

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

**STUDIE VYTÁPĚNÍ JEDNOPOLDAŽNÍ
NÍZKOENERGETICKÉ NOVOSTAVBY**
**THE STUDY OF HEATING OF SINGLE-STOREY
LOWENERGY NEW BUILDING**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kouba** Jméno: **Vladimír** Osobní číslo: **424072**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
Studijní program: **Strojirenství**
Studijní obor: **Technika životního prostředí**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Studie vytápění jednopodlažní nízkoenergetické novostavby

Název bakalářské práce anglicky:

Study of Heating for a New Single-Storey Low-Energy Building

Pokyny pro vypracování:

Pro zadaný jednopodlažní rodinný dům navrhnete kvalitní skladbu konstrukcí tak, aby byly splněny minimálně doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla dané normou ČSN EN 730540, případně se zkuste přiblížit obecné podmínce pro nízkoenergetický standard pro vytápění rodinného domu (50 kWh/m².rok). Na základě zvolených konstrukcí vypočtete tepelné ztráty dle platné evropské normy. Dále diskutujte a navrhnete vhodný zdroj tepla a způsob vytápění. Popište výhody a nevýhody zvoleného řešení. Dále navrhnete opatření pro návrh systému přípravy teplé vody. Závěrem mohou být uvedeny investiční náklady na systém vytápění a přípravy TV.

Seznam doporučené literatury:

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

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Jindřich Boháč, Ú 12116

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

Datum zadání bakalářské práce: **20.04.2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **30.06.2017**

Platnost zadání bakalářské práce:



Podpis vedoucí(ho) práce



Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry



Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

20.4.2017

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

Souhrn

V bakalářské práci jsem pro jednopodlažní rodinný dům navrhl skladbu konstrukcí tak, aby byly splněny minimální doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla. Snažil jsem se přiblížit obecné podmínce pro nízkoenergetický standard pro vytápění rodinného domu. Na základě zvolených konstrukcí jsem dle platné evropské normy vypočítal celkovou tepelnou ztrátu objektu. Dále jsem navrhl vhodný zdroj tepla, způsob vytápění. Na závěr této práce jsem navrhl systém pro přípravu teplé vody.

Summary

In my bachelor's thesis I have designed a quality composition of constructions for the given single-storey family house in such manner that all the minimal recommended thermal transmittance values of coefficients were fulfilled. My aim was to suit the general condition for a low energy standard for heating. Based on the chosen constructions and in accordance with the European standard I have calculated the total thermal energy loss of the house. I have also proposed a suitable heat source and a heating system. In the end of my thesis I have suggested a design for the hot water system.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem Studie vytápění jednopodlažního nízkoenergetické novostavby vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jindřicha Boháče, s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze 29.6. 2017

.....

Vladimír Kouba

PODĚKOVÁNÍ

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

OBSAH

1. ÚVOD.....	- 12 -
2. POPIS BUDOVY	- 13 -
2.1 Skladba konstrukcí	- 13 -
3. TEPELNÁ ZTRÁTA BUDOVY	- 18 -
3.1 Součinitel prostupu tepla	- 18 -
3.2 Celková tepelná ztráta budovy	- 19 -
3.2.1 Tepelná ztráta prostupem tepla.....	- 20 -
3.2.2 Tepelná ztráta větráním	- 20 -
4. NÁVRH OTOPNÉ SOUSTAVY	- 22 -
4.1 Konstrukce a provedení podlahové otopné plochy	- 22 -
4.1.1 Způsob pokládky – mokrý způsob pokládky.....	- 22 -
4.1.2 Způsob provedení	- 23 -
4.1.3 Materiál potrubí	- 24 -
5. NÁVRH TEPELOVODNÍHO PODLAHOVÉHO VYTÁPĚNÍ.....	- 25 -
5.1. Výpočet teplovodního podlahového vytápění.....	- 25 -
5.1.1 Propustnost tepla vrstvami směrem A – nahoru.....	- 25 -
5.1.2 Propustnost tepla vrstvami směrem B – dolů	- 25 -
5.1.3 Charakteristické číslo podlahy	- 26 -
5.1.4 Střední povrchová teplota.....	- 27 -
5.1.5 Měrný tepelný tok podlahové otopné plochy	- 27 -
5.1.6 Měrný tepelný tok podlahové plochy do zeminy	- 28 -
5.1.7 Měrný tepelný tok potřebný v dané místnosti	- 28 -
5.1.8 Celkový tepelný příkon otopné plochy.....	- 28 -
5.2 Hydraulický výpočet	- 29 -
5.2.1 Tlaková ztráta třením.....	- 30 -
5.2.2 Tlaková ztráta místními odpory.....	- 30 -

5.3	Hydraulické vyvážení otopné soustavy.....	31 -
6.	ZDROJ TEPLA.....	32 -
6.1	Pojistné a zabezpečovací zařízení	33 -
6.1.1	Kontrola správné funkce expanzní nádoby	33 -
6.2	Oběhové čerpadlo.....	35 -
7.	POTŘEBA TEPLA.....	38 -
7.1	Potřeba tepla na vytápění	38 -
7.2	Potřeba paliva.....	39 -
8.	NÁVHR PŘÍPRAVY TEPLÉ VODY	40 -
8.1	Potřeba tepla dodaného ohříváčem TV	40 -
9.	ZÁVĚR	43 -
	Seznam použité literatury	43 -
	Seznam příloh	46 -
	Seznam příloh na přiloženém CD.....	46 -

PŘEHLED POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Značení	Jednotka	Název
D	[den. °C]	Denostupeň
L	[m]	Celková délka potrubí
R	[Pa/m]	Měrná tlaková ztráta
S	[m ²]	Průřez větracího potrubí
U	[W/m ² .K]	Součinitel prostupu tepla
a	[m]	Tloušťka jednotlivých vrstev nad trubkami
b	[m]	Tloušťka jednotlivých vrstev pod trubkami
c	[J/kg. K]	Měrná tepelná kapacita vody
d	[m]	Vnitřní průměr větracího potrubí
d	[m]	Tloušťka jednotlivých vrstev stěny
d	den	Počet dní v otopném období
g	[m/s ²]	Tíhové zrychlení
h	[m]	Výška vodního sloupce nad expanzní nádobou
l	[m]	Rozteč trubek
m	[-]	Charakteristické číslo podlahy
n	[-]	Počet vrstev ve skladbě konstrukce
n	[1/hod]	Intenzita výměny venkovního vzduchu
n	[-]	Součinitel zvětšení objemu
w	[m/s]	Rychlost proudění vody v potrubí
z	[-]	Poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci TV
$H_{T,ie}$	[W/K]	Součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do exteriéru (e) přes obvodové konstrukce
$H_{T,ig}$	[W/K]	Součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do zeminy (g) za ustáleného stavu
$H_{T,ij}$	[W/K]	Součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do sousedícího prostoru (j), který se vytápí na výrazně jinou teplotu
$H_{T,iue}$	[W/K]	Součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do exteriéru (e) přes nevytápěný prostor (u)

H_u	[MJ/m ³]	Výhřevnost plynu
$H_{V,i}$	[W/K]	Měrná tepelná ztráta větráním
P_B	[kPa]	Barometrický tlak
$P_{d,A}$	[kPa]	Provozní tlak
$P_{h,dov,A}$	[kPa]	Nejvyšší dovolený absolutní tlak
P_z	[kW]	Tepelný příkon ohřívače
Q_{2t}	[kWh/den]	Teplo pro ohřev vody
Q_{2z}	[kWh/den]	Teplo ztracení při ohřevu a distribuci TV
$Q_{d,vyt,skut.}$	[J/ot.období]	Skutečná potřeba tepla na vytápění
$Q_{d,vyt,teor.}$	[J/ot.období]	Teoretická potřeba tepla na vytápění
Q_{PC}	[W]	Celkový tepelný příkon otopné plochy
Q_n	[kW]	Jmenovitý výkon spotřebiče
Q_z	[W]	Tepelná ztráta v dané místnosti
$S_{objektu}$	[m ²]	Energeticky vztažná plocha objektu
S_p	[m ²]	Skutečná otopná plocha pro podlahové vytápění
$U_{d,celk.}$	[MJ/m ³]	Celková roční spotřeba paliva na vytápění
U_N	[W/m ² .K]	Doporučený součinitel prostupu tepla
$U_{N,20}$	[W/m ² .K]	Požadované hodnoty součinitele prostupu tepla
V_{2p}	[m ³ /den]	Celková potřeba teplé vody
V_c	[m ³]	Celkový objem vody v otopné soustavě
\dot{V}_c	[kg/s]	Celkový hmotnostní průtok vody
$V_{et'}$	[l]	Objem expanzní tlakové nádoby
V_i	[m ³ /s]	Objemový průtok vzduchu
V_K	[m ³]	Objem vody v kotli s přičteným objemem rozdělovače
V_o	[l]	Celkový objem vody v otopné soustavě
V_O	[m ³]	Objem vody v deskových a trubkových otopných tělesech
V_P	[m ³]	Celkový objem vody v potrubí
V_S	[m ³ /h]	Množství spalovacího vzduchu
V_{TV}	[m ³]	Objem vody v zásobníku teplé vody, která je součástí kotle
V_z	[m ³]	Objem zásobníku TV
e_d	[-]	Opravný součinitel na zkrácení doby provozu
e_i	[-]	Opravný součinitel na nesočasnost přírážek

e_t	[-]	Opravný součinitel na snížení vnitřní teploty
\dot{m}	[kg/s]	Hmotnostní průtok vody
q_{ig}	[W/m ²]	Měrný tepelný tok podlahové plochy do zeminy
$q_{potř.}$	[W/m ²]	Měrný tepelný tok potřebný v dané místnosti
$q_{skut.}$	[W/m ²]	Měrný tepelný tok podlahové otopné plochy
t_1	[°C]	Teplota studené vody do ohřívače TV
t_2	[°C]	Teplota teplé vody z ohřívače TV
t_e	[°C]	Venkovní oblastní výpočtová teplota za otopné období
t_{es}	[°C]	Průměrná venkovní teplota
t_i	[°C]	Vnitřní výpočtová teplota
t_{is}	[°C]	Průměrná vnitřní teplota objektu
t_m	[°C]	Střední teplota otopné vody
t_p	[°C]	Střední povrchová teplota
α_e	[W/m ² .K]	Součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce
α_i	[W/m ² .K]	Součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce
α_p	[W/ m ² .K]	Celkový součinitel přestupu tepla na podlaze
$\alpha_{p'}$	[W/ m ² .K]	Celkový součinitel přestupu tepla na spodní straně otopné podlahy
Δp_{ξ}	[Pa]	Tlaková ztráta místními odpory
Δp_{λ}	[Pa]	Tlaková ztráta třením
Δp_o	[Pa]	Tlaková ztráta hydraulicky nejzatíženějšího otopného okruhu
Δp_p	[Pa]	Tlaková ztráta potrubí od kondenzačního kotle k rozdělovači
ΔQ_{max}	[kWh]	Maximální rozdíl tepla mezi křivkou dodávky a odběru tepla
ΔQ_{sp}	[kWh]	Maximální dodávka tepla
Δp_s	[Pa]	Tlaková ztráta sběrače
Δp_v	[Pa]	Tlaková ztráta výměníku
Δt_{max}	[K]	Maximální rozdíl teplot
Δp_z	[Pa]	Celková tlaková ztráta otopného hadu
η_k	[-]	Účinnost kondenzačního kotle
η_o	[-]	Účinnost obsluhy zdroje
η_R	[-]	Účinnost rozvodů tepla
Φ_i	[W]	Celková navrhovaná tepelná ztráta vytápěného prostoru

$\Phi_{T,i}$	[W]	Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla
$\Phi_{V,i}$	[W]	Návrhová tepelná ztráta větráním
A_a	[W/m ² .K]	Propustnost tepla vrstvami směrem nahoru
λ_a	[W/m.K]	Součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev nad trubkami
A_b	[W/ m ^{2A} .K]	Propustnost tepla vrstvami směrem dolů
λ_b	[W/m.K]	Součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev pod trubkami
λ_d	[W/m.K]	Součinitel tepelné vodivosti materiálu, do kterého jsou zality trubky
$\theta_{int,i}$	[°C]	Vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru

1. ÚVOD

Návrh stavby a technického zařízení nízkoenergetických novostaveb je v současné době trendem. Kvůli rostoucím cenám za energie se zvyšuje poptávka po úsporném vytápění a díky neustálým pokrokům v technologii můžeme realizovat objekty s nižšími tepelnými ztrátami při požadované vnitřní teplotě, tzv. nízkoenergetické budovy. Cílem této bakalářské práce je návrh vytápění jednopodlažní nízkoenergetické novostavby tak, aby byly splněny minimálně doporučené součinitele prostupu tepla dané normou ČSN EN 730540. A také aby se potřeba tepla na vytápění přiblížila obecné podmínce pro nízkoenergetický standard rodinného domu (50 kWh/m².rok). Tepelná ztráta jednopodlažního rodinného domu bude počítána dle platné evropské normy. Na závěr bude navrhnout systém pro přípravu teplé vody.

2. POPIS BUDOVY

Novostavba jednopodlažního rodinného domu se nachází v Praze, kde platí venkovní výpočtová teplota $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vedle novostavby je v řadě postaven tentýž objekt, se kterým má společnou zeď, a to severní v garáži. Rodinný dům o půdorysných rozměrech $10 \times 22,45\text{ m}$ má dvě části. První část hlavní část budovy o půdorysných rozměrech $10 \times 14\text{ m}$ je složena z těchto místností:

č.101 - Kuchyň orientovaná na JHZ kvůli tepelným ziskům, č.102 - Ložnice,
č.103 - Šatna, č.104 – Toaleta, č.105 – Koupelna, č.109 – Chodba, č.110,111 – Pokoj,
č.112 - Pracovna, č.113 – Obývací pokoj.

Druhá část je přístavkem k hlavní části o půdorysných rozměrech $8 \times 8,5\text{ m}$, složená z místností: č.106 – Technická místnost, ve které bude umístěn zdroj tepla,
č.107 – Garáž, č.108 – Zádveří.

2.1 Skladba konstrukcí

Skladba konstrukcí je navržena tak, aby splňovala doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla dané normou ČSN EN 730540, případně aby splňovala podmínku pro nízkoenergetický standard pro vytápění rodinného domu ($50\text{ kWh/m}^2\text{.rok}$). Výpočet součinitele prostupu tepla U pro jednotlivé konstrukce celého objektu jsem provedl v programu Excel. Potřebné vztahy k výpočtu součinitele prostupu tepla budou popsány v kapitole 2.2.1.

Zvolené skladby konstrukcí:

Okna STANDARD plus

Zvolil jsem okna s šestikomorovým systémem GEALAN S 8000 IQ, jsou vyrobeny z plastu a zaskleny izolačním dvojsklem. Technický údaj od výrobce pro součinitel prostupu tepla těchto oken je $U = 1,1\text{ W/m}^2$. Tuto hodnotu jsem při výpočtech zvýšil, na hodnotu $U = 1,1\text{ W/m}^2\text{.K}$, která odpovídá celému oknu včetně rámu. [2]

Dveře

Vchodové a francouzské dveře, které jsou umístěné v kuchyni, jsem vybral od stejného výrobce jako okna. Jsou provedeny pětikomorovým systémem GEALAN S8000 IQ. Díky dobrému tepelně izolačnímu parametru jsou vhodné pro nízkoenergetické. Jsou zaskleny dvojskly a pevnost a stabilita dveří je zajištěna velkou uzavřenou ocelovou výztuhou pevně spojenou v rozích. Technický údaj od výrobce pro součinitel prostupu tepla těchto dveří je $U = 1,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. [3]

Obvodové zdivo (ve výpočtu značeno SO – stěna ochlazovaná)

- Skladba SO
 - Omítka vápenocementová
 $d = 10 \text{ mm}, \lambda = 0,88 \text{ W/m.K}$
 - Zdivo POROTHERM 44EKO
 $d = 440 \text{ mm}, \lambda = 0,096 \text{ W/m.K}$
 - Omítka vápenocementová
 $d = 10 \text{ mm}, \lambda = 0,88 \text{ W/m.K}$
 - Lepidlo s vyztuženou perlínkou
 $d = 5 \text{ mm}, \lambda = 0,7 \text{ W/m.K}$
 - Perlitová omítka
 $d = 5 \text{ mm}, \lambda = 0,18 \text{ W/m.K}$

U obvodového zdiva jsem izolaci nenavrhl, protože po výpočtu součinitele prostupu tepla již vyhovuje doporučeným hodnotám. Skladba stěny ochlazované je stejná pro celý objekt.

Vnitřní nosná stěna (ve výpočtu značeno SN4 – stěna neochlazovaná)

- Skladba SN4
 - Omítka vápenocementová
 $d = 10 \text{ mm}, \lambda = 0,88 \text{ W/m.K}$
 - Zdivo POROTHERM 44EKO
 $d = 440 \text{ mm}, \lambda = 0,096 \text{ W/m.K}$
 - Omítka vápenocementová
 $d = 10 \text{ mm}, \lambda = 0,88 \text{ W/m.K}$

U této vnitřní stěny jsem izolaci nenavrhl, protože po výpočtu součinitele prostupu tepla již vyhovuje doporučeným hodnotám. Tato stěna je společnou konstrukcí mezi zádveřím č.108 a garáží č.107 a technickou místností č.106 a garáží.

Vnitřní příčka (ve výpočtu značeno SN1 – stěna neochlazovaná)

- Skladba SN1
 - Omítka vápenocementová
 $d = 10 \text{ mm}, \lambda = 0,88 \text{ W/m.K}$
 - Zdivo POROTHERM 14
 $d = 140 \text{ mm}, \lambda = 0,28 \text{ W/m.K}$
 - Omítka vápenocementová
 $d = 10 \text{ mm}, \lambda = 0,88 \text{ W/m.K}$

Tato vnitřní stěna je společnou konstrukcí mezi šatnou č.103 a koupelnou č.105. U této stěny jsem nenavrhl izolaci, protože po výpočtu součinitele prostupu tepla vyhovuje doporučeným hodnotám.

Vnitřní příčka (ve výpočtu značeno SN2 – stěna neochlazovaná)

- Skladba SN2
 - Omítka vápenocementová
 $d = 10 \text{ mm}, \lambda = 0,88 \text{ W/m.K}$
 - Tepelná izolace ISOVER
 $d = 10 \text{ mm}, \lambda = 0,041 \text{ W/m.K}$
 - Zdivo POROTHERM 11,5
 $d = 115 \text{ mm}, \lambda = 0,34 \text{ W/m.K}$
 - Omítka vápenocementová
 $d = 10 \text{ mm}, \lambda = 0,88 \text{ W/m.K}$

Tato vnitřní stěna je společnou konstrukcí mezi koupelnou č.105 a WC č. 104. U této stěny jsem izolaci již navrhl, protože po výpočtu součinitele prostupu tepla nevyhovovala doporučeným hodnotám.

Vnitřní příčka (ve výpočtu značeno SN3 – stěna neochlazovaná)

- Skladba SN3
 - Omítka vápenocementová
 $d = 10 \text{ mm}, \lambda = 0,88 \text{ W/m.K}$
 - Zdivo POROTHERM 24
 $d = 240 \text{ mm}, \lambda = 0,37 \text{ W/m.K}$
 - Omítka vápenocementová
 $d = 10 \text{ mm}, \lambda = 0,88 \text{ W/m.K}$

Tato vnitřní stěna je společnou konstrukcí mezi technickou místností č.106 a koupelnou č.105. U této stěny jsem nenavrhl izolaci, protože po výpočtu součinitele prostupu tepla také vyhovuje doporučeným hodnotám.

Podlaha (ve výpočtu značeno PDL)

- Skladba podlahy
 - Beton hutný 2300
 $d = 218 \text{ mm}, \lambda = 1,16 \text{ W/m.K}$
 - Tepelná izolace ISOVER EPS 70F
 $d = 70 \text{ mm}, \lambda = 0,039 \text{ W/m.K}$
Anhydritová vrstva
 $d = 120 \text{ mm}, \lambda = 1,2 \text{ W/m.K}$
 - Keramická dlažba
 $d = 9 \text{ mm}, \lambda = 0,7 \text{ W/m.K}$

Skladba této podlahy je použita v celém objektu. Pod konstrukcí podlahy se nachází už jen štěrkopísek a zemina. U podlahy jsem navrhl tepelnou izolaci, protože po výpočtu součinitele prostupu tepla nevyhovovala doporučeným hodnotám.

Strop (ve výpočtu značeno STR)

- Skladba strop
 - Sádrokartonové desky
 $d = 130 \text{ mm}, \lambda = 0,22 \text{ W/m.K}$
 - Tepelná izolace ISOVER UNI
 $d = 70 \text{ mm}, \lambda = 0,036 \text{ W/m.K}$

Skladba tohoto stropu je použita v celém objektu. Strop odděluje obytnou část od nevytápěné půdy. U stropu jsem navrhl tepelnou izolaci, protože po výpočtu součinitele prostupu tepla nevyhovovala doporučeným hodnotám.

3. TEPELNÁ ZTRÁTA BUDOVY

Tepelnou ztrátu budovy jsem vypočítal podle evropské normy ČSN EN 12831, která oproti normě ČSN 06 0210, zohledňuje lineární tepelné mosty. Tepelnou ztrátu jsem vypočítal zjednodušenou metodou podle profesora Vaverky. Jednou z nejdůležitějších veličin, která hraje roli ve výpočtu tepelných ztrát, je součinitel prostupu tepla U [W/m².K], jehož doporučené a požadované hodnoty jsou předepsány v normě ČSN 73 0540–2.

3.1 Součinitel prostupu tepla

Vztah pro výpočet součinitele prostupu tepla [4]

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e}} \quad (3.1)$$

R [m².K/W] ... Tepelný odpor

d [mm] ... Tloušťka stěny

λ_i [W/m.K] ... Součinitel tepelné vodivosti

α_i [W/ m².K] ... Součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce

α_e [W/ m².K] ... Součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce

n [-] ... Počet vrstev ve skladbě konstrukce

U [W/m².K] ... Součinitel prostupu tepla

Dle normy ČSN 73 0540–2:2011 musí platit, že $U \leq U_{N20}$ (3.2)

Tab. 2.1 Vypočtené hodnoty součinitele prostupu tepla u jednotlivých konstrukcí budovy

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/m ² .K]		
	Požadované hodnoty $U_{N,20}$	Doporučené hodnoty U_N	Vypočítané hodnoty U
SO - Obvodové zdivo POROTHERM 44 EKO	0,3	0,25	0,21
SN1 - Vnitřní příčka POROTHERM 14	2,7	1,8	1,29
SN2 - Vnitřní příčka POROTHERM 11,5	2,7	1,8	1,17
SN3 - Vnitřní příčka POROTHERM 24	2,7	1,8	1,08
SN4 - Vnitřní nosná POROTHERM 44EKO	1,3	0,9	0,21
PDL - Keramická podlaha	0,45	0,3	0,29
STR - Strop	0,6	0,4	0,18

3.2 Celková tepelná ztráta budovy

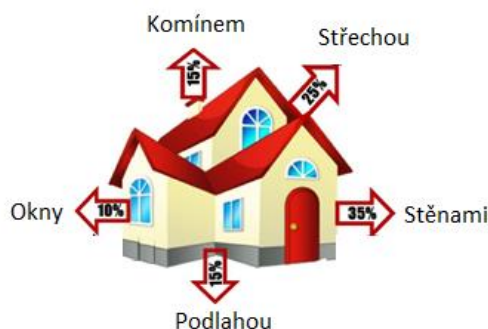
Tepelnou ztrátu budovy jsem vypočítal dle ČSN EN 12831 [5], která se skládá z tepelné ztráty prostupem a tepelné ztráty větráním. Výpočet celkových tepelných ztrát jsem provedl v programu Excel. Podrobnější vztahy pro výpočet jsou popsány v normě a základní vztahy budou popsány v kapitole 3.2.1 a 3.2.2 a názorně ukázány v [P01].

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} \quad (3.3)$$

Φ_i [W] ... Celková navrhovaná tepelná ztráta vytápěného prostoru

$\Phi_{T,i}$ [W] ... Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla

$\Phi_{V,i}$ [W] ... Návrhová tepelná ztráta větráním



Obr. 1 Tepelná ztráta vytápěného prostoru [4]

3.2.1 Tepelná ztráta prostupem tepla

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{int,i} + \theta_e) \quad (3.4)$$

$\Phi_{T,i}$ [W] ... Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla

$H_{T,ie}$ [W/K] ... Součinitel tepelné ztráty prostupem (měrná tepelná ztráta prostupem) z vytápěného prostoru (i) do exteriéru (e) přes obvodové konstrukce

$H_{T,iue}$ [W/K] ... Součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do exteriéru (e) přes nevytápěný prostor (u)

$H_{T,ig}$ [W/K] ... Součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do zeminy (g) za ustáleného stavu

$H_{T,ij}$ [W/K] ... Součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do sousedícího prostoru (j), který se vytápí na výrazně jinou teplotu

$\theta_{int,i}$ [°C] ... Vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru

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

3.2.2 Tepelná ztráta větráním

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i} + \theta_e) \quad (3.5)$$

$$H_{V,i} = \dot{V}_i \cdot \rho \cdot c_p \approx 0,34 \cdot \dot{V}_i$$

$\Phi_{V,i}$ [W] ... Návrhová tepelná ztráta větráním

$H_{V,i}$ [W/K] ... Součinitel tepelné ztráta větráním

\dot{V}_i [m³/s] ... Objemový průtok vzduchu

$\theta_{int,i}$ [°C] ... Vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru

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

Objemový průtok vzduchu do každé místnosti stanovil podle větší z hodnot objemového průtoku vzduchu infiltrací, respektive dle hygienických požadavků. Při současné kvalitě oken a dveří je však objemový průtok vzduchu infiltrací zanedbatelný. Hygienické požadavky pro obytné místnosti $\Rightarrow n = 0,3$ 1/hod, místnosti s větší produkcí vlhkosti a škodlivin místnosti č. 101, č.104, č.105 $\Rightarrow n = 1$ 1/hod. Výpočet jsem provedl v programu Excel, názorně je ukázán v tabulce [P01].

Tab. 3.1 Vypočtené hodnoty tepelné ztráty budovy dle ČSN EN 12831

Název místnosti	Číslo místnosti	Teplota [°C]	Tepelná ztráta prostupem [W]	Tepelná ztráta větráním [W]	Celková tepelná ztráta [W]
Kuchyň	101	20	760	591	1351
Ložnice	102	20	246	122	368
Šatna	103	20	139	69	208
Koupelna	105	24	402	273	675
WC	104	20	18	49	67
Technická místnost	106	15	144	36	180
Garáž	107	5	523	211	734
Zádveří	108	20	445	86	531
Chodba	109	20	152	124	275
Pokoj	110	20	278	176	454
Pokoj	111	20	252	176	428
Pracovna	112	20	231	156	386
Obývací pokoj	113	20	491,7	235	727
			Celková tepelná ztráta objektu		6383 [W]

4. NÁVRH OTOPNÉ SOUSTAVY

Jako způsob vytápění jsem zvolil převážně sálavé vytápění. Tento způsob vytápění je velice vhodný pro nízkoenergetické budovy, které disponují nízkou potřebou tepla. Podlahové vytápění jsem zvolil také kvůli tepelné pohodě (člověk nepocítuje ani nadměrné horko ani chlad, cítí se tepelně neutrálně) [1] a díky nízkému tepelnému spádu otopné soustavy. Tato výhoda je ještě výraznější při použití kondenzačního kotle jako zdroje tepla. Podlahové vytápění je umístěno v kuchyni č.101, kde jsou dva okruhy. Jeden společný okruh pro č.102 – Pracovna a č.103 – Šatna. V č.105 – Koupelna je jeden okruh, na který je napojené trubkové otopné těleso, a to kvůli nedostatečnému tepelnému výkonu podlahového vytápění. V místnosti č.110 - Pokoj, č. 111 – Pokoj, č.112 – Ložnice a č.113 – Obývací pokoj po jednom topném okruhu.

Druhá část je přístavkem k hlavní části o půdorysných rozměrech 8 x 8,5 m, složený z místností: č.106 – Technická místnost, tato místnost vytápěna není, ale je zde umístěn zdroj tepla, v č.107 – Garáž je umístěno deskové otopné těleso, v č.108 – Zádveří je jeden topný okruh.

4.1 Konstrukce a provedení podlahové otopné plochy

4.1.1 Způsob pokládky – mokrý způsob pokládky

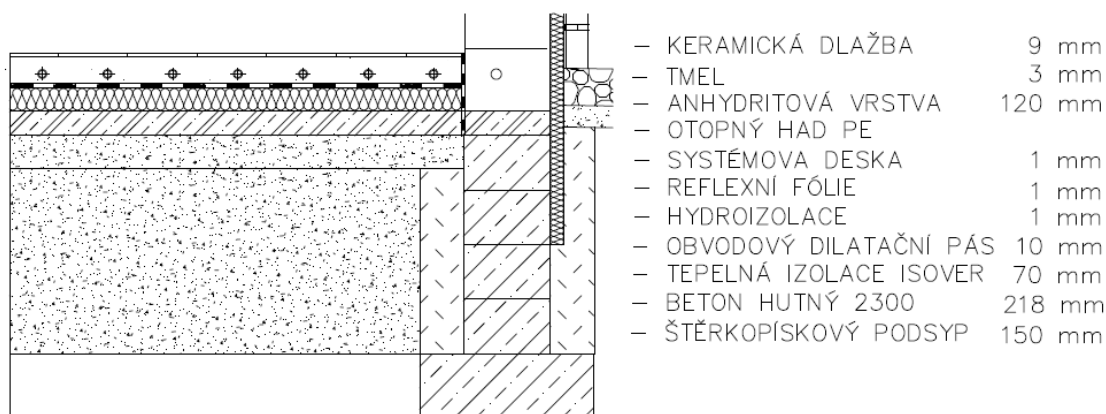
Mokrý způsob pokládky je realizován tak, že potrubí je uloženo na systémové desce s jednotlivými výstupky pro uchycení potrubí. Potrubí je následně zalito betonovou mazaninou.

Při použití mokré mazaniny je nutno zohlednit následující body:

- *Celá plocha musí být dokonale izolována*
- *Trvalé provozní teploty nesmí překročit 55 °C*
- *Pro vlhké prostory jsou mazaniny se síranem vápenatým vhodné pouze omezeně, zde je zejména nutno dbát na údaje výrobců [6]*

Mazaniny a spáry

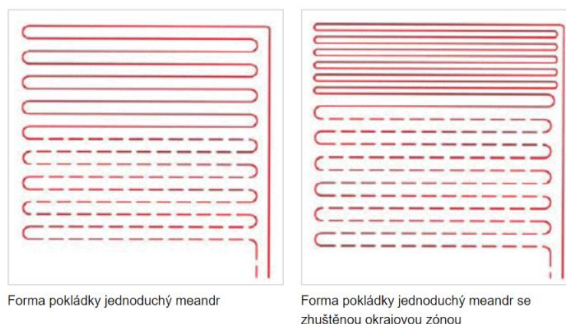
V plovoucí mazanině vznikají pohyby zapříčiněné smrštěním nebo protažením následkem teplotních rozdílů. Pohyby ze smršťování jsou následkem vysychání mazaniny. Podchycení těchto pohybů provedení vytápěných mazanin platí zadání DIN 18560. Veškeré spáry podlahové konstrukce se stěnami musí být opatřeny dilatační páskou kvůli dilataci



Obr. 2 Mokrá pokládka - řez podlahy

4.1.2 Způsob provedení

Podlahové vytápění v daných místnostech je provedeno formou pokládky jednoduchým meandrem. Tímto způsobem je položeno ve všech místnostech, kde je navrženo podlahové vytápění - viz. výkresová dokumentace v příloze. Kromě místnosti č. 101 Kuchyň, kde je formou pokládky jednoduchý meandr s intenzivní okrajovou zónou situovanou u francouzských dveří na vyrovnání vlivu tepelných ztrát.



Obr.3 Způsob provedení [6]

4.1.3 Materiál potrubí

Jako materiál potrubí jsem zvolil topenářskou trubku RAUTHERM S ze zesíťovaného polyethylenu PE-Xa. Takové potrubí má lepší vlastnosti, zejména teplotní a tlakovou odolnost, odolnost proti vzniku trhlin a rázové houževnatosti při nízkých teplotách. Zejména pak odolnost proti pronikání kyslíku do otopné vody. Koextrudovaná závěrná vrstva proti průniku kyslíku je z elytvinylakoholu (EVAL), polymeru s nejvyšším závěrným účinkem. Adhezí vrstvou mezi základní trubkou a závěrnou vrstvou je dosaženo pevného přilnutí. Spojování potrubí pomocí násuvné objímky je nerozebíratelné spojení, proto může být použito v betonové mazanině. Trubka PE-Xa je za studena rozšířena a nasazena na příslušný fitink a následně slisována s násuvnou objímkou. V projektu jsem navrhl potrubí RAUTHERM S 17 x 2,0 mm. [7]



Obr. 4 RAUTHERM S trubka [7]

5. NÁVRH TEPLOVODNÍHO PODLAHOVÉHO VYTÁPĚNÍ

Návrh teplovodního podlahového vytápění jsem provedl v programu Excel [P02]. Vztahy potřebné pro výpočet jsou uvedeny v následujících kapitolách.

5.1. Výpočet teplovodního podlahového vytápění

5.1.1 Propustnost tepla vrstvami směrem A – nahoru

$$\Lambda_a = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_p} + \sum \frac{a}{\lambda_a}} \quad (5.1)$$

Λ_a [W/m².K] ... Propustnost tepla vrstvami směrem nahoru

a [m] ... Tloušťka jednotlivých vrstev nad trubkami

λ_a [W/m.K] ... Součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev nad trubkami

α_p [W/ m².K] ... Celkový součinitel přestupu tepla na podlaze

5.1.2 Propustnost tepla vrstvami směrem B – dolů

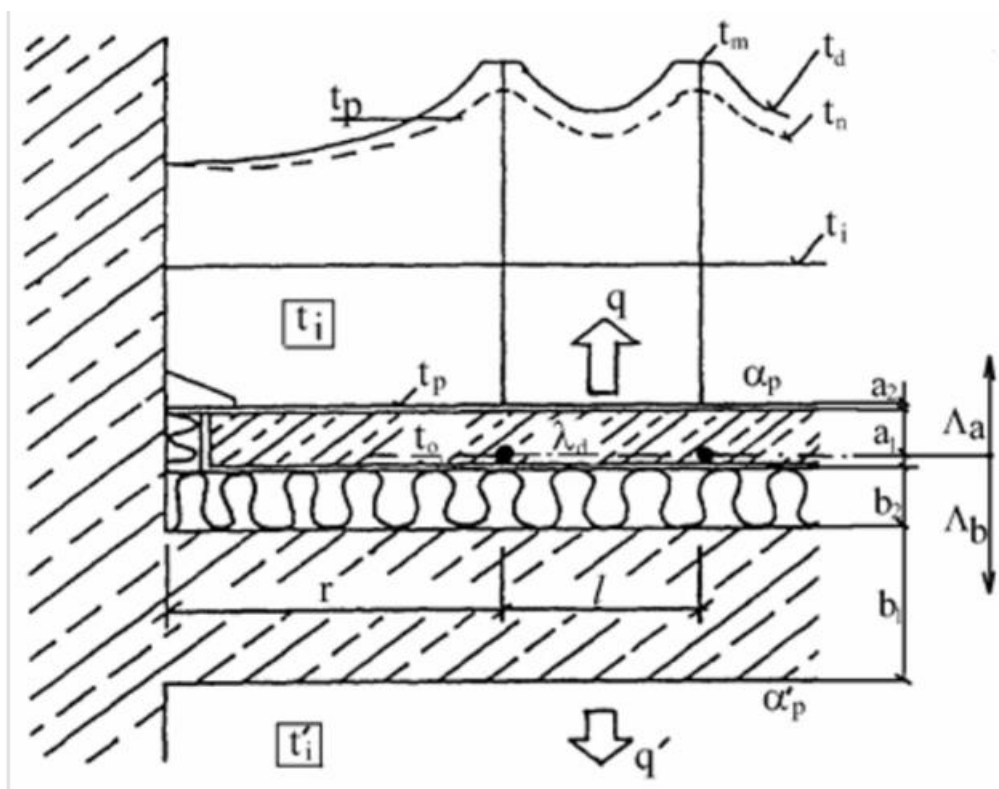
$$\Lambda_b = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_p'} + \sum \frac{b}{\lambda_b}} \quad (5.2)$$

Λ_b [W/m².K] ... Propustnost tepla vrstvami směrem dolů

b [m] ... Tloušťka jednotlivých vrstev pod trubkami

λ_b [W/m.K] ... Součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev pod trubkami

α_p' [W/ m².K] ... Celkový součinitel přestupu tepla na spodní straně otopné podlahy



Obr. 5 Schématický náčrt podlahové otopné plochy pro výpočet [8]

5.1.3 Charakteristické číslo podlahy

$$m = \sqrt{\frac{2 \cdot (\Lambda_a + \Lambda_b)}{\pi^2 \cdot \lambda_d \cdot D_{tr}}} \quad (5.3)$$

m [-] ... Charakteristické číslo podlahy

Λ_a [W/m².K] ... Propustnost tepla vrstvami směrem nahoru

Λ_b [W/m².K] ... Propustnost tepla vrstvami směrem dolů

λ_d [W/m.K] ... Součinitel tepelné vodivosti materiálu, do kterého jsou zality trubky

D_{tr} [m] ... Vnější průměr trubek

5.1.4 Střední povrchová teplota

Střední povrchovou teplotu podlahy jsem navrhoval tak, aby nepřekročila hygienicky přípustné hodnoty:

- $t_p = 27$ až 28 °C ...u místností pro trvalý pobyt (obytné místnosti, kanceláře)
- $t_p = 30$ až 32 °C ...u místností, kde člověk jen příležitostně prochází
- $t_p = 32$ až 34 °C ...u místnosti, kde člověk převážně chodí bos [9]

Vztah pro výpočet:

$$t_p = t_i + \frac{\lambda_a}{\alpha_p} \cdot (t_m - t_i) \cdot \frac{\operatorname{tgh}\left(\frac{m \cdot l}{2}\right)}{m \cdot \frac{l}{2}} \quad (5.4)$$

t_p [°C] ... Střední povrchová teplota

t_i [°C] ... Vnitřní výpočtová teplota

t_m [°C] ... Střední teplota otopné vody

l [m] ... Rozteč trubek

5.1.5 Měrný tepelný tok podlahové otopné plochy

$$q_{\text{skut.}} = \alpha_p \cdot (t_p - t_i) \quad (5.5)$$

$q_{\text{skut.}}$ [W/m²] ... Měrný tepelný tok podlahové otopné plochy

α_p [W/ m².K] ... Celkový součinitel přestupu tepla na podlaze

t_p [°C] ... Střední povrchová teplota

t_i [°C] ... Vnitřní výpočtová teplota

5.1.6 Měrný tepelný tok podlahové plochy do zeminy

$$q'_{ig} = \frac{\Lambda_a}{\Lambda_b} \cdot \alpha_p' \cdot (t_p - t_i) + \Lambda_b \cdot (t_i - t_i') \quad (5.6)$$

q'_{ig} [W/m².K] ... Měrný tepelný tok podlahové plochy do zeminy

Λ_a [W/m².K] ... Propustnost tepla vrstvami směrem nahoru

Λ_b [W/m².K] ... Propustnost tepla vrstvami směrem dolů

α_p' [W/m².K] ... Celkový součinitel přestupu tepla na spodní straně otopné podlahy

t_p [°C] ... Střední povrchová teplota

t_i [°C] ... Vnitřní výpočtová teplota

t_i' [°C] ... Průměrná teplota za otopné období

5.1.7 Měrný tepelný tok potřebný v dané místnosti

$$q_{potř.} = \frac{Q_z}{S_p} \quad (5.7)$$

$q_{potř.}$ [W/m²] ... Měrný tepelný tok potřebný v dané místnosti

Q_z [W] ... Tepelná ztráta v dané místnosti

S_p [m²] ... Skutečná otopná plocha pro podlahové vytápění

5.1.8 Celkový tepelný příkon otopné plochy

$$\dot{Q}_{PC} = S_p \cdot (q'_{ig} + q_{skut.}) \quad (5.8)$$

\dot{Q}_{PC} [W] ... Celkový tepelný příkon otopné plochy

q'_{ig} [W/m².K] ... Měrný tepelný tok podlahové plochy do zeminy

$q_{skut.}$ [W/m²] ... Měrný tepelný tok podlahové otopné plochy

S_p [m²] ... Skutečná otopná plocha pro podlahové vytápění [8]

$$q_{skut.} \geq q'_{ig} \quad (5.9)$$

Tab. 5.1. Vypočtené hodnoty z návrhu nízkoteplotního podlahového vytápění

Název místnosti	Číslo místnosti	Teplota [°C]	$q_{\text{potř.}}$ [W/m ²]	q'_{ig} [W/m ²]	$q_{\text{skut.}}$ [W/m ²]	Q_{PC} [W]
Kuchyň	101	20	98	9,5	104	1559
Ložnice	102	20	70	8,5	81	492
Šatna	103	20	69	8,5	81	268
Koupelna	105	24	169	9,9	87	386
Zádveří	108	20	97	9,5	104	624
Pokoj	110	20	72	8,5	81	563
Pokoj	111	20	71	8,5	81	536
Pracovna	112	20	74	8,5	81	447
Obývací pokoj	113	20	63	9,1	67	888
Koupelna - Trubkové OT	$Q_{\text{ot.}}$ [W]	438	/	Celkový tepelný příkon		6478
Garáž - Deskové OT		803				

5.2 Hydraulický výpočet

$$\Delta p_z = \Delta p_\lambda + \Delta p_\xi \quad (5.10)$$

Δp_z [Pa] ... Celková tlaková ztráta otopného hadu

Δp_λ [Pa] ... Tlaková ztráta třením

Δp_ξ [Pa] ... Tlaková ztráta místními odpory

5.2.1 Tlaková ztráta třením

K výpočtu tlakových ztrát třením jsem musel nejdříve pomocí známých vztahů vypočítat hmotnostní průtok \dot{m} [kg/s] a rychlosti teplotnosné látky v otopném hadu w [m/s]. S těmito dvěma parametry pro zvolené potrubí jsem interpolací odečetl z tabulek [P04] měrnou tlakovou ztrátu R [Pa/m]. Dále jsem stanovil celkové délky rozvodů pro každý okruh l_r [m] a podle rozteče trubek určil celkovou spotřebu trubek l_p [m] pro každý okruh a provedl výpočet tlakové ztráty třením dle vztahu:

$$\Delta p_\lambda = R \cdot L \quad (5.11)$$

Δp_λ [Pa] ... Tlaková ztráta třením

R [Pa/m] ... Měrná tlaková ztráta

L [m] ... Celková délka potrubí

5.2.2 Tlaková ztráta místními odpory

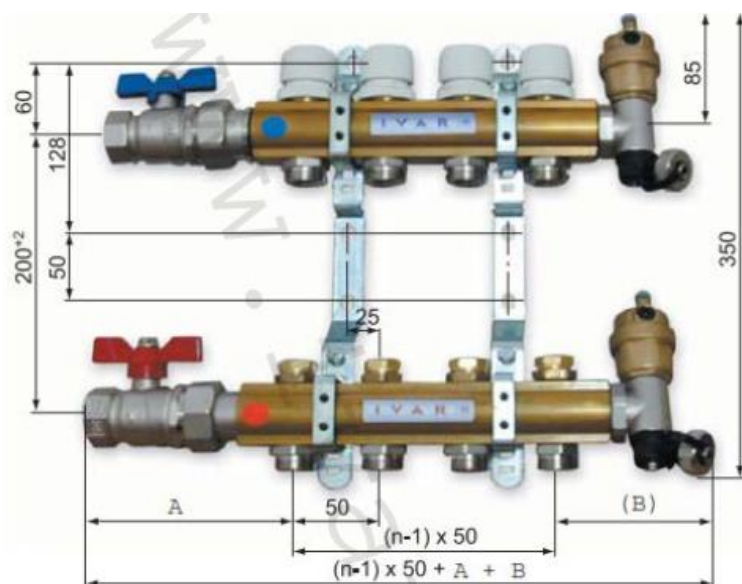
Jelikož vznikající ztráty místními odpory jsou tak mále až téměř nulové, při výpočtu jsem tlakovou ztrátu místními odpory zanedbal a počítal jsem pouze s tlakovou ztrátou třením.

Tab. 5.2. Vypočtené hodnoty tlakových ztrát

Název místnosti	Číslo místnosti	Okruh	\dot{m} [kg/s]	w [m/s]	L [m/s]	R [Pa/m]	Δp_λ [Pa]
Kuchyň	101	A7	167,6	0,38	102,5	57	5842
		A6	167,6	0,38	90,4	57	5150
Ložnice, Šatna	102, 103	A8	78,9	0,17	39,5	44	1738
Koupelna	105	6 pdl.vtp.	88,6	0,15	40	52	1110
		6 ot. žebřík	41,5	0,09	9,8	15	
Zádveří	108	A1	67	0,15	61,8	33	2039
Pokoj	110	A2	60,5	0,14	36	29	1044
Pokoj	111	A3	57,6	0,13	41	26	1066
Pracovna	112	A4	52,8	0,12	43,3	23	995
Obývací pokoj	113	A5	95,4	0,22	66,2	61	4038
						Celková tlaková ztráta třením	5842

5.3 Hydraulické vyvážení otopné soustavy

Pro rozdělování a sbírání teplotnosného média do jednotlivých okruhů jsem zvolil rozdělovač od firmy IVAR.CS 553 DRS. Na něm jsem navrhl hydraulické vyvážené otopné soustavy pro každý okruh. A to tím způsobem, že k okruhu s největší tlakovou ztrátou $\Delta p = 5841 \text{ Pa}$, jsem navrhl stupeň otáček škrcení tak, aby se tlaková ztráta ostatních okruhů lišila maximálně o $\pm 10 \%$. Pro okruhy do místností č.110 – Pokoj, č.111 – Pokoj, č.112 – Pracovna, č.113 – Obývací pokoj, jsem z důvodu nedostatečné tlakové ztráty k vyvážení navrhl vyvažovací ventily STAD DN 15. Tímto hydraulickým vyvážením otopné soustavy jsem zajistil rovnoměrné zásobování jednotlivých okruhů teplotnosnou látkou a také jejich požadovaný výkon. Dále trubkové těleso umístěné v koupelně a deskové otopné těleso umístěné v garáži jsem hydraulicky vyvažoval k nejvyšší tlakové ztrátě pomocí regulačních armatur (TRV – IVAR.VD 2101 N, RŠ -IVAR.DD 301). Na trubkovém otopném tělese KORALUX LINEAR MAX 1820x750 jsem navrhl nastavení TRVx6, $K_v = 0,37$ a pro RŠ nastavení 2, $K_v = 0,2$. Na deskovém otopném tělese 11-900x800 jsem navrhl nastavení TRVx6, $K_v = 0,57$ a pro RŠ nastavení 4, $K_v = 0,43$. [10]



Obr. 5 Rozdělovač IVAR.CS 553 DRS [P03]

Tab. 5.3. Hydraulické vyvážení otopné soustavy

Název místnosti	Číslo místnosti	Okruh	\dot{m} [kg/s]	$\Delta p_{\text{škrcení}}$ [Pa]	K_v [m ³ /h]	$\Delta p_{\text{rozdělovač}}$ [Pa]	$\Delta p_{\text{sběrač}}$ [Pa]	Δp_c [Pa]
Kuchyň	101	A7	167,6	5841,9	/	415,4	449,3	6707
		A6	167,6	1556,6	1,59	1153,8	449,3	6753
Ložnice, Šatna	102, 103	A8	78,9	4968,6	0,35	17,5	44	6147
Koupelna	105	A9	88,6	5597	0,38	5729,4	27,5	6867
Zádveří	108	A1	67	4667,2	0,31	4675	71,9	6786
Pokoj	110	A2	60,5	5662,9	0,26	3811,9	58,6	4914
Pokoj	111	A3	57,6	5640,6	0,24	3457,5	53,2	4577
Pracovna	112	A4	52,8	5711,8	0,22	2905,3	44,7	3945
Obývací pokoj	113	A5	95,4	2668,4	0,6	1495,4	145,6	5679

6. ZDROJ TEPLA

Pro vytápění rodinného domu jsem jako zdroj tepla navrhl kondenzační kotel od firmy Geminox. Konkrétně jsem zvolil typ THRS 1-10B-120 a to proto, že je často používán v nízkoenergetických domech a do budoucna je možné ho zkombinovat s alternativními zdroji energie. Kotel disponuje zásobníkem teplé vody na 120 l a jeho tepelný výkon je 1,1 - 9,5 kW. [11]

Kondenzační kotel je cíleně konstruován pro kondenzační provoz, přímo v kotli má docházet ke kondenzaci vlhkosti vodní páry, která je obsažená ve spalínách. Z toho důvodu musí být teplosměnná plocha navržena z plně korozivzdorného materiálu, vhodná je například nerezová ocel. Je nutné zajistit trvalý odvod kondenzátu z kotle. U kondenzačních kotlů jsou spaliny maximálně využívány díky tomu, že obsahují množství přehřáté vodní páry a tím i jejich latentní energii, v případě konvenčního způsobu vytápění uniká část tepla i energie do atmosféry bez dalšího využití.

Aby došlo ke kondenzaci, je nutné, aby byla teplota vratné otopné vody do výměníku kotle nejvýše cca 55 °C, což je teplota rosného bodu vodní par obsažených ve spalínách. Prostřednictvím této technologie dosahují kondenzační kotle normovaný stupeň využití až 109 %, a proto mají i nižší spotřebu paliva. [4]

6.1 Pojistné a zabezpečovací zařízení

Nezbytnou součástí návrhu zdroje je návrh pojistného a zabezpečovacího zařízení. Pojistné zařízení chrání zdroj tepla proti překročení maximálního dovoleného přetlaku, a to pojistným ventilem. Veškeré prvky otopné soustavy musí mít minimální konstrukční přetlak PN 6. Ten musí splňovat funkčnost dle normy ČSN 06 0830. Expanzní nádoba je zabezpečovacím zařízením, které umožňuje vyrovnat změny roztažnosti vody otopné soustavy bez její ztráty a udržet přetlak v otopné soustavě v předepsaných mezích. Pojistný ventil i tlaková expanzní nádoba je součástí zdroje tepla od dodavatele. [12]

6.1.1 Kontrola správné funkce expanzní nádoby

Z důvodu plnění správné funkce, jsem musel zkontrolovat expanzní nádobu výpočtem tak, aby odpovídala požadavkům navrhnuté otopné soustavy. Kontrola objemu vody tlakové expanzní nádoby se vypočítá podle uvedeného vztahu (6.1), tím jsem přepočtl objem, který vyšel $V_{et'} = 5,1 \text{ l}$, ten je menší než navržený v kotli od dodavatele $V_{et} = 18 \text{ l}$ to znamená, že vyhovuje a bude plnit správně svou funkci.

$$V_{et'} = 1,3 \cdot V_o \cdot n \cdot \frac{1}{\eta} \quad (6.1)$$

$V_{et'}$ [l] ... objem tlakové nádoby

V_o [l] ... Celkový objem vody v otopné soustavě = $0,25 \text{ m}^3$

η [-] ... Stupeň využití expanzní nádoby = $0,74$

n [-] ... Součinitel zvětšení objemu, který jsem zvolil podle maximální rozdílu teplot $\Delta t_{\max} = 38 \text{ K}$ a z tabulky určil $n = 0,01169$ [12]

Výpočet celkového objemu vody v otopné soustavě a stupně využití expanzní nádoby s potřebnými vztahy k výpočtu jsou uvedeny na následující straně.

Stupeň využití expanzní nádoby [12]:

$$\eta = \frac{P_{h,dov,A} - P_{d,dov,A}}{P_{h,dov,A}} \quad (6.2)$$

$P_{h,dov,A}$ [Pa] ... Nejvyšší dovolený absolutní tlak, který se rovná otevíracímu tlaku pojistného ventilu 450 kPa.

$P_{d,dov,A}$ [Pa] ... Hydrostatický absolutní tlak, který musíme dosazovat v absolutních tlacích to znamená sečtení barometrického tlaku a přetlaku vypočten ze vztahu uvedeného níže. A jeho hodnota je $P_{d,dov,A} = 116$ kPa.

$$P_{d,dov,A} = \rho \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3} + p_B \quad (6.3)$$

g [m/s²] ... Tíhové zrychlení

P_B [Pa] ... Barometrický tlak

h [m] ... Výška vodního sloupce nad expanzní nádobou

ρ [kg/m³] ... Hustota vody

Celkový objem vody v otopné soustavě:

$$V_c = V_P + V_K + V_O + V_{TV} \quad (6.4)$$

V_c [m³] ... Celkový objem vody v otopné soustavě

V_P [m³] ... Celkový objem vody v potrubí

V_K [m³] ... Objem vody v kotli, s přičteným objemem rozdělovače

V_O [m³] ... Objem vody v deskových a trubkových otopných tělesech

V_{TV} [m³] ... Objem vody v zásobníku teplé vody, která je součástí kotle

6.2 Oběhové čerpadlo

Společně se kondenzačním kotlem je také dodáváno oběhové čerpadlo od firmy GRUNDFOS typ UPM 15–70, které zajišťuje oběh teplotnosného média v otopné soustavě a je závislé elektrické dodávce elektřiny.

Abych byl schopný určit správnou polohu nastavení oběhového čerpadla, musel jsem stanovit pracovní bod ze závislosti celkového objemového průtoku vody v otopné soustavě a celkové tlakové ztráty. Celkový objemový průtok $\dot{V}_c = 920 \text{ m}^3/\text{hod}$. A jako druhý parametr jsem stanovil tlakovou ztrátu, které bude odpovídat dopravní tlak čerpadla, a to následujícím vztahem:

$$\Delta p_c = \Delta p_v + \Delta p_s + \Delta p_o + \Delta p_p \quad (6.5)$$

$$\Delta p_c = 14\,730 \text{ Pa}$$

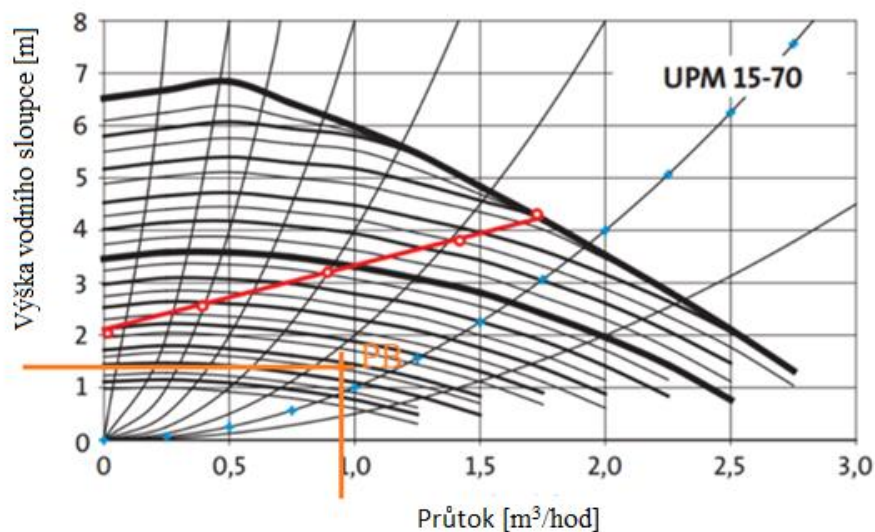
Δp_v [Pa] ... Tlaková ztráta výměníku kotle

Δp_s [Pa] ... Tlaková m^3/hod ztráta sběrače

Δp_o [Pa] ... Tlaková ztráta hydraulicky nejzatíženějšího otopného okruhu

Δp_p [Pa] ... Tlaková ztráta potrubí od kondenzačního kotle k rozdělovači

Průsečíkem těchto dvou uvedených parametrů, jsem v diagramu od výrobce pro daný typ oběhového čerpadla na obr.6.1 stanovil pracovní bod.



Obr. 6.1 Závislost objemového průtoku na dopravní výšce oběhového čerpadla [13]

6.3 Odvod spalin a přívod spalovacího vzduchu

Odvod spalin z kondenzačního kotle GEMINOX, bude dodán přímo od výrobce zdroje tepla v souladu s požadavky na připojení kotle.

Jelikož je kotel spotřebič typu B, to znamená, že spalovací vzduch bude odebírán z prostoru, kde je umístěn. Musel jsem navrhnout přívod spalovacího vzduchu do místnosti pomocí větracího otvoru, který musí být opatřený protidešťovou žaluzií. Z doporučené rychlosti protidešťovou žaluzií od firmy TROX TECHNIK $v = 2,2$ m/s a požadovaného množství vzduchu z venkovního prostoru do technické místnosti $V_s = 27,5$ m³/hod podle vztahu (6.5). Průměr větracího potrubí pro přívod prostřednictvím výpočtu vyšel $d = 0,066$ m, zvolil jsem tedy DN 70 .

Požadované množství spalovacího vzduchu [15]:

$$V_S = 1,1 \cdot \lambda \cdot \frac{Q_n}{\eta} \quad (6.6)$$

V_S [m³/hod] ... Množství spalovacího vzduchu

λ [-] ... Potřebný přebytek vzduchu pro spalování, volil jsem 2,5

Q [kW] ... Jmenovitý výkon spotřebiče

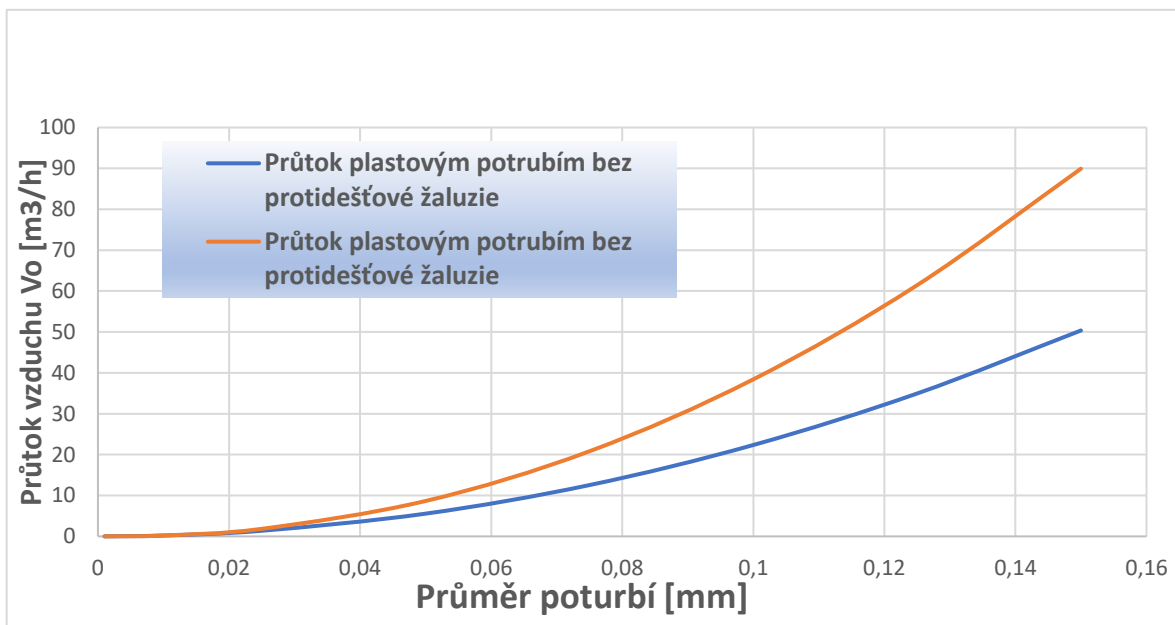
η [-] ... Účinnost spotřebiče

Průměr větracího potrubí:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\eta}} \quad (6.7)$$

d [m] ... Vnitřní průměr větracího potrubí

S [m²] ... Průřez větracího potrubí



Obr. 6.2 Závislost průměru potrubí na průtoku vzduchu

7. POTŘEBA TEPLA

7.1 Potřeba tepla na vytápění

V první řadě jsem provedl výpočet teoretické potřeby tepla na vytápění podle denostupňové metody [8]:

$$Q_{d,vyt,teor} = 24 \cdot 3600 \cdot \dot{Q}_c \cdot \frac{d \cdot (t_{is} - t_{es})}{(t_{is} - t_e)} \cdot e_i \cdot e_t \cdot e_d \quad (7.1)$$

$Q_{d,vyt,teor}$	[J/ot.období] ... Teoretická potřeba tepla na vytápění
\dot{Q}_c	[W] ... Celková tepelná ztráta objektu
d	[den] ... Počet dní v otopném období
t_{is}	[°C] ... Průměrná vnitřní teplota objektu
t_{es}	[°C] ... Průměrná venkovní teplota za otopné období
t_e	[°C] ... Venkovní oblastní výpočtová teplota za otopné období
e_i	[-] ... Opravný součinitel na nesoučasnost přírážek
e_t	[-] ... Opravný součinitel na snížení vnitřní teploty
e_d	[-] ... Opravný součinitel na zkrácení doby provozu

Vypočítanou $Q_{d,vyt,teor}$ jsem dosadil do vztahu pro výpočet skutečné potřeby tepla:

$$Q_{d,vyt,skut} = \frac{Q_{d,vyt,teor}}{\eta_R \cdot \eta_O \cdot \eta_K} \quad (7.2)$$

$Q_{d,vyt,skut}$	[J/ot.období] ... Skutečná potřeba tepla na vytápění
η_R	[-] ... Účinnost rozvodu tepla
η_O	[-] ... Účinnost obsluhy zdroje tepla
η_K	[-] ... Účinnost kondenzačního kotle

V mé bakalářské práci je cílem se zkusit přiblížit obecné podmínce nízkoenergetického standardu pro vytápění rodinného domu (50 kWh/m².rok). Zda navrhnutý rodinný dům splňuje nebo se tomuto standardu alespoň přiblížil jsem ověřil jednoduchým podílem:

$$Q_{\text{teor,standard}} = \frac{Q_{\text{d,vyt,teor}}}{S_{\text{objektu}}} = 41,1 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok} \quad (7.3)$$

S_{objektu} [m²] ...Energeticky vztažná plocha objektu

Z výsledku vyplývá, že vypočítaných 41,1 < 50 kWh/m².rok => rodinný dům splňuje nízkoenergetický standard.

7.2 Potřeba paliva

Celková potřeba zemního plynu, který musí být dodán kotli (s výhřevností plynu $H_u = 35,9 \text{ MJ/ m}^3$) se stanoví podle vztahu [8]:

$$U_{\text{d,celk}} = \frac{Q_{\text{d,vyt,skut}}}{H_u} \quad (7.4)$$

$U_{\text{d,celk}}$ [MJ/ m³] ... Celková roční potřeba paliva na vytápění

H_u [MJ/ m³] ... Výhřevnost plynu

$Q_{\text{d,vyt,skut}}$ [J/ot.období] ... Skutečná potřeba tepla na vytápění

Tab.7.1 Vypočítané hodnoty potřeby tepla a paliva na vytápění

$Q_{\text{d,vyt,teor}}$ [J/ot.období]	$Q_{\text{d,vyt,skut}}$ [J/ot.období]	$U_{\text{d,celk}}$ [m ³ /rok]
30,731·10 ⁹	34,037·10 ⁹	1 377

8. NÁVHR PŘÍPRAVY TEPLÉ VODY

Nezbytnou součástí projektu a bakalářské práce je návržení vhodného systému pro přípravu teplé vody. Teplou vodu pro pět osob bude připravovat zdroj tepla, který je opatřen zásobníkem teplé vody na 120 l. Bylo nutné provést kontrolu, zda bude zásobník vyhovující. Podle normy ČSN 06 0320 jsem navrhl vstupní data pro návrh a ten provedl v programu EXCEL, vztahy potřebné k návrhu uvedu v následující kapitole [16]. Z těchto dat jsem následně sestrojil odběrový diagram viz obr. 8.1.

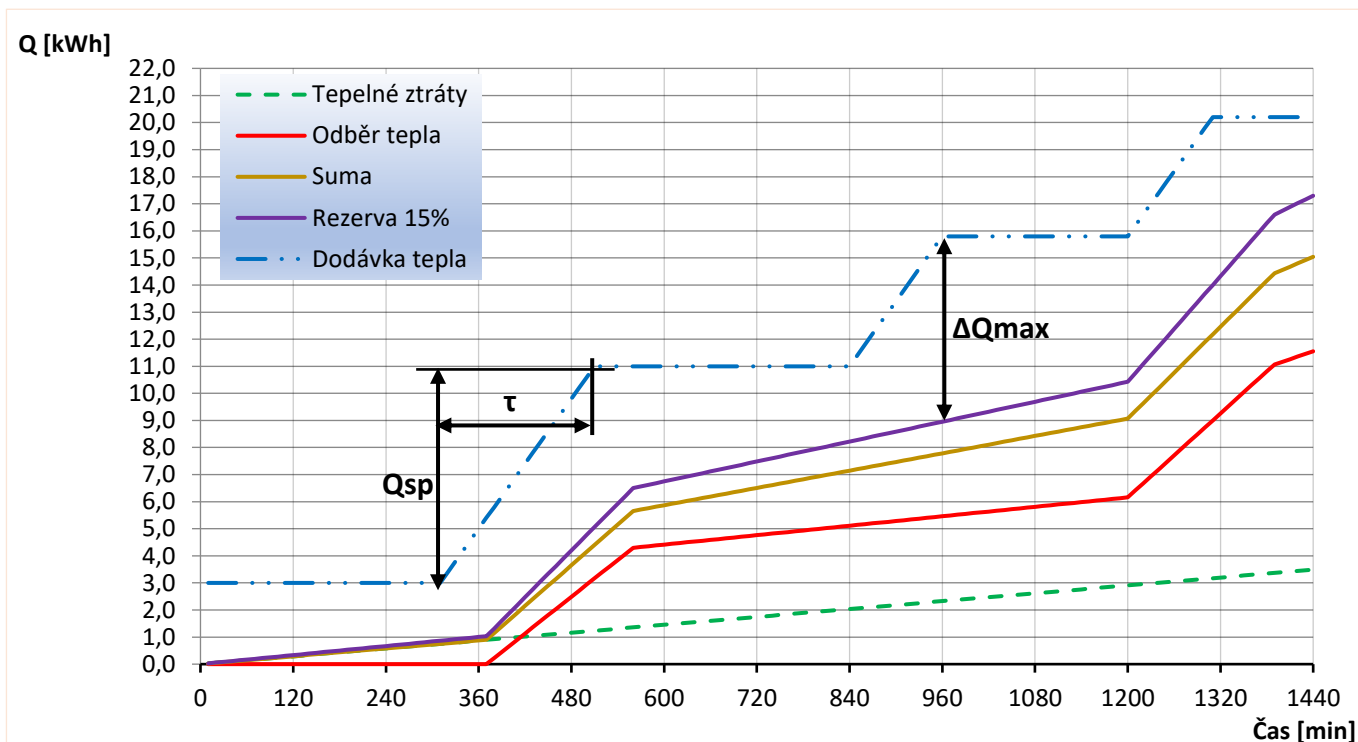
8.1 Potřeba tepla dodaného ohřivačem TV

$$Q_{2p} = Q_{2t} + Q_{2z} = (1 + z) \cdot Q_{2t} = \frac{(1+z) \cdot V_{2p} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_1 - t_2)}{3600 \cdot 1000} \quad (8.1)$$

Q_{2p}	[kWh/den] ... Teoretická potřeba tepla na vytápění
Q_{2t}	[kWh/den] ... Teplo pro ohřev vody
Q_{2z}	[kWh/den] ... Teplo ztracené při ohřevu a distribuci TV
c	[J/kg.K] ... Měrná tepelná kapacita vody
t_1	[°C] ... Teplota studené vody
t_2	[°C] ... Teplota teplé vody
V_{2p}	[m ³ /den] ... Celková potřeba teplé vody – zvolil jsem reálnou hodnotu 40 l/os.den
z	[-] ... Poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci TV
ρ	[kg/ m ³] ... Hustota vody při střední teplotě zásobníku

Tab. 8.1 Vypočítané a stanovené hodnoty potřebné k návrhu

t_1 [°C]	t_2 [°C]	V_{2p} [m ³ /den]	z [-]	Q_{2p} [kWh/den]	Q_{2t} [kWh/den]	Q_{2z} [kWh/den]
10	60	0,2	0,3	15	11,6	3,5



Obr. 8.1 Odběrový diagram teplé vody během časové periody (tj. 24 hodin)

Křivky v odběrové diagramu jsou sestaveny z tepla odebraného z ohřívače Q_{2t} , tepla ztraceného při distribuci TV Q_{2z} , z kterých jsem následně sestavil křivky odběru a dodávky tepla Q_{1p} v dané periodě. Pro sestavení křivek jsem použil tzv. časový rozbor odběru TV pro bytové domy dle normy ČSN EN 15 316 - 3. Křivka dodávky tepla je sestavena na základě tepelného výkonu a doby provozu zdroje tepla. Tato křivka musí být vždy nad křivkou odběru tepla, jinak by nastal nedostatek tepla pro ohřev vody na požadovanou teplotu. Maximální velikost tepelného výkonu ΔQ_{max} je názorně okótována v diagramu. Zda je objem zásobníku vyhovující, jsem zjistil z maximálního rozdílu mezi křivkou dodávky a odběru tepla pomocí matematického vzorce (8.1). [17]

$$V_z = \frac{\Delta Q_{max}}{\rho \cdot c \cdot (t_1 - t_2)} \cdot 3600 \cdot 1000 \quad (8.2)$$

V_z [m³] ... Objem zásobníku

ΔQ_{max} [kWh] ... maximální rozdíl tepla mezi křivkou dodávky a odběru tepla

Tepelný výkon ohřívače vypočítaný z dodávky tepla a uvažovaného času provozu zdroje tepla τ podle vztahu:

$$P_{1n} = \left(\frac{\Delta Q_{sp}}{\tau} \right) \quad (8.3)$$

P_{1n} [kW] ... Tepelný příkon ohřívače

ΔQ_{sp} [kWh] ... Maximální dodávka tepla

τ [hod] ... Doba maximální dodávky tepla

Tab. 8.1 Vypočítané hodnoty z odběrového diagramu

ΔQ_{max} [kW/h]	Q_{sp} [kW/h]	τ [hod]	V_z [m ³]	P_{1n} [kW]
7	8	3,5	0,117	3,5

Z vypočítané hodnoty V_z vyplývá, že velikost zásobníku v kondenzačním kotli od dodavatele bude dostačující k přípravě TV. Rovněž i tepelný příkon je dostačující.

9. ZÁVĚR

Cílem této práce je navržení vytápění pro jednopodlažní nízkoenergetickou novostavbu.

Nejprve jsem vypočítal součinitele prostupu tepla tak, aby splňovaly minimální doporučené hodnoty dané normou ČSN EN 73 0540. V konstrukcích, kde minimální doporučené hodnoty splňovány nebyly, jsem navrhl tepelnou izolaci. Na základě zvolených konstrukcí byla vypočtena tepelná ztráta novostavby dle platné evropské normy, která je přibližně 6,4 kW.

Dále byl navržen systém vytápění. Z důvodu nízkého teplotního spádu a malé potřeby tepla jsem se rozhodl pro podlahové vytápění. Zvažoval jsem použití deskových otopných těles, ale kvůli k vyššímu komfortu a vyšší tepelné pohodě jsem zvolil podlahové vytápění. Desková a trubková otopná tělesa jsem navrhl pouze doplňkově.

Konstrukce podlahové otopné plochy je realizována mokřým způsobem pokládky. Potrubí je uloženo v systémové desce a následně zalito betonovou mazaninou. Potrubí tvoří topenářská trubka ze zesíťovaného polyethylenu od firmy RAUTHERM.

Kvůli nižší potřebě paliva a vysoké účinnosti byl jako zdroj tepla zvolen kondenzační kotel THRS 1-10B-120 od firmy GEMINOX o výkonu 1,1 - 9,5 kW. Tento kotel lze do budoucna zkombinovat s alternativními zdroji energie a v nízkoenergetických domech je hojně používán.

Jedním z úkolů této bakalářské práce je pokusit se alespoň přiblížit obecné podmínce nízkoenergetického standardu pro vytápění rodinného domu ($50 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$). Zda navrhnutý rodinný dům tuto podmínku splňuje, nebo se jí alespoň přibližuje, jsem ověřil jednoduchým výpočtem. Výsledek $41,1 < 50 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$, z toho vyplývá, že rodinný dům splňuje nízkoenergetický standard. Na závěr jsem navrhl vhodnou přípravu teplé vody. Teplou vodu bude přednostně připravovat zdroj tepla, který je opatřen zásobníkem teplé vody o objemu 120 l. Výpočtem a zkonstruováním odběrového diagramu jsem provedl kontrolu, kterou jsem ověřil, že zásobník je vyhovující.

Seznam použité literatury

- [1] BAŠTA, Jiří. *Velkoplošné sálavé vytápění: podlahové, stěnové a stropní vytápění a chlazení*. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 8024735245
- [2] Okna | Plastová a dřevěná okna - LD OKNA obchodní s.r.o.. *Plastová a dřevěná okna - LD OKNA obchodní s.r.o.* [online]. [cit. 23.06.2017].
Dostupné z: <http://www.ld-okna.cz/okna>
- [3] Dveře | Plastová a dřevěná okna - LD OKNA obchodní s.r.o.. *Plastová a dřevěná okna - LD OKNA obchodní s.r.o.* [online]. [cit. 23.06.2017].
Dostupné z: <http://www.ld-okna.cz/dvere>
- [4] BAŠTA, Jiří. *Prezentace: Základy vytápění*
- [5] ČSN EN 12 831: 2003., *Tepelné soustavy v budovách – výpočet tepelného výkonu*
- [6] Vytápění - TZB-info. *Vytápění - TZB-info* [online]. [cit. 23.06.2017].
Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/podlahove-vytapani/8784-plosne-vytapani-a-chlazení-rehau-systemy-pokladky-v-podlaze>
- [7] RAUTHERM S . [online]. [cit. 23.06.2017].
Dostupné z: <https://www.rehau.com/cz-cs/stavebnictví-podnikatelé/vytapani-a-chlazení/plosne-vytapani-chlazení/trubky-a--technika-spojovani>
- [8] BOHÁČ, Jindřich. *Prezentace: Základy sálavého vytápění*
- [9] Vytápění - TZB-info. *Vytápění - TZB-info* [online]. [cit. 23.06.2017].
Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/podlahove-vytapani/3449-podlahove-vytapani-iii>
- [10] Regulační a uzavírací šroubení : IVAR CS. *IVAR CS : komponenty pro vodu, vytápění a plyn* [online]. [cit. 23.06.2017].
Dostupné z: <http://www.ivarcs.cz/cz/regulacni-a-uzaviraci-sroubeni>,
<http://www.ivarcs.cz/cz/regulacni-a-uzaviraci-sroubeni>
- [11] Geminox [online]. [cit. 23.06.2017]
Dostupné z: <http://www.geminox.cz/produkty/kotle-thrs-spickove-reseni-narocnych-aplikaci/kondenzacni-kotel-thrs-jednookruhovy/solo/thrs-1-10c-s469099759>

[12] VAVŘIČKA, Roman. Prezentace: Návrh pojišťovacího a zabezpečovacího zařízení

[13] Oběhová čerpadla, čerpadla pro otopné systémy, čerpadla pro klimatizace | Grundfos . *Oběhová čerpadla, čerpadla pro otopné systémy, čerpadla pro klimatizace | Grundfos* [online]. [cit. 23.06.2017] Dostupné z: <http://cz.grundfos.com>

[14] Schiedel - vedoucí firma v oboru komínových systémů. *Schiedel CZ*. [online]. [cit. 23.06.2017] Dostupné z: <https://www.schiedel.com/cz/>

[15] VAVŘIČKA, Roman. Prezentace: Plynové spotřebiče

[16] VAVŘIČKA, Roman. Prezentace: Příprava teplé vody

[17] Vytápění - TZB-info. *Vytápění - TZB-info* [online]. [cit. 23.06.2017]. Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/7885-metody-navrhu-zasobniku-teple-vody>

Seznam použitých norem

ČSN EN 12831. *Tepelné soustavy v budovách*. Praha: Český normalizační institut, 2005.

ČSN 73 0540. *Tepelná ochrana budov*. Praha: Český normalizační institut, 2011.

ČSN 06 0320. *Tepelná ochrana budov- Část 2: Požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2011.

ČSN 06 0830. *Tepelná soustavy v budovách - Zabezpečovací zařízení*. Praha: Český normalizační institut, 2014.

ČSN 06 0320. *Tepelná soustavy v budovách - Příprava teplé vody*. Praha: Český normalizační institut, 2006.

ČSN 06 0320. *Tepelná soustavy v budovách - Výpočtová metoda pro stanovení potřeb energie a účinnosti soustavy*. Praha: Český normalizační institut, 2010.

Seznam příloh

- 05-2017-01 Půdorys 1.NP
- 05-2017-01 Rozvinuté schéma
- 05-2017-01 Řez podlahovou konstrukcí

Seznam příloh na přiloženém CD

- [P01] Výpočet tepelných ztrát
- [P02] Návrh teplovodního podlahového vytápění
- [P03] Technický list rozdělovače IVAR 553 DRS
- [P04] Tabulky pro zvolené potrubí
- [P05] Výpočty provedené v programu EXCEL
- [P06] Technické specifikace použitých výrobků
- [P07] Výkresová dokumentace
- [P08] Bakalářská práce – elektrická podoba