka tepla.

Pro určení přírážky na světovou stranu je nutné znát orientaci domu vůči světovým stranám. V tomto případě je nejvíce ochlazovanou konstrukcí společný roh dvou obvodových zdí, jenž je orientován na severovýchod. Z tabulky 3. odečteme hodnotu přírážky $p_3 = 0,05$.

V tuto chvíli již známe všechny potřebné údaje pro výpočet tepelné ztráty prostupem.

Výše vypočtené hodnoty dosadíme do vzorce (3).

$$Q_P = Q_{O,CELK} \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3) = 318 \cdot (1 + 0,0189 + 0 + 0,05) = \mathbf{340\ W}$$

Jedním ze základních údajů pro výpočet tepelné ztráty větráním této místnosti je vnitřní objem místnosti. Jelikož vnitřní rozměry místnosti jsou přesně dané, jednoduchým výpočtem stanovíme objem místnosti -111- jako $V_m = 46,06\ m^3$. Intenzita výměny vzduchu této místnosti je dána hygienickými požadavky na průtok čerstvého vzduchu a činí $n = 0,5\ h^{-1}$. Nyní z těchto hodnot vypočteme objemový tok podle hygienických požadavků s využitím rovnice (7).

$$\dot{V}_{hyg} = \frac{V_m \cdot n}{3600} = \frac{46,06 \cdot 0,5}{3600} = 0,0064\ m^3/s$$

Dalším krokem je výpočet objemového toku dle intenzity výměny vzduchu s využitím rovnice (8). Nejprve určíme součinitel spárové průvzdušnosti, který norma pro zvolený typ oken udává jako $i_{LV} = 1,2 \cdot 10^{-4}\ m^{-2} \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}$. Délka spáry otevíratelných částí oken a venkovních dveří je zde stejná jako šířka okna což je $L = 1,5\ m$. Charakteristické číslo budovy bylo stanoveno podle normy ČSN 06 0210 $B = 8$, jelikož předpokládáme polohu budovy chráněnou a dle druhu je řazena do kategorie osamělá. Charakteristické číslo místnosti je $M = 0,7$. Toto číslo bylo zjištěno určením počtu vnitřních dveří a jejich těsnosti. V tomto případě jsou vnitřní dveře jedny a jedná se o netěsné bez prahu.

$$\dot{V}_{inf} = (i_{LV} \cdot L) \cdot B \cdot M = 1,2 \cdot 10^{-4} \cdot 8 \cdot 0,7 = 0,00067\ m^3/s$$

Nyní je nutné porovnat tyto dva vypočtené objemové průtoky. Pro další postup uvažujeme větší z obou hodnot, což je v tomto případě objemový průtok podle

hygienických požadavků. Měrnou tepelnou kapacitu vzduchu uvažujeme $c = 1010 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$. Hustota vzduchu je $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$. Již známe objemový průtok vzduchu a všechny další potřebné hodnoty, můžeme dosadit do vzorce (6).

$$Q_V = \dot{V} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_i - t_e) = 0,0064 \cdot 1,2 \cdot 1010 \cdot (20 - (-12)) = \mathbf{248 \text{ W}}$$

V tuto chvíli již známe vše potřebné pro výpočet celkové tepelné ztráty místnosti -111- dle rovnice (2).

$$Q_{ZTR,CELK} = Q_V + Q_P = 340 + 248 = \mathbf{588 \text{ W}}$$

Tímto postupem byly vypočteny tepelné ztráty ve všech ostatních místnostech. Celkové tepelné ztráty řešeného objektu činí 6899 W a z této hodnoty se bude vycházet při návrhu výkonu jednotlivých otopných těles v místnostech. Přehled všech vypočtených celkových tepelných ztrát v jednotlivých místnostech je uveden v tabulce 3.

Podrobný výpočet celkových tepelných ztrát ostatních místností je uveden v příloze 1.

Některé místnosti mají nižší celkovou tepelnou ztrátu než $Q = 150 \text{ W}$ a proto nejsou vytápěny. Jejich tepelná ztráta byla přičtena k některé ze sousedních místností a tyto nevytápěné místnosti se budou jen temperovat.

Tabulka 3 Vypočtené ztráty jednotlivých místností

Číslo místnosti	Účel místnosti	Tepelná ztráta [W]	Vytápěno (Ano/Ne)
101	Obývací pokoj + KK	2648	Ano
102	Ložnice	737	Ano
103	Koupelna	676	Ano
104	Komora	48	Ne
105	Kotelna	132	Ne
106	WC	308	Ano
107	Koupelna	637	Ano
108	Chodba	124	Ne
109	Ložnice	387	Ano
110	Pracovna	616	Ano
110	Ložnice	588	Ano
Celková ztráta		6899	-

3. NÁVRH ZDROJE TEPLA

Trh v dnešní době nabízí velkou řadu typů zdrojů tepla od různých výrobců a s různými typy paliv. Je tedy důležité správně vybrat zdroj tepla po zohlednění ekologických a ekonomických možností.

Prvním kritériem, které bylo použito při volbě zdroje tepla byl jeho výkon. Ten musí být pokryt celkovou tepelnou ztrátou. Takovýchto zdrojů tepla je ale celá řada a je nemožné správně zvolit pouze podle tohoto kritéria.

Dalším kritériem je typ paliva. Nejrozšířenějšími typy paliv jsou tuhá paliva jako například uhlí a plynná paliva, mezi která patří například zemní plyn.

Kotel na tuhá paliva nebyl vybrán hned z několika důvodů. Prvním a hlavním důvodem je potřeba dostatečného prostoru pro skladování paliva, který v tomto objektu není navržen. Dalším problémem tohoto typu kotlů je zajištění dopravy paliva do technické místnosti a vynášení popela.

Plynové kotle jsou druhou možností. Tyto kotle jsou v dnešní době velmi rozšířeným zdrojem tepla pro vytápění rodinných domů. Objekt je vhodně umístěn v zástavbě s již provedenou plynifikací nízkotlakým plynovodem. Plynové kotle jsou také vhodné pro objekty s nižšími tepelnými ztrátami a teplotní spádem 55/45 °C. Mají nízké náklady na údržbu a vysokou účinnost. Tento typ kotle byl z důvodů výše uvedených vybrán jako nejvhodnější varianta.

Další zvažovanou možností bylo využití tepelného čerpadla. Existuje více variant, dělí se podle druhu nositele tepla a přečerpané energie. Jednou z variant je tepelné čerpadlo země/voda, kde se pomocí hlubinných vrtů nebo užitím plošných kolektorů získává teplo. Nevýhodou tohoto typu čerpadel jsou velmi vysoké investiční náklady, které vyvažují nižší provozní náklady než u jiných variant. Druhou variantou je čerpadlo na principu vzduch/voda, které získává teplo z venkovního vzduchu. Výhodou těchto čerpadel jsou malé nároky na prostor, je ale nutné zohlednit vysokou hlučnost a nákladný provoz.

3.1. Plynový kondenzační kotel

Jako zdroj tepla byl zvolen plynový kotel Geminox THRS 1-10B-120DC. Vybraný kotel má výkon v rozsahu 1,1 až 9,5 kW a pokrývá tedy celkovou tepelnou ztrátu budovy 6899 W. Ohřev vody je zajištěn integrovaným nerezovým zásobníkem o objemu 120 litrů.

Tato přímá alternativa sestavy THRS-SET je díky modernímu designu a kompaktním rozměrům využívána zejména pro umístění v interiéru. Čerpadlo typu GRUNDFOS UPM 15-70, které vhání vodu do potrubí, je integrovanou součástí kotle [L11]. Odvod kouře je zajištěn kouřovodem vyvedeným spalínovým potrubím mimo budovu. Kotel bude umístěn v místnosti -105-, která slouží jako kotelna.

3.2. Potřeba tepla na vytápění

Udává celkovou roční potřebu energie na vytápění navrženou v projektu. Tato hodnota se liší od skutečné hodnoty spotřeby tepla na vytápění. Potřebu tepla na vytápění lze vypočítat pomocí denostupňové metody dle rovnice (10)

$$Q_{d,vyt,teor} = 24 \cdot 3600 \cdot Q_C \cdot \frac{d \cdot (t_i - t_e)}{(t_i - t_e)} \cdot e_i \cdot e_t \cdot e_d \quad [\text{J/ot.obd.}] \quad (10)$$

kde

Q_C	celková tepelná ztráta objektu	[W]
d	počet dnů v otopném období	[den]
t_{is}	průměrná vnitřní výpočtová teplota objektu	[°C]
t_{es}	průměrná venkovní teplota za otopné období	[°C]
t_e	vnější výpočtová teplota (dána normou ČSN 06 0210)	[°C]
e_i	opravný součinitel na nesoučasnost přírážek	[-]
e_t	opravný součinitel na snížení vnitřní teploty	[-]
e_d	opravný součinitel na zkrácení doby provozu	[-]

Celkovou tepelnou ztrátu již známe z předchozích výpočtů, stejně tak vnější výpočtovou teplotu. Průměrná vnitřní výpočtová teplota objektu je volena $t_{is} = 19 \text{ °C}$. Průměrná venkovní teplota za otopné období ve městě Teplice je $t_{es} = 4,1 \text{ °C}$. Počet dnů v otopném období je normou ČSN 38 3350 stanoven na $d = 205 \text{ dní}$. Opravný součinitel na nesoučasnost přírážek se volí pro rodinné domy $e_i = 0,6$. Opravný součinitel na snížení vnitřní teploty je pro obytné budovy s nepřerušovaným vytápěním

$e_t = 0,95$. Poslední opravný součinitel na zkrácení doby provozu volíme pro budovy s nepřetržitým vytápěním $e_d = 1$.

Po dosazení všech zjištěných hodnot získáváme potřebu tepla na vytápění:

$$\begin{aligned} Q_{d,vyt,teor} &= 24 \cdot 3600 \cdot Q_c \cdot \frac{d \cdot (t_{is} - t_{es})}{(t_{is} - t_e)} \cdot e_i \cdot e_t \cdot e_d \\ &= 24 \cdot 3600 \cdot 6899 \cdot \frac{205 \cdot (19 - 4,1)}{(19 - (-12))} \cdot 0,6 \cdot 0,95 \cdot 1 \\ &= 33478 \text{ MJ/rok} \end{aligned}$$

Tuto teoretickou hodnotu je ještě potřeba přepočítat na skutečnou hodnotu pomocí rovnice (11).

$$Q_{d,vyt,skut} = \frac{Q_{d,vyt,teor}}{\eta_R \cdot \eta_O \cdot \eta_K} \quad [\text{J/ot.obd.}] \quad (11)$$

kde

η_R	účinnost rozvodu tepla	[-]
η_O	účinnost obsluhy zdroje tepla, resp. regulace	[-]
η_K	účinnost zdroje tepla (kotle)	[-]

Tyto účinnosti jsou dány jako $\eta_R = 0,98$ pro rodinný dům, $\eta_O = 0,99$ pro plynový kotel a $\eta_K = 0,9$ pro kotel na plynná paliva.

Skutečná potřeba tepla na vytápění tedy činí:

$$Q_{d,vyt,skut} = \frac{Q_{d,vyt,teor}}{\eta_R \cdot \eta_O \cdot \eta_K} = \frac{33478}{0,98 \cdot 0,99 \cdot 0,9} = \mathbf{38340 \text{ MJ/rok}}$$

4. NÁVRH OTOPNÉ SOUSTAVY

Otopnou soustavu v tomto objektu tvoří dvoutrubkový protiproudý systém s nuceným oběhem vody a uzavřenou expanzní nádobou. Expanzní nádoba je v tomto případě součástí kotle a má objem 18 l. Zvolený kotel je dvoukruhový, nástěnný plynový a kondenzační. Pro vytápění objektu byla zvolena pouze desková a trubková otopná tělesa. Navržený teplotní spád činí 55/45 °C a řadí se mezi nízkoteplotní.

4.1. Otopná tělesa

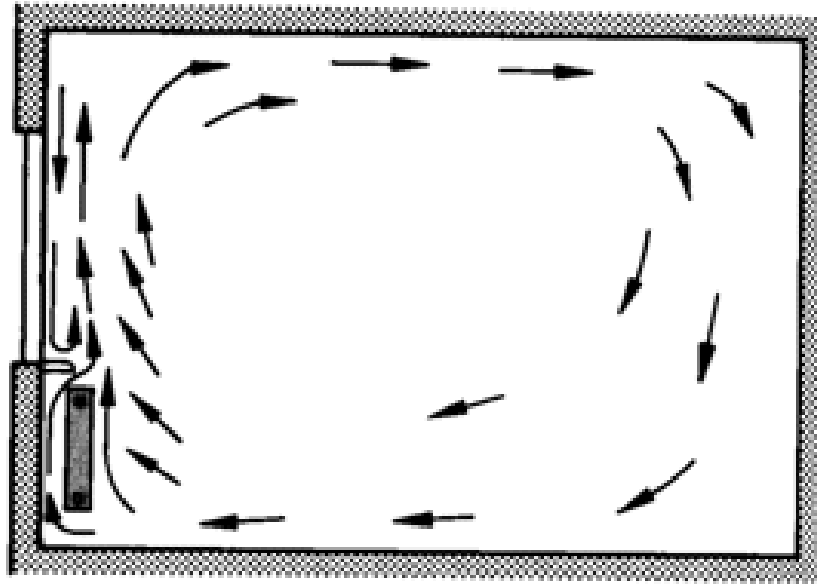
Otopné těleso je zařízení předávající teplo do vytápěného prostoru. Musí poskytnout dostatečné množství tepla, které je předáno do vytápěného prostoru otopnou plochou takový způsobem, aby byla zajištěna tepelná pohoda prostředí. Veličiny, které mají hlavní vliv na tepelnou pohodu lze ovlivnit druhem, velikostí a způsobem instalace otopné plochy. Hlavní je pak ovlivnění:

- a) směru a rychlosti proudění vzduchu ve vytápěném prostoru
- b) rozložení teplot (teplotní profil) ve vytápěném prostoru
- c) povrchových teplot okolních ploch vzhledem k jejich sálavému účinku.

Otopná tělesa se svým umístěním odlišují od integrovaných otopných ploch, jako je podlahová, stropní či stěnová otopná plocha, které jsou přímo včleněny ve vytápěném prostoru. Pro vytápěnou místnost je rovněž podstatný způsob sdílení tepla u otopné plochy na straně do místnosti. Vzájemný poměr mezi konvekcí a sáláním ovlivňují především druh a typ otopné plochy, neboť ovlivňují způsob proudění vzduchu okolo otopné plochy a tím složku přirozené konvekce.

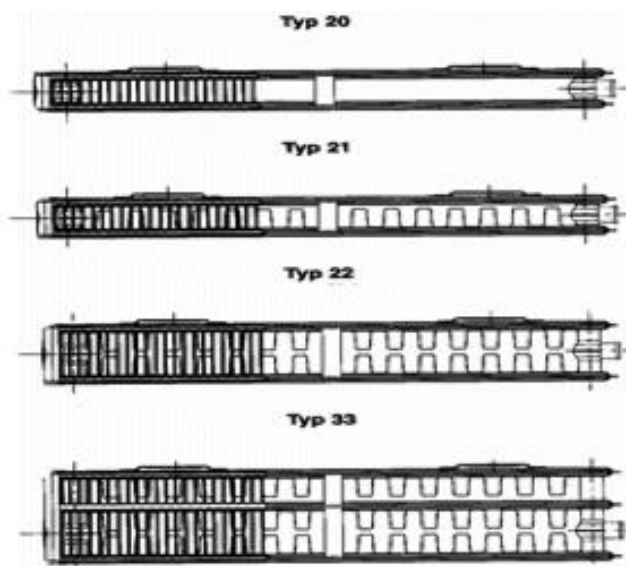
Celkovým tepelným výkonem otopné plochy Q_c rozumíme součet tepelného toku sdíleného do okolního prostoru sáláním Q_z a konvekcí Q_k . Tepelný výkon otopných těles je především závislý na uspořádání teplosměnné plochy na straně do místnosti. Je zřejmé, že celkový tepelný výkon není závislý na průmětné ploše tělesa do prostoru, ale je na ní převážně závislá část tepelného výkonu sdílená sáláním. Podíl tepla sdílený sáláním je závislý na poměru průmětné čelní plochy a konvekčních ploch [L2].

Umístěním otopného tělesa pod oknem na ochlazované stěně stoupají teplé konvekční proudy vzhůru, srážejí se s chladnými padajícími proudy a mísí se s nimi. Tyto smíšené proudy následně proudí v celé místnosti a opět klesají k zemi. Tento princip je ukázán na obrázku č. 3.



Obrázek 3. Proudění vzduchu v uzavřeném vytápěném prostoru s otopným tělesem pod ochlazovanou plochou [L19]

Druhů otopných těles je celá řada stejně tak jako materiálů, ze kterých jsou vyrobeny. Mezi nejrozšířenější patří desková otopná tělesa. Za desková otopná tělesa pokládáme souvislé hladké desky, popř. se zvětšením povrchu zvlněním nebo konvekčním plechem v různém montážním uspořádání [L14]. Desková tělesa mohou být jednoduchá, zdvojená, nebo ztrojená viz obr. č. 4.



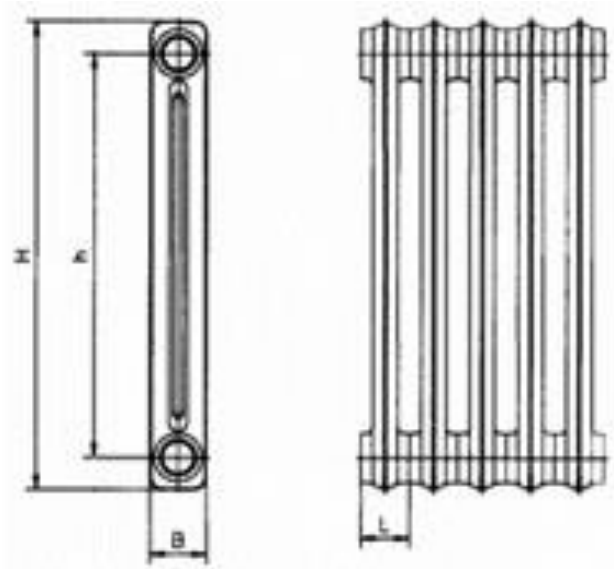
Obrázek 4. Typy deskových otopných těles [L14]

Dalším typem otopných těles jsou trubková otopná tělesa. Podstatou řešení trubkových těles jsou rozvodné a sběrné komory, navzájem spojené řadou trubek menších průřezů. Trubky jsou kruhového, čtvercového, obdélníkového či obecně kombinovaného průřezu. Trubky bývají uspořádány různým způsobem. Nejčastěji se vyskytují ve tvaru meandru, registru s vodorovnými trubkami nebo registru se svislými trubkami [L14]. Příklad můžeme vidět na obrázku č. 5. Tato tělesa jsou nejvíce využívána v koupelnách.



Obrázek 5. Příklad trubkového otopného tělesa [L16]

Mezi další typy otopných těles patří dříve často užívaná článková otopná tělesa. Jedná se o tělesa složená z jednotlivých článků, příklad je možné vidět na obrázku č.6. Jsou vyráběna z různých materiálů a různým technologickým postupem jako je např. lisování plechů, odlévání a tlakové lití. Známou vlastností článkových otopných těles je jejich malý hydraulický odpor. [L14].



Obrázek 6. Příklad článkového otopného tělesa [L14]

Posledním typem otopných těles jsou konvektory. Konvektor je otopné těleso, které sdílí teplo do vytápěného prostoru převážně konvekcí. Skládá se obvykle z výměníku tepla a skříně, opatřené v horní části výdechovou mřížkou. Konvektory jsou pojmenovány podle toho, kde je umístěn otopný článek (výměník tepla). Konvektory tak lze rozdělit na skříňové, soklové nebo zapuštěné.



Obrázek 7. Podlahový konvektor [L8]

4.1.1. Návrh a volba otopných těles

V celém objektu byla navržena otopná tělesa od firmy Korado a.s. a to typy KORALUX LINEAR COMFORT – M, což jsou trubková otopná tělesa použitá v koupelnách. Druhým použitým typem jsou desková otopná tělesa v provedení RADIK VK – ventil kompaktní s pravým spodním připojením a RADIK VKL – ventil kompaktní s levým spodním připojením na otopnou soustavu. Navržená tělesa jsou typového provedení 10 - jedna deska bez konvekčního plechu, 20 - dvě desky bez konvekčního plechu, 21 - dvě desky s jedním konvekčním plechem a 22 - dvě desky s dvěma konvekčními plechy. Součástí všech otopných deskových těles jsou odvodušňovací ventily. Všechna desková otopná tělesa mají jednotnou výšku 600 mm. Trubková otopná tělesa KORALUX LINEAR COMFORT – M jsou vyrobena z uzavřených ocelových profilů průřezu tvaru “D” a rovných profilů s kruhovým průřezem. Těleso je upravené pro spodní středové připojení s připojovací roztečí 50 mm. Otopná tělesa se dodávají se sadou pro upevnění na stěnu včetně odvodušňovací a zaslepovací zátky [L17]. Pro správný návrh otopných těles je nutné zohlednit teplotní spád, pro který výrobce udává výkon tělesa. U mnohých výrobců je uveden výkon pouze pro jmenovitý teplotní spád 75/65/20 °C. V našem případě je tedy potřeba přepočítat výkony otopných těles na zvolený teplotní spád 55/45 °C. Postupuje se podle rovnice (12).

$$Q_{sk,OT} = Q_{N,OT} \cdot f_{\Delta t} \cdot f_x \cdot f_o \cdot f_n \cdot f_p \quad [\text{W}] \quad (12)$$

kde

$Q_{N,OT}$	výkon otopného tělesa při jmenovitých podmínkách	[W]
$f_{\Delta t}$	opravný součinitel na teplotní rozdíl	[-]
f_x	opravný součinitel na připojení OT	[-]
f_o	opravný součinitel na úpravu okolí	[-]
f_n	opravný součinitel na počet článku	[-]
f_p	opravný součinitel na umístění v prostoru	[-]

Opravný součinitel na teplotní rozdíl se vypočte podle rovnice (14). Nejprve musíme spočítat teplotní podílový součinitel c (13). Pokud je výsledná hodnota menší než $c=0,7$, musíme počítat logaritmický teplotní rozdíl, v opačném případě lze použít aritmetický teplotní rozdíl.

$$c = \frac{t_{w2} - t_i}{t_{w1} - t_i} \quad [-] \quad (13)$$

kde

t_{w1} teplota otopné vody [°C]

t_{w2} teplota zpátečky [°C]

t_i vnitřní výpočtová teplota místnosti [°C]

$$f_{\Delta t} = \left(\frac{(\Delta t)_{sk}}{(\Delta t)_N} \right)^n \quad [-] \quad (14)$$

kde

$(\Delta t)_{sk}$ teplotní rozdíl spočtený pro skutečný teplotní spád [°C]

$(\Delta t)_N$ teplotní rozdíl spočtený pro jmenovitý teplotní spád [°C]

n teplotní exponent otopného tělesa (udává výrobce) [-]

Teplotní rozdíly jsou dva. Logaritmický (15) pro $c < 0,7$ a aritmetický pro $c \geq 0,7$ (16).

$$\Delta t = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\ln \frac{t_{w1} - t_i}{t_{w2} - t_i}} \quad [^\circ\text{C}] \quad (15)$$

$$\Delta t = \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} - t_i \quad [^\circ\text{C}] \quad (16)$$

kde

t_{w1} teplota otopné vody [°C]

t_{w2} teplota zpátečky [°C]

t_i vnitřní výpočtová teplota místnosti [°C]

Příklad výpočtu pro místnost -111-:

Teplotní spád v této místnosti je 55/45/20 °C. Tyto hodnoty dosadíme do rovnice (13) a zjistíme teplotní podílový součinitel.

$$c = \frac{t_{w2} - t_i}{t_{w1} - t_i} = \frac{45 - 20}{55 - 20} = 0,714$$

Tato hodnota je větší než 0,7 proto můžeme pro výpočet teplotního rozdílu použít vzorec (16).

Skutečný aritmetický teplotní rozdíl:

$$\Delta t_{sk} = \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} - t_i = \frac{55 + 45}{2} - 20 = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Jmenovitý aritmetický teplotní rozdíl:

$$\Delta t_N = \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} - t_i = \frac{75 + 65}{2} - 20 = 50 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Teplotní ztráta místnosti je $Q_{sk}=588 \text{ W}$. Do této místnosti jsme zatím bez výpočtového ověření zvolili otopné těleso RADIK VK typ 20 výšky 600 mm. Pro toto otopné těleso udává výrobce teplotní exponent $n=1,3014$. Nyní můžeme dosadit do vzorce (14) a zjistit opravný součinitel na teplotní rozdíl.

$$f_{\Delta t} = \left(\frac{(\Delta t)_{sk}}{(\Delta t)_N} \right)^n = \left(\frac{30}{50} \right)^{1,3014} = 0,514$$

Opravný součinitel na připojení otopného tělesa je v tomto případě roven jedné a nemusíme jej tedy uvažovat. Stejných hodnot nabývá i opravný součinitel na úpravu okolí, jelikož otopné těleso není nijak zakryté a opravný součinitel na umístění v prostoru, vzhledem k tomu, že otopné těleso je pod oknem na ochlazované stěně. Těleso je deskové, tudíž neuvažujeme ani opravný součinitel na počet článků.

Výsledný vzorec pro přepočítání jmenovité teplotní ztráty na skutečnou tepelnou ztrátu je tedy pro místnost -111-:

$$Q_{sk,111} = Q_{N,111} \cdot f_{\Delta t}$$

Jelikož už známe skutečnou tepelnou ztrátu a chceme znát jmenovitou tepelnou ztrátu upravíme vzorec do tvaru:

$$Q_{N,111} = \frac{Q_{sk,111}}{f_{\Delta t}} = \frac{588}{0,514} = 1143 \text{ W}$$

Na tuto jmenovitou tepelnou ztrátu upřesníme původní volbu otopného tělesa podle katalogu výrobce. Vybráno bylo těleso RADIK VK Typ 20 délky 1400 mm a výšky 600 mm, které má výkon při jmenovitém tepelném spádu $Q_{N,OT,111} = 1369 \text{ W}$. Viz. obrázekč. 8.

Délka [mm]	Typ 11 VK						Typ 20 VK				Typ 21 VK					Typ 22 VK					
	Výška [mm]						Výška [mm]				Výška [mm]					Výška [mm]					
	900	300	400	500	600	700	900	500	600	700	300	400	500	600	700	900	300	400	500	600	700
400	350	220	283	343	401	456	558	335	391	447	298	375	447	515	580	702	386	486	581	672	759
500	438	275	354	429	501	570	697	419	489	559	373	469	559	644	725	877	483	608	726	840	949
600	525	329	425	515	601	683	836	503	587	670	447	562	670	773	870	1052	580	730	871	1007	1138
700	613	384	496	601	701	797	976	587	685	782	522	656	782	902	1015	1228	676	851	1016	1175	1328
800	700	439	566	686	802	911	1115	670	782	894	596	750	894	1030	1160	1403	773	973	1162	1343	1518
900	788	494	637	772	902	1025	1255	754	880	1005	671	843	1005	1159	1305	1579	869	1094	1307	1511	1707
1000	875	549	708	858	1002	1139	1394	838	978	1117	745	937	1117	1288	1450	1754	966	1216	1452	1679	1897
1100	963	604	779	944	1102	1253	1533	922	1076	1229	820	1031	1229	1417	1595	1929	1063	1338	1597	1847	2087
1200	1050	659	850	1030	1202	1367	1673	1006	1174	1340	894	1124	1340	1546	1740	2105	1159	1459	1742	2015	2276
1400	1225	769	991	1201	1403	1595	1952	1173	1369	1564	1043	1312	1564	1803	2030	2456	1352	1702	2033	2351	2656
1600	1400	878	1133	1373	1603	1822	2230	1341	1565	1787	1192	1499	1787	2061	2320	2806	1546	1946	2323	2686	3035
1800		988	1274	1544	1804	2050		1508	1760	2011	1341	1687	2011	2318	2610	3157	1739	2189	2614	3022	3415
2000		1098	1416	1716	2004	2278		1676	1956	2234	1490	1874	2234	2576	2900	3508	1932	2432	2904	3358	3794
2300				1973	2305	2620		1927	2249	2569			2569	2962	3335		2222	2797	3340	3862	4363
2600				2231	2605	2961		2179	2543	2904			2904	3349	3770		2512	3162	3775	4365	4932

Obrázek 8. Příklad výběru otopného tělesa z katalogu firmy Korado a.s.

V dalším kroku je třeba zpět přepočítat tento výkon při jmenovitém tepelném spádu zvoleného otopného tělesa na skutečný výkon tohoto tělesa.

$$Q_{sk,OT,111} = Q_{N,OT,111} \cdot f_{\Delta t} = 1369 \cdot 0,514 = 704 \text{ W}$$

Abychom posoudili, zda otopné těleso vyhovuje, musí platit následující podmínka:

$$Q_{sk,OT,111} \geq Q_{sk,111}$$

Což je v tomto případě $704 \geq 588$ a návrh byl správný. Stejný postup byl opakován pro všechny místnosti, podrobný výpočet je uveden v přílohách, viz. příloha 1. Přehled výsledných zvolených těles v jednotlivých místnostech je v tabulce 4. níže.

Tabulka 4. Přehled navržených otopných těles v jednotlivých místnostech

Číslo místnosti	Navrhnuté otopné těleso	Výkon otopného tělesa [W]	Tepelná ztráta místnosti [W]
101	RADIK VK 20 (600x400)	391	2648
	2x RADIK VK 22 (600x1600)	2x2686	
102	RADIK VK 20 (600x1600)	805	737
103	KORALUX LINEAR COMFORT – M (600x1500)	334	676
	RADIK VK 21 (600x900)	364	
104	Bez OT, tepelná ztráta je pokryta v místnosti -101-		48
105	Bez OT, tepelná ztráta je pokryta v místnosti -101-		132
106	RADIK VK 20 (600x800)	330	308
107	RADIK VK 20 (600x800)	323	637
	KORALUX LINEAR COMFORT – M (600x1500)	334	
108	Bez OT, tepelná ztráta je pokryta v místnosti -101-		124
109	RADIK VK 10 (600x1400)	437	387
110	RADIK VK 20 (600x1400)	704	616
111	RADIK VK 20 (600x1400)	704	588

4.2. Návrh potrubní sítě

Potrubní síť v zadaném objektu je dvoutrubková, protiproudá s nuceným oběhem vody a je vedena v podlaze. Navrženým materiálem je měď, trubky jsou spojovány pájením naměkko. K izolaci potrubní sítě byla zvolena izolace Tubex Standart o tloušťce 13 mm.

Měděné potrubí bylo zvoleno z důvodu vysoké odolnosti vůči korozi způsobené vodou. Mezi jeho další výhody patří vysoká pevnost trubek, což vyvoluje menší tloušťku stěn potrubí. Nevýhodou měděného potrubí je vyšší cena a náchylnost ke korozi po kontaktu s některými látkami, jako například s betonem.

Dalším materiálem využívaným pro rozvody potrubních sítí je plast. Plastové potrubí je lehčí a levnější než potrubí měděné. Je také lépe tvarovatelné dle požadavků objektu a jeho montáž je rychlejší a jednodušší než u mědi. Menší telené ztráty a s nimi spojená potřeba tepelné izolace patří mezi další výhody tohoto materiálu. Plastové

potrubí se spojuje lisováním, kde se oba spojované konce nataví a následně pomocí spojovacího dílu spojí dohromady. Nevýhodou je ale velká tepelná roztažnost.

Poslední možností, která zde bude zmíněna, je ocelové potrubí. Výhodou oceli je samonosnost a nižší cena než u měděného potrubí. Mezi nevýhody patří vyšší hmotnost a náchylnost ke korozi. Ocelové potrubí lze spojovat lisováním, nebo svařováním.

V tomto návrhu dimenze potrubní sítě byla použita metoda ekonomických rychlostí, při které se dimenze potrubí navrhuje tak, aby v potrubí proudila voda rychlostí přibližně 0,6 m/s [L20]. Nejdříve musíme zjistit hmotnostní průtok, který následně ovlivňuje rychlost a tlakovou ztrátu potrubí. Postupujeme dle vztahu z rovnice (17) pomocí výkonu otopného tělesa, měrné tepelné kapacity vody a teplotního spádu na otopném tělese.

$$\dot{m} = \frac{Q_{OT}}{c \cdot \Delta t} \quad [\text{kg/s}] \quad (17)$$

kde

Q_{OT}	tepelný výkon otopného tělesa	[W]
c	měrná tepelná kapacita vody	[J/kg.K]
Δt	teplotní spád na otopném tělese	[K]

Rychlost se vypočítá podle vzorce (18). Jelikož ale rychlost známe, vyjádříme z tohoto vzorce vyjádřit vnitřní průměr d .

$$w = \frac{4 \cdot \dot{m}}{\rho \cdot \pi \cdot d^2} \quad [\text{m/s}] \quad (18)$$

kde

\dot{m}	hmotnostní průtok daným tělesem	[kg/s]
ρ	hustota vody	[kg/m ³]
d	vnitřní průměr potrubí	[m]

Celková tlaková ztráta okruhu je tvořena součtem tlakové ztráty třením a tlakové ztráty místními odpory. Tato ztráta je určena vztahem (19) [L1].

$$\Delta p_o = \Delta p_\lambda + \Delta p_\xi = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho_w + \sum \xi \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho_w = R \cdot L + Z \quad [\text{Pa}] \quad (19)$$

kde

Δp_λ	tlaková ztráta třením	[Pa]
Δp_ξ	tlaková ztráta místními odpory	[Pa]
λ	součinitel tření	[-]

d	vnitřní průměr potrubí	[m]
L	délka potrubí	[m]
w	střední rychlost proudění v průřezu úseku	[m/s]
ρ_w	střední hustota vody	[kg/m ³]
ξ	součinitel místního odporu	[-]
R	měrný tlakový spád	[Pa/m]
Z	tlaková ztráta místními odpory	[Pa]

Po vypočtení všech celkových tlakových okruhů jsme zjistili, že otopné těleso s největší tlakovou ztrátou, a tudíž hydraulicky nejvzdálenější, je v místnosti -106-. Toto těleso je typu 20VK-600x800 o výkonu 330 W a s hmotnostním průtokem 28 kg/h. Výpočet pro toto těleso je uveden v tabulce č. 5. Součinitele místních odporů byly odečteny z tabulky [L13] podle geometrie potrubí.

Tabulka 5 Vypočet tlakových ztrát hydraulicky nejvzdálenějšího OT

Úsek	Průtok [l/hod]	Délka L [m]	d [mm]	R [Pa]	w [m/s]	$\sum \xi$ [-]	Z [Pa]	Z+R.L [Pa]
1	628	7,5	22x1	216,86	0,558	3,2	498	2125
2	244	1,7	15x1	317	0,514	0,5	66	605
3	206	9,2	15x1	237	0,429	2,2	202	2383
4	145	2,8	15x1	127,5	0,31	0,2	10	367
5	85	7,5	12x1	174	0,296	2,3	101	1406
6	56	1,0	12x1	58	0,2	0,2	4	62
7	28	3,2	12x1	21	0,1	2	10	77
14	28	3,2	12x1	21	0,1	1,5	8	75
15	56	1,0	12x1	58	0,2	1	20	78
16	85	7,5	12x1	174	0,296	3,1	136	1441
17	145	2,8	15x1	127,5	0,31	1	48	405
18	206	9,2	15x1	237	0,429	3	276	2456
19	244	1,7	15x1	317	0,514	1,3	172	711
20	628	7,5	22x1	216,86	0,558	8,2	1277	2903
Δp_{vTRV}								143
$\Delta p_{vRŠ}$								44
$\Delta p_{vRŠ,ZPÁT}$								80
Σ								15360

Celková tlaková ztráta okruhu hydraulicky nejvzdálenějšího je 15370 Pa. Tato hodnota sloužila jako výchozí pro návrh oběhového čerpadla, které je součástí kotle.

4.3. Hydraulické vyvážení otopné soustavy

Hydraulické vyvážení je jedním z nejdůležitějších prvků pro správné fungování otopné soustavy a jeho cílem je zajištění stejné tlakové ztráty všech okruhů vedoucích k otopným tělesům při požadovaném výkonu otopných těles a hmotnostním průtoku. V případě nevyvážení soustavy do otopných těles s vyšší tlakovou ztrátou nezateká dostatek otopné vody, těleso nemá požadovaný výkon a neohřívá místnost na požadovanou teplotu.

Pro správné hydraulické vyvážení otopné soustavy je třeba začít určením okruhu otopného tělesa s největší tlakovou ztrátou. Nejčastěji se jedná o okruh otopného tělesa nejvíce hydraulicky vzdáleného od zdroje tepla nebo otopné těleso s největším výkonem. V případě tohoto objektu bylo po výpočtech zjištěno, že největší ztrátu má těleso v místnosti -106- VK typ 20.

Hydraulické vyvažování se provádí pomocí přednastavení na termoregulačním ventilu nebo na regulačním šroubení. Při vyvažování je doporučeno začít škrcení nejdříve na regulačním šroubení, a to z důvodu, že škrcením se na termoregulačním ventilu snižuje pásmo proporcionality a omezuje se tím schopnost místní regulace pomocí regulační hlavice. Při vyšším škrcení na termoregulačním ventilu má hlavice již pouze funkci zapnuto nebo vypnuto. Otopná soustava proto byla vyvážena pomocí regulačního šroubení. U otopných těles více hydraulicky vzdálených od tělesa s největší tlakovou ztrátou však nebylo možné předejít škrcení i na termoregulačním ventilu.

U otopných těles bylo provedeno hydraulické vyvažování pomocí hodnot k_v . Ty vypočteme pomocí vztahu (20), který udává výrobce IVAR ve svém katalogu.

$$k_v = \dot{V} \cdot \sqrt{\frac{100}{\Delta p}} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (20)$$

kde

\dot{V}	objemový průtok tělesem	$[\text{m}^3/\text{h}]$
Δp	požadovaná tlaková ztráta RŠ nebo TRV	$[\text{kPa}]$

Příklad výpočtu pro místnost -111-. Otopné těleso typ VK 20 s objemovým průtokem

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{61}{1000} = 0,061 \text{ m}^3/\text{s}. \text{ Škrčení } \Delta p_{R\dot{S}} = 1983 \text{ Pa} = 1,983 \text{ kPa}.$$

Dosažením do (20) zjistíme hodnotu k_v .

$$k_v = \dot{V} \cdot \sqrt{\frac{100}{\Delta p}} = 0,061 \cdot \sqrt{\frac{100}{1,983}} = 0,433 \text{ m}^3/\text{h}$$

Tabulka 6. Hodnoty k_v v závislosti na nastavení šroubení

#	1	2	3	4	5	6	7	8	9
k_v	0,14	0,20	0,31	0,43	0,60	0,79	1,00	1,20	1,35

Pro otopné těleso v místnosti -111- tedy volíme nastavení číslo 4 pro regulační šroubení. Obdobně by se vpočetla hodnota k_v i pro termoregulační ventil. Při hydraulickém vyvažování lze také využít diagram, který udává výrobce ve svých podkladech. Přednastavení ostatních otopných těles v objektu je popsáno v příloze 1.

5. ZABEZPEČENÍ

5.1. Pojistný ventil

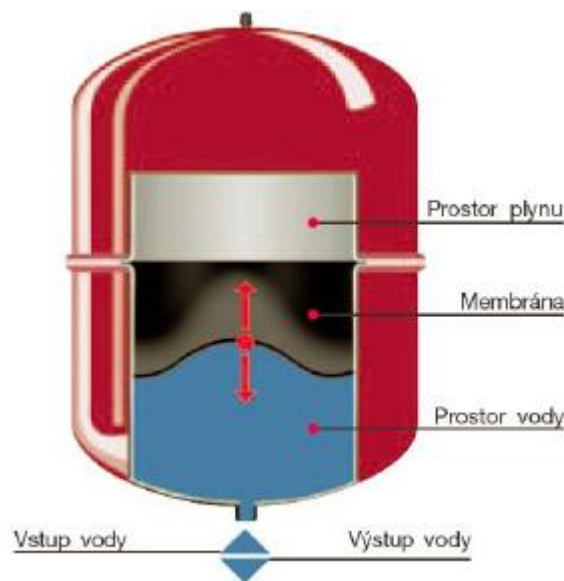
Pojistný ventil jistí zdroj tepla proti překročení nejvyššího dovoleného přetlaku. Při jeho překročení se pojistný ventil sám otevře a sníží tlak u zdroje tepla na bezpečnou hodnotu. Ventil je umístěn na přívodním potrubí co nejbližze zdroji tepla a mezi ním a zdrojem tepla se nesmí nacházet žádná další uzavírací armatura. Navržený kondenzační kotel Geminox již obsahuje pojistný ventil, který má otevírací přetlak nastavený na 300 kPa.

Další pojistný ventil je součástí celku přípravy teplé vody. Příprava teplé vody není v této práci řešena.

Pojistné výfukové potrubí od pojistného ventilu bude svedeno na gule tak, aby neohrožovalo obsluhu a byla možná vizuální kontrola pojistného ventilu.

5.2. Tlaková expanzní nádoba

Expanzní nádoba je zabezpečovací zařízení, které zachycuje změny objemu vody v otopné soustavě způsobené změnou teploty a udržuje tak přetlak v soustavě v požadovaných mezích. Expanzní nádoby se nejčastěji umísťují na vratné potrubí, aby membrána expanzní nádoby nebyla namáhána teplotou přívodu. Expanzní nádoba je oddělena uzavírací armaturou pro případy výměny nebo revize membrány. Tato uzavírací armatura musí být zajištěna proti uzavření při provozu. Schéma expanzní nádoby je vidět na obrázku č. 9.



Obrázek 9. Schéma expanzní nádoby [L]

V tomto návrhu otopné soustavy je navržený kotel již opatřen tlakovou expanzní nádobou o objemu 18 l. Zda je tento objem dostačující musíme ověřit výpočtem. Potřebný objem tlakové expanzní nádoby zjistíme ze vztahu (21). [L11]

$$V_{et} = 1,3 \cdot V_s \cdot n \cdot \frac{1}{\eta} \quad [I] \quad (21)$$

kde

V_s	celkový objem vody v soustavě	$[m^3]$
n	součinitel zvětšení obejmu	$[-]$
η	stupeň využití expanzní nádoby	$[-]$

Součinitel zvětšení obejmu je odečten z tabulky č. 7. podle Δt_{max} [L24].

$$\Delta t_{max} = t_{max} - 10 = 55 - 10 = 45 \text{ K}$$

Tabulka 7. Tabulka součinitelů zvětšení objemu podle Δt_{max}

Δt_{max} [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
Δt_{max} [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

Pro dané t_{max} je $n=0,01413$.

Stupeň využití expanzní nádoby zjistíme ze vztahu (22).

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{p_{h,dov.A} - p_{d,dov.A}}{p_{h,dov.A}} \\ &= \frac{p_{ot} + 100 \cdot 10^3 - 1,1 \cdot h \cdot \rho \cdot g + 100 \cdot 10^3}{p_{ot} + 100 \cdot 10^3} \\ &= \frac{300 \cdot 10^3 + 100 \cdot 10^3 - 1,1 \cdot 2 \cdot 1000 \cdot 9,81 + 100 \cdot 10^3}{300 \cdot 10^3 + 100 \cdot 10^3} = 0,946 \quad [-] \end{aligned} \quad (22)$$

kde

$p_{h,dov.A}$	nejvyšší dovolený absolutní tlak	[Pa]
$p_{d,dov.A}$	nejnižší dovolený absolutní tlak	[Pa]
h	výška vodního sloupce od středu expanzní nádoby do nejvyššího místa otopné soustavy	[m]
ρ	hustota vody	[kg/m ³]
g	tíhové zrychlení	[kg/m.s ²]

Nyní můžeme dosadit do vzorce (21) pro zjištění potřebného objemu expanzní nádoby pro navrženou otopnou soustavu. Celkový objem otopné vody v potrubí, kotli a otopných tělesech činí 57 l.

$$V_{et} = 1,3 \cdot V_s \cdot n \cdot \frac{1}{\eta} = 1,3 \cdot 57 \cdot 0,01413 \cdot \frac{1}{0,946} = 1,11 \text{ l} < 18 \text{ l}$$

Výpočtem jsme tedy ověřili, že navržená tlaková expanzní nádoba vyhovuje s rezervou.

6. ZÁVĚR

V této práci byla navržena otopná soustava s nuceným oběhem vody a zdrojem tepla pro jednopodlažní rodinný dům nacházející se ve městě Teplice.

Pro navržené skladby konstrukcí byly vypočteny součinitele prostupu tepla tak, aby odpovídaly doporučeným hodnotám podle normy ČSN 73 0540-2. S pomocí těchto součinitelů prostupu tepla byly určeny tepelné ztráty objektu dle normy ČSN 06 0210.

Další krok spočíval v návržení nejvhodnějšího zdroje tepla pro zadaný objekt. Zvolen byl plynový kondenzační kotel Geminox 1 – 10B – 120DC o výkonu 9,5 kW. Tento plynový kotel bude umístěn v místnosti -105-.

Potřeba tepla na vytápění pro řešený objekt byla stanovena na 33478 MJ/rok, což odpovídá 9300 kWh/rok tj. 9,3MWh/rok

Předpokládané roční náklady jsou $9,3 \times 931,90 = 8666,67$ Kč, při aktuální ceně 931,90 CZK/MWh (ČEZ Klasic).

Navržená otopná soustava je dvoutrubková, protiproudá s nuceným oběhem vody a uzavřenou expanzní tlakovou nádobou. Zvolený teplotní spád činí 55/45 °C. Materiálové řešení potrubí bylo navrženo z mědi z důvodů vysoké pevnosti a menší tloušťky stěny. Potrubí bude izolováno pomocí materiálu Tubex Standart. Otopná tělesa jsou desková od firmy Korado a.s. typu RADIK VK a VKL. V koupelnách jsou umístěna trubková otopná tělesa od stejného výrobce typu KORALUX LINEAR COMFORT – M. K určení dimenzí potrubní sítě byla použita metoda ekonomických rychlostí, při které se hodnota optimální rychlosti vody v potrubí uvažuje 0,6 m/s. Po určení tlakových ztrát v potrubí a na zvolených armaturách otopných těles byla identifikována větev s hydraulicky nejvzdálenějším otopným tělesem. Hydraulické vyvážení celé potrubní sítě se vztáhlo na ztrátu tohoto okruhu pomocí přednastavení regulačních šroubení a termoregulačních ventilů.

V závěru práce proběhla kontrola pojistného zařízení příslušnými výpočty. Pojistný ventil i tlaková expanzní nádoba vyhovují návrhu.

Seznam literatury

- [L1] BOHÁČ, Jindřich: *Tepelné ztráty dle ČSN 06 0210*. [cvičení]. Praha: ČVUT, říjen 2016
- [L2] BROŽ, Karel. *Vytápění. Vyd. 2*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02536-5.
- [L3] BAŠTA, Jiří. *Otopné plochy. Vyd. 1*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02365-6
- [L4] ČSN 06 0210 *Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění*. Praha: ÚNMZ: 1994
- [L5] *Normové hodnoty součinitele prostupu tepla, dle ČSN73 0540-2:2011*. TZB-info.cz [Online]. 2017 [cit. 19.3. 2017] Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/136-normove-hodnoty-soucinitele-prostupu-tepla-un-20-jednotlivych-konstrukci-dle-csn-73-0540-2-2011-tepelna-ochrana-budov-cast-2-pozadavky>
- [L6] BOHÁČ, Jindřich: *Potřeba tepla a paliva ČSN 06 0210*. [cvičení]. Praha: ČVUT, říjen 2016
- [L7] *Dřevěná okna Slavona*. SLAVONA, s.r.o. [Online]. 2017 [cit. 5.2. 2017] Dostupné z: <http://www.slavona.cz/eurookna/>
- [L8] 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.
- [L9] *Katalog stavebních materiálů*. DEK [Online]. 2017 [cit. 4.2. 2017] Dostupné z: <https://www.dek.cz/produkty/rozcestnik>
- [L10] *Otopné plochy – úvod do problematiky*. BAŠTA, Jiří. TZB-info.cz [Online]. 2006 [cit. 10.6. 2017] Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/otopne-plochy/3052-otopne-plochy-uvod-do-problematiky>
- [L11] *Technické údaje Geminox*. Brilon a.s. [Online] 2017 [cit. 8.4. 2017] Dostupné z: <http://www.geminox.cz/produkty/kotle-thrs-spickove-reseni-narocnych-aplikaci/kondenzacni-kotel-thrs-dc-dvouokruhovy/s-integrovanymi-zasobniky/thrs-1-10b-120dc-s471034031>
- [L12] BAŠTA, Jiří. *Výkresová dokumentace ve vytápění. 2., přeprac. vyd.* Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2001. Sešit projektanta-pracovní podklady. ISBN 80-02-01465-0.

- [L13] 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.
- [L14] *Učební text pro obor instalatér – vytápění*. LUPTÁK Ladislav, ŠMARDA Lubomír. publi.cz. [Online] 2015 [cit 30.5. 2017] Dostupné z: <https://publi.cz/books/176/02.html>
- [L15] Hájek V., Šmejcký J.: KPS 31 – Kompletační konstrukce – cvičení, ČVUT, Praha 1999
- [L16] *Obrázek trubkového otopného tělesa*. luxo-koupelny.cz [Online] 2017 [cit. 2.7. 2017] Dostupné z: <http://www.luxo-koupelny.cz/upload/images/product/3999/header/1333626134.png>
- [L17] *Katalog trubkových otopných těles Koradox*. KORADO a.s. [Online] 2016 [cit. 14.3. 2017] Dostupné z: <https://www.korado.cz/produkty/koradox/koradox-linear-comfort-m.html>
- [L18] *Katalog deskových otopných těles Radik typu VK*. KORADO a.s. [Online] 2016 [cit. 14.3. 2017] Dostupné z: <https://www.korado.cz/produkty/radik/radik-vk.html>
- [L19] BOHÁČ, Jindřich: *Přepočet výkonu OT*. [cvičení]. Praha: ČVUT, listopad 2016
- [L20] *Dimenzovací tabulky pro měděné potrubí*. REINBERK Zdeněk, FROLÍK Stanislav Podklady ČVUT FSv [Online]. [cit 18.5. 2017] Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/vyucujici/reinberk/vypocty/dimtab.php>
- [L21] *Regulační a uzavírací šroubení*. IVAR.CS spol. s.r.o. [Online] 2016 [cit 20.5.2017] Dostupné z: <http://www.ivarcs.cz/cz/regulacni-a-uzaviraci-sroubeni>
- [L22] BOHÁČ, Jindřich: *Návrh otopné soustavy s nuceným oběhem*. [cvičení]. Praha: ČVUT, listopad 2016
- [L23] *Normové hodnoty součinitele prostupu tepla, dle ČSN73 0540-2:2011*. TZB-info.cz [Online]. 2017 [cit. 19.3. 2017] Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/136-normove-hodnoty-soucinitele-prostupu-tepla-un-20-jednotlivych-konstrukci-dle-csn-73-0540-2-2011-tepelna-ochrana-budov-cast-2-pozadavky>
- [L24] BOHÁČ, Jindřich: *Pojistné a zabezpečovací zařízení*. [cvičení]. Praha: ČVUT, prosinec 2016

Seznam příloh na přiloženém CD

Příloha 1- Návrh otopné soustavy rodinného domu	(xls)
Příloha 2- Výkresová dokumentace	(dwg)
Příloha 3- Bakalářská práce – elektronická podoba	(pdf)

Seznam výkresové dokumentace:

2017-01	Rozvody otopné soustavy – půdorys 1.NP
2017-02	Rozvinuté schéma