

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STROJNÍ  
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

---

STUDIE VYTÁPĚNÍ RODINNÉHO DOMU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Maleček** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **424083**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**  
Studijní program: **Strojírenství**  
Studijní obor: **Technika životního prostředí**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Studie vytápění rodinného domu**

Název bakalářské práce anglicky:

**Study of Heating for a Family House**

Pokyny pro vypracování:

Určete tepelně technické parametry stávajícího dvoupodlažního rodinného domu a navrhnete opatření tak, aby bylo vyhověno normativním požadavkům. Pro nové tepelně technické parametry objektu navrhnete optimální otopnou soustavu a zdroj tepla.

Seznam doporučené literatury:

Bašta, J., Kabele, K.: Otopné soustavy teplovodní - sešit projektanta. Třetí přepracované vydání. STP 2008, ISBN 978-80-02-02064-6, 96 s.  
Bašta, J.: Velkoplošné sálavé vytápění. Grada Publishing, a.s., Praha 2010, 128s., ISBN 978-80-247-3524-5.  
Bašta, J.: Regulace v technice prostředí staveb. Česká technika - nakladatelství ČVUT. Praha 2014, 194s., ISBN 978-80-01-05455-0  
Bašta, J.: Otopné plochy - otopná tělesa. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2016. - 204 s. - ISBN 978-80-01-05943-2.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**prof. Ing. Jiří Bašta Ph.D., ústav techniky prostředí FS**

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

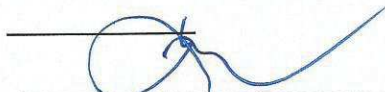
Datum zadání bakalářské práce: **20.04.2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **30.06.2017**


Platnost zadání bakalářské práce:



Podpis vedoucí(ho) práce



Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry



Podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

**5.5.2017**

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

## **Souhrn**

Předmětem této bakalářské práce je studie vytápění rodinného domu, který má dvě nadzemní podlaží a jedno podzemní podlaží. Byly posouzeny tepelně technické vlastnosti obálky a navržena příslušná opatření, aby obálka splňovala požadované hodnoty dle normy ČSN 73 05 40. V návaznosti na výpočet těchto hodnot byly vypočteny tepelné ztráty objektu a navržena otopná tělesa s příslušným zdrojem tepla. Lokální ohřev teplé vody rodinného domu byl vyřešen pomocí přímo ohřívajícího zásobníku teplé vody. Pro stávající stav rodinného domu byl vypočten průkaz energetické náročnosti budovy neboli PENB.

## **Summary**

Subject of this bachelor thesis is a study of a heating system of a family house with two above ground floors. Technical characters of the covers were calculated and appropriate measures were designed to meet the standards of CSN 73 05 40. In response to these calculations, heat loss of the object was calculated and appropriate heat radiators with given source of heat were designed. Local hot water heating of the house was resolved with directly heated DHW cylinder. Energy performance certificate was also calculated for the current condition of the house.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Studie vytápění rodinného domu“ vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Jiřího Bašty, Ph.D., s použitím literatury uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze 12. 6. 2017

Jakub Maleček

## **Poděkování**

Velice rád bych poděkoval panu prof. Ing. Jiřímu Baštovi, Ph.D., za velmi cenné rady při vypracování této bakalářské práce a také firmě AG Energy a jejímu majiteli panu Ing. Karlu Šafaříkovi za poskytnutí potřebného softwaru. Také bych chtěl poděkovat rodičům, že mně umožnili studovat na ČVUT v Praze na Fakultě strojní a plně mě při celém mém studiu podporovali.

## Obsah

<b>1. ÚVOD</b> .....	<b>6</b>
<b>2. ŘEŠENÍ RODINNÉHO DOMU</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1 Tepelně technické vlastnosti RD</b> .....	<b>7</b>
2.1.1 Skladba svislých konstrukcí .....	7
2.1.2 Skladby vodorovných konstrukcí .....	9
2.1.3 Výplně otvorů .....	9
2.2 Výpočet součinitele prostupu tepla .....	10
2.3. Výpočet tepelných ztrát .....	12
2.3.1 Výpočet tepelných ztrát objektu .....	13
<b>3. ZDROJ TEPLA PRO VYTÁPĚNÍ</b> .....	<b>22</b>
3.1 Volba zdroje tepla .....	24
3.2. Návrh ohřevu teplé vody (TV) .....	26
<b>4. OTOPNÁ SOUSTAVA</b> .....	<b>31</b>
4.1. Otopné plochy .....	31
4.2. Návrh otopných těles .....	32
4.3. Návrh potrubní sítě .....	35
4.4. Hydraulické vyvážení otopné soustavy .....	42
<b>5. ZABEZPEČOVACÍ A POJISTNÉ ZAŘÍZENÍ</b> .....	<b>44</b>
5.1 Návrh zabezpečovacího zařízení .....	44
5.2 Návrh pojistného ventilu .....	45
<b>6. PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOV</b> .....	<b>46</b>
6.1 Vyhodnocení průkazu energetické náročnosti budovy .....	49
<b>7. ZÁVĚR</b> .....	<b>50</b>

**Značky a jednotky**

$A$	-plocha	[m <sup>2</sup> ]
$G$	-opravný součinitel	[-]
$H$	-součinitel tepelné ztráty	[W/m.K]
$P'$	-obvod uvažované podlahové konstrukce	[m]
$Q$	-tepelný výkon	[W]
	-teplo	[kWh]
$R$	-tepelný odpor	[m <sup>2</sup> .K/W]
	-měrná tlaková ztráta	[Pa/m]
$U$	-součinitel prostupu tepla	[W/m <sup>2</sup> .K]
$V$	-objem	[m <sup>3</sup> ]
$\dot{V}$	-objemový průtok	[m <sup>3</sup> /s]
$Z$	-tlaková ztráta místními odpory	[Pa]
	- poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci TV	[-]
$b$	-opravný součinitel teploty	[-]
$c$	-měrná tepelná kapacita	[J/kg.K]
	-teplotní podílový součinitel	[-]
$c^*$	-měrná tepelná kapacita vody pro teplou vodu	[kWh/m <sup>3</sup> .K]
$d$	-vnitřní průměr potrubí	[m]
$e$	-stínící součinitel	[-]
	-korekční součinitel na povětrnostní vlivy	[-]
$f$	-opravný teplotní součinitel	[-]
$g$	-tíhové zrychlení	[m/s <sup>2</sup> ]
$h$	-výška vodního sloupce	[m]

$l$	-délka potrubí	[m]
$\dot{m}$	-hmotnostní průtok tělesa	[kg/s]
$n$	-součinitel zvětšení objemu	[-]
	-počet osob	[-]
	-intenzita výměny vzduchu	[1/h]
$p$	-tlak	[Pa]
$s$	-tloušťka vrstvy konstrukce	[m]
$t$	-teplota	[°C]
$w$	-střední rychlost proudění podle průtoku	[m/s]
$\alpha$	-součinitel přestupu tepla	[W/m <sup>2</sup> .K]
$\Delta p$	-tlaková ztráta	[Pa]
$\Delta t$	-rozdíl teplot	[K]
$\Delta U$	-navýšený součinitel prostupu tepla	[W/m <sup>2</sup> .K]
$\varepsilon$	-výškový korekční součinitel	[-]
$\theta$	-výpočtová teplota	[°C]
$\lambda$	-součinitel tepelné vodivosti	[W/m.K]
	-součinitel tlakové ztráty třením	[-]
$\eta$	-stupeň využití expanzní nádoby	[-]
$\xi$	-součinitel místních odporů	[-]
$\rho$	-hustota	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\Phi$	-tepelná ztráta	[W]
$\tau$	-časová doba	[h]

**Indexy**

<i>2p</i>	-ohřívač TV
<i>2t</i>	-ohřev vody
<i>2z</i>	-ztráty při distribuci TV
<i>50</i>	-při rozdílu 50 Pa
<i>A</i>	-absolutní
<i>b</i>	-barometrický
<i>c</i>	-celkový
<i>d,dov</i>	-dolní dovolený
<i>e</i>	-venkovní
<i>equiv,k</i>	-ekvivalentní
<i>ext</i>	-venkovní
<i>g</i>	-podlahová konstrukce -vliv venkovní výpočtové teploty
<i>h,dov</i>	-horní dovolený
<i>hv</i>	-hlavní větve
<i>int</i>	-interiér
<i>int,i</i>	-vytápěný prostor
<i>inst</i>	-instalovaný
<i>k</i>	-konstrukce
<i>kc</i>	-korigovaný
<i>max</i>	-maximální
<i>n</i>	-jmenovitý
<i>rš</i>	-regulační šroubení



<i>s</i>	-soustava
<i>s,i</i>	-rozdíl v dodávce tepla
<i>sk</i>	-skutečný
<i>T,i</i>	-prostupem tepla
<i>T,ie</i>	-prostupem z vytápěného prostoru (i) do exteriéru (e)
<i>T,ig</i>	-prostupem z vytápěného prostoru (i) do zeminy (g) za ustáleného stavu
<i>T,ij</i>	prostupem z vytápěného prostoru (i) do sousedícího vytápěného prostoru (j), který se vytápí na výrazně jinou teplotu
<i>T,iue</i>	-prostupem z vytápěného prostoru (i) do exteriéru (e) přes nevytápěný prostor (u)
<i>Trv</i>	-termostatického regulačního ventilu
<i>tv,den</i>	-teplé vody na osobu a den
<i>u</i>	-přílehlý nevytápěný prostor
<i>vv</i>	-vedlejší větve
<i>V,i</i>	-větráním
<i>vsp</i>	-sousední vytápěný prostor
<i>w</i>	-spodních vod
<i>w1</i>	-přívodní voda
<i>w2</i>	-vratná voda
<i>zdr</i>	-zdroje
<i>zm</i>	-ztráta místními odpory
<i>zt</i>	-ztráta třením

## 1. ÚVOD

V dnešní době je pro každého člověka důležité, aby se cítil v obytných prostorech dobře. Tohoto pocitu můžeme docílit tehdy, pokud je ve vytápěném obytném prostoru splněna tepelná pohoda prostředí. Toto mikroklima je velice důležité pro fyzický a dokonce i pro psychický stav člověka. V posledních letech, kdy převažují kancelářské práce, stráví člověk v obytných prostorech až 80 % veškerého času. Proto je velice důležité, aby se i zde cítil pohodlně.

Tepelná pohoda se dá zajistit mnoha způsoby. Z hlediska teploty v prostoru například teplovzdušným vytápěním, sálavým vytápěním nebo konvekčním vytápěním. Dají se použít i různé druhy zdroje tepla, které tento stav také ovlivňují. Například plynové kotle, kotle na tuhá paliva nebo tepelná čerpadla. Dále je už na nás, abychom zvolili optimální metodu návrhu, pro daný objekt.

V této práci řeším studii vytápění rodinného domu, na který navrhnu opatření, která budou splňovat požadavky dle normy ČSN 73 0540. Postupně jsem řešil výpočet tepelných ztrát, na který dále navrhnu vhodná otopná tělesa a zdroj tepla, který odpovídá teplotnímu spádu a má dostatečný tepelný výkon. Dále řeším přípravu teplé vody, která zajistí dostatečný objem vody pro 6 osob, které v daném objektu bydlí. Celá otopná soustava byla řádně nadimenzována a vhodně zregulována, aby správně fungovala a byla tak docílena tepelná pohoda prostředí z hlediska teploty ve všech vytápěných místnostech.

## 2. ŘEŠENÍ RODINNÉHO DOMU

Cílem této bakalářské práce je navrhnout přípravu teplé vody a vytápění pro objekt, který se nachází v okrese Pardubice. Řešený dům se skládá ze dvou nadzemních podlaží a jednoho podzemního.

V podzemním podlaží se nachází garáž s jedním parkovacím místem a dílnou, prádelna, posilovna a technická místnost, kde bude umístěn kondenzační kotel a plynový přímo ohřívavý zásobník teplé vody. V prvním nadzemním podlaží je umístěna kuchyň, obývací pokoj, dva obytné pokoje, koupelna s toaletou a nevytápěná spíž. V druhém nadzemním podlaží je také jedna kuchyň, obývací pokoj, ložnice a koupelna s toaletou. V rodinném domě žije dohromady šest osob. V přízemí čtyřčlenná rodina a v druhém nadzemním podlaží žijí dvě osoby. Objekt má nevytápěnou půdu a sedlovou střechu bez tepelné izolace.

Tab 1. Tabulka popisu lokality umístění budovy

Lokalita umístění rodinného domu	Pardubice
Venkovní výpočtová teplota $t_e$	-12 °C
Střední venkovní teplota v otopném období $t_{es}$	4,1 °C
Délka otopného období	234 dnů

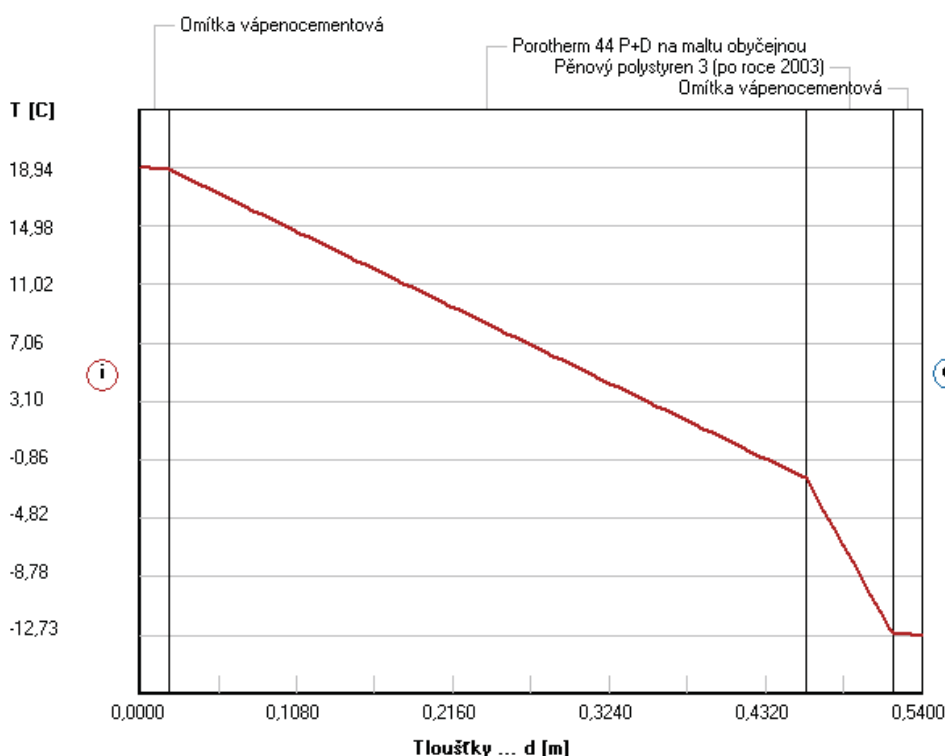
### 2.1 Tepelně technické vlastnosti RD

Pro návrh otopné soustavy potřebujeme znát tepelně technické vlastnosti budovy. Ty umožní výpočet tepelných ztrát budovy, které se skládají z tepelných ztrát prostupem a tepelné ztráty větráním. Ztráty prostupem nejvíce ovlivňuje součinitel prostupu tepla  $U$  [W/m<sup>2</sup>.K], který je závislý na složení konstrukce, součiniteli tepelné vodivosti  $\lambda$  [W/m.K] jednotlivých vrstev konstrukce a tloušťka jednotlivých vrstev konstrukce  $d$  [m].

#### 2.1.1 Skladba svislých konstrukcí

Ochlazovaná venkovní nosná stěna bude složena s cihelného bloku Porotherm 44 P+D. Tyto nosné cihly jsou široké 440 mm a jejich součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  [W/m.K] se pohybuje v rozmezí 0,130 – 0,155 W/m.K. Pro výpočet byla uvažována hodnota 0,14 W/m.K. Jako izolační prvek svislé konstrukce byla navržena tepelná izolace z polystyrenu ISOVER EPS o tloušťce 60 mm. Tloušťka materiálu byla navrhována tak, aby daná konstrukce splňovala doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla

$U_{rec,20} = 0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  [W/m.K] u daného polystyrenu je  $0,037 \text{ W/m.K}$ . Protože tato hodnota byla naměřena v laboratořích za ideálních podmínek, tak se součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  [W/m.K] navyšuje z důvodu nasákavosti u vláknitých materiálů o 7 % a u méně nasákavých materiálů o 3 %. Pro další výpočty budu používat již zvýšenou hodnotu  $0,038 \text{ W/m.K}$ . Z vnitřní i vnější strany bude na zdivo nanášena vápenocementová omítka o tloušťce 20 mm se součinitelem tepelné vodivosti  $\lambda = 0,99 \text{ W/m.K}$ . Lepící tmely, kterými se připevňuje tepelná izolace k cihelným blokům se do výpočtů neuvažují, protože mají minimální vliv na součinitel prostupu tepla  $U$ . Na obrázku 2.1 můžete vidět průběh teplot danou konstrukcí směrem z interiéru do exteriéru.



Obr. 2.1. Rozložení teplot v konstrukci. Graf závislosti teploty na tloušťce obvodového zdiva [L1]

Vnitřní neochlazovaná nosná stěna bude složena z cihelného bloku Porotherm 30 P+D. Tento cihelný blok má tloušťku 30 mm a součinitel tepelné vodivosti  $\lambda = 0,175 \text{ W/m.K}$ . Z obou stran bude na zdivo nanášena vápenocementová omítka o tloušťce 20 mm a součiniteli tepelné vodivosti  $\lambda = 0,99 \text{ W/m.K}$ .

Vnitřní neochlazovaná nenosná příčka se bude skládat z tvárnic systému YTONG o tloušťce 100 mm. Součinitel tepelné vodivosti pro tuto příčku je

$\lambda = 0,16 \text{ W/m.K}$ . Z obou stran bude na zdivo nanесena vápenocementová omítka o tloušťce 20 mm a součiniteli tepelné vodivosti  $\lambda = 0,99 \text{ W/m.K}$ .

### 2.1.2 Skladby vodorovných konstrukcí

Podlaha v prvním podzemním podlaží je přilehlá k zemině a skládá se z železobetonu, který má tloušťku 80 mm a součinitel tepelné vodivosti  $\lambda = 1,60 \text{ W/m.K}$ . Dále je instalována tepelná izolace z čedičové vlny ISOVER N, která bude mít tloušťku 140 mm. Výrobce udávaný součinitel tepelné vodivosti  $\lambda = 0,036 \text{ W/m.K}$  bude pro výpočet navýšen o 7 % na hodnotu  $0,039 \text{ W/m.K}$ .

Další vodorovnou konstrukcí je strop mezi prvním podzemním podlažím a prvním nadzemním podlažím a mezi prvním nadzemním podlažím a druhým nadzemním podlažím. Tato konstrukce se skládá z betonu, který má tloušťku 60 mm a součinitel tepelné vodivosti  $\lambda = 1,60 \text{ W/m.K}$ , z tepelné izolace z čedičové vlny ISOVER N, která bude mít tloušťku 140 mm a navýšený součinitel tepelné vodivosti  $\lambda = 0,039 \text{ W/m.K}$ . Jako nosný prvek v těchto stropěch jsou použity vložky MIAKO o tloušťce 240 mm a součiniteli tepelné vodivosti  $\lambda = 0,83 \text{ W/m.K}$ .

Poslední vodorovná konstrukce se nachází mezi druhým nadzemním podlažím a nevytápěnou půdou. Tento strop se skládá z betonu o tloušťce 60 mm, který má součinitel tepelné vodivosti  $\lambda = 1,60 \text{ W/m.K}$ . Tento strop bude izolován čedičovou vlnou ISOVER UNI o tloušťce 140 mm se součinitelem tepelné vodivosti po navýšení o 7 %  $\lambda = 0,038 \text{ W/m.K}$ . Nosným prvkem budou opět vložky MIAKO, které budou mít tloušťku 240 mm a součinitel tepelné vodivosti  $\lambda = 0,83 \text{ W/m.K}$ .

### 2.1.3 Výplně otvorů

Rodinný dům má dohromady 29 oken, jedny vchodové dveře, jedna garážová vrata a jedny balkónové dveře, které byly pro výpočet uvažovány jako okno.

Vchodové dveře jsou dřevěné a plně bez skleněné výplně od firmy DARE. Součinitel prostupu tepla dveří je  $U = 1,6 \text{ W/m}^2\text{.K}$ .

Všechny okna jsou typu CLASSIC 70 od výrobce OKNA.EU. Jedná se o pětikomorový profil systému TROCAL s izolačním dvojsklem, které budou nastaveny na mikro ventilaci a mají součinitel prostupu tepla  $U = 1,2 \text{ W/m}^2\text{.K}$ . V objektu se nachází i jedny balkónové dveře. Jelikož jsou založeny na stejném principu jako okna a jsou od

stejného dodavatele, tak se uvažuje stejný součinitel prostupu tepla jako u oken  $U = 1,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ .

V garáži jsou instalována garážová vrata, která mají součinitel prostupu tepla  $U = 2,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ .

## 2.2 Výpočet součinitele prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla  $U \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]}$  je nedílnou součástí pro výpočet tepelných ztrát prostupem tepla obálkou budovy. Tato hodnota nám udává, kolik tepla projde jedním metrem čtverečním daného materiálu z teplejšího prostředí do chladnějšího prostředí při teplotním rozdílu 1 K. Součinitel prostupu tepla se skládá z přenosu tepla vedením, konvekcí a sáláním. Složka vedení je závislá na tloušťce a součiniteli tepelné vodivosti  $\lambda \text{ [W/m} \cdot \text{K]}$ , kdežto konvekce je ovlivňována prouděním vzduchu, kde dochází k přestupu tepla nucenou nebo přirozenou konvekcí

Hodnoty součinitele prostupu tepla udává norma ČSN 73 0540-2:2011, která nám udává hodnoty požadované  $U_{N,20}$ , doporučené  $U_{rec,20}$  a hodnoty pro pasivní budovy  $U_{pas,20}$ .

Součinitel prostupu tepla je dán vztahem[L2]:

$$U = \frac{1}{\alpha_{int} + \sum \frac{s}{\lambda} + \alpha_{ext}} = \frac{1}{R_{int} + \sum R + R_{ext}}$$

$$= \frac{1}{R_{int} + \sum \frac{s}{\lambda} + R_{ext}} \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}], \quad (1)$$

kde

$\alpha_{int}$	součinitel přestupu tepla na vnitřní straně	$[\text{W/m}^2 \cdot \text{K}]$
$\alpha_{ext}$	součinitel přestupu tepla na venkovní straně	$[\text{W/m}^2 \cdot \text{K}]$
$s$	tloušťka vrstvy konstrukce	$[\text{m}]$
$\lambda$	součinitel tepelné vodivosti	$[\text{W/m} \cdot \text{K}]$
$R$	tepelný odpor stavební konstrukce	$[\text{m}^2 \cdot \text{K/W}]$
$R_{int}$	tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně	$[\text{m}^2 \cdot \text{K/W}]$

$R_{ext}$  tepelný odpor při přestupu tepla na venkovní straně [ $m^2.K/W$ ].

Hodnoty tepelného odporu se liší ve smyslu toku tepla. Při výpočtu ochlazované obvodové stěny je směr toku tepla vodorovný, takže byla zvolena hodnota tepelného odporu při přestupu tepla na vnitřní straně  $R_{int} = 0,13 m^2.K/W$  a tepelný odpor při přestupu tepla na venkovní straně  $R_{ext} = 0,04 m^2.K/W$ . Tento tepelný odpor se uvažuje ve všech směrech toku tepla stejný. Při výpočtu vnitřních neochlazovaných nosných i nenosných konstrukcí byl uvažován tepelný odpor při přestupu tepla z obou stran  $R_{int} = 0,13 m^2.K/W$ . Při výpočtu součinitele prostupu tepla pro stropní konstrukci do nevytápěné půdy, kde je tepelný tok nahoru, se uvažuje tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně  $R_{int} = 0,10 m^2.K/W$ .

V tabulce č. 2 je uvedena skladba obvodové ochlazované stěny a níže je proveden vzorový výpočet součinitele prostupu tepla  $U$ .

Tab. 2. Složení obvodové ochlazované konstrukce

Popis stavebního prvku	$\lambda$ [W/m.K]	s [m]
Vápenocementová omítka	0,99	0,002
Porotherm 44 P+D	0,14	0,44
ISOVER ESP 100	0,038	0,06
Vápenocementová omítka	0,99	0,002

Vzorový výpočet součinitele prostupu tepla obvodové konstrukce

$$U = \frac{1}{R_{int} + \sum R + R_{ext}} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,002}{0,99} + \frac{0,44}{0,14} + \frac{0,06}{0,038} + \frac{0,002}{0,99} + 0,04}$$

$$= 0,2 W/m^2.K$$

Skladby konstrukcí byly navrhovány tak, aby jejich součinitelé prostupu tepla byly v souladu s normou ČSN 73 0540-2:2011 a vyhovovaly tak požadavku na požadované hodnoty  $U_{N,20}$ . Pokud by součinitel prostupu tepla u konstrukcí byl větší než požadované hodnoty  $U_{N,20}$ , bylo by potřeba provést patřičné opatření s obálkou budovy. Ve většině případů se tento problém řeší dodatečným zateplením obvodové konstrukce.

Všechny navržené konstrukce splňují normované požadované hodnoty dle ČSN 73 0540.

Tab. 3. Porovnání vypočítaných hodnot součinitele prostupu tepla  $U$  s požadovanými  $U_{N,20}$  I(ČSN 73 0540)

Název konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/m <sup>2</sup> .K]			Podmínka $U \leq U_{N,20}$
	Požadované hodnoty $U_{N,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$	Vypočtené hodnoty $U$	
Stěna vnější	0,30	0,20	0,20	Vyhovuje
Stěna vnitřní 300 mm	2,7	1,8	0,50	Vyhovuje
Příčka vnitřní 100 mm	2,7	1,8	1,16	Vyhovuje
Podlaha přilehlá k zemině	0,45	0,30	0,25	Vyhovuje
Podlaha mezi podlažími	2,2	1,45	0,24	Vyhovuje
Strop pod nevytápěnou půdou	0,30	0,20	0,23	Vyhovuje
Okna s izolačním dvojsklem	1,5	1,2	1,2	Vyhovuje
Vchodové dveře	1,7	1,2	1,6	Vyhovuje

### 2.3. Výpočet tepelných ztát

Výpočet tepelných ztrát je jednou z nejdůležitějších informací o objektu, který nám slouží pro návrh otopné soustavy. Dle této hodnoty se dále určuje, jaký bude potřebný zdroj tepla pro vytápění, který dokáže pokrýt tepelnou ztrátu a jaká otopná soustava bude pro daný objekt nejvhodnější.

Dříve se tepelné ztráty se počítaly podle české normy ČSN 06 0210 „Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění“, která byla vydána 1. 5. 1994 a platila do 1. 9. 2008, kdy byla platnost normy ukončena. [L3] Tato norma byla nahrazena normou ČSN EN 12831 „Tepelné soustavy v budovách – výpočet tepelného výkonu“, která byla schválena 2. 3. 2005 [L4]. Hlavní rozdíl v těchto dvou variantách výpočtu tepelných ztrát je v tom, že platná evropská norma uvažuje ve svých postupech tepelné mosty. Tepelné mosty jsou místa, kde je tok tepla větší, než v klasických místech konstrukce. Setkat se



s tím můžeme u výpočtů pasivních domů, kde dbáme na detailní výpočet z hlediska energetické náročnosti. S tepelnými mosty se můžeme také setkat u průkazu energetické náročnosti budov.

### 2.3.1 Výpočet tepelných ztrát objektu

V této práci počítám tepelné ztráty objektu podle aktuální normy ČSN EN 12831 „Tepelné soustavy v budovách – výpočet tepelného výkonu“. Tato norma počítá tepelné ztráty prostupem obálkou a tepelnou ztrátou větráním. V současné době, kdy je kladen velký důraz na zateplení konstrukcí a dosažení větších hodnot tepelného odporu daných konstrukcí  $R$  [ $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ], tvoří většinu tepelné ztráty tepelná ztráta větráním, která je způsobena příivodem čerstvého vzduchu, s ohledem na hygienické požadavky na výměnu vzduchu. Jelikož je výpočet tepelných mostů složitý, tak byla uvažována zjednodušená metoda výpočtu podle prof. Vaverky. Tuto metodu jsem použil proto, že přesné řešení tepelných mostů není známo a výpočet je zdlouhavý a zatěžující. „Přesný výpočet dává smysl u pasivních domů, kde tepelné mosty hrají důležitou roli.“ [L5]. Metoda prof. Vaverky spočívá v navýšení součinitele prostupu tepla obvodové konstrukce  $U$  o opravný součinitel  $\Delta U_{tb}$  [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ], který je pro konstrukce s mírnými tepelnými mosty  $0,05 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$  [L5].

Základní výpočet tepelných ztrát se provádí podle vztahu:

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} \quad [\text{W}], \quad (3)$$

kde

$\Phi_i$	celková navrhovaná tepelná ztráta vytápěného prostoru	[W]
$\Phi_{T,i}$	navrhovaná tepelná ztráta prostupem tepla vyt. prostoru	[W]
$\Phi_{V,i}$	navrhovaná tepelná ztráta větráním	[W].

Navrhovaná tepelná ztráta prostupem tepla vytápěného prostoru  $\Phi_{T,i}$  se vypočítá podle vztahu:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [\text{W}], \quad (4)$$

kde

$\Phi_{T,i}$	navrhovaná tepelná ztráta prostupem tepla vyt. prostoru	[W]
--------------	---	-----

$H_{T,ie}$	součinitel tepelné ztráty prostupem (měrná tepelná ztráta prostupem) z vytápěného prostoru (i) do exteriéru (e) přes obvodovou konstrukci	[W/K]
$H_{T,iue}$	součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do exteriéru (e) přes nevytápěný prostor (u)	[W/K]
$H_{T,ig}$	součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do zeminy (g) za ustáleného stavu	[W/K]
$H_{T,ij}$	součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do sousedícího vytápěného prostoru (j), který se vytápí na výrazně jinou teplotu	[W/K]
$\theta_{int,i}$	vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru	[°C]
$\theta_e$	venkovní oblastní výpočtová teplota	[°C].

Součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do exteriéru (e) přes obvodovou konstrukci  $H_{T,ie}$  se vypočítá podle zjednodušeného vztahu:

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_{kc} \cdot e_k \quad [\text{W/K}], \quad (5)$$

kde

$A_k$	plocha stavební části	[m <sup>2</sup> ]
$U_{kc}$	korigovaný součinitel prostupu tepla	[W/m <sup>2</sup> ·K]
$e_k$	korekční součinitel na povětrnostní vlivy	[-].

Součinitel přestupu tepla  $U_{kc}$  se dále navyšuje podle prof. Vaverky. Jeho výpočet se provádí podle vztahu:

$$U_{kc} = U_k + \Delta U_{tb} \quad [\text{W/K}] \quad (6)$$

kde

$U_k$	vypočtený součinitel prostupu tepla konstrukce	[W/m <sup>2</sup> ·K]
$\Delta U_{tb}$	opravný součinitel	[W/m <sup>2</sup> ·K].

Opravný součinitel  $\Delta U_{tb}$  volíme podle typu konstrukce v tabulce č. 4

Tab. 4 Hodnoty opravného součinitele  $\Delta U_{tb}$  podle prof. Vaverky

Název	Popis	Hodnota $\Delta U_{tb}$ [W/m <sup>2</sup> ·K]
Úspěšně optimalizované řešení	Konstrukce téměř bez tepelných mostů	0,02
Typové či opakované řešení	Konstrukce s mírnými tepelnými mosty	0,05
Standardní řešení	Konstrukce s běžnými tepelnými mosty	0,10
Zanedbané řešení	Konstrukce s výraznými tepelnými mosty	0,15

Jelikož má řešený objekt souvislou izolaci na obvodových konstrukcích, tak se dá uvažovat s hodnotou opravného součinitele  $\Delta U_{tb} = 0,05 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Součinitel tepelné ztráty prostupem tepla z (i) do (e) přes nevytápěný prostor (u)  $H_{T,iue}$ , se vypočítá podle vztahu:

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_{kc} \cdot b_u \quad [\text{W/K}], \quad (7)$$

kde

$b_u$  opravný součinitel zahrnující rozdíl teplot mezi teplotou nevytápěného prostoru a venkovní návrhovou teplotou [-].

Je-li teplota v nevytápěném prostoru již stanovena, tak se pro výpočet opravného součinitele  $b_u$  postupuje podle vztahu:

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

kde

$\theta_U$  teplota přilehlého nevytápěného prostoru [°C].

Pro výpočet součinitele tepelné ztráty prostupem  $H_{T,iue}$  se také uvažuje zjednodušená metoda prof. Vaverky.

Součinitel tepelné ztráty prostupem tepla zeminou z interiéru do zeminy  $H_{T,ig}$  se vypočítá podle vztahu:

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot \left( \sum A_k \cdot U_{equiv,k} \right) \cdot G_w \quad [W/K], \quad (9)$$

kde

$f_{g1}$  opravný součinitel zohledňující vliv ročních změn venkovní teploty [-]

$f_{g2}$  opravný součinitel na průměrnou venkovní teplotu a výpočtovou venkovní teplotu. Stanoví se dle:

$$f_{g2} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{m,e}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad [-], \quad (10)$$

$A_k$  plocha stavební části, která se dotýká zeminy [m<sup>2</sup>]

$U_{equiv,k}$  ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavebních částí [W/m<sup>2</sup>.K]

$G_w$  opravný součinitel zohledňující hladinu spodních vod nad objektem [-].

Ekvivalentní součinitel prostupu tepla  $U_{equiv,k}$  je závislý na typu podlahy, který určíme parametrem  $B'$ , a je dán vztahem:

$$B' = \frac{A_g}{0,5 \cdot P'} \quad [-], \quad (11)$$

kde

$A_g$  plocha uvažované podlahové konstrukce [m<sup>2</sup>]

$P'$  obvod uvažované podlahové konstrukce. Jedná se o konstrukce, které jsou umístěny na obvodovém plášti [m].

Výpočet součinitele tepelné ztráty prostupem tepla z interiéru do sousední vytápěné místnosti, která je vytápěna na výrazně jinou teplotu  $H_{T,ij}$  se určí podle vztahu:

$$H_{T,ij} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot f_{i,j} \quad [W/K], \quad (12)$$

kde

$f_{i,j}$  opravný teplotní součinitel, který udává rozdíl mezi teplotou v sousední místnosti, která je vytápěna na jinou teplotu a venkovní oblastní výpočtové teploty. Tento součinitel je dán vztahem:

$$f_{i,j} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{vsp}}{\theta_{int,i} - \theta_e}$$

$\theta_{vsp}$  teplota v sousedním vytápěném prostoru  $[\text{°C}]$ .

Druhá část výpočtů tepelných ztrát je tepelná ztráta větráním. Tato tepelná ztráta vzniká otíráním oken, kvůli výměně vzduchu z důvodu hygienických požadavků a pomocí netěsnostmi spár oken a dveří. Tepelná ztráta větráním se vypočítá podle vztahu:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [W], \quad (13)$$

kde

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

$\theta_{int,i}$  vnitřní výpočtová teplota  $[\text{°C}]$

$\theta_e$  venkovní oblastní výpočtová teplota  $[\text{°C}]$ .

Součinitel návrhové tepelné ztráty větráním se vypočítá podle vztahu:

$$H_{V,i} = V_i \cdot \rho \cdot c_p \quad [W], \quad (14)$$

kde

$V_i$  objemový průtok vzduchu  $[\text{m}^3/\text{s}]$

$\rho$  hustota vzduchu  $1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$

$c_p$  měrná tepelná kapacita vzduchu  $1010 \text{ J}/\text{kg}\cdot\text{K}$

Vzorec na součinitel návrhové tepelné ztráty větráním se dá zjednodušeně uvažovat jako  $H_{V,i} = V_i \cdot 0,34 \quad [W/K]$  (15)

Kde je objemový průtok dosazován v  $m^3/h$ .

Objemový průtok vzduchu se počítá jako větší z hygienických požadavků a infiltrace, která je u moderních budov velice malá. Výpočet průtoku vzduchu daný hygienickým požadavkem se vypočítá podle vztahu:

$$V_{min} = n \cdot V_i \quad [m^3/h], \quad (16)$$

kde

$n$  intenzita výměny vzduchu [1/h]

$V_i$  vnitřní objem místnosti [ $m^3$ ].

Objemový průtok vzniklý infiltrací netěsnostmi spár oken a dveří se vypočítá pomocí vztahu:

$$V_{inf} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \quad [m^3/h], \quad (17)$$

kde

$V_i$  vnitřní objem místnosti [ $m^3$ ]

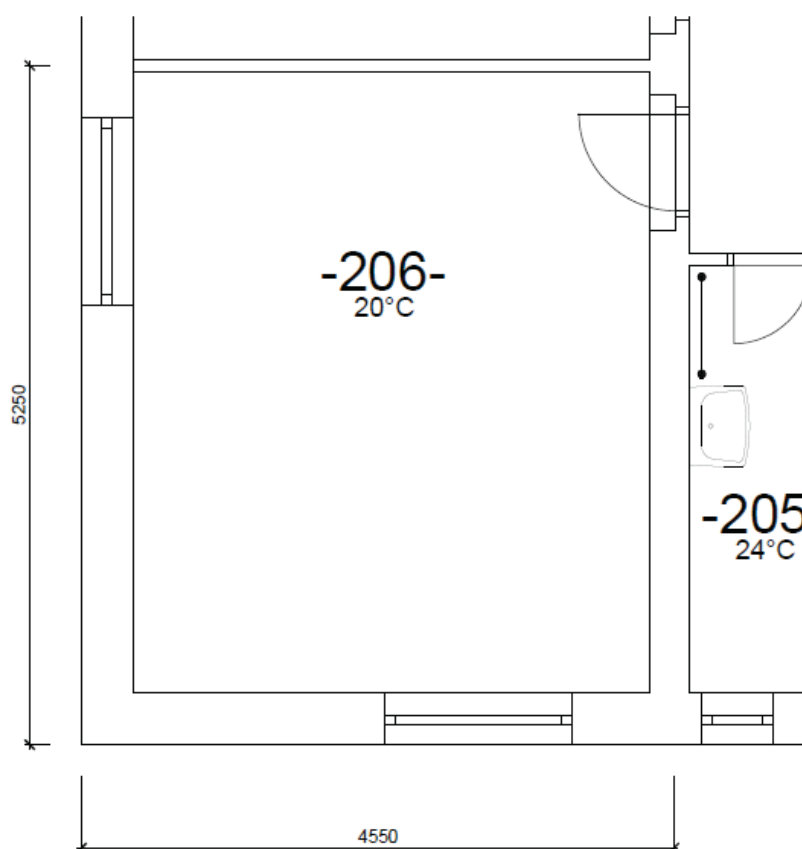
$n_{50}$  intenzita výměny vzduchu při rozdílu 50 Pa [1/h]

$e_i$  stínící součinitel [-]

$\varepsilon_i$  výškový korekční součinitel [-].

Vzorový výpočet je proveden pro místnost -206-, která slouží jako obývací pokoj a bude vytápěna na teplotu 20 °C. Tato místnost má dvě ochlazované konstrukce, které směřují na jihovýchod. V těchto konstrukcích jsou umístěna dvě okna. Tato místnost sousedí s místností -201-, která bude vytápěna na stejnou teplotu jako obývací pokoj a bude sloužit jako ložnice. Dále sousedí s chodbou -203-, která bude také vytápěna na 20 °C. O patro níž se nachází kuchyň -108-, která bude mít také stejnou vnitřní výpočtovou teplotu. Z toho vyplývá, že do místnosti -201-, -203- a -108- nebude proudit žádný tepelný tok, jelikož rozdíl teplot mezi těmito místnostmi je 0 K. Dále sousedí s koupelnou a WC -205-, které budou vytápěny na teplotu 24 °C. Z toho vyplývá, že bude

obývací pokoj přijímat tepelné zisky z koupelny. Nad místností se nachází nevytápěná půda se střeou bez tepelné izolace. Celková tepelná ztráta prostupem se tedy bude skládat ze součtů součinitele tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do exteriéru (e) přes obvodovou konstrukci a okna. Dále ze součinitele tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do exteriéru (e) přes nevytápěný prostor (u), přes strop do nevytápěné půdy. Dále ze součinitele tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do sousedícího vytápěného prostoru (j), který se vytápí na výrazně jinou teplotu z přilehlé koupelny, ze které bude místnost -206- přijímat tepelné zisky.



Obr. 2.3.1 Schéma místnosti -206-

Výpočet obálky bude postupovat podle vzorce na výpočet součinitele tepelné ztráty prostupem (5).

$$U_{kc} = U_k + \Delta U_{tb}$$

$$U_{kc} = 0,2 + 0,05 = 0,25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$H_{T,ie} = A_k \cdot U_{kc} \cdot e_k$$

$$H_{T,ie} = 26,46 \cdot 0,25 \cdot 1 = 5,53 \text{ W/K}$$

Výpočet součinitele tepelné ztráty prostupem okna se vypočítá:

$$U_{kc} = U_k + \Delta U_{tb}$$

$$U_{kc} = 1,2 + 0,05 = 1,25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$H_{T,ie} = A_k \cdot U_{kc} \cdot e_k$$

$$H_{T,ie} = 4,35 \cdot 1,25 \cdot 1 = 5,44 \text{ W/K}$$

Výpočet součinitele tepelné ztráty konstrukce z koupelny:

$$f_{i,j} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{vsp}}{\theta_{int,i} - \theta_e}$$

$$f_{i,j} = \frac{20 - 24}{20 - (-12)} = -0,125$$

$$H_{T,ij} = A_k \cdot U_k \cdot f_{i,j}$$

$$H_{T,ij} = 9,18 \cdot 0,5 \cdot (-0,125) = -0,57 \text{ W/K}$$

Ze záporného výsledku vyplývá, že z koupelny bude místnost -206- přijímat zisky pomocí tepelného toku.

Výpočet součinitele tepelné ztráty stropem do nevytápěné půdy:

$$b_u = \frac{\theta_{int,i} - \theta_U}{\theta_{int,i} - \theta_e}$$

$$b_u = \frac{20 - (-3)}{20 - (-13)} = 0,719$$

$$H_{T,iue} = A_k \cdot U_{kc} \cdot b_u$$

$$H_{T,iue} = 19,2 \cdot 0,22 \cdot 0,719 = 3,04 \text{ W/K}$$

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

$$\Phi_{T,i} = (5,53 + 5,44 + 3,04 + (-0,57)) \cdot (20 - (-12)) = 430 \text{ W}$$



Součet součinitelů tepelné ztráty prostupem se rovná 430 W/K

Hodnoty výpočtů jsou uvedeny v následující tabulce č. 5

Tab. 5 Výpočet součinitelů tepelné ztráty pro místnost -206-

Označení stěny	Souč. tep. Ztráty	Délka (m)	Šířka, výška (m)	$A_k$ -Plocha (m <sup>2</sup> )	Plocha bez otvorů (m <sup>2</sup> )	$U_k$ (W/m <sup>2</sup> .K)	$U_{kb}=U_k+\Delta U_{kb}$	$e$ (-)	$b_{us,fij}$ (-)	$\theta_{inr}-\theta_e$ (K)	$H_T$ (W/K)	$\Phi_i$ (W)
SO1	$H_{Tie}$	9,80	2,7	26,46	22,11	0,2	0,25	1	/	/	5,53	
OZ3	$H_{Tie}$	1,45	1,5	4,35	/	1,2	1,25	1	/	/	5,44	
SN1	$H_{tij}$	3,4	2,7	9,18	/	0,5	/	/	-0,125	/	-0,57	
STR2	$H_{iue}$	19,2	1,00	19,2	/	0,22	/	/	0,719	/	3,04	
$\Sigma$										32	13,43	<b>430</b>

Výpočet tepelné ztráty větráním se odvíjí od způsobu větrání daného prostoru. Jeden způsob je pro nucené větrání a druhý pro přirozené větrání, které se provádí například otevřenými okny. V řešeném objektu se nucené větrání neuvažuje, takže výpočet byl proveden pro přirozené větrání. Intenzitu výměny vzduchu uvažuji 0,5 1/h. Budova není zastíněna žádným přilehlým objektem, tak je stínící součinitel  $e$  byl zvolen 0,03. Výškový korekční součinitel  $\varepsilon$  je zvolen 1, jelikož řešená budova není větší než 10 m.

Výpočet tepelné ztráty větráním pro místnost -206- byl proveden podle vztahů:

$$V_{min} = n \cdot V_i = 0,5 \cdot 51,7 = 25,9 \text{ m}^3/h$$

$$V_{inf} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i = 2 \cdot 51,7 \cdot 5 \cdot 0,03 \cdot 1 = 15,54 \text{ m}^3/h$$

Výpočet objemového průtoku vzduchu z hygienických požadavků vyšel větší, než objemový průtok vzduchu infiltrací, takže do dalších výpočtů uvažuji objemový průtok 25,9 m<sup>3</sup>/h.

$$H_{V,i} = V_i \cdot 0,34 = 25,9 \cdot 0,34 = 8,8 \text{ W/K}$$

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) = 8,8 \cdot (20 - (-12)) = 285 \text{ W}$$

Celková tepelná ztráta větráním místnosti -206- vyšla 285 W.

Výpočet celkové tepelné ztráty:

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} = 430 + 285 = 715 \text{ W}$$

Celková tepelná ztráta místnosti vyšla 715 W.

V tabulce číslo 6 jsou uvedeny tepelné ztráty zbylých místností v řešeném objektu.

Tab. 6 Vypočtené tepelné ztráty místností

Název místnosti	Tep. ztráta místn. [w]	Tep. ztráta vět [w]	Celková tepelná ztráta [w]	$t_i$ [°C]
102 obývací pokoj	350	230	580	20
101 jídelna	400	320	720	20
103 vstupní hala	460	145	605	18
105 pokoj	560	200	760	20
107 koupelna	180	240	420	24
108 kuchyň	470	675	1145	20
110 chodba	190	172	362	20
201 pokoj	520	320	840	20
202 pokoj	390	230	620	20
203 chodba	280	170	450	20
205 koupelna + wc	230	280	510	24
206 pokoj	430	285	715	20
001 posilovna	420	300	720	20
002 prádelna	345	205	550	18
003 garáž	790	310	1100	18
Součet	6015	4082	10097	

Celková tepelná ztráta podle normy ČSN EN 12 831 vyšla 10 100 W. Na tuto hodnotu bude navrhnout zdroj tepla, který pokryje vypočtenou tepelnou ztrátu. Do jednotlivých místností budou instalována desková otopná tělesa, která pokryjí tepelnou ztrátu místností.

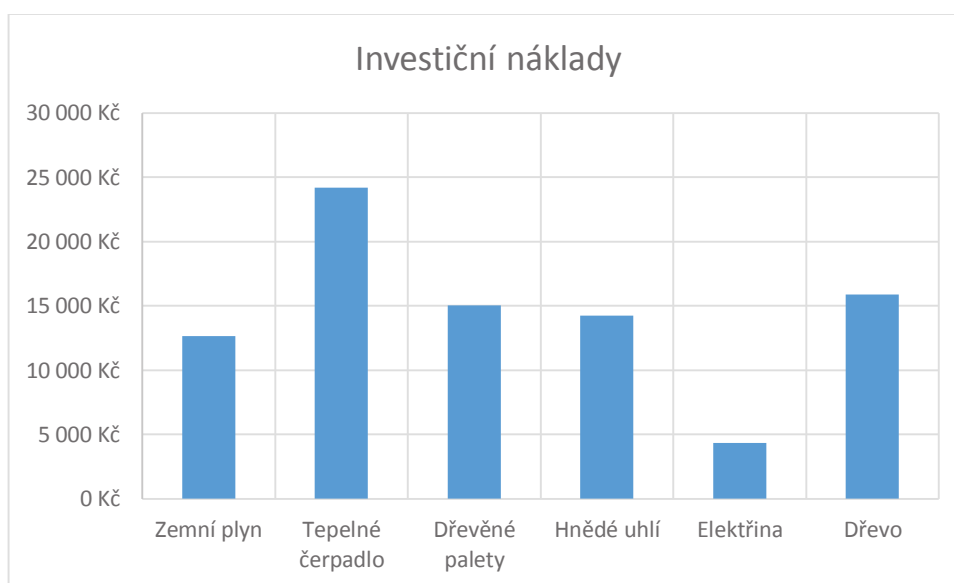
### 3. ZDROJ TEPLA PRO VYTÁPĚNÍ

V dnešní době, kdy je trh přehlcen různými zdroji tepla pro vytápění je velice obtížné vybrat ideální zdroj tepla. Nepříjemnosti v tomto ohledu nám dělá kolísající cena energií

různých dodavatelů. Ideální výběr zdroje tepla nám určuje několik důležitých faktorů. V první řadě jsou důležité finance. V posledních letech lidé dávají přednost levnějším výrobkům před těmi kvalitnějšími. To má pak za následek nesprávné fungování zdroje tepla, nedostatek výkonu pro ohřev otopné vody, tak teplé vody pro osobní potřebu. Všechny tyto faktory vedou k nedosažení tepelné pohody v obytných prostorech.

Možností volby zdroje tepla je hned několik. Mezi první se řadí instalace elektrokotle. Elektrokotel vyčnívá mezi ostatními spoustou výhod. Hlavní výhodou u elektrokotlů jsou nízké pořizovací náklady a vysoká účinnost. V porovnání například s tepelným čerpadlem, kondenzačním kotlem, nebo kotlem na tuhá paliva má nejmenší investiční náklady. Další výhodou je automatický provoz. Pro elektrokotle není potřeba žádná místnost na sklad paliva a také není potřeba obsluhy. Výhodou také je, že se tento zdroj tepla obejde bez odvodu spalin. Tyto výhody ale předčí hlavní nevýhoda elektrické energie a to je její cena. Provozní náklady elektrokotlů jsou několikrát vyšší než investice, proto se zde elektrokotel nevyplatí.

Přehled investičních nákladů je shrnut v následujícím grafu (1)[L6]:



Graf 1. Přehled investičních nákladů pro různé druhy zdroje tepla

Další zdroj tepla je kotel na tuhá paliva. Zde to je opačné, než u elektrokotle. U kotle na tuhá paliva jsou investiční náklady až dvojnásobné, než u elektrokotle a největší nevýhodou je zde potřeba velkých prostorů na sklad paliva. S tím

je spjata starost o pravidelné doplňování skladu. V dnešní době je spousta kotlů na tuhá paliva, u kterých lze zajistit částečnou automatizaci, ale ne však úplnou. Bez pravidelného zásahu obsluhy vydrží kotel jen několik málo dní. Další podmínkou pro kotle na tuhá paliva je pravidelná údržba a čištění spalovacího prostoru od popela. Z tohoto důvodu jsem nepoužil kotel na tuhá paliva.

Jako další zdroj tepla pro vytápění se dá použít tepelné čerpadlo. Tento zdroj využívá nízko-potenciální teplo, které odebírá buď z vody, vzduchu, nebo země. Důležitou výhodou tepelných čerpadel je jejich ekologičnost s využíváním obnovitelných zdrojů energie. První varianta je tepelné čerpadlo vzduch/voda. Toto tepelné čerpadlo získává teplo z venkovního vzduchu. Hlavní nevýhodou jsou vysoké investiční náklady spojené s instalací tepelného čerpadla a akumulární nádrže, tak i poměrně vysoká hlučnost při maximálním výkonu tepelného čerpadla [L6].

Další alternativou tepelného čerpadla je získávání tepla z hlubinných vrtů, čili tepelné čerpadlo země/voda. U tohoto tepelného čerpadla se ale investiční náklady pohybují ještě výše než u dříve zmiňovaného typu vzduch/voda z důvodu vyhloubení zemních vrtů.

Nejvhodnější varianta pro navrhovaný rodinný dům je instalace kotle na plynná paliva, přesněji instalace kondenzačního kotle. Toto řešení je v poslední době nejrozšířenější. Kondenzační kotle lákají zákazníky především vysokou účinností a zcela automatickým provozem. Dále také není potřeba žádný sklad paliva. Nejdůležitější podmínka pro instalaci plynového kondenzačního kotle je přívod plynu. Oblast Pardubic, kde se rodinný dům nachází, je plynofikována nízkotlakým plynovodem. Proto jsem se rozhodl použít plynový kondenzační kotel, který i vyhovuje navrženému teplotnímu spádu 55/45 °C.

### **3.1 Volba zdroje tepla**

Zdroj tepla byl navržen tak, aby pokryl vypočtenou tepelnou ztrátu, která činí 10100 W. Pro pokrytí tohoto výkonu byl navržen kondenzační plynový kotel od firmy Buderus a to typ Logamax plus GB062-14 [L8]. Tento plynový kondenzační kotel má rozsah tepelného výkonu od 2,2 do 15 kW. Tento typ kotle má udávaný normálový stupeň využití až 109 %. Tato hodnota je hodnotící parametr celoročního využití kondenzačních kotlů pracujících s proměnnou teplotou kotlové vody [L9]. Spaliny budou odváděny komínem od společnosti BOKRA typu KOAXIAL turbo o Ø 80/125. Odvod spalin bude

řešený vnitřním potrubím o  $\varnothing$  80. Vývod bude vyústěn nad šikmou střechu, kde bude osazena koaxiální stříška, aby nedocházelo k nasávání spalin pro spalovací vzduch. Spalovací vzduch bude přisáván vnějším potrubím o  $\varnothing$  125 přímo do kondenzačního kotle.

Způsob napojení kotle a vyvedení komína nad střechu:



*Obr. 3.1. Způsob zapojení komínu [L10]*

### 3.2. Návrh ohřevu teplé vody (TV)

Pro přípravu teplé vody platí několik důležitých pravidel. První z nich je, že se voda musí ohřát na bezpečnou teplotu z důvodu likvidace bakterií. Tou nejznámější a nejnebezpečnější z nich je bakterie *Legionella pneumophila*. Tato bakterie postihuje dýchací cesty a způsobuje až smrt. Tyto bakterie se množí ve vodním prostředí, které má teploty od 35 do 42 °C. Při krátkodobém přehřátí teplé vody nad teplotu cca 65 °C, bakterie vymírají v řádech jednotek minut. Dalším pravidlem pro přípravu teplé vody je takzvané „pravidlo třiceti vteřin“, které platí pro zásobníkové ohřevy teplé vody. Tato podmínka předepisuje to, že na nejvzdálenější výtokové armatuře musí po otevření baterie přitéct voda o teplotě 50 až 55 °C do třiceti vteřin. Pokud tato podmínka není splněna, tak se instaluje do objektu cirkulační potrubí, které pomáhá udržovat teplotu teplé vody, nebo instalací elektricky odporového pásku na potrubí před spotřebič, který ohřívá vodu v potrubí a v poslední řadě instalací průtokového ohříváče před výtokovou armaturu. [L11].

Příprava teplé vody jde řešit několika způsoby. Jedním z možných řešení je lokální ohřev teplé vody. Tento způsob se vyznačuje tím, že k zařizovacím předmětům je přivedena pouze studená voda a až v místě odběru je ohřáta na požadovanou teplotu 55 °C průtokovým ohříváčem. Hlavní výhoda spočívá v tom, že u průtokového ohřevu není člověk omežován velikostí zásobníku a tím pádem vypotřebováním teplé vody. Jelikož jsou ale potřeba veliké příkony pro ohřev studené vody, je tato metoda velice neekonomická.

Tím nepoužívanějším je v této době zásobníkový ohřev teplé vody. Tento způsob se dělí podle způsobu ohřevu teplé vody v zásobníku na nepřímý a přímý ohřev teplé vody. V nepřímém ohřevu je teplá voda ohřívána pomocí výměníku, ve kterém proudí ohřátá tekutina ze zdroje tepla. V přímém ohřevu je zásobník vybaven vlastním ohřívákem teplé vody. V této práci jsem vybral poslední jmenovaný způsob ohřevu a to pomocí plynového přímo ohříváče zásobníku teplé vody.

V řešeném objektu se nachází 6 osob. Reálná potřeba teplé vody je 40 l/os.den. Výpočet pro 6 osob byl proveden podle vzorce (18):

$$V_{2p} = \frac{n \cdot V_{tv,den}}{1000} [m^3/den], \quad (18)$$

kde

$V_{2p}$	celková potřeba TV	[m <sup>3</sup> /den]
$n$	počet osob	[-]
$V_{tv,den}$	potřeba teplé vody na osobu a den	[l/os.den].

$$V_{tv,den,os} = \frac{n \cdot V_{tv,den}}{1000} = \frac{6 \cdot 40}{1000} = 0,24 \text{ m}^3/\text{den}$$

Výkon, který dodává ohřívač teplé vody potřebuje pokrýt teplo, pro ohřev vody a zároveň tepelné ztráty, které vznikají při ohřevu teplé vody v zásobníku a při distribuci teplé vody k výtokovým armaturám. Potřeba tepla se vypočítá podle vztahu (19):

$$Q_{2p} = Q_{2t} + Q_{2z} = (1 + Z) \cdot Q_{2t} = \frac{(1 + Z) \cdot V_{2p} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{3600 \cdot 1000} \text{ [kWh/den]}, \quad (19)$$

kde

$Q_{2p}$	teplo dodané ohřívačem TV	[kWh/den]
$Q_{2t}$	teplo pro ohřev vody	[kWh/den]
$Q_{2z}$	teplo ztracené při ohřevu a distribuci TV	[kWh/den]
$Z$	poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci TV	[-]
$\rho$	hustota vody	[kg/m <sup>3</sup> ]
$c$	měrná tepelná kapacita vody	[J/kg.K]
$t_1$	teplota studené vody	[°C]
$t_2$	teplota teplé vody	[°C].

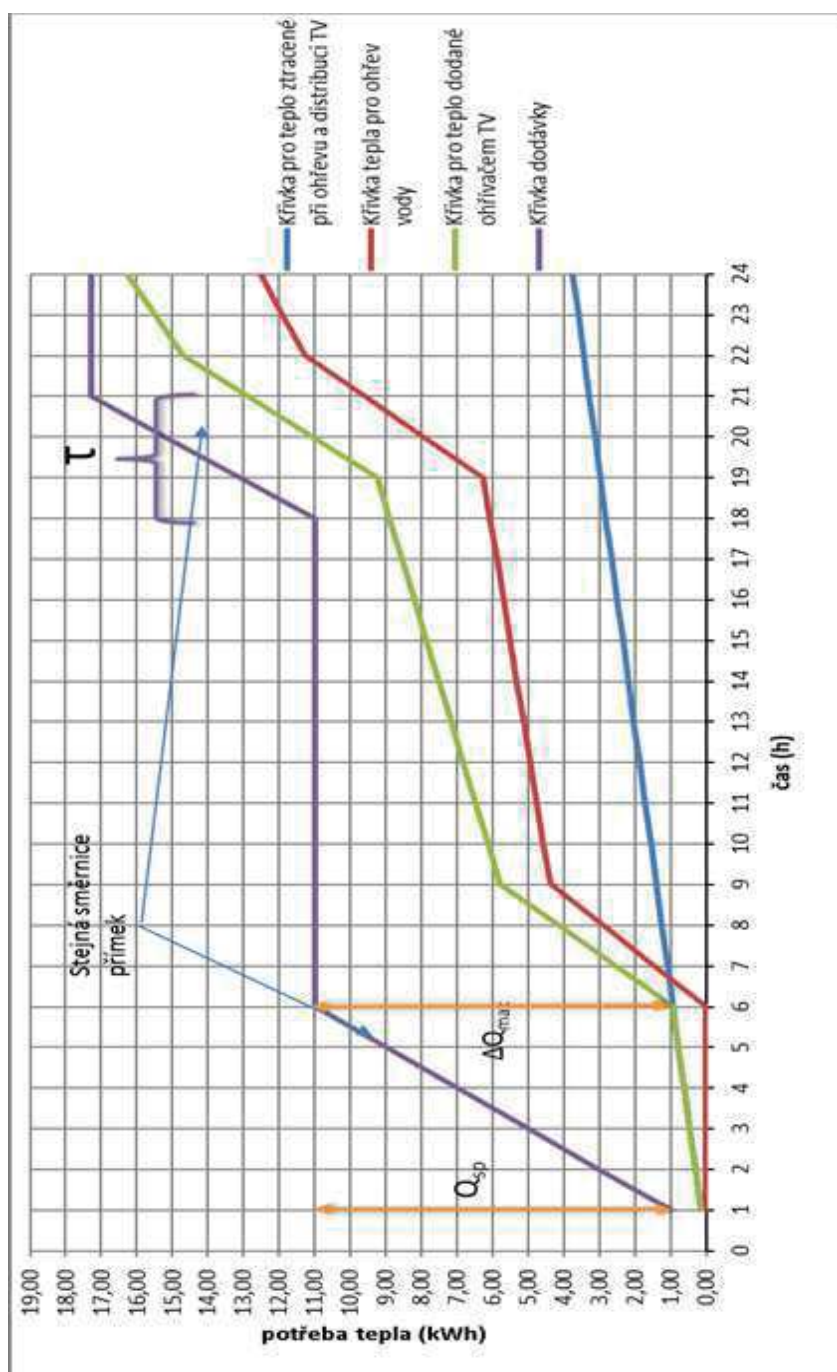
$$\begin{aligned} Q_{2p} = Q_{2t} + Q_{2z} &= (1 + Z) \cdot Q_{2t} = (1 + 0,3) \frac{0,24 \cdot 1000 \cdot 4186 \cdot (55 - 10)}{3600 \cdot 1000} \\ &= 12,53 + 3,76 = 16,29 \text{ kWh/den} \end{aligned}$$

Denní potřeba tepla pro řešený objekt vyšla 16,29 kWh. Tato hodnota nám udává, kolik tepla bude odebráno ohřevem teplé vody na konci dne. Odběr tepla v průběhu dne ale není konstantní. Časový odběr tepla zohledňují dvě normy. První, ČSN EN 15 316-3, která udává, že od 0 do 6 hodin je odběr tepla 0 %, od 6 do 9 hodiny je odběr tepla 35 %, od 9 do 12 hodin je odběr tepla 50 %, od 12 do 15 hodin je odběr tepla 75 %, od 15 do 18 hodin je odběr tepla 100 %, od 18 do 21 hodin je odběr tepla 75 %, od 21 do 24 hodin je odběr tepla 50 %.

od 9 do 19 hodiny je odběr tepla 15 %, od 19 do 22 hodiny je odběr tepla 40 % a od 22 do 0 hodiny je odběr tepla 10 %. Druhá norma ČSN 06 0320 počítá s odběrem tepla od 0 do 5 hodiny 0 %, od 5 do 17 hodiny odběr tepla 35 %, od 17 do 21 hodiny odběr tepla 50 % a od 21 do 0 hodiny odběr tepla 15 %. Pro další výpočty jsem zvolil normu ČSN EN 15 316-3.

Vypočtenou hodnotu dodaného tepla za den jsem vnesl do odběrového diagramu (Graf 2.), kam se dosazují křivky pro ohřev TV během dne, křivka tepelných ztrát během dne a jejich suma křivka dodaného tepla ohříváčem TV.





Graf 2. Odběrový diagram tepla pro ohřev TV

Křivka dodávky energie pro ohřev teplé vody v zásobníku byla brána z tarifu varianty AKU8V5 (Akumulace 8), kde dodavatel (ČEZ) garantuje platnost nízkého tarifu po dobu 8 hodin. Časový průběh byl stanoven v rozložení sepnutí nízkého tarifu od 01:00 do 06:00 a od 18:00 do 21:00. Pro zajištění odchylek od standardních charakteristik způsobu odběru TV bylo uvažováno se zbytkovým teplem v zásobníku TV v hodnotě 30 % z celkové potřeby tepla za celou periodu (tj. 1 den).

Velikost zásobníku se určí z maximálního rozdílu potřeby tepla mezi dodávkou a spotřebou tepla  $\Delta Q_{max}$ , který se dále dosadí do rovnice pro výpočet minimálního objemu (20)

$$V_z = \frac{\Delta Q_{max}}{c^* \cdot (t_2 - t_1)} \quad [m^3], \quad (20)$$

kde

$\Delta Q_{max}$	maximální rozdíl dodávky a odběru tepla	[kWh]
$c^*$	měrná tepelná kapacita vody pro teplou vodu	[kWh/m <sup>3</sup> .K]
$t_2$	teplota teplé vody	[°C]
$t_1$	teplota studené vody	[°C].

$$V_z = \frac{\Delta Q_{max}}{c^* \cdot (t_2 - t_1)} = \frac{10}{1,163 \cdot (55 - 10)} = 0,191 \text{ m}^3 \Rightarrow 191 \text{ l}$$

Potřebný objem zásobníku teplé vody vyšel 191 l.

Tepelný výkon ohříváče se vypočítá podle maximálního rozdílu potřeby tepla na křivce dodávky a z doby potřebné pro nahřátí tepelného zásobníku na požadovanou teplotu 55 °C. Výpočet se provede podle vzorce na tepelný výkon ohříváče (21) [L11]:

$$Q_{zdr} = \left( \frac{\Delta Q_{s,i}}{\tau_i} \right)_{max} \quad [W], \quad (21)$$

kde

$Q_{zdr}$	tepelný výkon ohříváče	[W]
$\Delta Q_{s,i}$	maximální rozdíl v dodávce tepla	[Wh]
$\tau_i$	doba nabíjení zásobníku TV	[h].

$$Q_{zdr} = \left( \frac{\Delta Q_{s,i}}{\tau_i} \right) = \frac{10\,000}{3} = 3400 \text{ W}$$

Z výpočtu jsme zjistili, že potřebný výkon ohříváče vychází 3400 W. Pro tento objem a výkon jsem zvolil plynový zásobníkový ohříváč typu ARISTON P CA 150 [L12], který má výkon 7200 W a objem 155 l. Větší typ ohříváče P CA 200, který má

objem 195 l a výkon 8600 W jsem nezvolil z důvodu zbytečně velkého výkonu. Typ P CA 150 má i přesto dostačující výkon pro zajištění dostatku teplé vody.

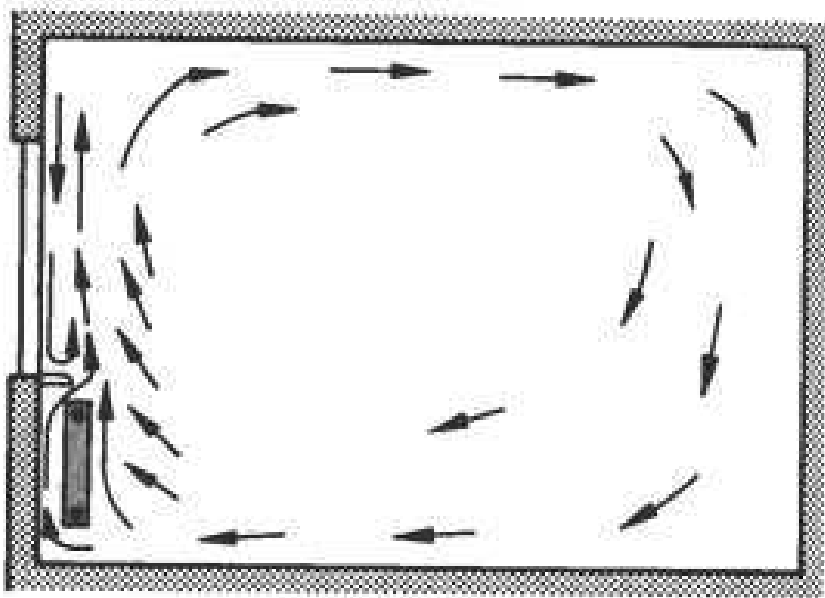
## 4. OTOPNÁ SOUSTAVA

V objektu jsem navrhl vertikální otopnou soustavu se spodním rozvodem, nuceným oběhem vody, nízkoteplotní, uzavřenou. Tlaková expanzní nádoba je součástí kotle. Teplotní spád je 55/45 °C.

### 4.1. Otopné plochy

Cílem otopných ploch je dodat do vytápěného prostoru požadované množství tepla, aby byla zajištěna v daném prostoru tepelná pohoda. Tepelnou pohodu pomocí instalace otopných ploch můžeme ovlivnit druhem, velikostí a způsobem instalace dané otopné plochy. Pro správné dosažení pohody prostředí je důležité zvolit správný druh otopné plochy. Každý druh a typ otopné plochy ovlivňuje jinak způsob proudění vzduchu okolo otopné plochy a tím ovlivňuje i tepelný tok sdílený konvekcí. Celkový tepelný výkon, který je přenášen do vytápěného prostoru, se skládá ze součtu tepelného toku sdíleným sáláním a konvekcí. Podíl tepla sdílené sáláním do prostoru se značně liší použitím jiného typu otopné plochy. Tepelný výkon otopných těles je především závislý na uspořádání teplosměnné plochy na straně vzduchu. Na průmětné ploše tělesa do prostoru je převážně závislá část tepelného výkonu sdílena sáláním. Podíl tepla sdílený sáláním je závislý na poměru průmětné čelní plochy a konvekčních ploch. Například u deskového otopného tělesa typu 33, které se skládá z třech konvekčních plechů je podíl tepla sdíleného sáláním 18 % a z toho 14 % je podíl tepla sáláním do místnosti. Kdežto u tělesa typu 10, které má stejnou průmětnou plochu, jako typ 33, se sdílení tepla sáláním do místnosti zvýší na 38 %.

Dalším důležitým faktorem pro dosažení tepelné pohody je umístění otopného tělesa do místnosti. Pokud otopné těleso umístíme pod oknem, po celé jeho délce, tak zabráníme chladným proudům, aby padaly směrem k podlaze, kde by se tak mohla vytvořit poměrně velká oblast lokální tepelné nepohody. Při tomto umístění teplé konvekční proudy od otopného tělesa stoupají vzhůru a narážejí na chladné padající proudy, se kterými se směšují a obracejí jejich směr. Tyto proudy poté podél stropu a protilehlé stěně proudí přes celý vytápěný prostor [L13]. Při navrhování v projektovaném rodinném domku jsem se snažil, aby otopná tělesa byla umístěna přes celou délku okna. Proudění vzduchu v místnosti by mělo vypadat jako na obrázku 4.1.



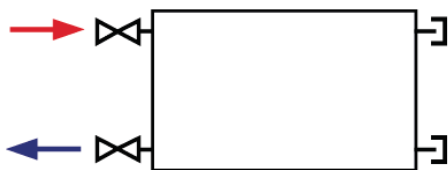
Obr. 4.1. Proudění vzduchu v uzavřeném vytápěném prostoru s otopným tělesem pod ochlazovanou plochou [L13]

Samostatné umístění otopného tělesa pod celou délku okna stále nemusí zajistit optimální pohodu prostředí a dostačující výkon otopného tělesa. Další vliv, který značně ovlivňuje šíření tepelného toku do vytápěného prostoru, je délka přesahu parapetů pod okny, které by bránily smíchání teplého proudu s chladným padajícím proudem od ochlazované plochy.

#### 4.2. Návrh otopných těles

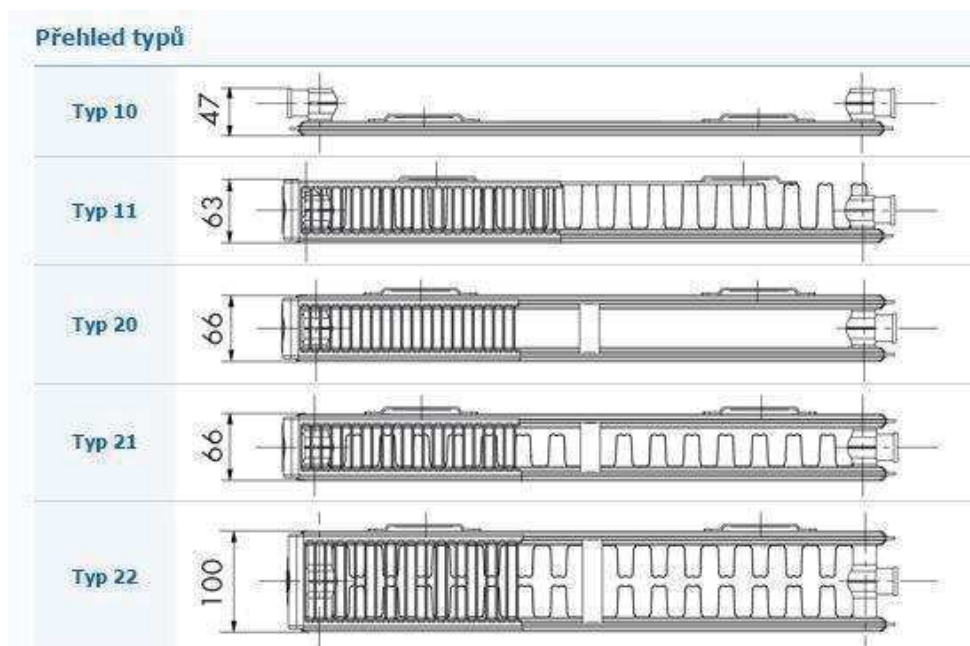
Otopná tělesa se navrhují tak, aby instalovaný výkon byl vyšší než tepelná ztráta místnosti, kam budou tělesa instalována. Všechna otopná tělesa, až na vnitřní místnosti, jsou navržena pod okny. Bohužel ne u všech se podařilo navrhnout jejich délku pod celé okno. Kdyby byla tělesa vždy navržena po celé délce okna, tak by byl instalovaný výkon až zbytečně velký oproti vypočítané tepelné ztrátě a u velkých oken jsem byl omezen výrobní délkou otopných těles.

V objektu jsem použil desková otopná tělesa od firmy KORADO. Jako konkrétní typ otopného tělesa jsem zvolil RADIK KLASIK. Tento typ otopného tělesa umožňuje levé, nebo pravé boční připojení.



Obr. 4.2. Schéma zapojení otopného tělesa RADIK KLASIK [L14]

Všechna otopná tělesa jsem se snažil navrhnout v jednotné výšce 600 mm, ale v některých případech bylo otopné těleso mnohem menší než délka okna. Proto jsem zvolil nižší těleso o výšce 500 mm, které má při stejných délkách jako těleso o výšce 600 mm menší výkony, tak jsem si mohl dovolit zvolit delší typ tělesa a tím pádem docílit lepší pohodu prostředí ve vytápěném prostoru. V objektu jsou navržena tělesa typu 10, 11, 21 a 22. Těleso typu 10 se skládá pouze z jedné desky. Typ 11 se skládá z jedné desky a jednoho konvekčního plechu. Typ 21 se skládá z dvou desek a jednoho konvekčního plechu a typ 22 se skládá z dvou desek a dvou konvekčních plechů.



Obr. 4.3. Složení deskových otopných těles podle typu [L14]

V koupelnách -107- a -205- byla navržena trubková otopná tělesa také od firmy KORADO. Přesněji typ KORALUX LINEAR COMFORT.

Otopná tělesa a jejich výkony jsou udávány při jmenovitých podmínkách, které jsou stanoveny na teplotu přírodní otopné vody 75 °C, teplotu vratné otopné vody 65 °C a vnitřní výpočtovou teplotu 20 °C. Jelikož v této bakalářské práci je uvažovaný teplotní spád 55/45 °C, tak by otopná tělesa navržená na teplotní spád 75/65 °C měla nedostatečný tepelný výkon, který by nepokryl potřebnou tepelnou ztrátu vytápěného prostoru. Z tohoto důvodu se otopná tělesa přepočítávají na skutečné podmínky při novém teplotním spádu podle vzorce (22):

$$\frac{Q_{sk}}{Q_N} = \left[ \frac{\Delta t}{\Delta t_N} \right]^n \quad [-], \quad (22)$$

kde

$Q_{sk}$  skutečný tepelný výkon OT při nových podmínkách [W]

$Q_N$  jmenovitý tepelný výkon při jmenovitých podmínkách [W]

$\Delta t$  rozdíl teplot pro skutečné podmínky [K]

$\Delta t_N$  rozdíl teplot pro jmenovité podmínky [K].

Přepočet výkonu závisí na teplotním podílovém součiniteli  $c$ , který je dán rovnicí (23):

$$c = \frac{t_{w2} - t_i}{t_{w1} - t_i} \quad [-], \quad (23)$$

kde

$c$  teplotní podílový součinitel [-]

Pokud teplotní podílový součinitel vyjde menší než 0,7, tak se rozdíl teplot vypočítá pomocí středního logaritmického rozdílu (24):

$$\Delta t_{ln} = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\ln \frac{t_{w1} - t_i}{t_{w2} - t_i}} \quad [K], \quad (24)$$

Ten samý výpočet se provede pro jmenovité podmínky otopného tělesa.

Pokud teplotní podílový součinitel vyjde větší než 0,7, tak se pokračuje s aritmeticky určeným rozdílem teplot podle vzorce (25):

$$\Delta t = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{2} - t_i \quad [K], \quad (25)$$

Ten samý výpočet se provede pro jmenovité podmínky otopného tělesa.

Vzorový výpočet pro místnost -105-, který má tepelnou ztrátu 760 W a vnitřní výpočtovou teplotu 20 °C.

$$c = \frac{t_{w2} - t_i}{t_{w1} - t_i} = \frac{45 - 20}{55 - 20} = 0,68$$

Teplotní podílový součinitel vyšel menší než 0,7. Do dalších výpočtů se bude používat logaritmický rozdíl teplot.

$$\Delta t_{ln} = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\ln \frac{t_{w1} - t_i}{t_{w2} - t_i}} = \frac{55 - 45}{\ln \frac{55 - 20}{45 - 20}} = 29,15 \text{ K}$$

$$\Delta t_{N,ln} = \frac{75 - 65}{\ln \frac{75 - 20}{65 - 20}} = 49,8 \text{ K}$$

Teplotní exponent otopného tělesa  $n$  se volí podle druhu otopného tělesa. Pro desková otopná tělesa použijeme hodnotu 1,33.

$$Q_{sk} = \frac{Q_N}{\left[\frac{\Delta t}{\Delta t_N}\right]^n} = \frac{760}{\left[\frac{29,15}{49,8}\right]^{1,33}} = 1550 \text{ W}$$

Z výsledku vyplývá, že v katalogu výrobce KORADO naleznou otopné těleso, které bude mít při jmenovitých podmínkách výkon minimálně 1550 W, aby splňovalo při navrženém teplotním spádu 55/45 °C výkon 760 W. Výpočty pro zbytek otopných těles byly provedeny přes kalkulačku výrobce KORADO, která je k dispozici na jejich webových stránkách [L14].

### 4.3. Návrh potrubní sítě

Potrubní síť slouží k dopravě otopné vody od zdroje k otopným tělesům a ochlazené otopné vody zpátky do zdroje. Na potrubní sítě lze použít více materiálů. Prvním z nich je plast. Tento materiál má několik výhod. Ty hlavní jsou, že plast je lehčí než kovové materiály. Tento materiál je chemicky stálý a korozi odolný. Je i lehce tvarovatelný a dá se jednoduše spojovat. Spojování plastového potrubí se provádí lisováním. Hlavní nevýhodou plastového materiálu je jeho teplotní délková roztažnost.

Další materiál, který je možno použít pro rozvod porubí, je ocel. Tento materiál se v dnešní době tak často nepoužívá. Ocelové potrubí má oproti měděnému potrubí menší teplotní délkovou roztažnost. Spojování ocelového potrubí se provádí pomocí svařování. Hlavní nevýhodou ocelového potrubí je nízká odolnost proti korozi. Dalším materiálem je měď. Tento materiál je vysoce odolný proti korozi. Měděné potrubí je i velice pevné, a díky tomu si může dovolit menší tloušťky stěn, tím pádem i menší hmotnost celé trubky. Spojování měděného potrubí je pomocí pájení na měkko a lisováním pomocí spojek. Nevýhodou měděného materiálu je chemická reakce v podobě koroze při styku se sádkou, která se často objevuje v omítkách. [L15] Díky pevnostním vlastnostem mědi jsem se rozhodl použít pro rozvody otopné vody tento materiál.

Návrh dimenzí potrubní sítě se řeší čtyřmi způsoby. Metodou předběžné měrné tlakové ztráty, metodou přímé volby dopravního tlaku čerpadla, metodou ekonomických (optimálních) rychlostí a metodou ekonomické (optimální) měrné tlakové ztráty. Pro návrh jsem zvolil metodu ekonomických (optimálních) rychlostí. Tato metoda spočívá v dodržení rychlostí okolo 0,5 – 0,7 m/s. Pro výpočet tlakové ztráty je potřeba znát hmotnostní průtok a rychlost v daném úseku. Tlakové ztráty se vypočítají ze součtu tlakových ztrát třením a místními odpory podle vztahu (26):

$$\Delta p_c = \Delta p_{zt} + \Delta p_{zm} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2 \cdot \rho}{2} + \sum_{i=1}^n \xi_i \cdot \frac{w^2 \cdot \rho}{2} = R \cdot l + Z \text{ [Pa]}, \quad (26)$$

kde

$\Delta p_{zt}$	tlaková ztráta třením	[Pa]
$\Delta p_{zm}$	tlaková ztráta místními odpory	[Pa]
$\lambda$	součinitel tlakové ztráty třením	[-]
$l$	délka potrubí v úseku	[m]
$d$	vnitřní průměr potrubí v úseku	[m]
$w$	střední rychlost proudění podle průtoku	[m/s]
$\rho$	hustota vody při dané teplotě	[kg/m <sup>3</sup> ]



$\xi_i$	součinitel místních odporů	[-]
R	měrná tlaková ztráta	[Pa/m]
Z	tlaková ztráta místními odpory	[Pa].

Rychlost proudění v daném úseku je dána podle hmotnostního průtoku otopné vody v daném úseku podle vzorců (27) a (28):

$$\dot{m} = \frac{Q_{inst}}{c \cdot (t_{w1} - t_{w2})} \quad [kg/s], \quad (27)$$

kde

$\dot{m}$	hmotnostní průtok tělesa	[kg/s]
$Q_{inst}$	tepelný výkon otopného tělesa	[W]
c	měrná tepelná kapacita vody	[J/kg.K]
$t_{w1}$	teplota přívodní vody do tělesa	[°C]
$t_{w2}$	teplota vratné vody z tělesa	[°C].

$$w = \frac{4 \cdot \dot{m}}{\rho \cdot \pi \cdot d^2} \quad [m/s] \quad (28)$$

kde

w	střední rychlost proudění podle průtoku	[m/s]
$\dot{m}$	hmotnostní průtok tělesa	[kg/s]
$\rho$	hustota vody	[kg/m <sup>3</sup> ]
d	vnitřní průmět potrubí	[m]

Pro výpočet rychlostí, měrné tlakové ztráty a součinitele místních odporů jsem používal hodnoty z tabulek [L16]. Jako vzorový příklad jsem použil trasu k otopnému tělesu, konkrétněji úsek číslo 52, které je umístěno v místnosti -002- a jedná se o těleso typu 11-600×1000. Těleso má instalovaný výkon 558 W. Dále se pokračuje podle vzorců (26), (27) a (28).

$$\dot{m} = \frac{Q_{inst}}{c \cdot (t_{w1} - t_{w2})} = \frac{558}{4186 \cdot (55 - 45)} * 3600 = 48 \text{ l/hod}$$

Pro tento vypočtený průtok tělesem jsem šel do tabulky pro měděné potrubí a odečetl jsem hodnotu měrného tlakového spádu  $R$  a rychlosti v potrubí  $w$  pro potrubí o průměru  $15 \times 1$  mm. Menší průměry jsem nevolil z důvodu připojovacího rozměru k otopnému tělesu, který je DN 15. V případě použití dimenze  $12 \times 1$  by bylo potřeba umístit redukci před otopné těleso. Tento způsob je složitější na montáž a investičně dražší o pořízení redukci. Pro vypočtený průtok 48 l/hod byl v tabulce pro měděné potrubí odečten měrný tlakový spát 17,5 Pa/m a rychlost proudění v potrubí 0,102 m/s. Suma součinitelů místních odporů pro úsek číslo 52 činí 5,6. Délka tohoto úseků je 5,1 m. To jsou všechny potřebné údaje pro výčet tlakové ztráty v potrubí podle vzorce (26).

$$\Delta p_c = \Delta p_{zt} + \Delta p_{zm} = R \cdot l + Z = 17,5 \cdot 5,1 + 5,6 \cdot \frac{0,102^2}{2} \cdot 985,7 = 118 \text{ Pa}$$

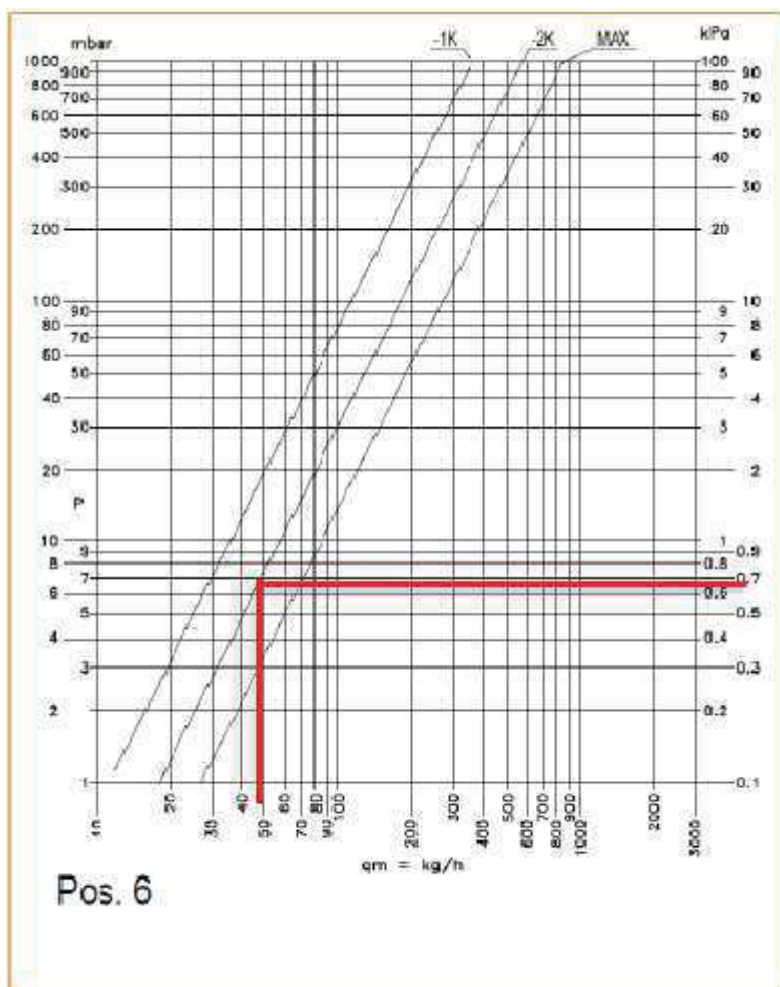
Stejným způsobem jsem postupoval u ostatních úseků.

Další prvek, který ovlivňuje tlakové ztráty okruhu je otopné těleso. Pro otopné těleso se musí přepočítat rychlost z měděného potrubí  $15 \times 1$  mm na ocelové potrubí DN 15 podle vztahu (28). Tlaková ztráta otopného tělesa se vypočítá podle vzorce (29)

$$\Delta p_{ot} = \xi_{ot} \cdot \frac{w^2 \cdot \rho}{2} = 19 \cdot \frac{0,102^2 \cdot 985,7}{2} = 41 \text{ Pa} \quad (29)$$

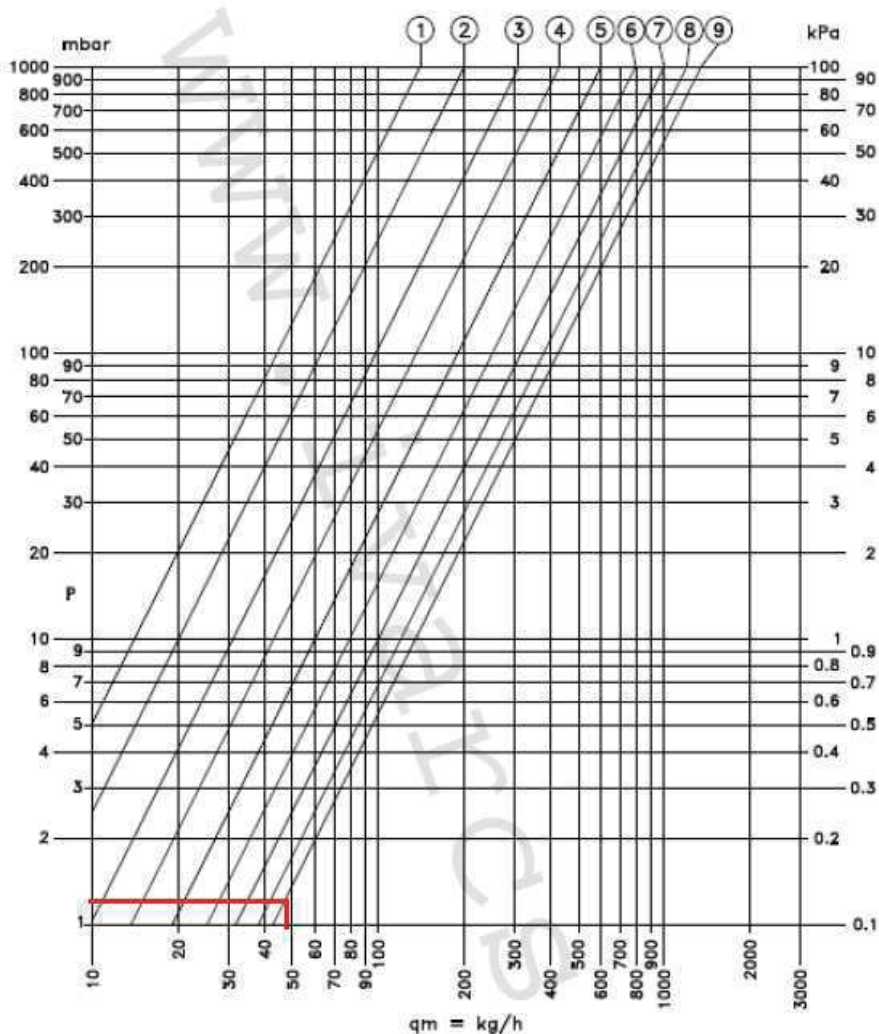
Součinitel místních odporů  $\xi_{ot}$  pro otopné těleso typu 11-600 $\times$ 1000 je 19 [L17] a tlaková ztráta otopného tělesa vyšla 41 Pa.

Otopná tělesa RADIK KLASIK jsou osazena na přívodním potrubí termostatickým regulačním ventilem a na zpětném potrubí regulačním šroubením. Jako termostatický regulační ventil jsem zvolil přímý ventil typu VD 2101 N od firmy IVAR [L24] a jako regulační šroubení typ DD 301 od stejné firmy [L18]. Regulační šroubení a termostatický regulační ventil slouží k doškrcení vedlejších větví vůči větvi hlavní. Jako hlavní větev podle vypočtených tlakových ztrát vyšel okruh s tělesem v místnosti -002-. U tohoto tělesa budou regulační šroubení a termostatický regulační ventil plně otevřený. Jejich tlakové ztráty odečteme z grafů, které poskytuje výrobce. Pro plně otevřené termostatické regulační šroubení při poloze 6 vyšla pro průtok 48 kg/hod tlaková ztráta 635 Pa. Odečtení lze vidět na obrázku číslo 4.3



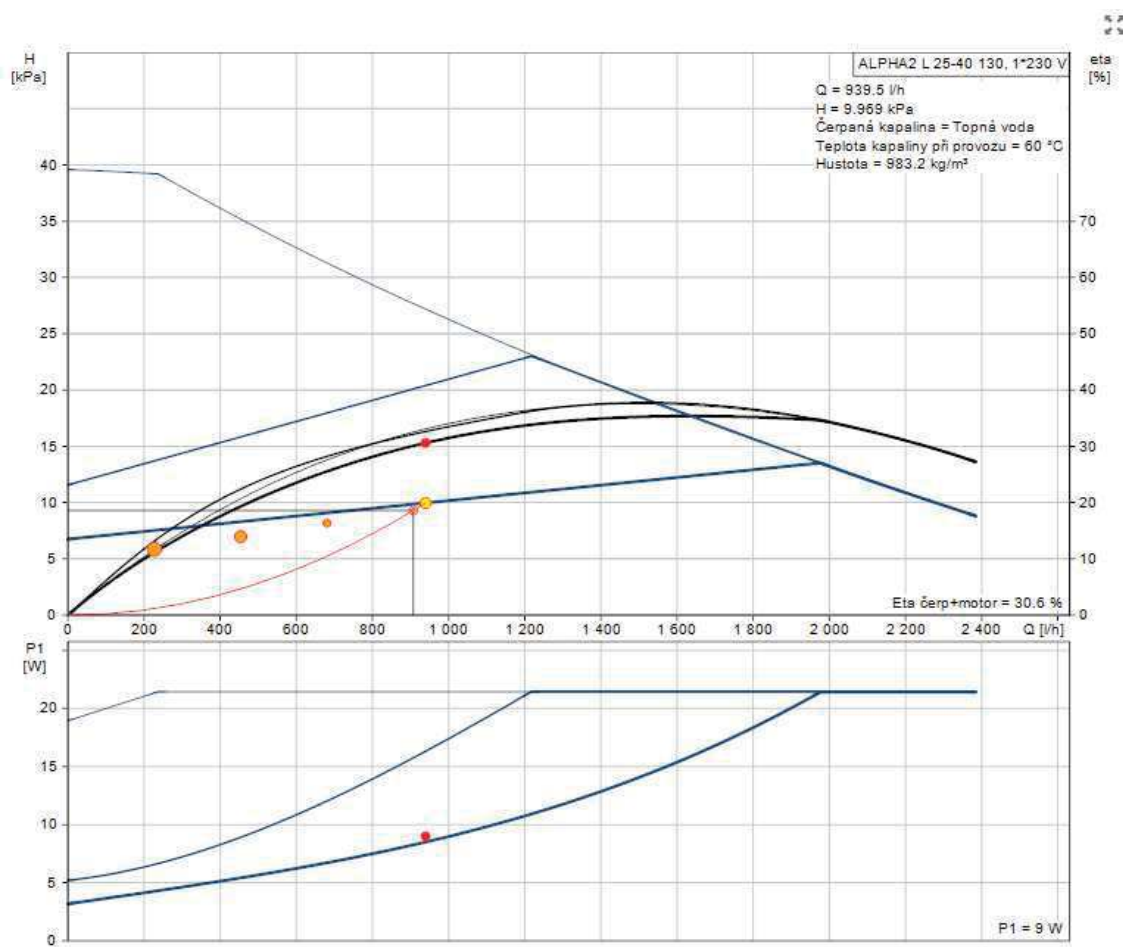
Obr. 4.3 Odečtení tlakové ztráty termostatického regulačního ventilu VD 2101 N [L24]

Pro odečtení tlakové ztráty regulačního šroubení se postupuje stejným způsobem, který lze vidět na obrázku 4.4.



Obr. 4.4 Odečtení tlakové ztráty regulačního šroubení DD 301 [L18]

Celková tlaková ztráta hlavní větve činí 9163 Pa. Jelikož oběhové čerpadlo, které je součástí kondenzačního kotle je na tento tlak nedostačující, tak bude osazeno oběhové čerpadlo od firmy GRUNDFOS typu ALPHA2 L 25-40 130. Pracovní bod čerpadla při dané tlakové ztrátě vychází na úrovni křivky s pracovní charakteristikou I a není potřeba dále soustavu doškrcovat. Na obrázku číslo 4. 5. můžete vidět charakteristiku čerpadla s pracovním bodem [L8].



Obr. 4.5 Charakteristika čerpadla ALPHA2 L 25-40 130 [L23]

Podrobný výpočet tlakových ztrát celého úseku můžete vidět v tabulce číslo 7. Výpočet všech úseků a okruhů je přiložen v příloze.

Tab 7. Celková tlaková ztráta hydraulicky nejzatíženějšího okruhu

ÚSEK	VÝKON $Q$	PRŮTOK $M$	DĚLKAL	$\emptyset$	R	w	$\Sigma\xi$	Z	R.I	Z.HR.I
	W	l/hod	m		Pa/m	m/s	-	Pa	Pa	Pa
<i>Vytápění - otopná tělesa</i>										
	<b>Těleso 1 (2.NP-202-): 10/600/20</b>			<b>45</b>	<b>55</b>					
<b>1</b>	10551	907,4	1,15	28x1,5	129	0,527	17	2326,9	148,35	2475
<b>2</b>	9562	822,3	1,57	28x1,5	109	0,473	0,6	66,2	171,13	237
<b>3</b>	8616	741,0	1,4	28x1,5	90,2	0,427	0,6	53,9	126,28	180
<b>4</b>	6099	524,5	0,5	22x1	141	0,47	0,6	65,3	70,5	136
<b>49</b>	2949	253,6	3,7	18x1	117	0,356	2,8	175,7	432,9	609
<b>50</b>	1380	118,7	4,35	18x1	30,5	0,168	1,9	26,4	132,675	159
<b>51</b>	969	83,3	4,55	15x1	45	0,178	1,9	29,7	204,75	234
<b>52</b>	558	48,0	5,1	15x1	17,5	0,102	5,6	28,7	89,25	118
<b>53</b>	558	48,0	4,7	15x1	17,5	0,102	4,5	23,2	82,25	105
<b>54</b>	969	83,3	4,45	15x1	45	0,178	1,9	29,8	200,25	230
<b>55</b>	1380	118,7	4,4	18x1	30,5	0,168	4,3	60,1	134,2	194
<b>49a</b>	2949	253,6	3,4	18x1	117	0,356	3	188,2	397,8	586
<b>13</b>	6099	524,5	0,3	22x1	141	0,47	0,6	65,6	42,3	108
<b>14</b>	8616	741,0	1,5	28x1,5	90,2	0,427	0,6	54,2	135,3	189
<b>15</b>	9562	822,3	1,63	28x1,5	109	0,473	1,3	144,0	177,67	322
<b>16</b>	10551	907,4	1,05	28x1,5	129	0,527	17	2338,0	135,45	2473
<b>OT</b>										41
<b>TRV</b>										635
<b>RV</b>										130
									$\Sigma$	<b>9163</b>

#### 4.4 Hydraulické vyvážení otopné soustavy

Principem hydraulického vyvážení otopné soustavy je docílit stejných tlakových ztrát ve všech otopných okruzích při požadovaném hmotnostním průtoku. Při nesplnění této podmínky by nebyla plněna správná funkce otopné soustavy a otopná tělesa by nedokázala vyvinout požadovaný tepelný výkon pro dosažení vnitřní teploty. Nebyla by také splněna tepelná pohoda vytápěného prostoru.

Hydraulické vyvážení spočívá v doškrcení vedlejších větví vůči hlavní větvi. V mé práci je okruh s největší tlakovou ztrátou k tělesu v místnosti -002-. Tlaková ztráta tohoto okruhu činí 9163 Pa. Hydraulické vyvážení se provádí pomocí přednastavení na termostatickém regulačním ventilu a regulačním šroubení. Při tomto postupu je

výhodnější škrtit tlakové ztráty na regulačním šroubení. Důvodem je zvýšení hluku při malém přednastavení termostatických regulačních ventilů, snížení pásma proporcionality a snížení schopnosti regulace termostatické hlavice. Snažil jsem se o co největší zaškrcení na regulačním šroubení. Zbylá tlaková ztráta byla zaškrcena na termostatickém ventilu. Pro příklad uvedu doškrcení otopného tělesa 8 v místnosti -206-. Tlaková ztráta třením a místními odpory v potrubí se v tomto okruhu rovnají 7675 Pa. Tlaková ztráta otopného tělesa byla vypočtena na 19 Pa. Z toho vyplývá, že je potřeba doškrtit 1469 Pa. Otopným tělesem při výkonu 374 W proudí 32,2 l/hod otopné vody. Pro tento průtok byla odečtena poloha regulačního šroubení 3 při seškrcení 1100 Pa. Při stejném průtoku byla odečtena hodnota termostatického regulačního ventilu 5 a seškrcení 370 Pa. Poté, z rovnice (30) vyplývá, že po seškrcení termostatického regulačního ventilu a regulačního šroubení se tlakové ztráty okruhu tohoto tělesa a hlavní větve téměř rovnají.

$$\begin{aligned}\Delta p_{vv} &= \Delta p_{hv} - \Delta p_{zt,m} - \Delta p_{r\check{s}} - \Delta p_{trv} = 9163 - (7675 + 19) - 1100 - 370 \\ &= -10 \text{ Pa}\end{aligned}$$

kde

$\Delta p_{vv}$  rozdíl tlakové ztráty hlavní větve a okruhu tělesa  
(paralelní větve) [Pa]

$\Delta p_{hv}$  tlaková ztráta hlavní větve [Pa]

$\Delta p_{r\check{s}}$  tlaková ztráta regulačního šroubení [Pa]

$\Delta p_{trv}$  tlaková ztráta termostatického regulačního ventilu [Pa].

Takto bylo postupováno při doškrcování ostatních paralelních větví. Podrobnější postup a nastavení regulačního šroubení a termostatických ventilů je uveden v příloze.

## 5. ZABEZPEČOVACÍ A POJISTNÉ ZAŘÍZENÍ

### 5.1 Návrh zabezpečovacího zařízení

Zabezpečovací zařízení zabezpečuje otopnou soustavu proti náhlým změnám teplot, potažmo tlaků s ohledem na tepelnou roztažnost otopné vody. Zabezpečovací zařízení jsou na trhu zastoupena otevřenými expanzními nádobami, tlakovými expanzními nádobami a automatickým expanzním zařízením. Expanzní nádoba se umísťuje na vratné potrubí otopné soustavy blízko zdroje tepla. Před expanzní nádobou se umísťuje uzavírací armatura z důvodu revize. Uzavírací armatura musí být při provozu otopné soustavy otevřena.

Součástí použitého kondenzačního kotle LOGAMAX GB062 – 14 je i tlaková membránová expanzní nádoba o objemu 8 l. Je potřeba provést kontrolu, zda instalovaná expanzní nádoba bude dostačující pro řešenou otopnou soustavu. Objem tlakové expanzní nádoby se vypočítá podle vztahu (31).

$$V_{exp} = \frac{1,3 \cdot V_s \cdot n}{\eta} \quad [l], \quad (31)$$

kde

$V_s$	objem otopné vody v soustavě	$[m^3]$
$n$	součinitel zvětšení objemu	$[-]$
$\eta$	stupeň využití expanzní nádoby	$[-]$ .

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{p_{h,dov,A} - p_{d,dov,A}}{p_{h,dov,A}} = \frac{p_{h,dov,A} - (1,1 \cdot h \cdot \rho \cdot g + p_b)}{p_{h,dov,A}} \\ &= \frac{(300 + 100) \cdot 10^3 - (1,1 \cdot 5 \cdot 1000 \cdot 9,81 + 100 \cdot 10^3)}{(300 + 100) \cdot 10^3} = 0,615 \end{aligned}$$

kde

$p_{h,dov,A}$	nejvyšší dovolený absolutní tlak	$[kPa]$
$p_{d,dov,A}$	nejnižší dovolený absolutní tlak	$[kPa]$
$p_b$	atmosférický tlak	$[kPa]$



$h$	výška vodního sloupce od středu ENdo otopné soustavy	nejvyššího místa [m]
$\rho$	hustota vody	[kg/m <sup>3</sup> ]
$g$	tíhové zrychlení	[m/s <sup>2</sup> ]

$$\Delta t_{max} = \Delta t_{max} - 10 = 55 - 10 = 45 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Pro hodnotu  $\Delta t_{max}$  odečtu hodnotu součinitele zvětšení objemu  $n$ , který takto vyšel 0,01413. Celkový objem vody v otopné soustavě je 137 l. Tyto hodnoty dosadím do vzorce (31) [L19].

$$V_{exp} = \frac{1,3 \cdot V_s \cdot n}{\eta} = \frac{1,3 \cdot 137 \cdot 0,01413}{0,615} = 4,09 \text{ l} < 8 \text{ l}$$

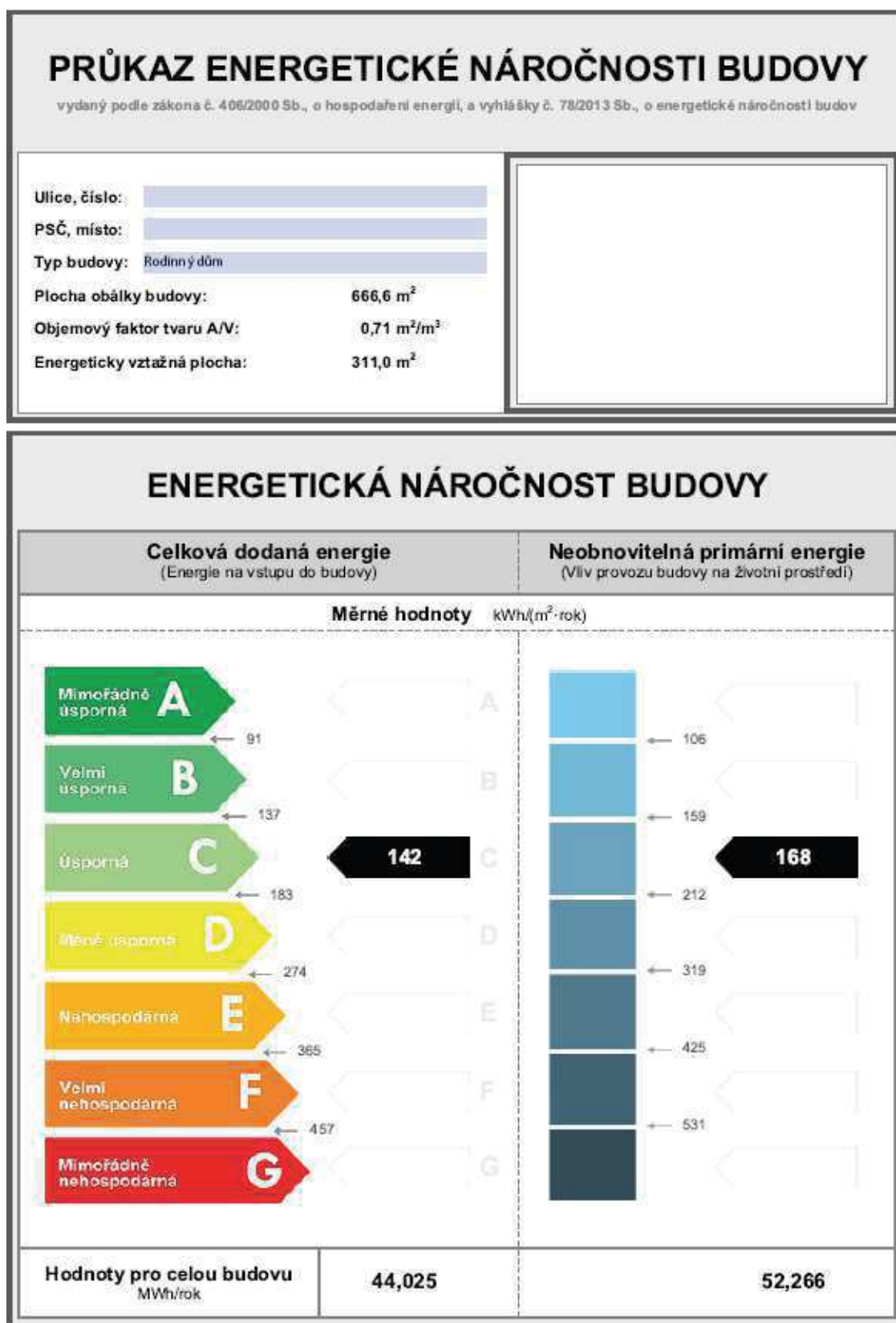
Z výpočtu můžeme vidět, že integrovaná expanzní nádoba, která je v kondenzačním kotli, je dostačující.

## 5.2 Návrh pojistného ventilu

Pojistné zařízení jistí zdroj tepla proti překročení nejvyššího dovoleného přetlaku. Pojistný ventil je umístěn co nejbliže kotli v pojistném úseku. Na úseku od zdroje tepla k pojistnému ventilu nesmí být osazena žádná uzavírací armatura a tento úsek musí být co nejkratší. Pojistné potrubí musí být svedeno tak, aby neohrožovalo obsluhu. Pojistný ventil při překročení maximálního dovoleného přetlaku sám otevře a sníží přetlak u zdroje tepla [L20]. Navržený kondenzační kotel Logamax GB062 – 14 obsahuje vestavěný pojistný ventil, který má otevírací přetlak nastaven na hodnotu 300 kPa.

## 6. PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOV

Průkaz energetické náročnosti budovy, neboli PENB, je ukazatel energetické náročnosti řešeného objektu, nebo jeho části. PENB vyhodnocuje veškeré energie potřebné pro provoz objektu. Do těchto energií spadá energie na vytápění, přípravu teplé vody, chlazení úpravu vzduchu, větrání klimatizace a energie na osvětlení. Tento průkaz podle náročnosti řadí budovy do tříd v rozsahu A-G s tím, že A je mimořádně úsporná budova a G mimořádně neúsporná budova [L21]. Tento průkaz je stavebník povinen od 1. 1. 2009 splnit a doložit. Od 1. 1. 2013 je tato povinnost přesněji specifikována. Stavebník, nebo vlastník je povinen zajistit zpracování PENB při výstavbě nové budovy, nebo při změně dokončené budovy. Tento průkaz poté platí 10 let od dne vystavení PENB, nebo od větší změny na budově, pro kterou byl průkaz zpracován [L22]. PENB pro tuto práci můžete vidět na následujících obrázcích 5.1 a 5.2. Kompletní protokol, který byl vypočten z programu Energie 2016 je v příloze.



Obr. 6.1 Průkaz energetické náročnosti budovy první strana [L26]

DOPORUČENÁ OPATŘENÍ	
Opatření pro	Stanovena
Vnější stěny:	<input type="checkbox"/>
Okna a dveře:	<input type="checkbox"/>
Střechu:	<input type="checkbox"/>
Podlahu:	<input type="checkbox"/>
Vytápění:	<input type="checkbox"/>
Chlazení/klimatizaci:	<input type="checkbox"/>
Větrání:	<input type="checkbox"/>
Přípravu teplé vody:	<input type="checkbox"/>
Osvětlení:	<input type="checkbox"/>
Jiné:	<input type="checkbox"/>

Popis opatření je v protokolu průkazu a vyhodnocení jejich dopadu na energetickou náročnost je znázorněno šipkou **Doporučení**



### UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY

	Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vlhkosti	Teplá voda	Osvětlení	
	$U_{em}$ W/(m <sup>2</sup> ·K)	Díleč dodané energie				Měrné hodnoty kWh/(m <sup>2</sup> ·rok)		
Přímošiftní úspornost <b>A</b> <b>B</b> <b>C</b> <b>D</b> <b>E</b> <b>F</b> <b>G</b> Vímosporné nevhodnosti								
			<b>116</b>				<b>20</b>	<b>6</b>
		<b>0,38</b>						
<b>Hodnoty pro celou budovu</b> MWh/rok		<b>35,95</b>				<b>6,33</b>	<b>1,75</b>	

Zpracovatel: Jakub Maleček

Kontakt: jakub.malecek@fs.cvut.cz

+420 603 741 854

Osvědčení č.:

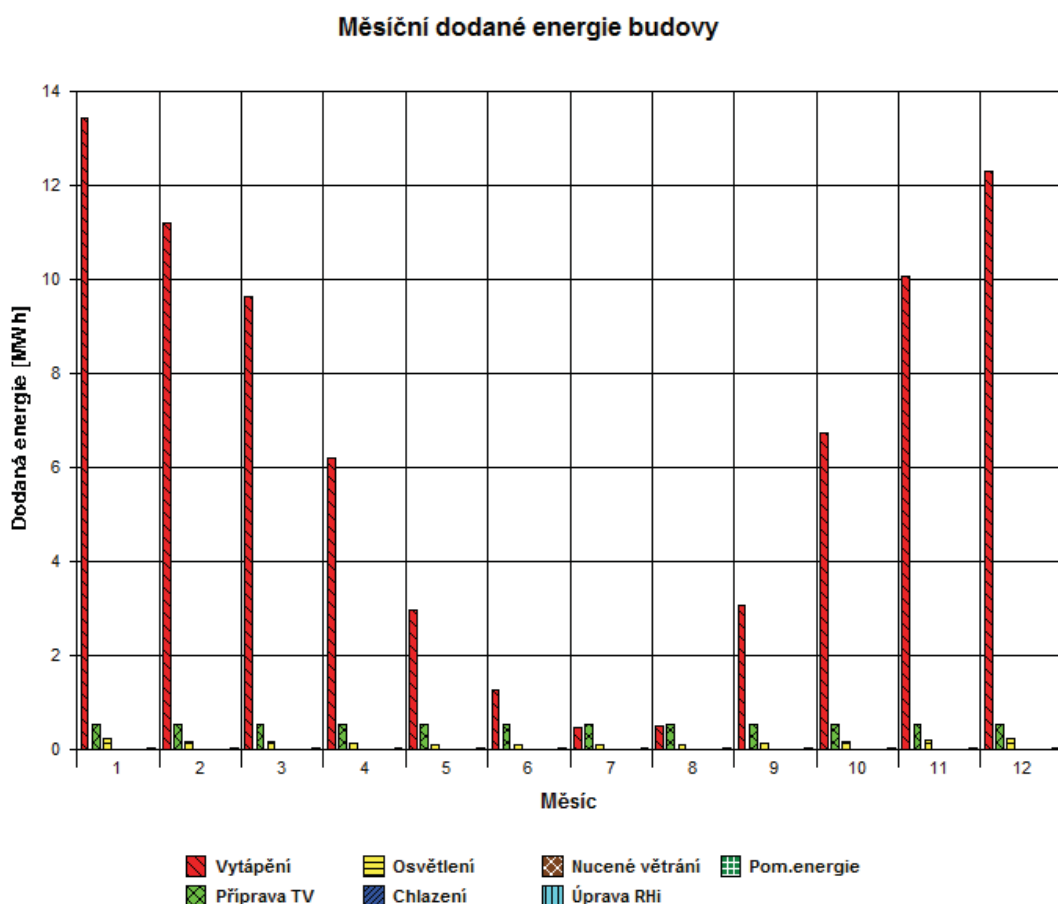
Vyhотовeno dne: 5. 4. 2017

Podpis:

Obr 6.2 Průkaz energetické náročnosti budov druhá strana [L26]

### 6.1 Vyhodnocení průkazu energetické náročnosti budovy

Hlavním ukazatelem, který určuje energetickou náročnost, je celková dodaná energie. U mého objektu vyšla  $142 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ , což řadí tuto stavbu do úsporné kategorie C, která má pro tento typ stavby rozmezí  $137\text{-}183 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ . Celková energeticky vztažná plocha budovy je  $311,0 \text{ m}^2$ . Další prvek, který se posuzuje je faktor A/V. Neboli plochy závislé na objemu. Tento faktor vyšel  $0,71 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . Další hodnota z programu Energie je měrná potřeba tepla na vytápění budovy. Tato hodnota vyšla  $85 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ . Další hodnotící prvek je celková měrná dodaná energie do budovy, která vyšla  $142 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ . Další parametr je hodnota neobnovitelné primární energie, která nám určuje, kolik neobnovitelné energie dodáme do budovy. Tato hodnota vyšla  $168 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ . Posledním hodnotícím parametrem je celková roční dodaná energie, který činí  $44,025 \text{ MWh}$  [L26]. Roční dodanou energii můžete vidět rozdělenou podle spotřeby na



Obr. 6.3 Měsíční dodaná energie do budovy [L26]

## 7. ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo posoudit tepelně technické parametry sávajícího rodinného domu a navrhnout taková opatření, aby budova splňovala normativní požadavky. Dále na nové tepelně technické požadavky navrhnout vhodnou otopnou soustavu se zdrojem tepla.

Po návrhu skladeb konstrukcí byl proveden výpočet součinitele prostupu tepla  $U$ , aby dané konstrukce splňovaly normové požadavky dle normy ČSN 73 0540-2. Díky dostatečnému návrhu tepelné izolace a vhodné volbě kvalitních materiálů konstrukce byly tyto požadavky splněny. Pro tyto hodnoty byly dále vypočteny tepelné ztráty celého objektu prostupem tepla a větráním. Celková ztráta objektu vyšla 10100 W. Na ztrátu jednotlivých místností byla navržena vhodná otopná tělesa a jejich výkon byl přepočten na teplotní spád soustavy 55/45 °C. Tělesa, která jsem použil v práci, jsou od firmy KORADO a jedná se o typ RADIK KLASIK. Otopná tělesa byla navržena a umístěna tak, aby byl dosažen co největší tepelný komfort ve vytápěných místnostech. V koupelnách byla navržena trubková otopná tělesa od firmy KORADU typu KORALUX LINEAR COMFORT. Na celkový instalovaný výkon byl navržen plynový kondenzační kotel Logamax plus GB062 – 14, který má jmenovitý tepelný výkon 14 kW. Odkouření kotle bylo zvoleno podle systému BOKRA typu KOAXIAL turbo o Ø 80/125 mm. Pro přípravu teplé vody jsem navrhl plynový přímo ohříváný zásobník teplé vody ARISTON P CA 150. Tento návrh byl proveden podle normy ČSN EN 15 316-3, která nám určuje dobu odběru teplé vody pro rodinné domy.

V objektu jsem navrhl vertikální soustavu se spodním rozvodem s nuceným oběhem vody, nízkoteplotní, uzavřenou, s tlakovou expanzní nádobou, která je součástí kotle a soustavou s teplotním spádem 55/45 °C. Rozvod potrubí bude proveden z mědi. Potrubí bude izolováno pomocí izolace TUBOLIT S z důvodu kondenzace vodních par na potrubí. Pro dimenzování otopné soustavy byla použita metoda ekonomických rychlostí, která volí optimální rychlost v potrubí 0,5 – 0,7 m/s. Po nedimenzování otopné soustavy bylo provedeno hydraulické vyvážení otopné soustavy. Po určení hlavní větve bylo provedeno doškracení všech paralelních větví na termostatických regulačních ventilech a regulačních šroubeních.

Oběhové čerpadlo pro otopnou vodu bylo zvoleno podle tlakové ztráty hlavní větve, jejíž tlaková ztráta činí 9163 Pa, ALPHA2 L 25-40 130.

Otopná soustava je zabezpečena tlakovou expanzní nádobou, která je součástí kondenzačního kotle, který je umístěn v technické místnosti -006- v prvním podzemním podlaží. Tato expanzní nádoba má objem 8 l a vyhovuje požadavkům pro otopnou soustavu. Plynový kondenzační kotel je jistěn pojistným ventilem, který má nastavený otevírací přetlak na 300 kPa.

Pro řešený objekt v bakalářské práci byl vypracován průkaz energetické náročnosti budovy, který tento objekt řadí do kategorie C – úsporná budova.

**Seznam literatury**

- [L1] SVOBODA, Zbyněk: *Stavební fyzika, Teplo 2010*. Praha: ČVUT FSv 2010
- [L2] BAŠTA, Jiří: *Výpočet součinitele prostupu tepla* [Přednáška]. Praha: ČVUT, říjen 2016
- [L3] ČSN 06 0210 *Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění*. Praha. ÚNMZ: únor 1999
- [L4] ČSN EN 12 831 *Tepelné soustavy v budovách- Výpočet tepelného výkonu*. Praha: ÚNMZ: březen 2005
- [L5] BAŠTA, Jiří: *Výpočet tepelných ztrát, zjednodušená metoda prof. Vaverky* [Přednáška]. Praha: ČVUT, říjen 2016
- [L6] *Volba zdroje tepla pro vytápění rodinného domu. V-systém elektro s.r.o.* [online] 2014 [cit. 8. 3. 2017] Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-elektro/10771-volba-zdroje-tepla-pro-vytapani-rodinneho-domu>
- [L7] *Jaké tepelné čerpadlo zvolit pro vytápění rodinného domu*. KRAINER, Robert [online] 2015 [cit. 10. 3. 2017] Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12462-jake-tepelne-cerpadlo-zvolit-pro-vytapani-rodinneho-domu>
- [L8] *BUDERUS – technický katalog Logamax plus GB062*. BUDERUS [online] 2013 [cit. 10. 3. 2017]  
Dostupné z: [https://www.buderus.com/ocs\\_media/v2.1.1/cs\\_CZ/media/6720864842.pdf](https://www.buderus.com/ocs_media/v2.1.1/cs_CZ/media/6720864842.pdf)
- [L9] BAŠTA, Jiří: *Normovaný stupeň využití* [Přednáška]. Praha: ČVUT, prosinec 2016
- [L10] *BOKRA - Systém Bokra KOAXIAL Turbo. KOMÍNI BOKRA* [online] 2013 [cit. 12. 4. 2017] Dostupné z: [http://www.kominy-bokra.cz/uploads/images/page/2014/08/3801\\_95427\\_large.jpg](http://www.kominy-bokra.cz/uploads/images/page/2014/08/3801_95427_large.jpg)
- [L11] VAVŘIČKA, Roman: *Návrh zásobníku teplé vody* [Přednáška]. Praha: ČVUT, březen 2017
- [L12] *ARISTON P CA 150 zásobníkový ohřívač vody plynový*. PEM TRADE S.R.O. [online] 2016 [cit. 25. 4. 2017] Dostupné z: <http://files.pemtrade.cz/f/Ariston/ARISTON%20P%20CA.pdf>



- [L13] *Otopné plochy - úvod do problematiky*. BAŠTA, Jiří [online] 2006 [cit. 1. 5. 2017] Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/otopne-plochy/3052-otopne-plochy-uvod-do-problematiky>
- [L14] *RADIK KLASIK Deskové otopné těleso*. KORADO [online] 2013 [cit. 12. 5. 2017] Dostupné z: <https://www.korado.cz/produkty/radik/radik-klasik.html>
- [L15] BAŠTA, Jiří: *Materiály pro otopnou soustavu* [Přednáška]. Praha: ČVUT, listopad 2016
- [L16] *Projektování a instalace mědi MĚDĚNÉ ROZVODY*. [online] 2016 [cit. 12. 5. 2017] Dostupné z: [http://medenerozvody.cz/sites/default/files/publication\\_files/7\\_prirucka\\_k\\_projektovani\\_systemu\\_2012.pdf](http://medenerozvody.cz/sites/default/files/publication_files/7_prirucka_k_projektovani_systemu_2012.pdf)
- [L17] *RADIK KLASIK Deskové otopné těleso*. KORADO [online] 2013 [cit. 12. 5. 2017] Dostupné z: <https://www.korado.cz/common/downloads/radik-deskova-otopna-telesa-1484896163.pdf>
- [L18] *Regulační šroubení* IVAR.CS [online] 2015 [cit. 20. 5. 2017] Dostupné z: [http://www.ivarcs.cz/?download=\\_/p.000152/technicky-list\\_ivar.dd-301.pdf](http://www.ivarcs.cz/?download=_/p.000152/technicky-list_ivar.dd-301.pdf)
- [L19] BOHÁČ, Jindřich: *Pojistná a zabezpečovací zařízení* [cvičení]. Praha: ČVUT, prosinec 2016
- [L20] BAŠTA, Jiří: *Pojistná a zabezpečovací zařízení* [Přednáška]. Praha: ČVUT, listopad 2016
- [L21] *Průkaz energetické náročnosti budov*. Schiedel, s.r.o. [online] 2016 Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/nizkoenergeticke-stavby/15123-prukaz-energeticke-narocnosti-budov>
- [L22] *Průkaz energetické náročnosti budov* MPO [online] 2014 Dostupné z: <https://www.mpo.cz/dokument119528.html>
- [L23] *GRUNDFOS – technický katalog ALPHA2 L*. GRUNDFOS [online] 2015 [cit. 22. 6. 2017]
- [L24] *TERMOSTATICKÝ VENTIL* IVAR.CS [online] 2015 [cit. 20. 5. 2017] Dostupné z: [http://www.ivarcs.cz/?download=\\_/p.000138/technicky-list\\_ivar.vd-2101-n.pdf](http://www.ivarcs.cz/?download=_/p.000138/technicky-list_ivar.vd-2101-n.pdf)

[L26] SVOBODA, Zbyněk: *Stavební fyzika, ENERGIE 2016*. Praha: ČVUT FSv 2016

### **Seznam příloh**

08-2017-01	Půdorys 1. PP
08-2017-02	Půdorys 1. NP
08-2017-03	Půdorys 2. NP
08-2017-04	Rozvinuté schéma

### **Seznam příloh na přiloženém CD**

- 1- Výpočet součinitele prostupu tepla
- 2- Výpočet tepelných ztrát
- 3- Hydraulický výpočet
- 4- Průkaz energetické náročnosti budovy
- 5- Výkresová dokumentace
- 6- Bakalářská práce – elektrická podoba
- 7- Technické specifikace výrobků