

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

**STUDIE VYTÁPĚNÍ
DVOUGENERAČNÍHO RODINNÉHO
DOMU**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

SOUHRN

Tato diplomová práce se zabývá studií vytápění, větrání a chlazení dvougeneračního rodinného domu. Součástí této práce je návrh tepelně technických vlastností domu dle normy ČSN 73 0540-2. Studie obsahuje výpočet tepelných ztrát dle normy ČSN EN 12 831-1. Pro hrazení tepelných ztrát je navržena dvoutrubková horizontální protiproudá otopná soustava. Jako zdroj tepla je navrhnut plynový kondenzační kotel. Součástí studie je i návrh větrání splňující požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15 665/Z1. Větrání je řešeno dvěma vzduchotechnickými jednotkami se zpětným získáváním tepla. Tepelné zisky byly vypočteny dle normy ČSN 73 0548 a jejich hrazení slouží chladicí multi split jednotky.

SUMMARY

This diploma thesis deals with the study of heating, ventilation and cooling of a two-generation family house. Part of this thesis is the design of thermal technical properties of the house according to the standard ČSN 73 0540-2.

Heat loss calculation follows the technical standard ČSN EN 12 831-1. A two-pipe horizontal countercurrent heating system is designed to cover heat losses. A gas condensing boiler is designed as a heat source. Part of the study is also the design of ventilation meeting the requirements for ventilation of residential buildings according to ČSN EN 15 665/Z1. For ventilation two air handling units with heat recovery were chosen. Heat gains were calculated according to the ČSN 73 0548 standard and are covered by multi-split cooling units.

PROHLÁŠENÍ

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

V Praze 29.06.2022

Jonáš Ženatý

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce panu prof. Ing. Jiřímu Baštovi, Ph.D., za užitečné rady a zodpovídání mých dotazů stejně jako za čas a ochotu, kterou mi věnoval při vedení mé diplomové práce. Za poskytnuté konzultace také děkuji panu doc. Ing. Vladimíru Zmrhalovi, Ph.D. a panu Ing. Petrovi Matouškovi.

Dále děkuji mé rodině a všem, kteří mě podporovali během studia na Fakultě strojní ČVUT v Praze.

OBSAH

1.	Úvod.....	17
2.	Popis objektu.....	18
2.1	Tepelně technické vlastnosti	19
2.1.1	Skladba stavebních konstrukcí	20
3.	Tepelná ztráta objektu.....	23
3.1	Výpočet tepelné ztráty objektu.....	23
4.	Otopná soustava.....	29
4.1	Volba typu otopné soustavy	29
4.2	Otopná tělesa	32
4.3	Návrh potrubní sítě.....	34
4.4	Vyvážení otopné soustavy.....	38
4.5	Tepelná izolace rozvodů	39
4.6	Zdroj tepla	41
4.6.1	Oběhové čerpadlo.....	42
4.6.2	Pojistná a zabezpečovací zařízení	43
5.	Potřeba tepla a paliva na vytápění	46
5.1	Výpočet teoretické potřeby tepla	47
5.2	Výpočet skutečné potřeby tepla na vytápění.....	49
6.	Vzduchotechnika	50
6.1	Návrh jednotek	52
6.2	Zóny objektu	60
6.3	Regulace vzduchotechniky.....	61
6.4	Dimenzování rozvodů	62
6.5	Návrh koncových prvků.....	66
6.5.1	Přívodní vyústky.....	66

6.5.2	Odvodní vyústky	66
6.6	Izolace vzduchotechnického potrubí.....	67
7.	Zajištění chlazení v létě	68
7.1	Výpočet tepelné zátěže objektu.....	68
7.2	Základní výpočty pro výpočet tepelné zátěže	68
7.2.1	Výpočet polohy slunce	68
7.2.2	Intenzita sluneční radiace	70
7.2.3	Intenzita sluneční radiace procházející zasklením	72
7.2.4	Výpočet teploty venkovního vzduchu.....	73
7.3	Tepelné zisky z vnějšího prostředí.....	73
7.3.1	Tepelná zátěž okny	73
7.4	Tepelné zisky stěnami	75
7.4.1	Celková vnější tepelná zátěž	76
7.5	Tepelné zisky vnitřních zdrojů tepla	76
7.5.1	Tepelné zisky od lidí	76
7.5.2	Tepelné zisky od osvětlení	77
7.5.3	Tepelné zisky od technologie	77
7.5.4	Celková vnitřní tepelná zátěž	77
7.6	Celková tepelná zátěž.....	77
7.7	Chladicí jednotky	78
7.8	Tepelná izolace rozvodů	80
8.	Požadavky na související profese	81
8.1	Stavba.....	81
8.2	Elektro	81
8.3	Zdravotně technické instalace	81
9.	Závěr	82
10.	Seznam Použité literatury	84

11. Seznam Příloh.....	88
------------------------	----

ZNAČKY A JEDNOTKY

A	$[K]$	amplituda kolísání venkovních teplot vzduchu
A_G	$[m^2]$	plocha podlahové desky
A_K	$[m^2]$	plocha stavební části
B'	$[m^2]$	geometrický parametr podlahové desky
D	$[m]$	vnější průměr izolace
D	$[K \cdot den]$	počet denostupňů
H	$[m]$	výška zasklené části okna
H_T	$[W \cdot K^{-1}]$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru
$H_{T,ia}$	$[W \cdot K^{-1}]$	do sousedních vytápěných prostor (a)
$H_{T,ie}$	$[W \cdot K^{-1}]$	přímo do venkovního prostředí (e)
$H_{T,ig}$	$[W \cdot K^{-1}]$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do zeminy
$H_{T,iae}$	$[W \cdot K^{-1}]$	do venkovního prostředí přes sousední nevytápěné prostory (např. sklep, půda) nebo sousední nevytápěné přilehlé budovy (např. zimní zahrada, garáže)
$H_{T,ieBE}$	$[W \cdot K^{-1}]$	do sousedních funkčních částí budovy, které jsou považovány za nevytápěné nebo vytápěné na jinou teplotu

H_u	$[MJ \cdot m^{-3}]$	výhřevnost zemního plynu
$I_{\check{c}}$	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	intenzita sluneční radiace při průchodu čistou atmosférou
I_D	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	intenzita přímé sluneční radiace
I_{DS}	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	intenzita přímé sluneční radiace dopadající na orientovanou plochu
I_d	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	intenzita difusní sluneční radiace
I_o	$[W \cdot m^{-2}]$	celková intenzita sluneční radiace procházející standardním jednoduchým zasklením
I_{od}	$[W \cdot m^{-2}]$	intenzita difuzní sluneční radiace procházející standardním jednoduchým zasklením
I_0	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	sluneční konstanta
L	$[m]$	šířka zasklené části okna
M	$[-]$	číslo měsíce
P	$[W]$	elektrický příkon
P	$[m]$	nechráněný obvod podlahové desky
P_b	$[kPa]$	barometrický tlak
$P_{h,dov}$	$[kPa]$	maximální dovolený tlak
P_{ot}	$[kPa]$	otevřací tlak pojistného ventilu
Q_L	$[W]$	tepelná zátěž od lidí
Q_m	$[W]$	výkon otopného tělesa

Q_{ok}	[W]	tepelná zátěž okny způsobena konvekcí
Q_{or}	[W]	tepelná zátěž okny způsobena radiací
Q_s	[W]	tepelné zisky stěnami
Q_{sv}	[W]	tepelná zátěž od osvětlení
Q_t	[W]	tepelná zátěž od technologie
Q_{ze}	[W]	celková vnější tepelná zátěž
Q_{zi}	[W]	celková vnitřní tepelná zátěž
R	[Pa · m ⁻¹]	měrná tlaková ztráta
Re	[–]	Reynoldsovo číslo
R_n	[m ² · K · W ⁻¹]	tepelný odpor n-té stavební konstrukce
R_{si}	[m ² · K · W ⁻¹]	tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně
R_{se}	[m ² · K · W ⁻¹]	tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně
S_n	[m]	tloušťka n-té stavební konstrukce
S_o	[m ²]	plocha okna včetně rámu
S_{osv}	[m ²]	osvětlená plocha
S_{os}	[m ²]	osluněný povrch okna
S_{st}	[m ²]	plocha stěny
T_D	[–]	celková propustnost difusní sluneční radiace
U	[W · m ⁻² · K]	součinitel prostupu tepla
$U_{equiv,k}$	[W · m ⁻² · K ⁻¹]	ekvivalentní součinitel prostupu

		tepla stavební části v kontaktu se zeminou
U_K	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	součinitel prostupu tepla stavební části
U_o	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	součinitel prostupu tepla oknem
U_{st}	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	součinitel prostupu tepla stěnou
\dot{V}	$[m^3 \cdot h^{-1}]$	objemový průtok
\dot{V}_e	$[m^3 \cdot h^{-1}]$	je objemový průtok přiváděného čerstvého venkovního vzduchu
V_{EN}	$[m^3]$	objem expanzní nádoby
V_{OS}	$[m^3]$	objem vody v otopné soustavě
V_i	$[m^3]$	objem vnitřního větraného prostoru
Z	$[Pa]$	tlaková ztráta místními odpory
a	$[^\circ]$	sluneční azimut
c	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	měrná tepelná kapacita
c	$[m]$	hloubka okna vzhledem k horní stínící desce
c_o	$[-]$	korekce na čistotu atmosféry pro průmyslovou oblast
c_1	$[-]$	součinitel současnosti
c_2	$[-]$	zbytkový součinitel
c_3	$[-]$	součinitel využití stroje
d	$[m]$	hloubka okna
d	$[den]$	počet dnů otopného období
d	$[m]$	vnitřní průměr potrubí

d_e	[m]	vnější průměr potrubí
d_i	[m]	vnitřní průměr potrubí
$d_{zkrácený}$	[den]	zkrácený počet dnů otopného období
e_1, e_2	[m]	délky stínů v okenním otvoru od okraje slunolamů
f	[m]	odstup vodorovné části okna od slunolamů
$f_{ia(...),k}$	[–]	teplotní opravný činitel zahrnující rozdíl teplot mezi teplotou nevytápěného prostoru nebo vytápěného na jinou teplotu a venkovní výpočtovou teplotu
$f_{ie,k}$	[–]	teplotní opravný činitel
$f_{GW,k}$	[–]	opravný činitel zohledňující vliv spodní vody
$f_{ig,k}$	[–]	teplotní opravný činitel
$f_{U,k}$	[–]	opravný činitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy, které nebyly uvažovány při stanovování příslušných součinitele prostupu tepla
$f_{\phi ann}$	[–]	opravný činitel zohledňující vliv změny venkovní teploty v průběhu roku
g	[m · s ⁻²]	tíhové zrychlení
g	[m]	odstup vodorovné části okna od slunolamů
h	[°]	výška slunce nad obzorem
h	[kPa]	výška nejvyššího bodu otopné soustavy

k_v	$[m^3 \cdot h^{-1}]$	jmenovitý průtok
l	$[m]$	délka potrubí
\dot{m}	$[kg \cdot s^{-1}]$	hmotnostní průtok
n	$[-]$	součinitel zvětšení objemu
n_L	$[-]$	počet lidí
n_o	$[-]$	počet oken
q_{sv}	$[W \cdot m^{-2}]$	měrná produkce tepla od osvětlení zářivkami
s	$[-]$	stínící součinitel
t_e	$[^{\circ}C]$	venkovní teplota
$t_{e\ max}$	$[^{\circ}C]$	maximální teplota v daném měsíci
t_i	$[^{\circ}C]$	vnitřní teplota
t_{rm}	$[^{\circ}C]$	průměrná rovníčná sluneční teplota vzduchu za 24 hodin
v	$[m \cdot s^{-1}]$	střední rychlost v potrubí
w	$[m \cdot s^{-1}]$	rychlost proudění vzduchu
z	$[-]$	součinitel znečištění atmosféry
Δp	$[kPa]$	tlaková ztráta
Δp_{max}	$[Pa]$	největší tlaková ztráta okruhu
Δp_p	$[Pa]$	tlaková ztráta potrubí
$\Delta p_{R\dot{S}}$	$[Pa]$	tlaková ztráta regulačního šroubení
ΔU_{TB}	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	přirážka na vliv tepelných vazeb
$\Delta p_{TRV,O\dot{S}}$	$[Pa]$	tlaková ztráta OT a TRV
Δp_z	$[Pa]$	celková tlaková ztráta

Δp_{zc}	$[Pa]$	celková tlaková ztráta
Δp_{zm}	$[Pa]$	místní tlaková ztráta
Δp_{zt}	$[Pa]$	tlaková ztráta třením
ΔT	$[K]$	teplotní spád
Δt	$[K]$	rozdíl teplot vnitřního a vnějšího prostředí
ϕ_C	$[W]$	celková tepelná ztráta objektu
$\phi_{gain,i}$	$[W]$	trvalé tepelné zisky ve vytápěném prostoru
$\phi_{HL,i}$	$[W]$	návrhový tepelný výkon vytápěného prostoru
$\phi_{hu,i}$	$[W]$	volitelný dodatečný zátopový tepelný výkon vytápěného prostoru v případě přerušovaného vytápění
$\phi_{T,i}$	$[W]$	návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru
$\phi_{V,i}$	$[W]$	návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru
ϕ_{VYT}	$[J]$	skutečná potřeba tepla
α	$[^\circ]$	úhel stěny s vodorovnou rovinou měřený na straně odvrácené od slunce
α_e	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	součinitel přestupu tepla na vnější straně
α_i	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	součinitel přestupu tepla na vnitřní straně

γ	[°]	azimutový úhel normály měřený od severu podle směru hodinových ručiček
δ	[°]	sluneční deklinace
ε_d	[–]	opravný součinitel na zkrácení provozu
ε_i	[–]	opravný součinitel nesoučasnosti tepelné ztráty větráním a prostupem daný vztahem
ε_t	[–]	opravný součinitel na snížení vnitřní výpočtové teploty
η	[–]	stupeň využití expanzní nádoby
η_O	[–]	účinnost regulace (případně obsluhy)
η_R	[–]	účinnost rozvodů tepelné energie
η_Z	[–]	účinnost zdroje tepla
θ	[°]	úhel mezi normálou povrchu a směrem slunečních paprsků
θ_e	[°C]	venkovní výpočtová teplota
$\theta_{e,m}$	[°C]	průměrná venkovní teplota za otopné období
θ_{es}	[°C]	průměrná venkovní teplota
θ_i	[°C]	vnitřní výpočtová teplota
$\theta_{ia(...)}$	[°C]	teplota vnitřního vzduchu sousedních prostor
$\theta_{int,i}$	[°C]	vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru
θ_{is}	[°C]	průměrná vnitřní výpočtová teplota

$\theta_{i,snížená}$	$[^{\circ}C]$	snížená vnitřní výpočtová teplota
λ	$[-]$	součinitel tlakové ztráty třením
λ_i	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	provozní tepelná vodivost izolačního materiálu
λ_n	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	součinitel tepelné vodivosti n-té stavební konstrukce
λ_{st}	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	tepelná vodivost izolované stěny
ν	$[m^2 \cdot s^{-1}]$	kinematická viskozita vzduchu
ξ	$[-]$	součinitel místního odporu
ρ	$[kg \cdot m^{-3}]$	hustota
τ	$[h]$	sluneční čas

1. ÚVOD

Vnitřní prostředí budov prochází v současné době nepřetržitým vývojem a paralelně s ním se neustále zvyšují i nároky na jeho kvalitu. Pro zajištění co nejlepší kvality vnitřního prostředí a klima je důležité, aby k návrhu jednotlivých systémů zajišťující komfortní vnitřní prostředí bylo přistupováno komplexně. Tato diplomová práce řeší právě takový návrh, a to v oblasti vytápění, vzduchotechniky a chlazení dvougeneračního rodinného domu v Praze Dejvicích.

První část této práce obsahuje návrh otopné soustavy, kterému předcházela návrh tepelně technických konstrukcí a výplní otvorů tak, aby splňoval doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla dle normy ČSN 73 0540-2. Pro výpočet teplených ztrát byl použit postup uvedený v normě ČSN EN 12 831-1. Výsledkem této části je dvoutrubková horizontální protiproudá otopná soustava, která bude napojena na plynový kondenzační kotel. Další část této práce je zaměřena na návrh větrání. V objektu je navrženo nucené rovnotlaké větrání splňující požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15 665/Z1. Použité vzduchotechnické jednotky jsou vybaveny deskovým protiproudým výměníkem pro zpětné získávání tepla. Vzduchotechnický systém hlavní obytné části využívá, z důvodu její rozsáhlosti, systém jednotlivých rovnotlakých zón, které jsou na zbytek sítě připojeny pomocí variabilních regulátorů průtoku. Poslední, třetí část diplomové práce se zabývá chlazením obytných místností pomocí multi split jednotek, které pokrývají veškeré tepelné zisky, které byly vypočteny dle normy ČSN 73 0548.

2. POPIS OBJEKTU

Dvougenerační rodinný dům, kterým se tato studie zabývá, bude umístěn ve vilové oblasti Hanspaulka v Praze Dejvicích (dále též „rodinný dům“). Jedná se o dům tvořený třemi nadzemními podlažími a suterénem, ve kterém se nachází technická místnost s technologií vytápění a větrání, a sklad. Střeška objektu je plochá a zateplená.

Rodinný dům obsahuje dvě bytové jednotky o dispozicích 2+kk a 7+1. Obě tyto jednotky spolu sdílí vchod a společnou chodbu. Jednotka 2+kk se nachází v 1NP a skládá se z obývacího pokoje s kuchyňským koutem, ložnice, šatny a koupelny. Hlavní bytová jednotka 7+1 se rozprostírá přes všechna tři patra. Místnosti obou bytových jednotek včetně výpočtových teplot jsou popsány v následující tabulce.

Tab. 2-1 Výpočtové teploty v jednotlivých místnostech objektu

Nadzemní podlaží	Bytová jednotka	Název místnosti	Vnitřní výpočtová teplota [°C]
Číslo místnosti			
1PP			
00.01		Technická místnost	
00.02		Sklad	
00.03		Sklad – zahrada	
1NP			
1.01	7+1	Hala	
1.02		Garáž	15
1.03		Schodiště	
1.04		Šatna	15
1.05		Komora	15
1.06		Chodba	20
1.07		WC	
1.08		Kuchyň + jídelna	20
1.09		Spíž	
1.10		Obývací pokoj	20
1.11	Pracovna	20	
1.12	2+kk	Obývací pokoj 2	20
1.13		Ložnice	20
1.14		Šatna	20
1.15		Koupelna	24
2NP			
2.01	7+1	Chodba	20
2.02		Hosté	20
2.03		Koupelna	24
2.04		Ložnice	20

2.05		Koupelna	24
2.06		Šatna	20
2.07		Chodba	20
2.08		Prádelna	20
2.09		Koupelna	24
2.10		Dětský pokoj	20
2.11		Dětský pokoj	20
3NP			
3.01		Chodba	20
3.02		Posilovna	20
3.03		Koupelna	24
3.04		WC	
3.05		Sauna	

2.1 Tepelně technické vlastnosti

Stavební konstrukce domu a jednotlivé stavební vrstvy mají na zcela zásadní vliv na technické vlastnosti domu. Ty totiž výrazně ovlivňují tepelné ztráty objektu, a tudíž i jeho energetickou náročnost.

Hlavním hodnotícím parametrem, který je využíván k porovnávání tepelně technických vlastností stavebních konstrukcí, je součinitel tepelné vodivosti [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]. Tato veličina popisuje schopnost materiálu vést teplo. Spolu se součinitelem tepelné vodivosti je používán součinitel prostupu tepla, který je na něm závislý, a který také popisuje, kolik tepla pronikne konstrukcí o ploše 1 m^2 při rozdílu teplot 1 K . [1]

V současné době platí norma ČSN 73 0540-2:2011 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky, která stanovuje požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro budovy s navrhovanou vnitřní teplotou v rozmezí 18 až $22 \text{ }^\circ\text{C}$. [1]

Součinitel prostupu tepla se je počítán podle následujícího vztahu, který je uveden v normě ČSN EN ISO 6946 [1]:

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

kde:

U	součinitel prostupu tepla	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
R_{si}	tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$
R_{se}	tepelný odpor při přestupu tepla na venkovní straně	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$
R_n	tepelný odpor n-té stavební konstrukce	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$
S_n	tloušťka n-té stavební konstrukce	$[m]$
λ_n	součinitel tepelné vodivosti n-té stavební konstrukce	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$.

Norma ČSN EN ISO 6946 stanovuje také hodnoty tepelných odporů při přestupu tepla pro neprůsvitné rovinné povrchy. Hodnoty uvedené v následující tabulce platí pouze pro styk rovinných ploch se vzduchem [1]:

Tab. 2-2 Hodnoty tepelných odporů

Tepelný odpor při přestupu tepla $[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	Směr tepelného toku		
	Nahoru	Vodorovně	Dolů
R_{si}	0,1	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

2.1.1 Skladba stavebních konstrukcí

V rodinném domě jsou plánovány dva typy vnějších stěn. První typ se skládá z jádrové omítky, Porotherm 30 Profi, izolace ISOVER EPS Graywall a cihelného obkladu, který je od zbytku konstrukcí oddělen provětrávanou mezerou. Druhý typ se skládá z jádrové omítky Ytongu PDK, izolace ISOVER EPS Greywall a jádrové omítky na druhé straně. Celkový součinitel prostupu tepla typu 1 je $0,119 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$, typu 2 $0,133 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$. Obě tyto hodnoty splňují doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro pasivní domy. [2][3][4]

Tab. 2-3 Materiály a skladba stěn

	Materiál	Tloušťka s [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W · m ⁻¹ · K ⁻¹]
Typ 1	Jádrová omítka	0,01	0,1
	Porotherm 30 Profi	0,3	0,175
	ISOVER EPS Graywall	0,22	0,035
	Cihelný obklad	0,09	0,7
Typ 2	Jádrová omítka	0,01	0,1
	Ytong PKD	0,3	0,33
	ISOVER EPS Graywall	0,22	0,035
	Jádrová omítka	0,01	0,1

Podlaha na terénu bude složena z nášlapné vrstvy, Anhydritu, Izolace ISOVER EPS 150 a železobetonové desky. Celkový součinitel prostupu tepla je 0,213 W·m⁻¹·K⁻¹, což je hodnota spadající do rozmezí součinitelů prostupů tepla doporučené pro pasivní domy. [2][3][4]

Tab. 2-4 Materiály a skladba podlah

Materiál	Tloušťka s [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W · m ⁻¹ · K ⁻¹]
Nášlapná vrstva	0,015	1,1
Anhydrit	0,1	1,2
ISOVER EPS 150	0,15	0,035
Železobetonová deska	0,15	1,43

Rodinný dům bude mít plochou střechu s atikou. Skládá se z vegetačního substrátu, geotextílie, nopové fólie, separační fólie, hydroizolační 3 mm fólie, další vrstvy separační fólie, tepelné izolace dekperimetr SD 150, izolace ISOVER EPS 150,

železobetonu a jádrové omítky. Celkový součinitel prostupu tepla střechy je $0,110 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. [2][3][4]

Tab. 2-5 Materiály a skladba střechy

Materiál	Tloušťka s [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
Dekperimetr SD 150	0,15	0,034
ISOVER EPS 150	0,15	0,035
Železobetonová deska	0,25	1,43
Jádrová omítka	0,01	0,1

3. TEPELNÁ ZTRÁTA OBJEKTU

3.1 Výpočet tepelné ztráty objektu

V současné době se tepelná ztráta objektu stanovuje dle normy ČSN EN 12 831-1, která byla uvedena v platnost 1.10.2018. Tato norma popisuje metody pro výpočet návrhového tepelného výkonu pro jednotlivé místnosti, funkční části budov a budovy, přičemž návrhový tepelný výkon je definován jako dodávka tepla (energie) nutná pro zabezpečení požadované vnitřní výpočtové teploty za venkovních výpočtových podmínek. Tato norma dále stanovuje vnitřní výpočtové teploty pro trvale užívané domy a obytné budovy. Výpočtová teplota pro obytné místnosti (ložnice, obývací pokoje, pracovny, jídelny atd.) je 20 °C a pro koupelny je 24 °C. [5]

Jak již bylo zmíněno na začátku, práce rodinný dům bude umístěn v Praze Dejvicích na ulici Hanspaulka, pro tuto oblast je venkovní výpočtová teplota -12 °C a průměrná oblastní venkovní teplota otopného období jsou 4,3 °C. Kompletní výpočet tepelných ztrát byl vypočítán v programu TV – Norma ČSN EN 12 831 firmy PROTECH. V následujících odstavcích je tento výpočet naznačen. [5]

Celkový navrhovaný tepelný výkon prostoru (i) se vypočítá dle následujícího vztahu:

$$\phi_{HL,i} = \phi_{T,i} + \phi_{V,i} + \phi_{hu,i} - \phi_{gain,i} \quad [W] \quad (3 - 1)$$

kde,

$$\phi_{HL,i} \quad \text{návrhový tepelný výkon vytápěného prostoru (i)} \quad [W]$$

$$\phi_{T,i} \quad \text{návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru (i)} \quad [W]$$

$$\phi_{V,i} \quad \text{návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru (i)} \quad [W]$$

$$\phi_{hu,i} \quad \text{volitelný dodatečný zátopový tepelný výkon vytápěného prostoru (i) v případě přerušovaného vytápění} \quad [W]$$

$$\phi_{gain,i} \quad \text{trvalé tepelné zisky ve vytápěném prostoru (i)} \quad [W]$$

V případě této studie se nejedná o přerušovaný provoz objektu, a proto je dodatečný zátopový výkon roven 0 W. Další položka, kterou nehradí otopná soustava je navrhovaná tepelná ztráta větráním, jelikož je dům vybaven rekuperačními jednotkami,

kteřé přebírají pokrytí této tepelné ztráty. Trvalé zisky, jsou zisky, které vznikají v prostoru nepřetržitě. V řešené studii se vyskytují pouze sluneční zisky, ale ty se nemohou považovat za nepřetržité, a proto jsou i trvalé tepelné zisky ve vytápěném prostoru rovny 0 W.

Návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru (i) je stanovena dle vzorce:

$$\phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ia} + H_{T,iae} + H_{T,ieBE} + H_{T,ig}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) = (H_{T,ie} + H_{T,ia(\dots)} + H_{T,ig}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e), [W] \quad (3 - 2)$$

kde,

H_T	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i)	$[W \cdot K^{-1}]$
$H_{T,ie}$	přímo do venkovního prostředí (e)	$[W \cdot K^{-1}]$
$H_{T,ia}$	do sousedních vytápěných prostor (a)	$[W \cdot K^{-1}]$
$H_{T,iae}$	do venkovního prostředí přes sousední nevytápěné prostory (např. sklep, půda) nebo sousední nevytápěné přilehlé budovy (např. zimní zahrada, garáže) (ae)	$[W \cdot K^{-1}]$
$H_{T,ieBE}$	do sousedních funkčních částí budovy, které jsou považovány za nevytápěné nebo vytápěné na jinou teplotu (např. sousední byt) (aBE)	$[W \cdot K^{-1}]$
$H_{T,ig}$	do zeminy (g)	$[W \cdot K^{-1}]$
$\theta_{int,i}$	vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru (i)	$[^{\circ}C]$
θ_e	venkovní výpočtová teplota (e)	$[^{\circ}C]$.

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí se vypočítá dle následujícího vztahu:

$$H_{T,ie} = \sum_k [A_K \cdot (U_K + \Delta U_{TB}) \cdot f_{U,k} \cdot f_{ie,k}], [W \cdot K^{-1}] \quad (3 - 3)$$

kde,

A_K	plocha stavební části	$[m^2]$
U_K	součinitel prostupu tepla stavební části	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
ΔU_{TB}	přirážka na vliv tepelných vazeb	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
$f_{U,k}$	opravný činitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy, které nebyly uvažovány při stanovování příslušných hodnot součinitele prostupu tepla	$[-]$
$f_{ie,k}$	teplotní opravný činitel	$[-]$.

Přirážka na vliv tepelných vazeb je v tomto případě $\Delta U_{TB} = 0,1 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$, protože je uvažován výskyt běžných tepelných mostů. Tato hodnota byla určena dle normy ČSN 73 0540-4.

Měrný tepelný tok prostupem vytápěného prostoru (i) do nebo přes nevytápěné prostory (u) se vypočítá dle vztahu:

$$H_{T,ia(\dots),k} \sum_k (A_K \cdot U_K \cdot f_{ia(\dots),k}), \quad [W \cdot K^{-1}] \quad (3 - 4)$$

kde,

A_K	plocha stavební části	$[m^2]$
U_K	součinitel prostupu tepla stavební části	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
$f_{ia(\dots),k}$	teplotní opravný činitel zahrnující rozdíl teplot mezi teplotou nevytápěného prostoru nebo vytápěného na jinou teplotu a venkovní výpočtovou teplotou	$[-]$.

Tento teplotní opravný součinitel se spočítá dle vzorce:

$$f_{ia(\dots),k} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{ia(\dots)}}{\theta_{int,i} - \theta_e}, \quad [-] \quad (3 - 5)$$

kde,

$\theta_{int,i}$ vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru (i) $[^{\circ}\text{C}]$

$\theta_{ia(\dots)}$ teplota vnitřního vzduchu sousedních prostor $[^{\circ}\text{C}]$

θ_e venkovní výpočtová teplota (e) $[^{\circ}\text{C}]$.

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) do zeminy (g) je vypočítán dle vztahu:

$$H_{T,ig} \cdot f_{\phi ann} = \sum_k (A_K \cdot U_{equiv,k} \cdot f_{ig,k} \cdot f_{GW,k}), \quad [W \cdot K^{-1}] \quad (3 - 6)$$

kde,

$H_{T,ig}$ měrný tepelný tok prostupem z vytápěného
prostoru (i) do zeminy (g) $[W \cdot K^{-1}]$

$f_{\phi ann}$ opravný činitel zohledňující vliv změny
venkovní teploty v průběhu roku $[-]$

A_K plocha stavební části (k), která je v přímém
kontaktu se zeminou $[m^2]$

$U_{equiv,k}$ ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební
části (k) v kontaktu se zeminou $[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$

$f_{ig,k}$ teplotní opravný činitel $[-]$

$f_{GW,k}$ opravný činitel zohledňující vliv
spodní vody $[-]$.

Teplotní opravný součinitel $f_{ig,k}$ se vypočítá dle tohoto vztahu:

$$f_{ig,k} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{e,m}}{\theta_{int,i} - \theta_e}, \quad [-] \quad (3 - 7)$$

kde,

$\theta_{int,i}$	vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru (i)	[°C]
$\theta_{e,m}$	průměrná venkovní teplota za otopné období	[°C]
θ_e	venkovní výpočtová teplota (e)	[°C].

Ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části (k) v kontaktu se zeminou $U_{equiv,k}$ se vypočítá dle následujícího vztahu:

$$U_{equiv,k} = \frac{a}{b + (c_1 + B')^{n_1} + (c_2 + z')^{n_2} + (c_3 + U_k + \Delta U_{TB})^{n_3}} + d, \quad (3 - 8)$$

[W · m⁻² · K⁻¹]

kde,

B'	geometrický parametr podlahové desky	[m ²]
U_K	součinitel prostupu tepla stavební části v kontaktu se zeminou	[W · m ⁻² · K ⁻¹]
ΔU_{TB}	je přírážka na vliv tepelných vazeb určená stejně jako pro měrný tepelný tok prostupem přímo do venkovního prostředí	[W · m ⁻² · K ⁻¹]
a, b, c, d, n	jsou parametry uvedeny v normě ČSN EN 12 831.	

Geometrický parametr se vypočítá dle vztahu:

$$B' = \frac{A_G}{0,5 \cdot P} \quad (3 - 9)$$

kde,

B'	je geometrický parametr podlahové desky	[m ²]
A_G	plocha podlahové desky	[m ²]
P	nechráněný obvod podlahové desky	[m].

Výsledky výpočtu tepelných ztrát dle normy ČSN EN 12 831-1 pro jednotlivé místnosti jsou uvedeny v příloze této studie. Celková tepelná ztráta objektu činí 13800 W, největší podíl na této tepelné ztrátě měly místnosti s rozsáhlými okny, jako je například obývací pokoj v 1NP, který má dvě kompletně prosklené stěny. Navrhovaný tepelný výkon se pro každou místnost rovná její tepelné ztrátě

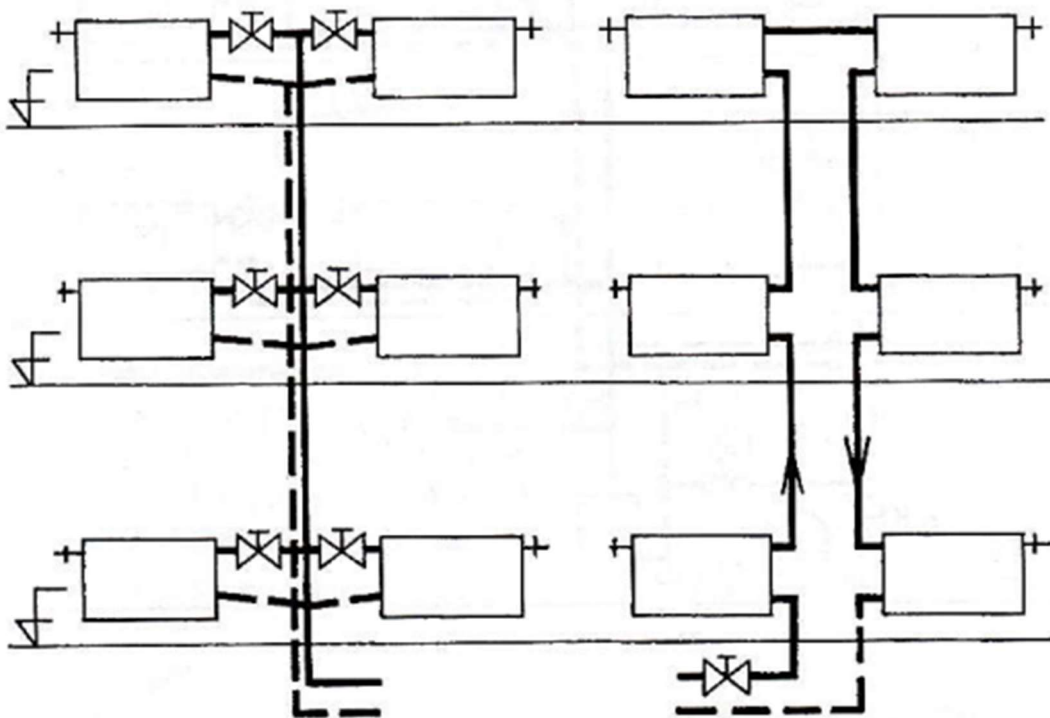
4. OTOPNÁ SOUSTAVA

Otopná soustava slouží k dopravě teplonosné látky, kterou bývá nejčastěji voda, od zdroje tepla k jednotlivým otopným plochám. Zde například prostřednictvím otopných těles zajišťuje předepsaný teplotní stav. Součástí otopné soustavy je potrubní síť, armatury, zabezpečovací zařízení a spotřebiče tepla. [7]

4.1 Volba typu otopné soustavy

Existují mnohé způsoby dělení otopných soustav, mezi ty hlavní patří dělení otopné soustavy podle způsobu přívodu a odvodu vody do a z otopných těles na:

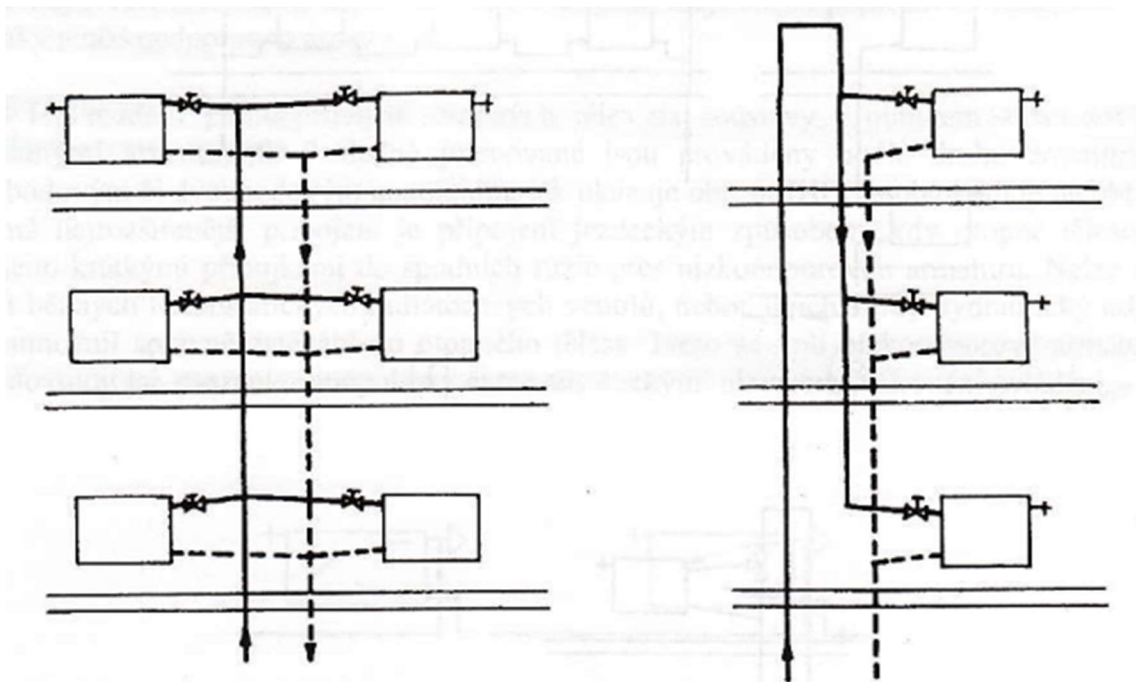
- dvoutrubkové otopné soustavy, kde jsou okruhy tělesa na sebe navzájem napojeny paralelně, tedy je možné identifikovat přívodní a odvodní potrubí. Mezi hlavní výhody tohoto typu otopné soustavy patří, že všechna tělesa jsou napojena na stejné teplotní parametry otopné vody,
- jednotrubkové, kde jsou tělesa na rozdíl od dvojtrubkové otopné soustavy zásobována vodou s jinou teplotou. To má za následek rozdílné parametry pro tepelný výkon jednotlivých těles. [7]



Obr. 4-1 Dvoutrubková (vlevo) a jednotrubková (vpravo) otopná soustava

Dvoutrubkové otopné soustavy se dále mohou dělit na:

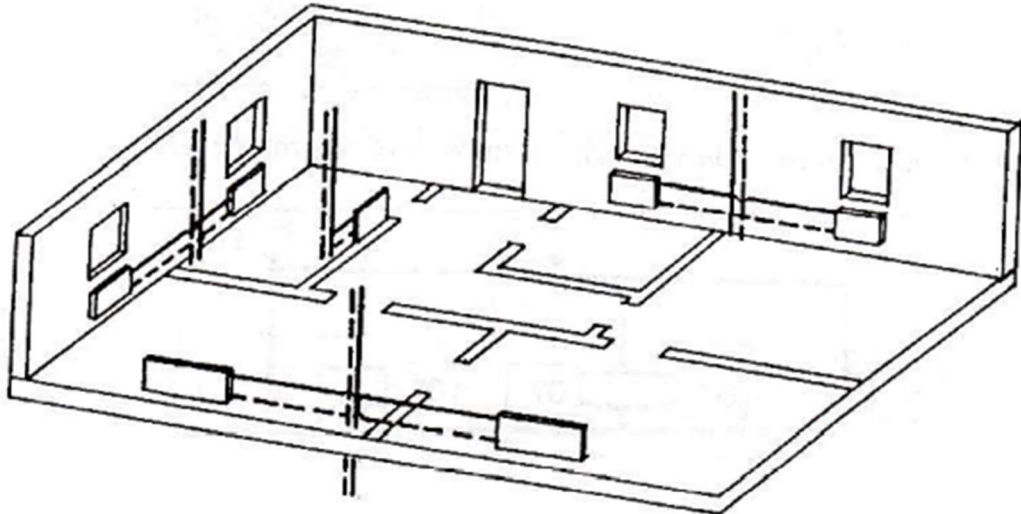
- protiproudé, jejichž charakteristikou je to, že vratné potrubí je většinou vedeno stejnou trasou jako potrubí přívodní a voda v přívodním potrubí teče opačným směrem než ve vratném. Hlavní nevýhodou tohoto typu otopné soustavy je, že okruhy těles umístěných nejdále od zdroje tepla mají velké tlakové ztráty, a což komplikuje hydraulické zaregulování otopných těles.
- Souproudá otopná soustava vede vratné potrubí souběžně s přívodním, voda v přívodním a vratném potrubí teče stejným směrem, a tedy eliminuje hlavní nevýhodu předešlého typu. Jednotlivé okruhy otopných těles mají stejné součty délek přívodních a odvodních potrubí, a to zajišťuje vysokou hydraulickou stabilitu systému. [7]



Obr. 4-2 Vertikální dvoutrubkové soustavy protiproudé (vlevo) a souproudé (vpravo)

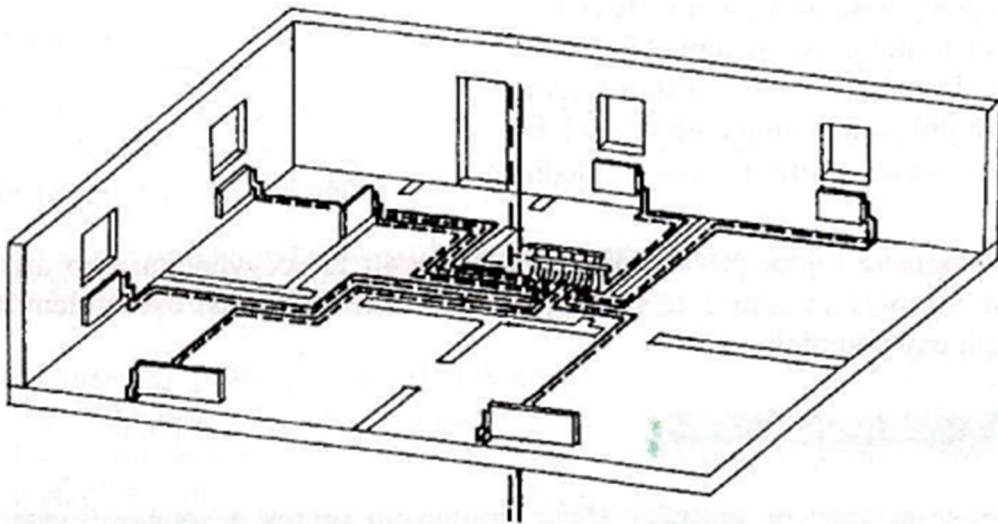
Jednotrubkové i dvoutrubkové otopné soustavy mohou mít provedení horizontální nebo vertikální.

- Horizontální soustava využívá malého množství stoupaček, ze kterých jsou napojeny horizontální okruhy a na ně krátkými přípojkami otopná tělesa.
- Vertikální soustava používá velké množství stoupaček a vyznačuje se tím, že jsou na každém patře napojena otopná tělesa přípojkami přímo na stoupačku maximálně dvě otopná tělesa na jednu stoupačku v jednom patře. [7]



Obr. 4-3 Dvoutrubková vertikální soustava

- Hvězdicová soustava, je typu soustavy horizontální, protože využívá jednu stoupačku s rozsáhlými horizontálními rozvody. Princip této soustavy spočívá v napojení každého otopného tělesa na rozdělovač a sběrač a následně na stoupačku, která je nejčastěji umístěna ve středu dispozice.



Obr. 4-4 Hvězdicová otopná soustava

Dalším důležitým rozlišovacím kritériem zejména vertikálních otopných soustav je umístění hlavního ležatého rozvodu soustavy. Nejčastějším typem rozvodu je spodní rozvod, zde se využívá podsklepení objektu k vedení ležatého rozvodu. Horní rozvod je přesným opakem spodního rozvodu, ležatý rozvod je veden půdními prostory. [7]

Oběh vody může být v otopné soustavě zajištěn dvěma způsoby, přirozeně anebo nuceně. Přirozený oběh vody funguje na principu přirozeného vztlaku. Voda ve zpátečce má nižší teplotu a vyšší hustotu než voda v přívodu do tělesa a tento rozdíl hustot způsobuje přirozený oběh vody. U soustav s nuceným oběhem je oběh zajištěn oběhovým čerpadlem. [7]

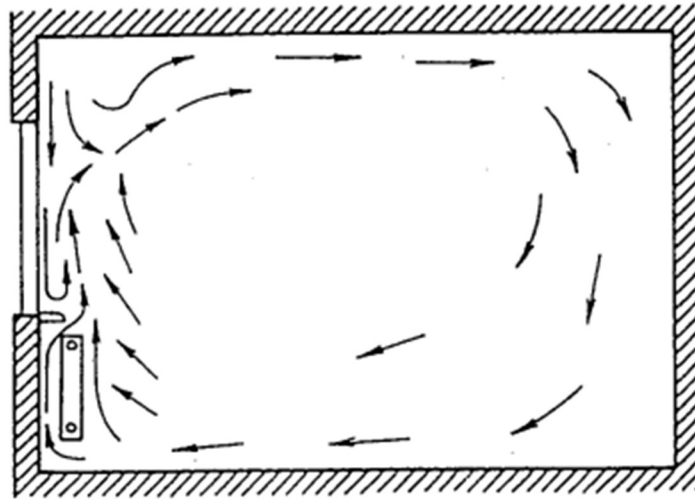
Otopné soustavy se také rozlišují dle teploty otopné vody, a to na 3 kategorie:

- nízkoteplotní, teplota látky má teplotu do 65 °C,
- teplovodní, u nichž teplota v otopné soustavě nepřesáhne 110 °C,
- horkovodní, u kterých teplota přesahuje 110 °C.

Posledním z hlavních způsobů dělení otopných soustav je dělení podle typu expanzní nádoby, a to na otevřenou nebo uzavřenou, podle toho, jestli disponují spojením s atmosférou. Otevřená expanzní nádoba je vždy umístěna v nejvyšším místě soustavy. Uzavřená otopná soustava je vybavena tlakovou expanzní nádobou, která neumožňuje styk otopné vody s atmosférou, a tudíž předchází korozi systému, nebo automatickým zabezpečovacím zařízením. [7]

4.2 Otopná tělesa

Otopná tělesa jsou tepelné výměníky, které jsou umístěny do vytápěného prostoru takovým způsobem, aby došlo k pokrytí tepelné ztráty a zajištění tepelné pohody. Existuje mnoho druhů otopných těles, mezi které patří článková, desková, trubková a konvektory. Návrh tělesa velmi ovlivňuje způsob sdílení tepla do vytápěného prostoru. Na to má vliv nejen druh tělesa, ale také jeho dimenze a typové uspořádání. To vše ovlivňuje poměr tepla sdíleného konvekcí a sáláním. [7] [8]



Obr. 4-5 Proudění vzduchu v místnosti s tělesem umístěným pod oknem

Jedním z nejdůležitějších faktorů, které ovlivňují tepelnou pohodu, je umístění otopného tělesa v prostoru. Cílem optimálního umístění tělesa do prostoru je dosažení co nejvyrovnanějšího vertikálního teplotního profilu. Z obrázku 4-5 je patrné, že optimálního teplotního profilu dosáhneme při umístění otopného tělesa pod okno, jehož povrchová teplota je vždy chladnější než povrchová teplota zdiva, a proto je zde předpokládán výskyt chladných proudů vzduchu. Umístění tělesa pod okno zvedne chladné konvekční proudy vzduchu, které by jinak klesaly k podlaze, pod strop, kde jsou ohřány a dále distribuovány do zbytku místnosti. Aby k tomuto principu docházelo v celé šířce okna, je třeba navrhnout adekvátně dlouhé těleso. To mnohdy ale není možné, a to převážně z ekonomických a designových důvodů. [8]

V této studii jsou projektována desková otopná tělesa společnosti Korado, a to v provedení VKM8, VK, podlahové konvektory FKO a trubková otopná tělesa KLC. Tělesa VKM8 a VK jsou z výroby vybaveny ventilovou vložkou a na potrubní rozvod jsou napojena pomocí H směšovacích armatur Veklolux a termostatickými vložkami společnosti IMI Hydronic Engineering v dimenzi DN15. Mezi její hlavní přednosti patří možnost úplného uzavření, což umožňuje kompletní odpojení otopného tělesa bez potřeby vypouštět vodu ze zbytku otopné soustavy. V objektu jsou použity i podlahové konvektory a trubková otopná tělesa taktéž společnosti Korado. Konvektory i trubková otopná tělesa jsou vybavena regulačním šroubením Radiatec a termostatickými ventily Calypso F-exact, obojí jsou vyráběny společností IMI Hydronic Engineering v dimenzi DN15. [9] [10] [11] [12] [13] [14][15]



Obr. 4-6 Termostatická vložka IMI



Obr. 4-7 H armatury pro otopná tělesa s integrovanou ventilovou vložkou – Vekolux IMI



Obr. 4-8 Termostatické ventily s plynulým přesným přednastavením – Calypso F-exact - IMI



Obr. 4-9 Regulační šroubení Raditec - IMI

4.3 Návrh potrubní sítě

Potrubní síť byla navržena metodou ekonomických rychlostí. Optimální rychlosti se pohybují okolo hodnoty $0,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Tato rychlost závisí na hmotnostním průtoku, který se spočítá z následujícího vztahu. [16]

$$\dot{m} = \frac{Q_m}{c \cdot \Delta T}, \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \quad (4 - 1)$$

kde:

\dot{m} hmotnostní průtok $[\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$

Q_m výkon otopného tělesa $[\text{W}]$

c měrná tepelná kapacita $[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$

ΔT teplotní spád $[K]$

Ze vzorce hmotnostního průtoku je možné vyjádřit vnitřní průměr potrubí.

$$\dot{m} = \rho \cdot V = \rho \cdot S \cdot v = \rho \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot v \rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{m}}{\rho \cdot \pi \cdot v}}, \quad [m] \quad (4 - 2)$$

kde:

ρ hustota vody $[kg \cdot m^{-3}]$

v střední rychlost v potrubí $[m \cdot s^{-1}]$

d vnitřní průměr potrubí $[m]$

Celková tlaková ztráta potrubí je dána součtem tlakové ztráty třením a tlakové ztráty místními odpory.

$$\Delta p_{zc} = \Delta p_{zt} + \Delta p_{zm}, \quad [Pa] \quad (4 - 3)$$

$$\Delta p_{zc} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \rho \cdot v^2 + \sum_{i=1}^n \xi_i \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} = R \cdot l + Z, \quad [Pa] \quad (4 - 4)$$

kde:

Δp_{zc} celková tlaková ztráta $[Pa]$

Δp_{zt} tlaková ztráta třením $[Pa]$

Δp_{zm} místní tlaková ztráta $[Pa]$

λ součinitel tlakové ztráty třením $[-]$

l délka potrubí $[m]$

ξ součinitel místního odporu $[-]$

R měrná tlaková ztráta $[Pa \cdot m^{-1}]$

Z tlaková ztráta místními odpory $[Pa]$

Tlakové ztráty vznikají ve všech částech potrubní sítě: kolenech, ohybech potrubí, redukcích, v otopných tělesech, v termostatických ventilech, v přípojovacích

H armaturách v regulačním šroubení atd. Tlakové ztráty vznikají také v rovných úsecích potrubí. Tyto všechny tlakové ztráty tvoří celkovou tlakovou ztrátu. [16][17]

Výpočet celkové tlakové ztráty se provádí nejdříve pro hydraulicky nejdelší okruh tělesa, což je ten okruh, který má největší součet tlakových ztrát s plně otevřenými termostatickými ventily a regulačními armaturami mezi otopným tělesem a zdrojem tepla. Označuje se jako hlavní větev. Všechny ostatní větve v otopné soustavě jsou následně doregulovány tak, aby měly stejnou tlakovou ztrátu jako větev hlavní. [16][17]

Tlaková ztráta otopného tělesa osazeného termostatickým ventilem a regulačním šroubením se spočítá dle následujícího vztahu: [16][17]

$$\Delta p = \Delta p_o \cdot \left(\frac{\dot{V}}{k_v}\right)^2 = 100 \cdot \left(\frac{\dot{V}}{k_v}\right)^2, \quad [kPa] \quad (4 - 5)$$

kde:

Δp	tlaková ztráta	$[kPa]$
\dot{V}	průtok	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
k_v	jmenovitý průtok	$[m^3 \cdot h^{-1}]$.

Po výpočtu všech tlakových ztrát v celé potrubní síti bylo zjištěno, že hydraulicky nejvzdálenější těleso je umístěno v místnosti 1.11. Jedná se o konvektor FKO 280/15/32 o tepleném výkonu 1209 W. V následující tabulce je znázorněn výpočet celkové tlakové ztráty hlavní větve.

Tab. 4-1 Tlaková ztráta hlavní větve

Úsek	M _w	l	DN	R	w	∑ξ	R.l	Z	∑(R.l+Z)	OT	TRV	RŠ	Pzc
	[kg·h ⁻¹]	[m]	[mm]	[Pa·m ⁻¹]	[m·s ⁻¹]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]			
1a	69.3	2.7	17	33	0.15	1.7	88.2	19	107	24	1860	360	18241
1b	69.3	2.7	17	33	0.15	1.7	88.2	19	107				
2a	105	2	17	64	0.22	3	127	73	200				
2b	105	2	17	64	0.22	3	127	73	200				
3a	136.5	1.1	17	103	0.29	0.5	113	21	134				
3b	136.5	1.1	17	103	0.29	0.5	113	21	134				
4a	172	2	17	151	0.36	0.5	302	32	334				
4b	172	2	17	151	0.36	0.5	302	32	334				
5a	208	11	17	215	0.43	4.4	2368	407	2775				
5b	208	11	17	215	0.43	4.4	2368	407	2775				
6a	320.5	7	20	166	0.44	1.7	1159	165	1324				
6b	320.5	7	20	166	0.44	1.7	1159	165	1324				
7a	355.5	5.8	20	201	0.49	1.7	1164	204	1368				
7b	355.5	5.8	20	201	0.49	1.7	1164	204	1368				
8a	375	3.4	20	223	0.52	1.9	759	257	1016				
8b	375	3.4	20	223	0.52	1.9	759	257	1016				
9a	728	4	28	87	0.41	4.7	346	395	741				
9b	728	4	28	87	0.41	4.7	346	395	741				

V této otopné soustavě má hlavní větev tlakovou ztrátu přibližně 18,3 kPa. Ostatní větve soustavy budou hydraulicky doškrceny a doregulovány právě na tuto hodnotu. Taktéž i čerpadlo ve zdroji tepla bude navrženo tak, aby mělo dopravní tlak dostatečný na pokrytí této tlakové ztráty.

V této studii jsou horizontální rozvody potrubí navrženy z plastového potrubí PE-Xa Rehau term společnosti REHAU z peroxidicky zesíťovaného polyethylenu. Mezi hlavní výhody tohoto potrubí je vysoká teplotní a tlaková odolnost. Toto potrubí obsahuje koextrudovanou závěrnou vrstvu z etylvinylalkoholu, která zamezuje pronikání kyslíku do otopné vody, čímž předchází korozi kovových částí v otopné soustavě. Ke spojování PE-Xa potrubí bude výhradně použity násuvné lisovací armatury Rehau.

Vertikální rozvody otopné soustavy jsou navrženy z mědi, která patří hned po plastu mezi nejpoužívanější materiály. Do vertikálních rozvodů volím tento typ potrubí převážně z důvodu jednoduchosti instalace v jádrech. Měď je poloušlechtilý kov a mezi její hlavní výhody patří velká odolnost vůči korozi. Nejpoužívanějším způsobem

spojování měděného potrubí je měkké kapilární pájení, a právě tento způsob spoje bude využit při instalaci měděného potrubí v této studii.

4.4 Vyvážení otopné soustavy

Hydraulické vyvážení otopné soustavy se provádí pomocí přednastavení na termostatickém ventilu a na regulačním šroubení jednotlivých těles. Primárně se doškrcování provádí na regulačním šroubení a poté na termostatickém ventilu, aby nedocházelo ke snižování pásma proporcionality, a tedy nedocházelo i ke snižování regulační schopnosti systému. U otopných těles, u kterých je potřeba výrazně škrtit na regulačním šroubení, ale i na termostatickém ventilu je pásmo proporcionality sníženo na tolik, že regulační schopnost tělesa je omezena na zapnuto/vypnuto. [18]

Tlaková ztráta regulačního šroubení či termostatické hlavice se spočítá dle následujícího vztahu.

$$\Delta p_{R\dot{s}} = \Delta p_{max} - \Delta p_P - \Delta p_{TRV,O\dot{s}}, \quad [Pa] \quad (4 - 6)$$

kde,

$\Delta p_{R\dot{s}}$	požadovaná tlaková ztráta regulačního šroubení	[Pa]
Δp_{max}	největší tlaková ztráta okruhu	[Pa]
Δp_P	tlaková ztráta potrubí	[Pa]
$\Delta p_{TRV,O\dot{s}}$	tlaková ztráta OT a TRV	[Pa]

Tlaková ztráta regulačního šroubení a termostatického ventilu je dána stupněm nastavení a jeho hodnotou jmenovitého průtoku k_v , která je udávána výrobcem. V následujících tabulkách jsou uvedeny k_v pro jednotlivé regulační armatury této studie.

Tab. 4-2 k_v hodnoty a nastavení termostatické vložky určené pro otopná tělesa

Nastavení	1	2	3	4	5	6	7	8
Kv hodnota	0,13	0,22	0,31	0,38	0,47	0,57	0,66	0,75

Tab. 4-3 k_v hodnoty a nastavení připojovacího šroubení Vekolux s vypouštěním

Nastavení	1	2	3	4	5	6	7	8
Kv hodnota	0,13	0,22	0,30	0,37	0,45	0,53	0,60	0,67

Tab. 4-4 k_v hodnoty a nastavení termostatického ventilu Calypso F-exact

Nastavení	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
Kv hodnota	0,01	0,024	0,038	0,056	0,073	0,083	0,092	0,117
Nastavení	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	
Kv hodnota	0,142	0,201	0,259	0,324	0,389	0,455	0,520	

Tab. 4-5 k_v hodnoty a nastavení uzavíracího šroubení Raditec

Nastavení	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
Kv hodnota	0,32	0,49	0,62	0,79	0,89	1,04	1,19

Výpočet jmenovitého průtoku je proveden dle následujícího stavu.

$$k_v = \dot{V} \sqrt{\frac{\Delta p_o}{\Delta p_{R\dot{s}}}}, \quad [m^3 \cdot h^{-1}] \quad (4 - 7)$$

kde,

k_v jmenovitý průtok $[m^3 \cdot h^{-1}]$

\dot{V} průtok otopným tělesem $[m^3 \cdot h^{-1}]$

$\Delta p_{R\dot{s}}$ tlaková ztráta regulačního šroubení $[Pa]$

4.5 Tepelná izolace rozvodů

Tepelná izolace vnitřních rozvodů vytápění je popsána vyhláškou č. 193/2007 Sb., která stanovuje, za jakých podmínek a kdy mají být rozvody vytápění opatřeny tepelnou izolací. V této vyhlášce je stanoveno, že všechny rozvody vytápění musí být tepelně izolovány izolací z materiálu se součinitelem tepelné vodivosti λ menší nebo roven $0,045 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}$ a u vnitřních rozvodů menší nebo roven $0,040 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}$. [19]

Tloušťka tepelné izolace je určena dle následujícího vztahu

$$q_o = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_i d_i} + \frac{1}{2\lambda_i} \cdot \ln \frac{D}{d_e} + \frac{1}{2\lambda_{st}} + \ln \frac{d_e}{d_i} + \frac{1}{\alpha_e d_e}} \cdot \Delta t, \quad [W \cdot m^{-1}] \quad (4 - 8)$$

kde,

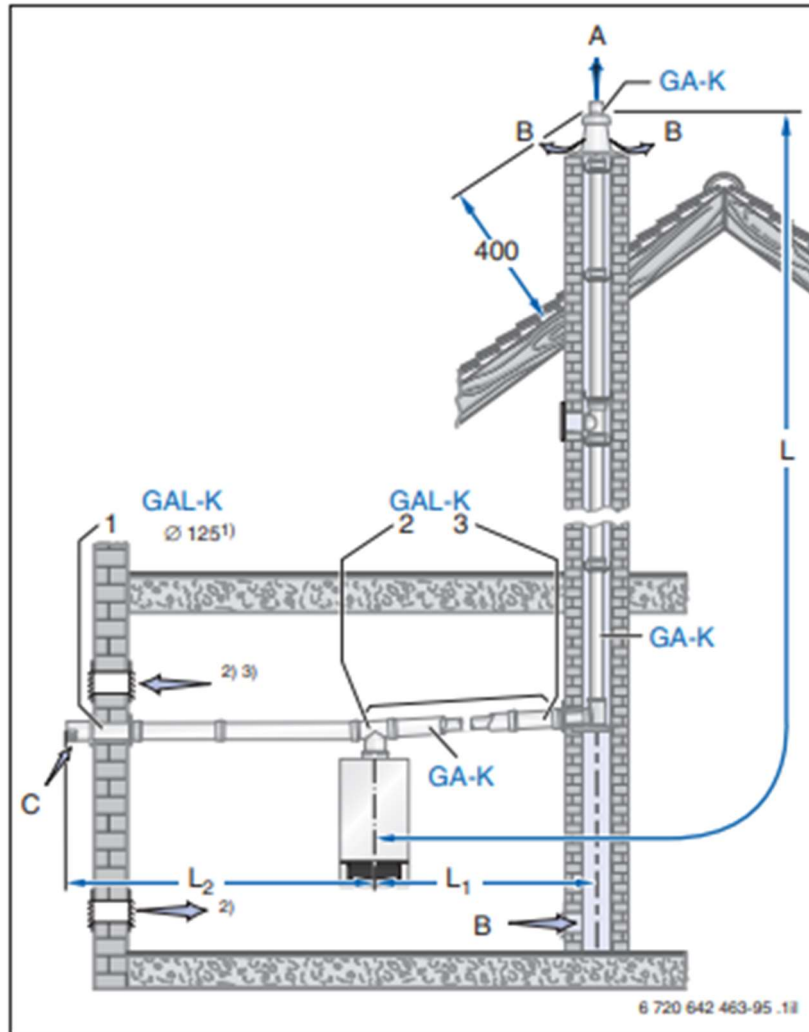
α_i	součinitel přestupu tepla na vnitřní straně	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
α_e	součinitel přestupu tepla na vnější straně	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
λ_i	provozní tepelná vodivost izolačního materiálu	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
λ_{st}	tepelná vodivost izolované stěny	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
d_i	vnitřní průměr potrubí	$[m]$
d_e	vnější průměr potrubí	$[m]$
D	vnější průměr izolace	$[m]$
Δt	rozdíl teplot vnitřního a vnějšího prostředí	$[K]$

Po výpočtu tloušťky dle uvedeného vzorce vycházejí průměry potrubí, které jsou daným potrubím neúměrné, a dokonce by cena takovéto izolace byla příliš vysoká. Proto je ve vyhlášce č. 193/2007 uveden i postup pro určení tloušťky z hlediska hospodárnosti. Takový výpočet bere v úvahu jak náklady na pokrytí tepelné ztráty, tak i náklady na tepelnou izolaci, které s přibývajícím tloušťkou rostou. Všechny tyto náklady jsou kvůli porovnatelnosti vztaženy na jednotku délky potrubí. Na následujícím obrázku jsou vyneseny dvě křivky, křivka T $[K\check{c} \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}]$ představuje náklady vyložené na pokrytí tepelné ztráty pro rovinnou stěnu a křivka A $[K\check{c} \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}]$, představující výši nákladů na pořízení izolace. Sečtením těchto dvou nákladů vzniká křivka v $[K\check{c} \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}]$, v jejímž minimu se nachází hospodárná tloušťka izolace. Vyhláška č. 193/2007 Sb. také uvádí možnost volby tloušťky izolace dle vnějšího průměru potrubí nejbližšího vnějšímu průměru potrubí řady DN, ale to jen pro potrubí vyrobené z mědi a plastu. V této studii je tímto způsobem navrhována izolace Mirelon PRO. [20]

4.6 Zdroj tepla

Jako zdroj tepla pro řešený rodinný dům byl vybrán nástěnný kondenzační kotel Logamax plus GB192-15i společnosti Buderus. Vypočtený jmenovitý výkon tohoto kotle pro vytápění je 14,5 kW, čemuž vyhovuje uvedená varianta kotle s operačním rozsahem 2,5 kW až 18 kW. Kotel je určen pouze pro potřeby vytápění bez ohřevu teplé vody a bez integrovaného zásobníku teplé vody. [21]

Výrobce kotle doporučuje velké množství systémů pro odvod spalovacího vzduchu. Z těchto možností bylo zvoleno koncentrické vedení vzduchu/spalin se samostatným koncovým potrubím přívodu spalovacího vzduchu. Toto je systém, ve kterém je do komínového ústí kotle přivedeno koncentrické potrubí DN80/125, které se v prvním kolenu rozdělí na potrubí odvodu spalin vyvedené na střechu budovy a potrubí určené pro přívod spalovacího vzduchu, kterým je nasáván čerstvý vzduch z fasády domu. Maximální teplota spalin by dle výrobce neměla překročit 60 °C. Schéma této montážní varianty lze vidět na obrázku 4-10. [21]



Obr. 4-10 Schéma zapojení odvodu spalin zdroje tepla

*A – spaliny, B – zadní odvětrání, C – přívod vzduchu, 1) Trubka přívodu vzduchu
3) přirozené provětrávání místnosti, 1 - Krycí clona, 2 - Koncentrický T-kus s revizním
otvorem, 3 - Koncentrická trubka s utěsněním trubky přívodního vzduchu na hrdle*

4.6.1 Oběhové čerpadlo

V rodinném domě je naprojektována otopná soustava s nuceným oběhem vody. Tento oběh zajišťuje oběhové čerpadlo, které je součástí navrhnutého kotle Logamax plus GB192-15i společnosti Buderus. Oběhové čerpadlo je však třeba nastavit na optimální pracovní bod, který je dán objemovým průtokem $850 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a také požadovaným dopravním tlakem 17,7 kPa. Tento pracovní bod odpovídá třetímu nastavení čerpadla, což je i hodnota, na níž je čerpadlo nastavené z výroby. [21]

4.6.2 Pojistná a zabezpečovací zařízení

Pojistný ventil je zařízení, které jistí zdroj tepla proti překročení maximálního dovoleného přetlaku $P_{h,dov}$. Při případném překročení nejvyššího dovoleného přetlaku se pojistný ventil otevře a upuštěním otopné vody sníží tlak na bezpečnou hodnotu.

Tato pojistná zařízení jsou navržena a instalována do kotlů samotným výrobcem, mnou navrhnutý kotel Logamax plus GB192-15i společnosti Buderus obsahuje pojistný ventil s otevíracím přetlakem 300 kPa. Tento otevírací přetlak se tedy rovná maximálnímu dovolenému přetlaku. [21]

$$P_{ot} = P_{h,dov}, \quad [kPa] \quad (4 - 9)$$

kde,

$$P_{ot} \quad \text{otevírací tlak pojistného ventilu} \quad [kPa]$$

$$P_{h,dov} \quad \text{maximální dovolený tlak} \quad [kPa]$$

Krom pojistných ventilů je otopná soustava vybavena i zabezpečovacím zařízením, které zajišťuje vyrovnávání tlaků způsobené změnami teplot vody v otopné soustavě. Tímto zařízením je expanzní nádoba. Existují dva typy provedení expanzních nádob, tlakové nebo otevřené. Otevřené expanzní nádoby fungují také jako pojistné zařízení.

Kotel Logamax plus GB192-15i společnosti Buderus obsahuje tlakovou expanzní nádobu o objemu 15 litrů a se vstupním přetlakem 75 kPa. V následujících odstavcích znázorním výpočet na kontrolu této expanzní nádoby. [21]

$$V_{EN} = \frac{1,3 \cdot V_{OS} \cdot n}{\eta}, \quad [m^3] \quad (4 - 10)$$

kde:

$$V_{EN} \quad \text{objem expanzní nádoby} \quad [m^3]$$

$$V_{OS} \quad \text{objem vody v otopné soustavě} \quad [m^3]$$

$$n \quad \text{součinitel zvětšení objemu} \quad [-]$$

$$\eta \quad \text{stupeň využití expanzní nádoby} \quad [-]$$

Stupeň využití je vypočítán dle vztahu:

$$\eta = \frac{P_{h,dov,abs} - P_{d,dov,abs}}{P_{h,dov,abs}}, \quad [-] \quad (4 - 11)$$

Výpočet nejvyššího dovoleného absolutního tlaku dle:

$$P_{h,dov,abs} = P_{h,dov} + P_b, \quad [kPa] \quad (4 - 12)$$

Výpočet nejnižšího dovoleného absolutního tlaku dle:

$$P_{d,dov,abs} = 1,1 \cdot h \cdot \rho \cdot g \cdot 10^{-3} + P_b, \quad [kPa] \quad (4 - 13)$$

kde:

P_b barometrický tlak [kPa]

h výška nejvyššího bodu otopné soustavy [kPa]

g tíhové zrychlení [m · s⁻²]

ρ hustota vody [kg · m⁻³]

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{h,dov,abs} - P_{d,dov,abs}}{P_{h,dov,abs}} = \frac{(P_{h,dov} + P_b) - (1,1 \cdot h \cdot \rho \cdot g \cdot 10^{-3} + P_b)}{P_{h,dov} + P_b} \\ &= \frac{(300 + 100) - (1,1 \cdot 8,8 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 10^{-3} + 100)}{300 + 100} = 0,5126 \end{aligned}$$

Součinitel zvětšení objemu se určí na základě maximálního rozdílu teplot:

$$\Delta t_{max} = t_{max} - 10, \quad [K] \quad (4 - 14)$$

Nejvyšší teplota v otopné soustavě t_{max} je 70 °C.

$$\Delta t_{max} = t_{max} - 10 = 70 - 10 = 60 K$$

Hodnotě $\Delta t_{max} = 60 K$ odpovídá součinitel zvětšení objemu $n = 0,0224$. Posledním parametrem potřebným pro vypočítání objemu expanzní nádoby je objem vody v celé otopné soustavě a v kotli, který je možné vypočítat dle následujícího vztahu:

$$V_{OS} = V_{potrubí} + V_{OT} + V_{kotel}, \quad [l] \quad (4 - 15)$$

$$V_{OS} = V_{potrubí} + V_{OT} + V_{kotel} = 110 + 65 + 1,4 = 176,4 l$$

$$V_{EN} = \frac{1,3 \cdot V_{OS} \cdot n}{\eta} = \frac{1,3 \cdot 176,4 \cdot 0,02243}{0,5126} = 10,03 l < 15 l$$

Vypočtený objem expanzní nádoby je 10 l, což je menší objem než objem expanzní nádoby dodávané výrobcem, proto je tato nádoba pro tuto otopnou soustavu vyhovující. [21]

5. POTŘEBA TEPLA A PALIVA NA VYTÁPĚNÍ

Potřeba tepla pro rodinný dům je vypočítána denostupňovou metodou dle normy ČSN EN ISO 52 016-1. Jedná se o jednoduchý nástroj sloužící k rychlému návrhu, vyhodnocování či odhadu potřeby tepla. Jelikož se v rámci této studie věnuji pouze návrhu otopné soustavy, tak i potřeba tepla je vypočítána pouze pro vytápění. Tato metoda je postavená na znalosti průběhu venkovních teplot z meteorologických dat. Výpočet teoretické potřeby tepla je dán následujícím vztahem. [22]

$$\phi_{VYT,r} = 24 \cdot 3600 \cdot \phi_C \cdot \frac{D}{(\theta_{is} - \theta_e)} \cdot \varepsilon_i \cdot \varepsilon_t \cdot \varepsilon_d, \quad [J] \quad (5 - 1)$$

kde,

$\phi_{VYT,r}$	teoretická roční potřeba tepla	[J]
ϕ_C	celková tepelná ztráta objektu	[W]
D	počet denostupňů	[K · den]
θ_{is}	průměrná vnitřní výpočtová teplota	[°C]
θ_e	venkovní výpočtová teplota	[°C]
ε_i	opravný součinitel na podíl tepelné ztráty větráním	[-]
ε_t	opravný součinitel na snížení vnitřní výpočtové teploty	[-]
ε_d	opravný součinitel na zkrácení provozu	[-]

kde,

$$D = d \cdot (\theta_{is} - \theta_{es}) \quad (5 - 2)$$

d	počet dnů otopného období	[den]
θ_{is}	průměrná vnitřní výpočtová teplota	[°C]
θ_{es}	průměrná venkovní teplota	[°C]

$$\varepsilon_i = \frac{\phi_T}{\phi_C}, \quad [-] \quad (5 - 3)$$

kde,

ϕ_T tepelná ztráta budovy prostupem [W]

ϕ_C celková tepelná ztráta budovy [W]

$$\varepsilon_t = \frac{\theta_{i,\text{snížená}} - \theta_{es}}{\theta_i - \theta_e}, \quad [-] \quad (5 - 4)$$

kde,

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

θ_{es} průměrná venkovní teplota [°C]

θ_i vnitřní výpočtová teplota [°C]

θ_e venkovní výpočtová teplota [°C]

$$\varepsilon_d = \frac{d_{\text{zkrácený}}}{d}, \quad [-] \quad (5 - 5)$$

kde,

$d_{\text{zkrácený}}$ zkrácený počet dnů otopného období [den]

d počet dnů otopného období [den]

5.1 Výpočet teoretické potřeby tepla

Jak již bylo zmíněno v kapitole 3, celková tepelná ztráta rodinného domu byla vypočítána dle normy ČSN EN 12 831-1. Výsledkem tohoto výpočtu je ztráta činící 13800 W. Řešený rodinný dům se nachází v Praze, proto je uvažována délka otopného období 225 dnů při průměrné venkovní teplotě v otopném období 4,3 °C. [6][22]

Výpočet denostupňů je dán následujícím vzorcem, vnitřní průměrná výpočtová teplota byla určena váženým průměrem vnitřních výpočtových teplot. Jelikož součástí rodinného domu jsou dvě bytové jednotky, zvolil jsem výpočet denostupňů samostatně.

Výpočet denostupňů hlavní obytné části

$$D_{HO\check{c}} = d \cdot (\theta_{is} - \theta_{es}) = 225 \cdot (19,34 - 4,3) = 3384 \text{ K} \cdot \text{den}$$

Výpočet denostupňů bytu 2+kk

$$D_{2KK} = d \cdot (\theta_{is} - \theta_{es}) = 225 \cdot (20,4 - 4,3) \doteq 3623 \text{ K} \cdot \text{den}$$

Výpočet opravného součinitele ε

Další důležitou částí výpočtu je správné zvolení opravných součinitelů. Nesoučasnost tepelné ztráty prostupem je vypočítán jako podíl tepelné ztráty budovy prostupem a celkové tepelné ztráty.

$$\varepsilon_i = \frac{\phi_T}{\phi_C} = \frac{9160}{13800} = 0,66$$

Součinitel na snížení vnitřní výpočtové teploty je zaveden z důvodů snížení teploty v místnostech během dne nebo noci, pro objekty, které jsou využívány jen půl dne, se volí součinitel 0,8, v objektech využívaných nepřetržitě je součinitel volen 1. Jelikož je objekt řešený v této studii rodinným domem s nepřetržitým využíváním, je součinitel na snížení vnitřní výpočtové teploty volen 0,95.

$$\varepsilon_t = 0,95$$

Opravný součinitel na zkrácení doby provozu upřesňuje potřebu tepla dle využití budovy v průběhu týdne součinitel je volen v rozmezí 1 až 0,8. Jelikož je u rodinného domu předpokládán sedmidenní provoz, je součinitel zvolen 1.

$$\varepsilon_d = 1$$

$$\varepsilon = \varepsilon_i \cdot \varepsilon_t \cdot \varepsilon_d = 0,66 \cdot 0,95 \cdot 1 = 0,63$$

$$\begin{aligned} \phi_{VYT,r,HO\check{C}} &= 24 \cdot 3600 \cdot \phi_{C,HO\check{C}} \cdot \frac{D}{(\theta_{is} - \theta_e)} \cdot \varepsilon \\ &= 24 \cdot 3600 \cdot 11910 \cdot \frac{3384}{(19,34 - (-12))} \cdot 0,63 = 70 \text{ GJ} = 19450 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_{VYT,r,2k} &= 24 \cdot 3600 \cdot \phi_{C,2KK} \cdot \frac{D}{(\theta_{is} - \theta_e)} \cdot \varepsilon \\ &= 24 \cdot 3600 \cdot 1890 \cdot \frac{3623}{(20,4 - (-12))} \cdot 0,63 = 11,5 \text{ GJ} = 3200 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\phi_{VYT,r} = \phi_{VYT,r,HO\check{C}} + \phi_{VYT,r,2kk} = 81,5 \text{ GJ} = 22650 \text{ kWh}$$

5.2 Výpočet skutečné potřeby tepla na vytápění

V předešlé kapitole byla vypočtena teoretická potřeba tepla pro vytápění. Pro výpočet skutečné potřeby tepla je ale nutné do výpočtu zahrnout i účinnost rozvodů, regulace a účinnost zdroje tepla. Výpočet skutečné potřeby tepla je dán následujícím vztahem. [22]

$$\phi_{VYT} = \frac{\phi_{VYT,r}}{\eta_R \cdot \eta_O \cdot \eta_Z}, \quad [J] \quad (5 - 6)$$

kde,

ϕ_{VYT}	Skutečná potřeba tepla	[J]
η_R	účinnost rozvodů tepelné energie	[-]
η_O	účinnost regulace (případně obsluhy)	[-]
η_Z	účinnost zdroje tepla	[-]

Účinnost rozvodů tepelné energie je obvykle volena v rozmezí 0,95 až 0,98. Tato účinnost je především závislá na způsobu a kvalitě provedení otopné soustavy, proto volím $\eta_R = 0,97$. Účinnost regulace se volí v rozmezí 0,9, pro kotelny na tuhá paliva, až po 1,0 pro plynové kotelny s využitím rozdělení otopné soustavy do sekcí, já volím $\eta_O = 0,97$. Výrobce udává účinnost kotle při maximálním výkonu $\eta_Z = 0,98$. [22]

$$\phi_{VYT} = \frac{\phi_{VYT,r}}{\eta_R \cdot \eta_O \cdot \eta_Z} = \frac{22650}{0,97 \cdot 0,97 \cdot 0,98} = 24570 \text{ kWh}$$

Skutečná potřeba tepla na vytápění pro navrhovaný rodinný dům vyšla 24570 kWh za otopné období. Z této skutečné potřeby tepla je nyní možné dopočítat potřebu paliva na vytápění dle následujícího vzorce.

$$U = \frac{\phi_{VYT}}{Hu}, \quad [m^3] \quad (5 - 7)$$

kde,

ϕ_{VYT}	Skutečná potřeba tepla	[J]
$Hu = 33,48 \text{ MJ} \cdot m^{-3}$	Výhřevnost zemního plynu	[MJ · m ⁻³]

$$U = \frac{\phi_{VYT}}{Hu} = \frac{81,5 \cdot 10^9}{33,48 \cdot 10^6} = 2434,3 \text{ m}^3$$

6. VZDUCHOTECHNIKA

Účelem vzduchotechniky je přívod čerstvého venkovního vzduchu do vnitřního prostoru a současně i odvod znečištěného vzduchu ven z tohoto prostoru. Existují dva primární způsoby větrání, a to větrání nucené a přirozené. [23][24]

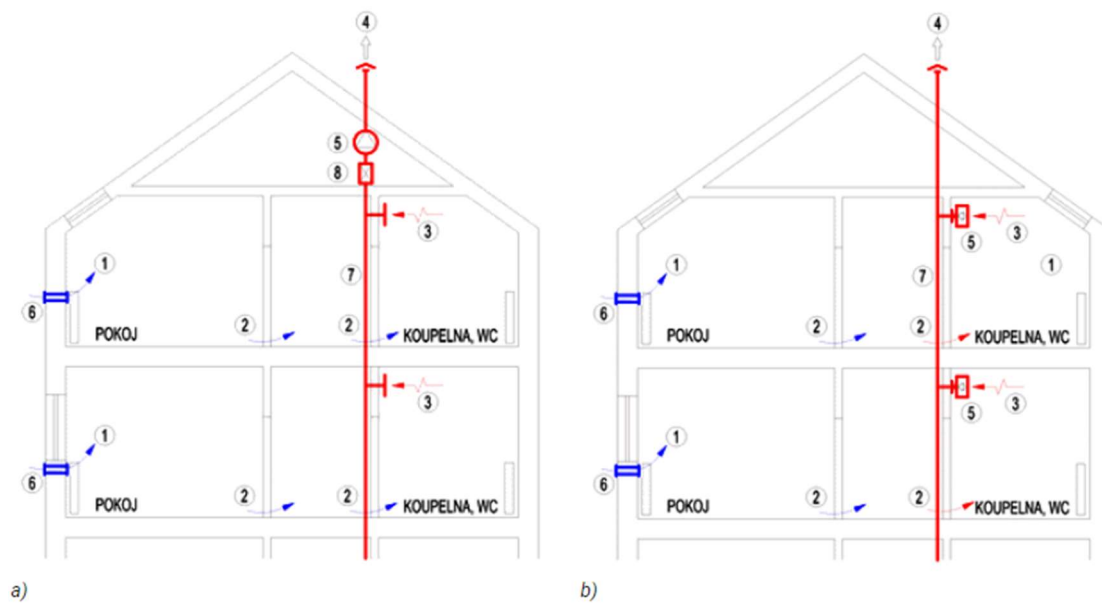
Přirozené větrání využívá přírodně vyvolaných tlakových rozdílů, které jsou způsobeny účinkem větru, účinkem teplotního rozdílu nebo jejich kombinací. Naopak u nuceného větrání je výměna vzduchu či jeho dopravení zajištěno externí silou, nejčastěji ventilátorem. [23][24]

Nucené větrání je možné rozdělit podle vyskytujícího se rozdílu tlaků na podtlakové, přetlakové, rovnotlaké a hybridní větrání. A následně také podle příslušnosti větracího zařízení k jednotlivým bytovým jednotkám či zónám jedné bytové jednotky na centrální či lokální. [23][24]

Nucené podtlakové větrání

Podtlakové větrání využívá nuceného odvodu vzduchu v místnostech, ve kterých se vyskytuje zdroj škodlivin, jako jsou například kuchyně, koupelny a WC. Přívod vzduchu je řešen podtlakově z přírodních větracích otvorů, které jsou zakomponovány do otvorů oken či do obvodových stěn budovy. Tyto otvory jsou umístovány v blízkosti otopných těles, aby nedocházelo k narušení tepelné pohody. Podtlakového větrání je možné docílit centrálním či lokálním řešením. Lokální řešení využívá většího počtu malých ventilátorů, umístěných v místnostech se zdrojem škodlivin. Centrální řešení využívá pro tuto funkci jednoho ventilátoru. [23][24]

Tento typ nuceného větrání patří mezi nejrozšířenější způsob větrání obytných budov. V současné době jsou ale kladeny velké nároky na neprůvzdušnost výplní stavebních otvorů, a proto je toto řešení, které počítá s netěsností obálky budovy, v současné době složitější a u mnoha aplikací není vhodné. [23][24]



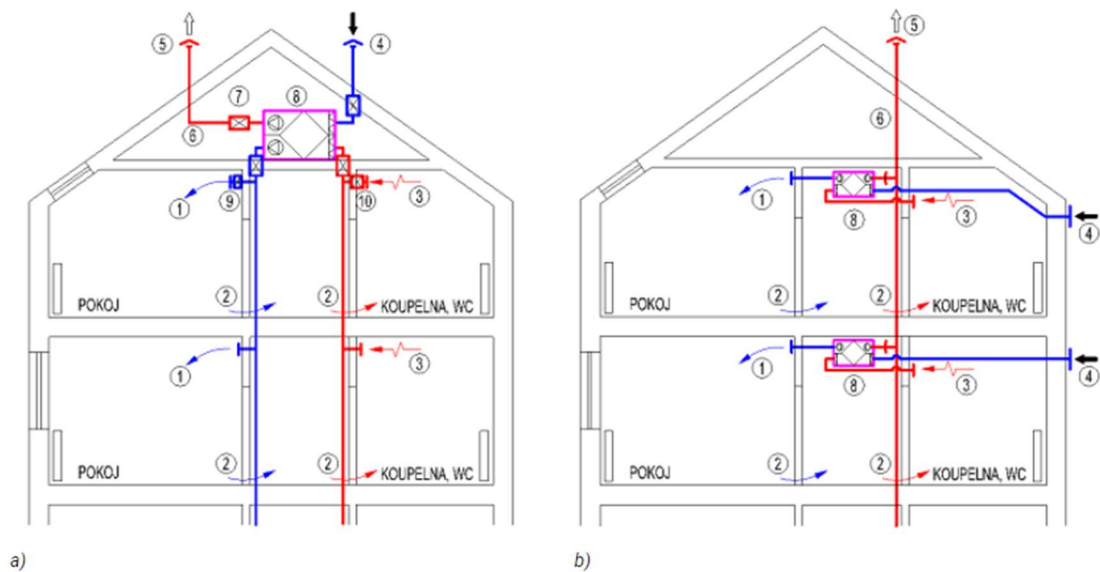
Obr. 6-1 Nucené podtlakové větrání s odvodem vzduchu do společného potrubí a) centrální, b) lokální

Nucené rovnotlaké větrání

Tento typ větrání spočívá v kontrolovaném přivádění čerstvého vzduchu a zároveň odvádění stejného množství vzduchu znehodnoceného tak, aby nedocházelo ani k přetlaku ani k podtlaku. Toho je docíleno vzduchotechnickou jednotkou, která je nejčastěji osazena dvěma ventilátory, filtry a výměníkem zpětného získávání tepla neboli ZZT. Tato jednotka slouží k předehřevu přiváděného vzduchu, samotný dohřev vzduchu je prováděn otopnou soustavou. [23][24]

Podobně jako u podtlakového větrání je i zde možné tuto kategorii rozdělit na centrální systémy a na systémy lokální. Centrální systémy využívají jedné vzduchotechnické jednotky, která slouží pro více bytových jednotek, či zón. Tento systém většinou využívá regulátorů průtoku vzduchu v kombinaci s použitím ventilátorů s EC motory, které disponují možností proměnlivosti otáček, čímž je možné regulovat dodávané/odebírané množství vzduchu. Mezi hlavní nevýhody centrálního řešení patří velké prostorové nároky na jednotku a na rozvody potrubí. Lokální řešení nuceného rovnotlakého větrání využívá malých rekuperačních jednotek umístěných v jednotlivých bytových jednotkách. Tyto jednotky mohou mít společné odpadní potrubí a potrubí přívodu čerstvého vzduchu mohou mít separátní z fasády objektu, jako je to znázorněno na následujícím obrázku, nebo ho mohou sdílet obdobně, jako sdílí potrubí odpadní. Toto

řešení značně eliminuje velikost společných rozvodů potrubí a umožňuje uživateli mít plnou kontrolu nad svým vlastním systémem větrání. [23][24]



Obr. 6-2 Nucené rovnotlaké větrání a) centrální, b) lokální

V této studii je pro rodinný dům navrhnut systém nuceného rovnotlakého větrání v centrálním provedení. Tento systém se bude skládat z dvou vzduchotechnických jednotek s ZZT umístěných v technické místnosti v 1PP. Menší z těchto jednotek je určena pro samostatný byt 2+kk nacházející se v 1NP, druhá, větší jednotka, je určena pro zbytek objektu. [23][24]

6.1 Návrh jednotek

Prvním krokem pro návrh jednotek je určení množství vzduchu, které je přiváděno a odváděno z jednotlivých místností. Požadavky na větrání obytných budov stanovuje norma ČSN EN 15665/Z1 Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov. V této normě je stanoveno dimenzování přívodu vzduchu dle intenzity větrání, která vyjadřuje poměr objemového průtoku přiváděného vzduchu k objemu vnitřního prostoru. [23][24][25]

Intenzitu větrání lze vypočítat dle vzorce:

$$n = \frac{\dot{V}_e}{V_i}, \quad [h^{-1}] \quad (6 - 1)$$

kde,

\dot{V}_e	je objemový průtok přiváděného čerstvého venkovního vzduchu	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
V_i	objem vnitřního větraného prostoru	$[m^3]$

Minimální požadavek výše zmíněné normy je intenzita větrání $0,3 \text{ h}^{-1}$ ve všech obytných prostorech; těmi jsou rozuměny všechny obytné pokoje, ložnice a kuchyně. Pro zvýšení kvality vnitřního vzduchu je doporučeno navrhovat intenzitu větrání $0,5 \text{ h}^{-1}$. Pro dobu, kdy budova není využívána, jako například během dovolené, je možné snížit intenzitu větrání na $0,1 \text{ h}^{-1}$. [25]

Jako doplňující požadavek je v normě uvedena dávka venkovního vzduchu na osobu, kde minimální hodnota je $15 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{os}^{-1}$ a doporučená je $25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{os}^{-1}$. Nicméně platí, že nejdříve musí být splněn požadavek na minimální intenzitu větrání. [25]

Množství odváděného vzduchu je při trvalém větrání rovno přiváděnému. Při nárazu je množství vzduchu dáno dle následující tabulky. Vzduch v obytných místnostech je doporučováno odsávat v místnostech, v nichž jsou zdroje znečišťujících látek (pachy, vlhkost, škodliviny vznikající vařením), proto se z pravidla odsává z hygienických zázemí či kuchyní. [25]

Tab. 6-1 Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15665/Z1

Požadavek	Trvalé větrání (průtok venkovního vzduchu)		Nárazové větrání (průtok odsávaného vzduchu)		
	Intenzita větrání $[\text{h}^{-1}]$	Dávka venkovního vzduchu na osobu $[\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{os}^{-1}]$	Kuchyně $[\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$	Koupelny $[\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$	WC $[\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$
Minimální hodnota	0,3	15	100	50	25
Doporučená hodnota	0,5	25	150	90	50

Při návrhu množství vzduchu byly v celé budově navrženy tři úrovně větrání, a to minimální, doporučená a nárazová. Uživatel si bude moct dle svých nároků zvolit, zda bude chtít trvale větrat pomocí minimálních hodnot, nebo podle hodnot doporučených. Nárazové větrání nebude výběrem režimu ovlivněno a bude pro minimální i doporučená množství vzduchu stejné.

Jak již bylo v této práci zmíněno, v rodinném domě jsou navrhovány dvě centrální vzduchotechnické jednotky, menší z nich slouží pro zásobování samostatného bytu 2+kk v 1NP.

Tab. 6-2 Návrh objemových průtoků větracího vzduchu pro byt 2+kk

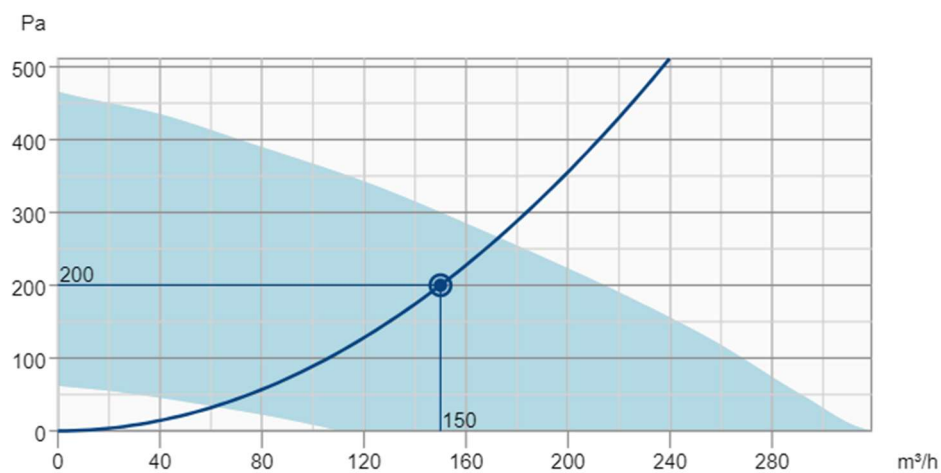
Číslo místnosti	Název místnosti	Objem [m ³]	Minimální režim [m ³ ·h ⁻¹]		Doporučený režim [m ³ ·h ⁻¹]		Nárazové větrání [m ³ ·h ⁻¹]	
			Přívod	Odvod	Přívod	Odvod	Přívod	Odvod
1.12	Obývací pokoj	64,68	19,4	17,2	45,0	40,0	90,0	80,0
1.13	Ložnice	36,4	12,9		30,0		60,0	
1.14	Šatna	11,2		4,3		10,0		20,0
1.15	Koupelna	12,6		10,8		25,0		50,0
Celkem		124,88	32	32	75	75	150	150

Pro návrh vzduchotechnické jednotky byl použit návrhový program společnosti Systemair. Navržená jednotka je Systemair SAVE VTC 200 L. Jedná se o vertikální vzduchotechnickou jednotku s vysoce účinným deskovým protiproudým rekuperačním výměníkem. Jednotka obsahuje nízkoenergetické ventilátory s EC motory, díky kterým je možné přesně nastavit množství dopravovaného vzduchu do bytu. Ovládací rozhraní je možné sledovat a nastavovat na kontrolním panelu či na mobilním telefonu. Jednotka je také napojena na čidla CO₂ a na čidla vlhkosti, díky kterým je možné řídit jednotku dle kvality vnitřního vzduchu. Jednotka obsahuje filtry G4 (65 %) na přívodním i na odpadním potrubí. [26]



Obr. 6-3 Vzduchotechnická jednotka Systemair SAVE VTC 200 L

Nárazové větrání je spouštěno spolu se světlem v koupelně a následně se spustí pětiminutový doběh. Nárazové větrání může být spuštěno i na základě vlhkostního nebo CO₂ čidla. V kuchyňském koutě je navržena samostatná cirkulační digestoř s filtrem pro odvod pachů, která není napojena na vzduchotechnickou jednotku. [26]



Obr. 6-4 Pracovní bod vzduchotechnické jednotky bytu 2+kk

Jednotka	
Frekvence	50 Hz
Napětí (jmenovité)	230 V
Fáze	1~
Doporučená pojistka	10 A
Třída krytí	IP24
Typ regulace	Plynulá
Typ výrobku	Rekupační jednotka
Prívodní ventilátor	
Příkon (P1) pro přívodní ventilátor	85 W
Prívodní filtr	
Třída filtru, přívod vzduchu	Coarse 65%
Odvodní filtr	
Třída filtru, odvod vzduchu	Coarse 65%
Výměník	
Typ výměníku	Protiproudý
Odvodní ventilátor	
Příkon, odvodní ventilátor	85 W
Ostatní	
Regulace ventilátoru	Plynulá napěťová regulace
Typ montáže	Vertikální
Přívodní strana	Levý

Obr. 6-5 Technická data vzduchotechnické jednotky bytu 2+kk

Vzduchotechnická jednotka, která zásobuje vzduchem zbytek rodinného domu byla navržena obdobně, jako jednotka předchozí a jedná se o jednotku Systemair SAVE VTC 500 L. Obdobně, jako vzduchotechnická jednotka bytu 2+kk je jednotka SAVE VTC 500 L vybavena vysoce účinným deskovým protiproudým rekuperačním výměníkem, a také vybavenost jednotky je stejná. Jak je z následující tabulky zřejmé, v nárazu má hlavní obytná zóna průtok $425 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Díky zavedení zón, které jsou popsány v následující kapitole, je možné zavést soudobost zón 0,7 a proto je maximální průtok jednotky navrhnout na $300 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. To má za následek menší vzduchotechnickou jednotku, než by byla při soudobosti 1. [26]



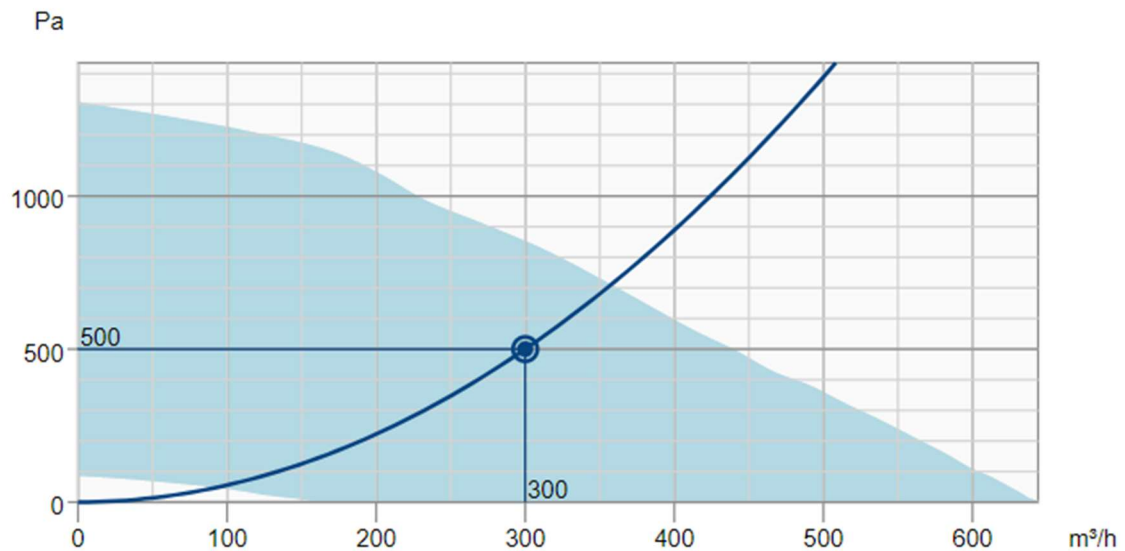
Obr. 6-7 Vzduchotechnická jednotka Systemair SAVE VTC 500 L

Nárazové větrání funguje na již popsaném principu s využitím doběhu v koupelnách a na WC a také s využitím čidel CO₂ umístěných v obytných místnostech a v kuchyni a čidel vlhkosti umístěných v koupelnách. V kuchyni je také navržena cirkulační digestoř s filtrem pro odvod pachů a není napojena na vzduchotechnickou jednotku. [26]

V následující tabulce jsou uvedena množství vzduchu jednotlivých místností hlavní obytné části domu.

Tab. 6-3 Návrh objemových průtoků větracího vzduchu pro hlavní obytnou část domu

Číslo místnosti	Název místnosti	Objem [m ³]	Minimální režim [m ³ ·h ⁻¹]		Doporučený režim [m ³ ·h ⁻¹]		Nárazové větrání [m ³ ·h ⁻¹]	
			Přívod	Odvod	Přívod	Odvod	Přívod	Odvod
1.04	Šatna	18,48		9,0		15,0		18,8
1.05	Komora	15,68		6,0		10,0		12,5
1.07	WC	6,44		12,0		20,0		25,0
1.08	Kuchyně + jídelna	70,84		48,1		80,0		100,0
1.09	Spíž	8,68		6,0		10,0		12,5
1.10	Obývací pokoj	148,58	66,0		109,7		137,1	
1.11	Pracovna	78,2	15,0		25,0		31,3	
2.02	Hosté	31,08	9,3		15,5		31,1	
2.03	Koupelna	8,12		15,0		25,0		50,0
2.04	Ložnice	44,52	13,4		22,3		44,5	
2.05	Koupelna	19,32		15,0		25,0		50,0
2.06	Šatna	17,36	7,2		12,0		24,0	
2.08	Prádelna	19,6		7,8		13		26
2.09	Koupelna	12,6		15		25		50
2.10	Dětský pokoj	37,8	11,3		18,9		37,8	
2.11	Dětský pokoj	37,8	11,3		18,9		37,8	
3.02	Posilovna	46,48	13,9		23,2		46,5	
3.03	Koupelna	12,04		15,0		25,0		50,0
3.04	WC	5,88		9,0		15,0		30,0
3.05	Sauna	11,2	10,2		17,0		34,0	
Celkem		124,88	158	158	263	263	425	425



Obr. 6-8 Pracovní bod vzduchotechnické jednotky hlavní obytné části

Jednotka	
Frekvence	50 Hz
Napětí (jmenovité)	230 V
Fáze	1~
Doporučená pojistka	10 A
Třída krytí	IP22
Typ regulace	Plynulá
Typ výrobku	Rekupační jednotka
Přívodní ventilátor	
Příkon (P1) pro přívodní ventilátor	170 W
Přívodní filtr	
Třída filtru, přívod vzduchu	ePM1 60%
Odvodní filtr	
Třída filtru, odvod vzduchu	ePM10 50%
Výměník	
Typ výměníku	Protiproudý
Odvodní ventilátor	
Příkon, odvodní ventilátor	170 W
Ostatní	
Regulace ventilátoru	Plynulá napěťová regulace
Typ montáže	Vertikální
Přívodní strana	Levý

Obr. 6-9 Technická data vzduchotechnické jednotky hlavní obytné části

6.2 Zóny objektu

Jelikož je tento rodinný dům poměrně rozsáhlý, nelze k hlavní obytné části domu přistupovat jako k jedné zóně. Proto jsou v hlavní obytné části navrženy celkem 4 rovnotlance větrané zóny.

Hlavní obytná část domu je rozdělena do zón z dvou důvodů. Prvním důvodem rozdělení je možnost separátního nastavení režimů trvalého větrání. Například u zóny číslo 4, ve které se nachází sauna s posilovnou, a která bude využívána pouze nárazově, bude trvalé větrání nastaveno většinu času pouze na minimální hodnoty. Zatímco zóna, ve které je možné předpokládat častý výskyt obyvatel domu, jako je například zóna 1, bude nastavena na doporučené hodnoty trvalého větrání. Druhým důvodem a zároveň předností tohoto řešení je využití nárazového větrání pouze v zóně, ve které se právě obyvatelé domu nacházejí. Díky tomu se nebude jednotka dostávat na maximální otáčky několikrát denně.

Aby bylo dosaženo co největší autonomnosti systému větrání, bude pro přepínání mezi minimálními a doporučenými hodnotami přiváděného vzduchu využito čidel. V obytných místnostech to budou čidla měřící koncentraci oxidu uhličitého, která budou přímo komunikovat se vzduchotechnickou jednotkou a ta následně s regulátory vzduchu, na kterých bude nastaveno požadované množství přiváděného a odváděného vzduchu. V zóně 4, ve které se nachází sauna s posilovnou, bude využito pohybového čidla, aby bylo větráno doporučenými hodnotami kdykoliv, kdy se v této zóně bude někdo nacházet. Nezávisle na této autonomní funkci systému bude možné manuálně přepínat mezi minimálními a doporučenými množstvími přiváděného a odváděného vzduchu dle potřeb uživatele.

Tab. 6-4 Rozdělení místností do rovnotlakých zón

Číslo zóny	Číslo místnosti	Název místnosti	Objem [m ³]
1	1.04	Šatna	18,48
	1.05	Komora	15,68
	1.07	WC	6,44
	1.08	Kuchyně + jídelna	70,84
	1.09	Spíž	8,68
	1.10	Obývací pokoj	148,58
	1.11	Pracovna	78,2

2	2.02	Hosté	31,08
	2.03	Koupelna	8,12
	2.04	Ložnice	44,52
	2.05	Koupelna	19,32
	2.06	Šatna	17,36
3	2.08	Prádelna	19,6
	2.09	Koupelna	12,6
	2.10	Dětský pokoj	37,8
	2.11	Dětský pokoj	37,8
4	3.02	Posilovna	46,48
	3.03	Koupelna	12,04
	3.04	WC	5,88
	3.05	Sauna	11,2
Celkem			124,88

6.3 Regulace vzduchotechniky

Každá ze zón hlavní bytové části je na zbytek rozvodů bytu připojena pomocí dvojice regulátoru variabilního průtoku OPTIMA-LV společnosti Systemair. Tyto regulátory jsou navrženy pro nastavení průtoku malých rychlostí v rozsahu 0,2 až 6 m·s⁻¹. Požadované množství vzduchu je řízeno pomocí externího signálu 0 až 10V. Tímto způsobem je každý z regulátorů přímo napojen na jednotku SAVE VTC 500 L, a ta na základě těchto signálů mění otáčky ventilátorů, aby bylo dosaženo požadovaného množství vzduchu. [27]

Tyto klapky využívají snímání dynamického tlaku přímo na listu regulátoru a využívají ho k výpočtu rychlosti proudění v potrubí. Tato hodnota je porovnána s požadovaným průtokem vzduchu a v případě nerovnosti servo pohon natočí klapku tak, aby nastala rovnost zadaného a reálného průtoku v potrubí. [27]



Obr. 6-10 Regulátor variabilního průtoku OPTIMA-LV

6.4 Dimenzování rozvodů

Dimenzování vzduchotechnické sítě se převážně odvíjí od rychlosti proudění vzduchu v potrubí. Tato rychlost má totiž velký vliv na vznik nežádoucích akustických projevů. Z toho důvodu se doporučené rychlosti vzduchu ve vzduchotechnických rozvodech obytných budov pohybují v rozmezí 3 až 5 m·s⁻¹. V této studii jsou rychlosti voleny právě v tomto rozmezí. [28]

Rozvody vzduchotechniky budou sestaveny z pozinkovaného kruhového potrubí Lindab SAFE s třídou těsnosti D. Tento typ je vybaven dvoubřítým gumovým těsněním, které zajišťuje předepsanou třídu těsnosti. Rozměrová řada tohoto potrubí je 80, 100, 125, 150, 160, 180, 200, 225, 250, 280, 315... [29]

Určení průměrů jednotlivých úseků potrubí se provede pomocí navrhované rychlosti a z následujícího vzorce pro výpočet průřezu potrubí. Pro názorný výpočet je objemový průtok zvolen 80 m³·h⁻¹ a rychlost 4 m·s⁻¹. [30]

$$S = \frac{\dot{V}}{w} = \frac{80}{3600 \cdot 4} = 0,0055 \text{ m}^2 \quad (6 - 2)$$

kde,

\dot{V} objemový průtok přívodního vzduchu [m³ · h⁻¹]

w rychlost vzduchu [m · s⁻¹]

Výpočet průměru potrubí se vypočte z následujícího vzorce pomocí průřezu potrubí/obsahu kruhu, po dosazení je získán průměr potrubí pro určenou rychlost potrubí. [30]

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \rightarrow d = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0055}{\pi}} = 0,084 \text{ m} \quad (6 - 3)$$

Nejbližší dimenze z řady Lindab SAFE je dimenze 80 mm. Pro tento reálný průměr potrubí se určí skutečná rychlost a zkontroluje, zda odpovídá rozmezí 3 až 5 m·s⁻¹.

Podobě jako se v otopné soustavě počítají tlakové ztráty potrubní sítě, se tlakové ztráty počítají i ve vzduchotechnice, a to velmi podobným způsobem. Celková tlaková ztráta je tvořena tlakovou ztrátou třením a tlakovou ztrátou způsobenou místními odpory. [30]

$$\Delta p_z = \Delta p_{zt} + \Delta p_{zm} \quad (6 - 4)$$

kde,

$$\Delta p_z \quad \text{celková tlaková ztráta} \quad [Pa]$$

$$\Delta p_{zt} \quad \text{tlaková ztráta třením} \quad [Pa]$$

$$\Delta p_{zm} \quad \text{místní tlaková ztráta} \quad [Pa]$$

Tlaková ztráta třením je vypočítána dle následujícího vzorce, který popisuje pokles tlaku na jednotku délky. [30]

$$\Delta p_{zt} = R \cdot l, \quad [Pa] \quad (6 - 5)$$

kde,

$$R \quad \text{měrná tlaková ztráta} \quad [Pa \cdot m^{-1}]$$

$$l \quad \text{délka potrubí} \quad [m]$$

Pro výpočet měrné tlakové ztráty je nutné zjistit Reynoldsovo číslo, součinitel třecích ztrát pro turbulentní proudění vzduchu v pozinkovaném potrubí. Reynoldsovo číslo je vypočteno dle následujícího vzorce. [30]

$$Re = \frac{wd}{\nu}, \quad [-] \quad (6 - 6)$$

kde,

$$w \quad \text{rychlost vzduchu} \quad [m \cdot s^{-1}]$$

$$d \quad \text{vnitřní průměr potrubí} \quad [m]$$

$$\nu = 1,53 \cdot 10^{-5} \quad \text{kinematická viskozita vzduchu} \quad [m^2 \cdot s^{-1}]$$

Součinitel třecích ztrát pro turbulentní proudění vzduchu v pozinkovaném potrubí je vypočítán dle následujícího vzorce.

$$\lambda = \frac{0,0812}{Re^{0,125} \cdot d^{0,11}}, \quad [-] \quad (6 - 7)$$

kde,

$$Re \quad \text{Reynoldsovo číslo} \quad [-]$$

$$d \quad \text{vnitřní průměr potrubí} \quad [m]$$

Výpočet přesné tlakové ztráty je poté možné dopočítat pomocí dvou předcházejících vzorců, dle tohoto vztahu.

$$R = \frac{\lambda w^2 \rho}{2d} = \frac{0,0812}{\left(\frac{wd}{\nu}\right)^{0,125} \cdot d^{0,11}} \cdot \frac{w^2 \rho}{2d} = 0,01218 \cdot w^{1,875} \cdot d^{-1,235}, \quad (6 - 8)$$

$$[Pa \cdot m^{-1}]$$

kde,

$$\lambda \quad \text{součinitel třecích ztrát pro turbulentní proudění}$$

$$\text{vzduchu v pozinkovaném potrubí} \quad [-]$$

$$w \quad \text{rychlost proudění vzduchu} \quad [m \cdot s^{-1}]$$

$$\rho = 1,2 \quad \text{hustota vzduchu} \quad [kg \cdot m^{-3}]$$

$$d \quad \text{vnitřní průměr potrubí} \quad [m]$$

$$\nu = 1,53 \cdot 10^{-5} \quad \text{kinematická viskozita vzduchu} \quad [m^2 \cdot s^{-1}]$$

Místní tlaková ztráta vyjadřuje pokles tlaku vznikající v nepřímých částech vzduchotechnických rozvodů (oblouky, kolena, odbočky apod.) nebo v jakýchkoliv částech rozvodu, které pro proud vzduchu představují překážku (klapky, regulátory, vyústky apod.). Důležitou veličinou pro výpočet místní tlakové ztráty je součinitel místního odporu, který byl stanoven výpočtem na základě měření změny tlaků příslušného místního odporu a je stanovován z tabulek.

Místní tlakové ztráta je vypočítána dle následujícího vzorce.

$$\Delta p_{zm} = \sum \xi \rho \frac{w^2}{2}, \quad [Pa] \quad (6 - 9)$$

kde,

ξ	součinitel místního odporu	[–]
$\rho = 1,2$	hustota vzduchu	$[kg \cdot m^{-3}]$
w	rychlost proudění vzduchu	$[m \cdot s^{-1}]$

Součinitelé místních odporů, které byly využity pro výpočet tlakových ztrát, jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 6-5 Použité součinitelé místních odporů

Typ tvarovky	Součinitel místního odporu ξ [–]
Koleno 90°	1,2
Koleno 45°	0,2
Redukce rozšíření	0,4
Redukce zúžení	0,2
T kus odbočka spojení	2,2
T kus odbočka rozdělení	1,5
T kus odbočka průchod připojení	0,5
T kus odbočka průchod rozdělení	0,2

Místní tlaková ztráta jednotlivých koncových prvků je určena konkrétně pro jednotlivé prvky, a to dle podkladů výrobce. Technické listy výustek a talířových ventilů využitých v této studii jsou uvedeny v příloze práce.

Pro zaregulování potrubní sítě je třeba určit hlavní větev soustavy tj., větev s největší tlakovou ztrátou. Tato tlaková ztráta je využita pro návrh ventilátorů obsažených ve vzduchotechnické jednotce, respektive udává, jakou tlakovou ztrátu musí ventilátory pokrýt. Hlavní větve navrhuji samostatně pro jednotlivé vzduchotechnické jednotky, tedy pro okruh bytu 2+kk a pro hlavní obytnou část. Ostatní větve, které budou na hlavní větve napojeny, jsou poté tlakově doregulovány nastavením regulačního

elementu na koncových prvcích, případně dodáním vřazeného odporu ve v podobě regulační klapky. Pro toto využití volím regulační klapky TUNE-R společnosti Systemair. V případě, že tlaková ztráta hlavní a vedlejší větve je menší než 10 %, není nutné je vzájemně regulovat. [23]

6.5 Návrh koncových prvků

Výběr koncových prvků je velmi podstatnou částí návrhu vzduchotechnické sítě, jelikož právě koncové prvky se podílejí na dosahu proudu čerstvého vzduchu do pásma pobytu osob bez vzniku průvanu. Správná volba koncových prvků by měla zajistit dostatečné rozptýlení. Hlavním úskalím, které je spojeno s návrhem koncových prvků, je problematika vzniku hluku. [31]

6.5.1 Přívodní vyústky

Přívod čerstvého vzduchu bude do všech místností řešen pomocí vyústky NOVA-A společnosti Systemair ve dvouřadém uspořádání natáčecích lamel, díky kterým je možné upravit směr proudu čerstvého vzduchu dle potřeb uživatele. Tyto vyústky jsou vybaveny regulačními klapkami R1, kterými lze nastavit požadovaný průtok vzduchu a také napomáhají rovnoměrnému proudění vzduchu z vyústky. Tyto vyústky jsou na potrubní síť napojeny pomocí plenum boxů, které v této aplikaci přispívají k rovnoměrnému rozptýlu vzduchu. V místnostech, ve kterých se nachází podhled, bude pro přívod vzduchu využito přívodních talířových ventilů TFF. Čelní deska těchto ventilů slouží k nastavení požadovaného množství vzduchu. Vyšroubováním nebo zašroubováním spodní kruhové části dochází ke změně šířky štěrbin a tím nastavení požadovaného množství vzduchu a změně obrazu proudění. [32]

6.5.2 Odvodní vyústky

Odvod znečištěného vzduchu je podobně jako přívod vzduchu řešen pomocí vyústky NOVA-A společnosti Systemair, ale pouze v jednořadém uspořádání. Tyto vyústky budou využity pouze v kuchyni a v kuchyňském koutě. Na všech ostatních místech budou osazeny odvodní talířové ventily EFF společnosti Systemair. Jedná se o ventil, který je vybaven aerodynamickým kovovým kuželem pro nastavení průtoku vzduchu. Tento talířový ventil je vyroben z pozinkovaného ocelového plechu s povrchovou úpravou v bílé barvě. [32]

6.6 Izolace vzduchotechnického potrubí

Izolace potrubí může plnit funkci tepelnou, protipožární, akustickou, nebo proti kondenzační. V rámci této studie jsou využity pouze dva typy izolace, a to tepelná a proti kondenzační.

Tepelná izolace potrubí bude využita u všech rozvodů vzduchotechnického potrubí v nevytápěném suterénu objektu, které dopravují teplý vzduch z a do obytných místností. Pro tyto účely bude využita izolace Orstech LSP 40 vyráběná společností ISOVER. [33]

U rozvodů vzduchu spojujících vzduchotechnické jednotky s exteriérem vzniká nebezpečí vzniku kondenzace vodních par na povrchu potrubí. Z tohoto důvodu budou potrubí čerstvého a odpadního vzduchu izolována parotěsnou izolací ze syntetického kaučuku K-FLEX o tloušťce 19 mm. [34]

7. ZAJIŠTĚNÍ CHLAZENÍ V LÉTĚ

Chlazení rodinného domu bude zajištěno pomocí chladicích jednotek s oběhem chladiva typu multi split. Jedná se o systém tvořený ze společné venkovní jednotky, na kterou jsou samostatným potrubím napojeny jednotlivé vnitřní jednotky. Tento systém využívá chladivo R-32. Všechny chlazené prostory budou chlazeny na teplotu $26 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Kompletní výpočet tepelné zátěže byl vypočítán v programu TV – Norma ČSN EN 12 831 firmy PROTECH, který obsahuje i výpočet tepelné zátěže podle ČSN 73 0548. V následujících odstavcích bude naznačen tento výpočet. [35]

7.1 Výpočet tepelné zátěže objektu

Tepelná zátěž rodinného domu byla vypočítána dle normy ČSN 73 0548 - Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů. V této normě je uveden postup pro výpočet tepelných zisků z vnějšího prostředí a tepelných zisků od vnitřních zdrojů tepla. [35]

7.2 Základní výpočty pro výpočet tepelné zátěže

7.2.1 Výpočet polohy slunce

Sluneční deklinace

Sluneční deklinace představuje úhel, který svírá spojnice středu Země a Slunce s rovinou zemského rovníku. Zjednodušeně se jedná o zeměpisnou šířku, v níž je v poledne slunce kolmo nad obzorem. Lze ji vypočítat dle následujícího vzorce, v následující tabulce jsou uvedeny hodnoty sluneční deklinace pro 21. den uvedených měsíců. [35]

$$\delta = -23,5 \cdot \cos(30 \cdot M), \quad [^\circ] \quad (7 - 1)$$

kde,

$$M \quad \text{číslo měsíce (1 až 12)} \quad [-]$$

Tab. 7-1 Sluneční deklinace v uvedených měsících (k 21. dnu v měsíci)

Měsíc	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen
$\delta [^\circ]$	0,0	11,8	20,4	23,5	20,4	11,8	0,0	-11,8

Výška slunce nad obzorem

Pro Českou republiku se výška slunce nad obzorem určuje pro 50° severní šířky a je určena dle následujícího vztahu. [35][36]

$$\sin(h) = 0,766 \cdot \sin(\delta) - 0,643 \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(15\tau) \quad (7 - 2)$$

kde,

δ	sluneční deklinace	[°]
τ	sluneční čas	[h]

Sluneční azimut

Tento azimut je určován jako úhel, který svírá spojnice místa pozorovatele a slunce promítnutého do horizontální roviny s přímkou směřující mezi pozorovatelem a směrem na jih (na jižní polokouli je to směrem na sever). Úhel je měřen po směru hodinových ručiček (na jižní polokouli proti směru hodinových ručiček). [35][36]

$$\sin(a) = \frac{\sin(15 \cdot \tau) \cdot \cos(\delta)}{\cos(h)} \quad (7 - 3)$$

kde,

τ	sluneční čas	[h]
δ	sluneční deklinace	[°]
h	výška slunce nad obzorem	[°]

Úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem paprsků

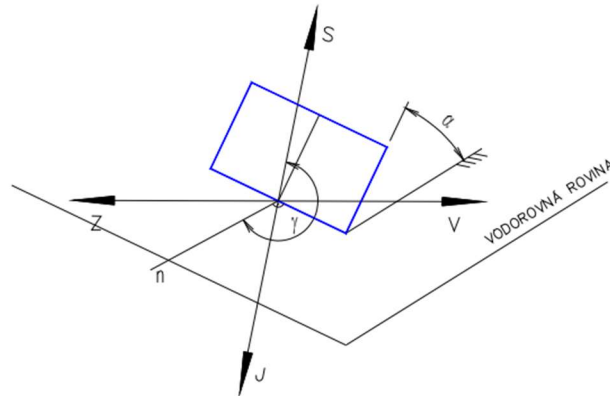
$$\cos \theta = \sin(h) \cdot \cos(\alpha) + \cos(h) \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(a - \gamma) \quad (7 - 4)$$

kde,

h	výška slunce nad obzorem	[°]
α	úhel stěny s vodorovnou rovinou měřený na straně odvrácené od slunce	[°]
γ	azimutový úhel normály měřený od severu podle směru hodinových ručiček	[°]
a	sluneční azimut	[°]

Tab. 7-2 Hodnoty azimutu stěny γ pro světové strany

Světová strana	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ
$\gamma [^\circ]$	0	45	90	135	180	225	270	315



Obr. 7-1 Orientace stěny včetně znázornění úhlu stěny a azimutového úhlu

7.2.2 Intenzita sluneční radiace

Intenzita přímé sluneční radiace

Tento výpočet závisí na nadmořské výšce, dle normy ČSN 73 0548 je možné používat následující vzorec, který platí pro 300 m n.m., což je průměrná hodnota pro města v ČR. [35][36]

$$I_D = I_0 \cdot \exp[-0,097 \cdot z \cdot (\sin h)^{-0,8}], \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (7 - 5)$$

kde,

$$I_0 = 1350 \quad \text{sluneční konstanta} \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

$$z \quad \text{součinitel znečištění atmosféry} \quad [-]$$

$$h \quad \text{výška slunce nad obzorem} \quad [^\circ]$$

Intenzita přímé sluneční radiace dopadající na orientovanou plochu

Jedná se o lehce upravený vzorec intenzity přímé sluneční radiace, který zahrnuje i úpravu pro orientovanou plochu. Intenzita přímé sluneční radiace dopadající na orientovanou plochu se vypočítá dle následujícího vzorce. [35]

$$I_{DS} = I_0 \cdot \exp[-0,097 \cdot z \cdot (\sin h)^{-0,8}] \cdot \cos \theta, \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (7 - 6)$$

kde,

θ úhel mezi normálou povrchu a směrem slunečních paprsků [°]

Tab. 7-3 Doporučené hodnoty součinitele znečištění atmosféry

Měsíc	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen
z [-]	3	4	4	5	5	4	4	3

Součinitel znečištění atmosféry udává kolikrát by musela být čistá atmosféra hmotnější, aby měla stejnou propustnost pro sluneční radiaci jako znečištěná atmosféra. [35]

$$z = \frac{\ln\left(\frac{I_D}{I_0}\right)}{\ln\left(\frac{I_{\check{c}}}{I_0}\right)}, \quad [-] \quad (7-7)$$

kde,

I_D intenzita přímé sluneční radiace [W · m⁻² · K⁻¹]

I_0 sluneční konstanta [W · m⁻² · K⁻¹]

$I_{\check{c}}$ intenzita sluneční radiace při průchodu
čistou atmosférou [W · m⁻² · K⁻¹]

Intenzita difúzní sluneční energie

$$I_d = \left[1350 - I_D - (1080 - 1,4 \cdot I_D) \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{2} \right] \cdot \frac{\sin h}{3}, \quad (7-8)$$

[W · m⁻² · K⁻¹]

kde,

I_D intenzita přímé sluneční radiace [W · m⁻² · K⁻¹]

α úhel stěny s vodorovnou rovinou měřený
na straně odvrácené od slunce [°]

h výška slunce nad obzorem [°]

Intenzita celkové sluneční energie

$$I_c = I_{DS} + I_d \quad (7 - 9)$$

kde,

I_{DS}	intenzita přímé sluneční radiace dopadající na orientovanou plochu	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
I_d	intenzita difusní sluneční radiace	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$

7.2.3 Intenzita sluneční radiace procházející zasklením**Celková poměrná propustnost přímé sluneční radiace standardním sklem**

$$T_D = 0,87 - 1,47 \left(\frac{\theta}{100} \right)^5, \quad [-] \quad (7 - 10)$$

kde,

θ	úhel mezi normálou povrchu a směrem slunečních paprsků	$[^\circ]$
----------	--	------------

Celková intenzita sluneční radiace procházející standardním jednoduchým zasklením

$$I_o = I_{DS}T_D + I_dT_d \quad (7 - 11)$$

kde,

I_{DS}	intenzita přímé sluneční radiace dopadající na orientovanou plochu	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
T_D	celková poměrná propustnost přímé sluneční radiace T_D standardním sklem	$[-]$
I_d	intenzita difusní sluneční radiace	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
T_d	celková propustnost difusní sluneční radiace	$[-]$

7.2.4 Výpočet teploty venkovního vzduchu

$$t_e = t_{e \max} - A[1 - \sin(15 \cdot \tau - 135)], \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (7 - 12)$$

kde,

$t_{e \max}$ maximální teplota v daném měsíci $[^{\circ}\text{C}]$

A amplituda kolísání venkovních teplot vzduchu $[K]$

τ sluneční čas $[h]$

Tab. 7-4 Doporučované maximální teploty vzduchu v jednotlivých měsících

Měsíc	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen
$t_{e \max} [^{\circ}\text{C}]$	19,0	22,0	26,5	28,5	30,0	30,0	27,5	23,5

7.3 Tepelné zisky z vnějšího prostředí

7.3.1 Tepelná zátěž okny

Aby byla tepelná zátěž okny snížena, je v rodinném domě využito žaluzií. U oken bez parapetu je využito vnějších žaluzií a u všech ostatních jsou použity žaluzie vnitřní. Osazením žaluzií byly celkové tepelné zisky budovy sníženy o přibližně 3 kW.

Prostup tepla konvekcí

$$Q_{ok} = U_o S_o (t_e - t_i), \quad [W] \quad (7 - 13)$$

kde,

U_o součinitel prostupu tepla oknem $[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$

S_o plocha okna včetně rámu $[m^2]$

t_e venkovní teplota $[^{\circ}\text{C}]$

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

Prostup tepla radiací

$$Q_{or} = [S_{os}I_o c_o + (S_o - S_{os})I_{od}]s \cdot n_o, \quad [W] \quad (7 - 14)$$

kde,

S_{os}	osluněný povrch okna	$[m^2]$
S_o	plocha okna včetně rámu	$[m^2]$
I_o	celková intenzita sluneční radiace procházející standardním jednoduchým zasklením	$[W \cdot m^{-2}]$
I_{od}	intenzita difuzní sluneční radiace procházející standardním jednoduchým zasklením	$[W \cdot m^{-2}]$
$c_o = 0,85$	korekce na čistotu atmosféry pro průmyslovou oblast	$[-]$
s	stínící součinitel	$[-]$
n_o	počet oken	$[-]$

Osluněný povrch okna

$$S_{os} = [L - (e_1 - f)][H - (e_2 - g)], \quad [m^2] \quad (7 - 15)$$

kde,

L	šířka zasklené části okna	$[m]$
H	výška zasklené části okna	$[m]$
e_1, e_2	délky stínů v okenním otvoru od okraje slunolamů	$[m]$
f	odstup vodorovné části okna od slunolamů	$[m]$
g	odstup vodorovné části okna od slunolamů	$[m]$

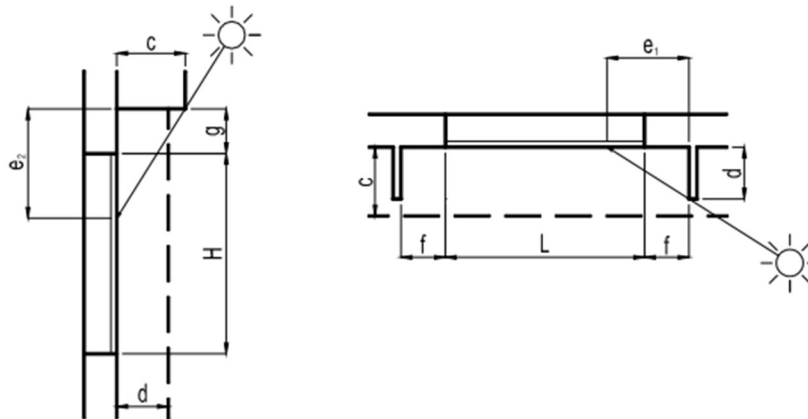
kde,

$$e_1 = d|\tan(a - \gamma)|, \quad [m] \quad (7 - 16)$$

$$e_2 = c \left| \frac{\tan h}{\cos(a - \gamma)} \right|, \quad [m] \quad (7 - 17)$$

c hloubka okna vzhledem k horní stínící desce [m]

d hloubka okna [m]



Obr. 7-2 Okótovaná okna a jejich oslunění

7.4 Tepelné zisky stěnami

Ve většině budov je tepelný zisk stěnami v porovnání s tepelnými zisky oken téměř zanedbatelný. Více znatelný je převážně u rozsáhlých budov s lehkou fasádou jako jsou například průmyslové haly.

Velký vliv na prostup tepla stěnou má její stavba, proto se rozlišují výpočty dle jednotlivých tlouštěk, v projektovaném rodinném domě jsou navrženy stěny, které patří do kategorie těžkých stěn ($d \geq 450$ mm). Těžké stěny disponují velmi velkou tepelnou kapacitou, a proto se jakékoliv kolísání teplot neprojeví na změně teploty na vnitřním povrchu stěny. [35]

$$Q_s = U_{st} S_{st} (t_{rm} - t_i), \quad [W] \quad (7 - 18)$$

kde,

U_{st} součinitel prostupu tepla stěnou [W · m⁻² · K⁻¹]

S_{st}	plocha stěny	$[m^2]$
t_{rm}	průměrná rovnícná sluneční teplota vzduchu za 24 hodin	$[^{\circ}C]$
t_i	vnitřní teplota	$[^{\circ}C]$

7.4.1 Celková vnější tepelná zátěž

$$Q_{ze} = Q_{ok} + Q_{or} + Q_s, \quad [W] \quad (7 - 19)$$

kde,

Q_{ok}	tepelná zátěž okny způsobena konvekcí	$[W]$
Q_{or}	tepelná zátěž okny způsobena radiací	$[W]$
Q_s	tepelné zisky stěnami	$[W]$

7.5 Tepelné zisky vnitřních zdrojů tepla

Návrh klimatizačních jednotek je třeba navrhovat nejen na vnější zisky, ale také na zisky, které se vyskytují v chlazeném prostoru. Tyto zisky mohou být způsobeny výskytem osob, ale i elektrickými spotřebiči a osvětlením. [35]

7.5.1 Tepelné zisky od lidí

Tyto tepelné zisky závisí převážně na aktivitě osob nacházejících se v chlazeném prostoru, ale také na aktuální teplotě v prostoru. Obsazenost jednotlivých pokojů je dána dle počtů lůžek či míst u stolu v obytných prostorech, zobrazených v projektové dokumentaci. Tabulkové hodnoty jsou uvedeny v normě ČSN 73 0548 nebo je možné je také vypočítat dle následujícího vztahu. [35]

$$Q_L = 6,2 \cdot n_L \cdot (36 - t_i), \quad [W] \quad (7 - 20)$$

kde,

n_L	počet lidí	$[-]$
t_i	vnitřní teplota	$[^{\circ}C]$

7.5.2 Tepelné zisky od osvětlení

$$Q_{sv} = q_{sv} \cdot S_{osv}, \quad [W] \quad (7 - 21)$$

kde,

$$q_{sv} = 8 \quad \text{měrná produkce tepla od osvětlení zářivkami} \quad [W \cdot m^{-2}]$$

$$S_{osv} \quad \text{osvětlená plocha} \quad [m^2]$$

7.5.3 Tepelné zisky od technologie

$$Q_t = c_1 c_2 c_3 \sum P, \quad [W] \quad (7 - 22)$$

kde,

$$c_1 \quad \text{součinitel současnosti} \quad [-]$$

$$c_2 \quad \text{zbytkový součinitel} \quad [-]$$

$$c_3 \quad \text{součinitel využití stroje} \quad [-]$$

$$P \quad \text{elektrický příkon} \quad [W]$$

7.5.4 Celková vnitřní tepelná zátěž

$$Q_{zi} = Q_L + Q_{sv} + Q_t, \quad [W] \quad (7 - 23)$$

kde,

$$Q_L \quad \text{tepelná zátěž od lidí} \quad [W]$$

$$Q_{sv} \quad \text{tepelná zátěž od osvětlení} \quad [W]$$

$$Q_t \quad \text{tepelná zátěž od technologie} \quad [W]$$

7.6 Celková tepelná zátěž

$$Q_z = Q_{ze} + Q_{zi}, \quad [W] \quad (7 - 24)$$

kde,

$$Q_{ze} \quad \text{celková vnější tepelná zátěž} \quad [W]$$

$$Q_{zi} \quad \text{celková vnitřní tepelná zátěž} \quad [W]$$

Celková tepelná zátěž v chlazených prostorech tohoto objektu vyšla 8000 W. Jednotlivé chlazené místnosti včetně jejich tepelných zátěží jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 7-5 Seznam chlazených místností objektu a jejich tepelné zátěže

	Místnost	Plocha [m ²]	Objem [m ³]	Tepelná zátěž [W]
1.08	Kuchyně + jídelna	25.3	70.84	2600
1.10	Obývací pokoj	32.3	148.58	
1.11	Pracovna	17	78.2	800
1.12	Obývací pokoj 2	23.1	64.68	1100
1.13	Ložnice	13	36.4	600
2.02	Hosté	11.1	31.08	600
2.04	Ložnice	15.9	44.52	800
2.10	Dětský pokoj	13.5	37.8	700
2.11	Dětský pokoj	13.5	37.8	700
3.02	Posilovna	16.6	46.48	800

7.7 Chladicí jednotky

Chladicí systém multi split je v rodinném domě navrhnout pomocí výrobků společností Sinclair. Venkovní jednotky jsou navrženy z řady MV-E14BI2 a vnitřní jednotky jsou zvoleny Terrel SIH-09BIT. Každá z vnitřních jednotek je připojena k venkovní jednotce měděným potrubím v dimenzi Cu 6x1 mm pro kapalinu a Cu 10x1 mm pro plyn. V každé chlazené místnosti je pouze jedna vnitřní chladicí jednotka. V následující tabulce jsou popsány jednotlivé multi split systémy a jejich napojení na venkovní chladicí jednotky. [36][37]

Tab. 7-6 Rozdělení jednotlivých multi split systémů

	Místnost	Plocha [m ²]	Objem [m ³]	Celková tepelná zátěž [W]	Číslo venkovní jednotky
1.08	Kuchyně + jídelna	25.3	70.84	2600	01
1.10	Obývací pokoj	32.3	148.58		
1.11	Pracovna	17	78.2		
1.12	Obývací pokoj 2	23.1	64.68	1100	02
1.13	Ložnice	13	36.4	600	
2.02	Hosté	11.1	31.08	600	03
2.04	Ložnice	15.9	44.52	800	
2.10	Dětský pokoj	13.5	37.8	700	04
2.11	Dětský pokoj	13.5	37.8	700	
3.02	Posilovna	16.6	46.48	800	03



Obr. 7-3 Venkovní chladicí jednotka MV-E14BI2



Obr. 7-4 Vnitřní chladicí jednotka Terrel SIH-09BIT

7.8 Tepelná izolace rozvodů

Potrubí použité pro připojení venkovní a vnitřní chladicí jednotky je izolováno v tepelné izolaci z polyetylenové pěny s uzavřenými póry a s vnějším ochranným pláštěm z LDPE fólie, která poskytuje dostatečnou odolnost vůči opotřebení a povětrnostním vlivům. Tato izolace musí disponovat tepelnou vodivostí maximálně $0,036 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, při teplotě $0 \text{ }^\circ\text{C}$ a menší. [36]

8. POŽADAVKY NA SOUVISEJÍCÍ PROFESE

8.1 Stavba

Příprava prostupů a žlabů pro potrubí vytápění, vzduchotechniky i chlazení a následné zabezpečení odpružení pomocí obalení potrubí do pružného materiálu je důležité, aby současně byly dodrženy bezpečnostní předpisy pro tyto prostupy.

Všechny sádkartonové podhledy v rodinném domě budou sestaveny až po sestavení potrubní sítě, a to takovým způsobem, aby se prvky vzduchotechnické sítě nedotýkaly podhledu a nedocházelo tak ke vzniku hluku způsobeného vibracemi. Zároveň budou vytvořeny revizní otvory u všech regulátorů průtoku, aby byla možná jejich revize a nastavení. Všechny obytné prostory budou vybaveny vzduchotechnickým prvkem, který umožňuje přesun vzduchu mezi obytnými prostory a prostory, ze kterých je odváděn vzduch, a to takovým způsobem, aby nedocházelo k přenosu hluku.

8.2 Elektro

Přípravenost připojení vzduchotechnických jednotek, venkovních chladicích jednotek, a plynového kotle do sítě bude provedena dle požadavků jednotlivých zařízení uvedených v přílohách.

8.3 Zdravotně technické instalace

Bude zajištěn odvod kondenzátu ze vzduchotechnických jednotek, včetně protiprachových uzávěrek, odvod kondenzátu od vnitřních chladicích jednotek, odvod kondenzátu z pat stoupaček.

9. ZÁVĚR

V rámci této diplomové práce byla vypracována komplexní studie vytápění, větrání a chlazení dvougeneračního rodinného domu, obsahujícího dvě nezávislé bytové jednotky.

Stavební konstrukce domu byly navrženy dle tepelně technických vlastností konstrukcí tak, aby odpovídaly doporučeným hodnotám pro součinitele prostupu tepla dle normy ČSN 73 0540-2.

Otopná soustava byla navržena jako dvoutrubková protiproudá horizontální s nuceným oběhem vody. Tepelné ztráty byly vypočítány dle normy ČSN EN 12 831-1 a celková tepelná ztráta objektu je 13,8 kW. Tyto tepelné ztráty budou hrazeny pomocí otopných těles, v tomto projektu jsou převážně použita desková otopná tělesa společnosti KORADO, a to typu RADIK VKM a VK, podlahové konvektory KORAFLEX, v místech, kde jsou využity prosklené stěny bez parapetu, a v koupelnách trubková otopná tělesa KORALUX. Otopná tělesa jsou osazena termostatickými ventily a regulačním šroubením. Zdroj tepla je na otopná tělesa napojen pomocí plastového potrubí PE-Xa Rehauterm společnosti REHAU z peroxidicky zesítěného polyethylenu, tento typ potrubí je využit ve všech horizontálních rozvodech vedených v podlaze. Vertikální rozvody a rozvody potrubí v IPP jsou navrženy z mědi, a to převážně z důvodu jednodušší instalace. Pro návrh potrubní sítě byla použita metoda ekonomických rychlostí, rychlost v potrubí se tedy pohybuje okolo $0,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Pro otopnou soustavu byl proveden výpočet tlakových ztrát a následně byla soustava hydraulicky vyvážena, a to pomocí regulačního šroubení a termostatických regulačních ventilů. Bude využito kalorimetrických měřičů tepla osazených na jednotlivých větvích před rozdělovačem umístěným v blízkosti zdroje tepla. Jako zdroj tepla byl navrhnout plynový kondenzační kotel Logamax plus GB192-15i společnosti Buderus, který je umístěn v suterénu objektu v místnosti 00.01. Jmenovitý výkon tohoto kotle pro vytápění je 14,5 kW, kotel je schopný operovat v rozsahu 2,5 kW až 18 kW. V této studii je kotel určen jen pro potřeby vytápění, bez přípravy teplé vody a bez integrovaného zásobníku teplé vody. Oběhové čerpadlo je dodáváno spolu se zdrojem tepla po instalování a je nutné jeho nastavení na optimální pracovní bod, který je dán objemovým průtokem $850 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ a také tlakovou ztrátou 17,7 kPa. Projektovaný teplotní spád systému je 70/55 °C. Součástí projektu je i výpočet potřeby tepla pomocí denostupňové metody.

Další část této práce se věnuje návrhu systému nuceného větrání, který je řešen dvěma samostatnými jednotkami SAFE společností Systemair. Navržené větrání splňuje požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15 665/Z1. Použité vzduchotechnické jednotky jsou vybaveny deskovým protiproudým výměníkem pro zpětné získávání tepla. V práci jsou navrženy 3 režimy větrání, a to režimy minimální, doporučený a nárazový. Tyto režimy a přepínání mezi nimi je automatické a podle signálu od čidel. V projektu se nachází čidla vlhkostní, CO₂, a ve 3NP čidlo pohybové. Jelikož se jedná o poměrně rozsáhlý objekt, je v hlavní obytné části objektu navržen systém jednotlivých rovnotlakých zón, které jsou na zbytek sítě připojeny pomocí variabilních regulátorů průtoku.

Další část studie je věnována chlazení obytných místností. Bylo navrženo za využití multi split jednotek. Tyto jednotky pokrývají veškeré tepelné zisky, které byly vypočteny dle normy ČSN 73 0548.

Součástí této práce je i výkresová dokumentace ve dvou sadách. V první je zakreslen projekt vytápění a ve druhé jsou spojeny profese zabývající se větráním a chlazením.

10. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Prostup tepla stavební konstrukcí [online]. TZB-info.cz. [vid. 22. 06. 2022]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/315-soucinitel-prostupu-tepla>
- [2] Normované hodnoty součinitele prostupu tepla UN,20 jednotlivých konstrukcí dle ČSN 73 0540-2:2011 Tepelná ochrana budov – část 2: Požadavky [online]. TZB-info.cz. [vid. 22. 06. 2022]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/136-normove-hodnoty-soucinitele-prostupu-tepla-un-20-jednotlivych-konstrukci-dle-csn-73-0540-2-2011-tepelna-ochrana-budov-cast-2-pozadavky>
- [3] Hodnoty fyzikálních veličin vybraných stavebních materiálů [online]. TZB-info.cz. [vid. 22. 06. 2022]. Dostupné z: [Hodnoty fyzikálních veličin vybraných stavebních materiálů - TZB-info](https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/136-hodnoty-fyzikalnich-velicin-vybranych-stavebnich-materialu)
- [4] Katalog produktů [online]. isover.cz. [vid. 22. 06. 2022]. Dostupné z: <https://www.isover.cz/produkty>
- [5] BAŠTA, J. Podklady k přednáškám – Základy vytápění a Vytápění.
- [6] Průměrné venkovní teploty v otopném období pro ostatní lokality [online]. TZB-info.cz. [vid. 22. 06. 2022]. Dostupné z <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/27-prumerne-venkovni-teploty-v-otopnem-obdobi-pro-ostatni-lokality>
- [7] BAŠTA, J., KABELE, K. Otopné soustavy teplovodní sešit projektanta. Třetí přepracované vydání. STP, 2008. 96 s. ISBN 978-80-01-02064-6
- [8] Otopné plochy – úvod do problematiky [online]. TZB-info.cz. [vid. 22. 06. 2022]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/otopne-plochy/3052-otopne-plochy-uvod-do-problematiky>
- [9] Radik VKM8 [online]. korado.cz. [vid. 22. 06. 2022]. Dostupné z: https://www.korado.cz/radik-vkm8?_gl=1*10q9dmz*_up*MQ..&gclid=CjwKCAjw6dmSBhBkEiwA_W-EoBCHOm7Z_Lqwn9kbiQp-l3jO-TM49BiFWqXBQb_lcaBDb-i-Wkd5BoC8IIQAvD_BwE
- [10] Koraflex optimal [online]. korado.cz. [vid. 22. 06. 2022]. Dostupné z: https://www.korado.cz/koraflex-optimal-fko?_gl=1*tv4sj9*_up*MQ..&gclid=CjwKCAjw6dmSBhBkEiwA_W-EoBCHOm7Z_Lqwn9kbiQp-l3jO-TM49BiFWqXBQb_lcaBDb-i-Wkd5BoC8IIQAvD_BwE

- [11] Koralux linear comfort [online]. korado.cz. [vid. 22. 06. 2022]. Dostupné z: https://www.korado.cz/koralux-linear-comfort?_gl=1*_zoef06*_up*MQ..&gclid=CjwKCAjw6dmSBhBkEiwA_W-EoBCHOm7Z_Lqwn9kbiQp-l3jO-TM49BiFWqXBQb_lcaBDi-Wkd5BoC8IIQAvD_BwE
- [12] Veklolux [online]. imi-hydronic.com. [vid. 22. 06. 2022]. Dostupné z: https://assets.imi-hydronic.com/Documents/Catalogues/Czech/Low/Vekolux_CS_low.pdf
- [13] Termostatické vložky [online]. imi-hydronic.com. [vid. 22. 06. 2022]. Dostupné z: https://assets.imi-hydronic.com/Documents/Catalogues/Czech/Low/Thermostatic_inserts_CS_low.pdf
- [14] Radiatec [online]. imi-hydronic.com. [vid. 22. 06. 2022]. Dostupné z: https://assets.imi-hydronic.com/Documents/Catalogues/Czech/Low/Raditec_CS_low.pdf
- [15] Calypso F-exact [online]. imi-hydronic.com. [vid. 22. 06. 2022]. Dostupné z: https://assets.imi-hydronic.com/Documents/Catalogues/Czech/Low/Calypso_F-exact_CS_low.pdf
- [16] BAŠTA, J. Dimenzování otopné soustavy [přednáška]. Praha: ČVUT
- [17] BAŠTA, J. Armatury – návrh TRV, RŠ [přednáška]. Praha: ČVUT
- [18] BAŠTA, Jiří. Regulace v technice prostředí staveb. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014. ISBN 978-80-01-05455-0
- [19] VAVŘIČKA, Roman. Podklady k přednáškám – Kontrola kotlů a rozvodů tepelné energie – Praktické zkušenosti
- [20] Termoizolační trubice mirelon pro [online]. mirelon.com. [vid. 22. 06. 2022]. Dostupné z: <https://www.mirelon.com/cz/termoizolacni-trubice-mirelon-pro-wp000280.html>
- [21] Projekční podklady – Plynový kondenzační kotel Logamax plus GB192i/GB192iT [online]. bunderus.com. [vid. 22. 06. 2022]. Dostupné z: https://www.buderus.com/cz/media/country_pool/fuer_partner/planunsdokumente/wall_mounted_boilers/pp_gb192it_2016_cz_cz.pdf

- [22] Bašta, J. Denostupňová metoda [přednáška]. Praha: ČVUT
- [23] DRKAL, F., ZMRHAL V. Větrání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2013. ISBN 978-80-01-05181-8
- [24] Systémy větrání obytných budov [online]. TZB-info.cz. [vid. 22. 06. 2022].
Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-rodinnych-domu/7937-systemy-vetrani-obytnych-budov>
- [25] Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15 665/Z1 [online]. TZB-info.cz. [vid. 22. 06. 2022]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vetrani-klimatizace/8239-pozadavky-na-vetrani-obytnych-budov-dle-csn-en-15-665-z1>
- [26] Save VTC [online]. systemair.cz. [vid. 22. 06. 2022]. Dostupné z: <https://shop.systemair.com/cs-CZ/save--vtc/c40063>
- [27] Optima LV [online]. systemair.cz. [vid. 22. 06. 2022]. Dostupné z: <https://shop.systemair.com/cs-CZ/optima--lv/p146797>
- [28] Doporučené rychlosti proudění ve vzduchovodech (m/s) podle větracího nebo klimatizačního zařízení a polohy úseku potrubí (upraveno podle ASHRAE Guide). TZBInfo.cz [online]. [vid. 22. 06. 2022]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/121-doporucene-rychlosti-proudeni-ve-vzduchovodech-m->
- [29] Lindab Safe [online]. lindab.cz. [vid. 22. 06. 2022]. Dostupné z: <https://www.lindab.cz/o-produktech/vzduchotechnika2/ads-potrubni-systemy/>
- [30] VLADIMÍR, Z. Výuka – Projekt – Vzduchotechnika, podklady: 4. Návrh potrubní sítě [online]. [vid. 22. 06. 2022]. Dostupné z: http://www.users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/Projekt3/Podklady/04_Navrh%20potrubni%20site.pdf
- [31] ZMRHAL, V., LAIN M. Prvky větracích a klimatizačních zařízení (II) - 2. část Distribuce vzduchu. TZB-info.cz [online]. [vid. 22. 06. 2022]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/4139-prvky-vetracich-a-klimatizacnich-zarizeni-ii-2-cast>
- [32] Nova A [online]. systemair.cz. [vid. 22. 06. 2022]. Dostupné z: <https://shop.systemair.com/cs-CZ/nova--a/p466816>

- [33] Orstech LSP [online]. isover.cz. [vid. 22. 06. 2022]. Dostupné z:
<https://www.isover.cz/produkty/orstech-lsp-40>
- [34] K-flex izolace Duct [online]. Kflex.izolace.cz. [vid. 22. 06. 2022]. Dostupné z:
<https://www.kflex-izolace.cz/izolace/kflex-h-duct.php>
- [35] VLADIMÍR, Z. Výuka – PROJEKT III. (IV.) - Vzduchotechnika 1. Popis výpočtu tepelné zátěže klimatizovaných prostor podle ČSN 730548 [online]. [vid. 22. 06. 2022]. Dostupné z:
http://www.users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/Projekt3/Podklady/01_Vypocet%20tepelne%20zateze.pdf
- [36] Sinclair MV-E14BI2 [online]. sinclair-solutions.com. [vid. 22. 06. 2022]. Dostupné z:
<https://www.sinclair-solutions.com/cs/produkty/multi-variable-serie-32/venkovni-jednotky/9746-mv-e14bi2-053031000002930.html>
- [37] Sinclair SIH + SOH-09BIT [online]. sinclair-solutions.com. [vid. 22. 06. 2022]. Dostupné z:
<https://www.sinclair-solutions.com/cs/produkty/nastenne-klimatizace-168/terrel-serie/9039-sih-soh-09bit.html>

NORMY

- ČSN EN ISO 6946. Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – Výpočtové metody.
- ČSN 73 0540-2. Tepelná ochrana budov. Část 2: Požadavky.
- ČSN EN 12 831-1. Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3.
- ČSN 73 4201. Komíny a kouřovody – Navrhování, provádění a připojování spotřebičů paliv.
- ČSN EN ISO 13 790. Energetická náročnost budov – Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení.
- ČSN EN 15 665/Z1. Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov.
- ČSN 73 0548. Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů
- ČSN EN ISO 52 016-1. Energetická náročnost budov – Potřeba energie na vytápění a chlazení, vnitřní teploty a citelné a latentní tepelné výkony.

11. SEZNAM PŘÍLOH

Přílohy na CD

Příloha 1 – Výpočet tepelných ztrát	(pdf)
Příloha 2 – Hydraulický výpočet	(xls)
Příloha 3 – Výpočet tepelné zátěže	(pdf)
Příloha 4 – Výkresová dokumentace	(dwg,pdf)
Příloha 5 – Diplomová práce	(pdf)

Seznam výkresové dokumentace

01 UT – Půdorys 1PP
02 UT – Půdorys 1NP
03 UT – Půdorys 2NP
04 UT – Půdorys 3NP
05 UT – Rozvinuté schéma
01 VZTCH – Půdorys 1PP
02 VZTCH – Půdorys 1NP
03 VZTCH – Půdorys 2NP
04 VZTCH – Půdorys 3NP
05 VZTCH – Střecha