

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VYTÁPĚNÍ NOVOSTAVBY RODINNÉHO DOMU

Souhrn

V této bakalářské práci jsem navrhl vhodnou konstrukci novostavby rodinného domu s ohledem na splnění doporučeného součinitele prostupu tepla. Podle platné evropské normy jsem spočítal tepelné ztráty celého domu. Dále jsem zvolil nejvhodnější kombinaci zdroje tepla a způsob vytápění rodinného domu vzhledem k investičním a provozním nákladům, ale také pohodě uživatele. Pro rodinný dům jsem rovněž navrhl vhodný způsob přípravy teplé vody.

Summary

In this bachelor thesis I designed a suitable construction of a family house with regard to the fulfillment of the recommended coefficient of heat transfer. According to a valid European standard, I have calculated the heat losses of the whole house. Next, I chose the most suitable combination of heat source and heating method for a family house in terms of investment and operating costs, but also the comfort of the user. For a family house, I also designed a suitable way of heating hot water.

Prohlášení o samostatném vypracování bakalářské práce

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

V Praze 22. 6. 2018

Karel Šíp

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu této bakalářské práce panu Ing. Jindřichu Boháčovi za odborné konzultace a vedení při zpracování této bakalářské práce.

Obsah

1	Úvod	14
2	Lokalita a popis novostavby rodinného domu	15
3	Tepelně technické vlastnosti rodinného domu.....	16
3.1	Volba konstrukce rodinného domu	16
3.1.1	Skladba vnější obvodové stěny	16
3.1.2	Skladba podlahy přilehlé k zemině.....	16
3.1.3	Skladba střechy	16
3.1.4	Skladba stropů mezi jednotlivými podlažními	17
3.1.5	Skladba vnitřního nosného zdiva	17
3.1.6	Skladba vnitřního nenosného zdiva	17
3.2	Volba otvorových výplní.....	18
3.2.1	Okna	18
3.2.2	Dveře vchodové	18
3.2.3	Garážová vrata	18
3.2.4	Dveře v interiéru	18
3.3	Výpočet součinitele prostupu tepla	18
4	Výpočet tepelných ztrát	20
4.1	Výpočet celkové návrhové tepelné ztráty vytápěného prostoru	20
4.2	Výpočet návrhové tepelné ztráty prostupem tepla vytápěného prostoru.....	21
4.3	Výpočet návrhové tepelné ztráty větráním vytápěného prostoru	21
5	Tepelná pohoda	24
5.1	Faktory prostředí.....	24
5.2	Osobní faktory.....	24
6	Otopná soustava	25
6.1	Rozdělení otopných soustav	25
7	Rozdělení otopných ploch.....	27
7.1	Otopná tělesa.....	27
7.1.1	Umístění otopných těles v místnosti.....	27
7.1.2	Čláňková otopná tělesa.....	27
7.1.3	Desková otopná tělesa	28
7.1.4	Trubková otopná tělesa	28
7.1.5	Konvektory	28
7.2	Převážně sáľavé otopné plochy.....	29
7.2.1	Skladba podlahového vytápění	29

7.2.2	Provedení podlahového vytápění	30
7.2.3	Způsob uložení otopného hadu	30
7.3	Porovnání rozložení tepla při různých způsobech vytápění.....	32
8	Tepl vzdušné vytápění.....	33
9	Rozdělení otopných soustav podle oběhu teplotnosné látky	34
10	Materiál rozvodu.....	35
10.1	Potrubí z mědi	35
10.2	Potrubí z oceli.....	35
10.3	Potrubí z plastu	35
11	Návrh otopné soustavy	36
12	Zdroj tepla	37
12.1	Dělení typů kotlů podle použitého paliva	37
12.1.1	Kotle na tuhá paliva.....	37
12.1.2	Elektrokotel.....	38
12.1.3	Kotle na plynná paliva	38
12.2	Výběr zdroje tepla	39
13	Návrh otopných těles	40
13.1	Přepočítání tepelného výkonu otopných těles	40
13.2	Výpočet skutečného výkonu otopného tělesa.....	41
14	Návrh výpočtu podlahového vytápění	44
14.1	Výpočet střední povrchové teploty podlahové plochy	44
14.2	Výpočet charakteristického čísla podlahy.....	44
14.3	Výpočet tepelné propustnosti vrstvy nad potrubím.....	45
14.4	Výpočet tepelné propustnosti vrstvy pod potrubím.....	45
14.5	Výpočet měrného tepelného toku podlahové otopné plochy.....	45
14.6	Výpočet měrného tepelného toku podlahové otopné plochy směrem dolů (při stejných vnitřních teplotách nad otopnou plochou a pod ní)	46
14.7	Výpočet měrného tepelného toku podlahové otopné plochy směrem dolů (při rozdílných vnitřních teplotách nad otopnou plochou a pod ní).....	46
14.8	Výpočet celkového tepelného příkonu otopné plochy	46
15	Hydraulické vyvážení otopných okruhů	49
15.1	Výpočet tlakové ztráty třením.....	49
15.2	Výpočet tlakové ztráty místními odpory	50
15.3	Hydraulické vyvážení otopného okruhu 02.....	50
15.4	Hydraulické vyvážení otopného okruhu 01.....	52
16	Regulace otopné soustavy	55

16.1	Příklad výpočtu trojcestného směšovacího ventilu	55
17	Návrh oběhového čerpadla.....	57
18	Kontrola pojistného a návrh zabezpečovacího zařízení.....	60
18.1	Volba velikosti expanzní nádoby.....	60
19	Řešení odtahu spalin	62
19.1	Kontrolní výpočet pro odtah spalin do komína a přívod spalovacího vzduchu	62
20	Návrh zásobníku pro přípravu teplé vody.....	63
20.1	Výpočet denní potřeby tepla pro přípravu TV	63
20.2	Výpočet doby ohřevu TV.....	65
21	Potřeba tepla a paliva	67
21.1	Výpočet roční potřeby tepla na přípravu TV.....	67
21.2	Výpočet teoretické potřeby tepla	67
21.3	Výpočet skutečné potřeby tepla na vytápění	68
21.4	Výpočet celkové roční potřeby paliva	68
22	Investiční náklady.....	69
23	Závěr.....	70
24	Seznam použité literatury.....	71
25	Seznam příloh.....	75

Soupis použitého značení

D	denostupeň [$\text{den} \cdot ^\circ\text{C}$]
G_w	korekční činitel zohledňující vliv spodní vody [–]
$H_{\dot{c}}$	dopravní výška čerpadla [m]
$H_{T,ie}$	součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí (e) pláštěm budovy [W/K]
$H_{T,ig}$	součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do zeminy (g) v ustáleném stavu [W/K]
$H_{T,ij}$	součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru (i) do sousedního prostoru (j) vytápěného na výrazně jinou teplotu [W/K]
$H_{T,iue}$	součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí (e) nevytápěným prostorem (u) [W/K]
$H_{V,i}$	součinitel návrhové tepelné ztráty větráním [W/K]
H_u	výhřevnost paliva [MJ/m^3]
M	energetický výdej člověka [W/m^2]
N	počet provozních dní soustavy [den]
P_v	autorita ventilu [–]
$Q_{d,TV,den}$	denní potřeba tepla pro přípravu TV [J/den]
Q_k	jmenovitý tepelný výkon zdroje tepla [W]
$Q_{d,vyt,teor}$	teoretická potřeba tepla na vytápění [$\text{J/ot} \cdot \text{období}$]
Q_{zdroj}	tepelný výkon ohřívače [W]
\dot{Q}_{PC}	celkový tepelný příkon otopné plochy [W]
U	součinitel prostupu tepla [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$]
$U_{rec,20}$	doporučená hodnota součinitele prostupu tepla [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$]
R	tepelný odpor [$\text{m}^2\text{K/W}$]
R_{se}	tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [$\text{m}^2\text{K/W}$]
R_{si}	tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [$\text{m}^2\text{K/W}$]
V_{et}	objem expanzní nádoby [m^3]
V_s	celkový objem vody v otopné soustavě [m^3]
V_{2p}	celková potřeba teplé vody [m^3/den]
\dot{V}_{HN}	objemový průtok ventilem [m^3/h]
R	měrný tlakový spád [Pa/m]
X_p	spínací diference pro přípravu teplé vody [K]

a	tloušťka jednotlivých vrstev nad střední rovinou potrubí [m]
b	tloušťka jednotlivých vrstev pod střední rovinou potrubí [m]
c	teplotní podílový součinitel [–]
c	měrná tepelná kapacita vody [J/kg·K]
d	počet dnů v otopném období [den]
d_e	vnější průměr potrubí [m]
d_{opt}	optimální vnitřní průměr potrubí [m]
e_d	opravný součinitel na zkrácení doby provozu [–]
e_i	opravný součinitel na nesoučasnost tepelné ztráty větráním a prostupem [–]
e_t	opravný součinitel na snížení vnitřní teploty [–]
f_{g1}	korekční činitel zohledňující vliv ročních změn venkovní teploty [–]
g	tíhové zrychlení [m/s ²]
h	výška vodního sloupce od středu expanzní nádoby do nejvyššího místa otopné soustavy [m]
k_v	jmenovitý průtok armaturou [m ³ /h]
k_{vs}	jmenovitý průtok armaturou při maximálním otevření armatury [m ³ /h]
l	rozteč potrubí (u podlahového vytápění) [m]
l_p	délka potrubí [m]
m	charakteristické číslo podlahy [1/m]
\dot{m}	hmotnostní průtok úseku [kg/s]
n	součinitel zvětšení objemu [–]
n	teplotní exponent [–]
n_{min}	minimální intenzita výměny venkovního vzduchu za hodinu [1/h]
n_{50}	intenzita výměny vzduchu při rozdílu tlaků 50 Pa [1/h]
$p_{d,dov,A}$	nejnižší dovolený absolutní tlak [kPa]
$p_{h,dov,A}$	nejvyšší dovolený absolutní tlak [kPa]
s	tloušťka [m]
s_n	tloušťka n-té stavební konstrukce [m]
t_i	vnitřní teplota [°C]
$t_{i,j}$	jmenovitá teplota v místnosti podle ČSN EN 442 [°C]
t_m	střední teplota otopné vody [°C]

t_{\max}	maximální teplota teplotonosné látky v otopné soustavě [$^{\circ}\text{C}$]
t_r	střední radiační teplota [$^{\circ}\text{C}$]
t_{w1}	teplota vody na přívodním potrubí [$^{\circ}\text{C}$]
t_{w2}	teplota vody na vratném potrubí [$^{\circ}\text{C}$]
$t_{w1,j}$	jmenovitá teplota vody na přívodním potrubí podle ČSN EN 442 [$^{\circ}\text{C}$]
$t_{w2,j}$	jmenovitá teplota vody na vratném potrubí podle ČSN EN 442 [$^{\circ}\text{C}$]
w	rychlost [m/s]
w_{opt}	optimální rychlost [m/s]
p_B	barometrický tlak [kPa]
y	korekční faktor odběru tepla ze zásobníku TV [–]
z	poměrná ztráta tepla při přípravě a distribuci TV [–]
Δp_{ζ}	tlaková ztráta místními odpory [Pa]
Δp_{λ}	tlaková ztráta třením [Pa]
Δp	tlaková ztráta armatury [kPa]
Δp_c	celková tlaková ztráta [Pa]
Δp_{c01}	celková tlaková ztráta otopného okruhu 01 [Pa]
Δp_{c02}	celková tlaková ztráta otopného okruhu 02 [Pa]
Δp_{ck}	celková tlaková ztráta kotlového okruhu [Pa]
Δp_{var}	tlaková ztráta části zařízení s proměnným průtokem [kPa]
Δp_{vs}	požadovaná tlaková ztráta směšovacího ventilu [kPa]
ΔQ_s	maximální dodávka tepla [kWh]
ΔQ_{\max}	maximální rozdíl mezi křivkou odběru a dodávky tepla [kWh]
Δt_{\max}	maximální rozdíl teplot teplotonosné látky v otopné soustavě [$^{\circ}\text{C}$]
$(\Delta t)_N$	nominální teplotní rozdíl [$^{\circ}\text{C}$]
$(\Delta t)_{sk}$	skutečný teplotní rozdíl [$^{\circ}\text{C}$]
ΔU_{tb}	navýšený součinitel prostupu tepla [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]
α_p	celkový součinitel přestupu tepla na povrchu otopné plochy [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]
α'_p	celkový součinitel přestupu tepla na spodní straně otopné plochy [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]
ε_i	výškový korekční činitel [–]
η	stupeň využití expanzní nádoby [–]
η_K	účinnost plynového kondenzačního kotle [–]

η_O	účinnost obsluhy zdroje tepla [-]
η_R	účinnost rozvodů tepla [-]
θ_1	průměrná roční teplota studené vody [°C]
$\theta_{1,\text{léto}}$	teplota studené vody v létě [°C]
$\theta_{1,\text{zima}}$	teplota studené vody v zimě [°C]
θ_2	teplota teplé vody [°C]
$\theta_{\text{int},i}$	výpočtová vnitřní teplota vytápěného prostoru (i) [°C]
θ_e	výpočtová venkovní teplota [°C]
$\theta_{m,e}$	průměrná venkovní teplota za otopné období [°C]
Λ_a	tepelná propustnost vrstev nad střední rovinou uložení potrubí [W/m ² ·K]
Λ_b	tepelná propustnost vrstev pod střední rovinou uložení potrubí [W/m ² ·K]
λ	součinitel tepelné vodivosti [W/m·K]
λ_a	součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev nad potrubím [W/m·K]
λ_b	součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev pod potrubím [W/m·K]
λ_d	součinitel tepelné vodivosti materiálu, do kterého je zalito potrubí [W/m·K]
λ_n	součinitel tepelné vodivosti n-té stavební konstrukce [W/m·K]
ρ	hustota vody [kg/m ³]
Σ	sumace prvků [-]
τ	čas [h]
τ_a	doba přípravy TV [s]
Φ	návrhová tepelná ztráta objektu [W]
$\Phi_{T,i}$	návrhová tepelná ztráta prostupem tepla vytápěného prostoru (i) [W]
$\Phi_{V,i}$	návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru (i) [W]

zkratky

01	otopný okruh 1
02	otopný okruh 2
ČSN	česká státní norma
EN	evropská norma
NP	nadzemní podlaží
PO	plně otevřeno

PP	podzemní podlaží
RŠ	regulační šroubení
TRV	termostatický regulační ventil
TV	teplá voda

1 Úvod

V dnešní době lidé tráví mnohem více času v budovách než v minulosti. Někteří lidé v nich pobývají téměř celý den. Proto je nutné zajistit v budovách takové parametry vnitřního prostředí, aby se v nich člověk cítil spokojen.

V této bakalářské práci budu nejdříve navrhovat vhodnou skladbu stavebních konstrukcí a otvorových výplní novostavby rodinného domu, tak aby byl splněn požadavek dle normy ČSN 73 0540.

Dále podle tepelné ztráty rodinného domu vyberu vhodný zdroj tepla na vytápění a vhodný způsob sdílení tepla do prostoru, s ohledem na provozní, investiční náklady, ale hlavně na tepelnou pohodu uživatelů.

V závěru práce navrhnu vhodný způsob přípravy teplé vody.

2 Lokalita a popis novostavby rodinného domu

Tento rodinný dům, který obývá pět uživatelů se nachází na okraji Prahy v předměstské zástavbě.

Dům má dvě nadzemní (NP) a jedno podzemní podlaží (PP), které je částečně pod terénem. Dům je obklopen zeminou pouze na západní straně do výšky 1,3 m. Půdorysná plocha domu je 165 m².

Venkovní výpočtová teplota v této oblasti je $\theta_e = -12$ °C a průměrná teplota za otopné období $\theta_{m,e} = 4$ °C. Do domu je zaveden vodovod, kanalizace a plynovod. Půdorysy jednotlivých pater domu se nacházejí v přílohách [P1, P2, P3].

3 Tepelně technické vlastnosti rodinného domu

3.1 Volba konstrukce rodinného domu

Pro tento dům jsem navrhl tepelně technické parametry obálky a otvorových výplní, tak aby splňovaly doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla $U_{\text{rec},20}$ [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$] dle normy ČSN 73 0540.

Součinitel prostupu tepla U [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$] je závislý zejména na typu daného materiálu, tedy jeho tloušťce s [m] a tepelné vodivosti λ [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$].

3.1.1 Skladba vnější obvodové stěny

Tato stěna se skládá z cihly Heluz Family 44 o tloušťce $s = 0,44$ m a tepelným odporem $R = 6,2$ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$. Součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,07$ $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$. [1] Cihla je omítnuta z vnitřní a vnější strany jádrovou omítkou Cemix, $s = 0,15$ m a $\lambda = 0,48$ $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$. [2] Finální vrstvu na vnější straně budovy bude tvořit silikátová omítka. Z důvodu velkého tepelného odporu cihly Heluz Family 44, již není potřeba žádné dodatečné izolování stěny minerální vatou nebo polystyrenem. V tabulce 2 na konci kapitoly je uveden přehled všech výsledků součinitelů prostupu tepla U [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$] v porovnání s doporučenými hodnotami součinitelů prostupu tepla $U_{\text{rec},20}$ [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$].

3.1.2 Skladba podlahy přilehlé k zemině

Podlaha v 1. PP se skládá ze stěrkového podsypu $\lambda = 0,93$ $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$, dále betonu od firmy Cemix, $s = 0,2$ m a $\lambda = 1,5$ $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$. [3] Proti zemní vlhkosti a radonu je podlaha také opatřena hydroizolačním pásem z asfaltu $\lambda = 0,21$ $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$. [4] Aby byl dodržen požadovaný $U_{\text{rec},20}$ [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$] je potřeba podlahu izolovat pěnovým polystyrenem. Pro tento případ volím polystyren EPS 100 o tloušťce $s = 0,1$ m a $\lambda = 0,035$ $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$. [5] Na polystyren bude vylita betonová mazanina o tloušťce $s = 0,1$ m a $\lambda = 1,3$ $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$. [6] Typ nášlapného materiálu (dlažba, lino) do celkového součinitele prostupu tepla U [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$] nezahrnuji.

3.1.3 Skladba střechy

Pro daný objekt byla dle zadání zvolena plochá střecha. Střecha se skládá ze stropu tvořeného cihelnými vložkami Miako, $s = 0,25$ m a $\lambda = 0,86$ $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$. [7] Nad Miako vložkami se nachází tepelná izolace Isover EPS Grey o tloušťce $s = 0,25$ m a $\lambda = 0,031$ $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$. [8] Z této izolace jsou nadále vyrobeny spádové klíny, které tvoří spád střechy pro odvod dešťové vody. Tloušťka spádových klínů se v každé části střechy liší, tudíž ji nezahrnuji do celkového součinitele prostupu tepla U [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$]. Na spádových klínech se nachází asfaltový hydroizolační pás, jež chrání budovu proti nežádoucí vodě a pronikání vlhkosti do domu.

3.1.4 Skladba stropů mezi jednotlivými podlažími

Składbu stropů stejně jako u skladby střechy tvoří strop s cihelnými Miako vložkami o tloušťce $s = 0,25$ m a $\lambda = 0,86$ W/m·K. [7] Strop je dále tvořen ze spodní strany vnitřní jádrovou omítkou, jež má tloušťku $s = 0,015$ m a $\lambda = 0,48$ W/m·K. [2] Z důvodu způsobu vytápění (podlahové vytápění) 1. a 2. NP je žádoucí vyplnit strop tepelnou izolací o patřičné tloušťce z důvodu zmenšení měrného tepelného toku [W/m²] do místností, které se nacházejí o podlaží níže. Do stropu mezi 1. PP a 1. NP bude vložen polystyren EPS, $s = 0,12$ m a $\lambda = 0,035$ W/m·K. [9] Do druhého stropu mezi 1. NP a 2. NP (jen pro vytápěné místnosti) se vloží polystyren EPS o tloušťce $s = 0,08$ m, součinitel tepelné vodivosti zůstává nezměněn. Na polystyren EPS se položí folie pod podlahové vytápění. Na folii se položí potrubí určené pro podlahové vytápění, které bude uchyceno fixačními příchytkami. Potrubí bude zalito samonivelačním anhydritovým potěrem, jež má tloušťku $s = 0,07$ m a $\lambda = 1,25$ W/m·K. [10] V 2. NP se nachází také balkon, pod nímž se nachází vytápěné místnosti. Z hlediska dodržení $U_{rec,20}$ [W/m²·K] je potřeba izolovat strop z vnější části tepelnou izolací, tj. polystyrenem EPS, $s = 0,25$ m a $\lambda = 0,035$ W/m·K. [9]

Volba podlahové krytiny v 1. NP

V místnostech 102a, 102b volím plovoucí podlahu $\lambda = 0,23$ W/m·K. [11]

V místnostech 104 a 108 volím vinylovou podlahu $\lambda = 0,25$ W/m·K. [12]

V místnostech 101, 105, 106 volím slinutou keramickou dlažbu $\lambda = 1$ W/m·K. [13]

Volba podlahové krytiny v 2. NP

V místnosti 202 volím plovoucí podlahu $\lambda = 0,23$ W/m·K. [11]

V místnostech 203, 204, 206 volím vinylovou podlahu $\lambda = 0,25$ W/m·K. [12]

V místnostech 201, 207, 208 volím slinutou keramickou dlažbu $\lambda = 1$ W/m·K. [13]

Z výše uvedených součinitelů prostupu tepla λ [W/m·K] je zřejmé, že pro podlahové vytápění je nejvhodnější použití keramické dlažby, jelikož má velkou tepelnou vodivost, oproti vinylové podlaze čtyřikrát vyšší.

3.1.5 Składba vnitřního nosného zdiva

Na vnitřní nosné zdivo uvažuji cihlu Heluz 24 s tloušťkou $s = 0,24$ m a $\lambda = 0,25$ W/m·K. [14] Z obou stran je zdivo omítnuto jádrovou omítkou Cemix, $\lambda = 0,48$ W/m·K. [2]

3.1.6 Składba vnitřního nenosného zdiva

Na vnitřní nenosné zdivo uvažuji cihlu Heluz 14 s tloušťkou $s = 0,14$ m, $\lambda = 0,25$ W/m·K. [15] Z obou stran je zdivo omítnuto jádrovou omítkou Cemix, $\lambda = 0,48$ W/m·K. [2]

3.2 Volba otvorových výplní

3.2.1 Okna

Všechna okna (kromě francouzského okna), jež se nachází v tomto objektu jsou hliníková s trojsklem a typovým označením Exclusiv SB 75. Jejich součinitel prostupu tepla okna i rámu společně odpovídá hodnotě $U = 0,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. [16]

Francouzské okno, které se nachází v 2. NP v místnosti 202, má součinitel prostupu tepla $U = 0,91 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. [17]

3.2.2 Dveře vchodové

Vchodové dveře v 1. PP a 1. NP volím RenoDoor Plus 2015 se součinitelem prostupu tepla $U = 0,96 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. [18]

3.2.3 Garážová vrata

Garážová vrata volím typu RenoMatic 2015 se součinitelem prostupu tepla $U = 1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. [19]

3.2.4 Dveře v interiéru

Všechny dveře mezi místnostmi volím voštinové od firmy P – mont se součinitelem prostupu tepla $U = 2,6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. [20]

3.3 Výpočet součinitele prostupu tepla

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

kde

U – součinitel prostupu tepla stavební konstrukcí [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$]

R_{si} – tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]

R_{se} – tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]

s_n – tloušťka n -té stavební konstrukce [m]

λ_n – součinitel tepelné vodivosti n -té stavební konstrukce [$\text{W/m} \cdot \text{K}$]

Hodnoty tepelných odporů při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně konstrukce jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 1: Hodnoty tepelných odporů při přestupu tepla

Tepelný odpor při přestupu tepla [$\text{m}^2\text{K/W}$]	směr tepelného toku		
	nahoru	vodorovně	dolů
	styk rovinných ploch se vzduchem		
R_{se}	0,04	0,04	0,04
R_{si}	0,1	0,13	0,17

Výsledky výpočtů součinitelů prostupu tepla stavebních konstrukcí U [$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$] v porovnání s doporučenými hodnotami $U_{rec,20}$ [$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$] jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 2: Výsledné hodnoty součinitele prostupu tepla U v porovnání s $U_{rec,20}$

název konstrukce	U [$\text{W/m}^2\text{K}$]	$U_{rec,20}$ [$\text{W/m}^2\text{K}$]
stěna obvodová	0,16	0,2
podlaha přilehlá k zemině	0,15	0,3
stěna přilehlá k zemině	0,13	0,3
střecha	0,12	0,16
strop mezi PP a 1. NP	0,24	1,45
strop mezi 1. a 2. NP	0,34	1,45
strop mezi 1. NP a balkonem	0,13	0,16
vnitřní nosné stěny	0,77	1,8
vnitřní nenosné stěny	1,13	1,8
okna	0,7	1,2
balkon – francouzské okno	0,91	
garážová vrata	1	
vchodové dveře	0,96	

Z tabulky 2 je patrné, že hodnoty součinitelů prostupu tepla vyhovují doporučeným hodnotám dle ČSN 73 0540. Podrobný výpočet uveden v příloze [P8].

4 Výpočet tepelných ztrát

Výpočet tepelných ztrát byl proveden dle evropské normy ČSN EN 12831. Výpočet provádím zjednodušenou metodou za předpokladu, že základní součinitel prostupu tepla počítaný podle rovnice (1) zvýším o hodnotu součinitele prostupu tepla vlivem tepelných vazeb sledované konstrukce ΔU_{tb} [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]. Tuto hodnotu naleznu v normě ČSN EN 73 0540-4. Tento rodinný dům považuji jako stavební konstrukci s běžnými tepelnými vazbami, tedy $\Delta U_{tb} = 0,1 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$.

Při výpočtu provádím výpočet tepelných ztrát pro každou místnost zvlášť z důvodu pozdějšího návrhu vhodné otopné soustavy, ke které je zapotřebí znát tepelnou ztrátu každé místnosti jednotlivě. Ve výpočtech tepelných ztrát prostupem z důvodu použití zjednodušené metody uvažuji vnější rozměry místností, tj. započítám celou tloušťku obvodového (nosného) zdiva a půlku tloušťky vnitřního (nosného/nenosného) zdiva pro každou místnost. Rozteč stropů volím polovinu tloušťky stropu. Pro výpočet tepelných ztrát větráním uvažuji pouze světlé rozměry místnosti. Světlá výška stropu ve všech patrech je 2,65 m.

Vnitřní výpočtovou teplotu $\theta_{\text{int},i}$ [$^{\circ}\text{C}$] volím v 1. NP a 2. NP pro koupelny a záchody $\theta_{\text{int},i} = 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$, pro chodby a obytné místnosti $\theta_{\text{int},i} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$. V 1. PP uvažuji teplotu $\theta_{\text{int},i} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$, kromě místnosti 007, kde se nachází posilovna, tj. $\theta_{\text{int},i} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Na všech schodištích uvažuji jednotnou teplotu $\theta_{\text{int},i} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Hodnotu intenzity větrání n_{min} [1/h] stanovuji dle ČSN EN 12831, tudíž pro obytné místnosti volím hodnotu $n_{\text{min}} = 0,5$ 1/h, dále pro obě koupelny, záchod a kuchyň z důvodu většího množství škodlivin (oděry, pachy, vlhkost) volím $n_{\text{min}} = 1,5$ 1/h. Pro místnosti nacházející se v 1. PP volím $n_{\text{min}} = 0,2$ 1/h, z důvodu velmi krátké doby, kterou člověk v těchto místnostech pobývá, výjimku tvoří místnost 007 (posilovna), kde je zvolena $n_{\text{min}} = 1$ 1/h. V technické místnosti (005) $n_{\text{min}} = 0,5$ 1/h.

4.1 Výpočet celkové návrhové tepelné ztráty vytápěného prostoru Φ_i [W]

$$\phi_i = \phi_{T,i} + \phi_{V,i} \quad [\text{W}] \quad (2)$$

kde

$\Phi_{T,i}$ – návrhová tepelná ztráta prostupem tepla vytápěného prostoru (i) [W]

$\Phi_{V,i}$ – návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru (i) [W]

4.2 Výpočet návrhové tepelné ztráty prostupem tepla vytápěného prostoru

$$\phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [W] \quad (3)$$

kde

$H_{T,ie}$ – součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí (e) pláštěm budovy [W/K]

$H_{T,iue}$ – součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí (e) nevytápěným prostorem (u) [W/K]

$H_{T,ig}$ – součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do zeminy (g) v ustáleném stavu [W/K]

$H_{T,ij}$ – součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru (i) do sousedního prostoru (j) vytápěného na výrazně jinou teplotu [W/K]

$\theta_{int,i}$ – výpočtová vnitřní teplota vytápěného prostoru (i) [°C]

θ_e – výpočtová venkovní teplota [°C]

4.3 Výpočet návrhové tepelné ztráty větráním vytápěného prostoru

$$\phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [W] \quad (4)$$

kde

$H_{V,i}$ – součinitel návrhové tepelné ztráty větráním [W/K]

$\theta_{int,i}$ – výpočtová vnitřní teplota vytápěného prostoru (i) [°C]

θ_e – výpočtová venkovní teplota [°C]

V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty veličin použitých při výpočtu tepelných ztrát.

Tab. 3: Hodnoty veličin použitých při výpočtu tepelných ztrát

G_w – korekční činitel zohledňující vliv spodní vody [–]	1
f_{g1} – korekční činitel zohledňující vliv ročních změn venkovní teploty [–]	1,45
e_i – stínící činitel [–], (pro prostor s jednou otvorovou výplní)	0,02
e_i – stínící činitel [–], (pro prostor s více než jednou otvorovou výplní)	0,03
n_{50} – intenzita výměny vzduchu při rozdílu tlaků 50 Pa mezi vnitřkem a vnějškem budovy zahrnující účinky přívodů vzduchu [1/h]	4
ε_i – výškový korekční činitel [–]	1

Tab. 4: Výsledky výpočtů tepelných ztrát podle ČSN EN 12831

název místnosti	chodba 1	chodba 2	garáž	schodiště	tech. m.	sklad	posilovna	zádveří
číslo místnosti	001	002	003	004	005	006	007	008
podlahová plocha m. [m ²]	6,9	7,3	43,9	9,2	21,6	7,9	23,6	7,2
objem místnosti [m ³]	18,2	19,2	116,2	24,5	57,3	20,9	62,5	19,0
$\theta_{\text{int},i}$ [°C]	15	15	15	15	15	20	15	15
$\Phi_{T,i}$ [W]	-20	-10	640	50	180	50	510	110
n_{min} [L/h]	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,2	1	0,2
$\Phi_{v,i}$ [W]	40	40	390	50	270	40	690	40
Φ_i [W]	20	30	1030	100	450	90	1200	150

název místnosti	chodba 1	kuchyně	obývací p.	schodiště	šatna	koupelna	WC	zádveří	ložnice
číslo místnosti	101	102a	102b	103	104	105	106	107	108
podlahová plocha m. [m ²]	12,4	14,8	44,9	9,2	6,1	15,0	3,5	5,5	21,9
objem místnosti [m ³]	32,9	39,1	118,9	24,5	16,2	39,6	9,3	9,3	58,0
$\theta_{\text{int},i}$ [°C]	20	20	20	15	20	24	24	15	20
$\Phi_{T,i}$ [W]	50	1000	-60	110	400	170	-40	460	
n_{min} [L/h]	0,5	1,5	0,5	0,5	0,5	1,5	1,5	0,5	0,5
$\Phi_{v,i}$ [W]	125	640	650	50	80	730	170	30	320
Φ_i [W]	175	2290	-10	190	1130	340	-10	780	

název místnosti	chodba	obývací p.	pokoj 1	pokoj 2	schodiště	pokoj 3	koupelna	záchod
číslo místnosti	201	202	203	204	205	206	207	208
podlahová plocha m. [m ²]	13,7	25,8	12,4	22,6	9,2	14,8	13,1	2,9
objem místnosti [m ³]	36,4	68,3	32,9	59,8	24,5	39,3	34,7	7,6
$\theta_{\text{int},i}$ [°C]	20	20	20	20	15	20	24	24
$\Phi_{T,i}$ [W]	100	620	370	530	20	260	480	150
n_{min} [L/h]	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,5	1,5
$\Phi_{v,i}$ [W]	80	380	180	330	50	220	640	300
Φ_i [W]	180	1000	550	860	70	480	1120	450

Ve výše uvedené tabulce (tabulka 4) jsou vypočteny tepelné ztráty celé novostavby rodinného domu. Kompletní podrobné výpočty se nachází v [P8].

Celková tepelná ztráta prostupem a větráním pro rodinný dům je $\Phi_i = 12\,500$ W. Na tuto hodnotu budu později navrhovat vhodný zdroj tepla a vhodný způsob sdílení tepla do vytápěného prostoru.

5 Tepelná pohoda

Člověk při určitých činnostech produkuje určité množství tepla. Abychom se cítili v daném prostředí příjemně musí být zajištěn odvod tepla produkovaného člověkem do prostoru. Odvod tepla nesmí být tak intenzivní, aby způsobil výrazný pokles teploty lidského těla. Z toho vyplývá, že člověk by neměl mít v daném prostředí pocit nepříjemného chladu a ani nepříjemného tepla. Faktory ovlivňující výměnu tepla mezi tělem člověka a jeho okolím mají zároveň vliv na dosažený stupeň tepelné pohody. [21]

5.1 Faktory prostředí

- a) teplota vzduchu t_i [°C] – teplota vzduchu v interiéru bez vlivu sálání z okolních povrchů.
- b) rychlost proudění vzduchu w [m/s] – veličina určená svojí velikostí a směrem.
- c) střední radiční teplota t_r [°C] – myšlená rovnoměrná společná teplota všech ploch v prostoru, při níž by byl přenos tepla z těla sáláním stejný jako ve skutečnosti.
- d) vlhkost vzduchu – vliv je při relativní vlhkosti 30-70 % malý.

5.2 Osobní faktory

- a) energetický výdej člověka M [W/m²] – udává tepelný výkon člověka závislý na jeho tělesné aktivitě, osobních dispozicích (věk, postava).
- b) tepelný odpor oděvu – je jeden z hlavních faktorů ovlivňujících odvod tepla z lidského těla do okolí.

6 Otopná soustava

Za otopnou soustavu považujeme zařízení, jehož součástí je zdroj tepla, zabezpečovací zařízení, potrubní síť, otopná tělesa, armatury apod. Otopná soustava nám zajišťuje požadovaný teplotní stav vnitřního prostředí.

6.1 Rozdělení otopných soustav podle:

- 1) teplotní látky
 - a) parní soustavy
 - b) vodní soustavy
 - c) teplovzdušné soustavy
- 2) teploty teplotní látky
 - a) nízkoteplotní (do 65 °C)
 - b) teplovodní (do 110 °C)
 - c) horkovodní (od 110 °C)
- 3) sdílení tepla
 - a) převážně konvektivní
 - b) převážně sálavé
- 4) počtu trubek
 - a) jednotrubkové (bez/s obtoky těles)
 - b) dvoutrubkové (protiproudé/souproudé)
- 5) umístění rozvodu teplotní látky
 - a) s horním rozvodem
 - b) se spodním rozvodem
- 6) oběhu teplotní látky
 - a) s přirozeným oběhem
 - b) s nuceným oběhem
- 7) rozvodu k otopným tělesům
 - a) vertikální
 - b) horizontální

8) materiálu rozvodu

- a) ocel
- b) plast
- c) měď

7 Rozdělení otopných ploch

a) **převážně konvektivní** – hlavně otopná tělesa, a ta dělíme podle provedení na článková, desková, trubková otopná tělesa a konvektory.

b) **převážně sálavé** – dělíme podle provedení – podlahové, stěnové, stropní a případně další způsoby průmyslového vytápění (například sálavé panely).

7.1 Otopná tělesa

U těchto těles probíhá předávání tepla do místnosti převážně konvekcí (prouděním ohřívaného vzduchu kolem otopné plochy tělesa) a částečně sáláním. Přitom konvekcí je sdíleno více jak 50 % tepla. [22] Při zvyšování podílu konvektivní složky se zvětšuje teplotní gradient ve svislém směru ve vytápěné místnosti, z čehož vyplývá, že teplejší vzduch se zdržuje pod stropem, jenž má negativní vliv na ekonomii provozu vytápění. Podíl sálavé složky má naopak příznivý vliv na člověka. [23]

7.1.1 Umístění otopných těles v místnosti

Při vytápění otopnými tělesy je velmi důležité jejich umístění v místnosti. Nejvhodnějším způsobem je umístit otopné těleso pod okno, nejlépe v celé jeho délce. Pokud otopné těleso neumístíme pod okno v celé jeho délce, tak nezabráníme chladným padajícím proudům, které by vznikly na ochlazované ploše okna, aby volně proudily až k podlaze. V této oblasti dojde k lokální tepelné nepohodě. Při umístění otopného tělesa pod okno teplé konvektivní proudy od otopného tělesa stoupají směrem vzhůru, kde narážejí na chladné padající proudy, obracejí je a směšují se s nimi. Tyto smíšené proudy poté proudí přes celý vytápěný prostor. [24]

7.1.2 Článková otopná tělesa

Jedná se o tělesa složená z jednotlivých článků, které se mezi sebou spojují pomocí závitových vsuvek nebo svařováním. Nejčastějším materiálem je ocelový plech, litina, slitiny hliníku. Články mají vnější přestupní plochu převážně rozloženou do své hloubky. Rozšiřováním přestupní ploch na straně vzduchu roste podíl tepla sdílený konvekcí a naopak klesá podíl tepla sdílený sáláním, který se pohybuje v rozmezí 20-38 %. Výhodou článkových těles je jejich malý hydraulický odpor. Nevýhodou však je již zmíněný malý podíl sálavé složky a rychlost odezvy na regulační zásah díky vyšší hmotnosti těles a velkému objemu vody v nich obsažených. [25]



obr. 1: Článkové otopné těleso [26]

7.1.3 Desková otopná tělesa

Desková tělesa patří mezi nejčastěji používané druhy otopných těles. Přestupní plocha je tvořena tvarovanou deskou s horizontálními a vertikálními kanálky. Deska je vyrobena z lisovaných ocelových plechů spojených svary, čelní plocha bývá profilovaná nebo hladká. [22] Desková tělesa dělíme na jednoduchá, zdvojená nebo ztrojená. Podíl tepelného výkonu sáláním je rozdílný podle typu deskového tělesa. Například pro těleso typu 10 je podíl celkového výkonu sdílený sáláním 0,56. Pro těleso typu 33 je podíl celkového výkonu sdílený sáláním 0,18. [25]



obr. 2: Desková otopná tělesa [27]

7.1.4 Trubková otopná tělesa

Podstatou řešení trubkových těles jsou rozvodné a sběrné komory, navzájem spojené řadou trubek menších průřezů. Trubky jsou kruhového, čtvercového, obdélníkového průřezu, které bývají ve tvaru meandru, registru s vodorovnými trubkami, registru se svislými trubkami. Trubky mohou být ocelové nebo měděné. Do této kategorie patří také koupelňová trubková tělesa, která jsou určena k vytápění a sušení textilií v koupelnách. Právě při sušení textilií dochází k zakrytí teplosměnné plochy, tudíž dochází k znemožnění sdílení tepla a k poklesu výkonu. Proto je dobré navrhovat otopná tělesa na větší tepelný výkon, tj. vynásobit tepelnou ztrátu místnosti číslem 1,1-1,15. Podíl sálavé celkové sálavé složky se u trubkových otopných těles pohybuje okolo 25 %. [25]



obr. 3: Trubkové otopné těleso [28]

7.1.5 Konvektory

Konvektorem nazýváme otopné těleso, které sdílí teplo do vytápěného prostoru převážně konvekcí. Konvektor je složen z výměníku tepla a skříňe, opatřené v horní části výdechovou mřížkou.

Konvektory rozdělujeme na skříňové, soklové (jsou umístovány ve vytápěném prostoru u podlahy s nízkou skříňí), zapuštěné (jsou zapuštěny do podlahy pod oknem, zakrývá je nosná krycí rohož). [25]



obr. 4: Zapuštěný konvektor [29]

7.2 Převážně sálavé otopné plochy

Převážná část se z otopné plochy sdílí sáláním, to znamená, že se od sálající plochy ohřívají plochy osálané a teprve od sálajících a osálaných ploch se ohřívá okolní vzduch. Z této skutečnosti vyplývá, že vnitřní povrchové teploty stavebních konstrukcí jsou vyšší než teplota vzduchu. [30]

Podíl tepelného toku sdíleného sáláním je u stropního vytápění 80 %, u stěnového 65 %, u podlahového 55 %. U převážně sálavého vytápění je střední radiační teplota vyšší než teplota vzduchu, zatímco u převážně konvektivního vytápění je pro stejnou výslednou teplotu vyšší teplota vzduchu. [30]

7.2.1 Skladba podlahového vytápění

Při prvotním návrhu je důležité znát skladbu stropu a jeho tepelnou vodivost λ [W/m·K], tepelnou ztrátu místnosti Φ_i [W], vnitřní teplotu dané místnosti t_i [°C], vnitřní teplotu v místnosti nad danou místností a teplotu místnosti pod danou místností t'_i [°C], maximální možnou povrchovou teplotu podlahy t_p [°C].

Dále je nutné si uvědomit, že lidské chodidlo přichází do přímého kontaktu s podlahou, v níž je zabudováno podlahové vytápění. V důsledku vysoké teploty otopné vody, by mohlo dojít ke zvýšené teplotě povrchu podlahové krytiny a mohlo by tak dojít k lokální tepelné nepohodě uživatele. Proto by povrchová teplota podlahy neměla překročit hodnotu 29 °C v obytných místnostech. V koupelnách, kde člověk chodí na boso může být teplota maximálně 34 °C. [30]

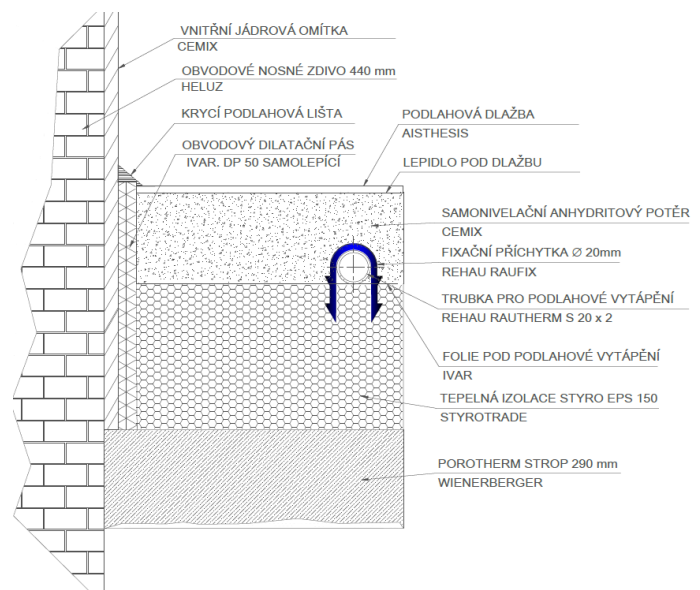
Vlastní konstrukce podlahy s otopnou plochou není pevně spojena s nosnou částí konstrukce proto, aby jí byly umožněny veškeré dilatační změny – mluvíme o termínu tzv. plovoucí podlaha. Kolem všech stěn ve vytápěné místnosti podlahovým vytápěním je tedy nutné mezi stěnu a podlahu umístit dilatační pás, právě kvůli kompenzaci tepelné roztažnosti betonové vrstvy. Dilatační pás je nutné umístit i v místech přestupu vnějších dveří. Dilatační pásy se většinou lepí přímo na stěnu. [30]

7.2.2 Provedení podlahového vytápění

a) mokrý způsob montáže

Princip mokrého způsobu spočívá v zalití otopného hadu betonem nebo anhydritovým potěrem. Oba tyto materiály by měly mít velkou tepelnou vodivost λ [W/m·K]. Anhydritový potěr, vzhledem k tomu, že obsahuje sádra, nesmí být použit k zalévání potrubí z mědi nebo k zalévání kari sítí, neboť sádra na kov působí korozivně. Teplota přívodní otopné vody se pohybuje mezi 35 – 55 °C. [22]

Schéma montáže mokrým způsobem je uvedeno na obrázku 5.



obr. 5: Příklad mokrého způsobu montáže

b) suchý způsob montáže

Potrubí je uloženo do izolační vrstvy pod betonovou deskou. Od cementového potěru je potrubí odděleno speciální vrstvou – plastovou nebo kovovou folií. Kovová lamela pod folií zvyšuje pevnost podlahy a umožňuje rovnoměrný rozvod tepla. Při tomto způsobu montáže je potřeba vyšších teplot otopné vody. Rozsah teplot je v rozmezí 40 – 70 °C. [22]

7.2.3 Způsob uložení otopného hadu

Způsoby pokládání hadu můžeme rozdělit na meandrový způsob kladení (obr. 6) a pokládku v podobě plošné spirály (obr. 7). U meandrového způsobu kladení klesá teplota otopné vody od obvodové konstrukce k vnitřní stěně. Oblouky se tvarují pod úhlem 180°. [31]

U způsobu kladení ve formě plošné spirály je povrchová teplota podlahy v celé ploše rovnoměrná. Nevýhodou je pokles vnitřní teploty v horizontálním směru od vnitřní k obvodové konstrukci. Tato nevýhoda se dá eliminovat vytvořením okrajové intenzivní zóny. Výhodou okrajové zóny je eliminace negativních vlivů ochlazovaných konstrukcí na vytváření místní tepelné nepohody. Otopný had se tvaruje pod úhlem 90°. [31]



Obr. 6

Obr. 6: meandrový způsob kladení [32]



Obr. 7

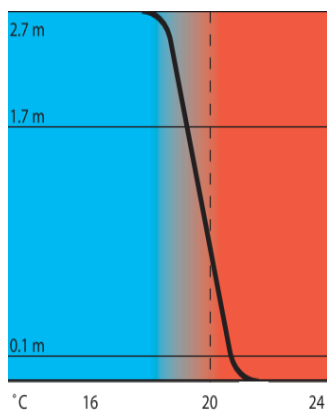
Obr. 7: kladení v podobě plošné spirály [32]

7.3 Porovnání rozložení tepla při různých způsobech vytápění

Při volbě způsobu vytápění je důležité prostorové uspořádání teplot, jak v horizontální, tak ve vertikální rovině. Vertikální rozložení teplot uvnitř vytápěného prostoru je způsobeno nerovnoměrným přívodem tepla a nerovnoměrným ochlazováním jednotlivých stěn v místnosti. Čím vyšší je povrchová teplota otopné plochy, tím vyšší je nerovnoměrnost teplot ve vertikální rovině. Ideální vytápění (obr. 8) by mělo zajistit takové rozložení teplot s výškou místnosti, aby v oblasti hlavy stojícího člověka byla teplota vzduchu minimálně o 2 °C nižší než v oblasti kotníků. [22]

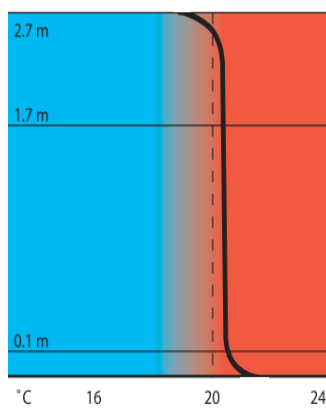
Otopná tělesa vytápějí prostor pouze z jednoho místa, tudíž rozložení teplot v místnosti je velmi nerovnoměrné (obr 10). Vzhledem k větším teplotním rozdílům dochází k větší cirkulaci vzduchu, což zvyšuje víření nečistot a prašnost v místnosti.

U podlahového vytápění (obr. 9) je teplota otopné vody nejnižší ze všech druhů vytápění, tudíž je vertikální rozložení teplot téměř ideální. Teplota v úrovni hlavy je max. o 2 – 3 °C vyšší než v oblasti kotníků. [22]



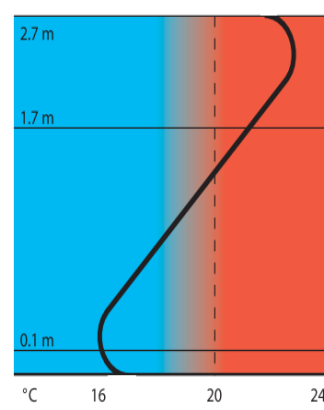
Obr. 8

Obr. 8: Ideální rozložení tepla [23]



Obr. 9

Obr. 9: Podlahové vytápění [23]



Obr.10

Obr.10: Vytápění otopnými tělesy [23]

8 Teplovzdušné vytápění

Teplovzdušné vytápění v rodinných domech není příliš rozšířené oproti teplovodní otopné soustavě. V porovnání s teplovodním vytápěním není potřeba otopných těles. Rozvody teplého vzduchu jsou vedeny buď v kovových kanálech v konstrukci podlahy nebo stropu tzv. spiro potrubím. Potrubí musí být vzduchotěsné a dobře tepelně izolované (z důvodu snížení tepelných ztrát rozvody a snížením hluku). Problémem vedení vzduchu potrubím je usazování prachu na stěnách potrubí a víření prachu do okolí. Je také potřeba pravidelně měnit filtry a čistit celé potrubí. Z důvodu absence sálavé složky u teplovzdušného vytápění je za potřeby vyšší teploty vzduchu, což vede k vyšším tepelným ztrátám a k odlišnému vnímání tepelné pohody uživateli. Další nevýhodou je, že vertikální rozložení teploty vzduchu je velmi nerovnoměrné. Směrem nahoru ke stropu se teplota vzduchu zvyšuje, tudíž horní část místnosti nad oblastí pobytu člověka je značně přetápěná. V porovnání s teplovodním vytápěním dokáže teplovzdušné vytápění rychleji reagovat na změnu výkonových požadavků a má rychlejší náběh. [31]

9 Rozdělení otopných soustav podle oběhu teplotnosné látky

Největší výhodou přirozeného oběhu je jeho nezávislost na dodávce elektrické energie, tudíž je ho možné použít i v místech, kde není dodávka elektrické energie možná. Vznik přirozeného vztaku závisí na rozdílu hustot vody mezi přívodním a vratným potrubím. Přívodní potrubí má větší teplotu (menší hustotu), než vratné potrubí, které má nižší teplotu (vyšší hustotu). Dále se na vzniku vztaku podílí výška mezi ohříváním (kotel) a ochlazovaným místem (otopné těleso).

Nucený oběh je vyvolán dopravním tlakem oběhového čerpadla. K výhodám nuceného oběhu patří zajištění lepších hydraulických a teplotních parametrů, rovněž rozsáhlé možnosti regulace. Jmenovité světlosti potrubí jsou menší než u soustavy s přirozeným oběhem, neboť lze zvolit vyšší rychlosti proudění a vyšší tlakové ztráty lze překonat dopravním tlakem čerpadel. Nevýhodou nuceného oběhu je nutnost dodávky elektrické energie pro pohon čerpadla.

10 Materiál rozvodu

Při navrhování otopné soustavy je nutné zohlednit materiál, ze kterého bude potrubní síť provedena. Potrubní síť můžeme navrhovat z plastu nebo kovu (ocel, měď). Každý z těchto materiálů má odlišné fyzikální vlastnosti. Jedna z důležitých vlastností je odlišná teplotní délková roztažnost materiálů, nebo odolnost proti pronikání kyslíku.

10.1 Potrubí z mědi

Měď je poloušlechtilý kov, který je v elektrochemické řadě za platinou, zlatem a stříbrem. V důsledku tohoto umístění má velkou odolnost vůči korozi. Měď můžeme označit jako tzv. baktericidní materiál. To znamená, že projevuje ničivý účinek vzhledem k bakteriím, které se mohou vyskytovat v otopné soustavě. Díky velké pevnosti mědi stačí používat potrubí s malou tloušťkou stěn, což umožňuje dosahovat malé hmotnosti potrubí. Nevýhodou je vyšší cena a teplotní délková roztažnost ve srovnání s ocelí o 40 %. Měděná potrubí se spojují kapilárním pájením nebo lisováním. Měrná tlaková ztráta měděného potrubí je nižší, než u ocelového potrubí, díky hladší vnitřní stěně potrubí. Měděná potrubí nesmí přijít do kontaktu se sádrou. Při kontaktu se sádrou vznikne bodová koroze, která je nežádoucí. Aby mohla být měď použita se sádrou, musí být pokryta PVC. [31]

10.2 Potrubí z oceli

Výhodou ocelového potrubí je jeho dobrá mechanická vlastnost a malá délková tepelná roztažnost. Nevýhodou ocelových potrubí je nízká odolnost proti korozi. Ocelové potrubí se spojuje svařováním nebo závitovými spoji. Oproti měděnému potrubí mají větší měrnou tlakovou ztrátu. Kovové potrubí má těsnou mřížku, takže nepropustí molekuly kyslíku. [31]

10.3 Potrubí z plastu

Plastové potrubí je dnes nejpoužívanější. Tepelná délková roztažnost je asi 10x větší než u kovového potrubí. Výhodou plastového potrubí je odolnost proti korozi, nízká tlaková ztráta oproti potrubím z kovu. Plastové potrubí musí být opatřené bariérou proti difuzi kyslíku.

Tento požadavek splňuje potrubí Rautherm S. Jedná se spolehlivý druh plastového potrubí ze síťovaného polyethylenu PE-Xa. Pomocí zesílení dochází k vylepšení již tak dobrých vlastností PE, zejména se to týká teplotní a tlakové odolnosti, odolnosti proti vzniku trhlin a rázové houževnatosti při nízkých teplotách. Koextrudovaná závěrná vrstva proti průniku kyslíku je z etylvinylalkoholu (EVAL), polymeru s nejvyšším závěrným účinkem. [33]

11 Návrh otopné soustavy

Vzhledem k tomu, že vytápění pomocí podlahového vytápění z hlediska tepelné pohody působí lépe na uživatele, hlavně díky většímu podílu sálavé složky a rovnoměrnějšímu rozložení teplot v místnosti, volím tuto variantu pro vytápění 1. a 2. NP.

Pro vytápění PP volím dvoutrubkovou otopnou soustavu se spodním rozvodem s nuceným oběhem vody, teplovodní, uzavřenou, horizontální a protiproudou. Potrubní rozvody jsou vedeny v podlaze. Materiálem potrubí je měď, která bude spojována kapilárním pájením. Potrubí je izolováno izolací Mirelon podle vyhlášky 193/2007 Sb. Tuto variantu jsem zvolil z důvodu menší doby pohybu uživatelů v těchto prostorech. Dalším důvodem jsou menší investiční náklady na otopná tělesa a celkovou realizaci, než při realizaci podlahového vytápění, které by v těchto prostorách bylo zcela neefektivní.

Otopnou soustavu tedy tvoří dva otopné okruhy. Na první okruh (01) je napojeno podlahové vytápění a otopná tělesa v 1. a 2. NP. Na druhý okruh (02) jsou napojena otopná tělesa v 1. PP. Zdroj tepla je umístěn v PP v technické místnosti (005), kde se také nachází rozdělovač a sběrač otopných okruhů 01 a 02.

Pro celou otopnou soustavu volím jednotnou teplotu teplotnosné látky na přívodním potrubí $t_{w1} = 44 \text{ °C}$ a na vratném potrubí $t_{w2} = 36 \text{ °C}$. Teplotnosnou látku volím vodu.

V 1. a 2. NP se na chodbě nachází rozdělovač a sběrač pro podlahové vytápění. Na rozdělovač je připojeno přívodní potrubí. Na sběrač je připojeno vratné potrubí. Obě potrubí jsou vedena z technické místnosti do jednotlivých pater stěnou. Materiálem potrubí je měď, která je izolována izolací Mirelon podle vyhlášky 193/2007 Sb. Na rozdělovač a sběrač jsou napojeny otopné smyčky. Pro rozvod teplotnosné látky v podlahovém vytápění je použito plastové potrubí Rautherm S od firmy Rehau. Způsobem provedení – volím mokrého způsobu. Otopné smyčky jsou uloženy ve formě plošné spirály. Otopné smyčky budou přichyceny do tepelné izolace pomocí fixačních příchytek a zality anhydritovým potěrem. Na obrázku 5 je znázorněna skladba konstrukce v koupelně v 1. NP (105).

Otopné smyčky, které vedou do místností (102a, 102b, 104, 105, 106, 202, 204, 207, 208) budou opatřeny návlekovou izolací Mirelon Protekt podle vyhlášky 193/2007 Sb. Návleková izolace bude použita pouze na chodbách. Ostatní smyčky zůstanou neizolovány z důvodu pokrytí tepelné ztráty chodby.

Pro vypouštění otopné soustavy slouží kulové kohouty umístěné v jímce pod zdrojem tepla. Do této jímky vede také potrubí pro odvod kondenzátu ze zdroje tepla. Jímka je opatřena protizápachovou uzávěrou.

12 Zdroj tepla

Zdroj tepla je zařízení, ve kterém je získáváno teplo pro vytápění objektu a přípravu teplé vody.

12.1 Dělení typů kotlů podle použitého paliva

- a) kotle na tuhá paliva
- b) kotle na plynná paliva
- c) kotle na kapalná paliva
- d) elektrokotle

12.1.1 Kotle na tuhá paliva

Vytápění v kotlích na tuhá paliva, jimiž jsou například dřevo nebo uhlí, zůstává stále nejlevnější variantou vytápění v rodinných domech.

Kotle na tuhá paliva můžeme rozdělit na dvě skupiny. První skupinou jsou kotle s ručním přikládáním a do druhé skupiny patří kotle automatické.

V dřívějších dobách se zde vyskytovaly pouze kotle s ručním přikládáním, které ale potřebují neustálou manuální obsluhu člověka. Z hlediska komfortu obsluhy v důsledku častého přikládání, rozdělávání, vynášení popela nejsou vhodným řešením pro tento dům.

Pro regulaci výkonu slouží pouze tepelný regulátor tahu, který nedokáže zajistit přesnou regulaci výkonu oproti elektronickým regulátorům. Výhodou těchto kotlů je nízká pořizovací cena, levný provoz, absence elektroniky. Vhodnými palivy jsou dřevo, uhlí, brikety.

V dnešních dobách musí i tyto kotle splňovat požadavky na účinnost a míru vypouštěných emisí kotlů na tuhá paliva podle normy ČSN EN 303-5, tzv. emisní třídu kotle.

Emisní třída má pět úrovní, přičemž 1. a 2. emisní třída bude od ledna 2022 zcela zakázána (nyní už se nesmí ani prodávat), a budou se moci používat kotle jen od 3. emisní třídy výše, při účinnosti kotle alespoň 73 %. Většina výrobců již v dnešní době má kotle na tuhá paliva s emisní třídou 4 a účinností kotle větší než 88 %. [34]

Investiční náklady za pořízení kotle na pokrytí tepelných ztrát tohoto domu se pohybují okolo 20 000 Kč. [35]

Automatické kotle na tuhá mají oproti kotlům s ručním přikládáním na tuhá paliva vyšší investiční náklady. Hlavní výhodou těchto kotlů je lepší komfort uživatele oproti kotlům s ručním přikládáním. Z důvodu automatického provozu kotle není potřeba kotel obsluhovat často. Ke kotli je umístěn zásobník na palivo, jímž může být uhlí, dřevní štěpka, dřevní pelety. Pomocí šnekového dopravníku je palivo dopraveno do hořáku, kde je automaticky zapáleno. Elektronika se stará o zajištění optimální teploty,

kteřá je nastavena uživatelem. Při dosažení požadované teploty přestane šnekový dopravník přikládat palivo, a při poklesu teploty začne zpět přikládat. Podle velikosti zásobníku a potřebného výkonu kotle je potřeba zásobník doplňovat uživatelem. Zásobník se obvykle doplňuje po několika dnech (obvykle 5 – 7 dní). Problémem je potřeba velkého, suchého prostoru k uskladnění potřebného paliva a poté transportování paliva do zásobníku. Palivo do automatických kotlů je většinou dodáváno v pytlích, které váží okolo 20 kg. Vynášení popela je také možné po několika dnech.

Účinnost těchto kotlů se pohybuje okolo 90 %. Automatické kotle na dřevní pelety mají emisní třídu 5 (nejvyšší emisní třída). Kotle na uhlí (hnědé, černé) dosahují emisní třídy 4. Investiční náklady těchto kotlů na pokrytí tepelných ztrát tohoto domu se pohybují okolo 60 000 Kč. [36] Do investičních nákladů zahrnují pouze kotel.

Automatické kotle na tuhá paliva mají tu nevýhodu, že minimální teplota provozu kotle nesmí klesnout pod hodnotu 65 °C a nesmí spalovat palivo s příliš vysokým obsahem vlhkosti. Při porušení těchto skutečností dochází v kotli ke kondenzaci spalin na teplosměnných plochách a může dojít k poškození kotle a spalínového zařízení, protože kondenzát vyvolává korozi zásobníku paliva [37].

Automatický kotel lze použít v kombinaci s nízkoteplotním vytápěním (podlahové vytápění) za použití akumulární nádrže, která slouží k akumulaci tepla z otopného zařízení.

12.1.2 **Elektrokotel**

Elektrokotel můžeme považovat za zdroj tepla s čistým provozem. Největší výhodou elektrokotle jsou nízké pořizovací náklady (ve srovnání s tepelnými čerpadly nebo automatickými kotli na pevná paliva je pořizovací cena kotlů na elektřinu nesrovnatelně nižší). Vysoká účinnost (až 99 %), snadná regulace, absence odvodu spalin, přívodu spalovacího vzduchu, tichý provoz, jednoduchá údržba (většinou postačí kontrola servisním technikem). Největší nevýhodou jsou vysoké provozní náklady za elektrickou energii a potřeba zvýšení hodnoty jističe.

Investiční náklady elektrokotle pro pokrytí tepelné ztráty tohoto domu se pohybují okolo 15 000 Kč. [38]

12.1.3 **Kotle na plynná paliva**

Plynné kotle dělíme na nízkoteplotní a kondenzační.

Kondenzační kotel se liší od nízkoteplotního kotle ve využití tepla spalin.

U kondenzačního kotle dochází ke kondenzaci vodní páry, která je obsažena ve spalinách. Aby došlo ke kondenzaci musí být teplota vratné vody nižší než 55 °C, což je teplota rosného bodu vodních par obsažených ve spalinách. Kondenzací dojde k uvolnění energie, která se následně využívá pro vytápění otopné soustavy. Vzhledem k režimu kondenzace musí být teplosměnná plocha kotle vyrobena z antikoročního materiálu. Je také potřeba zajistit odvod kondenzátu například do kanalizace.

Problémem kondenzátu je jeho kyselost. U kotlů s tepelným výkonem do 25 kW většinou není neutralizace kondenzátu vypouštěného do kanalizace nutná. Použití kondenzačního kotle je vhodné pro nízkoteplotní vytápění například podlahové vytápění. Cena kondenzačního kotle pro pokrytí tepelných ztrát tohoto domu je 40 000 Kč. [39]

U nízkoteplotních kotlů zůstává energie obsažena ve vodní páře nevyužita a uniká bez užitku komínem do atmosféry, tudíž má nízkoteplotní kotel menší účinnost oproti kondenzačnímu.

Plynové kotle mají vysokou účinnost, rychlý zátop a pružný chod. Další výhodou je přesné a spolehlivé měření spotřeby paliva pomocí plynoměru. Plynové kotle mají také nízké emise škodlivin (až na CO₂ a NO_x).

Tepelná čerpadla

Tepelné čerpadlo tedy zařízení využívající tepelnou energii ze vzduchu, zemního vrtu, plošného kolektoru či vody, patří k nejúspornějším zdrojům tepla. Ve srovnání s ostatními zdroji tepla má tepelné čerpadlo sice vyšší pořizovací náklady (okolo 200 000 Kč), které jsou ale vyváženy mimořádně úsporným a komfortním provozem.

12.2 Výběr zdroje tepla

Z výše uvedených skutečností volím vzhledem k investičním a provozním nákladům, ale také k pohodě uživatele plynový kondenzační kotel. Kondenzační kotel volím s ohledem na celkovou tepelnou ztrátu domu, tj. $\Phi_i = 12,5$ kW. Zvolil jsem plynový kondenzační kotel THERM 14 KDZ.A. [39]

Maximální tepelný výkon na vytápění je 14,6 kW. Minimální tepelný výkon na vytápění je 2,4 kW. Ostatní parametry kotle jsou uvedeny v příloze [P7].

Ke kotli bude připojen nepřímotopný zásobník teplé vody. [39]

Jedná se o spotřebič provedení C, tj. uzavřený spotřebič, který odebírá spalovací vzduch z venkovního prostoru nebo ze společného komínu a spaliny jsou odváděny do venkovního prostoru. [40] Z tohoto důvodu není potřeba řešit přívod spalovacího vzduchu do technické místnosti (005), v níž bude kotel umístěn.

13 Návrh otopných těles

Otopná tělesa navrhujeme tak, aby zohledňovala tepelnou pohodu uživatele. Tepelný výkon otopného tělesa musí být minimálně roven nebo větší, než je tepelná ztráta místnosti. Délka otopného tělesa je minimálně rovna délce okna.

Z důvodu velmi malých návrhových tepelných ztrát Φ_i [W] v menších místnostech v 1.PP jsem navrhoval otopná tělesa pouze do místností 003, 005, 007, 008. Tepelné návrhové ztráty Φ_i [W] ostatních místností byly připočteny k místnostem, kde se nacházejí otopná tělesa. Otopná tělesa jsem zvolil od firmy Korado, a.s. typu VENTIL KOMPAKT se středovým spodním připojením. [41] Středové spodní připojení má hlavně estetické výhody, protože přívodní a vratné potrubí vede v podlaze a vystupuje pod tělesem, takže není vizuálně příliš viditelné.

V 1. NP se nachází v koupelně (105) trubkové otopné těleso KORALUX LINEAR MAX – M 1500 x 750 se spodním středovým připojením. Těleso zde umístíme z důvodu nedostatečného pokrytí tepelné ztráty místnosti podlahovým vytápěním. Z důvodu naprosto minimální tepelné ztráty, v místnostech zádveří (107) a schodiště (105), zůstanou tyto místnosti bez otopných těles.

V 2. NP se nachází otopná tělesa v místnostech koupelna (207) a na záchodě (208). V koupelně se opět nachází trubkové otopné těleso KORALUX LINEAR MAX – M 1820 x 750 se středovým spodním připojením. Na záchodě umístíme deskové otopné těleso typu VENTIL KOMPAKT s moderním středovým spodním připojením typu 21 – VKM 600 x 600. Tělesa jsou zde umístěna opět z důvodu nedostatečného pokrytí tepelné ztráty místnosti podlahovým vytápěním.

Tělesa v 1. a 2. NP budou připojena na rozdělovač a sběrač podlahového vytápění. Potrubí bude opatřeno návlekovou tepelnou izolací MIRELON PRO podle vyhlášky 193/2007 Sb.

13.1 Přepočítání tepelného výkonu otopných těles

Výrobce udává výkon otopných těles při jmenovitých podmínkách, tj. $t_{w1,j} = 75$ °C, $t_{w2,j} = 65$ °C, $t_{i,j} = 20$ °C dle ČSN EN 442. Je tedy nutné tento výkon přepočítat na skutečné podmínky, tj. $t_{w1} = 46$ °C, $t_{w2} = 34$ °C. Teplota t_i , [°C] se liší podle dané místnosti.

V tabulce 5 a 6 umístěné na konci kapitoly jsou uvedeny výsledky přepočtu tepelného výkonu otopných těles. Postup výpočtu uveden v příloze [P8]. V přílohách [P1, P2, P3, P4] je zobrazeno umístění otopných těles v domě, včetně přívodu potrubí k tělesům.

13.2 Výpočet skutečného výkonu otopného tělesa

$$Q_{sk,OT} = Q_{N,OT} \cdot f_{\Delta t} \cdot f_p \text{ [W]} \quad (5)$$

$Q_{sk,OT}$ – skutečný výkon otopného tělesa [W]

$Q_{N,OT}$ – jmenovitý výkon otopného tělesa [W]

$f_{\Delta t}$ – opravný součinitel na teplotní rozdíl [–]

f_p – opravný součinitel na umístění ve vytápěném prostoru [–]

Ve výpočtu je možné zahrnout více opravných součinitelů (na připojení tělesa, úpravu okolí atd.). Otopná tělesa jsou však vždy umístěna tak, že jich není potřeba.

Výpočet opravného součinitele na teplotní rozdíl

$$f_{\Delta t} = \left(\frac{(\Delta t)_{sk}}{(\Delta t)_N} \right)^n \text{ [–]} \quad (6)$$

kde

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

$(\Delta t)_N$ – nominální teplotní rozdíl [°C]

Teplotní exponent n [–] nalezneme v technickém listu výrobce.

Výpočet teplotního podílového součinitele

$$c = \frac{t_{w2} - t_i}{t_{w1} - t_i} \text{ [–]} \quad (7)$$

kde

c – teplotní podílový součinitel [–]

t_{w1} – teplota přívodní vody [°C]

t_{w2} – teplota vratné vody [°C]

t_i – teplota vzduchu v místnosti [°C]

Pro $c \geq 0,7$ platí

$$\Delta t = \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} - t_i \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (8)$$

Pro $c < 0,7$ platí

$$\Delta t_{\ln} = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\ln \frac{t_{w1} - t_i}{t_{w2} - t_i}} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (9)$$

Tab. 6: Otopná tělesa v 1. a 2. NP

název místnosti	chodba 1	chodba 2	garáž	schodiště	tech. míst.	sklad	posilovna	zádveří
číslo místnosti	001	002	003	004	005	006	007	008
Φ_1 – tepelná ztráta místnosti [W]	20	30	1030	170	450	90	1200	150
Tepelná ztráta místnosti Φ_1 [W] s odečtením tepelných zisků z 1. NP (od podlahového vytápění)	20	30	940	170	390	70	1170	130
přičtení tepelné ztráty Φ_1 [W] místnosti bez otopných těles, k místnosti číslo	008	008		008		005		
požadovaný výkon otopného tělesa [W]			940		460		1170	350
typ otopného tělesa (OT)	bez OT	bez OT	22 – VKM	bez OT	21 – VKM	bez OT	33 – VKM	21 – VKM
rozměry otopného tělesa (v x d) [mm]			600x1600		600x1200		600x2000	600x900
$Q_{N,OT}$ - jmenovitý výkon otopného tělesa [W]			2688		1553		4822	1165
$Q_{sk,OT}$ - skutečný výkon otopného tělesa [W]			1062		609		1382	457

Tab. 5: Otopná tělesa v 1. PP

název místnosti	koupelna	koupelna	záchod
číslo místnosti	105	207	208
Φ_1 – tepelná ztráta pokryta otopnými tělesy [W]	190	270	130
požadovaný výkon otopného tělesa [W]	209	297	130
f_p – opravný součiniteľ na teplotní rozdíl [-]	1	1	0,95
typ otopného tělesa	KLMM	KLMM	21 – VKM
rozměry otopného tělesa (v x d) [mm]	1500x750	1820x750	600x600
$Q_{N,OT}$ - jmenovitý výkon otopného tělesa [W]	984	1213	776
$Q_{sk,OT}$ - skutečný výkon otopného tělesa [W]	219	298	156

14 Návrh výpočtu podlahového vytápění

Návrh není proveden dle příslušné EN, ale respektuje postup vycházející z fyziky sdílení tepla z otopné vody do vytápěného prostoru.

14.1 Výpočet střední povrchové teploty podlahové plochy

$$t_p = t_i + \frac{\Lambda_a}{\alpha_p} \cdot (t_m - t_i) \cdot \frac{tgh\left(\frac{m \cdot l}{2}\right)}{\frac{m \cdot l}{2}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (10)$$

kde

t_i – vnitřní teplota [$^{\circ}\text{C}$]

Λ_a – tepelná propustnost vrstev nad střední rovinou uložení potrubí [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]

α_p – celkový součinitel přestupu tepla na povrchu otopné plochy [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]

t_m – střední teplota otopné vody [$^{\circ}\text{C}$]

t_p – střední povrchová teplota podlahové plochy [$^{\circ}\text{C}$]

m – charakteristické číslo podlahy [$1/\text{m}$]

l – rozteč potrubí [m]

Vypočtené hodnoty povrchových teplot a další veličiny uvedené v této kapitole se nachází v tabulce 7 na konci této kapitoly.

14.2 Výpočet charakteristického čísla podlahy

$$m = \sqrt{\frac{2 \cdot (\Lambda_a + \Lambda_b)}{\pi^2 \cdot \lambda_d \cdot d_e}} \quad [1/\text{m}] \quad (11)$$

kde

Λ_a – tepelná propustnost vrstev nad střední rovinou uložení potrubí [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]

Λ_b – tepelná propustnost vrstev pod střední rovinou uložení potrubí [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]

λ_d – součinitel tepelné vodivosti materiálu, do kterého je zalito potrubí [$\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$]

d_e – vnější průměr potrubí [m]

14.3 Výpočet tepelné propustnosti vrstvy nad potrubím

$$\Lambda_a = \frac{1}{\sum \frac{a}{\lambda_a} + \frac{1}{\alpha_p}} \quad [\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}] \quad (12)$$

kde

a – tloušťka jednotlivých vrstev nad střední rovinou potrubí [m]

λ_a – součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev nad potrubím [$\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$]

α_p – celkový součinitel přestupu tepla na podlaže [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$], (volím $\alpha_p = 12 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)

14.4 Výpočet tepelné propustnosti vrstvy pod potrubím

$$\Lambda_b = \frac{1}{\sum \frac{b}{\lambda_b} + \frac{1}{\alpha'_p}} \quad [\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}] \quad (13)$$

kde

b – tloušťka jednotlivých vrstev pod střední rovinou potrubí [m]

λ_b – součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev pod potrubím [$\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$]

α'_p – celkový součinitel přestupu tepla na spodní straně otopné plochy [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$],

(volím $\alpha'_p = 8 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)

14.5 Výpočet měrného tepelného toku podlahové otopné plochy

$$\dot{q} = \alpha_p \cdot (t_p - t_i) \quad [\text{W}/\text{m}^2] \quad (14)$$

14.6 Výpočet měrného tepelného toku podlahové otopné plochy směrem dolů (při stejných vnitřních teplotách nad otopnou plochou a pod ní)

$$\dot{q}' = \frac{\lambda_b}{\lambda_a} \alpha_p \cdot (t_p - t_i) \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (15)$$

14.7 Výpočet měrného tepelného toku podlahové otopné plochy směrem dolů (při rozdílných vnitřních teplotách nad otopnou plochou a pod ní)

$$\dot{q}' = \frac{\lambda_b}{\lambda_a} \alpha_p \cdot (t_p - t_i) + \lambda_b \cdot (t_p - t'_i) \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (16)$$

kde

t'_i – výpočtová vnitřní teplota místnosti pod danou místností [°C]

Tloušťku s [m] tepelné izolace je nutné nejdříve navrhnout tak, aby tepelná ztráta směrem dolů nebyla větší než 15 % užitečného tepelného výkonu. V případě, že se pod danou místností nachází místnost, která je vytápěná na nižší teplotu, tak tepelná ztráta směrem dolů nesmí být větší než 10 % užitečného tepelného výkonu. [30]

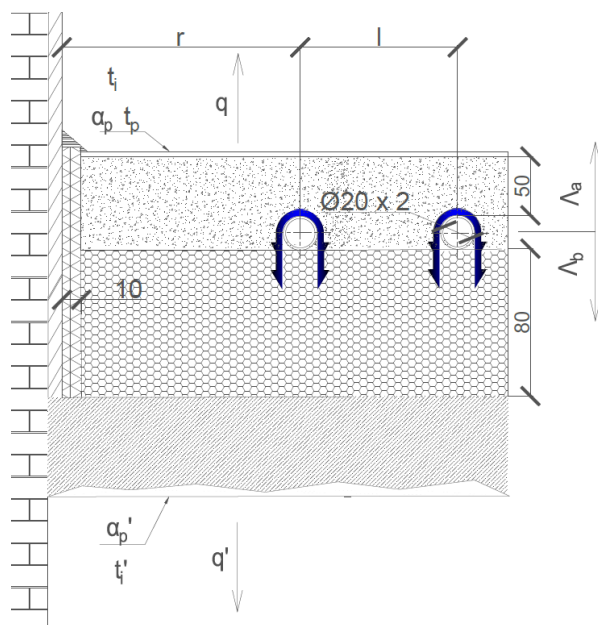
Při parametrech tepelné izolace $\lambda = 0,035 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [9], postačí tloušťka tepelné izolace mezi 1. NP a 2. NP 80 mm. Mezi 1. PP a 1. NP postačí tloušťka izolace 120 mm.

14.8 Výpočet celkového tepelného příkonu otopné plochy

$$\dot{Q}_{PC} = (\dot{q}' + \dot{q}) \cdot S_{sk} \text{ [W]} \quad (17)$$

kde

S_{sk} – podlahová plocha místnosti využitá pro pokládku otopného hadu [m²]



obr. 11: Schéma použitého značení při výpočtu podlahového vytápění

Tab. 7: vypočtené hodnoty z návrhu podlahového vytápění v 1. a 2. NP

název místnosti	chodba 1	kuchyň	obývací pokoj	šatna	koupelna	záchod	ložnice
číslo místnosti	101	102a	102b	104	105	106	108
Φ_{i-} - teplotní ztráta místnosti [W]	125	1145	1145	190	1130	340	780
Φ_{i-} - rozdělení - teplotní ztráta pokryta podlahovým vytápěním [W]					940		
t_p - povrchová teplota podlahové plochy [°C]	28	27	27	28	32	33	28
porovnání měrných tepelných toků q'/q' [%]	5	5	5	5	6	6	4
S_{sk} - podlahová plocha místnosti využitá pro pokládku otopného hadu [m ²]	1,2	13,1	14,0	2,0	9,0	3,1	8,3
Q_{pc} - celkový příkon otopné plochy [W]		1134	1208	189	947	343	916
l - rozteč potrubí [m]		0,2	0,2	0,3	0,15	0,1	0,3
l_p - délka potrubí k rozdělovači v 1. NP [m]		74	80	8	66	39	39
Φ potrubí Rauttherm S		20x2	20x2	12x2	20x2	17x2	17x2

název místnosti	chodba	obývací pokoj	pokoj 1	pokoj 2	pokoj 3	koupelna	záchod
číslo místnosti	201	202	203	204	206	207	208
Φ_{i-} - teplotní ztráta místnosti [W]	180	1000	550	860	480	1120	300
Φ_{i-} - rozdělení - teplotní ztráta pokryta podlahovým vytápěním [W]						850	170
t_p - povrchová teplota podlahové plochy [°C]	28	27	28	28	28	32	32
porovnání měrných tepelných toků q'/q' [%]	5	6	6	6	6	5	5
S_{sk} - podlahová plocha místnosti využitá pro pokládku otopného hadu [m ²]	1,9	12,2	5,8	9,0	5,0	8,6	1,9
Q_{pc} - celkový příkon otopné plochy [W]		1056	707	908	570	896	179
l - rozteč potrubí [m]		0,2	0,3	0,3	0,3	0,15	0,2
l_p - délka potrubí k rozdělovači v 2. NP [m]		69	33	37	24	69	21
Φ potrubí Rauttherm S		20x2	17x2	17x2	17x2	20x2	12x2

15 Hydraulické vyvážení otopných okruhů

Pro zjištění celkové tlakové ztráty otopných Δp_c [Pa] je nutné znát tlakovou ztrátu třením Δp_λ [Pa] a tlakovou ztrátu místními odpory Δp_ζ [Pa].

$$\Delta p = \Delta p_\lambda + \Delta p_\zeta \text{ [Pa]} \quad (18)$$

15.1 Výpočet tlakové ztráty třením

$$\Delta p_\lambda = R \cdot l_p \text{ [Pa]} \quad (19)$$

kde

R – měrný tlakový spád [Pa/m]

l_p – délka potrubí [m]

Měrný tlakový spád R [Pa/m] pro plastové potrubí Rautherm S odečteme z diagramu [P6], který se nachází v technickém listu výrobce potrubí. Měrný tlakový spád R [Pa/m] pro měděné potrubí se odečte z tabulek [P5].

Průměr potrubí jsem navrhoval podle metody ekonomických rychlostí. Ekonomická rychlost vychází z minima součtu investičních a provozních nákladů. Ekonomickou rychlost pro potrubí tvořené z mědi volím $w_{opt} = 0,7$ m/s.

Pro odečtení měrného tlakového spádu [Pa/m] příslušného průměru potrubí je za potřebí vypočítat hmotnostní průtok \dot{m} [kg/s].

Vypočet hmotnostního průtoku otopným hadem (pouze podlahové vytápění)

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_{PC}}{c \cdot \Delta t} \text{ [kg/s]} \quad (20)$$

kde

\dot{Q}_{PC} – celkový tepelný příkon otopné plochy [W]

c – měrná tepelná kapacita při střední teplotě teplotnosné látky [J/kg·K]

Δt – ochlazení vody v otopném hadu [K]

Pro zjištění délky potrubí otopného hadu potřebujeme znát rozteč potrubí l [m] a skutečnou podlahovou plochu v místnosti využitou pro pokládku otopného hadu S_{sk} [m²]. Pro zjištění délky odečteme z tabulky 8 množství potrubí [m/m²] a poté vynásobíme S_{sk} [m²].

Tab. 8: Tabulka pro odečtení množství potrubí [m/m²]

rozteč potrubí [cm]	10	15	20	30
množství potrubí [m/m ²]	10	6,7	5	3,3

15.2 Výpočet tlakové ztráty místními odpory

$$\Delta p_{\zeta} = \sum \xi \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \text{ [Pa]} \quad (21)$$

kde

ξ – součinitel místního odporu [–]

w – rychlost proudění teplotnosné látky v potrubí [m/s]

ρ – hustota při střední teplotě teplotnosné látky [kg/m³]

15.3 Hydraulické vyvážení otopného okruhu 02

Podrobný výpočet tlakových ztrát uveden v příloze [P8]. Na konci subkapitoly 15.2 se nachází tabulka (tab. 11) s výsledky hydraulického vyvážení otopného okruhu 02.

Největší tlakovou ztrátu otopného okruhu 02 tvoří úseky k otopnému tělesu v místnosti 007 (posilovna).

Celková tlaková ztráta, na kterou doškrucují další otopná tělesa je $\Delta p_{c02} = 7980 \text{ Pa}$.

V této tlakové ztrátě je zahrnuta ztráta úseků technická místnost – otopné těleso v místnosti 007. Dále zde zahrnují tlakovou ztrátu termostatického regulačního ventilu plně otevřeného, regulačního šroubení plně otevřeného. Tlaková ztráta otopného tělesa je u tohoto typu těles zahrnuta v tlakové ztrátě termostatického regulačního ventilu.

Otopná tělesa škrťím pomocí termostatického regulačního ventilu, který je součástí otopného tělesa a regulačního šroubení, tak abych zajistil vyvážení otopného okruhu 02. Rozdíl tlakových ztrát mezi otopným tělesem v místnosti 007 a dalšími tělesy rozdělím úměrně mezi termostatický ventil a regulační šroubení. Rozdělené tlakové ztráty dosadím postupně do vztahu (22) a pomocí tabulek poskytnutých výrobcem (tab. 9, 10) odečtu stupeň nastavení na termostatickém ventilu a na regulačním šroubení.

$$k_v = \dot{V} \cdot \sqrt{\frac{100}{\Delta p}} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (22)$$

kde

k_v – jmenovitý průtok armaturou [m^3/h]

\dot{V} – objemový průtok armaturou [m^3/h]

Δp – hledaná tlaková ztráta armatury [kPa]

Tab. 9: Tabulka pro odečet stupně nastavení na termostatickém ventilu [42]

Otopná tělesa v provedení VENTIL KOMPACT bez přípojovacích armatur		Stupeň nastavení ventilu								Nejvyšší přípustná prov. teplota [°C]	Nejvyšší přípustný prov. tlak [MPa]
		1	2	3	4	5	6	7	8		
Ventil s možností nastavení v osmi stupních a termostatickou hlavicí	k_v [m^3/h]	0,13	0,22	0,31	0,38	0,47	0,57	0,66	0,75	110	1,0
	k_{vS} [m^3/h]	0,16	0,27	0,38	0,43	0,65	0,98	1,23	1,43		
	Uvedené hodnoty k_v odpovídající pásmu proporcionality 2 K										

Tab. 10: Tabulka pro odečet stupně nastavení na regulačním šroubení [43]

Pre-setting	0.5	1	1.5	2	3	open = k_{vS}
k_v -value	0.33	0.57	0.75	0.90	1.10	1.50

Regulační šroubení volím od firmy Honeywell, typové označení Verifix–VK V2461. [43]

Tab. 11: Vyvážení otopného okruhu 02

název místnosti	garáž	tech. míst.	posilovna	zádveří
číslo místnosti	003	005	007	008
$m \cdot$ – hmotnostní průtok [kg/h]	102	50	126	37
Δp úseků k jednotlivým otopným tělesům [Pa]	4320	2550	4380	4030
$\Delta p_{TRV,PO}$ [Pa]			2885	
$\Delta p_{RŠ,PO}$ [Pa]			721	
$\Delta p_{otopného\ okruhu\ 02}$ [Pa]			7986	
potřeba doškrtit [Pa]	3666	5436		3956
Δp_{TRV} – tlaková ztráta na termostatickém ventilu [Pa]	1865	5200	2885	2881
$\Delta p_{RŠ}$ – tlaková ztráta na regulačním šroubení [Pa]	1865	775	721	1281
$k_{v\ TRV}$ [m ³ /h]	0,75	0,22	0,75	0,22
$k_{v\ RŠ}$ [m ³ /h]	0,75	0,57	1,5	0,33
stupeň nastavení na TRV	PO	2	PO	2
stupeň nastavení na RŠ	1,5	1	PO	0,5

15.4 Hydraulické vyvážení otopného okruhu 01

V 1. a 2. NP se na chodbách nachází rozdělovač IVAR.CS 553 DRS a sběrač IVAR.CS 553. [44] Na rozdělovač a sběrač jsou napojeny otopné smyčky. Z výpočtů, které se nachází v příloze [P8], největší tlakovou ztrátu tvoří otopná smyčka v místnosti 204 (pokoj 2) v 2. NP. Celková tlaková ztráta, na kterou doškrcují další otopné smyčky je $\Delta p_{c01} = 7130$ Pa. Na konci subkapitoly 15.3 se nachází tabulka (tab. 15) s výsledky hydraulického vyvážení otopného okruhu 01.

V této tlakové ztrátě je započítaná ztráta úseků technická místnost – rozdělovač v 2. NP, tlaková ztráta rozdělovače (regulačního šroubení), sběrače a otopné smyčky nacházející se v místnosti 204.

Regulační šroubení u rozdělovače (pro otopnou smyčku k místnosti 204) musí být plně otevřené z důvodu potřeby nejnižší hodnoty tlakové ztráty. K této celkové tlakové ztrátě je nutno ostatní otopné hady doregulovat pomocí regulačního šroubení umístěného v rozdělovači tak, aby se zajistilo vyvážení otopné soustavy. Hodnotu k_v [m³/h] vypočtu podle vztahu (22). Sběrač má hodnotu $k_{vs} = 2,5$ m³/h.

Tab. 12: Tabulka nastavitelných hodnot k_v regulačním šroubením v těle rozdělovače [44]

Pozice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Otáčky	1	1 1/4	1 1/2	1 3/4	2	2 1/4	2 3/4	3 1/2	5	6 1/4	7	7 1/2	8	Max
Kv	0,06	0,11	0,21	0,31	0,37	0,52	0,78	1,03	1,30	1,56	1,82	2,08	2,34	2,60

Otopná tělesa v 1. a 2. NP vyvažují analogickým způsobem jako otopná tělesa v PP. Rozdíl tlakové ztráty rozdělují mezi regulační šroubení u rozdělovače, sběrače umístěného na chodbě a regulační šroubení, termostatický ventil umístěný u otopného tělesa.

K trubkovým otopným tělesům do koupelnen je od výroce připojená integrovaná armatura HM. V těle armatury je integrován ventil a regulační šroubení. Tabulka 13 slouží pro odečet hodnoty stupně nastavení na armatuře HM. Hodnoty nastavení na armaturách se nacházejí v tabulce 14.

Tab. 13: Tabulka pro odečet stupně nastavení armatury HM [45]

ARMATURA HM s termostatickou hlavicí	X_p [K]	k_v [m ³ /h] při přednastavení na stupeň (počet otáček)						$k_{v,0}$ [m ³ /h]	Max. teplota [°C]	Max. provozní tlak [bar]	Max. tlaková diference, při níž ventil ještě uzavírá Δp [bar]
		0	0,5	1	2	3	4				
DN 15 (1/2"); přímá a rohová arma- tura; dvoutrubková otopná soustava	1	0,09	0,17	0,22	0,25	0,28	0,38	1,10	120	10	1,0
	2	0,09	0,18	0,30	0,40	0,55	0,75				

Tab. 14: Hodnoty nastavení na armaturách u otopných těles okruhu 01

název místnosti	koupelna	koupelna	záchod
číslo místnosti	105	207	208
$m \cdot$ – hmotnostní průtok [kg/h]	23	32	14
$k_{v,TRV}$ [m ³ /h]			0,22
$k_{v,RŠ}$ [m ³ /h]			0,57
$k_{v,armatura\ HM}$ [m ³ /h]	0,17	0,75	
stupeň nastavení na TRV			2
stupeň nastavení na RŠ			2
stupeň nastavení na armatuře HM	0,5	4	
$k_{v,rozdělovač}$ [m ³ /h]	0,20	0,35	
stupeň nastavení na rozdělovači	1 1/2	2	

Tab. 15: Vyvážení podlahového vytápění okruhu 01

název místnosti	kuchyně	obývací pokoj	šatna	koupelna	WC	ložnice
číslo místnosti	102a	102b	104	105	106	108
m^3 – hmotnostní průtok otopným hadem [kg/h]	122	130	20	102	37	99
ΔP jednotlivých otopných smyček [Pa]	2850	3290	350	2100	740	2630
ΔP sběrač [Pa]	243	275	7	169	22	158
ΔP úseku technická místnost-rozdělovač v 1.NP [Pa]	3180					
ΔP otopného okruhu 01 [Pa]	7130					
ΔP rozdělovač – potře ba doškrtnit na rozdělovači [Pa]	857	380	3593	1681	3188	1162
k v rozdělovač [m ³ /h]	1,33	2,13	0,11	0,79	0,21	0,92
stupeň nastavení na rozdělovači	5	7 1/2	1 1/4	2 3/4	1 1/2	2 3/4

název místnosti	obývací pokoj	pokoj 1	pokoj 2	pokoj 3	koupelna	záchod
číslo místnosti	202	203	204	206	207	208
m^3 – hmotnostní průtok otopným hadem [kg/h]	114	76	98	61	97	19
ΔP jednotlivých otopných smyček [Pa]	2170	1370	2630	790	1850	1110
ΔP sběrač [Pa]	210	94	156	61	151	6
ΔP úseku technická místnost-rozdělovač v 2.NP [Pa]	4200					
ΔP rozdělovač – tlaková ztráta na rozdělovači PO [Pa]			144			
ΔP otopného okruhu 01 [Pa]	7130					
ΔP rozdělovač – potře ba doškrtnit na rozdělovači [Pa]	550	1466		2079	929	1826
k v rozdělovač [m ³ /h]	1,55	0,63	2,60	0,43	1,01	0,14
stupeň nastavení na rozdělovači	6 1/4	2 1/4	PO	2	3 1/2	1 1/4

16 Regulace otopné soustavy

Vhodný výběr regulace má zásadní vliv na ekonomický provoz vytápění.

Pro můj případ jsem zvolil ekvitermní regulaci s korekcí podle vnitřní teploty.

Ekvitermní regulace teploty teplotonosné látky (vody) spočívá v nastavení teploty otopné vody (regulaci zdroje tepla) v závislosti na venkovní teplotě. Senzor venkovní teploty musíme umístit na severní stranu domu do výšky 3 m. [39] Neměl by být umístěn blízko oken nebo dveří, z důvodu možného zkreslování skutečné venkovní teploty.

Požadovanou teplotu v místnosti nastavujeme na pokojovém termostatu, který je umístěn ve všech vytápěných místnostech v 1. a 2. NP, kromě místnosti 202. Tuto místnost jsem zvolil jako referenční. Pokojové termostaty jsou propojeny pomocí kabelu s rozvodnicí Ivar ALC, umístěnou na obou chodbách nad rozdělovačem. Elektrotermické hlavice umístěné na sběračích jsou napojeny pomocí kabelu do rozvodnice Ivar ALC. Rozvodnice vyhodnocuje požadavek od pokojového termostatu a buď zavírá elektrotermické hlavice pomocí servopohonu při dosažení pokojové teploty, anebo nechává hlavice otevřené. Na otopný had vedoucí do místnosti 202 se nesmí osazovat elektrotermická hlavice. V referenční místnosti bude umístěn pouze regulátor PT 59, který je propojen s kondenzačním kotlem bezdrátově. Propojením pomocí kabelu by mohlo docházet k rušení signálu, z důvodu křížení se s ostatními elektrickými sítěmi. Právě regulátor PT 59 řídí zapínání kotle při poklesu teploty v referenční místnosti a vypínání kotle při dosažení požadované teploty. Pokojové termostaty uzavírají pouze jednotlivé otopné smyčky.

V 1. PP budou na všech tělesech osazeny termostatické regulační hlavice od firmy Giacomini, typové označení R460H.

Každý otopný okruh bude obsahovat trojcestný směšovací ventil, díky němuž můžeme řídit okruh podlahového vytápění ve stejný okamžik na jinou teplotu než okruh s otopnými tělesy.

16.1 Příklad výpočtu trojcestného směšovacího ventilu

Trojcestné směšovací ventily slouží pro kvalitativní regulaci. V této otopné soustavě se nacházejí dva směšovací ventily. První umožňuje kvalitativní regulaci otopných těles v 1. PP a druhý umožňuje kvalitativní regulaci podlahového vytápění a otopných těles v 1. a 2. NP. Oba se nacházejí v technické místnosti (007) za rozdělovačem otopných okruhů.

Výpočet požadované tlakové ztráty směšovacího ventilu

$$\Delta p_{vs} = P_v \cdot \frac{\Delta p_{var}}{1 - P_v} \text{ [kPa]} \quad (23)$$

kde

Δp_{vs} – požadovaná ztráta směšovacího ventilu [kPa]

Δp_{var} – tlaková ztráta části zařízení s proměnným průtokem [kPa]

P_v – autorita ventilu [-], ($P_v = 0,7$ z důvodu dvou trojcestných směšovacích ventilů v otopné soustavě)

$$k_{vs} = \dot{V}_{HN} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_o}{\Delta p_{vs}}} \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (24)$$

k_{vs} – jmenovitý průtok armaturou při maximálním otevření armatury a tlakové ztrátě $\Delta p_o = 100 \text{ kPa}$ [m³/h]

\dot{V}_{HN} – objemový průtok ventilem [m³/h]

Z technického listu výrobce [46] trojcestného směšovacího ventilu vybereme ten, který má hodnotu k_{vs} [m³/h] nejbližší hodnotě určené výpočtem.

Poté vypočteme skutečnou tlakovou ztrátu trojcestného směšovacího ventilu.

Tab. 16: Výpočet trojcestných směšovacích ventilů

trojcestné směšovací ventily	otopný okruh 01	otopný okruh 02
Δp_{vs} – požadovaná tlaková ztráta směšovacího ventilu [Pa]	17	19
P_v – autorita ventilu [-]	0,7	0,7
Δp_{var} – tlaková ztráta části zařízení s proměnným průtokem [Pa]	7130	7980
k_{vs} – hodnota směšovacího ventilu [m ³ /h]	3	1
\dot{V}_{HN} – průtok okruhem [m ³ /h]	1	0,32
Δp_{vt} – skutečná tlaková ztráta [kPa]	7	10
z technického listu k_{vs} [m ³ /h]	4	1
označení trojcestného ventilu	SXP45.20-4/230	SXP45.10-1/230

17 Návrh oběhového čerpadla

Vzhledem k tomu, že jsem zvolil soustavu s nuceným oběhem je nutné zvolit správné oběhové čerpadlo, které bude zajišťovat proudění teplotně nosné látky v otopné soustavě.

V otopné soustavě se nachází tři oběhová čerpadla. První oběhové čerpadlo je umístěno přímo v kondenzačním plynovém kotli a pokrývá tlakovou ztrátu kotlového okruhu Δp_{ck} [Pa]. Druhé čerpadlo pokrývá tlakovou ztrátu okruhu 01, Δp_{c01} [Pa]. Třetí čerpadlo pokrývá tlakovou ztrátu okruhu 02, Δp_{c02} [Pa].

Každé oběhové čerpadlo má svoji provozní charakteristiku, kterou poskytuje výrobce ve svých technických listech. Charakteristika čerpadla je závislost dopravní výšky čerpadla (měrné energie, dopravního tlaku) na objemovém průtoku. Pro správné nastavení pracovního bodu je potřeba znát celkový objemový průtok \dot{V}_c [m^3/h] a celkovou tlakovou ztrátu okruhu.

V grafech, které poskytuje výrobce čerpadel je vertikálním směru vynesena dopravní výška H_ζ [m] oběhového čerpadla a v horizontálním směru celkový objemový průtok \dot{V}_c [m^3/h]. Dopravní výšku spočteme dle vztahu

$$H_\zeta = \frac{\Delta p_c}{\rho \cdot g} [m] \quad (25)$$

kde

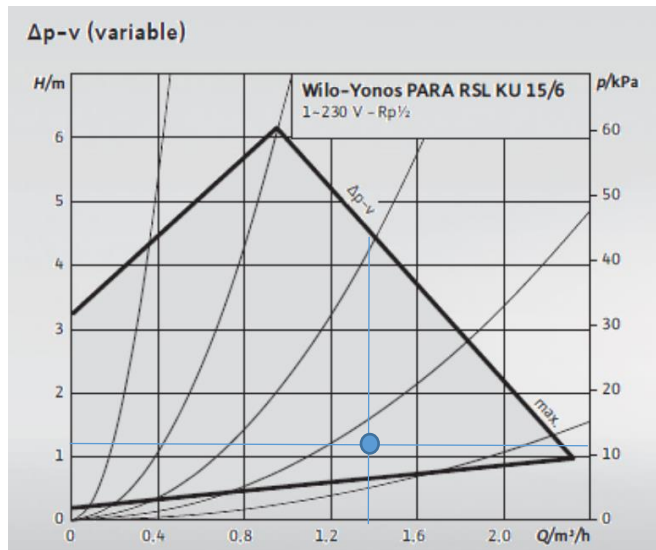
Δp_c – celková tlaková ztráta [Pa]

ρ – hustota při střední teplotě teplotně nosné látky [kg/m^3]

g – tíhové zrychlení [m/s^2]

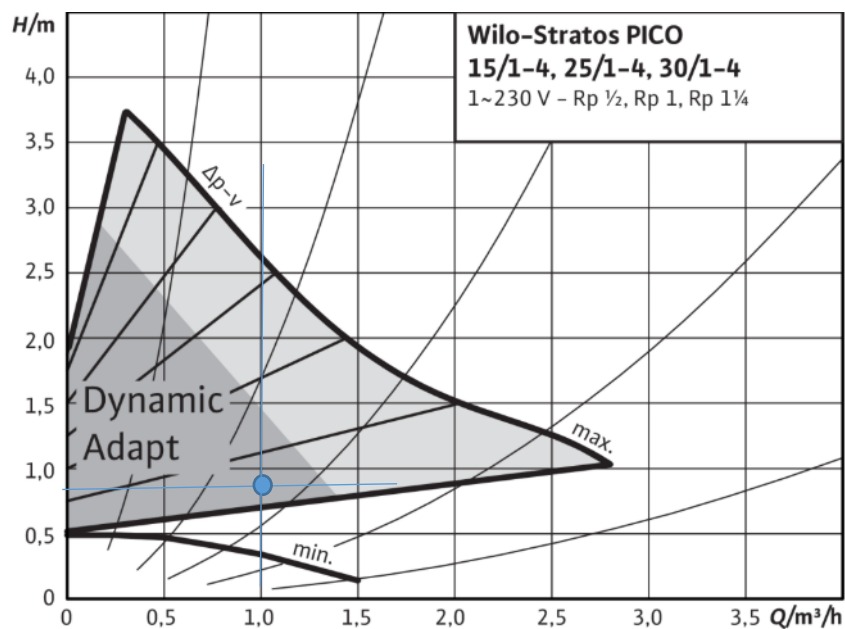
V plynovém kondenzačním kotli se nachází oběhové čerpadlo s regulací na variabilní dopravní tlak. Typové označení čerpadla – Yonos PARA RSL 15/6 RKC Ku.

Objemový průtok kotlovým okruhem $\dot{V}_c = 1,36 m^3/h$, tlaková ztráta kotlovým okruhem $\Delta p_{ck} = 12 kPa$. V grafu je zakreslen pracovní bod oběhového čerpadla (obr. 12).



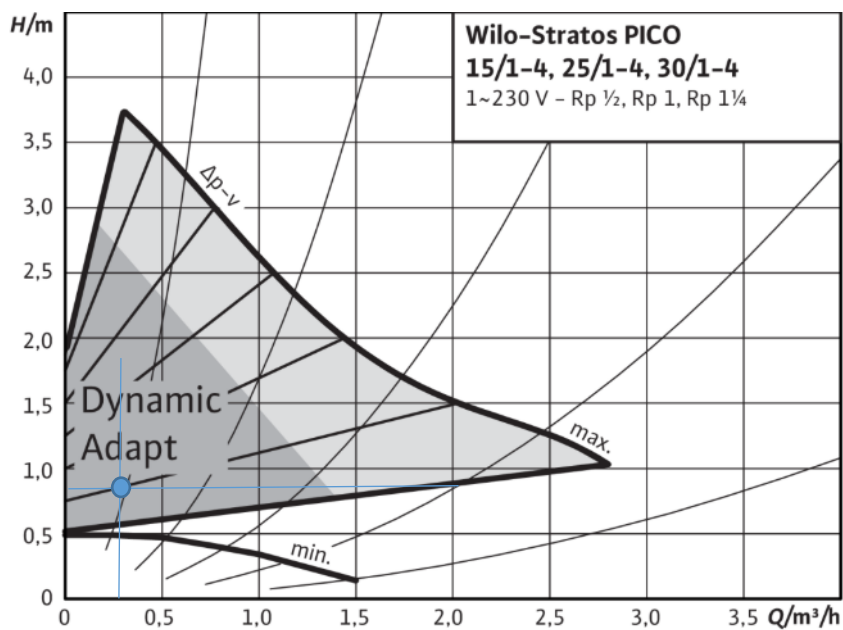
Obr. 12: Provozní charakteristika čerpadla Yonos PARA RSL 15/6 RKC Ku s vyznačením pracovního bodu [47]

Pro otopný okruh 01 s $\Delta p_{c01} = 7,130 \text{ kPa}$ a $\dot{V}_c 1,05 \text{ m}^3/\text{h}$ volím oběhové čerpadlo Wilo Stratos PICO 30/1–4. Čerpadlo má integrovanou elektronickou regulaci výkonu pro plynulou regulaci na variabilní dopravní tlak kombinovatelný s regulační funkcí Dynamic Adapt. Tato funkce je vhodná zejména pro automatickou regulaci průtoku teplotnosné látky [48]. V grafu je zakreslen pracovní bod oběhového čerpadla (obr. 13).



Obr. 13: Provozní charakteristika čerpadla Wilo Stratos PICO 30/1–4 s vyznačením pracovního bodu [49]

Pro otopný okruh 02 s $\Delta p_{c02} = 7,981 \text{ kPa}$ a $\dot{V}_c 0,31 \text{ m}^3/\text{h}$ volím stejné oběhové čerpadlo jako pro otopný okruh 01 oběhové čerpadlo Wilo Stratos PICO 30/1-4. V grafu je zakreslen pracovní bod oběhového čerpadla (obr. 14).



Obr. 14: Provozní charakteristika čerpadla Wilo Stratos PICO 30/1-4 s vyznačením pracovního bodu [49]

18 Kontrola pojistného a návrh zabezpečovacího zařízení

Pojistné zařízení jistí zdroj tepla proti překročení nejvyššího dovoleného přetlaku.

Pojistným zařízením je pojistný ventil, který otevírá při překročení nejvyššího dovoleného přetlaku $p_{h,dov}$ [kPa].

Pojistný ventil je obsažen přímo v kondenzačním kotli a je nastaven na otevírací přetlak $p_{h,dov} = 300$ kPa.

Pojistný ventil pro zásobník teplé vody je dodáván výrobcem a je nastaven na otevírací přetlak $p_{h,dov} = 600$ kPa

Zabezpečovací zařízení zabezpečuje otopnou soustavu proti náhlým změnám teploty, respektive tlaku.

18.1 Volba velikosti expanzní nádoby

$$V_{et} = 1,3 \cdot V_s \cdot n \cdot \frac{1}{\eta} [\text{m}^3] \quad (26)$$

kde

V_{et} – objem expanzní nádoby [m^3]

V_s – celkový objem vody v otopné soustavě [m^3] ($V_s = 0,120 \text{ m}^3$)

n – součinitel zvětšení objemu [–]

η – stupeň využití expanzní nádoby [–]

$$\Delta t_{\max} = t_{\max} - 10 \text{ [K]} \quad (27)$$

kde

Δt_{\max} – maximální rozdíl teplot teplotonosné látky v otopné soustavě [$^{\circ}\text{C}$]

t_{\max} – maximální teplota teplotonosné látky v otopné soustavě [$^{\circ}\text{C}$]

$$\Delta t_{\max} = 44 - 10 = 34 \text{ K}$$

Tab. 17: Tabulka součinitele zvětšení objemu expanzní nádoby [50]

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

po odečtení z tabulky 17 je součinitel zvětšení objemu $n = 0,0096$

$$p_{d,dov,A} = 1,1 \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3} + 100 \text{ [kPa]} \quad (28)$$

kde

$p_{d,dov,A}$ – nejnižší dovolený absolutní tlak [kPa]

ρ – hustota teplotnosné látky [kg/m³]

g – tíhové zrychlení [m/s²]

h – výška vodního sloupce od středu expanzní nádoby do nejvyššího místa otopné soustavy [m]

$$p_{d,dov,A} = 1,1 \cdot 992 \cdot 9,81 \cdot 5,95 \cdot 10^{-3} + 100 = 164 \text{ kPa}$$

Výpočet stupně využití expanzní nádoby

$$\eta = \frac{p_{h,dov,A} - p_{d,dov,A}}{p_{h,dov,A}} \text{ [-]} \quad (29)$$

kde

$p_{h,dov,A}$ – nejvyšší dovolený absolutní tlak [kPa]

$$\eta = \frac{400 - 164}{400} = 0,59$$

$$V_{et} = 1,3 \cdot 0,120 \cdot 0,0096 \cdot \frac{1}{0,59} = 0,0025 \text{ m}^3$$

Objem expanzní nádoby $V_{et} = 0,0025 \text{ m}^3$, tj. 2,5 l. Můžu tedy použít nádobu umístěnou v kondenzačním kotli, která má objem $V_{et} = 6 \text{ l}$.

19 Řešení odtahu spalin

Pro tento kotel jsou možné tři varianty odvodu spalin. [39]

- a) koaxiální odkouření o průměru 60/100 mm (maximální délka odkouření 10 m)
- b) koaxiální odkouření o průměru 80/125 mm (maximální délka odkouření 20 m)
- c) dělené odkouření o průměru 2 x 80 mm (maximální délka potrubí pro přívod spalovacího vzduchu je 20 m, pro odvod spalin je 20 m)

19.1 Kontrolní výpočet pro odtah spalin do komína a přívod spalovacího vzduchu

Pro odtah spalin do komína při použití koaxiálního odkouření je za potřebí použití dvou kolen o úhlu 90° , délku vertikálního potrubí 7 m a horizontálního 2,2 m. Každé koleno zkracuje délku o 0,75 m. Výsledná délka potrubí bude $(7 + 2,2 + 0,75 + 0,75 = 10,7 \text{ m})$. Potřebná délka potrubí pro odkouření je 21,4 m, tj. $10,7 \cdot 2 = 21,4 \text{ m}$, tudíž varianty a) a b) nevyhovují, protože $21,4 > (10), 20 \text{ m}$.

Vyhovuje tedy pouze varianta c), kdy potrubí pro přívod spalovacího vzduchu i odvod spalin povede samostatným potrubím.

Přívod spalovacího vzduchu bude proveden pomocí horizontálního potrubí délky 2,9 m, které bude vyvedeno přes nosnou obvodovou zeď na západní stranu domu do venkovního prostředí. Potrubí bude opatřeno protidešťovou žaluzií PRG 80.

Odvod spalovacího vzduchu bude napojen do komína.

20 Návrh zásobníku pro přípravu teplé vody

U tohoto rodinného domu jsem zvolil tzv. přednostní přípravu teplé vody (TV), která se v rodinných domech velmi často využívá. Jedná se o možnost přepnutí celého výkonu zdroje tepla (kondenzační kotel, který je primárně navržen pro otopnou soustavu) pro přípravu TV.

Pokud nastane odběr TV ze zásobníku, teplota vody v zásobníku TV začne klesat. Po dosažení spínací teploty vody v zásobníku, regulace zdroje tepla vypne oběhové čerpadlo otopné soustavy a přepne trojcestný přepínací ventil (zabudovaný v kondenzačním kotli) ve směru nabíjení zásobníku TV. Zdroj také navýší svoji teplotu kotlové vody. Doba potřebná k dohřátí zásobníku TV by neměla být příliš dlouhá z důvodu možnosti ovlivnění tepelné pohody člověka ve vytápěném prostoru, který nebude v ten okamžik vytápěn. U návrhu je potřeba dodržet podmínku, že tepelný výkon kotle je větší nebo roven požadovanému výkonu pro přípravu teplé vody. [51]

20.1 Výpočet denní potřeby tepla pro přípravu TV

$$Q_{d,TV,den} = (1 + z) \cdot V_{2p} \cdot \rho \cdot c \cdot (\theta_2 - \theta_1) \quad [\text{J/den}] \quad (30)$$

kde

$Q_{d,TV,den}$ – denní potřeba tepla pro přípravu TV [J/den]

z – poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci TV [–], (volím $z = 0,25$)

V_{2p} – celková potřeba teplé vody [m^3/den], (volím $0,04 \text{ m}^3/\text{osoba} \cdot \text{den}$)

ρ – hustota vody při střední teplotě [kg/m^3]

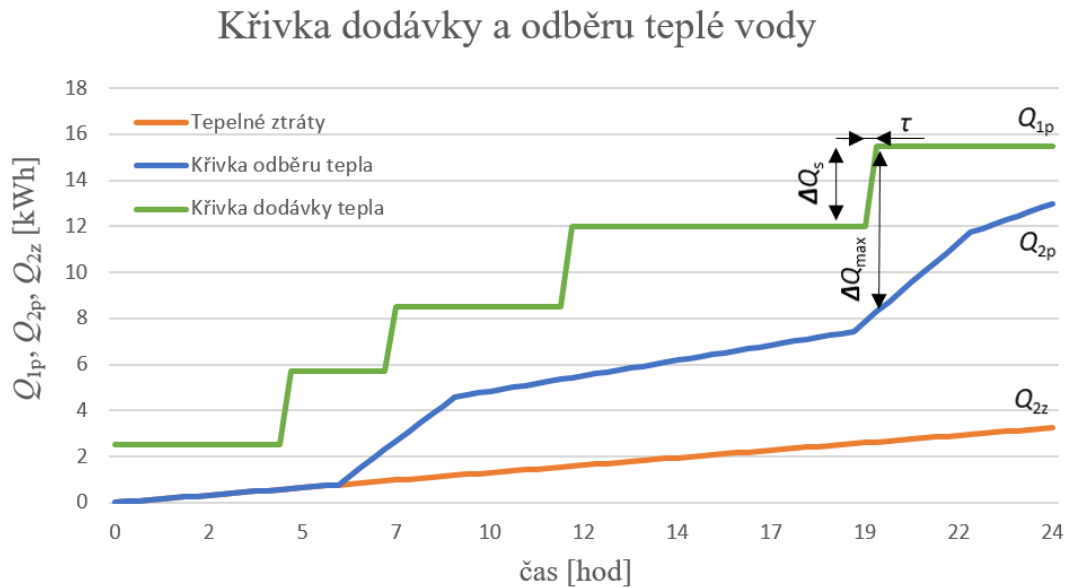
c – měrná tepelná kapacita vody [$\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$]

θ_1 – průměrná roční teplota přiváděné studené vody [$^{\circ}\text{C}$], (volím $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$)

θ_2 – teplota teplé vody [$^{\circ}\text{C}$], (volím $55 \text{ }^{\circ}\text{C}$)

$$Q_{d,TV,den} = (1 + 0,25) \cdot 0,04 \cdot 5 \cdot 995 \cdot 4170 \cdot (55 - 10) = 46,67 \text{ MJ/den}$$

Podle normy ČSN EN 15 316-3 jsem navrhl křivku dodávky a odběru teplé vody pro tento dům. Návrh křivky se nachází v [P9].



Obr. 15: Křivka dodávky a odběru teplé vody

Objem zásobníku V_z [m^3] se stanoví pomocí křivek dodávky tepla Q_{1p} [kWh/den] a odběru tepla Q_{2p} [kWh/den]. Největší rozdíl mezi křivkami dodávky a odběru tepla představuje nutnou zásobu tepla, ze které se stanoví velikost zásobníku TV.

$$V_z = \frac{\Delta Q_{\max} \cdot 3600 \cdot 1000}{\rho \cdot c \cdot (\theta_2 - \theta_1)} \quad [m^3] \quad (31)$$

kde

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

$$V_z = \frac{7,15 \cdot 3600 \cdot 1000}{995 \cdot 4176 \cdot (55 - 10)} = 0,137 \, m^3$$

Výpočet tepelného výkonu ohříváče TV

$$Q_{\text{zdroj}} = \left(\frac{\Delta Q_s}{\tau} \right)_{\text{max}} \text{ [kW]} \quad (32)$$

Q_{zdroj} – tepelný výkon ohříváče [W]

ΔQ_s – maximální dodávka tepla [kWh]

τ – čas [h], (volím 1/3 h)

$$Q_{\text{zdroj}} = \left(\frac{3,35}{\frac{1}{3}} \right) = 10 \text{ kW}$$

Objem zásobníku vody musí být alespoň 0,137 m³ a výkon tepelného ohříváče musí být alespoň 10 kW.

Zásobník volím od stejné firmy jako plynový kondenzační kotel, tj. THERM OKC 160 NTR, objem vody v zásobníku je 0,144 m³.

20.2 Výpočet doby ohřevu TV

Z důvodu volby přednostní přípravy teplé musím zkontrolovat, aby doba přípravy teplé vody netrvala déle než 1/3 hodiny. Tento výpočet provádím dle normy DIN 4708.

$$\tau_a = \frac{V_{\text{TV}} \cdot \gamma \cdot \rho \cdot c \cdot X_p}{Q_k} \text{ [s]} \quad (33)$$

kde

Q_k – jmenovitý tepelný výkon zdroje tepla [W], ($Q_k = 13\,400 \text{ W}$, viz [P7])

τ_a – doba ohřevu TV při teplotním rozdílu pro přípravu teplé vody [s]

ρ – hustota vody při střední teplotě zásobníku [kg/m³], ($\rho_{32,5^\circ\text{C}} = 995 \text{ kg/m}^3$)

c – měrná tepelná kapacita vody při střední teplotě zásobníku [J/kg·K]

X_p – spínací diference pro přípravu teplé vody [K], (volím $X_p = 10$ K)

y – korekční faktor odběru tepla ze zásobníku TV [–], (volím $y = 0,89$)

$$\tau_a = \frac{0,144 \cdot 0,89 \cdot 995 \cdot 4170 \cdot 10}{13400} = 397 \text{ s}$$

Doba přípravy TV při výše uvedených hodnotách je $\tau_a = 397$ s, tj. 6,6 minuty, což je zcela dostačující. U tohoto typu domu postačuje když $\tau_a < 20$ min.

21 Potřeba tepla a paliva

Pro výpočet potřeby tepla a paliva bude použita denostupňová metoda.

21.1 Výpočet roční potřeby tepla na přípravu TV

$$Q_{d,TV} = Q_{d,TV,den} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{d,TV,den} \cdot \frac{\theta_2 - \theta_{1,léto}}{\theta_2 - \theta_{1,zima}} \cdot (N - d) \quad [\text{J/rok}] \quad (34)$$

kde

N – počet provozních dní soustavy [den], (volím $N = 365$ dní)

$\theta_{1,léto}$ – teplota studené přiváděné vody v létě [$^{\circ}\text{C}$], (volím $t_{1,léto} = 15$ $^{\circ}\text{C}$)

$\theta_{1,zima}$ – teplota studené přiváděné vody v zimě [$^{\circ}\text{C}$], (volím $t_{1,zima} = 5$ $^{\circ}\text{C}$)

$$Q_{d,TV} = 46,67 \cdot 225 + 0,8 \cdot 46,67 \cdot \frac{55 - 15}{55 - 5} \cdot (365 - 225) = 14682 \text{ MJ/rok}$$

21.2 Výpočet teoretické potřeby tepla

$$Q_{d,vyt,teor} = 24 \cdot 3600 \cdot \Phi \cdot \frac{d \cdot (\theta_{is} - \theta_{m,e})}{(\theta_i - \theta_e)} \cdot e_i \cdot e_t \cdot e_d \quad [\text{J/ot.období}] \quad (35)$$

kde

$Q_{d,vyt,teor}$ – teoretická potřeba tepla na vytápění [J/ot.období]

Φ – návrhová tepelná ztráta objektu [W]

d – počet dnů v otopném období [den], (volím $d = 225$ dní)

D – denostupeň: $D = d \cdot (t_{is} - t_{es})$ [den $\cdot^{\circ}\text{C}$]

θ_{is} – průměrná vnitřní teplota objektu [$^{\circ}\text{C}$], (volím $\theta_{is} = 19$ $^{\circ}\text{C}$)

$\theta_{m,e}$ – průměrná venkovní teplota za otopné období [$^{\circ}\text{C}$]

θ_e – venkovní výpočtová teplota [$^{\circ}\text{C}$]

e_i – opravný součinitel na nesoučasnost tepelné ztráty větráním a prostupem [–], (volím $e_i = 0,6$)

e_t – opravný součinitel na snížení vnitřní teploty (při přerušovaném vytápění) [-],

(volím $e_t = 0,95$)

e_d – opravný součinitel na zkrácení doby provozu [-], (volím $e_d = 1$)

$$Q_{d,vyt,teor} = 24 \cdot 3600 \cdot 12500 \cdot \frac{225 \cdot (19 - 4,3)}{(19 - (-12))} \cdot 0,6 \cdot 0,9 = 65680 \text{ MJ/ot. období}$$

21.3 Výpočet skutečné potřeby tepla na vytápění

$$Q_{d,vyt,skut} = \frac{Q_{d,vyt,teor}}{\eta_R \cdot \eta_O \cdot \eta_K} \text{ [J/ot} \cdot \text{ období]} \quad (36)$$

kde

η_R – účinnost rozvodů tepla [-], (volím $\eta_R = 0,98$)

η_O – účinnost obsluhy zdroje tepla [-], (volím $\eta_O = 1$)

η_K – účinnost plynového kondenzačního kotle [-], (volím $\eta_K = 0,90$)

$$Q_{d,vyt,skut} = \frac{65680}{0,98 \cdot 1 \cdot 0,90} = 74467 \text{ MJ/ot} \cdot \text{ období}$$

21.4 Výpočet celkové roční potřeby paliva

$$U_{d,celk} = \frac{Q_{d,vyt,skut}}{H_u} + \frac{Q_{d,TV}}{H_u} \text{ [m}^3\text{/rok]} \quad (37)$$

kde

H_u – výhřevnost paliva [MJ/m^3], (volím zemní plyn – tranzitní ruský, $H_u = 35,9 \text{ MJ/m}^3$)

$$U_{d,celk} = \frac{74467}{35,9} + \frac{14682}{35,9} = 2483 \text{ m}^3\text{/rok}$$

Cenu plynu uvažuji 8 Kč/ m^3 .

Cena paliva na vytápění a ohřev teplé vody je 19 900 Kč/rok.

22 Investiční náklady

Investiční náklady zahrnují pořizovací náklady na veškeré položky otopné soustavy. Do těchto nákladů není zahrnuta cena za realizaci projektu.

Investiční náklady jsou uvedeny v následující tabulce (tab. 18). Podrobný seznam položek uveden v příloze [P8].

Tab. 18: Investiční náklady na otopnou soustavu

položka	Cena [Kč]
Kondenzační kotel THERM 14 KDZ.A	28 599
Zásobník TV THERM OKC 160 NTR	13 794
Otopná tělesa	19 074
Cu potrubí včetně tvarovek, izolace	12 217
Podlahová otopná plocha, včetně příslušenství	59 025
Směšovací ventily, čerpadla, kohouty, rozdělovače, sběrače	33 042
Potrubí pro odvod spalin a přívod spalovacího vzduchu	13 585
Elektronická zařízení pro regulaci	38 828
celkem [Kč]	230 000

23 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout vhodný způsob vytápění novostavby rodinného domu. Na základě zvolené stavební konstrukce jsem spočítal tepelnou ztrátu rodinného domu podle evropské normy ČSN EN 12831, tj. $\Phi_1 = 12\,500\text{ W}$.

Při návrhu otopných ploch jsem kladl důraz nejen na investiční a provozní náklady, ale hlavně na tepelnou pohodu uživatele. Proto jsem zvolil vytápění pomocí podlahového vytápění, které sdílí do prostoru větší podíl tepla sáláním než vytápění pomocí otopných těles. Vytápění otopnými tělesy jsem použil v méně užívaných prostorech, tedy v PP rodinného domu. Teplotní spád celé otopné soustavy je 44/36 °C. Díky nízkému teplotnímu spádu jsem jako zdroj tepla zvolil plynový kondenzační kotel. Pro přípravu teplé vody byl zvolen nepřímotopný zásobník TV, který je připojen na zdroj tepla pro vytápění. Pomocí křivky dodávky a odběru tepla jsem navrhl objem zásobníku, který je 144 l.

V závěru práce jsem spočetl investiční náklady na realizaci vytápění v tomto domě. Celkové investiční náklady se pohybují okolo 230 000 Kč. Tato částka téměř odpovídá investičním nákladům na pořízení pouze samotného tepelného čerpadla. Provozní náklady na vytápění a ohřev vody se pohybují okolo 20 000 Kč/rok.

24 Seznam použité literatury

- [1] *Firemní podklady Heluz* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <http://www.heluz.cz/cs/vyrobek/heluz-family-44-brousen-a-1>
- [2] *Firemní podklady Cemix* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: http://t.cemix.cz/data/files/technicky_1_jadrova_omitka_strojni.pdf
- [3] *Firemní podklady Cemix* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: http://t.cemix.cz/data/files/technicky_1_beton_basic.pdf
- [4] *Firemní podklady Dek* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: https://www.dek.cz/get_dokument.php?id=90647437
- [5] *Firemní podklady Isover* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <http://www.isover-eshop.cz/isover-eps-150>
- [6] *Firemní podklady Cemix* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: http://t.cemix.cz/data/files/technicky_2_beton_basic.pdf
- [7] *Firemní podklady Wienerberger* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <https://wienerberger.cz/fakta/porotherm-strop-1366307943685>
- [8] *Firemní podklady Isover* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <https://www.isover.cz/produkty/isover-eps-grey-250>
- [9] *Firemní podklady Styrotrede* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <https://styrotrade.cz/cs/produkty/strechy/izolace-bezne-zatizenych-plochych-strech/styro-eps-150/>
- [10] *Firemní podklady Cemix* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: http://t.cemix.cz/data/files/technicky_1_samonivelacni_anhydritovy_poterv-25mpa.pdf
- [11] *Firemní podklady Par-ky* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <https://www.floorwood.cz/dyhovana-podlaha-milk-oak-premium-par-ky-pro/>
- [12] *Firemní podklady Gerflor* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: https://www.floorwood.cz/soubory/21315/Virtuo_classic_30.pdf
- [13] *Firemní podklady Panaria* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <http://www.maag-czech.cz/obklady-a-dlazby/3-5-mm/aisthesis/>
- [14] *Firemní podklady Heluz* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <http://www.heluz.cz/cs/vyrobek/heluz-24-brousen-a-1>
- [15] *Firemní podklady Heluz* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <http://www.heluz.cz/cs/vyrobek/heluz-14-brousen-a-1>
- [16] *Firemní podklady SCHÜCO* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <https://www.okna.eu/exclusiv-sb-75>
- [17] *Firemní podklady Heroal* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <https://www.okna.eu/exclusiv-hi-77-st>

- [18] *Firemní podklady Hormann* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: http://www.dlmont.cz/images_upload/files/Ak%C4%8Dn%C3%AD%20let%C3%A1k%20H%C3%B6rmann.pdf
- [19] *Firemní podklady Hormann* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: http://www.dlmont.cz/images_upload/files/Ak%C4%8Dn%C3%AD%20let%C3%A1k%20H%C3%B6rmann.pdf
- [20] *Firemní podklady P-mont* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <http://www.p-mont.cz/interierove-dvere/>
- [21] VDOLEČEK, F. *Sledování tepelné pohody člověka*. Technická diagnostika, 2006, roč.15, č. XX, s. 384-390, ISSN 1210-311X.
- [22] VRÁNA, J. *Technická zařízení budov v praxi*. Praha: Grada Publishing a.s, 2007. ISBN 978-80-247-1588-9.
- [23] *Plošné vytápění* [online]. Rehau. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <http://www.eurosystemy.cz/katalog/podlahove-topeni/rehau-podlahove-topeni-katalog.pdf>
- [24] *Otopné plochy - úvod do problematiky* [online]. TZB-info. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/otopne-plochy/3052-otopne-plochy-uvod-do-problematiky>
- [25] BAŠTA, J. *Otopné plochy*. Praha: ČVUT, 2016. ISBN 978-80-01-05943-2.
- [26] *Článeková otopná tělesa* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <http://www.topeni-topenari.eu/topeni/otopna-telesa/clankova.php>
- [27] *Desková otopná tělesa* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <https://www.aaaradiatory.cz/deskovy-radiator-delta-klasik-22-500-400-max-vykon-752-w-p1567/#gallery>
- [28] *Trubkové otopné těleso* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/10758182-Teplo-pro-vas-trubkova-otopna-telesa-novy-sortiment.html>
- [29] *Zapuštěný konvektor* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <https://www.akoupeľnyatopeni.cz/topeni-a-ohrev-vody/korado-konvektor-koraflex-fk-economic-u-140-15-42-fke1401542-np0ru1?gclid>
- [30] BOHÁČ, J. *Prezentace. Základy sálavého vytápění*.
- [31] BAŠTA, J. *Topenářská příručka*. Praha: Gas, 2001. ISBN 80-86176-81-9.
- [32] *Způsoby kladení podlahového vytápění* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <https://www.google.cz/search?biw=1536&bih=718&tbm=isch&sa=1&ei=x4gZW-ztE4K2sQGL6aO4CQ&q>
- [33] *Firemní podklady Rehau* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <https://www.1-topeni-levne.cz/katalog-podlahove-topeni-cenik/potrubi-pro-podlahove-topeni/nejprodavanejsi/produkt/trubka-pro-podlahove-topeni-rehau-rautherm-s-17x2>

- [34] *Nové zákony a povinná výměna kotlů* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <https://www.e-teplo.cz/nove-zakony-a-povinna-vymena-kotlu.html>
- [35] *Dakon kotel na tuhá paliva* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <https://www.centrumvytapani.cz/dakon-dor-4f-14-kotel-na-tuha-paliva->
- [36] *Opop automatický kotel na uhlí* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <https://www.centrumvytapani.cz/opop-h815-c---automaticky-kotel-na-cerne-uhli---nove-i-na-cerne-uhli-zavadeci-cena-do-3062018>
- [37] *Firemní podklady Dakon* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <https://www.dakon.cz/wp-content/uploads/2016/10/DOR-N-Automat-navod-k-instalaci-a-udrzbe.pdf>
- [38] *Elektrokotel Protherm* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <http://www.nejlevnejsitzb.cz/protherm-elektrokotel-ray-14k-0010018771/d-71303/>
- [39] *Firemní podklady Thermona* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <https://www.thermona.cz/plynove-kotle/plynove-kondenzacni-kotle/s-pripojenim-na-externi-zasobnik/kotel-therm-14-kdz-a>
- [40] VAVŘIČKA, R. *Prezentace. Základy zdravotně technických instalací.*
- [41] *Firemní podklady Korado* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <https://www.korado.cz/produkty/radik.html>
- [42] *Firemní podklady Korado* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <https://www.korado.cz/common/downloads/radik-8-stupnovy-vlozeny-ventil-pro-deskova-otopna-telesa-v-provedeni-ventil-kompakt.pdf>
- [43] *Firemní podklady Honeywell* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <https://products.ecc.emea.honeywell.com/cz/pdf/v2461-v2471-pd-en0h2207ge25r0115.pdf>
- [44] *Rozdělovač a sběrač Rehau* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <https://www.ivarcs.cz/storage/File/12001-14000/12428-file-CSTL-IVAR.CS-553-DRS.pdf>
- [45] *Firemní podklady Korado* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <https://www.korado.cz/common/downloads/pripojovaci-armatura-hm-1425561282.pdf>
- [46] *Firemní podklady Bola* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: https://www.bola.cz/admin/files/e_product_files/1/544/33310_NC402C_SXP_1__3.pdf
- [47] *Firemní podklady Wilo Stratos* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: http://www.wiloem.com/fileadmin/oem/download/datasheet/Datasheet_Yonos_PARA_RSL_6_RKC_Ku_April_2015.pdf
- [48] *Firemní podklady Wilo Stratos* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <https://www.cerpadlabezstarosti.cz/obehova-cerpadla/692-wilo-stratos-pico-301-4>
- [49] *Firemní podklady Wilo Stratos* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <https://www.cerpadlabezstarosti.cz/obehova-cerpadla/692-wilo-stratos-pico-301-4>

[50] BOHÁČ, J. Prezentace. Základy vytápění.

[51] Vavříčka, R. Prezentace. Základy zdravotně technických instalací.

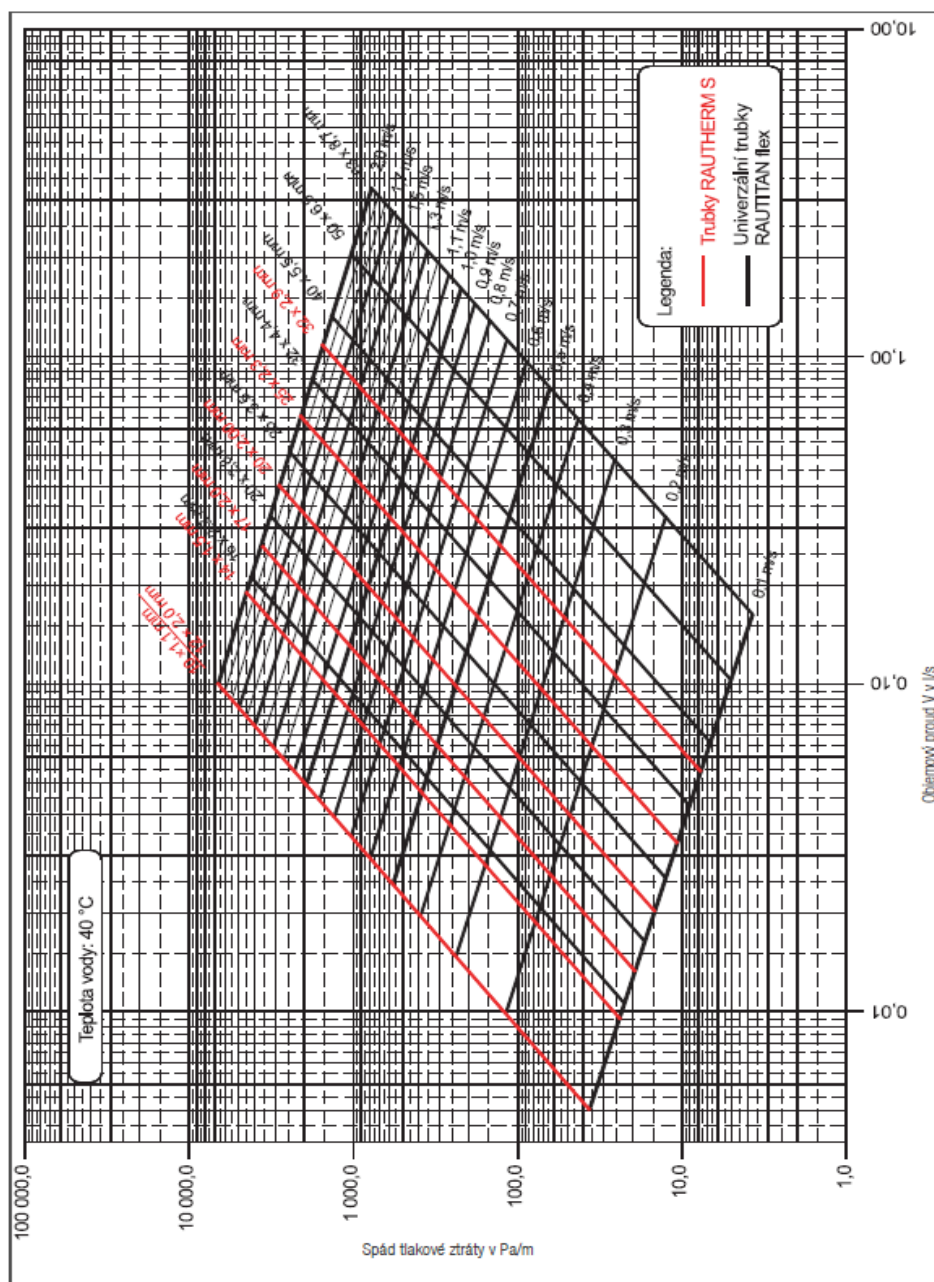
[52] *Firemní podklady Medportal* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: https://medenerozvody.cz/sites/default/files/publication_files/7_prirucka_k_projektovani_systemu_2012.pdf

[53] *Plošné vytápění* [online]. Rehau. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <http://www.eurosystemy.cz/katalog/podlahove-topeni/rehau-podlahove-topeni-katalog.pdf>

25 Seznam příloh

- [P1] Půdorys rodinného domu – PP rodinného domu, číslo výkresu 01, list 1/2
Vytápění v 1. PP, číslo výkresu 01, list 2/2
- [P2] Půdorys rodinného domu – 1. NP rodinného domu, číslo výkresu 01, list 1/2
Vytápění v 1. NP, číslo výkresu 02, list 2/2
- [P3] Půdorys rodinného domu – 2. NP rodinného domu, číslo výkresu 03, list 1/2
Vytápění v 2. NP, číslo výkresu 03, list 2/2
- [P4] Vytápění rodinného domu – Rozvinuté schéma, číslo výkresu 04, list 1/2
Detail technické místnosti, číslo výkresu 04, list 2/2
- [P5] Tabulka měrných tlakových ztrát měděných trubek [52] – pouze v elektronické podobě
- [P6] Diagram tlakové ztráty pro trubky Rautherm S [53]
- [P7] Technický list kondenzačního plynového kotle THERM 14 KDZ.A
- [P8] Výpočty v programu Excel 2016
- [P9] Křivka dodávky a odběru teplé vody Excel 2016
- [P10] Elektronická verze BP

[P6] Diagram tlakové ztráty pro trubky Rautherm S [53]



[P7] Technický list plynového kondenzačního kotle THERM 14 KDZ.A [39]

Technický popis	Jedn.	THERM 14 KD.A	THERM 14 KDZ.A	
Palivo	-	zemní plyn	zemní plyn	
Kategorie spotřebiče	-	I_{2H}	I_{2H}	
Jmenovitý tepelný příkon	kW	13,8	13,8	
Minimální tepelný příkon	kW	2,5	2,5	
Jmenovitý tepelný výkon na vytápění při $\Delta t = 80/60\text{ }^{\circ}\text{C}$	kW	13,4	13,4	
Jmenovitý tepelný výkon na vytápění při $\Delta t = 50/30\text{ }^{\circ}\text{C}$	kW	14,6	14,6	
Jmenovitý tepelný výkon na ohřev TV	kW	-	13,4	
Minimální tepelný výkon při $\Delta t = 50/30\text{ }^{\circ}\text{C}$	kW	2,6	2,6	
Minimální tepelný výkon při $\Delta t = 80/60\text{ }^{\circ}\text{C}$	kW	2,4	2,4	
Vrtání clony plynu	mm	4,5	4,5	
Přetlak plynu na vstupu spotřebiče	mbar	20	20	
Spotřeba plynu	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	0,26 – 1,46	0,26 – 1,46	
Max. přetlak topného systému	bar	3	3	
Min. přetlak topného systému	bar	0,8	0,8	
Max. vstupní tlak TV	bar	-	-	
Min. vstupní tlak TV	bar	-	-	
Max. výstupní teplota topné vody	$^{\circ}\text{C}$	80	80	
Varianty odtahu spalin	mm	60/100, 80/125, 2x 80	60/100, 80/125, 2x 80	
Průměrná teplota spalin	$^{\circ}\text{C}$	50	50	
Hmotnostní průtok spalin	$\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$	1,6 – 10,7	1,6 – 10,7	
Hladina akustického výkonu	dB	57	57	
Účinnost kotle	%	98 – 106	98 – 106	
Třída NOx kotle	-	5	5	
Jmenovité napájecí napětí / frekvence	V / Hz	230 / 50 ~	230 / 50 ~	
Pomocná elektrická energie při	jmenovitým tepelném příkonu	W	63,0	63,0
	částečném zatížení	W	48,0	48,0
	pohotovostním stavu	W	4,0	4,0
Jmenovitý proud pojistky spotřebiče	A	2	2	
Stupeň krytí el. částí	-	IP 41 (D)	IP 41 (D)	
Prostředí dle ČSN 33 20 00 – 3	-	základní AAS / ABS	základní AAS / ABS	
Objem expanzomatu	l	6	6	
Plnicí přetlak expanzomatu	bar	1	1	