

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

STUDIE VYTÁPĚNÍ NÁJEMNÍHO DOMU

DIPLOMOVÁ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Horňák** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **459542**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Technika životního prostředí**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Studie vytápění nájemního domu

Název diplomové práce anglicky:

Study of Apartment Building Heating

Pokyny pro vypracování:

Vypracujte studii vytápění nájemního domu s možností kalorimetrického měření spotřeby tepla pro jednotlivé zúčtovací jednotky. Větrání bude realizováno jako nucené se zpětným získáváním tepla. Pozornost věnujte vhodné volbě plynového zdroje tepla umístěného v bývalém půdním prostoru, řízení jeho výkonu a nadřazenému systému regulace.

Seznam doporučené literatury:

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

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

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

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

Datum zadání diplomové práce: **30.04.2021**

Termín odevzdání diplomové práce: **04.07.2021**

Platnost zadání diplomové práce: _____

prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

SOUHRN

Tato diplomová práce se zabývá kompletní studií větrání a vytápění čtyřpatrového nájemního domu se společným prostorem strojovny vytápění a vzduchotechniky v půdním prostoru. V souladu s normou ČSN 73 0540-2 jsou navrženy tepelně technické vlastnosti domu. Větrání je projektováno jako nucené rovnotlaké. Tepelné ztráty jsou vypočteny podle normy ČSN EN 12 831-1. Pro hrazení tepelných ztrát prostupem je navržena jednotrubková otopná soustava se směšovacími armaturami pod deskovými otopnými tělesy. Při návrhu otopné soustavy je brán v potaz požadavek na kalorimetrické měření spotřeby tepla v bytových jednotkách. Potřeba tepla je spočtena denostupňovou metodou podle normy ČSN EN ISO 52 016-1. Součástí práce je výkresová dokumentace větrání a vytápění.

SUMMARY

The aim of this diploma thesis is a study of ventilation and heating in a 4-storey apartment building with a common area of ventilation and heating machine room in the attic. Thermal technical properties of the building are calculated in the compliance with the technical standard ČSN 73 0540-2. Ventilation is designed as a balanced system. Heat loss calculation follows the technical standard ČSN EN 12 831-1. There is a single-pipe heating system with mixing valves under panel radiators planned for the coverage of the calculated heat loss. The requirement of a calorimetric measurement of heat consumption in flats is taken into consideration during the design of the heating system. The heat demand is calculated by following the technical standard ČSN EN ISO 52 016-1. As a part of the diploma thesis, there is a drawing documentation of both ventilation and heating systems.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Studie vytápění nájemního 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 14. 06. 2021

Bc. Martin Horňák

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu prof. Ing. Jiřímu Baštovi, Ph. D. za užitečné rady a připomínky, které mi pomáhaly při tvorbě této práce. Za konzultace v oblasti větrání bych rád poděkoval panu prof. Ing. Františku Drkalovi, CSc. a dále panu Jiřímu Hruškovi ze společnosti Metrostav a.s.

Můj vděk patří také všem, kteří mě při této práci podporovali, a to hlavně mým rodičům.

OBSAH

1. ÚVOD	15
2. POPIS OBJEKTU	16
2.1 Tepelně technické vlastnosti.....	16
2.1.1 Konstrukce budovy	17
2.1.2 Porovnání součinitelů prostupu tepla	24
3. VĚTRÁNÍ V OBJEKTU	25
3.1 Návrh vzduchotechnických jednotek	26
3.2 Tepelná ztráta větráním a dimenzování ohřivačů.....	30
3.3 Dimenzování chladičů	32
3.4 Popis stavů vnitřního vzduchu	34
3.4.1 Zima	34
3.4.2 Léto.....	35
3.5 Návrh potrubní sítě	36
3.5.1 Potrubní síť pro menší vzduchotechnickou jednotku	37
3.5.2 Potrubní síť pro větší vzduchotechnickou jednotku	41
3.6 Návrh vyústek.....	43
3.6.1 Přívodní vyústky	43
3.6.2 Odvodní vyústky	44
3.7 Regulace vzduchotechniky	45
3.7.1 Regulace potrubní sítě pro menší vzduchotechnickou jednotku	45
3.7.2 Regulace potrubní sítě pro větší vzduchotechnickou jednotku	47
3.8 Redistribuce vzduchu v bytech.....	47
3.9 Izolace vzduchotechnického potrubí	49
3.10 Protipožární opatření.....	49
4. VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT PROSTUPEM	51
5. OTOPNÁ SOUSTAVA	57
5.1 Volba otopné soustavy	57
5.2 Jednotrubková otopná soustava.....	58
5.2.1 Výpočtové vztahy pro návrh jednotrubkové horizontální otopné soustavy se směšovacími armaturami	60
5.3 Otopná tělesa	63
5.4 Potrubní síť a hydraulický výpočet	66
5.4.1 Výpočet potrubní sítě pro menší byty	70
5.4.2 Výpočet potrubní sítě pro větší byty	72
5.5 Vyvážení okruhů otopných soustav.....	73

5.5.1	<i>Vyvážení menší otopné soustavy</i>	74
5.5.2	<i>Vyvážení větší otopné soustavy</i>	74
5.6	Zdroje tepla.....	75
5.7	Oběhová čerpadla	77
5.8	Pojistná a zabezpečovací zařízení	78
5.9	Tepelná izolace rozvodů.....	80
5.10	Odvod kondenzátu od kotlů.....	83
6.	REGULACE VYTÁPĚNÍ	85
7.	ODVOD SPALIN OD ZDROJŮ TEPLA.....	88
8.	POTŘEBA TEPLA NA VYTÁPĚNÍ	90
8.1	Denostupňová metoda	90
8.2	Celková potřeba energie	92
8.3	Měření tepla.....	94
9.	MONTÁŽ.....	95
9.1	Požadavky na související profese	95
9.1.1	<i>Stavba</i>	95
9.1.2	<i>Elektro</i>	95
9.1.3	<i>Zdravotně technické instalace</i>	95
9.1.4	<i>Požární bezpečnost</i>	96
10.	ZÁVĚR	97
11.	SEZNAM PŘÍLOH.....	99
11.1	Elektronické přílohy	99
11.2	Tištěné přílohy	100
12.	SEZNAM ZDROJŮ	101

SOUPIS POUŽITÉHO ZNAČENÍ

A_g	$[m^2]$	plocha podlahové desky
$A_{izolace}$	$[m^2]$	plocha tepelné izolace ve zkoumaném úseku
A_k	$[m^2]$	plocha stavební části (k)
A_{krokve}	$[m^2]$	plocha krokví ve zkoumaném úseku
$A_{trámy}$	$[m^2]$	plocha trámů ve zkoumaném úseku
A_{vzduch}	$[m^2]$	plocha vzduchu ve zkoumaném úseku
B'	$[m]$	geometrický parametr podlahové desky
C_C	$[Kč]$	celková cena za provoz vytápění a VZT
C_{Ch}	$[Kč]$	cena za provoz chladičů
C_J	$[Kč]$	cena za jistič
C_O	$[Kč]$	cena za provoz ohřivačů
C_P	$[Kč]$	cena za plyn na provoz kotlů
C_{VZT}	$[Kč]$	cena za provoz vzduchotechnických jednotek
D	$[m]$	vnější průměr potrubí
D_{iz}	$[m]$	vnější průměr potrubí s nasazenou izolací
$H_{T,ia}$	$[W \cdot K^{-1}]$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) do sousedního vytápěného prostoru (a)
$H_{T,iaBE}$	$[W \cdot K^{-1}]$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) do sousedních funkčních částí budovy považované za nevytápěné (aBE)
$H_{T,iae}$	$[W \cdot K^{-1}]$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí přes sousední nevytápěný prostor (ae)
$H_{T,ie}$	$[W \cdot K^{-1}]$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) přímo do venkovního prostředí (e)
$H_{T,ig}$	$[W \cdot K^{-1}]$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) do zeminy (g)
H_u	$[MJ \cdot m^{-3}]$	výhřevnost paliva
L	$[m]$	celková délka potrubí

\dot{M}_O	$[kg \cdot s^{-1}]$	hmotnostní průtok otopné vody okruhem
\dot{M}_T	$[kg \cdot s^{-1}]$	hmotnostní průtok vody otopným tělesem
N	$[Kč \cdot m^{-1} \cdot rok^{-1}]$	celkové měrné náklady
N_{iz}	$[Kč \cdot m^{-1} \cdot rok^{-1}]$	měrné náklady na tepelnou izolaci
N_q	$[Kč \cdot m^{-1} \cdot rok^{-1}]$	měrné náklady na tepelné ztráty
P	$[m]$	délka obvodových stěn sousedících pouze s nevytápěnými zónami nebo venkovním prostředím
Q_d	$[J]$	teoretická potřeba tepla na vytápění
$Q_{d,skut}$	$[J]$	skutečná potřeba tepla na vytápění
Q_N	$[W]$	jmenovitý výkon otopného tělesa
Q_O	$[W]$	tepelný výkon okruhu
Q_T	$[W]$	tepelný výkon otopného tělesa
R	$[Pa \cdot m^{-1}]$	tlakový spád, měrná tlaková ztráta
Re	$[-]$	Reynoldsovo číslo
R_{se}	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně
R_{si}	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně
S	$[m^2]$	plocha potrubí kolmé na osu proudění
U	$[m^3]$	potřeba paliva na vytápění
U	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	součinitel prostupu tepla stavební konstrukcí
$U_{equiv,k}$	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části (k) v kontaktu se zemí
$U_{N,20}$	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla stavební konstrukcí
\dot{V}_e	$[m^3 \cdot h^{-1}]$	objemový průtok venkovního vzduchu
V_{EN}	$[m^3]$	objem tlakové expanzní nádoby
V_i	$[m^3]$	vnitřní objem místnosti
\dot{V}_o	$[m^3 \cdot h^{-1}]$	objemový průtok odváděného vzduchu
V_{OS}	$[m^3]$	celkový objem vody v otopné soustavě
\dot{V}_p	$[m^3 \cdot h^{-1}]$	objemový průtok přiváděného vzduchu

c	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	měrná tepelná kapacita vody
c_p	$[Wh \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	měrná tepelná kapacita vzduchu
d	$[m]$	vnitřní průměr potrubí
d	$[-]$	počet dnů v otopném období
e_d	$[-]$	opravný součinitel na zkrácení doby provozu otopné soustavy při přerušovaném vytápění
e_i	$[-]$	opravný součinitel na nesoučasnost tepelné ztráty větráním a prostupem
e_t	$[-]$	opravný součinitel na snížení vnitřní teploty při přerušení vytápění
$f_{GW,k}$	$[-]$	opravný činitel zohledňující vliv spodní vody
$f_{ia,k}$	$[-]$	teplotní opravný činitel zahrnující rozdíl teplot mezi teplotou nevytápěného prostoru nebo vytápěného na jinou teplotu a venkovní návrhovou teplotou
$f_{ie,k}$	$[-]$	teplotní opravný činitel
$f_{ig,k}$	$[-]$	teplotní opravný činitel zohledňující vliv průměrné venkovní teploty za otopné období
f_o	$[-]$	opravný součinitel pro úpravu okolí těles
$f_{U,k}$	$[-]$	opravný činitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy
f_x	$[-]$	opravný součinitel na připojení tělesa
$f_{\Delta t}$	$[-]$	opravný součinitel na teplotní rozdíl
$f_{\delta tw}$	$[-]$	opravný součinitel pro ochlazení vody
$f_{\theta ann}$	$[-]$	opravný činitel zohledňující vliv změny venkovní teploty v průběhu roku
g	$[m \cdot s^{-2}]$	gravitační zrychlení
h	$[m]$	výška vodního sloupce nad expanzní nádobou
h_e	$[kJ \cdot kg^{-1}]$	entalpie venkovního vzduchu
h_p	$[kJ \cdot kg^{-1}]$	entalpie přiváděného vzduchu
k_v	$[m^3 \cdot h^{-1}]$	jmenovitý průtok ventilu

l	$[m]$	délka úseku potrubí
l	$[kJ \cdot kg^{-1}]$	výparné teplo
l_{ekv}	$[m]$	ekvivalentní délka potrubí
n	$[h^{-1}]$	intenzita větrání
n	$[-]$	teplotní exponent otopného tělesa
n	$[-]$	součinitel zvětšení objemu
$n_{min,i}$	$[h^{-1}]$	minimální intenzita větrání místnosti (i)
n_n	$[h^{-1}]$	návrhová intenzita větrání
n_r	$[h^{-1}]$	reálná intenzita větrání
n_u	$[-]$	počet uzlů v okruhu
$p_{d,dov}$	$[kPa]$	nejnižší dovolený přetlak
$p_{d,dov,A}$	$[kPa]$	nejnižší dovolený absolutní tlak
$p_{h,dov}$	$[kPa]$	nejvyšší dovolený přetlak
$p_{h,dov,A}$	$[kPa]$	nejvyšší dovolený absolutní tlak
p_{ot}	$[kPa]$	otevírací tlak pojistného ventilu
$q_{v,min,i}$	$[m^3 \cdot h^{-1}]$	minimální objemový průtok vzduchu místností (i)
s	$[mm]$	nastavení talířového ventilu vysunutím
s_i	$[m]$	tloušťka i-té vrstvy stavební konstrukce
t_{mT}	$[^{\circ}C]$	střední teplota na otopném tělese
t_{vyp}	$[^{\circ}C]$	vypařovací teplota chladicí látky
t_{w1}	$[^{\circ}C]$	teplota přívodní otopné vody
t_{w1}	$[^{\circ}C]$	teplota otopné vody na vstupu do otopného tělesa
$t_{w1,N}$	$[^{\circ}C]$	normovaná teplota přívodní otopné vody
t_{w2}	$[^{\circ}C]$	teplota vratné otopné vody
t_{w2}	$[^{\circ}C]$	teplota otopné vody na výstupu z otopného tělesa
$t_{w2,N}$	$[^{\circ}C]$	normovaná teplota vratné otopné vody
w	$[m \cdot s]$	rychlost proudění vzduchu
w_{ek}	$[m \cdot s]$	ekonomická rychlost pro návrh otopné soustavy

x_e	$[g \cdot kg^{-1} \cdot s \cdot v.]$	měrná vlhkost venkovního vzduchu
x_p	$[g \cdot kg^{-1} \cdot s \cdot v.]$	měrná vlhkost přiváděného vzduchu
z	$[m]$	hloubka horní hrany podlahové desky pod úrovní zeminy
α_i	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	součinitel přestupu tepla na vnitřní straně trubky
α_{iz}	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	součinitel přestupu tepla na povrchu izolace
α_T	$[-]$	součinitel zatékání
Δp_{cv}	$[Pa]$	celková tlaková ztráta větve
Δp_o	$[Pa]$	tlaková ztráta okruhu
Δp_r	$[Pa]$	tlaková ztráta, která má být doregulována vyvažovacím ventilem
Δp_u	$[Pa]$	tlaková ztráta uzlu
Δp_v	$[Pa]$	celková tlaková ztráta s vyvažovacím ventilem
Δp_{vy}	$[Pa]$	tlaková ztráta anemostatu
Δp_{vv}	$[Pa]$	tlaková ztráta vyvažovacího ventilu
Δp_z	$[Pa]$	celková tlaková ztráta
Δp_{zm}	$[Pa]$	místní tlaková ztráta
Δp_{zn}	$[Pa]$	nastavená tlaková ztráta na regulátoru
Δp_{zr}	$[Pa]$	rozdíl tlakové ztráty
Δp_{zt}	$[Pa]$	tlaková ztráta třením
Δt_N	$[^{\circ}C]$	rozdíl normované střední teploty otopného tělesa a normované teploty vzduchu v místnosti
Δt_S	$[^{\circ}C]$	rozdíl střední teploty otopného tělesa a teploty vzduchu v místnosti
ΔU_{TB}	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	přirážka na vliv tepelných mostů
δt_o	$[^{\circ}C]$	teplotní spád okruhu
δt_T	$[^{\circ}C]$	teplotní rozdíl na otopném tělese
η	$[-]$	stupeň využití expanzní nádoby
η_K	$[-]$	účinnost zdroje tepla (kotle)
η_o	$[-]$	účinnost obsluhy (regulace)
η_R	$[-]$	účinnost rozvodů tepelné energie

$\eta_{rec,z}$	$[-]$	účinnost zpětného získávání tepla větracího systému příslušejícího zóně (z)
θ	$[K \cdot W^{-1}]$	ochlazení v okruhu na jednotku výkonu
θ_e	$[^{\circ}C]$	venkovní výpočtová teplota
$\theta_{e,m}$	$[^{\circ}C]$	průměrná venkovní teplota za otopné období
$\theta_{exh,z}$	$[^{\circ}C]$	teplota objemového průtoku vzduchu odváděného ze zóny (z)
θ_{ia}	$[^{\circ}C]$	teplota sousedního nevytápěného prostoru nebo prostoru vytápěného na jinou teplotu
$\theta_{int,i}$	$[^{\circ}C]$	vnitřní výpočtová teplota
$\theta_{int,i,N}$	$[^{\circ}C]$	normovaná teplota vnitřního vzduchu
θ_{is}	$[^{\circ}C]$	průměrná vnitřní teplota objektu
θ_p	$[^{\circ}C]$	teplota přiváděného vzduchu
$\theta_{rec,z}$	$[^{\circ}C]$	teplota objemového průtoku vzduchu přiváděného do zóny (z) po tom, co projde zpětným získáváním tepla
λ	$[-]$	součinitel třecích ztrát
$\lambda_{ekv,izolace+krokvě}$	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	ekvivalentní hodnota součinitele tepelné vodivosti stavební konstrukce skládající se z izolace a krokví
$\lambda_{ekv,izolace+trámy}$	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	ekvivalentní hodnota součinitele tepelné vodivosti stavební konstrukce skládající se z izolace a trámů
$\lambda_{ekv,vzduch+trámy}$	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	ekvivalentní hodnota součinitele tepelné vodivosti stavební konstrukce skládající se ze vzduchu a trámů
λ_i	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	součinitel tepelné vodivosti i-té vrstvy konstrukce
λ_{iz}	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	součinitel tepelné vodivosti materiálu izolace
$\lambda_{izolace}$	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	součinitel tepelné vodivosti tepelné izolace
$\lambda_{krokvě}$	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	součinitel tepelné vodivosti krokví

λ_{tr}	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	součinitel tepelné vodivosti materiálu trubky
$\lambda_{trámy}$	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	součinitel tepelné vodivosti dřevěných trámů
λ_{vzduch}	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	součinitel tepelné vodivosti vzduchu
ν	$[m^2 \cdot s^{-1}]$	kinematická viskozita
ξ	$[-]$	součinitel místního odporu
ρ	$[kg \cdot m^{-3}]$	hustota látky
$\sum Q_i$	$[W]$	součet tepelných výkonů před počítaným otopným tělesem
$\sum Q_{OT}$	$[W]$	součet požadovaných tepelných výkonů všech otopných těles umístěných v okruhu
$\Phi_{c,v}$	$[W]$	celková tepelná ztráta objektu
$\Phi_{gain,i}$	$[W]$	trvalé tepelné zisky ve vytápěném prostoru (i)
$\Phi_{HL,i}$	$[W]$	návrhový tepelný výkon vytápěného prostoru vnitřního (i)
$\Phi_{hu,i}$	$[W]$	volitelný dodatečný zátopový tepelný výkon vytápěného prostoru (i) v případě přerušovaného vytápění
$\Phi_{T,i}$	$[W]$	návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru (i)
$\Phi_{V,i}$	$[W]$	návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru (i)
φ_e	$[\%]$	relativní vlhkost venkovního vzduchu
φ_i	$[\%]$	relativní vlhkost vnitřního vzduchu

1. ÚVOD

Tato diplomová práce řeší návrh vytápění a větrání v nájemném domě. V dnešní době využíváme různé typy otopných soustav s ohledem na úspory energie a efektivitu. První část této práce obsahuje přehled skladeb jednotlivých stavebních konstrukcí a výplní otvorů tak, aby splňovaly normu ČSN 73 0540-2. V druhé části této práce najdeme kompletní návrh větrání v objektu včetně návrhu vzduchovodů. Větrání v objektu bude rovnotlaké nucené se zpětným získáváním tepla, které bude obstaráváno vzduchotechnickými jednotkami umístěnými v půdním prostoru v pátém nadzemním podlaží. Třetí částí této práce je výpočet tepelných ztrát potřebných pro správný návrh otopné soustavy. Následuje samotná studie vytápění, zdroje tepla budou navrženy plynové a umístěny taktéž na půdě. Součástí projektu je i regulace dodávky tepla do vytápěného prostoru a hydraulické vyvážení soustavy. Rozhodně nesmí chybět výpočet potřeby tepla a měření spotřeby tepla v jednotlivých bytových jednotkách. Příprava teplé vody je v každé bytové jednotce řešena individuálně zásobníkovým elektrickým ohřevem.

Cílem studie je v každém případě skloubit spolehlivost řešení, efektivitu, splnění požadavků a co nejrozumnější investiční a provozní náklady. Součástí diplomové práce je výkresová dokumentace projektu.

2. POPIS OBJEKTU

Nájemní dům je umístěn v Praze s venkovní výpočtovou teplotou $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dům je nepodsklepený a má celkem pět nadzemních podlaží, a to čtyři obytná podlaží a půdní prostor sloužící jako strojovna vytápění a větrání. Střecha je sedlová se sklonem 40° . Půdní prostory a chodby jsou nevytápěné. Každé ze čtyř obytných podlaží obsahuje dva samostatné byty – na levé (západní) straně byt s dispozicí 2+1 a na pravé (východní) straně byt 4+1. Celkem tedy dům obsahuje 8 bytových jednotek. Byty 2+1 obsahují předsíň, toaletu, koupelnu, obývací pokoj, ložnici a samostatnou kuchyň. Byty 4+1 obsahují předsíň, toaletu, koupelnu, obývací pokoj, ložnici, 2 dětské pokoje a samostatnou kuchyň. Všechny byty obsahují stejná zdravotně technická zařízení – WC, umyvadlo, vanu, dřez. Výška stropů je 2,8 m s tím, že obsahují sádkartonové podhledy pro rozvody vzduchotechniky. Nájemní dům má dva vchody, každý na jedné straně tak, že schodiště vede k levým i pravým bytům zvlášť. Každým bytem prochází šachta pro vedení technických rozvodů vedoucí od prvního patra až na půdu.

2.1 Tepelně technické vlastnosti

V současné době je v platnosti norma ČSN 73 0540-2, ve které jsou k dispozici hodnoty součinitelů prostupu tepla. Hodnoty součinitelů prostupu tepla jsou v normě k dispozici pro různé stavební konstrukce (vnější a vnitřní stěny, střechy, stropy, podlahy atd.) a jsou dostupné ve třech kategoriích (požadované nebo doporučené hodnoty a hodnoty pro pasivní domy). V našem případě se nejedná o pasivní dům, a jelikož se jedná o dům přibližně z šedesátých let minulého století, budu brát v úvahu nejméně přísné hodnoty, tedy požadované hodnoty součinitelů prostupu tepla U_N .

Součinitel prostupu tepla pro složené rovinné stěny se vypočítá z normy ČSN EN ISO 6946 ze vztahu

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda_i} + R_{se}}, \quad (1)$$

kde

R_{si} je tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$],

s_i je tloušťka stěny stavební konstrukce [m],

λ_i je součinitel tepelné vodivosti stěny stavební konstrukce [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$],

R_{se} je tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$].

V následující tabulce jsou hodnoty tepelných odporů při přestupu tepla na vnitřní straně a při přestupu tepla na vnější straně vzaté z téže normy.

Tab. 1 Přehled tepelných odporů na vnější a vnitřní straně dle ČSN EN ISO 6946

Tepelný odpor při přestupu tepla [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	Směr tepelného toku		
	nahoru	vodorovně	dolů
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Ke každému vypočtenému součiniteli prostupu tepla se poté při výpočtu tepelných ztrát objektu přičítá přírážka na tepelné mosty. Jelikož se jedná o konstrukci s běžnými tepelnými mosty, vybírám z normy ČSN 73 0540-4 hodnotu $\Delta U_{TB} = 0,1 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$.

2.1.1 Konstrukce budovy

Vnější stěna

Vnější stěna se skládá z tepelně izolační omítky, stěrkové malty se síťovinou, izolace Styrodur 2800, zdiva Ytong Standard P2-400 a sádrové omítky. Soupis materiálů a tloušťek jednotlivých vrstev je zapsaný v tabulce níže. Celkový součinitel prostupu tepla je $U = 0,183 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$, což vyhovuje požadované hodnotě v technické normě $U_{N,20} = 0,3 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$.

Tab. 2 Materiály vnější stěny

Materiál	Tloušťka s [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]
Tepelně izolační omítka	0,004	0,1
Stěrková malta se síťovinou	0,006	0,5
Izolace Styrodur 2800	0,08	0,036
Ytong Standard P2-400	0,3	0,1
Sádrová omítka	0,01	0,34
Celkem	0,4	

Vnitřní stěna

Vnitřní stěna se skládá ze sádrové omítky, zdiva Ytong Klasik 125 a sádrové omítky. Soupis materiálů a tloušťek jednotlivých vrstev je zapsaný v tabulce níže. Celkový součinitel prostupu tepla je $U = 0,69 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$, což vyhovuje požadované hodnotě $U_{N,20} = 2,7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

Tab. 3 Materiály vnitřní stěny

Materiál	Tloušťka s [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
Sádrová omítka	0,0125	0,34
Ytong Klasik 125	0,125	0,111
Sádrová omítka	0,0125	0,34
Celkem	0,15	

Vnitřní stěna silnější

Silnější vnitřní stěna se skládá ze sádrové omítky, zdiva Ytong Klasik 200 a sádrové omítky. Soupis materiálů a tloušťek jednotlivých vrstev je zapsaný v tabulce níže. Celkový součinitel prostupu tepla je $U = 0,493 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$, což vyhovuje požadované hodnotě $U_{N,20} = 0,6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

Tab. 4 Materiály vnitřní stěny silnější

Materiál	Tloušťka s [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
Sádrová omítka	0,025	0,34
Ytong Klasik 125	0,2	0,1226
Sádrová omítka	0,025	0,34
Celkem	0,25	

Podlaha

Podlaha v 1.NP se skládá z nášlapné vrstvy, betonové mazaniny, tepelné izolace Styrodur 2800, hydroizolace a železobetonové desky. Soupis materiálů a tloušťek jednotlivých vrstev je zapsaný v tabulce níže. Celkový součinitel prostupu tepla poté je

$U = 0,238 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$, což následně vyhovuje požadované hodnotě v technické normě $U_{N,20} = 0,45 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

Tab. 5 Materiály podlahy

Materiál	Tloušťka s [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
Nášlapná vrstva	0,01	1,1
Betonová mazanina	0,01	1,3
Tepelná izolace	0,15	0,039
Hydroizolace	0,005	0,21
Železobetonová deska	0,18	1,43
Celkem	0,355	

Strop + podlaha

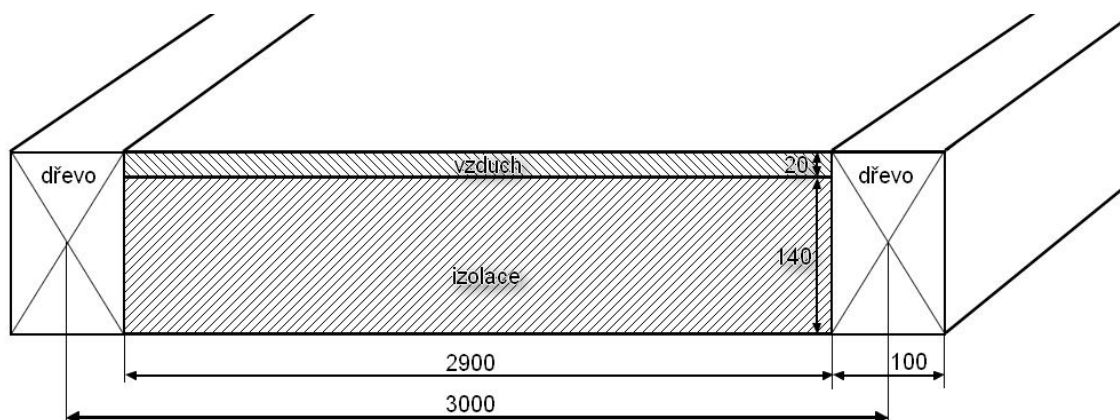
Vrstva strop + podlaha v 1. – 3. NP se skládá z nášlapné vrstvy, betonové mazaniny, tepelně izolační vrstvy, železobetonové desky a sádrové omítky. Soupis materiálů a tlouštěk jednotlivých vrstev je zapsaný v tabulce níže. Celkový součinitel prostupu tepla je $U = 0,808 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$, což vyhovuje požadované hodnotě v technické normě $U_{N,20} = 2,2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

Tab. 6 Materiály vrstvy strop-podlaha

Materiál	Tloušťka s [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
Nášlapná vrstva	0,01	1,1
Betonová mazanina	0,01	1,3
Tepelně izolační vrstva	0,04	0,049
Železobetonová deska	0,15	1,43
Sádrová omítka	0,01	0,34
Celkem	0,22	

Strop + podlaha pod kotelnou

Protože kotelna je nevytápěný prostor, bude tam přísnější součinitel prostupu tepla, aby zbytečně teplo neodcházelo z nejvrchnějších bytů stropem nahoru. Strop ve 4. NP se skládá z nášlapné vrstvy, vzduchové mezery, tepelné izolace, dřevěných trámů, parozábrany a sádrové omítky. Protože izolací a vzduchovou vrstvou prochází periodicky dřevěné trámy (viz obr. 1), jedná se o nehomogenní vrstvu a je potřeba spočítat ekvivalentní součinitel tepelné vodivosti.



Obr. 1 Nehomogenní vrstva v konstrukci strop+podlaha pod kotelnou

Rozpětí dřevěných trámů je 3000 mm, což je i zkoumaný periodicky se opakující úsek, a jejich výška je 160 mm. Délka trámů ve zkoumaném úseku je 100 mm a délka izolace 2900 mm. Hloubka úseku není v tomto případě rozhodující, volím 1000 mm. Výška tepelné izolace mezi trámy je 140 mm a výška vzduchové mezery 20 mm. Ekvivalentní součinitel tepelné vodivosti pro vrstvu tepelné izolace s procházejícími trámy se spočítá ze vztahu

$$\lambda_{ekv, izolace+trámy} = \frac{\lambda_{izolace} A_{izolace} + \lambda_{trámy} A_{trámy}}{A_{izolace} + A_{trámy}} \quad (2)$$

$$= \frac{0,039 \cdot 2,9 \cdot 1 + 0,18 \cdot 0,1 \cdot 1}{2,9 \cdot 1 + 0,1 \cdot 1} = 0,0437 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1},$$

kde

$\lambda_{izolace}$ je součinitel tepelné vodivosti tepelné izolace [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],

$A_{izolace}$ je plocha izolace ve zkoumaném úseku [m^2],

$\lambda_{trámy}$ je součinitel tepelné vodivosti dřevěných trámů [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],

$A_{trámy}$ je plocha trámů ve zkoumaném úseku [m^2].

Ekvivalentní součinitel tepelné vodivosti pro vrstvu vzduchové mezery s procházejícími trámy se spočítá ze vztahu

$$\begin{aligned}\lambda_{ekv,vzduch+trámy} &= \frac{\lambda_{vzduch}A_{vzduch} + \lambda_{trámy}A_{trámy}}{A_{vzduch} + A_{trámy}} \\ &= \frac{0,026 \cdot 2,9 \cdot 1 + 0,18 \cdot 0,1 \cdot 1}{2,9 \cdot 1 + 0,1 \cdot 1} = 0,031 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1},\end{aligned}\quad (3)$$

kde

λ_{vzduch} je součinitel tepelné vodivosti vzduchu [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],

A_{vzduch} je plocha vzduchu ve zkoumaném úseku [m^2],

$\lambda_{trámy}$ je součinitel tepelné vodivosti dřevěných trámů [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],

$A_{trámy}$ je plocha trámů ve zkoumaném úseku [m^2].

Ekvivalentní součinitel prostupu tepla pro tuto vrstvu se poté spočítá z rovnice (1)

jako

$$\begin{aligned}U_{ekv} &= \frac{1}{0,1 + \frac{0,01}{1,1} + \frac{0,02}{0,031} + \frac{0,14}{0,0437} + \frac{0,0004}{0,0077} + \frac{0,01}{0,34} + 0,17} \\ &= 0,238 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1},\end{aligned}\quad (4)$$

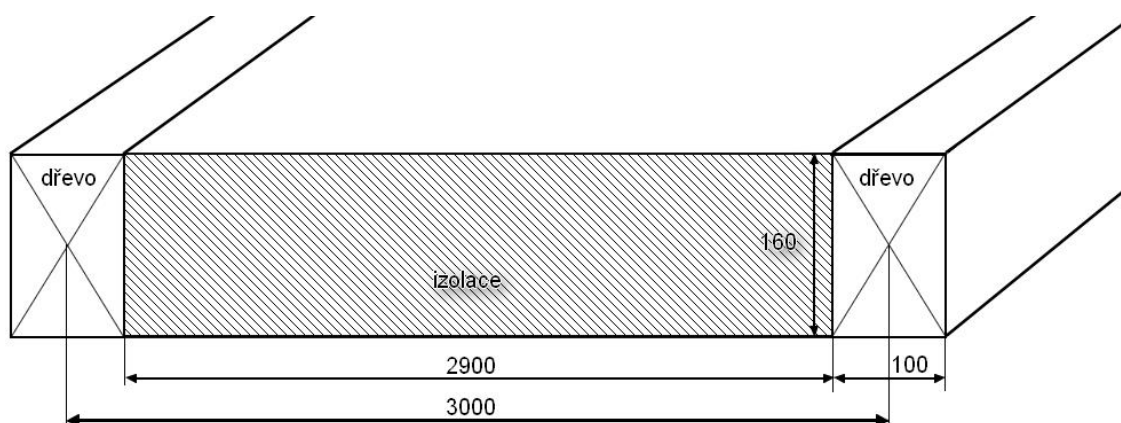
Soupis materiálů a tloušťek jednotlivých vrstev je zapsaný v tabulce níže. Celkový součinitel prostupu tepla je $U = 0,238 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$, což vyhovuje požadované hodnotě $U_{N,20} = 0,6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

Tab. 7 Materiály vrstvy strop-podlaha pod kotelnou

Materiál	Tloušťka s [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
Nášlapná vrstva	0,01	1,1
Vzduchová mezera	0,02	0,026
Tepelná izolace	0,14	0,039
Dřevěné trámy	0,16	0,18
Parotěsná folie	0,0004	0,0077
Sádrová omítka	0,01	0,34
Celkem	0,184	

Šikmá střecha

Vrstva střecha se skládá z krytiny Tondach, vzduchové mezery, hydroizolační fólie, tepelné izolace, krokví, minerální izolace, parozábrany a sádrokartonu. Střešní krytina je nad vzduchovou mezerou, proto se poté do výpočtu celkového součinitele prostupu tepla nezahrnuje. A navíc minerální izolaci prochází krokve, jedná se tedy o nehomogenní vrstvu a je potřeba opět spočítat ekvivalentní součinitel tepelné vodivosti. Rozpětí krokví je opět 3000 mm a jejich výška 160 mm. Pro názornost můžu použít modifikovaný obrázek pro předchozí vrstvu.



Obr. 2 Nehomogenní vrstva v konstrukci šikmá střecha

Ekvivalentní součinitel tepelné vodivosti vrstvy minerální izolace s procházejícími trámy se spočítá ze vztahu

$$\begin{aligned} \lambda_{ekv, izolace+krokve} &= \frac{\lambda_{izolace} A_{izolace} + \lambda_{krokve} A_{krokve}}{A_{izolace} + A_{krokve}} \\ &= \frac{0,04 \cdot 2,9 \cdot 1 + 0,18 \cdot 0,1 \cdot 1}{2,9 \cdot 1 + 0,1 \cdot 1} = 0,045 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}, \end{aligned} \quad (5)$$

kde

$\lambda_{izolace}$ je součinitel tepelné vodivosti minerální izolace [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],

$A_{izolace}$ je plocha izolace ve zkoumaném úseku [m^2],

λ_{krokve} je součinitel tepelné vodivosti krokví [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],

A_{krokve} je plocha krokví ve zkoumaném úseku [m^2].

Ekvivalentní součinitel prostupu tepla pro tuto vrstvu se poté spočítá ze vztahu (1) jako

$$U_{ekv} = \frac{1}{0,1 + \frac{0,005}{0,21} + \frac{0,08}{0,036} + \frac{0,16}{0,045} + \frac{0,0004}{0,0077} + \frac{0,006}{0,22} + 0,04} = 0,167 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}, \quad (6)$$

Soupis materiálů a tloušťek jednotlivých vrstev je zapsaný v tabulce níže. Celkový součinitel prostupu tepla je $U = 0,167 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$, což vyhovuje požadované hodnotě $U_{N,20} = 0,24 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

Tab. 8 Materiály šikmé střechy

Materiál	Tloušťka s [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
Hydroizolační fólie	0,005	0,21
Tepelná izolace	0,08	0,036
Minerální izolace	0,16	0,04
Krokve	0,16	0,18
Parotěsná fólie	0,0004	0,0077
Sádkarton	0,006	0,22
Celkem	0,376	

Okna

Okna jsou plastová Vekra Prima s trojitým zasklením. Celkový součinitel prostupu tepla okny je $U = 0,92 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$, což vyhovuje požadované hodnotě v normě $U_{N,20} = 1,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

Dveře

Vchodové dveře jsou plastová Vekra Prima s trojitým zasklením. Celkový součinitel prostupu tepla dveřmi je $U = 1,1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$, což vyhovuje požadované hodnotě $U_{N,20} = 1,7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

2.1.2 Porovnání součinitelů prostupu tepla

V následující tabulce jsou porovnány hodnoty součinitelů prostupu tepla stavebními konstrukcemi domu s normovanými požadovanými hodnotami. Všechny hodnoty stavebních konstrukcí jsou menší než požadované hodnoty, tudíž stavba z hlediska tepelně technických vlastností vyhovuje normě.

Tab. 9 Porovnání součinitelů prostupu tepla s hodnotami z normy ČSN 73 0540-2

Konstrukce	Vypočtená hodnota U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	Popis konstrukce dle ČSN 73 0540-2	Požadovaná hodnota z normy $U_{N,20}$ [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
Vnější stěna	0,18	Stěna vnější	0,30
Vnitřní stěna	0,69	Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,7
Vnitřní stěna silnější	0,49	Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,6
Podlaha	0,24	Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45
Strop + podlaha	0,81	Strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,2
Strop + podlaha pod kotelnou	0,24	Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,6
Šikmá střecha	0,17	Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24
Okna	0,92	Výplň otvoru ve vnější stěně a střeše z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,5
Vchodové dveře	1,1	Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí včetně rámu	1,7

3. VĚTRÁNÍ V OBJEKTU

System větrání se obecně stará o přívod čerstvého vzduchu do větraného nebo klimatizovaného prostoru a zajišťuje odvod vzduchu znečištěného škodlivinami. Rozlišujeme přirozené a nucené větrání. Přirozené větrání využívá pouze přírodní tlakového rozdílu způsobeného rozdílnou hustotou vzduchu vně a uvnitř objektu. Zato u nuceného větrání je vzduch vždy poháněn nějakou mechanickou silou – nejčastěji ventilátory nebo ejektory. [1]

Dále rozlišujeme nucené větrání podle zajištěného rozdílu tlaků ve větraných prostorech na podtlakové, přetlakové a rovnotlaké. Podtlakové větrání znamená, že průtok přiváděného vzduchu je menší než průtok odváděného, což slouží k zamezení proudění znečištěného vzduchu do okolních prostor, ideální pro použití na toaletách nebo pracovištích se zdrojem škodlivin. U přetlakového větrání je naopak průtok přiváděného vzduchu větší než toho odváděného, což zabraňuje vnikání venkovního vzduchu z okolí do prostoru. Takový systém je žádoucí pro splnění podmínek v takzvaných čistých prostorech nebo na operačních sálech. Rovnotlaké větrání znamená, že průtoky přiváděného i odváděného vzduchu se rovnají, a tak nevzniká větráním žádný rozdíl tlaků vně a uvnitř větraného prostoru. [1]

V bytovém domě budu navrhovat na základě požadavků rovnotlaké nucené větrání, což znamená, že o přívod i odvod vzduchu se budou starat vzduchotechnické jednotky umístěné na půdě ve strojovně. Zvolím dvě vzduchotechnické jednotky – jednu pro celou levou část s menšími byty a jednu pro pravou část s většími byty. Větrací vzduch bude přiváděn do kuchyní a obytných prostor jako jsou obývací pokoje, ložnice a dětské pokoje. Vzduch bude odváděn z kuchyní, koupelen a toalet. Kuchyně, koupelna a toaleta musí být v mírném podtlaku vůči ostatním místnostem, aby došlo k výše zmíněnému podtlakovému větrání, což zabrání pronikání pachů do obytných místností z místností, kde pachy vznikají. Všechna okna uvažuji jako těsná bez infiltrace vzduchu zvenčí. [1]

Obě jednotky budou osazeny systémem zpětného získávání tepla, a to znamená, že výměník odebírá teplo ze vzduchu opouštějícího budovu a předává ho přiváděnému venkovnímu vzduchu. To vede ke snížení nákladů potřebných na ohřev vzduchu. [1]

3.1 Návrh vzduchotechnických jednotek

Požadavky na větrání obytných budov obsahuje norma ČSN EN 15 665/Z1. Přívod venkovního vzduchu se definuje intenzitou větrání, která definuje, kolikrát za hodinu se objem větraného prostoru vymění za čerstvý vzduch. Vzorec pro intenzitu větrání n [h^{-1}] převzatý z [1] je

$$n = \frac{\dot{V}_e}{V_i}, \quad (7)$$

kde

\dot{V}_e je objemový průtok čerstvého venkovního vzduchu [$m^3 \cdot h^{-1}$],

V_i je vnitřní objem místnosti [m^3].

Minimální hodnota intenzity větrání, značená v normě ČSN EN 15 665/Z1 jako n je rovna $0,3 h^{-1}$. Jako doporučenou hodnotu pro vyšší kvalitu vnitřního vzduchu norma doporučuje intenzitu větrání rovnu $0,5 h^{-1}$. Norma uvádí i dávku čerstvého vzduchu na osobu, a to $15 m^3 \cdot h^{-1} \cdot os^{-1}$. Avšak vždy musí být nejprve splněn požadavek na minimální intenzitu větrání. [2]

Pro menší bytovou jednotku v prvním podlaží jsou navrženy hodnoty větracího vzduchu v následující tabulce. Návrhové intenzity větrání pro obytné místnosti jsou vzaty z normy zmíněné výše jako $0,3 h^{-1}$. Intenzity větrání pro místnosti, kde dochází k odvodu vzduchu, jsou doporučené jako $1 h^{-1}$. Vzhledem k tomu, že je systém větrání rovnotlaký, musí se rovnat objemové průtoky přiváděného a odváděného vzduchu. Objemový průtok přiváděného nebo odváděného vzduchu se vyjádří z rovnice (7) jako součinitel intenzity větrání a objemu místnosti.

Tab. 10 Návrh objemových průtoků větracího vzduchu pro menší bytovou jednotku

Místnost	Intenzita větrání návrhová n_n [h^{-1}]	Objem místnosti V_i [m^3]	Množství vzduchu přiváděného \dot{V}_p [$m^3 \cdot h^{-1}$]	Množství vzduchu odváděného \dot{V}_o [$m^3 \cdot h^{-1}$]	Intenzita větrání reálná n_r [h^{-1}]
113 obývací pokoj	0,3	37,8	18		0,47
104 kuchyně	0,3	21,8	10		0,45
104 kuchyně		21,8		23	1
102 WC		3,7		10	2,7
103 koupelna		10,2		12	1,17
114 ložnice	0,3	35,2	17		0,48
celkem			45	45	

Aby došlo ke vhodné vzduchové bilanci, reálné intenzity větrání jsou vyšší než návrhové a to naopak zajišťuje kvalitnější výměnu vzduchu v bytech, což ocení právě jejich nájemníci. Jelikož jsou bytové jednotky v každém patře totožné a nájemní dům má 4 patra, je možné vynásobit množství přiváděného vzduchu čtyřikrát a získáme konečný návrhový objemový průtok vzduchu první vzduchotechnickou jednotkou v celkové výši $180 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ($0,05 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Pro



Obr. 3 Atrea Duplex Flexi-V [4]

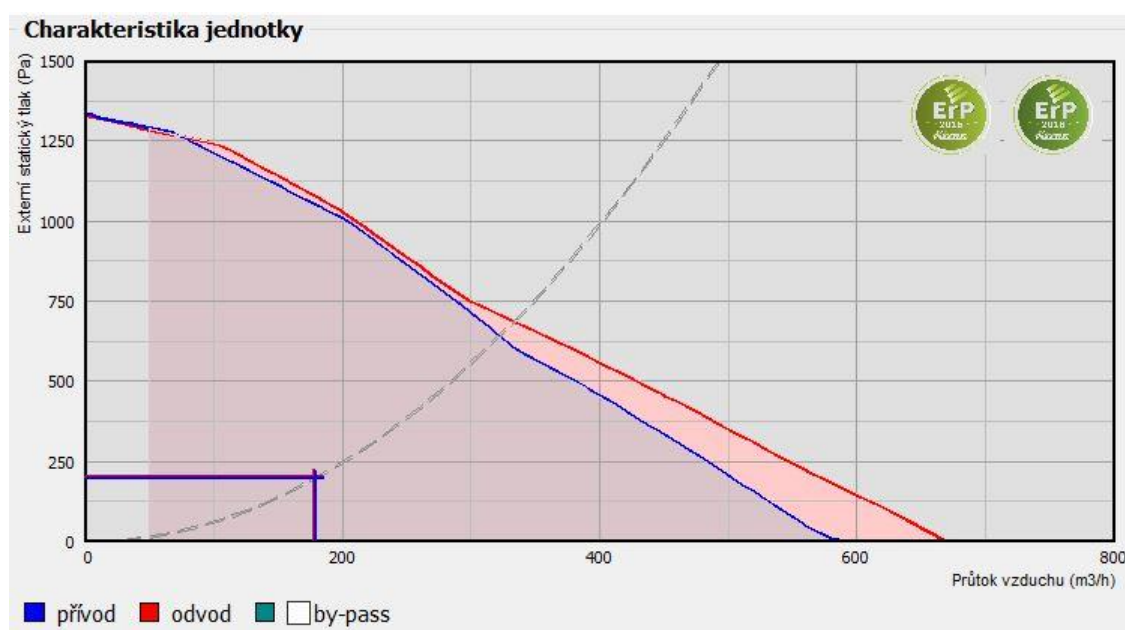
konfiguraci vzduchotechnické jednotky byl použit návrhový software od společnosti Atrea. Volím stojatou vzduchotechnickou jednotku Atrea Duplex 500 Flexi-V s maximálním průtokem vzduchu $630 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (při nulovém externím tlaku) vybavenou úspornými EC ventilátory s dozadu zahnutými lopatkami Me.106.EC1 (230 V, 50 Hz, příkon pro přívodní ventilátor 29 W a pro odvodní 24 W) a vířivým protiproudým rekuperačním výměníkem S3.B s celkovou účinností (teplotním faktorem) zpětného získávání tepla 93,3 % pro daný průtok vzduchu (tepelný zisk 2 kW, kondenzace vody $0,9 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$). Jednotka obsahuje filtr typu ePM1 55 % (F7) pro filtraci přívodního vzduchu a ePM10 50 % (M5) pro filtraci odvodního vzduchu. Jednotka obsahuje digitální regulaci RD5 s nástěnným digitálním ovladačem CP Touch, s řízením otáček obou ventilátorů, protimrazovou ochranou rekuperačního výměníku, funkcí nočního chlazení a vestavěným zdrojem 230 V. Jednotka je vybavena integrovaným elektrickým ohřivačem HE.2200 a přímým výparníkem CD.4 pro chlazení vzduchu. [4]

Pro tuto vzduchotechnickou jednotku vyšel průtok vzduchu nárazového větrání $392 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ($0,11 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Nastavení navýšeného průtoku vzduchu se poté řeší pomocí zvýšení otáček ventilátorů při používání WC a koupelny s dvouminutovým doběhem po opuštění místností. Kuchyně budou vybaveny cirkulačními digestořemi s filtrem pro odvod pachů při vaření.

Následuje tabulka se základními technickými daty od výrobce jednotky Atrea a pracovní bod vzduchotechnické jednotky z návrhového softwaru Atrea Duplex. [4]

ZÁKLADNÍ PARAMETRY		500	900	1800
DUPLEX Flexi-V				
přiváděný vzduch – max. ¹⁾	m ³ h ⁻¹	630	1 150	2 440
účinnost rekuperace ²⁾	%			viz graf
hmotnost ³⁾	kg	148	187	409
počet ventilátorů	-	2	2	2
napětí	V	230	230	230
frekvence	Hz	50	50	50
max. elektrický příkon	W	360	800	1 600
počet otáček	min ⁻¹	4 300	3 350	2 960
topný výkon E předehřev – max. ⁴⁾	kW	2,2	3,3	4,4
topný výkon E dohřev – max. ⁴⁾	kW	2,2	3,3	4,4
topný výkon HW – max. ⁴⁾	kW	4,5	11	18
chladicí výkon CD – max. ⁴⁾	kW	3	7	16
chladicí výkon CW – max. ⁴⁾	kW	2,5	6	15
třída filtrace	-	ePM1 55 % (F7) / ePM10 50 % (M5)	ePM1 55 % (F7) / ePM10 50 % (M5)	ePM1 55 % (F7) / ePM10 50 % (M5)

Obr. 4 Technická data VZT jednotek Atrea Duplex Flexi-V [4]



Obr. 5 Pracovní bod menší VZT jednotky [25]

Pro větší bytovou jednotku v prvním podlaží jsou navrženy hodnoty větracího vzduchu v následující tabulce identickým způsobem jako pro menší bytové jednotky výše.

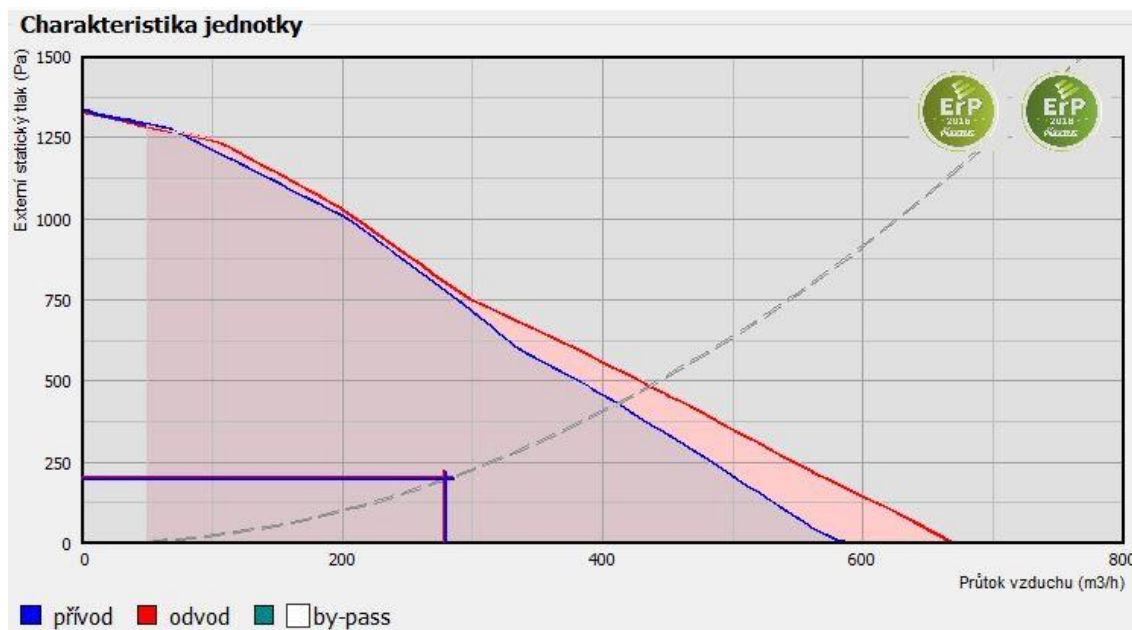
Tab. 11 Návrh objemových průtoků větracího vzduchu pro větší bytovou jednotku

Místnost	Intenzita větrání návrhová n_n [h^{-1}]	Objem místnosti V_i [m^3]	Množství vzduchu přiváděného \dot{V}_p [$m^3 \cdot h^{-1}$]	Množství vzduchu odváděného \dot{V}_o [$m^3 \cdot h^{-1}$]	Intenzita větrání reálná n_r [h^{-1}]
111 obývací pokoj	0,3	39,9	16		0,4
106 kuchyně	0,3	23,5	10		0,42
106 kuchyně		23,5		39	1,65
107 WC		3,7		11	3
108 koupelna		10,2		20	1,9
112 ložnice	0,3	37,8	15		0,4
105 dětský pokoj	0,3	41,3	16		0,39
110 dětský pokoj	0,3	34,7	13		0,38
celkem			70	70	

Protože jsou bytové jednotky v každém patře totožné a nájemní dům má 4 patra, je možné opět vynásobit množství přiváděného vzduchu čtyřikrát a získáme konečný návrhový objemový průtok vzduchu druhou vzduchotechnickou jednotkou v celkové výši $280 m^3 \cdot h^{-1}$ ($0,078 m^3 \cdot s^{-1}$). Druhou vzduchotechnickou jednotku volím stejně jako v prvním případě Atrea Duplex 500 Flexi-V osazenou EC ventilátory Me.106.EC1 (230 V, 50 Hz, příkon pro přívodní 53 W a pro odvodní 41 W) a vířivým protiproudým rekuperačním výměníkem S3.B s účinností ZZT 91 % pro návrhový průtok vzduchu (tepelný zisk 3,1 kW, kondenzace vody $1,4 l \cdot h^{-1}$). Jednotka obsahuje stejné typy filtrů – tedy filtr typu ePM1 55 % (F7) pro filtraci přívodního vzduchu a ePM10 50 % (M5) pro filtraci odvodního vzduchu. I způsob regulace a obsažený elektrický ohřívač i přímý výparník jsou totožné jako v první vzduchotechnické jednotce. [4]

Pro tuto vzduchotechnickou jednotku vyšel průtok vzduchu nárazového větrání $456 m^3 \cdot h^{-1}$ ($0,13 m^3 \cdot s^{-1}$). Nastavení průtoku vzduchu se poté řeší pomocí zvýšení otáček ventilátorů při používání WC a koupelny s dvouminutovým doběhem po opuštění místností. Kuchyně budou i zde vybaveny cirkulačními digestoři s filtrem pro odvod pachů při vaření.

Pracovní bod druhé vzduchotechnické jednotky je na následujícím obrázku.



Obr. 6 Pracovní bod větší VZT jednotky [25]

3.2 Tepelná ztráta větráním a dimenzování ohřivačů

Tepelné ztráty objektu se dělí na tepelné ztráty prostupem tepla stavební konstrukcí a na tepelné ztráty větráním. Při osazení vzduchotechnických jednotek ohřivači tepla a předehřátí vzduchu na vnitřní výpočtovou teplotu místností tepelnou ztrátu větráním plně pokryjí samotné vzduchotechnické jednotky. Zmenší se tak celkové tepelné ztráty objektu, a tudíž se zmenší i reálný tepelný výkon otopné soustavy, který je potřebný k pokrytí tepelných ztrát, protože ten se poté navrhuje pouze na hrazení tepelné ztráty prostupem. Tepelné ztráty prostupem jsou vypočteny v kapitole 4.

Návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru $\Phi_{V,i}$ se obecně stanoví ze vztahu

$$\Phi_{V,i} = \rho \cdot c_p \cdot q_{v,min,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e), \quad (8)$$

kde

ρ je hustota vzduchu při vnitřní výpočtové teplotě zde rovna $1,2 \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-3}\text{]}$,

c_p je měrná tepelná kapacita vzduchu při vnitřní výpočtové teplotě zde rovna $0,28 \text{ [Wh} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}\text{]}$,

$q_{v,min,i}$ je minimální objemový průtok vzduchu místností (i) $[\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}\text{]}$,

$\theta_{int,i}$ je vnitřní výpočtová teplota neboli teplota přiváděného vzduchu rovna $20 \text{ [}^\circ\text{C]}$,

θ_e je venkovní výpočtová teplota, při návrhu větrání se používá hodnota snižená o 3 °C, v tomto případě -15 [°C].

Při uvažování zpětného získávání tepla jako v tomto projektu je vzorec pozměněn na

$$\Phi_{V,i} = \rho \cdot c_p \cdot q_{v,min,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_{rec,z}), \quad (9)$$

kde

$\theta_{rec,z}$ je teplota objemového průtoku vzduchu přiváděného do zóny (z) po tom, co projde zpětným získáváním tepla a pasivním předehevem (pokud je instalován) [°C].

Teplota vzduchu po předehřátí ve výměníku zpětného získávání tepla se vypočte dle rovnice

$$\theta_{rec,z} = \theta_e + \eta_{rec,z} \cdot (\theta_{exh,z} - \theta_e), \quad (10)$$

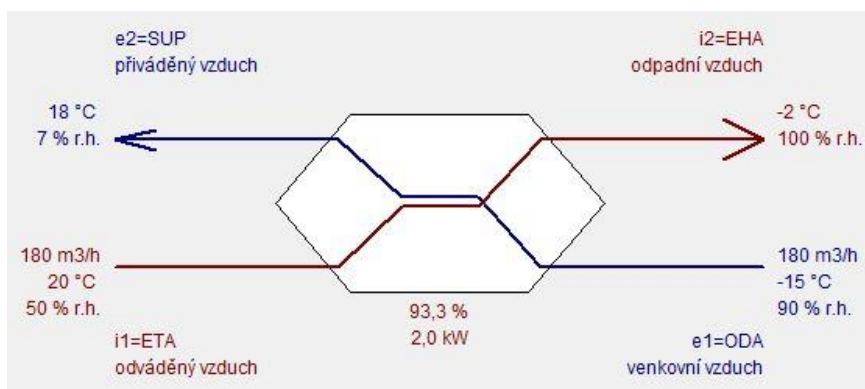
kde

$\eta_{rec,z}$ je účinnost zpětného získávání tepla větracího systému příslušejícího zóně (z) za venkovních návrhových podmínek [-],

$\theta_{exh,z}$ je teplota objemového průtoku vzduchu odváděného ze zóny (z) [°C].

Pro menší vzduchotechnickou jednotku je výpočet s dosazením teplot

$$\theta_{rec,z} = \theta_e + \eta_{rec,z} \cdot (\theta_{exh,z} - \theta_e) = -15 + 0,933 \cdot (20 - (-15)) = 17,6 \text{ °C}. \quad (11)$$



Obr. 7 Schéma rekuperačního výměníku menší VZT jednotky [25]

Pro větší vzduchotechnickou jednotku s účinností ZZT $\eta_{rec,z} = 0,91$ je hodnota teploty vzduchu po předehřátí ve výměníku ZZT rovna $\theta_{rec,z} = 16,9 \text{ °C}$.

Minimální objemový průtok vzduchu místnosti $q_{v,min,i}$ se zjistí ze vztahu

$$q_{v,min,i} = n_{min,i} \cdot V_i, \quad (12)$$

kde

$n_{min,i}$ je minimální intenzita větrání místnosti (i) [h^{-1}],

V_i je vnitřní objem místnosti (i) [m^3].

Protože již znám přesné hodnoty průtoku vzduchu jednotkami z předcházející kapitoly, budu počítat s nimi. V následující tabulce je přehled vypočtených hodnot teplot vzduchu po přehřátí výměníkem ZZT a celková tepelná ztráta větráním.

Tab. 12 Výsledky výpočtů tepelných ztrát větráním

	Objemový průtok vzduchu $q_{v,min,i} =$ \dot{V} [$m^3 \cdot h^{-1}$]	Účinnost ZZT $\eta_{rec,z}$ [-]	Teplota vzduchu po projití ZZT $\theta_{rec,z}$ [$^{\circ}C$]	Tepelná ztráta větráním $\Phi_{V,i}$ [W]
Menší VZT jednotka	180	0,933	17,6	145
Větší VZT jednotka	280	0,91	16,9	290

Výkon jednotlivých ohřivačů u obou vzduchotechnických jednotek poté musí pokrývat tepelnou ztrátu větráním. Pro menší VZT jednotku bude vzduch dohříván, jak již bylo zmíněno, v integrovaném elektrickém ohřivači HE.2200 o výkonu 0,145 kW (maximální topný výkon je 2,2 kW). Větší VZT jednotka obsahuje stejný vestavěný elektrický ohřivač o pracovním výkonu 0,29 kW.

3.3 Dimenzování chladičů

Obě vzduchotechnické jednotky jsou osazeny přímými výparníky z toho důvodu, protože je potřeba zajistit tepelný komfort nejen v zimě, ale i v létě. Jelikož se jedná o bytový dům, centrální klimatizace nepřichází v úvahu z hlediska vysoké ceny i jiné preference teplot různými uživateli jednotlivých bytů. Proto by se poté požadavek na klimatizaci řešil individuálně.

Chladiče budou pouze centrálně chladit horký letní venkovní vzduch, který nejdříve projde výměníkem zpětného získávání tepla (v létě se používá spíše přesnější označení „zpětné získávání chladu“), kdy se vzduch mírně ochladí, a poté se dochladi prouděním přes přímý výparník na teplotu přiváděného vzduchu tak, aby vzduch v interiérech měl teplotu 26 °C.

V chladičích ve vzduchotechnických jednotkách probíhá tzv. mokré chlazení, kdy je střední povrchová teplota chladiče neboli vypařovací teplota v případě použití přímého výparníku nižší než teplota rosného bodu upravovaného vzduchu. Při chlazení poté dochází ke kondenzaci (kondenzát je potřeba odvádět) a snižuje se jak teplota vzduchu, tak měrná vlhkost, naopak roste relativní vlhkost. Výkon chladiče se vypočítá jako součet citelného (změna teploty vzduchu) a vázaného tepla (změna měrné vlhkosti vzduchu), který chladič musí předat vzduchu, aby se požadovaně ochladil, podle následujícího vzorce

$$\begin{aligned} Q_{ch} &= Q_{cit,ch} + Q_{váz,ch} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c \cdot (\theta_e - \theta_p) + \dot{V} \cdot \rho \cdot l \cdot (x_e - x_p) \\ &= \dot{V} \cdot \rho \cdot (h_e - h_p), \end{aligned} \quad (13)$$

kde

l je výparné teplo [$kJ \cdot kg^{-1}$],

x_e je měrná vlhkost venkovního vzduchu [$g \cdot kg^{-1}$ s. v.],

x_p je měrná vlhkost přiváděného vzduchu [$g \cdot kg^{-1}$ s. v.],

h_e je entalpie venkovního vzduchu nebo vzduchu po průchodu výměníkem zpětného získávání tepla (pokud je v létě zapojen), zde rovna 51 [$kJ \cdot kg^{-1}$],

h_p je entalpie přiváděného vzduchu rovna 41 [$kJ \cdot kg^{-1}$]. [3]

Tab. 13 Potřebné výkony chladičů ve vzduchotechnických jednotkách

	Objemový průtok vzduchu \dot{V} [$m^3 \cdot h^{-1}$]	Účinnost ZZT $\eta_{rec,z}$ [-]	Tepelný výkon chladiče Q_{ch} [W]
Menší VZT jednotka	180	0,933	600
Větší VZT jednotka	280	0,91	930

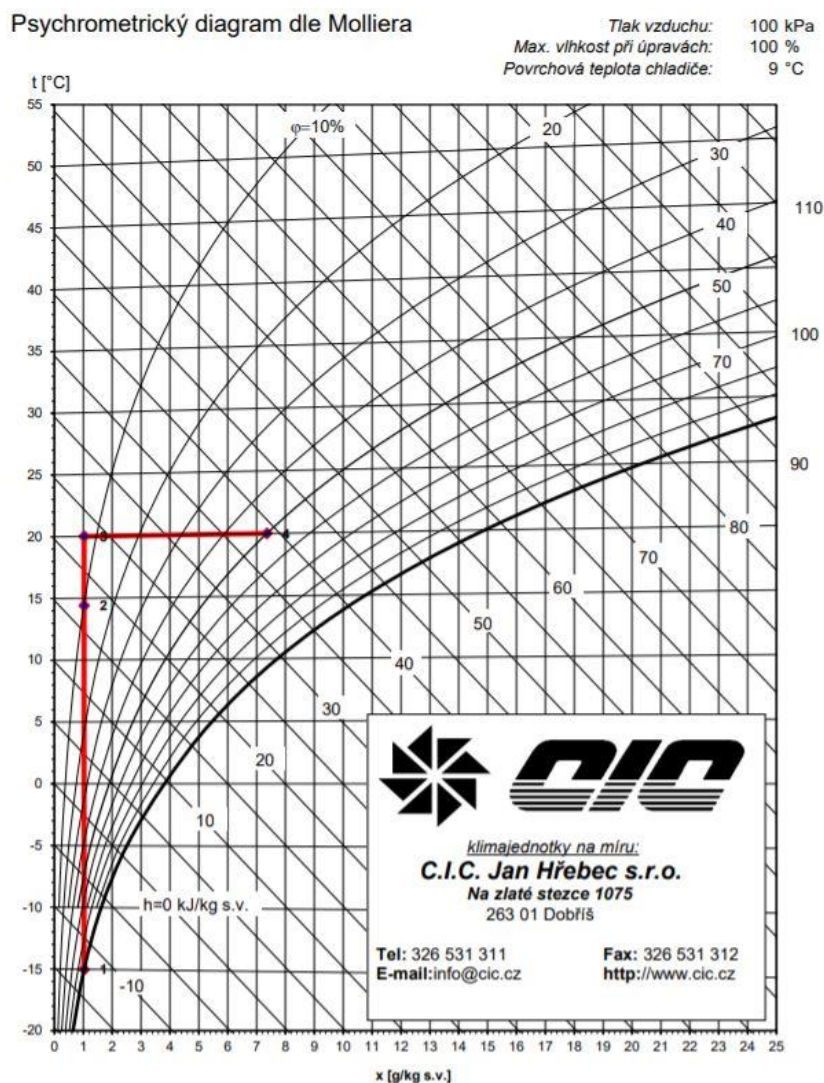
V obou jednotkách je, jak již bylo zmíněno v kapitole 3.1, integrovaný přímý výparník CD.4 s chladivem R410A a vypařovací teplotou pro daný případ 10 °C. Hodnoty výkonů chladičů lze vypočítat, ale já ho i po zadání požadovaných hodnot vyčetl ve specifikaci vzduchotechnických jednotek v návrhovém softwaru Atrea. Pro menší jednotku požadují chladičí výkon 600 W a pro větší 930 W. Objem výměníku u obou chladičů je 0,6 l.

3.4 Popis stavů vnitřního vzduchu

3.4.1 Zima

V zimě dochází k nasávání vzduchotechnickou jednotkou venkovního studeného vzduchu o teplotě $\theta_e = -15\text{ }^\circ\text{C}$ a relativní vlhkosti $\varphi_e = 100\%$. Díky zpětnému získávání tepla se vzduch předehřívá v obou jednotkách průchodem ve výměníku ZZT. Následuje ohřev vzduchu elektrickými ohřivači na požadovanou vnitřní teplotu. Vnitřní teplota vzduchu je $\theta_i = 20\text{ }^\circ\text{C}$. Relativní vlhkost vnitřního vzduchu je $\varphi_i = 50\%$.

Následuje h-x diagram pro zimní provoz. Venkovní vzduch je označen bodem „1“, následuje ohřátí vzduchu po průchodu výměníkem zpětného získávání tepla do bodu „2“ a poté ohřivačem do bodu „3“, což je stav přiváděného vzduchu. Z bodu „3“ do bodu „4“ následuje úprava vzduchu v místnosti.

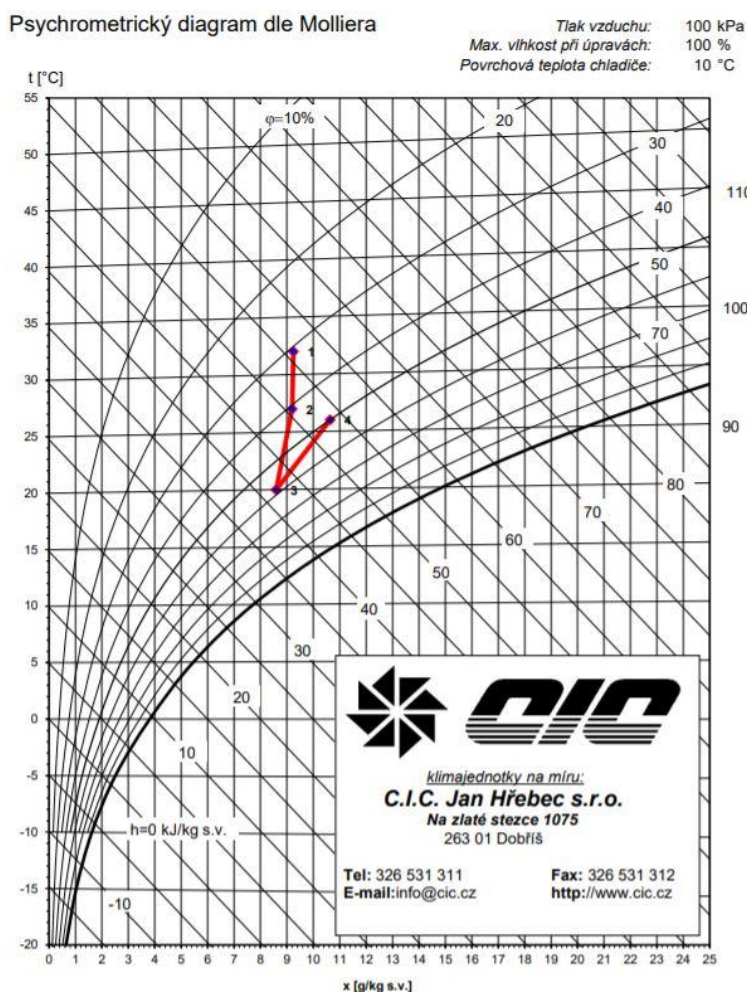


Obr. 8 Mollierův h-x diagram – zimní provoz [52]

3.4.2 Léto

V létě dochází k nasávání vzduchotechnickou jednotkou venkovního vzduchu o teplotě $\theta_e = 32\text{ }^\circ\text{C}$ a entalpii $h_e = 56\text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Následuje průchod vzduchu výměníkem zpětného získávání tepla, kdy dochází k tzv. suchému chlazení bez přenosu vlhkosti. Poté následuje chlazení vzduchu v jednotce na teplotu přiváděného vzduchu $\theta_p = 20\text{ }^\circ\text{C}$ tak, aby docházelo k odvedení tepelné zátěže z vnitřních prostor a zabezpečení vnitřní teploty, na kterou je požadavek $\theta_i = 26\text{ }^\circ\text{C}$. Relativní vlhkost vnitřního vzduchu je $\varphi_i = 50\text{ }%$.

Následuje h-x diagram pro letní provoz. Nasává se teplý venkovní vzduch, označený bodem „1“, který se chladí od bodu „1“ po přímce konstantní měrné vlhkosti do bodu „2“. Následuje mokré chlazení od bodu „2“ po přímce, jejíž koncový bod je dán vypařovací teplotou $t_{vyp} = 10\text{ }^\circ\text{C}$, do bodu „3“ označující stav přiváděného vzduchu. Proces mezi bodem „3“ a „4“ udává úpravu stavu vzduchu v místnosti.



Obr. 9 Mollierův h-x diagram – letní provoz [52]

3.5 Návrh potrubní sítě

Potrubní síť vzduchotechniky pro přívod i odvod vzduchu bude tvořena pozinkovaným kruhovým SPIRO potrubím Lindab Safe s třídou těsnosti D (nejvyšší možná třída těsnosti vzduchotechnického potrubí). Tento typ potrubí má oproti běžným SPIRO potrubím na koncích dvoubřítá pryžová těsnění, která zajišťují onen vysoký stupeň těsnosti. Spojování potrubí je realizováno standardně samořeznými šrouby (texy). Rozměrová řada průměrů SPIRO potrubí je 80, 100, 125, 150, 160, 180, 200, 225, 250, 280, ...

Pro správné dimenzování je nejdříve potřeba zvolit rychlost proudění vzduchu ve vzduchovodech tak, aby nedocházelo k nežádoucím akustickým projevům v bytových jednotkách. Z tabulky dostupné v [5] můžeme vzít hodnoty rychlostí proudění vzduchu v bytech z intervalu $3 - 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Samotné limity rychlostí jsou poté závislé jak na typu budovy, tak i na tom, zda je potrubí v horizontální nebo vertikální pozici či se jedná o přívod, nebo odvod.

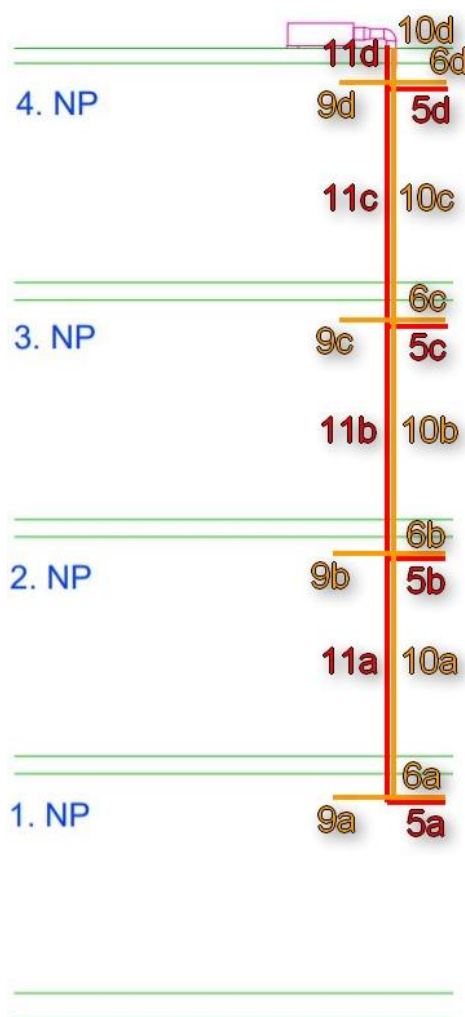
Tab. 14 Doporučené rychlosti proudění ve vzduchovodech [5]

Rychlost proudění vzduchu w [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]			
<i>Druh budovy</i>	<i>obytná</i>	<i>veřejná</i>	<i>průmyslová</i>
Potrubí			
Za ventilátorem	5–8,5	7,5–11	10–14
Hlavní stoupačky	4–6	5–8	6–11
Odbočky rozvodu v podlaží	3–5	3–6,5	4–9
Odvod vzduchu	3,5–4,5	4–5,5	5–9
Elementy			
Venkovní žaluzie sání	2,5–4	2,5–4,5	3–5
Odvodní výústky	do 2	do 2,5	do 3

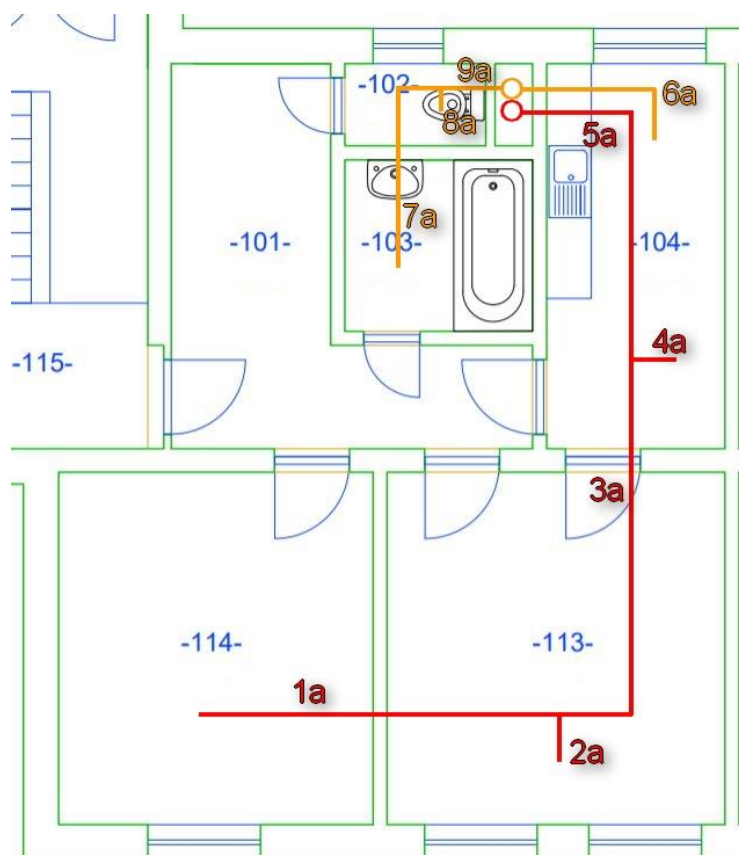
V hlavních vertikálních potrubích je tedy pro obytné budovy povolena rychlost vzduchu $4 - 6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Pro rychlosti vzduchu v rozvodech v podlaží platí již zmíněný interval $3 - 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Další podmínka při návrhu vzduchovodů je, že rychlost proudění vzduchu potrubím směrem od ventilátoru klesá.

3.5.1 Potrubní síť pro menší vzduchotechnickou jednotku

Jednotlivé úseky jsou schematicky zobrazeny na následujících obrázcích. Úseky vzduchovodů v každém podlaží jsou shodné, proto jsou značeny stejným číslem. Pouze písmeno se u značení mění, protože to označuje patro („a“ je vztaženo k 1. NP, „b“ je vztaženo k 2. NP, „c“ je vztaženo k 3. NP a konečně „d“ je vztaženo k 4. NP). Přívodní potrubí je zde značeno červenou barvou a odvodní je značeno barvou oranžovou. Kompletní výkresová dokumentace větrání je součástí diplomové práce.



Obr. 10 Vzduchovody do menších bytů vedené řezem budovy – schéma



Obr. 11 Přívodní a odvodní VZT potrubí v 1. NP – menší byt

Pro každý úsek se určí průměr potrubí z návrhové rychlosti proudění vzduchu z následujícího vzorce pro průřez potrubí, zde již ukázkově dosazeny hodnoty pro úsek 11d.

$$S = \frac{\dot{V}}{w} = \frac{0,05}{5} = 0,01 \text{ m}^2 \quad (14)$$

kde

\dot{V} je objemový průtok přívodního vzduchu [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],

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

Ze spočteného průřezu potrubí se poté lehce ze známého vzorce pro výpočet obsahu kruhu spočte průměr potrubí. Opět pro ukázkou dosazeny hodnoty pro úsek 11d.

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \rightarrow d = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,01}{\pi}} = 0,113 \text{ m}$$

Pro přívod vzduchu od VZT jednotky k první odbočce tedy volím potrubí o průměru 125 mm. Takto se postupuje pro každý úsek potrubí v soustavě.

Dále se pro každý úsek určí skutečná rychlost proudění (vyjádřená ze vzorce (14)) v závislosti na vybraném normovaném rozměru SPIRO potrubí a průtoku vzduchu. Poté vypočítám tlakové ztráty v potrubí. Pro výpočet tlakové ztráty je důležité nejprve zjistit tlakový spád R [$Pa \cdot m^{-1}$], pro který použiji vzorec

$$R = \frac{\lambda w^2 \rho}{2d} = \frac{0,0812}{Re^{0,125} d^{0,11}} \frac{w^2 \rho}{2d} = \frac{0,0812}{\left(\frac{wd}{\nu}\right)^{0,125} d^{0,11}} \frac{w^2 \rho}{2d} = 0,01218 w^{1,875} d^{-1,235}, \quad (15)$$

kde

d je vnitřní průměr potrubí neboli charakteristický rozměr [m],

w je skutečná rychlost proudění vzduchu [$m \cdot s^{-1}$],

ρ je hustota vzduchu rovna $1,2$ [$kg \cdot m^{-3}$],

$Re = \frac{wd}{\nu}$ je Reynoldsovo číslo [–],

$\lambda = \frac{0,0812}{Re^{0,125} d^{0,11}}$ je součinitel třecích ztrát pro turbulentní proudění vzduchu v pozinkovaném potrubí [–],

$\nu = 1,53 \cdot 10^{-5} m^2 \cdot s^{-1}$ je kinematická viskozita vzduchu. [6]

Obecně lze říct, že při proudění vzduchu ve vzduchovodech zajišťujících větrání dochází k turbulentnímu proudění. Reynoldsova čísla se v mém případě pohybují v řádech desetitisíců, tudíž i zde jsou jednotlivá Reynoldsova čísla úseků potrubí mnohem větší, než obecně známá hranice pro Reynoldsovo číslo laminárního proudění 2300 a i větší než hranice pro přechodové proudění, která se pohybuje někde kolem 4000. [1]

Tlaková ztráta třením vyjadřující úbytek tlaku při proudění kvůli odporu potrubí je poté dána vzorcem

$$\Delta p_{zt} = R \cdot l, \quad (16)$$

kde

l je délka úseku potrubí [m]. [1] [6]

Místní tlaková ztráta vyjadřující úbytek tlaku při průtoku vzduchu nepřímými částmi potrubí (kolena, odbočky, aj.) nebo částmi narušujícími proudění (klapky, regulátory, aj.) je dána jako

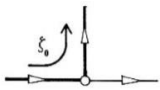
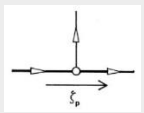
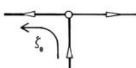
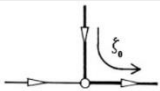
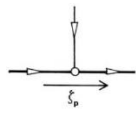
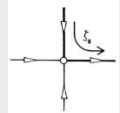
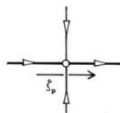
$$\Delta p_{zm} = \sum \xi \rho \frac{w^2}{2}, \quad (17)$$

kde

ξ je součinitel místního odporu [–]. [1] [6]

Jednotlivé součinitele místního (vřazeného) odporu závisí na geometrii jednotlivých částí potrubí (tzv. tvarovek) a bývají určovány experimentálně, tudíž hodnoty se mohou lišit. Já beru v úvahu hodnoty z následující tabulky.

Tab. 15 Součinitele místních odporů – hodnoty z [7] a [8] (obrázky z [9])

Tvarovka	Součinitel místního odporu ξ [–]
Koleno 90°	1,2
Rozšíření potrubí	0,4
Zúžení potrubí	0,2
Dělení proudu vzduchu – odbočka 	1,5
Dělení proudu vzduchu – rovně 	0,2
Dělení proudu vzduchu – odbočka opačné proudy 	2
Sbíhání 2 proudů vzduchu – odbočka 	2,2
Sbíhání 2 proudů vzduchu – rovně 	0,5
Sbíhání 3 proudů vzduchu – odbočka 	2,7
Sbíhání 3 proudů vzduchu – rovně 	1

Celková tlaková ztráta je poté rovna součtu tlakové ztráty třením, tlakové ztráty místními odpory a tlakovou ztrátou anemostatu

$$\Delta p_z = \Delta p_{zt} + \Delta p_{zm} + \Delta p_{vy}. \quad (18)$$

Tlaková ztráta anemostatu je určena přímo dle použitých typů anemostatů – vyústek. Vyústky aplikované v mém projektu jsou zobrazené v kapitole 3.6 této práce. Příloha 2 obsahuje výsledné vypočtené hodnoty tlakových ztrát jednotlivých úseků přírodních vzduchovodů.

Určíme si hlavní větev soustavy, tedy součet úseků potrubí s největší tlakovou ztrátou. Často je to úsek potrubí od ventilátoru k nejbližšímu anemostatu, v tomto případě je to větev směřující do 1. patra do obývacího pokoje m. č. 113 (úsek 11d-2a označen v tabulce Přílohy 2 červeně). Tlaková ztráta hlavní větve udává celkový dopravní tlak ventilátoru, který musí ventilátor zabezpečit. Ostatní (vedlejší) větve se poté regulují podle hlavní větve buď úpravou průřezu potrubí vedlejší větve nebo vřazenými odpory. Zaregulování větví není třeba, pokud rozdíl tlakové ztráty hlavní větve a vedlejší větve je do 10 %. [1]

Regulace průtoku vzduchu v potrubí menší vzduchotechnické jednotky je řešena v kapitole 3.7.

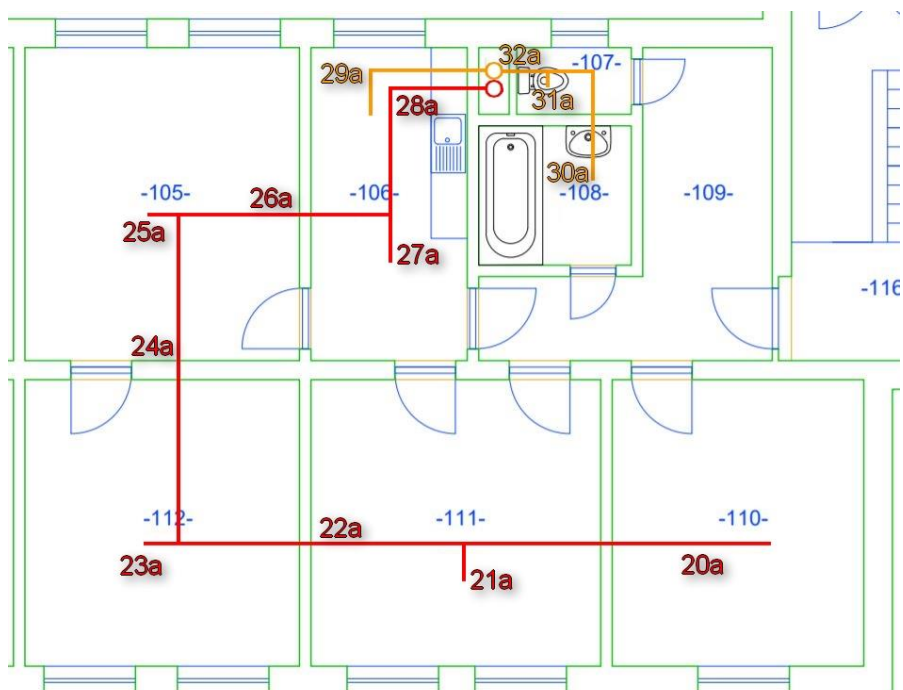
U odtažové potrubní sítě je postup návrhu stejný. Hlavní větev je zde opět nejdelší větev a jedná se o úsek z koupelny m. č. 103 k ventilátoru (úsek 7a-10d v tabulce Příloha 3 označen červeně). Všechna odvodní potrubí z WC, z kuchyně a z koupelny budou před vyústěním do hlavní stoupačky opatřena těsnou zpětnou klapkou Soler & Palau RSKT 80, aby nedocházelo k pronikání pachů do protilehlých potrubí nebo zpět.



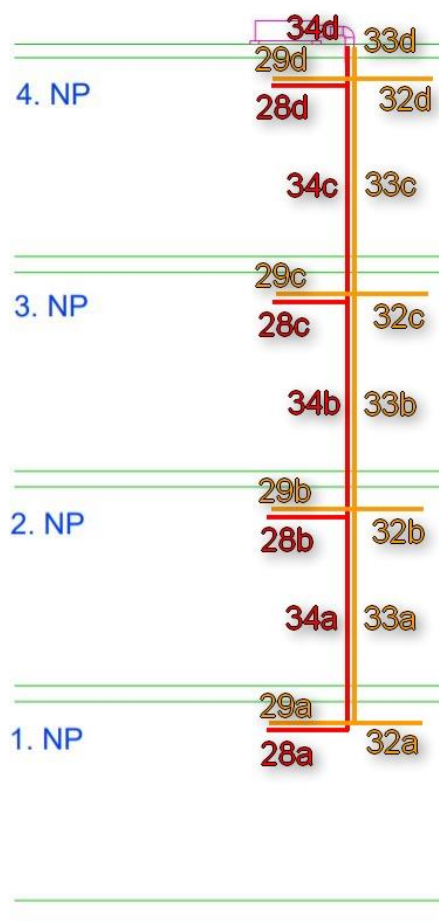
Obr. 12 Těsná zpětná klapka Soler & Palau RSKT 80 [16]

3.5.2 Potrubní síť pro větší vzduchotechnickou jednotku

Pro druhou vzduchotechnickou jednotku platí naprosto totožný postup. Následují obrázky s předběžným dispozičním návrhem vzduchovodů jak ve větším bytě v 1. NP, tak řezem budovy.



Obr. 13 Přívodní a odvodní VZT potrubí v 1. NP – větší byt

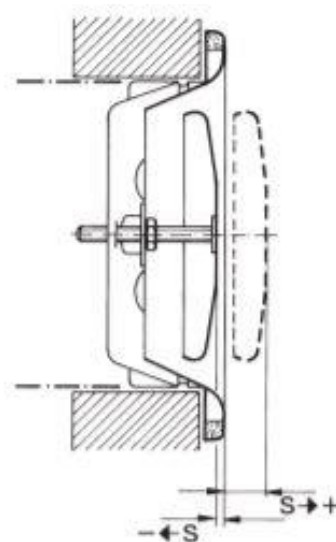


Obr. 14 Vzduchovody vedené do větších bytů řezem budovy – schéma

V tabulkách Příloh 4 a 5 jsou tabulky shrnující, stejně jako v případě pro menší vzduchotechnickou jednotku, výsledky výpočtů vzduchovodů pro přívodní i odvodní potrubí. Všechna odvodní potrubí budou také osazena těsnou zpětnou klapkou zabráňující vracení pachů do bytů.

3.6 Návrh vyústek

Při větrání bytových místností bude docházet k mísení vzduchu, což je zástupce základních principů rozptýlení vzduchu v místnostech. Přívod i odvod vzduchu bude realizován pomocí kruhových talířových ventilů vhodných pro přívod a odvod malých objemových průtoků vzduchu. Ventil je tvořen vstupním kuzelem a nastavitelným středovým diskem, který zabezpečuje regulaci požadovaného průtoku vzduchu vysunutím/zasunutím při montáži do požadované polohy $\pm s$ [mm] podle projektu viz obrázek 15. K zabránění případnému vychylování polohy disku (například vlivem proudu vzduchu) jsou talířové ventily zajištěny kontramatkami. [10]



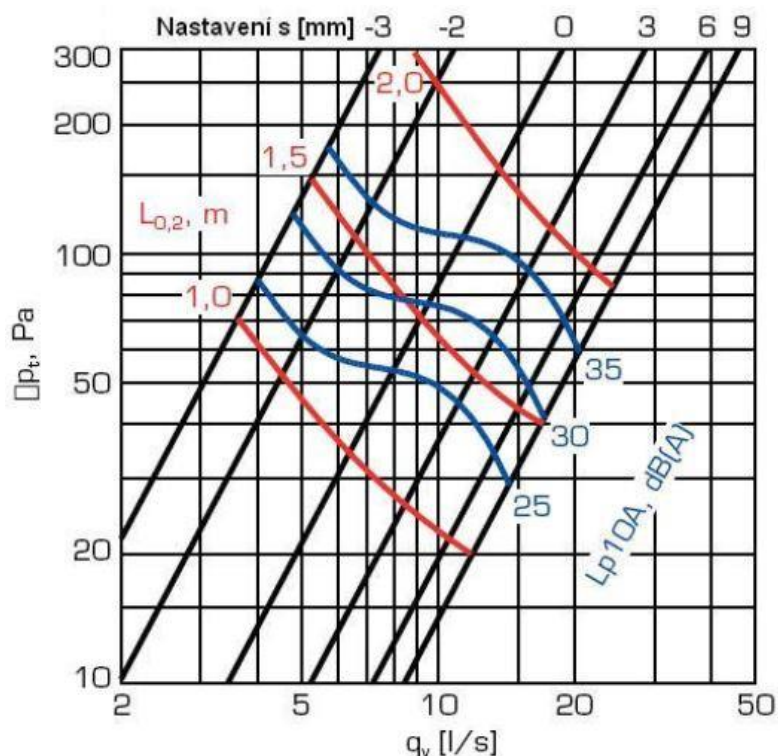
Obr. 15 Polohování talířového ventilu [17]

3.6.1 Přívodní vyústky

Pro všechny místnosti vybírám kovový přívodní talířový ventil KE 80 od výrobce Soler & Palau. Průměr přívodního potrubí je 80 mm. Tlakovou ztrátu talířového ventilu, samotné nastavení průtoku vzduchu pootočením nebo hladinu akustického tlaku můžu odečíst z následujícího grafu od výrobce. Například pro průtok $17 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ($4,8 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$) je tlaková ztráta 18 Pa a nastavení polohy 0 mm. Nastavení ventilů a tlakové ztráty všech přívodních vyústek jsou k dispozici v tabulce Přílohy 6. Proudění vzduchu nastaveným talířovým ventilem by nemělo překročit hladinu akustického tlaku 30 dB(A).



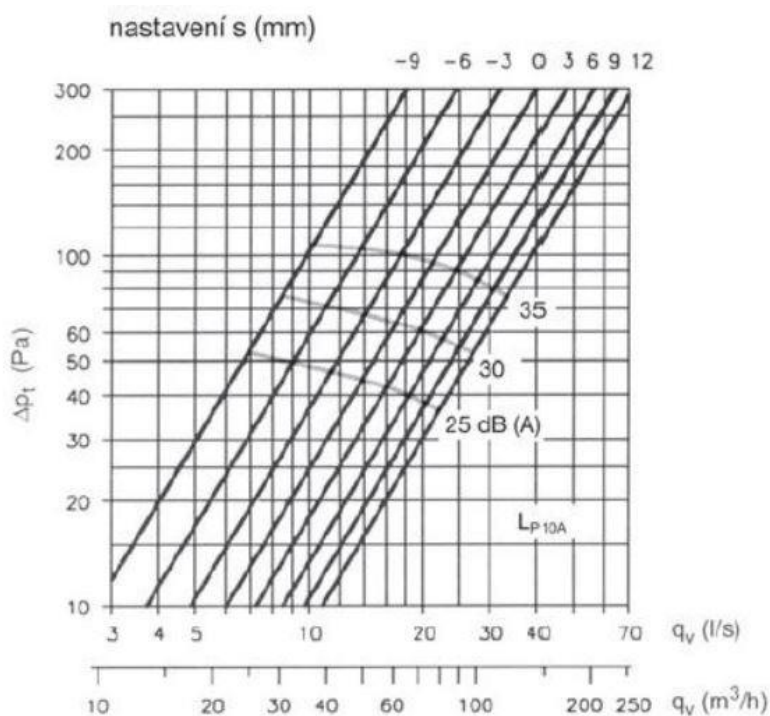
Obr. 16 Soler&Palau KE 80 [11]



Obr. 17 Graf nastavení a tlakové ztráty talířového ventilu [11]

3.6.2 Odvodní vyústky

Odvodní talířové ventily jsou taktéž od firmy Soler & Palau, tentokrát model KK 80 (případně KK 100 v kuchyních všech větších bytů). Jedná se o kovový talířový odtahový ventil z ocelového plechu. Nastavení požadovaného průtoku se opět provede otočením regulačního kuželu stejně jako u přívodních talířových ventilů. Následuje diagram závislosti tlakové ztráty a průtoku vzduchu talířovým ventilem. Tabulka nastavení vyústek v jednotlivých místnostech je součástí Přílohy 7.



Obr. 18 Graf nastavení a tlakové ztráty talířového ventilu [13]

3.7 Regulace vzduchotechniky

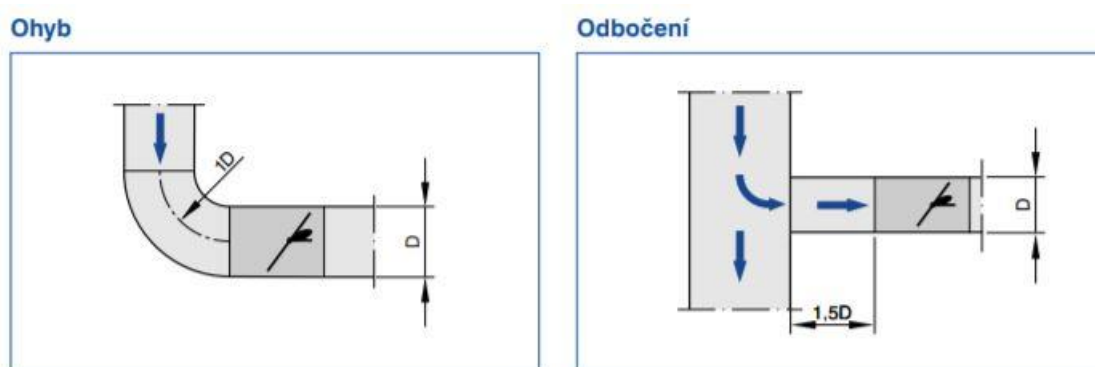
3.7.1 Regulace potrubní sítě pro menší vzduchotechnickou jednotku

V každé bytové jednotce bude po odbočce ze stoupačky na přívodu umístěn regulátor konstantního průtoku vzduchu, aby byl zajištěn projektovaný přiváděný objemový tok vzduchu, a tudíž i následný komfort nájemníků.

Volím CAV regulátor VFC od výrobce Trox. Tento typ regulátoru je vhodný pro průtoky vzduchu s malou rychlostí proudění. Požadovaný průtok $45 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ se nastaví otočným knoflíkem na vnější stupnici, který sklápí list klapky. Nastavení proběhne podle diagramu nalepeném na plášti regulátoru. Jelikož odbočky v potrubí způsobují turbulence vzduchu a odchýlení proudu, je potřeba instalovat regulátor nejméně 1,5násobek průměru potrubí od odbočky, kdy proud vzduchu již není ovlivněn vychýlením a regulátor bude regulovat průtok vzduchu stabilně. V tomto případě, kdy je regulátor osazen do potrubí o průměru 100 mm, musí být vzdálenost od odbočky nejméně 150 mm. Umístění regulátoru ihned za ohybem s poloměrem nejméně 1násobek průměru potrubí nezpůsobuje žádné nepřesnosti v regulaci. Oba případy instalace jsou zobrazeny i na obr. 20. [15]



Obr. 19 CAV regulátor Trolox VFC [15]



Obr. 20 Zvláštní případy instalace regulátoru Trolox VFC za tvarovkami potrubí [15]

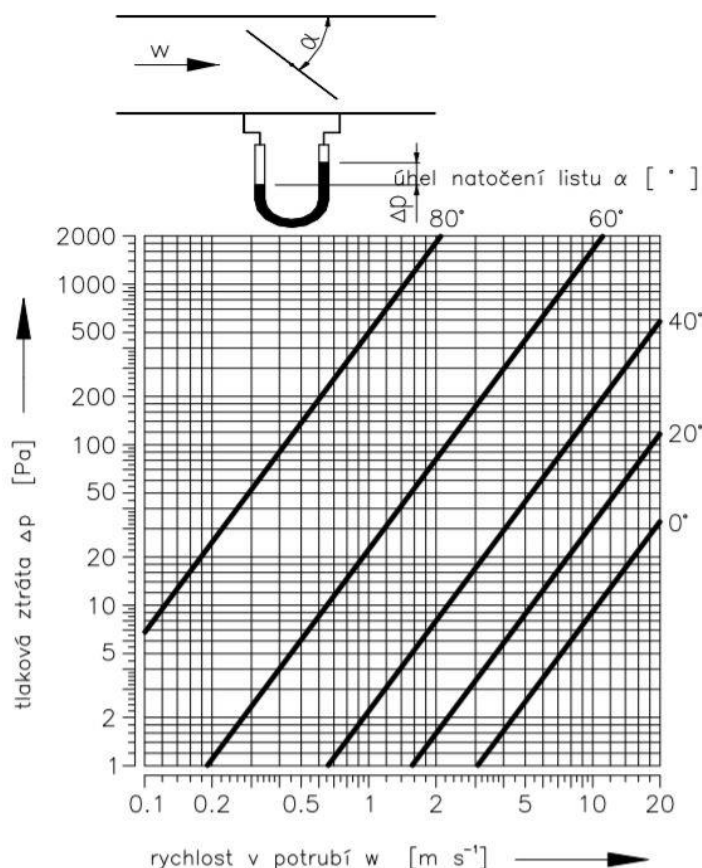
Regulátory průtoků odvodního vzduchu není třeba osazovat, jejich funkci zajišťují přímo odvodní talířové ventily, jejichž nastavení je k dispozici v předchozí kapitole 3.6.

Na některých větvích je i nadále rozdíl tlakových ztrát větší než 10 %, tudíž se musí přistoupit k dodatečnému instalování škrticích klapek na dané problémové úseky kvůli doregulování.

Regulace průtoku vzduchu bude zajišťována regulační těsnou klapkou RKKTM 80 od výrobce Mandík. Tělo těsné klapky je vyráběno z pozinkovaného plechu a list je ocelový, připojovací potrubí má průměr 80 mm. Regulace se nastavuje páčkou přímo na regulátoru podle stupnice, diagram závislosti tlakové ztráty na rychlosti proudění vzduchu je zobrazen níže. Tabulky v Přílohách 8 a 9 udávají, o kolik je potřeba každou větev v menších bytech zaregulovat, a jak regulační klapky nastavit. [12]



Obr. 21 Regulační klapka Mandík RKKTM 80 [18]



Obr. 22 Diagram nastavení tlakové ztráty regulační klapky RKKTM 80 [18]

3.7.2 Regulace potrubní sítě pro větší vzduchotechnickou jednotku

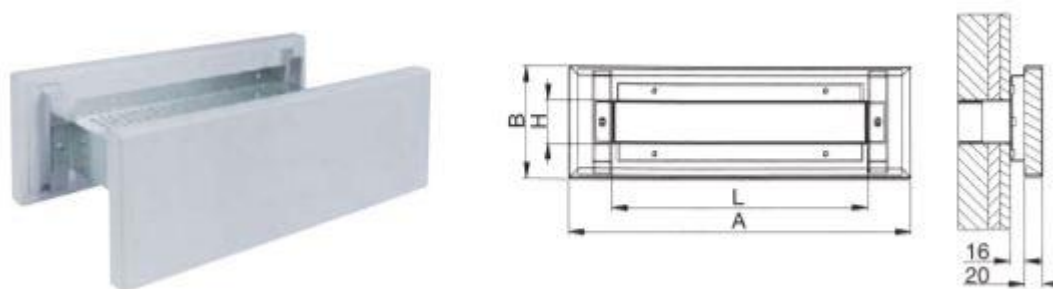
V každé větší bytové jednotce bude taktéž po odbočce ze stoupačky na přívodu umístěn regulátor konstantního průtoku vzduchu VFC od výrobce Trox. Na stupnici se nastaví konstantní požadovaný průtok $70 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

I zde je ještě nutné doregulovat tlakové poměry některých větví v soustavě přívodu i odvodu vzduchu regulační klapkou RKKTM 80 podle tabulek v Přílohách 10 a 11.

3.8 Redistribuce vzduchu v bytech

Aby docházelo ke správnému provětrávání a proudění vzduchu mezi jednotlivými místnostmi od přívodu vzduchu v obytných místnostech přes chodby k odvodním vyústkám, používáme různé elementy pro distribuci vzduchu. Standardně se distribuce vzduchu mezi místnostmi řeší osazením dveří nebo stěn mřížkami nebo speciálními elementy – ventily s hlukovou izolací – potlačující přenos nežádoucího hluku z místností.

Například průchozí stěnový ventil VSR pro instalaci přímo na stěnu zobrazený na následujícím obrázku je zástupcem těchto elementů.



Obr. 23 Průchozí stěnový ventil VSR [14]

Také se dá přistoupit k jednoduchému řešení, a to pouze k jemným seříznutím dveří pro vytvoření spár. Již zmíněná norma ČSN EN 15 665 o větrání budov doporučuje, že rychlost v otevřeném průřezu by neměla překročit $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, aby v místnostech nedocházelo k diskomfortu a průvanu. Tato rychlost proudění vzduchu $w \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$ se spočte ze vztahu

$$w = \frac{\dot{V}}{S} \quad (19)$$

kde

\dot{V} je objemový průtok vzduchu otvorem [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],

S je volná plocha mřížky [m^2].

Já volím osazení interiérových dveří dveřními hliníkovými mřížkami typu NOVA-D 500x300 od výrobce Systemair k zajištění bezproblémového proudění vzduchu. Mřížky jsou opatřeny pevnými lamelami zabraňující pohled skrz ně k zajištění soukromí a zároveň brání průniku světla mřížkou. Byl proveden výpočet rychlostí vzduchu při proudění mřížkou ze vzorce (19). Všechny rychlosti se pohybují v rozmezí od $0,07$ do $0,27 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, tudíž splňují limit daný normou.



Obr. 24 Dveřní mřížka Systemair NOVA-D [19]

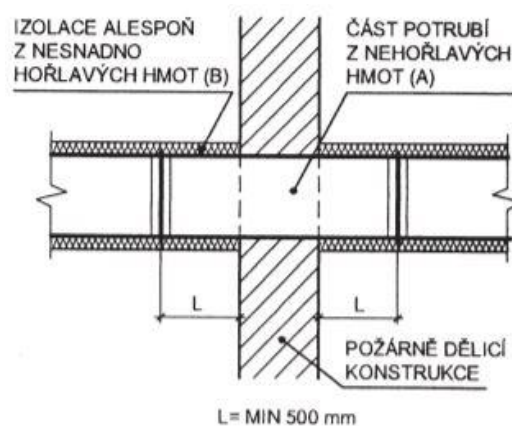
3.9 Izolace vzduchotechnického potrubí

Aby se předešlo kondenzaci vodních par na povrchu vzduchovodů, přistoupí se k aplikaci tepelné izolace na potrubí. Pro zjištění tloušťky izolace jsem použil online výpočtový software dostupný na webové stránce [22] a zjistil, že pro jednotlivé úseky potrubí se tloušťka izolace pohybuje od 4 do 8 mm. Ideální volbou je samolepící izolace ze syntetického kaučuku K-Flex H-Duct Metal 15 mm s tepelnou vodivostí 0,035 W/(mK) a stupněm hořlavosti B.

3.10 Protipožární opatření

Protipožární ochrana je nedílnou součástí každého projektu vzduchotechniky. Při požáru chceme zabránit šíření zplodin a ohně přes vzduchovody. Pravidla pro požární ochranu obsahují normy ČSN 73 0802 a ČSN 73 0872. Každé patro, a v tomto případě každý byt, tvoří jeden požární úsek. Samostatný úsek také tvoří půda se strojovnou vzduchotechniky. Dalším požárním úsekem je i samotná šachta procházející domem obsahující vzduchovody. Schodiště jsou únikovými cestami zabezpečující včasnou evakuaci obyvatel z objektu v případě požáru. [20]

Prostupy vzduchotechnických potrubí požárně dělicími konstrukcemi do 40 000 mm² nemusí být opatřeny požárními klapkami, které představují nejjednodušší vzduchotechnické požární uzávěry. Pokud prostupy nejsou osazeny požárními klapkami, musí dále platit, že vzájemná vzdálenost prostupů je minimálně 500 mm a do vzdálenosti 500 mm od vyústění potrubí z požárně dělicí konstrukce nemohou být osazeny vyústky a také jednotlivé prostupy nemají mít celkovou plochu větší než 1/100 plochy požárně dělicí konstrukce, kterou prostupují. [20]



Obr. 25 Řešení protipožárního prostupu vzduchotechniky [21]

Všechny prostupy v tomto projektu mají plochu do zmiňované hodnoty, protože používám maximální průměr vzduchotechnického potrubí 160 mm, a navíc jsou splněny i navazující podmínky zmíněné v předchozím odstavci, tudíž není potřeba instalovat požární klapky. Prostupy jsou v tomto objektu umístěny vždy při vedení vzduchovodů

šachtou do/z jednotlivých bytů. Každý prostup vzduchovodu je utěsněn protipožární ucpávkou, které instalují specializované firmy. Potrubí v místě prostupu musí být vždy z nehořlavého materiálu (stupeň hořlavosti A) a tepelná izolace potrubí musí být z nesnadno hořlavých materiálů (stupeň hořlavosti B). Vzduchovody a izolace potrubí v tomto projektu obě tyto podmínky splňují. [20] [21]

4. VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT PROSTUPEM

Výpočet tepelných ztrát objektu byl proveden podle normy ČSN EN 12 831-1. Lokalita nájemního domu je, jak již bylo zmíněno na začátku práce, Praha, což znamená, že venkovní výpočtová teplota vzatá z normy ČSN 38 3350 klíčová pro výpočet tepelných ztrát je -12 °C . Pro Prahu je průměrná vnější teplota otopného období zmíněná v normě rovna $4,3\text{ °C}$ a celková délka otopného období činí 225 dní. Vyhláška 194/2007 Sb. vymezuje, že otopné období nastává, když dvakrát za sebou je průměrná denní teplota nižší nebo rovna $+13\text{ °C}$ a v následující dnech se neočekává oteplení nad $+13\text{ °C}$. Průměrná denní teplota je podle vyhlášky aritmetickým průměrem teplot naměřených v 7 hodin, ve 14 hodin a ve 21 hodin, přičemž teplota ve 21 hodin se započítává do aritmetického průměru dvakrát. Otopné období končí, když naopak průměrná denní teplota dvou po sobě jdoucích dnů je vyšší nebo rovna $+13\text{ °C}$. [27]

Norma ČSN EN 12 831-1 dále obsahuje i přehled vnitřních výpočtových teplot. Kategorie *Obytné budovy trvale užívané* definuje vnitřní výpočtové teploty v obytných místnostech (obývací pokoje, ložnice, kuchyně, jídelny, pracovny, dětské pokoje) a toaletách jako 20 °C , v koupelnách 24 °C .

Kompletní výpočet byl proveden v Microsoft Excel, který je součástí příloh. Níže následují kroky výpočtu tepelných ztrát.

Návrhový tepelný výkon vytápěného prostoru se obecně stanoví ze vztahu

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{hu,i} - \Phi_{gain,i}, \quad (20)$$

kde

$\Phi_{HL,i}$ je návrhový tepelný výkon vytápěného prostoru vnitřního (i) [W],

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

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

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

$\Phi_{gain,i}$ jsou trvalé tepelné zisky ve vytápěném prostoru (i) [W].

Dodatečný zátopový tepelný výkon je nulový, protože se v tomto případě nejedná o přerušované vytápění. Trvalé tepelné zisky jsou zisky vznikající v prostoru neustále, nejedná se tedy o sluneční zisky a v tomto případě jsou nulové. Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.2 – tepelné ztráty větráním nebude hradit otopná soustava, ale přímo

vzduchotechnické jednotky s ohřevem vzduchu, proto se požadovaný výkon otopné soustavy rovná přímo tepelným ztrátám objektu prostupem.

Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla vytápěného prostoru $\Phi_{T,i}$ se stanoví ze vzorce

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ia} + H_{T,iae} + H_{T,iaBE} + H_{T,ig}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) = (H_{T,ie} + \sum H_{T,ia(\dots)} + H_{T,ig}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e), \quad (21)$$

kde

$H_{T,ie}$ je měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) přímo do venkovního prostředí (e) [$W \cdot K^{-1}$],

$H_{T,ia}$ je měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) do sousedního vytápěného prostoru (a) [$W \cdot K^{-1}$],

$H_{T,iae}$ je měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí přes sousední nevytápěný prostor (ae) [$W \cdot K^{-1}$],

$H_{T,iaBE}$ je měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) do sousedních funkčních částí budovy považované za nevytápěné (aBE) [$W \cdot K^{-1}$],

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

$\theta_{int,i}$ je vnitřní výpočtová teplota [$^{\circ}C$],

θ_e je venkovní výpočtová teplota [$^{\circ}C$].

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí $H_{T,ie}$ je dán vztahem

$$H_{T,ie} = \sum_k [A_k \cdot (U_k + \Delta U_{tb}) \cdot f_{U,k} \cdot f_{ie,k}], \quad (22)$$

kde

A_k je plocha stavební části (k) [m^2],

U_k je součinitel prostupu tepla stavební části (k) [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$],

ΔU_{TB} je přírážka na vliv tepelných vazeb [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$],

$f_{U,k}$ je opravný činitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy, které nebyly uvažovány při stanovování příslušných U-hodnot, pro ČR je roven 1 [-],

$f_{ie,k}$ je teplotní opravný činitel, v tomto případě také roven 1 [-].

Ve výpočtu uvažují, že se jedná o konstrukci s běžnými tepelnými mosty, a proto vybírám z normy ČSN 73 0540-4 hodnotu $\Delta U_{TB} = 0,1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

Měrný tepelný tok prostupem do nebo přes sousední prostory $H_{T,ia(\dots)}$ se stanoví ze vztahu

$$H_{T,ia(\dots)} = \sum_k [A_k \cdot U_k \cdot f_{ia(\dots),k}], \quad (23)$$

kde

A_k je plocha stavební části (k) [m^2],

U_k je součinitel prostupu tepla stavební části (k) [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$],

$f_{ia(\dots),k}$ je teplotní opravný činitel zahrnující rozdíl teplot mezi teplotou nevytápěného prostoru nebo vytápěného na jinou teplotu a venkovní návrhovou teplotou [-].

Teplotní opravný činitel se obecně spočítá ze vzorce

$$f_{ia(\dots)} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{ia(\dots)}}{\theta_{int,i} - \theta_e}, \quad (24)$$

kde

$\theta_{ia(\dots)}$ je teplota sousedního nevytápěného prostoru nebo prostoru vytápěného na jinou teplotu [$^{\circ}\text{C}$].

Tento teplotní opravný součinitel je použit při prostupu tepla mezi stropem ve čtvrtém podlaží a nevytápěnou půdou a dále také mezi stěnami bytů a sousedícími nevytápěnými chodbami. Při venkovní výpočtové teplotě $\theta_e = -12 \text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou v tabulce teplot sousedních nevytápěných prostor z normy ČSN 06 0210 dostupné v [23] uvedeny teploty pro nevytápěnou vnitřní chodbu a nevytápěnou půdu s tepelnou izolací $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$. S přihlédnutím k trvalým tepelným ziskům na chodbě z vytápěných bytů a na izolované půdě z technologie – kotle, rozvody – zvýším uvažovanou teplotou na $\theta_{ia} = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do zeminy $H_{T,ig}$, tedy platící pro podlahy přízemních bytů, se stanoví ze vztahu

$$H_{T,ig} = f_{\theta ann} \sum_k [A_k \cdot U_{equiv,k} \cdot f_{ig,k} \cdot f_{GW,k}], \quad (25)$$

kde

A_k je plocha stavební části (k), která je v přímém kontaktu se zemínou [m^2],

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

$f_{\theta ann}$ je opravný činitel zohledňující vliv změny venkovní teploty v průběhu roku roven 1,45 [–],

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

$f_{GW,k}$ je opravný činitel zohledňující vliv spodní vody v tomto případě roven 1, protože hladina spodní vody je více než 1 m pod úrovní základové desky [–].

Pro teplotní součinitel $f_{ig,k}$ existuje vztah

$$f_{ig,k} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{e,m}}{\theta_{int,i} - \theta_e}, \quad (26)$$

kde

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

Ekvivalentní součinitel prostupu tepla $U_{equiv,k}$ se vypočte jako

$$U_{equiv,k} = \frac{a}{b + (c_1 + B')^{n_1} + (c_2 + z)^{n_2} + (c_3 + U_k + \Delta U_{TB})^{n_3}} + d, \quad (27)$$

kde

B' je geometrický parametr podlahové desky [m],

z je hloubka horní hrany podlahové desky pod úrovní zeminy [m],

U_k je součinitel prostupu tepla stavební části (k) v kontaktu se zemínou [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$],

ΔU_{TB} je přírážka na vliv tepelných vazeb určená stejně jako pro měrný tepelný tok prostupem přímo do venkovního prostředí, v tomto případě je roven 0,1 [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$],

a, b, c, d, n jsou parametry uvedeny v normě ČSN EN 12 831 [–].

Hloubka horní hrany podlahové desky pod úrovní zeminy se pro tento bytový dům uvažuje 0 m, protože dům je nepodsklepený.

Geometrický parametr podlahové desky B' se vypočte ze vztahu

$$B' = \frac{A_g}{0,5 \cdot P}, \quad (28)$$

kde

A_g je plocha podlahové desky [m^2],

P je nechráněný obvod podlahové desky neboli délka obvodových stěn sousedících pouze s nevytápěnými zónami nebo venkovním prostředím [m].

Výsledky kompletního výpočtu tepelných ztrát prostupem jsou v tabulce níže. Tabulka obsahuje tepelné ztráty jednotlivých místností, bytů a pater. Dále vidíme, že celková tepelná ztráta prostupem tohoto obytného domu je 8785 W. Nejvyšší tepelná ztráta je v prvním podlaží, protože tam dochází k přímému styku se zemí, poněvadž, jak již bylo zmíněno, obytný dům je nepodsklepený, tudíž základová deska je umístěna přímo na zemi, kde je nejnižší teplota. Druhá největší tepelná ztráta prostupem (o 16 % nižší než v prvním podlaží) je podle očekávání ve čtvrtém podlaží pod nevytápěnou půdou s vnitřní výpočtovou teplotou vyšší, než je průměrná venkovní teplota za otopné období uvažována pro výpočet prostupu tepla do zeminy. Nejnižší tepelné ztráty (o 28 % nižší než v prvním podlaží) jsou ve druhém a třetím podlaží, protože to jsou podlaží uprostřed, což znamená, že byty sousedí s dalšími byty o stejné vnitřní výpočtové teplotě. Tepelná ztráta prostupem pro všechny menší byty je 3590 W a pro všechny větší byty dohromady 5195 W.

Tab. 16 Tepelné ztráty objektu

Podlaží	Číslo místnosti	Název místnosti	Tepelná ztráta prostupem $\Phi_{T,i}$ [W]	
1.NP	Menší byt 2+1			
	101	Předsíň	180	
	102	WC	75	
	103	Koupelna	105	
	104	Kuchyň	160	
	113	Obývací pokoj	240	
	114	Ložnice	320	
	Celkem na byt			1080
	Větší byt 4+1			
	105	Dětský pokoj	240	
	106	Kuchyň	135	
	107	WC	75	
	108	Koupelna	105	
	109	Předsíň	180	
	110	Dětský pokoj	330	
	111	Obývací pokoj	245	
	112	Ložnice	240	
Celkem na byt			1550	
Celkem na podlaží			2630	
2.NP	Menší byt 2+1			
	201	Předsíň	125	
	202	WC	65	
	203	Koupelna	75	
	204	Kuchyň	90	
	213	Obývací pokoj	170	

	214	Ložnice	255
	Celkem na byt		780
	Větší byt 4+1		
	205	Dětský pokoj	170
	206	Kuchyň	90
	207	WC	65
	208	Koupelna	75
	209	Předsíň	125
	210	Dětský pokoj	255
	211	Obývací pokoj	175
	212	Ložnice	170
	Celkem na byt		1125
	Celkem na podlaží		1905
3.NP	Menší byt 2+1		
	301	Předsíň	125
	302	WC	65
	303	Koupelna	75
	304	Kuchyň	90
	313	Obývací pokoj	170
	314	Ložnice	255
	Celkem na byt		780
	Větší byt 4+1		
	305	Dětský pokoj	170
	306	Kuchyň	90
	307	WC	65
	308	Koupelna	75
	309	Předsíň	125
	310	Dětský pokoj	255
	311	Obývací pokoj	175
	312	Ložnice	170
Celkem na byt		1125	
Celkem na podlaží		1905	
4.NP	Menší byt 2+1		
	401	Předsíň	150
	402	WC	70
	403	Koupelna	90
	404	Kuchyň	120
	413	Obývací pokoj	220
	414	Ložnice	300
	Celkem na byt		950
	Větší byt 4+1		
	405	Dětský pokoj	220
	406	Kuchyň	120
	407	WC	70
	408	Koupelna	90
	409	Předsíň	150
	410	Dětský pokoj	300
	411	Obývací pokoj	225
	412	Ložnice	220
Celkem na byt		1395	
Celkem na podlaží		2345	
Celkem na obytný dům		8785	

5. OTOPNÁ SOUSTAVA

Pro vytápění, tedy zajištění tepelné pohody a pokrytí tepelných ztrát objektu, se projektují otopné soustavy, kdy se otopná voda nebo pára transportuje ze zdroje tepla a sdílí se do jednotlivých bytů a místností potrubní sítí. Otopná soustava se tedy skládá ze zdroje tepla, potrubního vedení a otopných ploch, v mém případě otopných těles. Poněvadž se jedná o starší bytový dům, nebudu uvažovat aplikaci podlahového vytápění.

5.1 Volba otopné soustavy

Při volbě správné otopné soustavy je zapotřebí zhodnotit několik hledisek pro správné zvolení otopné soustavy.

Otopné soustavy se dělí podle propojení otopných těles na

- dvoutrubkové, kde jsou otopná tělesa napojena paralelně, každé těleso pracuje se stejnými teplotními parametry otopné vody a rozlišuje se potrubí přívodní a vratné
- jednotrubkové, kde otopná tělesa jsou zapojena sériově a otopná voda se postupně ochlazuje průtokem jednotlivými otopnými tělesy

Podle vzájemného vedení potrubí dělíme zapojení dvoutrubkových soustav na

- protiproudé, kde je vratné potrubí vedeno ve stejné trase jako přívodní, ale s opačným směrem proudění
- souproudé (tzv. Tichelmannovo), kde směry potrubí jsou v přívodním i vratném potrubí stejné, což z hlediska materiálu a délky vedení znamená vyšší spotřebu

Otopné soustavy dělíme i podle umístění hlavního ležatého rozvodu na

- spodní rozvod, kde je hlavní rozvod v nejnižším patře pod stropem, použití je nejčastěji u podsklepených budov
- horní rozvod, kde je hlavní rozvod naopak v nejvyšším podlaží, v podhledu nebo nad stropem, používá se u nepodsklepených budov a budov s nástřešní kotelnou
- kombinované řešení

Podle vedení přípojek k otopným tělesům dělíme otopné soustavy na

- horizontální rozvod, kde je minimální počet stoupaček a na ně jsou napojeny jednotlivé okruhy
- vertikální rozvod, kde jsou otopná tělesa (maximálně dvě otopná tělesa na stoupačku) napojena přímo na stoupačky
- hvězdicový rozvod

Podle oběhu vody se otopné soustavy dělí na

- přirozené, kde hybnou silou otopné vody je pouze přirozený vztlak, který závisí na rozdílu teplot (hustot) přírodní a vratné vody, a otopné těleso musí být co nejvýše nad kotlem, což je ideální pro otopné soustavy v budovách, kde jsou velké výškové rozdíly a není spolehlivý přístup k elektřině
- nucené, kde hybnou silou je dopravní tlak čerpadla, v dnešní době nejrozšířenější

Otopné soustavy podle spojení s atmosférou dělíme na

- otevřené, ve kterých se nachází otevřená expanzní nádoba v nejvyšším bodě soustavy a jsou volně spojeny s atmosférou
- uzavřené, kde se otopná voda nemá šanci sytit kyslíkem, a tudíž ani způsobovat korozi (používá se tlaková expanzní nádoba)

Podle teploty teplonosné látky na

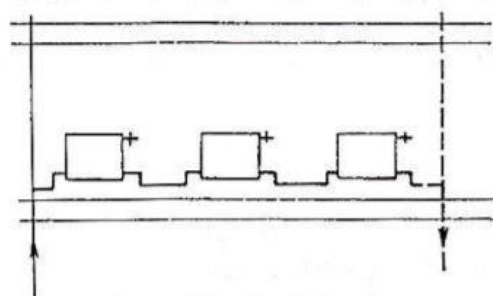
- nízkoteplotní, kde má teplonosná látka teplotu do 65 °C
- teplovodní, kde má teplonosná látka teplotu do 110 °C
- horkovodní, kde má teplonosná látka teplota nad 110 °C [26] [27]

Výběr otopné soustavy má být také podle požadavků projektu proveden s ohledem na kalorimetrické měření spotřeby tepla v jednotlivých bytových jednotkách. V každém bytě má být jeden měřič spotřeby tepla.

5.2 Jednotrubková otopná soustava

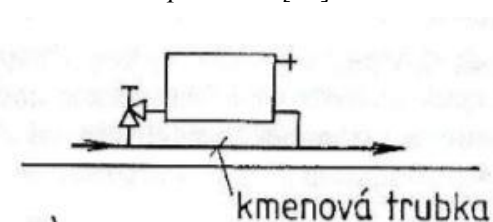
Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, teplota otopné vody za každým otopným tělesem klesá a je nutno ji také za každým tělesem vypočítat, abychom navrhovali každé otopné těleso zvlášť na danou teplotu vody. Většinou se navrhuje maximální rozdíl teplot na otopném tělese 10 K a velikost otopných těles poměrově mírně narůstá, protože střední teplota vlivem ochlazování a směšování vody klesá. [26] [27]

Nezákladnější jednotrubková otopná soustava je průtočná, kdy voda protéká přes otopná tělesa, avšak při tomto řešení není možné otopný výkon místně regulovat. [26]



Obr. 26 Jednotrubková otopná soustava průtočná [28]

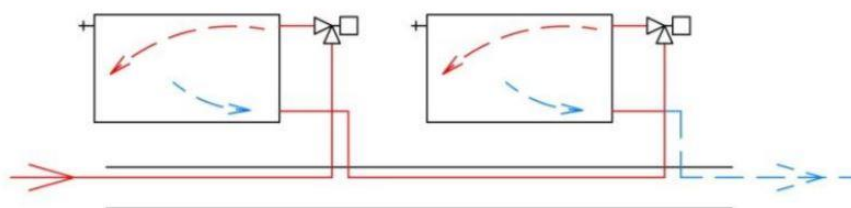
Další možností je jednotrubková horizontální otopná soustava (JHOS) s obtokem (jezdecké napojení), kdy dochází k obtoku otopných těles – část otopné vody proudí do tělesa a část proudí kolem něj v hlavní kmenové trubce. Zde je možné instalovat místní regulaci. Je důležité používat nízkoodporové armatury pro místní regulaci a regulační šroubení kvůli velkému



Obr. 27 Jednotrubková otopná soustava s obtokem [28]

hydraulickému odporu klasických termostatických ventilů a šroubení, který by neumožnil otopné vodě správně zatékat do tělesa. U těchto soustav není limit pro maximální množství otopných těles, protože otopné těleso je vůči kmenové trubce napojeno paralelně, tudíž se tlakové ztráty u tohoto zapojení nesčítají sériově. [26] [28]

Poslední možností je JHOS s napojením otopných těles přes čtyřcestné směšovací armatury (dvoubodové nebo jednobodové napojení podle druhu armatury). Návrh těchto otopných soustav je poměrně složitý a maximální počet otopných těles v okruhu je ideálně osm, proto je tento typ vhodnější pro menší otopné soustavy. Tento typ otopných soustav má dále menší přenosovou schopnost než soustavy s obtokem. [26] [28]



Obr. 28 Jednotrubková otopná soustava se čtyřcestnými armaturami [27]

Mezi výhody JHOS patří především minimální počet vertikálních potrubí, tudíž menší počet nutných prostupů konstrukcemi a s tím spojený nižší přenos hluku mezi podlažními budovy. Dále také možnost kalorimetrického měření spotřeby tepla bytových jednotek nebo snadné uzavírání po patrech či okruzích i snadná zónová regulace. Nevýhodou však je již zmíněný pokles střední teploty otopných těles v okruhu, čímž klesá

měrný výkon a narůstá rozměr otopné plochy, aby výkon hradil vypočtenou tepelnou ztrátu. Také je nutné odvodušňovat každé otopné těleso zvlášť. [28]

Po zvážení všech možností volím nízkoteplotní jednotrubkovou horizontální otopnou soustavu (JHOS) se směšovacími armaturami a horním hlavním rozvodem s nuceným oběhem. Teplotní spád je 55/45 °C. U horizontálního potrubí není potřeba projektovat žádný spád a bude umístěno v podlaze nad nosnou částí v mazanině.

5.2.1 Výpočtové vztahy pro návrh jednotrubkové horizontální otopné soustavy se směšovacími armaturami

U jednotrubkových otopných soustav se vyskytuje veličina zvaná součinitel zatékání α_T vyjádřený jako

$$\alpha_T = \frac{\dot{M}_T}{\dot{M}_O}, \quad (29)$$

kde

\dot{M}_T je hmotnostní průtok otopné vody otopným tělesem [$kg \cdot s^{-1}$],

\dot{M}_O je hmotnostní průtok otopné vody okruhem [$kg \cdot s^{-1}$]. [28]

Součinitel zatékání se volí pro všechna otopná tělesa stejný, aby nedocházelo ke zmatkům při nastavování a instalování soustavy. V mém případě volím hodnotu 0,5 pro všechna tělesa. [27]

Hmotnostní průtok okruhem \dot{M}_O se vypočte ze vzorce

$$\dot{M}_O = \frac{Q_O}{c \cdot \delta t_O}, \quad (30)$$

kde

Q_O je tepelný výkon okruhu [W],

c je měrná tepelná kapacita vody rovna 4187 [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$],

δt_O je teplotní spád okruhu [$^{\circ}C$]. [28]

Teplotní spád okruhu δt_O je

$$\delta t_O = t_{w1} - t_{w2}, \quad (31)$$

kde

t_{w1} je teplota přívodní otopné vody, v mém případě 55 [$^{\circ}C$],

t_{w2} je teplota vratné otopné vody, v mém případě 45 [$^{\circ}C$]. [28]

Pro výpočet tepelného výkonu okruhu Q_o se použije vzorec

$$Q_o = \sum Q_{oT}, \quad (32)$$

kde

$\sum Q_{oT}$ je součet požadovaných tepelných výkonů všech otopných těles umístěných v okruhu [W]. [28]

Teplotní rozdíl na určitém tělese δt_T je dán jako

$$\delta t_T = \frac{Q_T}{c \cdot \dot{M}_O \cdot \alpha_T} = \frac{Q_T}{c \cdot \dot{M}_T}, \quad (33)$$

kde

Q_T je tepelný výkon otopného tělesa [W]. [28]

Střední teplota na otopném tělese t_{mT} je potom

$$t_{mT} = t_{w1} - \theta \cdot \sum Q_i - 0,5 \frac{Q_T}{c \cdot \dot{M}_T}, \quad (34)$$

kde

θ je ochlazení v okruhu na jednotku výkonu [$K \cdot W^{-1}$],

$\sum Q_i$ je součet tepelných výkonů před počítaným tělesem [W]. [28]

Ochlazení vody v okruhu na jednotku výkonu se spočítá jako

$$\theta = \frac{\delta t_o}{Q_o}. \quad (35)$$

Výkon libovolného otopného tělesa Q_T v okruhu je dán

$$Q_T = Q_N \left(\frac{\Delta t_S}{\Delta t_N} \right)^n = Q_N \cdot f_{\Delta t}, \quad (36)$$

kde

Q_N je jmenovitý výkon otopného tělesa daný výrobcem [W],

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

Δt_S je rozdíl střední teploty otopného tělesa a teploty vzduchu v místnosti [$^{\circ}C$],

Δt_N je rozdíl normované střední teploty otopného tělesa a normované teploty vzduchu v místnosti [$^{\circ}C$],

n je teplotní exponent otopného tělesa [–]. [28]

Tepelný výkon otopného tělesa při základním normovaném tepelném stavu Q_N je

$$Q_N = Q_T \cdot f_{\Delta t}^{-1}. \quad (37)$$

Normované podmínky jsou standardně dány jako $t_{w1,N} = 75\text{ °C}$ pro přívodní vodu, $t_{w2,N} = 65\text{ °C}$ pro odvodní vodu a $\theta_{int,i,N} = 20\text{ °C}$ je normovaná teplota vzduchu v místnosti.

Opravný součinitel na teplotní rozdíl závisí na hodnotě teplotního podílového součinitele c , který je definován jako

$$c = \frac{t_{w2} - \theta_{int,i}}{t_{w1} - \theta_{int,i}}, \quad (38)$$

kde

t_{w1} je teplota otopné vody na vstupu do otopného tělesa [°C],

t_{w2} je teplota otopné vody na výstupu z otopného tělesa [°C]. [27]

Pokud pro teplotní podílový součinitel platí nerovnost $c < 0,7$, opravný součinitel na teplotní rozdíl se rozepíše jako

$$f_{\Delta t,ln} = \left(\frac{\Delta t_{S,ln}}{\Delta t_{N,ln}} \right)^n = \left(\frac{\frac{t_{w1} - t_{w2}}{\ln \frac{t_{w1} - \theta_{int,i}}{t_{w2} - \theta_{int,i}}}}{\frac{t_{w1,N} - t_{w2,N}}{\ln \frac{t_{w1,N} - \theta_{int,i,N}}{t_{w2,N} - \theta_{int,i,N}}}} \right)^n, \quad (39)$$

kde

$\Delta t_{S,ln}$ je logaritmicky určený rozdíl teplot [K],

$\Delta t_{N,ln}$ je logaritmicky určený rozdíl teplot při normovaných podmínkách [K]. [27]

Pokud naopak platí $c \geq 0,7$, tak se opravný součinitel na teplotní rozdíl může rozepsat jako

$$f_{\Delta t} = \left(\frac{\Delta t_S}{\Delta t_N} \right)^n = \left(\frac{\frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} - \theta_{int,i}}{\frac{t_{w1,N} + t_{w2,N}}{2} - \theta_{int,i,N}} \right)^n = \left(\frac{t_{mT} - \theta_{int,i}}{\frac{t_{w1,N} + t_{w2,N}}{2} - \theta_{int,i,N}} \right)^n, \quad (40)$$

kde

Δt_S je aritmeticky určený rozdíl teplot [K],

Δt_N je aritmeticky určený rozdíl teplot při normovaných podmínkách [K]. [27]

V mém případě vyjde u všech otopných těles teplotní podílový součinitel větší než 0,7, proto pro výpočet opravného součinitele upotřebím druhý vzorec s aritmeticky určenými rozdíly teplot.

Teplotní exponent se určuje pro každé těleso nebo otopnou plochu ve zkušebně experimentálně, ale existují i vzorové přibližné hodnoty. Následuje ukázková tabulka

teplotních exponentů převzatá z [29]. V mém případě budou tělesa desková a teplotní exponent udává výrobce KORADO pro každý použitý typ otopného tělesa v závislosti na jeho výšce.

Tab. 17 Teplotní exponenty otopných ploch

Typ otopné plochy	Teplotní exponent n
Podlahová otopná plocha	1,1
Desková otopná tělesa	1,26 až 1,33
Trubková koupelňová otopná tělesa	1,2 až 1,3
Tělesa podle DIN 4703	1,3
Konvektory	1,3 až 1,5
Konvektory s ventilátorem	1,05 až 1,2

Do vzorce pro přepočet výkonu otopného tělesa teoreticky vstupují ještě další součinitelé. Vzorec pro výpočet výkonu otopného tělesa Q_{OT} je

$$Q_{OT} = Q_N \cdot f_{\Delta t} \cdot f_{\delta tw} \cdot f_x \cdot f_o, \quad (41)$$

kde

$f_{\delta tw}$ je opravný součinitel pro ochlazení vody [–],

f_x je opravný součinitel na připojení tělesa [–],

f_o je opravný součinitel pro úpravu okolí těles [–]. [29]

Všechny součinitele kromě opravného součinitele na teplotní rozdíl $f_{\Delta t}$ uvažují rovny jedné. Součinitel na připojení tělesa je v mém případě roven $f_x = 1$, protože se jedná o tělesa s kompaktním připojením a připojena jsou přes ventilovou vložku. Jedná se vlastně o připojení otopných těles jednostranné shora-dolů realizované spodem přes směšovací H armaturu, na které je trvale nastaven součinitel zatékání α_T . [29]

5.3 Otopná tělesa

Otopná tělesa se dělí na článková, trubková, desková a konvektory. Také se mohou dělit podle připojení a vývodu trubek do a z otopného tělesa nejčastěji na napojení shora-dolů nebo zdola-dolů.

Otopná tělesa se podle zvyklostí umísťují pod okno, kde jsou největší chladné proudy vzduchu, protože povrch okna je vždy chladnější než zdivo, a z toho důvodu konvektivní proudy stoupající z otopného tělesa ke stropu takzvaně obrátí tyto chladné proudy klesající k podlaze nahoru. Aby docházelo k nejlepšímu dosažení tepelné pohody, měla by otopná tělesa kopírovat šířku oken, k tomu se ale nepřistupuje, jak z hlediska

designového a cenového, tak z hlediska dostupného portfolia výrobců otopných těles. Navíc pokud místnost obsahuje dvě nebo více oken, podle uvážení projektanta o velikosti místnosti i tepelné ztráty se instaluje určitý počet otopných těles. V mém případě se jedná o klasické standardně velké oddělené místnosti s maximálně dvěma okny, a protože vytápění má pokrývat pouze tepelnou ztrátu prostupem, navrhnu do každé místnosti pouze jedno otopné těleso. [29]

Otopná tělesa volím desková typu ventil kompakt s pravým spodním připojením od firmy Korado, kdy těleso obsahuje ventilovou vložku z výroby. Otopná tělesa budou napojena na potrubí H armaturami Vekolux jako směšovací armaturami pod tělesem. Mezi vlastnosti této směšovací armatury o připojovacím rozměru DN15 patří možnost úplného vypuštění otopného tělesa. Pro nastavení součinitele zatékání 50 % stačí šroubení podle podkladů výrobce otevřít na maximum. [30]



Obr. 29 H armatura Vekolux [30]

U jednotrubkových soustav se neřeší stupeň přednastavení ventilu v otopných tělesech, proto se volí stupeň 8 – tedy plně otevřený (přednastaven již z výroby).

Do koupelen se standardně umísťují trubková otopná tělesa, kdy se využívají i pro sušení ručníků nebo textilií apod. Avšak použití těchto těles v jednotrubkové soustavě s H armaturami není vůbec vhodné, protože by se muselo přistoupit k průtočnému řešení bez místní regulace, což podle legislativy již není možné. Navíc trubková tělesa typu ventil kompakt se nevyrábí. Proto i do koupelny volím desková tělesa typu ventil kompakt.

Přestože jsou tepelné ztráty i na toaletách, nebudu tam instalovat otopná tělesa, protože k tomu se v praxi nepřistupuje i z důvodu nedostatku prostoru. Zato rozdělím tepelnou ztrátu každé toalety tak, že 2/3 hodnoty tepelné ztráty toalety přičtu do sousední předsíně a 1/3 přičtu do sousední koupelny. Toto řešení má za následek vytápění toalety prostupem tepla z koupelny a větrací mřížkou ve dveřích z předsíně.



Obr. 30 Korado Radik VKM8 [33]

Výška otopného tělesa bude až na koupelny, kde se tvarem přiblížíme trubkovým tělesům, všude stejná, a to 500 mm. Výška otopného tělesa instalovaného nad podlahou je minimálně 110 mm a vzdálenost od parapetu minimálně 150 mm.

Tabulka použitých otopných těles v projektu s jmenovitými tepelnými výkony od výrobce KORADO je k dispozici v Příloze 8. Kompletní výpočet je v elektronické Příloze 1.

5.4 Potrubní síť a hydraulický výpočet

U jednotrubkových soustav s jezdeckým zapojením se většinou volí plastové nebo měděné potrubí spojované kapilárním pájením. V mém případě volím třívrstvé plastové potrubí PE-Xc/Al/PE-HD Wavin Ekoplastik skládající se ze síťovaného polyethylenu PE-Xc na vnitřní straně, hliníkové mezivrstvy a polyethylenové povrchové vrstvy PE-HD. Vnitřní vrstva PE-Xc zajišťuje dlouhodobou odolnost vůči vysokému tlaku a teplotě a vnější vrstva zajišťuje především



Obr. 31 Třívrstvé potrubí Wavin Ekoplastik [31]

ochrannou funkci. Hliníková vrstva zabezpečuje takzvanou kyslíkovou bariéru, což znamená, že stoprocentně zabráňuje pronikání kyslíku do teplotnosné látky přes stěnu potrubí, a tudíž zde nedochází k oxidaci kovových částí rozvodů (například čerpadel). Všechny vrstvy jsou spojeny adhezním přípravkem. Výrobce uvádí, že tento typ potrubí je vhodný jednak k instalaci ústředního vytápění, tak i k projektům podlahového vytápění, ale dále i k montáži rozvodů teplé a studené vody. Průměrová řada tohoto potrubí je 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63 a 75 mm. [31]

Tento typ potrubí se podle výrobce spojuje lisováním. Postup je takový, že se nejdříve provede řez potrubí pomocí nůžek nebo speciálního řezacího kolečka. Dále se uskuteční kalibrace obou konců



Obr. 32 Lisování plastového potrubí [31]

trubek vsunutím a otáčením trubky na kalibr, který způsobí zkosení vnitřní hrany. Posléze se požadované konce trubek vloží z obou stran do spojky, jejíž tělo je z oceli. Poslední

krok je zalisování spoje pomocí speciálních lisovacích kleští až do úplného zavření jejich čelistí (viz obr. 32). [31]

Potrubní síť se navrhuje metodou ekonomických rychlostí. Optimální rychlosti se v závislosti na typu otopných soustav pohybují od 0,2 do $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, tak optimální návrhová rychlost v kmenové trubce u jednotrubkových otopných soustav se směšovacími armaturami je $w_{ek} = 0,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, avšak může být i nižší.

Potrubní síť se rozdělí na okruhy (jednotlivé byty) a úseky s neměnným průměrem a průtokem. Výpočet se nejprve provádí pro hydraulicky nejvzdálenější větev, což je ta, která má dohromady nejvyšší tlakové ztráty s plně otevřenými regulačními armaturami a termostatickými ventily a skládá se z úseků stoupaček a otopného okruhu. Tlaková ztráta hlavní větve musí odpovídat dispozičnímu tlaku čerpadla otopné soustavy. Ostatní větve a okruhy se vyváží, neboli doregulují nastavením regulačních prvků (regulační šroubení, vyvažovací ventily a/nebo termostatické regulační ventily).

Tlaková ztráta třením ve stoupačkách vyjadřující úbytek tlaku při proudění kvůli odporu potrubí je dána vzorcem

$$\Delta p_{zt} = R \cdot l = \lambda \frac{l}{d} \rho \frac{w^2}{2}, \quad (42)$$

kde

R je měrná tlaková ztráta v potrubí [$\text{Pa} \cdot \text{m}^{-1}$],

l je délka úseku potrubí [m],

λ je součinitel tlakové ztráty třením v potrubí [–],

d je vnitřní průměr potrubí [m],

ρ je hustota vody [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],

w je rychlost proudění otopné vody [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]. [28]

Místní tlaková ztráta vyjadřující úbytek tlaku při průtoku vzduchu nepřímými částmi potrubí (kolena, odbočky, redukce aj.) nebo částmi narušujícími proudění je dána jako

$$\Delta p_{zm} = \sum \xi \rho \frac{w^2}{2}, \quad (43)$$

kde

ξ je součinitel místního odporu [–]. [28]

Jednotlivé součinitele místního (vřazeného) odporu závisí na geometrii jednotlivých částí potrubí (tzv. tvarovek) a bývají určovány experimentálně výrobcem, tudíž hodnoty se mohou lišit.

Pro jednotlivé okruhy se počítá tlaková ztráta odlišně. Tlakové ztráty místními odpory vyjádříme snadněji pomocí ekvivalentní délky l_{ekv} jako

$$l_{ekv} = \sum \xi \cdot \frac{d}{\lambda}, \quad (44)$$

kde

$\sum \xi$ je součet součinitelů místních odporů [–]. [28]

Celková výpočtová délka potrubí v okruhu L je poté dána součtem

$$L = l + l_{ekv}, \quad (45)$$

kde

l je délka přímých úseků potrubí v okruhu [m]. [28]

Tlaková ztráta okruhu je rovna

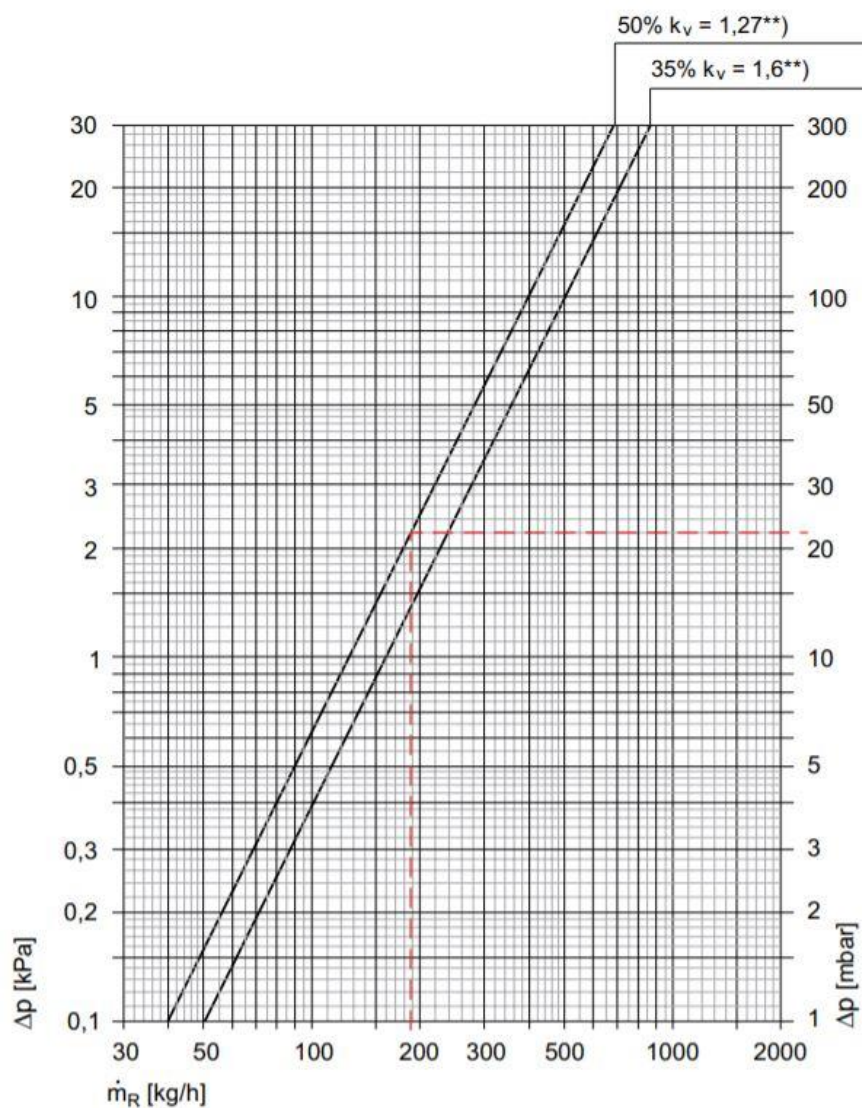
$$\Delta p_o = L \cdot R + n_u \cdot \Delta p_u, \quad (46)$$

kde

n_u je počet uzlů [–],

Δp_u je tlaková ztráta uzlu [Pa]. [28]

Uzel je část otopné soustavy, do které patří směšovací armatura, regulační ventil a otopné těleso. Tlakovou ztrátu uzlu udává většinou výrobce směšovací armatury. Pro použitou H armaturu Vekolux je diagram zobrazen na následujícím obrázku.



Obr. 33 Diagram tlakové ztráty okruhu v závislosti na hmotnostním průtoku [30]

Následuje tabulka hodnot tlakových ztrát jednotlivých uzlů v otopné soustavě. Jak již bylo zmíněno, součinitel zatékání je u všech otopných těles v projektu 50 %.

Tab. 18 Tlakové ztráty uzlů

Patro/byt	Hmotnostní průtok	Tlaková ztráta uzlu Δp_u [kPa]	Počet uzlů n_u [-]
	okruhem \dot{M}_o [kg/h]		
1.patro/menší	92,9	0,53	5
2.patro/menší	67,1	0,29	5
3.patro/menší	67,1	0,29	5
4.patro/menší	81,7	0,41	5
1.patro/větší	133,3	1,22	7
2.patro/větší	96,7	0,57	7
3.patro/větší	96,7	0,57	7
4.patro/větší	120	0,9	7

5.4.1 Výpočet potrubní sítě pro menší byty

Pro každý okruh se počítá tlaková ztráta. Nejdříve je nutné spočítat ekvivalentní délku. V okruhu je celkem 19 kolen se součinitelem místního odporu $\xi = 1$. [32]

K výpočtu součinitele třecích ztrát v potrubí λ je nejdřív potřeba spočítat Reynoldsovo číslo proudění v potrubí jako

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} = \frac{0,23 \cdot 0,012}{0,52 \cdot 10^{-6}} = 5366, \quad (47)$$

kde

w je rychlost proudění v potrubí vypočtená v Excelu pro okruh v prvním patře jako $0,23 [m \cdot s^{-1}]$,

d je vnitřní průměr potrubí v okruhu rovný $0,012 [m]$,

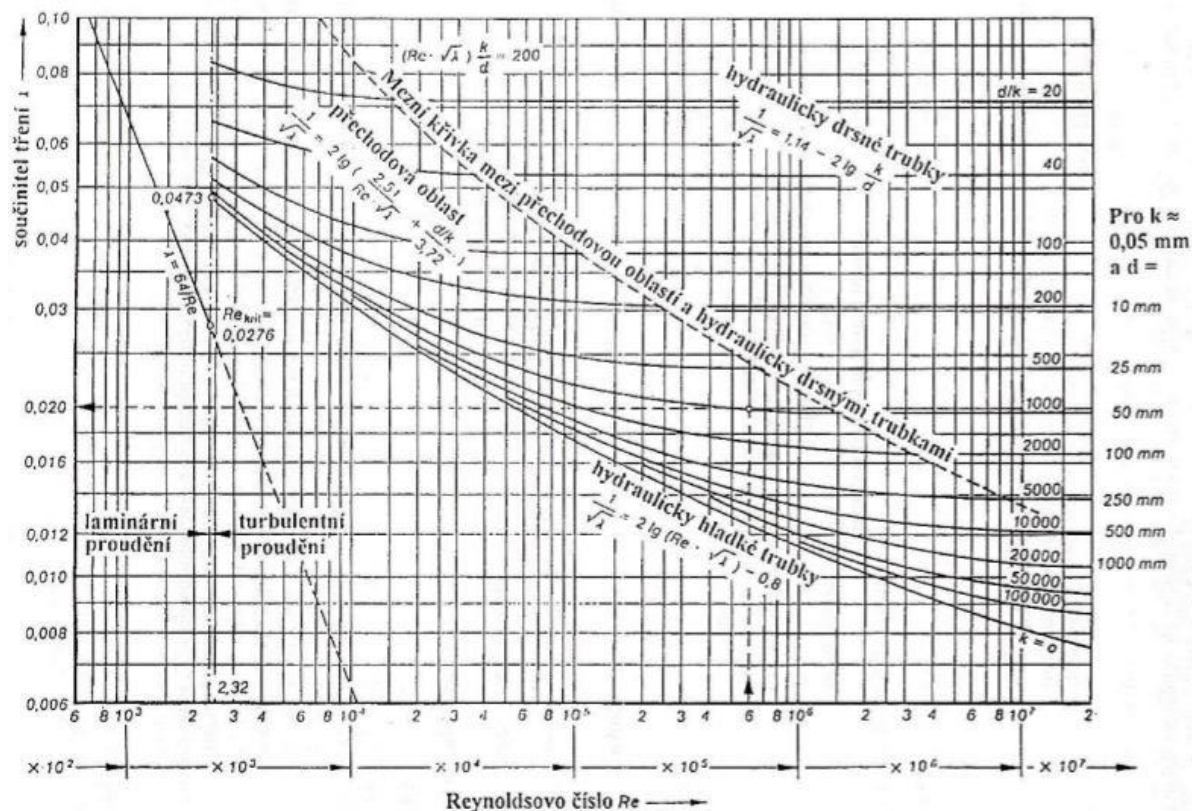
ν je kinematická viskozita vody o teplotě $55 \text{ }^\circ\text{C}$ rovna $0,51 \cdot 10^{-6} [m^2 \cdot s^{-1}]$.

Součinitel třecí ztráty je poté možné určit výpočtem podle jednoho z velkého množství vztahů nebo z Moodyho diagramu, který udává závislost součinitele tření na hodnotě Reynoldsova čísla a drsnosti potrubí.

Já pro součinitel tření aplikuji Blasiovův vztah určený pro hydraulicky hladké potrubí, kde relativní drsnost potrubí je tak malá (v mém případě $k = 0,007 \text{ mm}$ získáno z podkladů výrobce potrubí [31]), že součinitel tření v potrubí závisí pouze na Reynoldsově čísle a nikoliv na drsnosti potrubí.

Blasiův vztah má tvar

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} = \frac{0,3164}{5366^{0,25}} = 0,037. \quad (48)$$



Obr. 34 Moodyho diagram [28]

Ekvivalentní délka se pro okruh menšího bytu v prvním podlaží spočte jako

$$l_{ekv} = \sum \xi \cdot \frac{d}{\lambda} = 19 \frac{0,012}{0,037} = 6,18 \text{ m}, \quad (49)$$

Délka přímých úseků potrubí ve všech okruzích pro menší byty je spočtena z výkresů jako $l = 28 \text{ m}$. Celková výpočtová délka potrubí v prvním okruhu L je poté dána

$$L = l + l_{ekv} = 28 + 6,18 = 34,18 \text{ m}. \quad (50)$$

Z podkladů výrobce potrubí Wavin Ekoplastik [28] lze také z tabulek vyčíst měrnou tlakovou ztrátu na jeden metr potrubí podle průtoku vody potrubím. Pro první okruh to je $R = 80 \text{ Pa} \cdot \text{m}^{-1}$.

Tlaková ztráta prvního okruhu je rovna

$$\Delta p_o = L \cdot R + n_u \cdot \Delta p_u = 34,18 \cdot 80 + 5 \cdot 530 = 5384 \text{ Pa}. \quad (51)$$

Obdobně se spočítá tlaková ztráta všech okruhů v soustavě, výsledky viz tabulka Přílohy 9.

Stoupačky je nejdříve potřeba navrhnout metodou rychlostí. Tlakové ztráty ve stoupačkách se následně počítají, jak již bylo zmíněno výše, Darcy-Weisbachovým vztahem. Nutné je opět vyčíst z podkladů výrobce tlakový spád a spočítat jednotlivé místní odpory v potrubí. Výsledky jsou v následující tabulce.

Tab. 19 Tlakové ztráty stoupaček menší soustavy

Patro	Dimenze potrubí	Tlaková ztráta třením Δp_{zt} [Pa]	Tlaková ztráta místními odpory Δp_{zm} [Pa]	Tlaková ztráta celková Δp_z [Pa]
1.patro	16x2	224	39	263
2.patro	20x2,25	184,8	63,2	248
3.patro	20x2,25	308	127,3	435,3
4.patro	20x2,25	756,2	706,3	1462,5

Pro zjištění potřebného dopravního čerpadla je nutné sečíst jednotlivé úseky stoupaček a příslušné okruhy tak, abych zjistil nejvyšší tlakovou ztrátu v otopné soustavě pro menší byty. Nejvyšší tlakovou ztrátu má hlavní větev vedoucí do prvního patra a okruh prvního patra. Dispoziční tlak čerpadla pro menší otopnou soustavu bude tedy 7,79 kPa. Ostatní okruhy se musí vyvážit podle této hlavní větve, jak je uvedeno v následující tabulce.

Tab. 20 Rozdíly v tlakových ztrátách úseků a okruhů v menší soustavě

Větev	Tlaková ztráta větve celková Δp_{cv} [Pa]	Nutno doregulovat Δp_r [Pa]
Kotel-1.patro	7792,8	0
Kotel-2.patro	5280,4	2512,4
Kotel-3.patro	5032,4	2760,4
Kotel-4.patro	5585,3	2207,5

5.4.2 Výpočet potrubní sítě pro větší byty

Pro větší otopnou soustavu platí identický postup jako pro tu menší. Níže jsou k dispozici výsledky výpočtů tlakových ztrát jednotlivých okruhů soustavy, tlakových ztrát stoupaček a nutného vyvážení soustavy podle hlavní větve, která je opět ta vedoucí

do prvního podlaží domu. Dispoziční tlak čerpadla větší soustavy je tedy podle tabulky 22 roven 17,18 kPa.

Tab. 21 Tlakové ztráty stoupaček ve větší soustavě

Patro	Dimenze potrubí	Tlaková ztráta třením Δp_{zt} [Pa]	Tlaková ztráta místními odpory Δp_{zm} [Pa]	Tlaková ztráta celková Δp_z [Pa]
1.patro	16x2	420	80,4	500,4
2.patro	20x2,25	308	130,7	438,7
3.patro	20x2,25	610,4	263,8	874,2
4.patro	20x2,25	1406	1478,9	2884,9

Tab. 22 Rozdíly v tlakových ztrátách úseků a okruhů ve větší soustavě

Větev	Tlaková ztráta větve celková Δp_{cv} [Pa]	Nutno doregulovat Δp_r [Pa]
Kotel-1.patro	17178,8	0
Kotel-2.patro	10733,3	6445,5
Kotel-3.patro	10294,6	6884,2
Kotel-4.patro	12213,6	4965,2

5.5 Vyvážení okruhů otopných soustav

Pro vyvážení tlakových ztrát okruhů otopných soustav, aby vytápění fungovalo tak, jak má a aby do otopných těles proudilo projektované množství vody, se používají vyvažovací ventily. Já v projektu instaluji vyvažovací ventily STAD-C od firmy IMI Hydronic Engineering.

Vyvažovací ventily se budou instalovat do všech pater vždy na přívodní potrubí ke každému okruhu v instalační šachtě.

Důležité je nechat všechny termostatické regulační ventily, případně další regulační armatury v soustavách, při nastavování vyvažovacích ventilů plně otevřené, aby neovlivňovaly nastavení vyvážení otopné soustavy.



Obr. 35 Vyvažovací ventil IMI STAD-C [38]

5.5.1 Vyvážení menší otopné soustavy

V nejnižším podlaží bude vyvažovací ventil plně otevřen a v ostatních patrech se odpor nastaví podle tab. 23.

Pro výpočet k_v hodnoty vyvažovacího ventilu se použije vzorec z brožury výrobce

$$k_v = 0,01 \frac{\dot{M}_O}{\sqrt{\Delta p_r}} \quad (52)$$

kde

Δp_r je požadovaná tlaková ztráta ventilu pro doregulování [kPa]. [38]

Díky možnosti velice přesnému nastavení ventilu otočením stupnice na setiny se výsledné tlakové ztráty teoreticky neliší ani o 1 %. Celková tlaková ztráta je vždy součet tlakové ztráty přívodního potrubí, daného okruhu a zpátečního potrubí zpět ke kotli.

Tab. 23 Nastavení vyvažovacích ventilů v menší otopné soustavě

Větev	Tlaková ztráta větve celková Δp_{cv} [Pa]	Nutno doregulovat Δp_r [Pa]	k_v [$m^3 \cdot h^{-1}$]	Nastavení ventilu	Tlaková ztráta ventilu Δp_{vv} [Pa]	Tlaková ztráta celková s ventilem Δp_v [Pa]
Kotel-1.patro	10201,6	0	2,50	4,0	138	10339
Kotel-2.patro	7426,2	2775,4	0,39	1,68	2913	10339
Kotel-3.patro	6930,2	3271,4	0,36	1,61	3409	10339
Kotel-4.patro	7047,7	3153,8	0,45	1,8	3292	10339

5.5.2 Vyvážení větší otopné soustavy

Vyvážení větší otopné soustavy proběhne úplně stejně. V nejnižším podlaží bude vyvažovací ventil opět plně otevřen a v ostatních patrech se odpor nastaví podle následující tabulky.

Tab. 24 Nastavení vyvažovacích ventilů ve větší otopné soustavě

Větev	Tlaková ztráta větve celková Δp_{cv} [Pa]	Nutno doregulovat Δp_r [Pa]	k_v [$m^3 \cdot h^{-1}$]	Nastavení ventilu	Tlaková ztráta ventilu Δp_{vv} [Pa]	Tlaková ztráta celková s ventilem Δp_v [Pa]
Kotel-1.patro	21877	0	2,50	4,0	284	22161
Kotel-2.patro	14931,1	6945,9	0,36	1,6	7230	22161
Kotel-3.patro	14053,6	7823,3	0,34	1,57	8107	22161
Kotel-4.patro	15098,5	6778,4	0,45	1,8	7063	22161

5.6 Zdroje tepla

Při volbě zdroje tepla by se mělo brát v úvahu několik faktorů. Požadujeme nízké provozní náklady, co největší bezobslužnost a nízké investiční náklady. Můžu se rozhodnout mezi několika možnostmi, které by připadaly v úvahu – kotel na zemní plyn nebo na biomasu, tepelné čerpadlo nebo elektrický kotel. Elektrické kotle nejsou vhodné vzhledem k velikosti budovy, otopných soustav a s tím spojených provozních nákladů na vytápění. Tepelné čerpadlo země/voda není vůbec uvažováno vzhledem k situaci a poloze budovy v širším centru Prahy. Tepelné čerpadlo vzduch/voda není vhodné vzhledem k tomu, že celá kotelna se bude nacházet na půdě a dům má sedlovou střechu, tudíž by byl problém s osazením venkovní jednotky tepelného čerpadla. A navíc jsou u tepelných čerpadel velké počáteční náklady. U kotle na biomasu je důležité poskytnout místo na uložení paliva, což vzhledem k poloze kotelny není snadné a rozhodně by se nemohlo mluvit o bezobslužnosti kotle. Plynové kondenzační kotle jsou nejpoužívanější zdroje tepla v naší zemi, disponují vysokou účinností, rychlým zátopením a relativně nízkými provozními náklady. Jejich účinnost není prudce klesající s klesajícím tepelným výkonem jako u kotlů na tuhá paliva.

Z důvodu požadavků a rozdělení vzduchotechniky na dvě vzduchotechnické jednotky, a to pro větrání menších bytů a větších bytů, budou instalovány dva kotle na půdu, které budou zabezpečovat vytápění menších a větších bytů opět odděleně. Volím dva kondenzační plynové kotle i s přihlédnutím k požadavkům projektu.

Návrhový tepelný výkon kotle pro menší otopnou soustavu zajišťující vytápění všech čtyř bytů 2+1 je roven tepelným ztrátám prostupem v menších bytech, které vyšly $\Phi_{T,i} = 3590 \text{ W}$.

Návrhový tepelný výkon kotle pro větší otopnou soustavu zajišťující vytápění všech čtyř bytů 4+1 je roven tepelným ztrátám prostupem ve větších bytech $\Phi_{T,i} = 5195 \text{ W}$.

Oba zdroje tepla budou nástěnné plynové kondenzační kotle Viessmann Vitodens 200-W o maximálním tepelném výkonu 11 kW. Kotel obsahuje modulový plynový hořák MatriX-Plus s inteligentní regulací spalování Lambda Pro Plus pro nízké emise škodlivin a tichý provoz, vestavěnou membránovou tlakovou expanzní nádobu o objemu deseti litrů



Obr. 36 Viessmann Vitodens 200-W [34]

nebo integrované oběhové čerpadlo s regulovatelnými otáčkami. Normovaný stupeň využití vztažený ke spalnému teplu je 98 % a účinnost vztažená k výhřevnosti je 109 %. Následují technické parametry. [34]

Tab. 25 Technické parametry kotle Viessmann Vitodens 200-W [34]

Typ		B2HE		
Rozsah jmenovitého tepelného výkonu (údaje podle ČSN EN 15502)				
$T_v/T_R = 50/30 \text{ °C}$				
Zemní plyn	kW	1,9 - 11,0	1,9 - 19,0	1,9 - 25,0
Zkapalněný plyn	kW	2,5 - 11,0	2,5 - 19,0	2,5 - 25,0
$T_v/T_R = 80/60 \text{ °C}$				
Zemní plyn	kW	1,7 - 10,1	1,7 - 17,4	1,7 - 22,9
Zkapalněný plyn	kW	2,2 - 10,1	2,2 - 17,4	2,2 - 22,9
Jmenovitý tepelný výkon při ohřevu pitné vody				
Zemní plyn	kW	1,7 - 17,4	1,7 - 17,4	1,7 - 22,9
Zkapalněný plyn	kW	2,2 - 17,4	2,2 - 17,4	2,2 - 22,9
Jmenovitý tepelný příkon				
Zemní plyn	kW	1,8 - 17,8	1,8 - 17,8	1,8 - 23,4
Zkapalněný plyn	kW	2,3 - 17,8	2,3 - 17,8	2,3 - 23,4
Identifikační číslo výrobku		CE-0085CT0017		
Stupeň krytí podle ČSN EN 60529		IP X4		
Připojovací tlak plynu				
Zemní plyn	mbar	20	20	20
	kPa	2	2	2
Zkapalněný plyn	mbar	50	50	50
	kPa	5	5	5
Max. přípustný připojovací tlak plynu^{**f}				
Zemní plyn	mbar	25,0	25,0	25,0
	kPa	2,5	2,5	2,5
Zkapalněný plyn	mbar	57,5	57,5	57,5
	kPa	5,75	5,75	5,75
Hladina akustického výkonu (údaje podle ČSN EN ISO 15036-1)				
Při dílčím výkonu	dB(A)	27	27	27
Při jmenovitém tepelném výkonu (ohřev pitné vody)	dB(A)	41	41	42
Elektrický příkon (ve stavu při dodání)	W	37	47	68
Hmotnost				
– Bez topné vody a obalu	kg	33,0	33,0	33,0
– S topnou vodou	kg	38,6	38,6	38,6
Objem vody (bez membránové tlakové expanzní nádoby)				
	l	3,0	3,0	3,0
Max. teplota přívodní větve	°C	82	82	82
Max. objemový tok (mezí hodnota pro použití hydraulického oddělení)	l/h		/iz graf zbytkové dopravní výšky	
Jmenovité oběhové množství vody při $T_v/T_R = 80/60 \text{ °C}$	l/h	473	818	1076
Membránová tlaková expanzní nádoba				
Objem	l	10	10	10
Vstupní tlak	bar	0,75	0,75	0,75
	kPa	75	75	75
Přípustný provozní tlak	bar	3	3	3
	MPa	0,3	0,3	0,3
Rozměry				
Délka	mm	360	360	360
Šířka	mm	450	450	450
Výška	mm	700	700	700
Plynová přípojka	R	¾	¾	¾

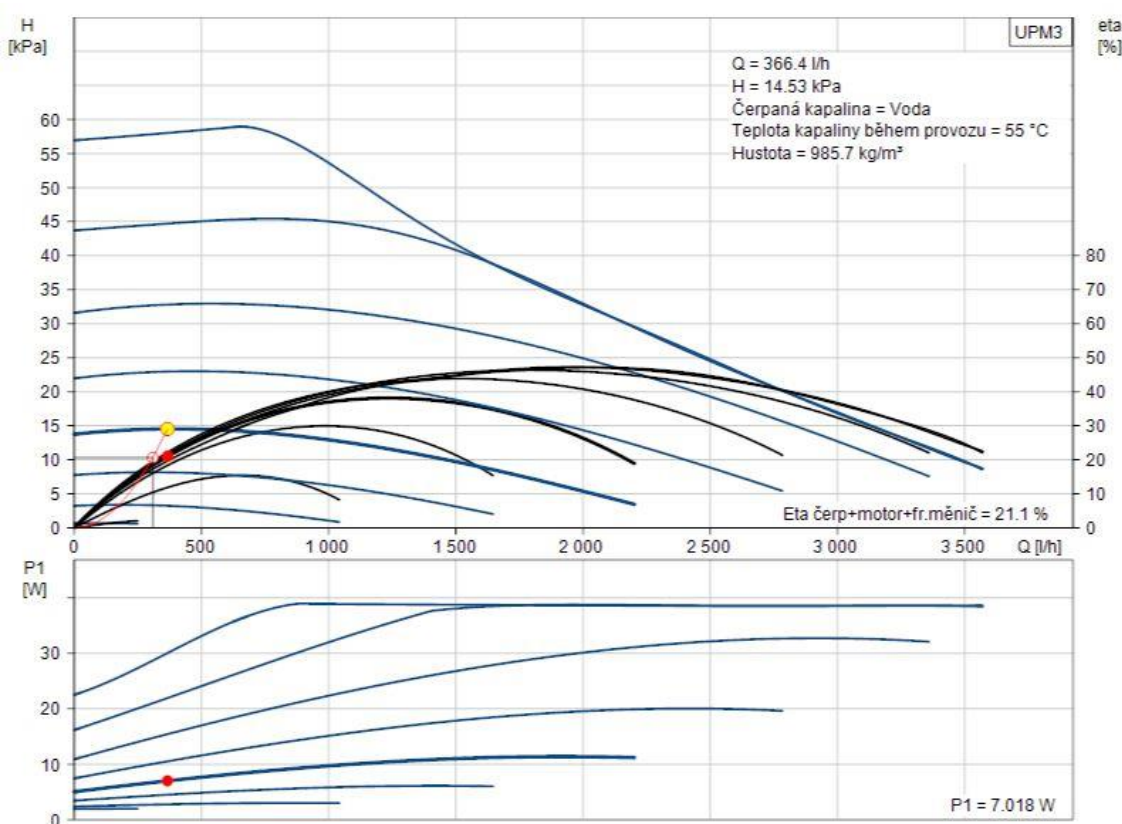
5.7 Oběhová čerpadla

Čerpadlo je nedílnou součástí otopných soustav s nuceným oběhem. Standardně se instaluje za kotel, aby byl v otopné soustavě přetlak. Pokud by bylo čerpadlo před kotlem, většina otopné soustavy včetně otopných těles by byla v podtlaku a hrozilo by přísávání kyslíku do soustavy. [26]

V mém případě již oba kotle disponují integrovanými oběhovými čerpadly Grundfos UPM3 15-60. Otáčky čerpadla a tím i jeho čerpací výkon jsou regulovány v závislosti na venkovní teplotě vzduchu. [34]

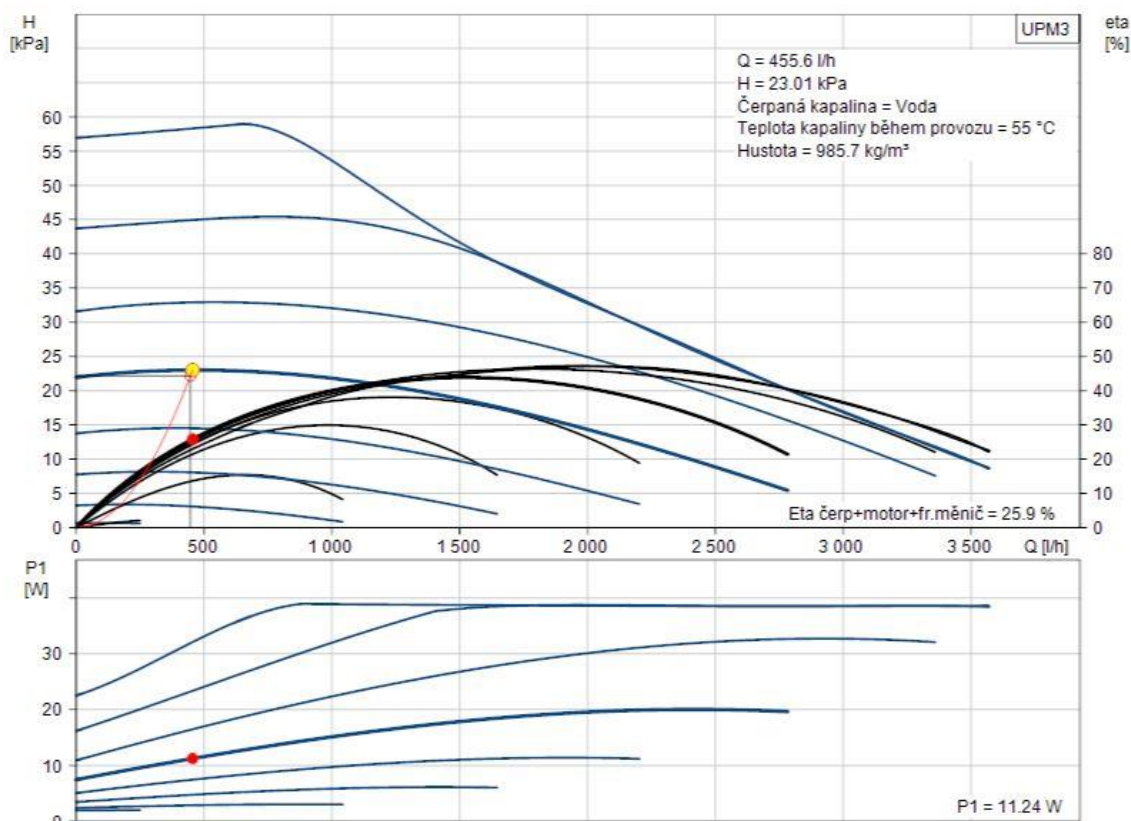
Jak již bylo zmíněno, dispoziční tlak čerpadla se rovná celkové tlakové ztrátě hlavní větve, kterou musí čerpadlo překonat, aby docházelo k bezproblémovému proudění otopné vody v soustavě. Pro menší otopnou soustavu to tedy bude $10,34 \text{ kPa}$ při průtoku $309 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ a pro větší otopnou soustavu to je $22,16 \text{ kPa}$ při průtoku $447 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$.

Pro zobrazení pracovních bodů čerpadel jsem použil návrhovou aplikaci čerpadel na stránkách výrobce Grundfos. Pracovní bod oběhového čerpadla pro menší otopnou soustavu je zobrazen na následujícím obrázku.



Obr. 37 Pracovní bod čerpadla Grundfos UPM3 15-60 pro menší otopnou soustavu [37]

Pracovní bod pro oběhové čerpadlo větší otopné soustavy je k dispozici na následujícím obrázku.



Obr. 38 Pracovní bod čerpadla Grundfos UPM3 15-60 pro větší otopnou soustavu [37]

5.8 Pojistná a zabezpečovací zařízení

Pojistné zařízení jistí zdroj tepla proti překročení nejvyššího dovoleného přetlaku $p_{h,dov}$. Pojistná zařízení jsou standardně instalována do kotlů samotnými výrobci, kteří jsou za jejich návrh zodpovědní. [27]

Výrobce kotle Viessmann u obou použitých shodných kotlů udává otevírací přetlak zabudovaných pojistných zařízení (pojistných ventilů) 300 kPa. Otevírací přetlak je roven nejvyššímu dovolenému přetlaku, jinými slovy platí rovnost

$$p_{ot} = p_{h,dov}, \quad (53)$$

kde

p_{ot} je otevírací tlak pojistného ventilu [kPa],

$p_{h,dov}$ je nejvyšší dovolený přetlak [kPa]. [27]

Zabezpečovací zařízení zabezpečuje otopnou soustavu proti náhlým změnám teplot, resp. tlaků, v rámci tepelné roztažnosti otopné vody v soustavě. Zabezpečovací zařízení může být realizováno tlakovou membránovou nebo vakovou expanzní nádobou, automatickým expanzním zařízením nebo otevřenou expanzní nádobou, která funguje zároveň i jako pojistné zařízení. [27]

Výrobce kotle Viessmann udává, že oba shodné kotle obsahují vestavěnou tlakovou membránovou expanzní nádobu o objemu deseti litrů. Vstupní tlak je 75 kPa. Já ověřím, zda je taková expanzní nádoba dostačující. Objem tlakové expanzní nádoby V_{EN} se vypočítá podle vztahu

$$V_{EN} = \frac{1,3 \cdot V_{OS} \cdot n}{\eta}, \quad (54)$$

kde

V_{OS} je celkový objem vody v soustavě [m^3],

n je součinitel zvětšení objemu [–],

η je stupeň využití expanzní nádoby [–]. [27]

Celkový objem vody v soustavě zahrnuje objem vody v kotli, v potrubí a otopných tělesech. Objem vody v kotli udává výrobce 3 l. Objem vody v otopných tělesech udává výrobce pro každý typ použitého otopného tělesa. Celkový výpočet objemu je k dispozici v elektronické příloze.

Součinitel zvětšení objemu n se určuje podle rozdílu nejvyšší teploty vody v otopné soustavě (v mém případě 55 °C) a nejnižší teploty vody při napouštění (standardně 10 °C pro studenou vodu). V mém případě je tento rozdíl tedy roven 45 °C. A poté z tabulky [36] naleznou příslušnou hodnotu součinitele zvětšení objemu pro 45 °C jako $n = 0,01413$.

Pro stupeň využití expanzní nádoby použijí vzorec

$$\eta = \frac{p_{h,dov,A} - p_{d,dov,A}}{p_{h,dov,A}}, \quad (55)$$

kde

$p_{h,dov,A}$ je nejvyšší dovolený absolutní tlak, tedy absolutní otevírací tlak pojistného ventilu [kPa],

$p_{d,dov,A}$ je nejnižší dovolený absolutní tlak [kPa]. [27]

Pro nejvyšší dovolený absolutní tlak platí jednoduchý vzorec, kdy se k otevíracímu tlaku pojistného ventilu připočte barometrický tlak, který se obecně rovná stu

$$p_{h,dov,A} = p_{h,dov} + 100 = p_{ot} + 100. \quad (56)$$

V mém případě dosadím a spočtu nejvyšší dovolený absolutní tlak jako

$$p_{h,dov,A} = p_{ot} + 100 = 300 + 100 = 400 \text{ kPa}. \quad (57)$$

Nejnižší dovolený absolutní tlak se vypočte ze vzorce

$$p_{d,dov,A} = p_{d,dov} + 100 = 1,1 \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3} + 100, \quad (58)$$

kde

$p_{d,dov}$ je nejnižší dovolený přetlak [kPa],

ρ je hustota vody rovna 1000 [kg · m⁻³],

g je gravitační zrychlení rovno 9,81 [m · s⁻²],

h je výška vodního sloupce nad expanzní nádobou [m]. [27]

Protože se v mém případě jedná o nástřešní kotelnu, nemám nad expanzní nádobou žádný vodní sloupec a článek [36] uvádí, že je ideální zvolit nejnižší dovolený přetlak $p_{d,dov}$ mezi 60 a 100 kPa. Z daného doporučeného intervalu volím nejvyšší přetlak. Ten samý přetlak je poté nutno nastavit na expanzní nádobě na straně vzdušiny.

Nejnižší dovolený absolutní přetlak je poté

$$p_{d,dov,A} = 100 + 100 = 200 \text{ kPa}. \quad (59)$$

Po dosazení vychází stupeň využití expanzní nádoby

$$\eta = \frac{p_{h,dov,A} - p_{d,dov,A}}{p_{h,dov,A}} = \frac{400 - 200}{400} = 0,5. \quad (60)$$

Celkový objem expanzní nádoby pro menší otopnou soustavu je

$$V_{EN} = \frac{1,3 \cdot V_{OS} \cdot n}{\eta} = \frac{1,3 \cdot 75 \cdot 0,01413}{0,5} = 2,8 \text{ l}. \quad (61)$$

Celkový objem expanzní nádoby pro větší otopnou soustavu je

$$V_{EN} = \frac{1,3 \cdot V_{OS} \cdot n}{\eta} = \frac{1,3 \cdot 95 \cdot 0,01413}{0,5} = 3,5 \text{ l}. \quad (62)$$

S ohledem na to, že je v obou kotlích identická tlaková expanzní nádoba o objemu 10 litrů, tak můžu konstatovat, že dané expanzní nádoby jsou dostačující v obou otopných soustavách.

5.9 Tepelná izolace rozvodů

Podle paragrafu 5 vyhlášky č. 193/2007 Sb., který pojednává o tepelné izolaci zařízení pro rozvod tepelné energie a vnitřní rozvod tepelné energie pro vytápění

a technologické účely a pro rozvod teplé vody, je tepelná izolace nezbytná všude tam, kde rozvody neslouží k temperování nebo vytápění prostoru.

Tepelná izolace vnitřních rozvodů musí být provedena z materiálů, které mají součinitel tepelné vodivosti $\lambda \leq 0,04 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. [41]

Potrubí rozvodů mají světlosti 20x2,25 pro potrubí od kotle a stoupačky ve 2. – 4. patře. Bytové okruhy a stoupačky v 1. patře mají světlost 16x2. Tloušťka tepelné izolace se stanoví, podle již zmíněné vyhlášky tak, aby součinitel prostupu tepla vztažený na jednotku délky potrubí s izolací nepřekročil hodnotu $U = 0,15 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ pro DN 12 i DN 15.

Součinitel prostupu tepla vztažený na jednotku délky se vypočte ze vztahu

$$U = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_i d} + \frac{1}{2\lambda_{tr}} \ln \frac{D}{d} + \frac{1}{2\lambda_{iz}} \ln \frac{D_{iz}}{D} + \frac{1}{\alpha_{iz} D_{iz}}}, \quad (63)$$

kde

α_i je součinitel přestupu tepla na vnitřní straně trubky [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$],

d je vnitřní průměr trubky [m],

D je vnější průměr trubky [m],

D_{iz} je vnější průměr trubky s nasazenou izolací [m],

λ_{tr} je součinitel tepelné vodivosti materiálu trubky [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],

λ_{iz} je součinitel tepelné vodivosti materiálu izolace [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],

α_{iz} je součinitel přestupu tepla na povrchu izolace [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]. [41]

Pro trubky o rozměrech 16x2 vyjde tloušťka izolace asi 60 mm a pro větší rozměr 20x2,25 dokonce přes 82 mm. Tento výsledek je z hlediska proveditelnosti nesmyslný, protože by tloušťka izolace byla mnohonásobně větší než samotný průměr potrubí a rovněž by byla velmi vysoká cena izolace. Vyhláška tedy dovoluje použití optimalizačního výpočtu zahrnující vliv ekonomicky efektivní úspory energie. Tento výpočet zahrnuje jak náklady na tepelné ztráty, tak náklady na tepelnou izolaci v závislosti na tloušťce izolace. Všechny zmíněné náklady jsou měrné vztažené na jednotku délky potrubí. Následně se jednotlivé křivky graficky sečtou a určí se lokální minimum funkce, které odpovídá preferované tloušťce izolace.

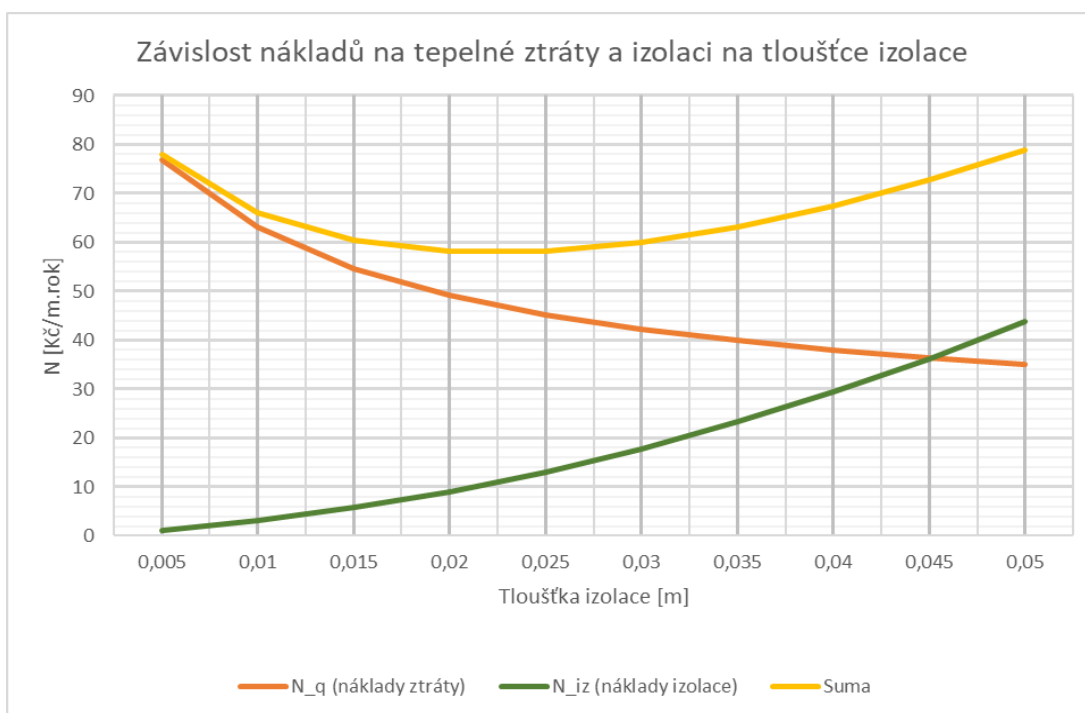
Jak vidíme na následujících grafech, křivky nákladů na tepelné ztráty, nákladů na izolaci a součtu obou jsou závislé na tloušťce izolace. Výpočet je proveden v Příloze 1. Pro potrubí o průměru 16x2 je ideální tloušťka izolace kolem 0,02 m a pro větší použité

potrubí 20x2,25 to je spíše 0,025 m. Avšak grafy ukazují, že součet nákladů se pro obě potrubí téměř nemění v rozmezí od 20 do 25 mm. Proto pro všechna potrubí použiji stejný rozměr izolace.

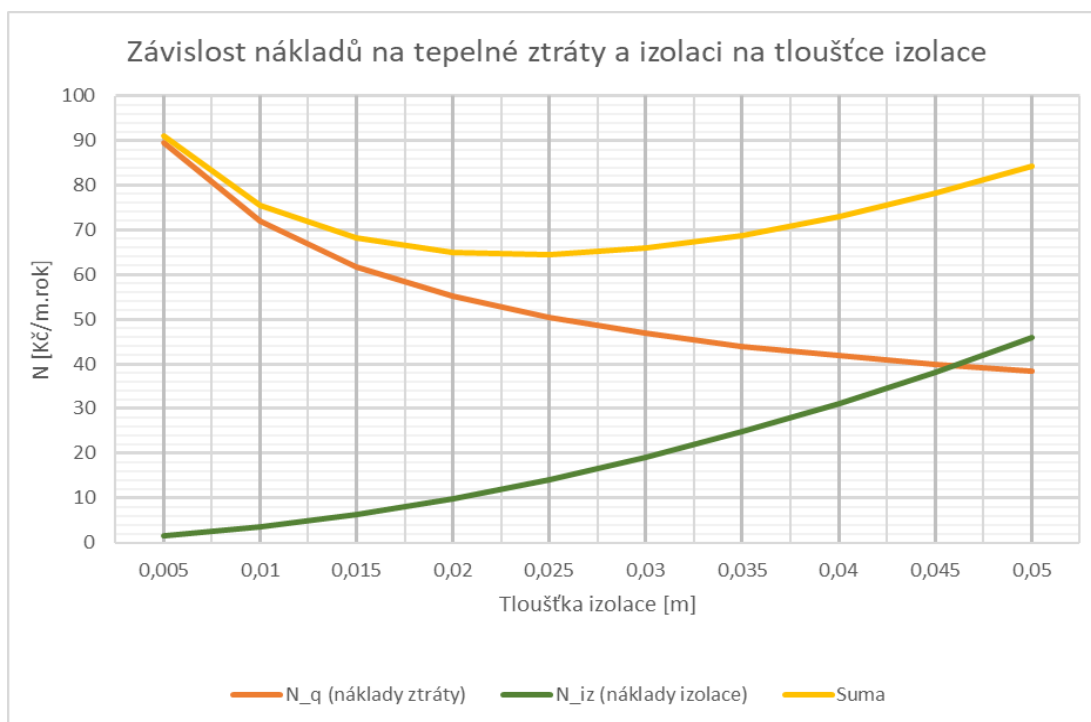
Vyhláška rovněž umožňuje při izolování vnitřních měděných a plastových potrubí instalování tloušťky tepelné izolace podle vnějšího průměru potrubí nejbližšího vnějšímu průměru potrubí řady DN.

Podle možností výrobní řady výrobce volím návlekovou izolaci Mirelon Pro o tloušťce 13 mm. Tepelná izolace rovněž chrání plastové potrubí před mechanickým poškozením. Izolace armatur se provádí jako snímatelná, aby byl vždy umožněn přístup při servisu nebo výměně.

Mnou navrhovaná tloušťka izolace je i v souladu s doporučením výrobce potrubí WAVIN Ekoplastik, který doporučuje tloušťku v rozmezí od 4 mm pro potrubí zalité betonem nebo pod omítkou samostatně vedené až do 13 mm pro potrubí v instalační šachtě vedené souběžně s teplým potrubím.



Obr. 39 Závislost součtu nákladů na tloušťce izolace pro potrubí 16x2



Obr. 40 Závislost součtu nákladů na tloušťce izolace pro potrubí 20x2,25

5.10 Odvod kondenzátu od kotlů

Při provozu plynových kondenzačních kotlů vzniká kondenzát, který je nutné odvádět. Přípojka na kotli pro odvod kondenzátu má průměr 20–24 mm. Maximální možné množství kondenzátu je podle výrobce $2,5 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$.

Vzniklý kondenzát je středně silná kyselina skládající se z vody, kyseliny uhličitě a dusičné nebo sulfátů. Z hlediska ekologického jsou neškodné. Podle německé normy DIN 1986-100: 2002-03 beru v úvahu, že pro kotle o výkonu do 25 kW je možné napojení odvodu kondenzátu přímo na kanalizaci. Pokud má kotel výkon od 25 kW do 200 kW, tak je napojení možné bez neutralizace, je-li kondenzát během nočního provozu zachycován ve zdržovací nádrži a během dne pak pozvolna vypouštěn spolu s ostatními splaškovými vodami tak, aby nebylo dosaženo limitní kyselosti. Pokud kotel disponuje výkonem nad 200 kW, tak je napojení možné až po neutralizaci kondenzátu. [40] [41]

Za správný odvod kondenzátu nese zodpovědnost část projektu o zdravotně technických instalacích. Odtokové potrubí je důležité vést od kotle nad vpust' volně tak, aby mezera mezi potrubím a vpustí byla minimálně 40 mm. Zabrání se tak hromadění kondenzátu v kotli a odtokovém potrubí například při ucpané vpusti nebo svodném potrubí. Kotel by se takto mohl poškodit. Použitá vpust' bude takzvaný kondenzační sifon

s integrovanou zápachovou uzávěrkou, kterou musí mít každý zařizovací předmět nebo vpusť. [40]

6. REGULACE VYTÁPĚNÍ

Regulaci vytápění se dělí na místní regulaci otopných těles a centrální regulaci zdroje tepla.

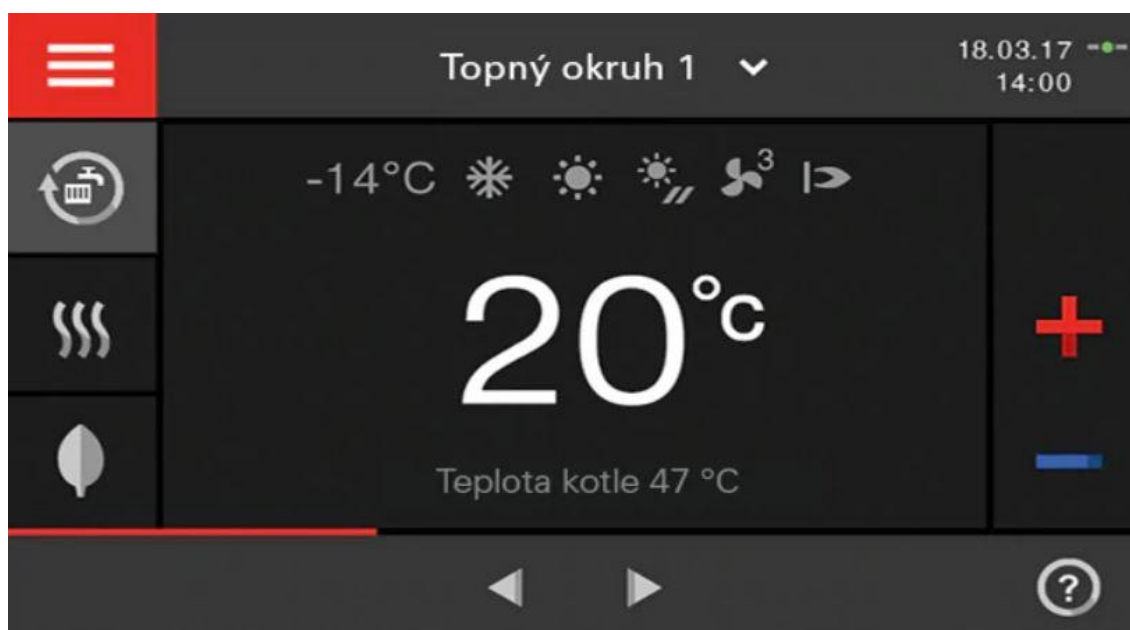
Regulovat příkon tepla otopné soustavy je možné podle

- výstupní teploty otopné vody ze zdroje tepla
- vnitřní teploty vzduchu a to
 - přímo, kdy regulujeme zdroj tepla
 - nepřímo, kdy regulujeme vstupní teplotu vody do otopné soustavy například směřováním a poté je nutné regulovat zdroj tepla samostatně
 - místně, kdy regulujeme výkon jednotlivých otopných těles v soustavě a zdroj tepla je opět nutné regulovat samostatně
- venkovní teploty vzduchu – ekvitermně
 - přímo, kdy regulujeme zdroj tepla
 - nepřímo, kdy regulujeme vstupní teplotu vody do otopné soustavy a poté je nutné regulovat zdroj tepla samostatně
- zátěže či zátěží, kdy je teplota vody řízena v závislosti na potřebě tepla bez použití venkovního nebo vnitřního čidla teploty. [35]

S přihlédnutím na typ a velikost objektu se jako nejlepší typ zdá regulace podle venkovní teploty vzduchu. Regulaci podle vnitřní teploty vzduchu není vhodné použít, protože se jedná o dům s mnoha bytovými jednotkami a nelze jednoduše vybrat referenční místnost pro umístění čidla měření vnitřní teploty. To platí i o preciznější ekvitermní regulaci se zpětnou vazbou na vnitřní teplotu. Centrální regulace zdroje tepla bude tedy ekvitermní podle venkovních klimatických podmínek. Dům je nutné osadit venkovním čidlem teploty, který předává elektronickou formou informaci regulátoru Viessmann Vitotronic integrovaném na kotli. Regulátor poté pracuje podle předem definované otopné křivky, jejíž poloha se nastaví experimentem, při kterém jsou termostatické regulační ventily zcela otevřené. Při prvním nastavení regulátoru se nastaví teplota vstupní vody podle projektu. Čidlo teploty se umístí na severní fasádu, kde je co nejméně ovlivněno slunečním zářením minimálně 2,5 m nad zem. Avšak čidlo se nesmí umístit

tam, kde by mohlo docházet k jeho ovlivnění prouděním vzduchu z domu, to znamená nad okna, dveře, balkony nebo větrací mřížky. [35] [50]

Samotný kotel je osazen sedmipalcovým barevným displejem pro pohodlné ovládání. Na displeji je možné mimo jiné sledovat spotřebu energie při provozu kotle. Kotel lze také přes Wi-Fi propojit s chytrým telefonem a ovládat ho poslední dobou velice moderním, intuitivním a snadným způsobem. Pro uživatele nebo servisní techniky je připravena aplikace ViCare, přes kterou lze snadno zjistit stav nebo typ závady na zařízení. [34]



Obr. 41 Prostředí sedmipalcového displeje kotle Viessmann Vitodens 200-W [34]

Z důvodu aplikace dvou kondenzačních kotlů v půdním prostoru bude centrální regulace dvouzónová. Každá polovina bytového domu tak bude regulována samostatně. Regulace každé zóny a každé bytové jednotky bude uživatelsky držena pomocí termostatických hlavic u otopných těles.

Místní regulace, která slouží k nastavení a regulaci teploty vzduchu ve vytápěné místnosti, je zastoupena termostatickými hlavicemi osazenými na regulačních ventilech otopných těles, v mém případě přímo na ventilových vložkách otopných těles. Jedná se vlastně o přímočinné proporcionální regulátory vykazující trvalou regulační odchylku. Protože jsem celé otopné soustavy zareguloval vyvažovacími ventily přesně, budou termostatické hlavice instalovány plně otevřené. [35]

Existují různé typy termostatických hlavic, a to s paroplynovou nebo kapalinovou náplní, případně poté hlavice poháněny vnějšími silami – termopohony nebo servopohony. Dále by bylo možné uvažovat o elektronických digitálních chytrých hlavicích, ale z důvodu typu řešeného objektu jsem je vyloučil. Termostatické hlavice s kapalinovou náplní a ovladačem i čidlem v hlavici se vyrábí nejvíce, jedná se o nejčastější typ hlavic v panelákových bytech nebo veřejných budovách a jsou také kvůli velké konkurenci nejlevnější. Tyto hlavice nevyžadují pomocnou energii, reagují pouze na odchylku mezi nastavenou a skutečnou teplotou v místnosti a tím otevírají nebo uzavírají termostatický ventil. [35] [51]



Obr. 42 Termostatická hlavice IMI Heimeier DX [39]

Nevýhoda klasických hlavic s kapalinovou náplní může být to, že se u nich může objevit větší nepřesnost regulace z důvodu umístění vnitřního termostatu přímo vedle otopného tělesa. Proto se může v některých případech volit hlavice s externím teplotním čidlem.

Pro každé otopné těleso volím kapalinovou termostatickou hlavici IMI Heimeier DX s vestavěným čidlem. Připojovací závit těchto hlavic je M30x1,5. [39]

7. ODVOD SPALIN OD ZDROJŮ TEPLA

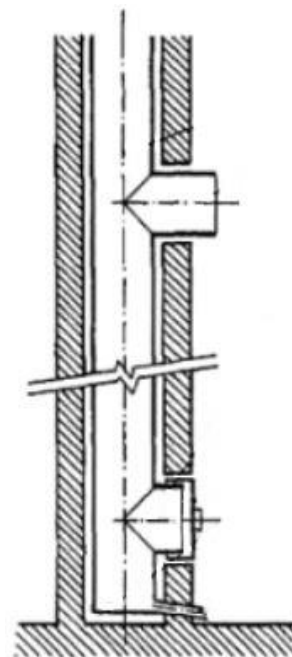
Odvod spalin řeší technická norma ČSN 73 4201 pojednávající o spalinových cestách, kouřovodech nebo připojování zařízení na plynná, pevná a kapalná paliva.

Plynový kondenzační kotel je zařízení typu C, což znamená, že se jedná o uzavřený spotřebič, který odebírá spalovací vzduch z venkovního prostoru nebo z komínu a jehož spaliny jsou odváděny do venkovního prostoru. [46]

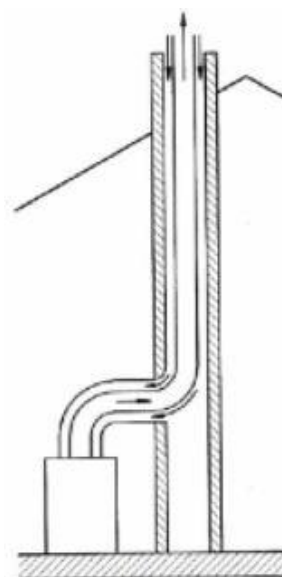
Z normy dále plyne, že kouřovod (úsek mezi spotřebičem a sopouchem) musí být při použití kondenzačních kotlů ve sklonu alespoň 5 % (což je 3°), aby mohl kondenzát odcházet zpět do kotle. Ze sopouchu poté kondenzát teče samotíží do kondenzátní jímky, která je umístěna na samém dně komínového pláště. U komínu také nesmí chybět kontrolní otvor pro čištění a revize. Z důvodu přítomnosti kondenzátu je typ komínu mokrý a přetlakový. U šikmé střechy musí být přetlakový komín vyveden minimálně 500 mm nad rovinou střechy, pro komíny s přirozeným tahem platí, že výška vrcholu musí být minimálně 650 mm nad vrcholem střechy. [47]

Spalinová přípojka kotle Viessmann Vitodens 200-W má průměr 60 mm. Přívod spalovacího vzduchu je kolem vložky komínu, což znamená, že je soustředný vůči spalinové přípojce a má průměr 100 mm. Jedná se o takzvaný koaxiální neboli koncentrický způsob odvodu spalin. Maximální možný hmotnostní tok spalin je podle výrobce $31,7 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ při maximální možné teplotě 120 °C. Maximální disponibilní tah je 250 Pa.

Pro odvod spalin se budou instalovat dva vnitřní spalinové systémy značky Almeva typ LIK DN 60/100, který umožňuje právě i přívod spalovacího vzduchu. Každý bude odvádět spaliny z jednoho kotle na půdě. Teplotní třída komínu



Obr. 43 Vyvložkované komínové těleso se sopouchem, kontrolním otvorem a kondenzátní jímkou [48]



Obr. 44 Schéma koaxiálního komínu (středem odvod spalin, mezikružím přívod spalovacího vzduchu) [48]

je T120, což určuje jmenovitou provozní teplotu 120 °C, tedy zároveň i maximální dovolenou teplotu spalin. Jedná se o plastový systém z PPH (homopolypropylen), který je lehký a zároveň pevný a tvrdý. Výhodou je možnost použití širokého množství různých tvarovek pro vedení spalinové cesty. [46] [49]

Koaxiální způsob odvodu spalin a přívodu spalovacího vzduchu ale může způsobit nechtěné pronikání spalin do přívaděcího vzduchu a zpět do kotle například z důvodu netěsnosti spalinové cesty a neodborné instalaci. Kotle Viessmann díky automatické regulaci spalování sondou Lambda Pro Plus rozpoznají přimíchání spalin do spalovacího vzduchu již při 20% podílu spalin ve spalovacím vzduchu a kotel se ihned vypne. Nad hranicí podílu spalin ve spalovacím vzduchu 20 % také rapidně stoupá koncentrace oxidu uhelnatého ve spalinách, který je nebezpečný pro lidský organismus a mohl by se tak nepozorovaně dostat zpět do kotle. [45]

8. POTŘEBA TEPLA NA VYTÁPĚNÍ

Pokud chceme zjistit celkové provozní náklady na provoz vytápění, musíme spočítat potřebu tepla na vytápění. Potřeba tepla lze vypočítat dvěma způsoby, a to denostupňovou metodou podle normy ČSN EN ISO 52 016-1 nebo takzvanou měsíční metodou podle normy ČSN EN ISO 13 790, která je pracnější na výpočet, protože zahrnuje vliv jak vnitřních tepelných zisků, tak i vnějších tepelných zisků od oslunění. Přesnost obou metod je srovnatelná, proto budu počítat pomocí snazší denostupňové metody.

8.1 Denostupňová metoda

Teoretická potřeba tepla na vytápění se spočítá ze vzorce

$$Q_d = 24 \cdot 3600 \cdot \Phi_{c,v} \cdot \frac{d(\theta_{is} - \theta_{e,m})}{\theta_{is} - \theta_e} e_i \cdot e_t \cdot e_d, \quad (64)$$

kde

Q_d je teoretická potřeba tepla na vytápění [J],

$\Phi_{c,v}$ je celková tepelná ztráta objektu (v tomto případě pouze prostupem, tepelná ztráta větráním je hrazena elektrickými ohřivači v jednotkách) [W],

d je počet dnů v otopném období [–],

θ_{is} je průměrná vnitřní teplota objektu [°C],

$\theta_{e,m}$ je průměrná venkovní teplota za otopné období [°C],

θ_e je venkovní výpočtová teplota [°C],

e_i je opravný součinitel na nesoučasnost tepelné ztráty větráním a prostupem [–],

e_t je opravný součinitel na snížení vnitřní teploty při přerušení vytápění [–],

e_d je opravný součinitel na zkrácení doby provozu otopné soustavy při přerušovaném vytápění [–]. [24]

Délka otopného období pro Prahu je již zmíněna v kapitole 4 této práce jako 225 dní, a to samé platí pro průměrnou venkovní teplotu za otopné období rovnu 4,3 °C. Opravné součinitele se volí z příslušné normy. Opravný součinitel na snížení vnitřní teploty při přerušení vytápění e_t volím jako 0,95 pro obytné budovy s nepřerušovaným vytápěním a opravný součinitel na zkrácení doby provozu otopné soustavy při přerušovaném vytápění e_d volím jako 1 pro trvale vytápěné budovy.

Opravný součinitel na nesoučasnost tepelné ztráty větráním a prostupem e_i vyjadřuje poměr

$$e_i = \frac{\Phi_{T,i}}{\Phi_{c,v}}, \quad (65)$$

kde

$\Phi_{T,i}$ je tepelná ztráta prostupem objektu rovna 8785 (výsledek z kapitoly 4) [W],

$\Phi_{c,v}$ je celková tepelná ztráta objektu [W]. [24]

Tepelná ztráta prostupem je vzata z kapitoly 4 jako 8785 W a celková tepelná ztráta je součet tepelné ztráty prostupem a větráním. Tepelné ztráty větráním pro obě vzduchotechnické jednotky jsou spočteny v kapitole 3.2. Po dosazení je opravný součinitel

$$e_i = \frac{\Phi_{T,i}}{\Phi_{c,v}} = \frac{8785}{8785 + 335 + 200} = 0,94. \quad (66)$$

Průměrná vnitřní teplota objektu θ_{is} se spočítá ze vztahu

$$\theta_{is} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \cdot \theta_{int,i}}{\sum_{i=1}^n V_i}, \quad (67)$$

kde

V_i je vnitřní objem místnosti [m^3],

$\theta_{int,i}$ je vnitřní výpočtová teplota místnosti [$^{\circ}C$]. [24]

Po dosazení do vztahu a výpočtu v Excelu (Příloha 1) vyjde hodnota průměrné teploty $\theta_{is} = 20,23 \text{ }^{\circ}C$.

Teoretická potřeba tepla je po dosazení rovna

$$Q_d = 24 \cdot 3600 \cdot 8785 \cdot \frac{225(20,23 - 4,3)}{20,23 - (-12)} \cdot 0,94 \cdot 0,95 \cdot 1 = 75378,1 \text{ MJ} \\ = 75,4 \text{ GJ}. \quad (68)$$

Skutečná potřeba tepla na vytápění se poté spočítá ze vztahu

$$Q_{d,skut} = \frac{Q_d}{\eta_K \cdot \eta_R \cdot \eta_O}, \quad (69)$$

kde

η_K je účinnost zdroje tepla (kotle) [–],

η_R je účinnost rozvodů tepelné energie, která zahrnuje kvalitu tepelné izolace rozvodů tepla a způsob rozvodu potrubní sítě (nevytápěné prostory apod.) [–],

η_0 je účinnost obsluhy (regulace), která zahrnuje způsob regulace objektu (zónová, ekvitermní, zátěžová atd.) [-]. [24]

Účinnost rozvodů tepelné energie je standardně v rozmezí 0,95 až 0,98. Protože rozvody budou izolovány návlekovou tepelnou izolací, volím tuto účinnost rovnu 0,97. Účinnost regulace se pohybuje obvykle v rozmezí od 0,9 pro kotle na tuhá paliva do 0,99 pro plynový kotel s objektem rozděleným do zón. Pro můj případ volím hodnotu rovnu 0,97. [24]

Účinnost zdroje tepla udává vždy výrobce kotle. Pro použité kotle Viessmann Vitodens 200-W udává výrobce účinnost vztaženou ke spalnému teplu 0,98.

Po dosazení do vzorce získám hodnotu

$$Q_{d,skut} = \frac{75,4}{0,98 \cdot 0,97 \cdot 0,97} = 81,77 \text{ GJ}. \quad (70)$$

Potřebu paliva na vytápění U můžeme zjistit ze vzorce

$$U = \frac{Q_{d,skut}}{Hu} = \frac{81,77 \cdot 10^9}{35,87 \cdot 10^6} = 2\,279,7 \text{ m}^3, \quad (71)$$

kde

Hu je výhřevnost paliva pro tranzitní zemní plyn rovna $35,87 \text{ [MJ} \cdot \text{m}^{-3}]$. [24]

8.2 Celková potřeba energie

K potřebě tepla na vytápění ještě musím přičíst elektrickou energii, kterou budu potřebovat k provozu ventilátorů vzduchotechnických jednotek, elektrických ohříváčů vzduchu a chladičů v obou vzduchotechnických jednotkách.

Dodavatelem plynu je Pražská plynárenská, podle jejich ceníku lze přepočítat potřebu plynu jako $1 \text{ m}^3 = 10,62 \text{ kWh}$. Pro spotřebu tohoto bytového domu je tedy převod $2279,7 \text{ m}^3 = 24\,210,4 \text{ kWh} = 24,2 \text{ MWh}$. Aktuální cena plynu na rok 2021 je pro charakter odběru „Topím nad 15 do 25“ rovna $1\,285,31 \text{ Kč} \cdot \text{MWh}^{-1}$ a k této ceně je nutné připočítat tarif Ceny za stálý měsíční plat rovný $283,77 \text{ Kč} \cdot \text{měsíc}^{-1}$. Celková cena plynu tedy dohromady bude $C_p = 24,2 \cdot 1285,31 + 283,77 \cdot 12 = 34\,524 \text{ Kč}$ včetně DPH za otopné období.

Celkový potřebný výkon pro ohřev vzduchu ve vzduchotechnických jednotkách je 435 W. Při ročním neustálém provozu (24 hodin, 225 dní) to je 2,35 MWh. Podle sazby Standard je cena elektřiny $4\,637,18 \text{ Kč} \cdot \text{MWh}^{-1}$ (pouze vysoký tarif, nízký není v této

sazbě dostupný). Celková částka za elektřinu pro komplexní pokrytí ztrát větráním je tedy $C_O = 2,35 \cdot 4637,18 = 10\,898$ Kč včetně DPH za otopné období.

Při otopném období (225 dní, 24 hodin denně) jsou v provozu elektrická čerpadla obou kotlů. Příkon čerpadel obou plynových kondenzačních kotlů je 18,4 W, což při výpočtu spotřeby za otopné období dává 0,1 MWh. Částka za elektřinu pro pohon čerpadel kotlů je tedy $C_K = 0,1 \cdot 4637,18 = 464$ Kč včetně DPH za otopné období.

Chlazení je řešeno chladiči (přímými výparníky) ve vzduchotechnických jednotkách. V této práci není podle zadání řešena klimatizace objektu, ale v závislosti na typu budovy, by byla řešena individuálně v každé bytové jednotce podle požadavků nájemníků. Chlazení probíhá průměrně 4 měsíce v roce od půlky května do půlky září, když teplota venkovního vzduchu vystoupá nad 26 °C. Navíc v tomto rozpětí se chladí vzduch průměrně 6 hodin denně. Celkový chladicí výkon je 1530 W, chladivo v chladicím okruhu je poháněno kompresory. Při sezónním provozu (6 hodin, 120 dní) je spotřeba celkem 1,1 MWh. Standardně se spotřeba elektřiny ještě zvýší o 20 % z důvodu zmaření části energie v chladiči na kondenzaci na 1,32 MWh. Částka za elektřinu na chlazení je tedy $C_{Ch} = 1,32 \cdot 4637,18 = 6\,122$ Kč včetně DPH.

V neposlední řadě nesmím opomenout provoz vzduchotechnických jednotek, respektive v nich obsažených ventilátorů, které jsou poháněny elektřinou. Celkový příkon je 147 W a tyto ventilátory jsou v provozu nonstop celý rok (24 hodin, 365 dní). Celková spotřeba energie za ventilátory je tedy 1,29 MWh. Částka za elektřinu na pohon obou jednotek je tedy $C_{VZT} = 1,29 \cdot 4637,18 = 5\,982$ Kč včetně DPH.

Podle ceníku ČEZ k ceně za spotřebu elektřiny musím připočítat měsíční platbu za jistič. Jistič volím po úvaze 3 x 40 A s platbou 191,07 Kč · měsíc⁻¹. Částka za jistič je tedy $C_J = 191,07 \cdot 12 = 2\,293$ Kč včetně DPH za otopné období.

Pokud sečteme všechny částky za plyn a elektřinu, tak zjistíme, že za celý rok provozu vzduchotechniky a vytápění (tedy provoz ohřivačů pro krytí tepelných ztrát větráním, krytí tepelných ztrát prostupem otopnými soustavami za otopné období, celoroční provoz vzduchotechnických jednotek a několikaměsíční chlazení) zaplatíme $C_C = C_P + C_O + C_K + C_{VZT} + C_{Ch} + C_J = 34524 + 10898 + 464 + 6122 + 5982 + 2293 = 60\,283$ Kč včetně DPH.

8.3 Měření tepla

V požadavcích projektu je kladen důraz na použití kalorimetrického měření spotřeby tepla v každé bytové jednotce. Vyhláška č. 237/2014 Sb. stanovuje pravidla pro instalaci měrných ukazatelů spotřeby tepelné energie pro vytápění. Vyhláška přímo říká, že v případě vstupu a výstupu rozvodu tepla do a z bytové jednotky v jednom místě, musí být rozvod tepla osazen kalorimetrem.

Kalorimetr je zařízení určené k přímému měření tepla a skládá se z průtokoměru a dvou kalibrovaných teploměrů. Kalorimetr poté měří jak průtok vody v rozvodu, tak její teplotu na vstupu i výstupu. Celý výpočet spotřeby tepla je poté založen na principu kalorimetrické rovnice, kdy se přesně spočítá, kolik tepla bylo předáno do měřené bytové jednotky. Jelikož se jedná oficiálně o metrologické měřidlo, musí kalorimetr každé 4 roky procházet kalibrací. [42]

Měřiče tepla budou osazeny na zpátečním potrubí v instalačních šachtách před napojením na stoupačky. Volím ultrazvukový kalorimetr ENBRA Sharky 774 s jmenovitým průtokem $0,6 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (minimální průtok $6 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$), připojovacím rozměrem DN 15 a možností dálkového odečtu přes radiovou komunikaci. Součástí měřiče je průtokoměr, kalorimetrické počítadlo, dva odporové teploměry, kulový kohout s jímkou a dvě šroubení. [43]



Obr. 45 Kalorimetr ENBRA Sharky 774 [43]

Aby docházelo ke spravedlivému zúčtování tepla, ke každému z obou kotlů se instaluje membránový plynoměr ELSTER BK – G4 dvouhrdlový s roztečí 100 mm a s možným průtokem plynu od $0,04$ do $6 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Spotřeba plynu v kotlích se poté rozpočítá podle naměřených hodnot spotřebovaného tepla kalorimetry v jednotlivých bytových jednotkách. [44]

9. MONTÁŽ

Všechny přístroje a zařízení budou instalovány a provozovány s ohledem na montážní a servisní návody a návody k použití. Instalace všech komponentů bude provedena se zohledněním schválených a doporučených součástí ustanovených výrobcí. Nesprávné použití přístrojů a zařízení nebo neodborná obsluha jsou zakázány a vedou k vyloučení ze záruky. Zároveň se při montáži a instalaci musí brát v potaz pracovní postupy a bezpečnost práce všech pracovníků a montérů.

Po montáži rozvodů vytápění bude provedena tlaková a topná zkouška podle normy ČSN 06 0310.

9.1 Požadavky na související profese

9.1.1 Stavba

Sbíjení a vybourání prostupů a žlabů pro potrubí vytápění v podlahách bytových jednotek. Začištění, štukování a malba zazděných prostupů. Nátěry konzol a další technologie budou provedeny syntetickou základní barvou.

9.1.2 Elektro

Technologie půdního prostoru kotelny bude mít svůj vlastní elektrický rozvaděč. Rozvodnice bude plastová obsahující jisticí a ovládací prvky pro jednotlivé obvody. Veškerá technologická instalace včetně zásuvek pro připojení obou kotlů, obou vzduchotechnických jednotek a externího elektrického ohřívače bude napojena do daného elektrického rozvaděče. Rozvaděč bude připojen kabelem min. CYKY 5Cx6,0.

Instalace dalších elektrických napájecích kabelů dle potřeby kabely CYKY. Všechny kabely budou vedeny v lištách.

Všechny kovové konstrukce je nutné uzemnit.

9.1.3 Zdravotně technické instalace

Instalace rozvodů plynu pro plynový kondenzační kotel podle normy ČSN EN 1775. Výrobce udává maximální přípustný tlak zemního plynu 2,5 kPa. Nutno ověřit, zda je připojovací tlak plynu menší než maximální přípustný připojovací tlak, v opačném

případě je nutné před kotel zapojit samostatný regulátor tlaku plynu. Plynová přípojka má rozměr 3/4“.

Po montáži plynovodu provést zkoušku pevnosti a těsnosti vzduchem podle předpisu TPG 704 01. Zkouška pevnosti se provádí se zkušebním tlakem minimálně 100 kPa a zkouška těsnosti s minimálním tlakem 5 kPa.

Vyřešit odvod kondenzátu z obou vzduchotechnických jednotek a také z plynových kondenzačních kotlů do kanalizace.

Přímé výparníky ve vzduchotechnických jednotkách produkují $0,1 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ kondenzátu, dohromady tedy $0,2 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$.

Maximální množství kondenzátu plynového kotle dle výrobce je $2,5 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$, dohromady tedy $5 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$. Hadicové hrdlo pro odvod kondenzátu kotle má průměr 20-24 mm.

9.1.4 Požární bezpečnost

Půdní prostor kotelny tvoří samostatný požární úsek, a proto musí být prostupy potrubí do ostatních prostor (technologických šachet) požárně utěsněny.

10. ZÁVĚR

V rámci této diplomové práce jsem vypracoval komplexní studii větrání a vytápění čtyřpatrového nájemního domu se společným prostorem kotelny a strojovny vzduchotechniky v půdním prostoru.

V souladu s normou ČSN 73 0540-2 byl proveden návrh stavebních konstrukcí. Hodnoty součinitelů prostupu tepla jednotlivých konstrukcí odpovídají požadovaným hodnotám v normě.

Dále byl navrhnout systém nuceného větrání pro všechny bytové jednotky s dvěma nakonfigurovanými vzduchotechnickými jednotkami Atrea Duplex 500 Flexi-V s vysoce účinným zpětným získáváním tepla. Systém větrání hradí i tepelné ztráty objektu větráním, které jsou rovny 535 W. Kapitola o větrání řeší i kompletní návrh ohřivačů, chladičů, vzduchovodů a přívodních i odvodních vyústek pro distribuci vzduchu, mřížek pro redistribuci vzduchu v bytech, regulaci systému vzduchotechniky, izolaci vzduchovodů nebo protipožární řešení.

Podle normy ČSN EN 12 831-1 jsem vypočítal tepelné ztráty prostupem objektu, jejichž hodnota je rovna 8785 W. Pro hrazení tepelných ztrát prostupem jsem navrhl jednotrubkové otopné soustavy se směšovacími H armaturami pod deskovými otopnými tělesy Korado. Zdrojem tepla jsou dva plynové kondenzační kotle Viessmann Vitodens 200-W – jeden pro menší byty a jeden pro větší byty. Stejně jako tomu je v případě vzduchotechnických jednotek. Tento systém je preferovaný pro lehčí měření spotřeby tepla a s tím související přehlednější rozpočítání spotřebovaného tepla v jednotlivých bytových jednotkách. Navrhnul jsem kalorimetrické měřiče spotřeby tepla do každé bytové jednotky a plynoměr ke každému z obou kotlů.

V neposlední řadě byla navrhována potrubní síť pro vytápění, včetně hydraulického výpočtu a vyvážení soustav, ekonomického výpočtu tloušťky izolace, dále kontroly oběhových čerpadel a expanzních nádob nebo regulace celého systému vytápění. Neopomněl jsem ani návrh odvodu kondenzátu a spalin od zdrojů tepla.

Potřeba tepla byla spočtena denostupňovou metodou podle normy ČSN EN ISO 52 016-1 s tím výsledkem, že rok provozu vzduchotechniky, vytápění, elektrických ohřivačů a přímých výparníků ve vzduchotechnických jednotkách bude stát 60 283 Kč včetně DPH.

Výkresy vedení vzduchotechniky a vytápění pro všechna patra jsou dostupné v příloze Výkresová dokumentace.

Zcela jistě by tu byl prostor na zlepšení spotřeby tepla, a tudíž na nižší náklady za celý systém vytápění. Prvotně by pomohlo zdokonalení tepelně technických vlastností stavebních konstrukcí na začátku projektu, kdy by se při výstavbě domu mohlo dát přednost doporučeným hodnotám součinitelů prostupů tepla, případně i doporučeným hodnotám pro pasivní budovy pro maximální snížení tepelných ztrát prostupem stavebními konstrukcemi.

To samé platí i o tepelné ztrátě větráním, která by mohla být snížena, pokud by se při návrhu dalo přednost pouze minimálním hodnotám výměny vzduchu z normy ČSN EN 15 665/Z1. Takové řešení by ale znatelně snížilo komfort a pohodu obyvatel bytů a přísun čerstvého vzduchu do bytových jednotek, k čemuž jsem nechtěl přistoupit.

11. SEZNAM PŘÍLOH

11.1 Elektronické přílohy

Příloha č. 1 (formát .xlsx) – Soubor Excel s veškerými výpočty profese větrání a vytápění.

Příloha č. 2 (formát .pdf) – Vzduchotechnika – Tlakové ztráty úseků přívodního potrubí (menší byty)

Příloha č. 3 (formát .pdf) – Vzduchotechnika – Tlakové ztráty úseků odvodního potrubí (menší byty)

Příloha č. 4 (formát .pdf) – Vzduchotechnika – Tlakové ztráty úseků přívodního potrubí (větší byty)

Příloha č. 5 (formát .pdf) – Vzduchotechnika – Tlakové ztráty úseků odvodního potrubí (větší byty)

Příloha č. 6 (formát .pdf) – Vzduchotechnika – Tlakové ztráty a nastavení přívodních talířových ventilů

Příloha č. 7 (formát .pdf) – Vzduchotechnika – Tlakové ztráty a nastavení odvodních talířových ventilů

Příloha č. 8 (formát .pdf) – Vzduchotechnika – Tlakové ztráty úseků přívodního potrubí menších bytů a zaregulování

Příloha č. 9 (formát .pdf) – Vzduchotechnika – Tlakové ztráty úseků odvodního potrubí menších bytů a zaregulování

Příloha č. 10 (formát .pdf) – Vzduchotechnika – Tlakové ztráty úseků přívodního potrubí větších bytů a zaregulování

Příloha č. 11 (formát .pdf) – Vzduchotechnika – Tlakové ztráty úseků odvodního potrubí větších bytů a zaregulování

Příloha č. 12 (formát .pdf) – Vytápění – Přehled jednotlivých otopných těles použitých v projektu

Příloha č. 13 (formát .pdf) – Vytápění – Tlakové ztráty jednotlivých okruhů menší otopné soustavy

Příloha č. 14 (formát .pdf) – Vytápění – Tlakové ztráty jednotlivých okruhů větší otopné soustavy

Příloha č. 15 (formát .pdf) – Větrání – Výkaz výměr

Příloha č. 16 (formát .pdf) – Vytápění – Výkaz výměr

11.2 Tištěné přílohy

Výkresová dokumentace

Profese VZT

DP_VZT_001 – Půdorys 1. NP

DP_VZT_002 – Půdorys 2. NP

DP_VZT_003 – Půdorys 3. NP

DP_VZT_004 – Půdorys 4. NP

DP_VZT_005 – Půdorys 5. NP

DP_VZT_006 – Řez budovou A-A

DP_VZT_007 – Řez budovou B-B

Profese vytápění

DP_VYT_001 – Půdorys 1. NP

DP_VYT_002 – Půdorys 2. NP

DP_VYT_003 – Půdorys 3. NP

DP_VYT_004 – Půdorys 4. NP

DP_VYT_005 – Půdorys 5. NP

DP_VYT_006 – Rozvinuté schéma

12. SEZNAM ZDROJŮ

- [1] DRKAL, František a Vladimír ZMRHAL. *Větrání*. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05181-8.
- [2] ZMRHAL, Vladimír a Petra ŠTÁVOVÁ. Nové požadavky na větrání obytných budov podle národní přílohy k ČSN EN 15665. *Vytápění, větrání, instalace*. 2011(4), 3 str.
- [3] VLADIMÍR, Zmrhal. *Výuka – Projekt II. a III. – Vzduchotechnika, podklady: 2. Návrh klimatizačních systémů* [online]. [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: http://www.users.fs.cvut.cz/~zmrhavl/Projekt3/Podklady/02_Navrh%20klimatizacniho%20systemu.pdf
- [4] Univerzální větrací jednotky Atrea: DUPLEX 500–3500 Flexi-V. *Atrea.cz* [online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://www.atrea.cz/cz/duplex-550-3500-flexi-v>
- [5] Doporučené rychlosti proudění ve vzduchovodech (m/s) podle větracího nebo klimatizačního zařízení a polohy úseku potrubí (upraveno podle ASHRAE Guide). *TZB-info.cz* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/121-doporucene-rychlosti-proudeni-ve-vzduchovodech-m-s>
- [6] VLADIMÍR, Zmrhal. *Výuka – Projekt II. a III. – Vzduchotechnika, podklady: 4. Návrh potrubní sítě* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: http://www.users.fs.cvut.cz/~zmrhavl/Projekt3/Podklady/04_Navrh%20potrubni%20site.pdf
- [7] CHYSKÝ, Jaroslav a Ladislav OPPL. *Větrání a klimatizace: Technický průvodce*. Druhé, upravené a doplněné vydání. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1973.
- [8] DRKAL, František, Miloš LAIN, Jan SCHWARZER a Vladimír ZMRHAL. *Vzduchotechnika*. Praha, 2009.
- [9] LABOUTKA, Karel a Tomáš SUCHÁNEK. Hodnoty součinitelů místních ztrát – T-kusy a křížení – přehled. *TZB-info.cz* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/23-hodnoty-soucinitelu-mistnich-ztrat-t-kusy-a-krizeni-prehled>
- [10] ZMRHAL, Vladimír a Miloš LAIN. Prvky větracích a klimatizačních zařízení (II) - 2. část Distribuce vzduchu. *TZB-info.cz* [online]. 2007 [cit. 2021-03-17]. Dostupné z:

<https://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/4139-prvky-ventracich-a-klimatizacnich-zarizeni-ii-2-cast>

[11] KE 80 kovový přívodní talířový ventil. *Ventilatory.net* [online]. [cit. 2021-03-17].

Dostupné z: <https://www.ventilatory.net/ke-80.html>

[12] SPI 080 regulátor průtoku vzduchu. *Ventilatory.net* [online]. [cit. 2021-03-17].

Dostupné z: <https://www.ventilatory.net/spi-080.html>

[13] KK 80 kovový odvodní talířový ventil. *Ventilatory.net* [online]. [cit. 2021-03-17].

Dostupné z: <https://www.ventilatory.net/kk-80.html>

[14] VSR 400 průchozí stěnový ventil čtyřhranný. *ELEKTRODESIGN ventilátory spol. s r.o. - ventilátory, rekuperace, ventilace* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z:

<http://www.elektrodesign.cz/web/cs/product/vsr-400-pruchozi-stenovy-ventil-ctyrhranny>

[15] Regulátor průtoku vzduchu KVS – Type VFC. *TROX Technik* [online]. [cit. 2021-

03-17]. Dostupné z: [https://www.trox.cz/regul%C3%A1tor-pr%C5%AFtoku-vzduchu-](https://www.trox.cz/regul%C3%A1tor-pr%C5%AFtoku-vzduchu-kvs/type-vfc-5772d1456c2fb567)

[kvs/type-vfc-5772d1456c2fb567](https://www.trox.cz/regul%C3%A1tor-pr%C5%AFtoku-vzduchu-kvs/type-vfc-5772d1456c2fb567)

[16] RSKT 080 těsná zpětná klapka. *Ventilatory.net* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné

z: <https://www.ventilatory.net/rskt-080.html>

[17] Talířové ventily – Série LVS pro přívodní a odvodní vzduch. *TROX Technik* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z:

[https://www.trox.cz/downloads/2c41cdf6182d136e/LVS-T_1-](https://www.trox.cz/downloads/2c41cdf6182d136e/LVS-T_1-2_1_2.pdf?type=product_info)

[2_1_2.pdf?type=product_info](https://www.trox.cz/downloads/2c41cdf6182d136e/LVS-T_1-2_1_2.pdf?type=product_info)

[18] RKKTM 80 regulační těsná klapka. *Ventilatory.net* [online]. [cit. 2021-03-17].

Dostupné z: <https://www.ventilatory.net/rkktm-80.html>

[19] NOVA-D Dveřní mřížka z hliníku. *Systemair* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné

z: <https://shop.systemair.com/cs-CZ/nova--d/p132214>

[20] TOMAN, Stanislav. Požární ochrana větracích systémů obytných budov. *TZB-info.cz* [online]. 2012 [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: [https://www.tzb-info.cz/pozarni-](https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/8440-pozarni-ochrana-ventracich-systemu-obytnych-budov)

[bezpecnost-staveb/8440-pozarni-ochrana-ventracich-systemu-obytnych-budov](https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/8440-pozarni-ochrana-ventracich-systemu-obytnych-budov)

[21] TOMAN, Stanislav. Protipožární ochrana vzduchotechnických potrubních prostupů. *Vytápění, větrání, instalace*. 2004(5), 4 str.

[22] Tloušťka izolace a tepelné ztráty potrubí. *REMAK* [online]. [cit. 2021-03-17].

Dostupné z: <https://www.remak.eu/cs/tloustka-izolace-tepelne-ztraty-potrubi>

- [23] Teplota v sousedních nevytápěných místnostech dle ČSN 06 0210. *TZB-info.cz* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/29-teplota-v-sousednich-nevytapanych-mistnostech-dle-csn-06-0210>
- [24] VAVŘIČKA, Roman. *Výuka – Vytápění: 2. Výpočet potřeby tepla a paliva – Denostupňová metoda, ČSN EN ISO 13 790* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/Vytapani/002_Potreba_tepla.pdf
- [25] Návrhový software Atrea Duplex. *Atrea.cz* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.atrea.cz/cz/duplex-cz>
- [26] VAVŘIČKA, Roman. Kurz Vytápění – Přednášky 2019-2020 – Otopné soustavy teplovodní [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/Kurz%20Vytapani/Sylabus%20-%20Otopne%20soustavy%20teplovodni%20-%20-%20Kurz%20vytapani.pdf>
- [27] BAŠTA, Jiří. *Podklady k přednáškám – Základy vytápění a Vytápění*.
- [28] BAŠTA, Jiří a Karel KABELE. *Otopné soustavy teplovodní: Sešit projektanta*. Společnost pro techniku prostředí. Odborná sekce vytápění, 2001.
- [29] BAŠTA, Jiří. *Otopné plochy*. Praha: ČVUT, 2001. ISBN 80-010-2365-6.
- [30] Vekolux – Armatura pro otopná tělesa s integrovanou ventilovou vložkou. *IMI Hydronic Engineering* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.imi-hydronic.com/sites/EN/cs-cz/Produkty/termostatick%C3%A1-regulace/termostatick%C3%A9-hlavice-a-ventily/armatury-pro-otopn%C3%A1-t%C4%9Blesa-s-integrovanou-ventilovou-vlo%C5%BEkou/pages/product.aspx?ptitle=Vekolux&pid=8daf6b96-553f-4532-84ec-fa270a1226fd>
- [31] *Vnitřní instalace: Rozvody vody, vytápění, podlahové topení, vnitřní kanalizace, odvodnění střech* [online], str. 102-117 [cit. 2020-12-19]. Dostupné z: https://triker.cz/pool/download/soubor_1750.pdf
- [32] LABOUTKA, Karel a Tomáš SUCHÁNEK. Hodnoty součinitelů místních ztrát – zdroje tepla a základní tvarovky potrubí. *TZB-info.cz* [online]. [cit. 2020-11-01]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/21-hodnoty-soucinitelu-mistnich-ztrat-zdroje-tepla-a-zakladni-tvarovky-potrubí>

- [33] Deskové otopné těleso RADIK VKM8 se spodním středovým nebo spodním pravým připojením. *Korado.cz* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.korado.cz/produkty/radik/radik-vkm8.html>
- [34] Plynový kondenzační kotel Vitodens 200-W. *Viessmann.cz* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/obytne-budovy/plynove-kotle/plynove-kondenzacni-kotle/vitodens-200w.html#>
- [35] BAŠTA, Jiří. *Regulace v technice prostředí staveb*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014. ISBN 978-80-01-05455-0.
- [36] BAŠTA, Jiří. Návrh tlakové expanzní nádoby Objem expanzní nádoby, seřízení přetlaku na straně vzdušiny. *TZB-info.cz* [online]. 2019 [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/1156-navrh-expanzni-nadoby>
- [37] UPM3 je kotlové oběhové čerpadlo s externím řízením pomocí signálního kabelu. *Grundfos.com* [online]. [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://product-selection.grundfos.com/cz/products/up-oem-north-america/upm3-oem/upm3-59C90500?tab=variant-curves&pumpsystemid=1172404494>
- [38] Vyvažovací ventil STAD-C DN 15-50. *IMI Hydronic Engineering* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.imi-hydronic.com/sites/EN/cs-cz/Produkty/vyva%20c%20beov%20a%20n%20ad-regulace-a-pohony/vyva%20c%20beovac%20ad-ventily/vyva%20c%20beovac%20ad-ventily/STAD-C/d38894b5-c481-4c8c-b4b9-9c975b057171>
- [39] Termostatická hlavice DX s vestavným čidlem. *IMI Hydronic Engineering* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.imi-hydronic.com/sites/EN/cs-cz/produkty/termostatick%C3%A1-regulace/termostatick%C3%A9-hlavice-a-ventily/termostatick%C3%A9-hlavice/Termostatick%C3%A1-hlavice-DX/e76838bd-9545-440e-9a48-d9db1edc8813>
- [40] VALIŠ, Ivan. Provádění odvodů kondenzátu z kondenzačních kotlů do kanalizace. *TZB-info.cz* [online]. 2006 [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/1156-navrh-expanzni-nadoby>
- [41] VAVŘIČKA, Roman. *Podklady k přednáškám – Kontrola kotlů a rozvodů tepelné energie – Praktické zkušenosti*
- [42] Měření tepla. *Merenionline.cz* [online]. [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://www.merenionline.cz/index.php/mereni-tepla>

- [43] Měřič tepla Sharky 774. *Enbra.cz* [online]. [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://www.enbra.cz/sharky-774-0-6-m3-h-dn15-110-mm-m-bus-kk-sroubeni>
- [44] ELSTER Plynoměr BK. *Gas.cz* [online]. [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://www.gas.cz/elster-plynomer-bk---g4-dvouhrdlovy-roztec-100-mm/produkt/8050/371/>
- [45] Viessmann TopTechnika – Návod na instalaci spalínového systému. *Zdeněk Novák – vodo, topo, plyn Novakz.cz* [online]. [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <http://www.novakz.cz/ceniky/VIESSMANN/Katalog%20v%C3%BDrobn%C5%AF/Kom%C3%ADnov%C3%BD%20syst%C3%A9m.pdf>
- [46] VAVŘIČKA, Roman. *Výuka – Zdravotně technické instalace: 12 – Odběrná plynová zařízení* [online]. [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/ZTI/NEW/013_PL_3.pdf
- [47] JELÍNEK, Vladimír. Zásady návrhu spalínové cesty – přehledný výťah z ČSN 73 4201. *TZB-info.cz* [online]. 2011 [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/kominy-a-kourovody/7783-zasady-navrhu-spalinove-cesty-prehledny-vytah-z-csn-73-4201>
- [48] BUCHTA, Jiří. Nová ČSN 73 4201 Komíny a kouřovody – Navrhování, provádění a připojování spotřebičů paliv - I. *TZB-info.cz* [online]. 2011 [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/kominy-a-kourovody/7150-nova-csn-73-4201-kominy-a-kourovody-navrhovani-provadeni-a-pripojovani-spotrebicu-paliv-i>
- [49] Vnitřní koncentrický vzducho-spalínový systém LIK (PPH – PPH). *Almeva.cz* [online]. [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://www.almeva.cz/cs/produkty/vnitri-koncentricky-vzducho-spalinovy-system-lik-pph-pph>
- [50] BAŠTA, Jiří. Možnosti moderních způsobů regulace. *TZB-info.cz* [online]. 17.9.2007 [cit. 2018-01-01]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/4360-moznosti-modernich-zpusobu-regulace>
- [51] Termostatické regulační hlavice a termopohony. *Zabezpecovaci-zarizeni.cz* [online]. [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://www.zabezpecovaci-zarizeni.cz/termostaticke-hlavice/>
- [52] Program HX Diagram CIC Jan Hřebec. *Cic.cz* [online]. [cit. 2021-03-23]. Dostupné z: <http://www.cic.cz/ke-stazeni/>

Normy a vyhlášky

- ČSN 73 0540-2. Tepelná ochrana budov. Část 2: Požadavky.
- ČSN EN ISO 6946. Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – Výpočtové metody.
- ČSN EN 15 665/Z1. Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov.
- ČSN EN 12 831-1. Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3.
- ČSN 73 0802. Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty.
- ČSN 73 0872. Požární bezpečnost staveb. Ochrana staveb proti šíření požáru vzduchotechnickým zařízením.
- ČSN 73 4201. Komíny a kouřovody – Navrhování, provádění a připojování spotřebičů paliv.
- ČSN 06 0210. Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění.
- ČSN 06 0310. Tepelné soustavy v budovách – Projektování a montáž.
- ČSN EN ISO 52 016-1. Energetická náročnost budov – Potřeba energie na vytápění a chlazení, vnitřní teploty a citelné a latentní tepelné výkony.
- ČSN EN ISO 13 790. Energetická náročnost budov – Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení.
- ČSN EN 1775. Zásobování plynem – Plynovody v budovách – Nejvyšší provozní tlak ≤ 5 bar – Provozní požadavky.
- Vyhláška č. 193/2007 Sb., kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při rozvodu tepelné energie a vnitřním rozvodu tepelné energie a chladu.
- Vyhláška č. 194/2007 Sb., kterou se stanoví pravidla pro vytápění a dodávku teplé vody, měrné ukazatele spotřeby tepelné energie pro vytápění a pro přípravu teplé vody a požadavky na vybavení vnitřních tepelných zařízení budov přístroji regulujícími dodávku tepelné energie konečným spotřebitelům.
- Vyhláška č. 237/2014 Sb., kterou se mění vyhláška č. 194/2007 Sb., kterou se stanoví pravidla pro vytápění a dodávku teplé vody, měrné ukazatele spotřeby tepelné energie pro vytápění a pro přípravu teplé vody a požadavky na vybavení vnitřních tepelných zařízení budov přístroji regulujícími dodávku tepelné energie konečným spotřebitelům.

- DIN 1986-100: 2002-03. Drainage systems on private ground – Part 100: Additional specifications to DIN EN 752 and DIN EN 12056
- TPG 704 01. Odběrná plynová zařízení a spotřebiče na plynná paliva v budovách.