

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA MĚŘENÍ**



**DIPLOMOVÁ PRÁCE
STUDIE VYTÁPĚNÍ A VĚTRÁNÍ
ČINŽOVNÍHO DOMU**

2023

**VOJTĚCH
PROCHÁZKA**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Procházka** Jméno: **Vojtěch** Osobní číslo: **458532**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra měření**
Studijní program: **Inteligentní budovy**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Studie vytápění a větrání činžovního domu

Název diplomové práce anglicky:

Study of heating and ventilation of the apartment building

Pokyny pro vypracování:

Vypracujte studii vytápění a větrání čtyřpodlažního činžovního domu na úrovni projektové dokumentace. Posuďte tepelně-technické vlastnosti objektu a zvažte jejich úpravu s ohledem na požadavky ČSN 73 0540. Navrhněte optimální zdroj tepla a otopnou soustavu, která oproti běžně projektovaným soustavám umožní kalorimetrické měření spotřeby tepla pro každou zúčtovací jednotku zvlášť. Zabývejte se centrálním nuceným větráním, ale oproti standardnímu řešení zvažte i inovativní možnost zajištění letního chlazení pro jednotlivé bytové jednotky.

Seznam doporučené literatury:

- 1) Bašta, J.: Regulace v technice prostředí staveb. Česká technika, nakladatelství ČVUT. Praha 2014, 194 s., ISBN 978-80-01-05455-0
- 2) Bašta, J.: Otopné plochy, otopná tělesa. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2016. 204 s., ISBN 978-80-01-05943-2
- 3) Van der Veken, J., Peeters, L., Hens, H.: Comparison of Heating systems in a residential building. 9th International IBPSA Conference. Montreal, Canada August 2005
- 4) Allinson, D., Lomas, K., Beizaee, A.: Measuring the Potential of Zonal Space Heating Controls to Reduce Energy use in UK homes. Energy and Buildings 2015
- 5) Fabbri, K.: Analysis of buildings' energy consumption by means of exergy method. International Journal of Exergy 2008

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: **22.11.2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **26.05.2023**

Platnost zadání diplomové práce:

do konce letního semestru 2023/2024

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

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
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 zaměřuje na analýzu vytápění konkrétního bytového domu, včetně návrhu a hodnocení tepelně-technických vlastností jeho konstrukce v souladu s platnou legislativou. Dále se práce zabývá výpočtem tepelných ztrát a návrhem otopné soustavy s regulací. V rámci studie je použito podlahového vytápění a jako zdroj tepla je využito tepelné čerpadlo typu vzduch-voda. Práce se také zabývá systémem nuceného větrání objektu a klimatizací tří různých typů prostorů: klubovny, bytů a studovny. Součástí práce je také výkresová dokumentace.

SUMMARY

This thesis focuses on the study of the heating of a specific apartment building, including the design and evaluation of the thermal-technical properties of its construction in accordance with the current legislation. The thesis also deals with the calculation of heat losses and the design of the heating system with control. Underfloor heating is used in the study and an air-to-water heat pump is used as a heat source. The work also deals with the forced ventilation system of the building and the air conditioning of three different types of spaces: clubhouse, apartments and study room. The work also includes drawings.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 23.03.2023

Bc. Vojtěch Procházka

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Baštovi, Ph.D. za veškeré odborné konzultace a vedení při zpracování této práce.

Obsah

1	Úvod	9
2	Obecná charakteristika budovy.....	10
2.1	Tepelně technické vlastnosti konstrukcí.....	12
2.2	Tepelně technické vlastnosti výplní otvorů	14
2.3	Výpočet tepelných ztrát objektu.....	15
2.3.1	Okrajové podmínky výpočtu	15
2.3.2	Tepelné ztráty prostupem	15
2.3.3	Tepelné ztráty větráním	17
2.4	Výpočet tepelných zisků objektu.....	17
2.4.1	Okrajové podmínky výpočtu	17
2.4.2	Vnitřní tepelné zisky.....	17
2.4.3	Vnější tepelné zisky	18
2.5	Výpočet potřeby tepla na vytápění a teplou vodu	20
2.5.1	Využitelnost tepelných zisků	20
2.5.2	Potřeba tepla na vytápění.....	21
2.5.3	Potřeba tepla na přípravu teplé vody	21
3	Vytápění.....	23
3.1	Zdroj tepla pro vytápění	23
3.1.1	Venkovní jednotka tepelného čerpadla.....	24
3.1.2	Vnitřní jednotka tepelného čerpadla.....	25
3.2	Akumulační nádrž	26
3.3	Rozvody otopné soustavy.....	27
3.3.1	Rozdělovače.....	28
3.3.2	Čerpadla.....	29
3.3.3	Armatury.....	31
3.3.4	Potrubí	32
3.4	Podlahové vytápění	33
3.4.1	Skladby podlah	34
3.5	Pojistná a zabezpečovací zařízení.....	35

3.5.1	Pojistný ventil	35
3.5.2	Expanzní nádoba.....	35
4	Větrání a klimatizace	37
4.1	Hygienické požadavky na větrání.....	37
4.1.1	Návrh bytového větrání	38
4.1.2	Návrh pobytového větrání	38
4.2	Návrh klimatizační jednotky	39
4.2.1	Filtrace	39
4.2.2	Zpětné získávání tepla	40
4.2.3	Ventilátor	40
4.2.4	Ohřev a chlazení	41
4.3	Tlumení hluku	44
4.3.1	Metoda redukce zdroje hluku	44
4.3.2	Metoda dispozice.....	45
4.3.3	Metoda zvukové izolace	45
4.3.4	Metoda zvukové pohltivosti	45
4.4	Tlakové ztráty rozvodů vzduchu	46
4.4.1	Třecí tlakové ztráty	46
4.4.2	Místní tlakové ztráty	47
4.5	Rozvody klimatizační soustavy	48
4.6	Distribuce vzduchu v místnostech	49
4.6.1	Klubovna	49
4.6.2	Byty	50
4.6.3	Studovna	50
4.7	Požární větrání objektu.....	51
5	Měření a regulace	52
5.1	Měření veličin.....	52
5.1.1	Měření teploty.....	52
5.1.2	Měření tlaku.....	52
5.1.3	Měření tepla.....	53

5.2	Regulace otopné soustavy	53
5.3	Regulace vzduchotechniky	55
6	Závěr	57
7	Seznam použité literatury	59
8	Seznam příloh	62
8.1	Příloha č.1 – skladby konstrukcí.....	62
8.2	Příloha č.2 – výpočet tepelných ztrát a zisků	62
8.3	Příloha č.3 – výpočet potřeby tepla	62
8.4	Příloha č.4 – návrh podlahového vytápění	62
8.5	Příloha č.5 – návrh zásobníku TV	62
8.6	Příloha č.6 – návrh tlumičů hluku	62
8.7	Příloha č.7 – technické listy zařízení	62
8.8	Příloha č.8 – projektová dokumentace.....	62

1 ÚVOD

V souvislosti s rostoucími požadavky na energetickou účinnost a komfort obyvatel se vytápění a větrání obytných domů stává důležitým tématem. Cílem této diplomové práce je vypracovat studii vytápění a větrání čtyřpodlažního činžovního domu na úrovni projektové dokumentace. Zkoumání tepelně-technických vlastností objektu, návrh optimálního zdroje tepla, větrání a zajištění letního chlazení budou klíčovými aspekty této práce.

První část práce se bude zabývat posouzením tepelně-technických vlastností činžovního domu. Bude provedena důkladná analýza skladeb konstrukcí, zaměřená na tepelné vlastnosti obálky budovy, tepelné mosty a další faktory ovlivňující energetickou náročnost objektu. Výsledky této analýzy poslouží jako podklad pro návrh systémů vytápění a větrání.

Druhá část práce se zaměří na návrh optimálního zdroje tepla a otopné soustavy pro činžovní dům. Cílem je identifikovat nejvhodnější zdroj tepla a otopnou soustavu. Otopná soustava umožní kalorimetrické měření spotřeby tepla pro každou zúčtovací jednotku zvlášť, čímž se zajistí spravedlivé a transparentní rozúčtování nákladů na vytápění.

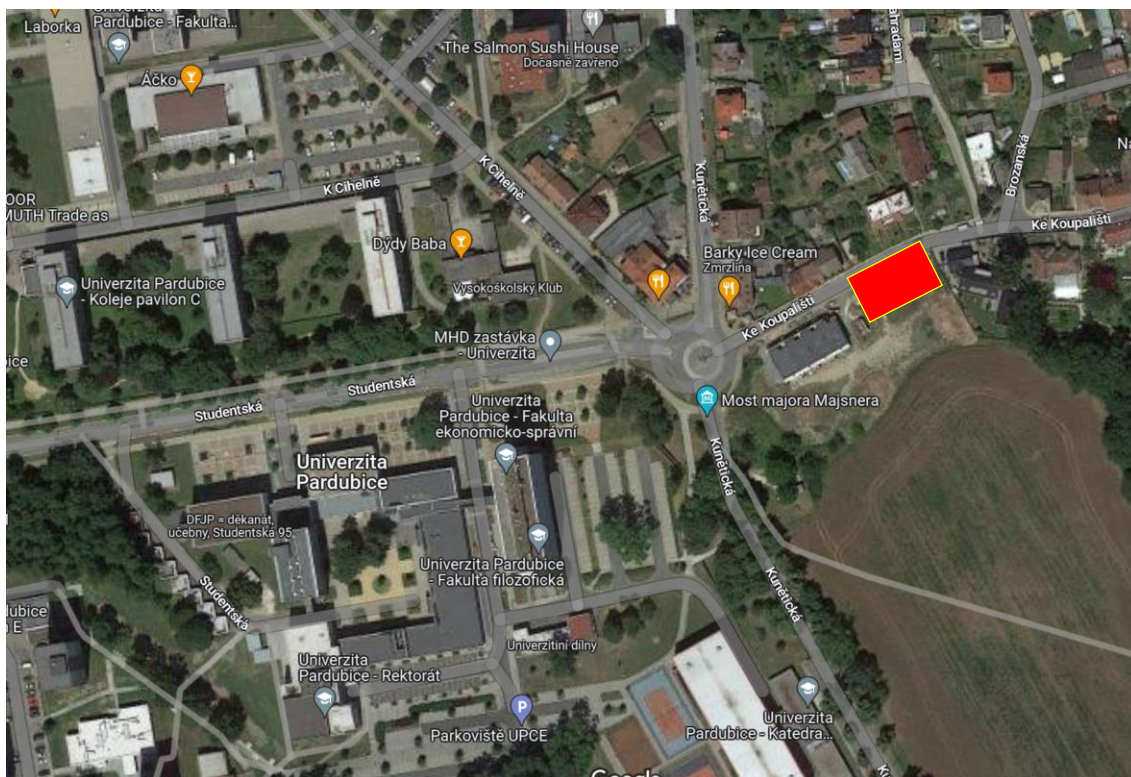
Třetí část bude věnována větrání objektu. Budou zkoumány možnosti centrálního nuceného větrání, které přináší efektivní řešení pro výměnu vzduchu a udržování zdravého vnitřního prostředí. Nicméně v rámci této práce se neomezíme jen na standardní řešení, ale zvážíme také možnost zajištění letního chlazení pro jednotlivé bytové jednotky.

V závěrečné části práce budou popsány měřicí a řídicí systémy navržených soustav. Zároveň bude popsáno, jak by mohl vypadat provoz systémů. Budou zohledněny požadavky na energetickou účinnost, zdravé vnitřní prostředí a individuální měření spotřeby tepla.

Cílem této diplomové práce je poskytnout komplexní a prakticky využitelnou studii vytápění a větrání činžovního domu, která bude sloužit jako základ pro efektivní navrhování a realizaci energeticky účinných a komfortních bytových jednotek.

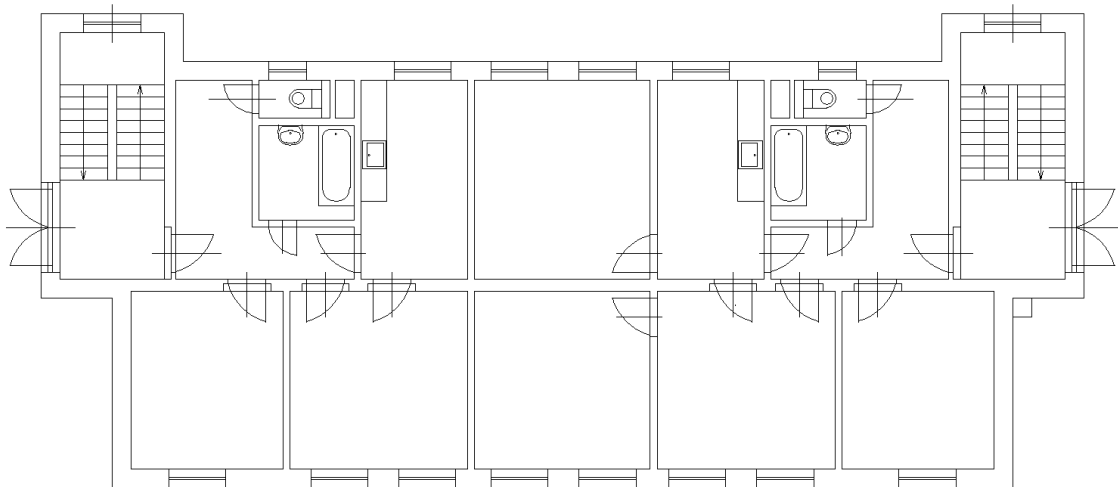
2 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA BUDOVY

Předmětem studie je pětipodlažní činžovní dům v Pardubicích k.ú. [717657]. Dům bude postaven na parcelách 3546/1,1638/41,1640/2,1638/15 a 1638/43 v ulici Ke Koupališti a bude využíván jako ubytovací zařízení pro studenty Pardubické univerzity.



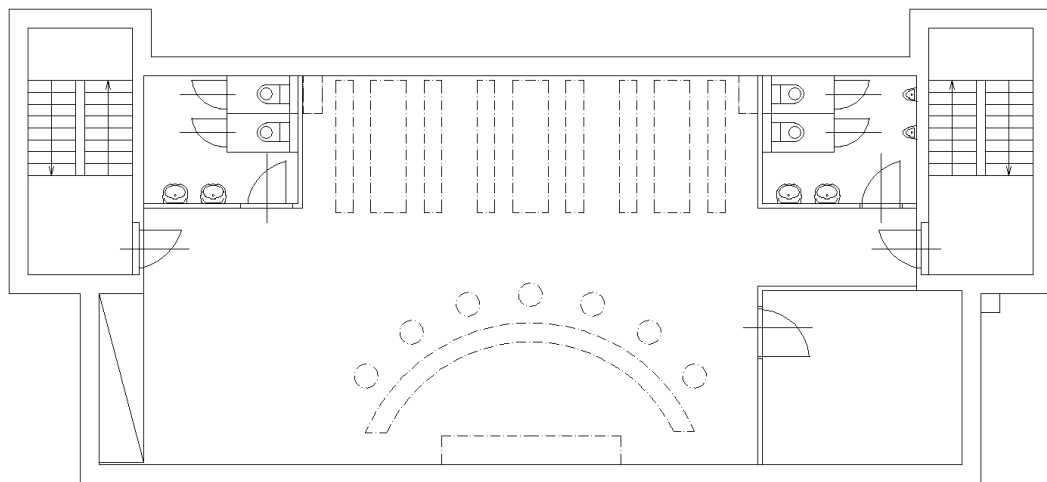
Obrázek 1 Koordinační mapa – Mapy Google

První až třetí nadzemní podlaží je pro dům typické a každé podlaží je rozděleno na dva samostatné byty. Byt situovaný na západ je dispozičně rozdělen na chodbu, koupelnu, záchod, koupelnu a dva pokoje. Druhý byt je zrcadlově převrácenou kopií prvního bytu a je rozšířen o dva pokoje. Pro výpočty jsem uvažoval jednu osobu na pokoj.



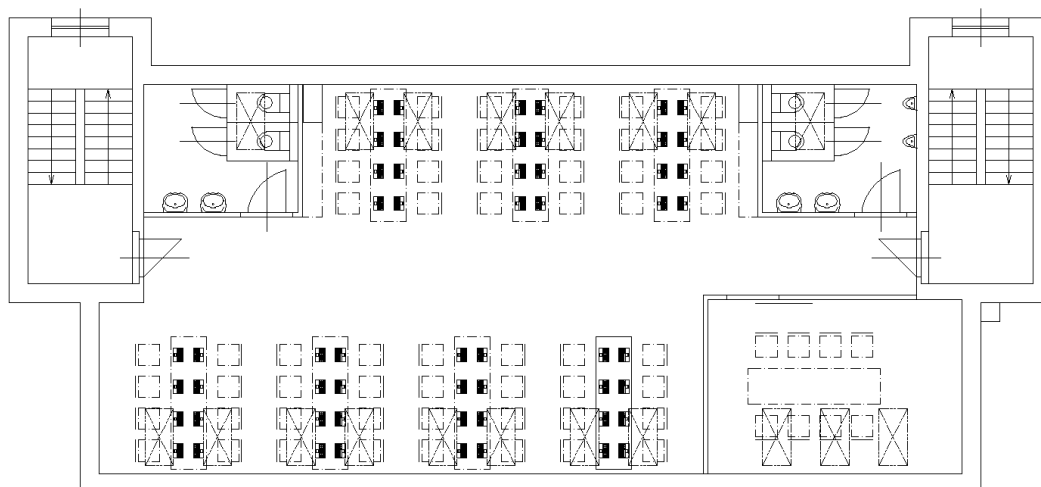
Obrázek 2 Slepý půdorys typického podlaží (1.NP – 3.NP)

Podzemní podlaží bude sloužit jako studentská klubovna s barem a obsluhou. V podzemním podlaží bude také technická místnost, do které bude umístěn zdroj tepla a klimatizační jednotka.



Obrázek 3 Slepý půdorys 1.PP

Čtvrté nadzemní podlaží bude využíváno jako studovna pro ubytované studenty. Do objektu vedou dva vchody. První vchod je situován na východ a druhý na západ. Oba vchody vedou na schodiště, po kterém lze vyjít až do čtvrtého nadzemního podlaží. Schodiště zároveň zastává funkci chráněné únikové cesty. Střecha objektu je sedlového typu se sklonem 35°.



Obrázek 4 Slepý půdorys 4.NP

2.1 TEPELNĚ TECHNICKÉ VLASTNOSTI KONSTRUKCÍ

Výpočet součinitele prostupu tepla neprůsvitných stavebních konstrukcí byl vypočítán podle ČSN EN ISO 6946. (1)

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum R_n + R_{se}}, \quad [1]$$

kde

- U – součinitel prostupu tepla stavební konstrukce [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$],
- R_{si} – vnitřní tepelný odpor při přestupu tepla (internal) [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$],
- R_{se} – vnější tepelný odpor při přestupu tepla (external) [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$],
- R_n – tepelný odpor n-té stavební konstrukce [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$],
- s_n – tloušťka stěny n-té stavební konstrukce [m],
- λ_n – součinitel tepelné vodivosti n-té stěny stavební konstrukce [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],

Pro výpočet skutečného součinitele prostupu tepla pro konstrukce přilehlé k zemině je nutné přistupovat individuálně po řešených místnostech. Výpočet byl stanoven dle normy ČSN EN ISO 13 370. (2)

$$B' = \frac{S_{podlahy}}{0,5 \times O_{podlahy}}, \quad [2]$$

kde

- B' – charakteristický parametr [m],
- S – plocha podlahy [m²],
- O – obvod podlahy oddělující vytápěný prostor uvažované části podlahy od venkovního prostředí [m],

Následně se vypočítá celková ekvivalentní tloušťka podlahy z rovnice č. 3, podle které se buď vybere rovnice č.4, nebo rovnice č. 5, podle které se určí skutečné U_{podlahy} .

$$d_t = w + \lambda_{\text{zeminy}} \times (R_{si} + R_f + R_{se}), \quad [3]$$

kde

- d_t – celková ekvivalentní tloušťka podlahy [m],
- w – celková tloušťka obvodových stěn obsahující všechny vrstvy [m],
- R_{si} – tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně (viz. tabulka ČSN EN ISO 6946 – $R_{si} = 0,17$ – tepelný tok dolů) [m²·K·W⁻¹], (1)
- R_f – tepelný odpor podlahy (tj. všech celoplošných tepelně-izolačních vrstev, včetně nášlapné vrstvy) [m²·K·W⁻¹],
- R_{se} – tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně (viz. tabulka ČSN EN ISO 6946 - $R_{se} = 0,04$ – tepelný tok dolů) [m²·K·W⁻¹], (1)

λ_{zeminy} se vybírá dle tabulky ze stejné normy:

Kategorie	Popis	Tepelná vodivost λ_{zeminy} [W·m ⁻² ·K ⁻¹]
1	Hlíny a jíly	1,5
2	Písky a štěrky	2
3	Stejnorodá skála	3,5

Tabulka 1 Tepelná vodivost přilehlé zeminy (2)

Pro $d_t < B'$:

$$U_{podlahy} = \frac{2 \times \lambda_{zeminy}}{\pi \times B' + d_t} \times \ln \left(\frac{\pi \times B'}{d_t} + 1 \right), \quad [4]$$

Pro $d_t > B'$:

$$U_{podlahy} = \frac{\lambda_{zeminy}}{0,457 \times B' + d_t}, \quad [5]$$

Rozdíl mezi výpočtem dle ČSN EN ISO 6946 a ČSN EN ISO 13 370 byl 0,01 až 0,02 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Vypočtené hodnoty a rozepsané skladby neprůhledných konstrukcí jsou součástí přílohy č.1 (1; 2)

2.2 TEPELNĚ TECHNICKÉ VLASTNOSTI VÝPLNÍ OTVORŮ

Pro výplň okenních otvorů jsem zvolil plastová okna s trojitým zasklením VEKRA Komfort EVO. Tyto okna jsem zvolil pro jejich dobré tepelně technické vlastnosti. Okna mají součinitel prostupu tepla $U = 0,71 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Světelný činitel prostupu světla $LT = 0,74$. (3)



Obrázek 5 Okno VEKRA Premium EVO

Vchodové dveře jsem volil ze stejné výrobní řady. Dveře VEKRA Komfort EVO mají součinitel prostupu tepla $U = 0,93 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Světelný činitel prostupu světla $LT = 0,74$. (4)

2.3 VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT OBJEKTU

Tepečná ztráta je množství tepelné energie předané z vnitřního prostředí do okolí. Výpočet dle ČSN EN 12 831-1 zahrnuje podrobný i zjednodušený výpočet tepelných ztrát budovy. Tuto normu je možné použít ve standardních případech, kdy výška místnosti nepřekročí 5 m a nemusí se počítat s vertikální stratifikací teploty. Celková tepelná ztráta se skládá z tepelné ztráty prostupem konstrukcí a tepelné ztráty větráním vytápěného prostoru. (5)

2.3.1 OKRAJOVÉ PODMÍNKY VÝPOČTU

Při výpočtu se počítá s venkovní výpočtovou teplotou, kterou lze najít v tabulce venkovních výpočtových teplot České republiky dle ČSN 38 3350. Pro lokalitu Pardubice je tato venkovní výpočtová teplota $t_e = -12$ °C. S touto teplotou se počítá jako s extrémními podmínkami, které nastanou párkrát do roka. Pro vytápěné místnosti se musí stanovit vnitřní výpočtová teplota. Pobytové místnosti budou vytápěny na $t_i = 20$ °C. Koupelny budou vytápěny na $t_i = 24$ °C a technické místnosti na $t_i = 15$ °C. Teplota zeminy pod základovou deskou se uvažuje $t_g = 5$ °C. Teplota v nevytápěném podkroví byla odhadnuta na $t_k = -6$ °C. (6)

2.3.2 TEPELNÉ ZTRÁTY PROSTUPEM

Tepečné ztráty se skládají z měrných tepelných toků přímo do venkovního prostředí, viz rovnice č. 6, do sousedních vytápěných prostor s nižší vnitřní výpočtovou teplotou, viz rovnice č. 7, do sousedních nevytápěných prostor, viz rovnice č. 7, a do zeminy, viz rovnice č. 8. Měrný tepelný tok udává, kolik tepla předá vytápěný prostor chladnějšímu prostředí při rozdílu teplot 1 K. Při výpočtu měrných tepelných toků přímo do venkovního prostředí se pro zjednodušení uvažuje s přírážkou na vliv tepelných vazeb. Tato přírážka má nahradit přesný a složitý výpočet tepelných ztrát tepelnými mosty. Přírážku pro novostavbu s optimalizovanými tepelnými vazbami uvažujeme $\Delta U_{TB} = 0,05 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. (5)

$$H_{T,ie} = \sum_k [A_k \cdot (U_k + \Delta U_{TB}) \cdot f_{U,k} \cdot f_{ie,k}] \quad [6]$$

kde

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

A_k – plocha stavební části [m^2],

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

- $f_{U,k}$ – opravný činitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy, které nebyly uvažovány při stanovování příslušných U-hodnot, pro $\check{C}R = 1$,
- $f_{ie,k}$ – teplotní opravný činitel = 1,
- ΔU_{TB} – přírážka na vliv tepelných vazeb [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$],

$$H_{T,ia,k} = \sum_k [A_k \cdot U_k \cdot f_{ia,k}], \quad [7]$$

kde

- $H_{T,ia,k}$ – Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) do nebo přes, nevytápěné prostory (u) pro každou konstrukci s příslušně upraveným $f_{ia,k}$ [$W \cdot K^{-1}$],
- A_k – plocha stavební části [m^2],
- U_k – součinitel prostupu tepla stavební části [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$],
- $f_{ia,k}$ – teplotní opravný činitel [-],

$$H_{T,g} = \sum_k [A_k \cdot U_{equiv,k} \cdot f_{ig,k} \cdot f_{GW,k}], \quad [8]$$

kde

- $H_{T,ig,k}$ – Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) do zeminy (g) [$W \cdot K^{-1}$],
- A_k – plocha stavební části (k), která je v přímém kontaktu se zeminou [m^2],
- $U_{equiv,k}$ – ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části (k) v kontaktu se zeminou [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$],
- $f_{ig,k}$ – teplotní opravný činitel [-],
- $f_{GW,k}$ – opravný činitel zohledňující vliv spodní vody [-],
 $f_{GW,k} = 1$, pokud je hladina spodní vody více než 1 m pod úrovní základové desky.
 $f_{GW,k} = 1,15$, pokud je vzdálenost mezi hladinou spodní vody a základovou deskou ≤ 1 m.

2.3.3 TEPELNÉ ZTRÁTY VĚTRÁNÍM

Tepelná ztráta větráním především závisí na intenzitě větrání vytápěné místnosti a na rozdílu teploty přiváděného vzduchu a vnitřní výpočtové teploty. Pokud bude dům větráný vzduchotechnickým zařízením se zpětným získáváním tepla a dohřevem, tepelné ztráty větráním se zcela eliminují. Protože do místností objektu je přiváděn ohříváný vzduch na 20 °C uvažují s nulovými tepelnými ztrátami větráním. (5).

$$H_{V,i} = V_i \cdot n_{\min} \cdot \rho_v \cdot c_v \cdot (1 - \eta_{ZZT}), \quad [9]$$

kde

$H_{V,i}$ – Měrný tepelný tok větráním z vytápěného prostoru (i) [W·K⁻¹],

V_i – vnitřní objem vytápěného prostoru [m³],

n_{\min} – minimální intenzita větrání [h⁻¹],

ρ_v – hustota vzduchu [kg·m⁻³],

c_v – měrná tepelná kapacita vzduchu [J·kg⁻¹·K⁻¹],

η_{ZZT} – Účinnost zpětného získávání tepla [-]

2.4 VÝPOČET TEPELNÝCH ZISKŮ OBJEKTU

Tepelné zisky jsou nedílnou součástí tepelné bilance budovy. Spolu s tepelnými ztrátami představují, kolik tepla je nutné přivést, nebo odebrat pro zachování tepelné pohody v obývaných místnostech. Do této bilance se započítávají pouze trvalé tepelné zisky, které se dělí na vnitřní a vnější (solární). Výpočet byl stanoven dle norem ČSN EN ISO 13 790, TNI 73 0329. (7; 8)

2.4.1 OKRAJOVÉ PODMÍNKY VÝPOČTU

Tepelné zisky pro návrh potřeby tepla na vytápění se narozdíl od výpočtu pro návrh chladicího zařízení počítají pro celý rok s měsíčními intervaly. Jako okrajová podmínka zde neslouží teplota, ale pro solární zisky mnohem důležitější solární záření. Tabulku hodnot celkového solárního záření jsem převzal z TNI 73 0329:2010. (8)

2.4.2 VNITŘNÍ TEPELNÉ ZISKY

Vnitřní tepelné zisky běžně vznikají od lidí, osvětlení a elektrických spotřebičů. Výpočet byl proveden podle vztahu, který je uveden v rovnici č. 10. Pro výpočet jsem uvažoval se 70%

přítomností osob přes den. Vnitřní tepelné zisky od elektrických spotřebičů a od osvětlení jsem uvažoval $100 \text{ W} \cdot \text{os}^{-1}$. Tepelný výkon na bytovou jednotku jsem uvažoval $100 \text{ W} \cdot \text{byt.j.}^{-1}$.

$$\Phi_{\text{zisk,vnitřní}} = n_{\text{hod}} \cdot (n_{\text{osob}} \cdot \Phi_{\text{s,o}} \cdot f + \Phi_{\text{s,p}}), \quad [10]$$

kde

$\Phi_{\text{z,v}}$ – Vnitřní tepelné zisky [kWh],

n_{hod} – počet hodin v měsíci [h],

n_{osob} – počet členů domácnosti [os],

$\Phi_{\text{s,o}}$ – tepelné zisky na osobu [$\text{W} \cdot \text{os}^{-1}$],

f – korekční činitel zohledňující přítomnost osob v objektu [-],

$\Phi_{\text{s,p}}$ – tepelné zisky na bytovou jednotku [W].

2.4.3 VNĚJŠÍ TEPELNÉ ZISKY

Množství solárních zisků závisí především na průhledných konstrukcích a jejich solární sběrné ploše. Neprůhledné prvky mají téměř nepatrný vliv vzhledem k celkovým tepelným bilancím objektu. Solární zisky jsou dále ovlivněny korekčními činiteli pro stínění a na externí překážky. Pro tyto rodinné domy se rovnají jedné. Vztah je uveden v následující rovnici.

$$\Phi_{\text{sol}} = F_{\text{sh}} \cdot (\sum A_{\text{sol}}) \cdot I_{\text{sol}} - F_{\text{r}} \cdot \Phi_{\text{r,i}}, \quad [11]$$

kde

Φ_{sol} – Vnější solární tepelné zisky [kWh],

F_{sh} – Korekce stínění na externí překážky [-],

A_{sol} – Solární sběrná plocha [m^2],

I_{sol} – intenzita solárního záření [$\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$],

F_{r} – faktor osálení mezi stavebním prvkem a oblohou [-],

pro vertikální prvky $F_{\text{r}}=0,5$

pro horizontální prvky $F_{\text{r}}=1$

$\Phi_{\text{r,i}}$ – sálání vůči obloze [kWh],

Sálání vůči obloze je jedním z efektivních způsobů pasivního chlazení budovy. Teplo akumulované slunečním zářením do obálky budovy přemění konstrukce na tepelné zářiče, které vyzařují teplo do oblohy.

$$\Phi_{r,i} = R_{se} \cdot U_c \cdot A_{c,pohledová} \cdot h_r \cdot \Delta t_{e,r} \quad [12]$$

kde

R_{se} – tepelný odpor přestupu na vnější straně [$m^2 \cdot K^{-1} \cdot W^{-1}$],

U_c – součinitel prostupu tepla neprůhledné stavební konstrukce [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$],

$A_{c,pohledová}$ – pohledová plocha neprůhledné stavební konstrukce [m^2],

h_r – součinitel prostupu tepla sáláním na vnější straně [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$],

$\Delta t_{e,r}$ – faktor osálení mezi stavebním prvkem a oblohou [K].

Solární sběrná plocha se počítá pro průhledné prvky podle rovnice č. 13 a pro neprůhledné prvky podle rovnice č. 14. Solární sběrná plocha je rovna pohledové ploše upravené činiteli, propustností a pohltivostí.

Průhledný prvek:

$$A_{sol} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_f) \cdot A_{w,pohledová} \quad [13]$$

kde

$F_{sh,gl}$ – Korekční činitel stínění [-],

g_{gl} – Celková propustnost průhlednými prvky [-],

F_f – Podíl plochy rámu [-],

$A_{w,pohledová}$ – pohledová plocha průhledné stavební konstrukce [m^2],

Neprůhledný prvek:

$$A_{sol} = \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_{c,pohledová} \quad [14]$$

kde

$\alpha_{s,c}$ – Pohltivost slunečního záření neprůhledných prvků [-],

R_{se} – tepelný odpor přestupu na vnější straně [$m^2 \cdot K^{-1} \cdot W^{-1}$],

U_c – Součinitel prostupu tepla neprůhledných částí [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]

2.5 VÝPOČET POTŘEBY TEPLA NA VYTÁPĚNÍ A TEPLOU VODU

Tato podkapitola sjednocuje předešlé dvě podkapitoly a vytvoří celkovou potřebu tepla pro rodinný dům. První část je stanovení potřeby tepla pro vytápění za pomoci stanovených tepelných ztrát a tepelných zisků. Druhá část je stanovení potřeby tepla pro ohřev teplé vody pro využití v domácnosti.

2.5.1 VYUŽITELNOST TEPELNÝCH ZISKŮ

Pro stanovení faktoru využitelnosti tepelných zisků pro vytápění se nejdříve stanoví bilanční poměr pro režim vytápění podle rovnice č. 15. Výpočet byl proveden dle ČSN EN ISO 52016-1. (9)

$$\gamma_H = \frac{\text{celkové tepelné zisky}}{\text{celková potřeba tepla}} = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \quad [15]$$

kde

γ_H – bilanční poměr pro režim vytápění [-],

$Q_{H,gn}$ – celkové tepelné zisky [kWh],

$Q_{H,ht}$ – celková potřeba tepla [kWh],

$$\text{Když } \gamma_H > 0, \quad \eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H + 1}} \quad [17]$$

$$\text{Když } \gamma_H = 1, \quad \eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H + 1} \quad [18]$$

$$\text{Když } \gamma_H < 0, \quad \eta_{H,gn} = \frac{1}{\gamma_H} \quad [19]$$

kde

$\eta_{H,gn}$ – faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění [-],

a_H – bezrozměrný parametr, závislý na časové konstantě budovy [-],

2.5.2 POTŘEBA TEPLA NA VYTÁPĚNÍ

Potřeba tepla na vytápění vychází z tepelných ztrát se zohledněním na tepelné zisky. Výpočet by proveden pomocí následující rovnice dle ČSN EN ISO 52016-1. (9)

$$Q_{H,nd} = a_{H,red} \cdot (Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn}) \quad [20]$$

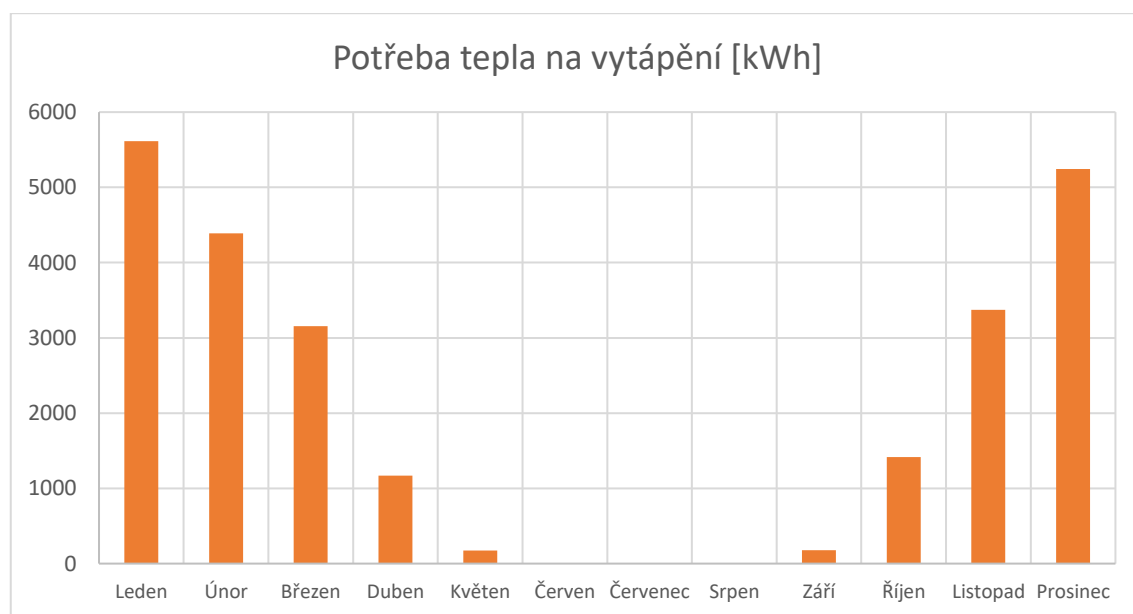
kde

$a_{H,red}$ – redukční faktor na přerušované vytápění, pro RD = 1 [-],

$\eta_{H,gn}$ – faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění [-],

$Q_{H,ht}$ – celková potřeba tepla [kWh],

$Q_{H,gn}$ – celkové tepelné zisky [kWh],



Obrázek 6 Roční potřeba tepla na vytápění

2.5.3 POTŘEBA TEPLA NA PŘÍPRAVU TEPLÉ VODY

Potřeba byla vypočítána pro 18 osob při spotřebě $40 \text{ l} \cdot \text{os}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}$ a pro mytí podlahové plochy o výměře 284 m^2 se spotřebou vody 2 l/m^2 . Tuto hodnotu jsem převzal z ČSN EN 12831-3. Při výpočtu jsou uvažované ztráty tepla 20 %. V letních měsících je potřeba snížena o 50 % z důvodu nižšího využívání teplé vody. (10)

$$Q_{TV} = \frac{(1+z) \cdot V_{2p} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{3600 \cdot 1000} \quad [21]$$

kde

Q_{TV} – potřeba tepla na přípravu teplé vody [kWh],

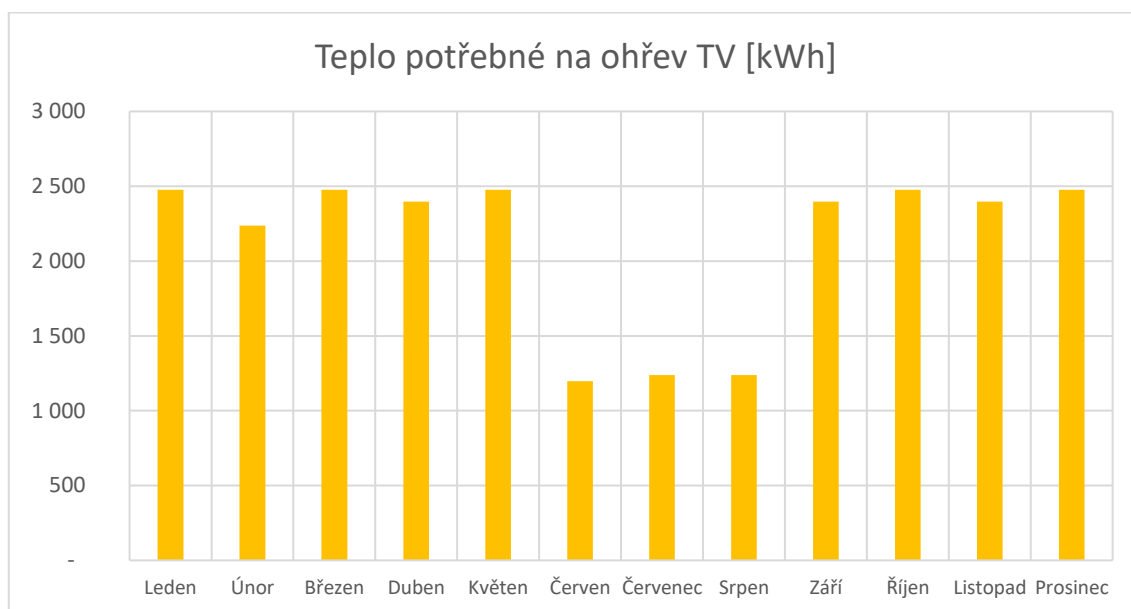
V_{2p} – celková potřeba teplé vody [$\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$],

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

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

t_1 – teplota studené vody [$^{\circ}\text{C}$],

t_2 – teplota teplé vody [$^{\circ}\text{C}$],



Obrázek 7 Potřeba tepla na ohřev teplé vody

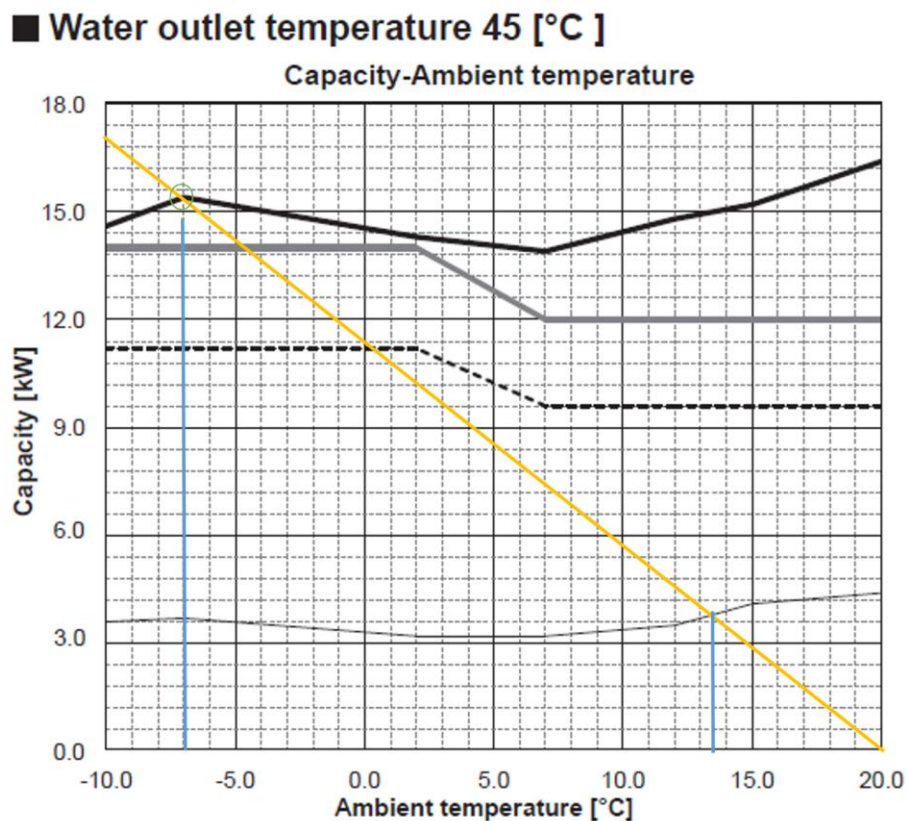
3 VYTÁPĚNÍ

Tepelná ztráta bude hrazena nízkoteplotním zdrojem tepla a do místností bude teplo přenášeno otopnou podlahovou plochou.

3.1 ZDROJ TEPLA PRO VYTÁPĚNÍ

Jako zdroj tepla jsem zvolil tepelné čerpadlo vzduch – voda. Tento zdroj jsem zvolil pro jeho relativně nízkou pořizovací cenu, nízké provozní náklady a příznivý dopad na životní prostředí. Pro ještě příznivější dopad na životní prostředí jsem zvolil tepelné čerpadlo od firmy Mitsubishi Electric PUD-SHWM140YAA s chladivem R32. Chladivo R32 má až 3x menší potenciál globálního oteplování, značený GWP než chladivo R410a. (11)

Do grafu výkonových křivek jsem žlutě vyznačil křivku celkových tepelných ztrát domu v závislosti na venkovní teplotě. Černá tlustá křivka vyznačuje jmenovitý výkon v závislosti na venkovní teplotě. V bodě, kdy se potkává křivka tepelných ztrát s křivkou tepelného výkonu, říkáme bod bivalence. Bod bivalence nastává při venkovní teplotě $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při nižší teplotě bude potřeba zdroj tepla doplnit pomocným tepelným zdrojem. Tímto zdrojem bude elektrokotel umístěný ve vnitřní jednotce. (11)



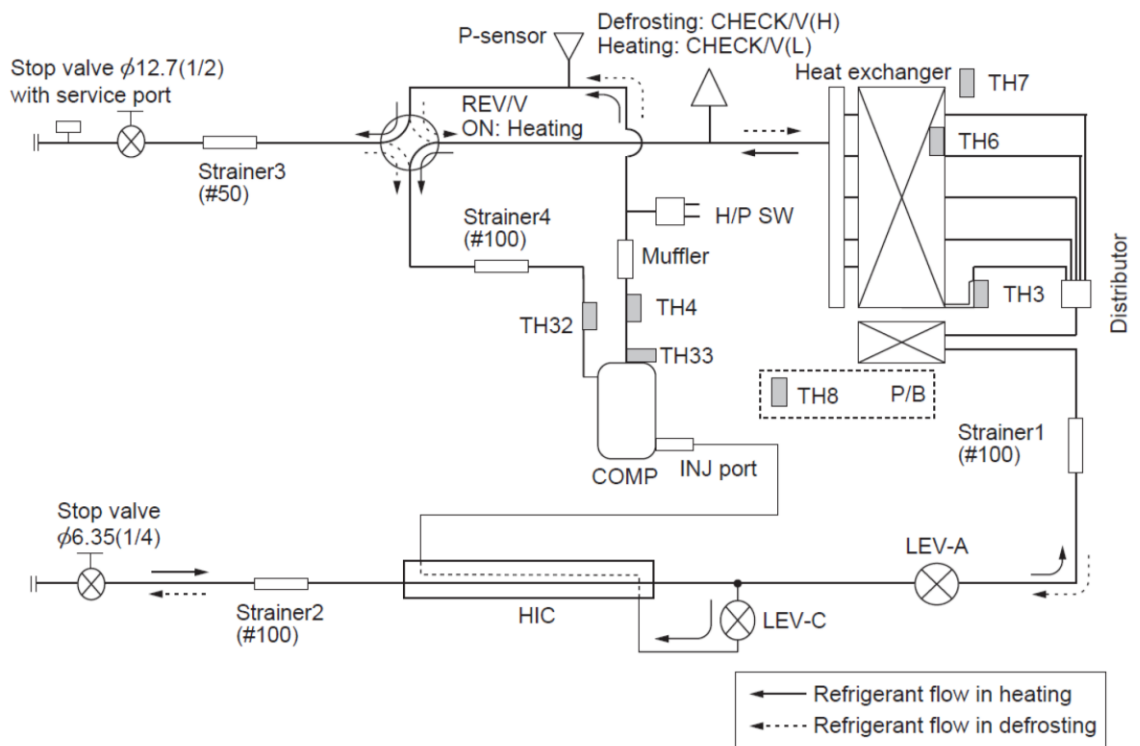
Obrázek 8 Výkonová křivka tepelného čerpadla (11)

3.1.1 VENKOVNÍ JEDNOTKA TEPELNÉHO ČERPADLA

Venkovní jednotka tepelného čerpadla odebírá teplo z okolního vzduchu. Jednotka bude umístěna za dodržení instalačních pokynů ke zdi na šterkové lože, do kterého se bude vsakovat kondenzovaná voda z výměníku tepla. Venkovní jednotka bude připojena pomocí dvojice potrubí chladivového okruhu, kabelu pro přívod elektrického napětí a komunikační linky mezi vnitřní a venkovní jednotkou.



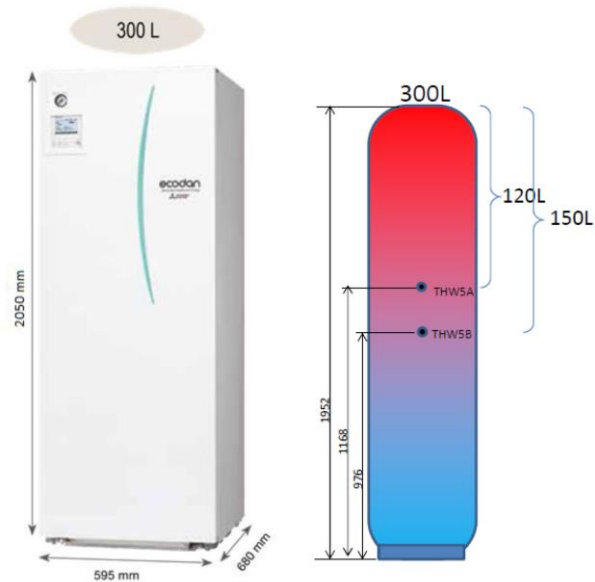
Obrázek 9 Venkovní jednotka tepelného čerpadla



Obrázek 10 Schéma venkovní jednotky tepelného čerpadla (11)

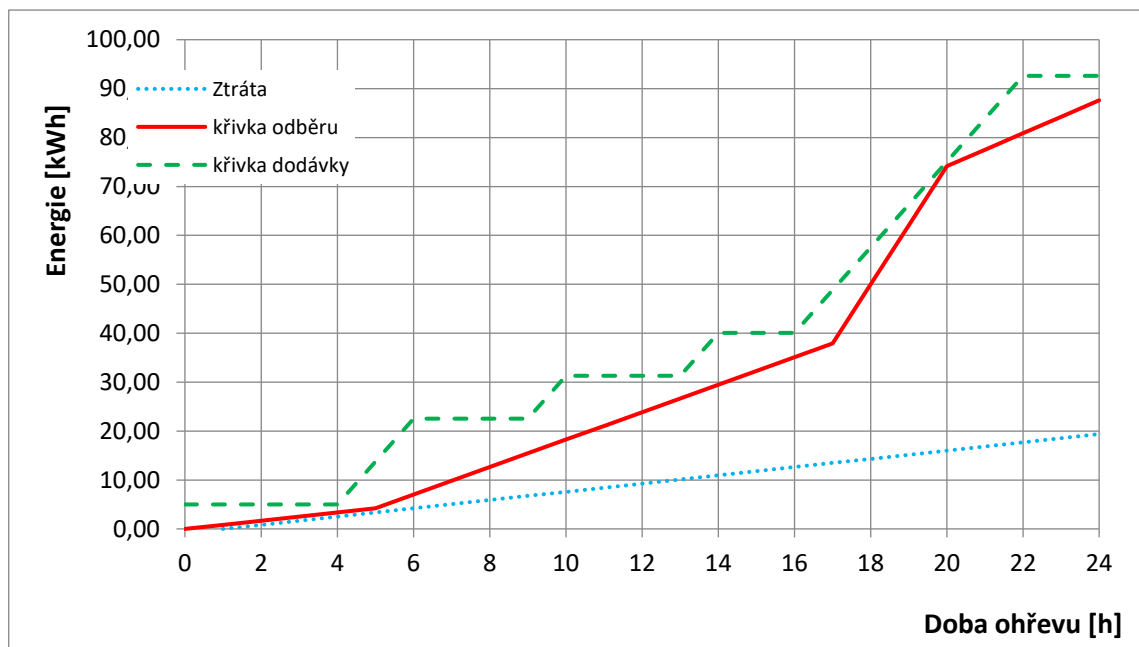
3.1.2 VNITŘNÍ JEDNOTKA TEPELNÉHO ČERPADLA

Vnitřní jednotka tepelného čerpadla typu split kromě výměníku tepla mezi chladivem a vodou obsahuje 300 litrový zásobník teplé vody, oběhové čerpadlo pro primární okruh vytápění, expanzní nádobu a pojistný ventil. Vnitřní modul je zároveň vybaven regulátorem s ovládacím panelem přímo na čelní straně modulu. (11)



Obrázek 11 Vnitřní modul tepelného čerpadla se zásobníkem TV

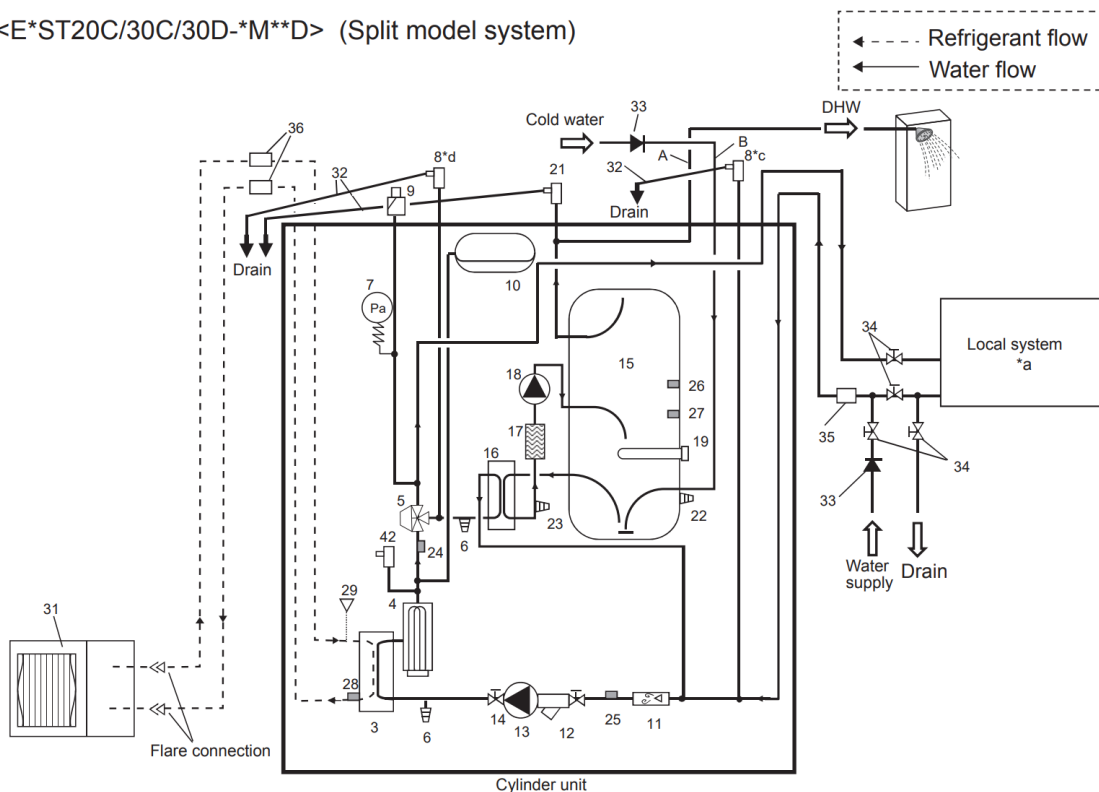
Zásobník teplé vody obsahuje záložní zdroj – elektrickou spirálu o výkonu 9kW. Velikost zásobníku a topný výkon ohřevu vody byl vypočítán dle ČSN 06 0320 a předpokladu křivky odběru teplé vody.



Obrázek 12 Křivka odběru teplé vody

Dle tohoto návrhu vyšla minimální velikost zásobníku 296 litrů při ohřevu vody z 10 °C na 55 °C a topném výkonu 8,76 kW. Při výpočtu byla uvažována ztráta tepla 30 %. Při běžném provozu, kdy bude tepelné čerpadlo ohřívat vodu do otopné soustavy a čidlo teploty v nádrži na teplou vodu zaznamená pokles teploty pod předem nastavenou úroveň, regulátor přepne trojcestný směšovací ventil. Při střetnutí potřeby tepla pro vytápění a potřeby tepla pro ohřev vody má ohřev teplé vody vždy přednost. Trojcestný ventil je na obrázku 13 označen číslem 5.

<E*ST20C/30C/30D-*M**D> (Split model system)



Obrázek 13 Schéma vnitřní jednotky tepelného čerpadla (11)

3.2 AKUMULAČNÍ NÁDRŽ

Za vnitřní jednotku tepelného čerpadla je do technické místnosti navržena akumuláční nádrž pro vytápění s objemem 300 litrů. Tato nádrž odděluje primární okruh od sekundárního, takže chod tepelného čerpadla není závislý na oběhových čerpadlech na větvích rozdělovače.

V přechodném ročním období, kdy nejsou tepelné ztráty nijak významné a je potřeba malého topného výkonu, pomáhá akumuláční nádrž snižovat počet startů kompresoru. I přes vybavení kompresoru frekvenčním měničem je technologickou spodní hranicí 40 % výkonu tepelného čerpadla. Časté spouštění tepelného čerpadla (cyklování) značně zkracuje životnost

kompresoru, když bude doba jeho chodu příliš krátká, chladivový okruh se nestihne celý obměnit a dochází k nepoměřům chladiva a oleje v systému. V nejhorším případě dojde k zadření kompresoru. (11)

Návrh akumulční nádrže vychází z minimální doby běhu kompresoru a výkonu tepelného čerpadla za nominálních podmínek.

$$\frac{V}{\Phi_{T\check{c}}} = \frac{1000 \cdot \Delta\tau}{\rho \cdot c \cdot \Delta T} \quad [22]$$

kde

V – Objem akumulční nádrže [litrů],

$\Phi_{T\check{c}}$ – Jmenovitý výkon tepelného čerpadla [kW],

$\Delta\tau$ – Minimální doba chodu [s],

ΔT – Ohřev vody nad požadovanou teplotu otopné vody [K],

ρ – hustota vody [kg/m^3],

c – Měrná tepelná kapacita vody [$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$],

Běžně se akumulční nádoby navrhují 15 až 30 l/kW. (12)

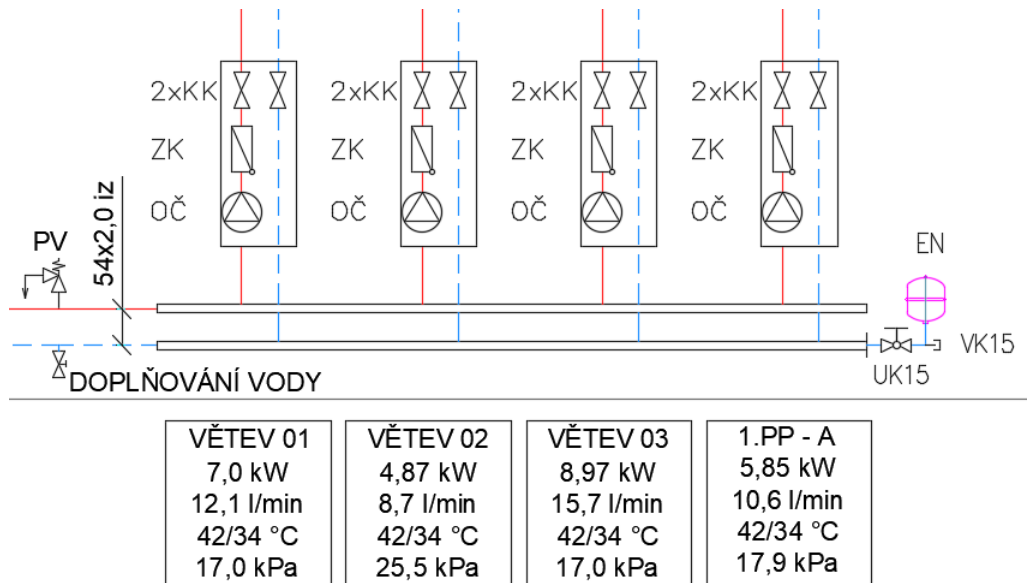
3.3 ROZVODY OTOPNÉ SOUSTAVY

V objektu je navržena dvoutrubková protiproudá horizontální otopná soustava se spodním rozvodem. V technické místnosti je umístěn zdroj tepla, hlavní rozdělovač se sběračem a rozdělovač podlahového vytápění pro podzemní podlaží. Z hlavního rozdělovače je otopná soustava rozdělena do čtyř větví.

- Větev 01: Byty – západ
- Větev 02: 4.NP – Studovna
- Větev 03: Byty – východ
- Větev 04: 1.PP – Klubovna

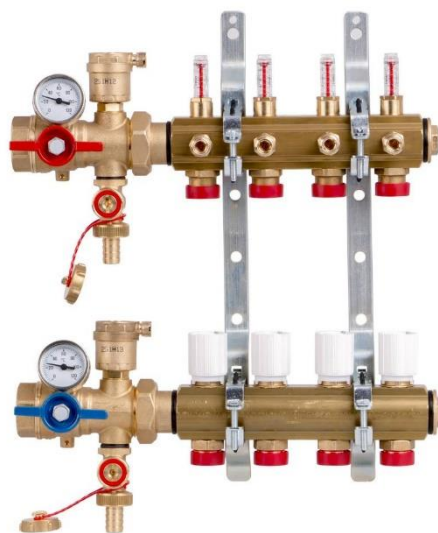
3.3.1 ROZDĚLOVAČE

Hlavní rozdělovač a sběrač, který je umístěn v technické místnosti v podzemním podlaží, bude vyroben jako zámečnická práce na zakázku. Na každé větvi bude osazena samostatně řízená čerpadlová skupina.



Obrázek 14 Hlavní rozdělovač otopné soustavy

Rozdělovač a sběrač podlahového vytápění bude koupený jako kompletní sestava Giacomini R553FK. Sestava je vybavena držáky, průtokoměry, kulovými kohouty, vypouštěním a odvzdušněním. Průtokoměry umístěné na rozdělovači jsou využívány k hydraulickému vyvážení okruhů podlahového vytápění. (13)



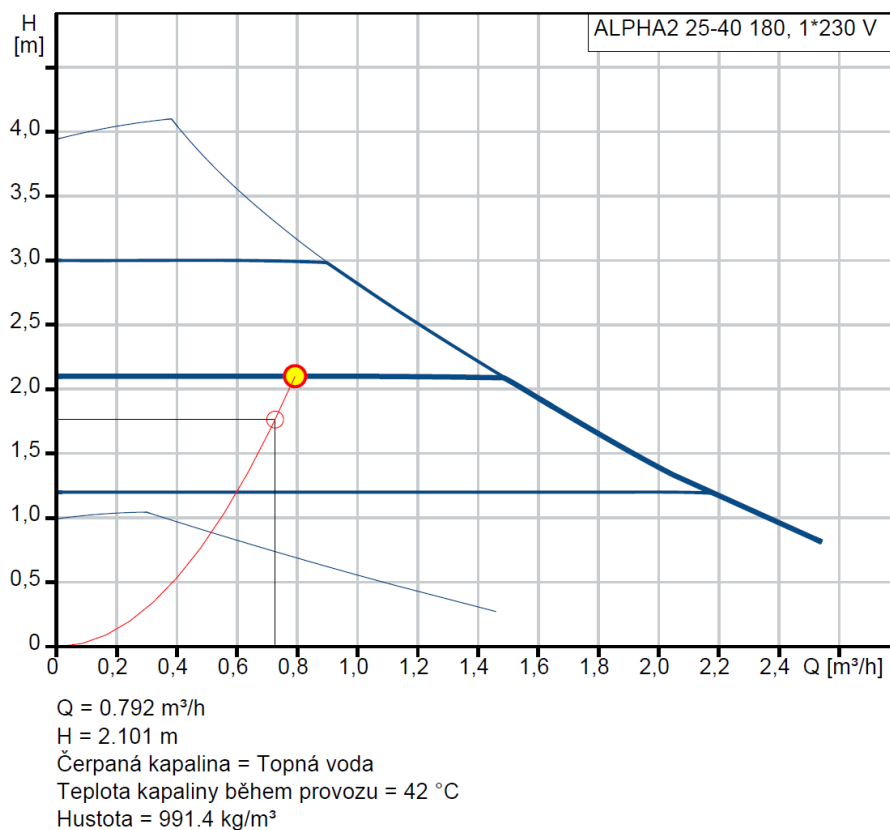
Obrázek 15 Rozdělovač podlahového vytápění R553FK – 4 okruhy (13)

3.3.2 ČERPADLA

Primární okruh je poháněn oběhovým čerpadlem zabudovaným ve zdroji tepla. Za hydraulickým vyrovnáčem dynamických tlaků je voda poháněna oběhovými čerpadly osazenými na každé větvi. Oběhová čerpadla jsou navržena podle webové aplikace od firmy Grundfos. Oběhová čerpadla budou nastavena na režim konstantního tlaku. Čerpadla přizpůsobují průtok požadavku na teplo v soustavě a současně udržují konstantní tlak. Jde tedy o kvantitativní zónovou regulaci. (14)

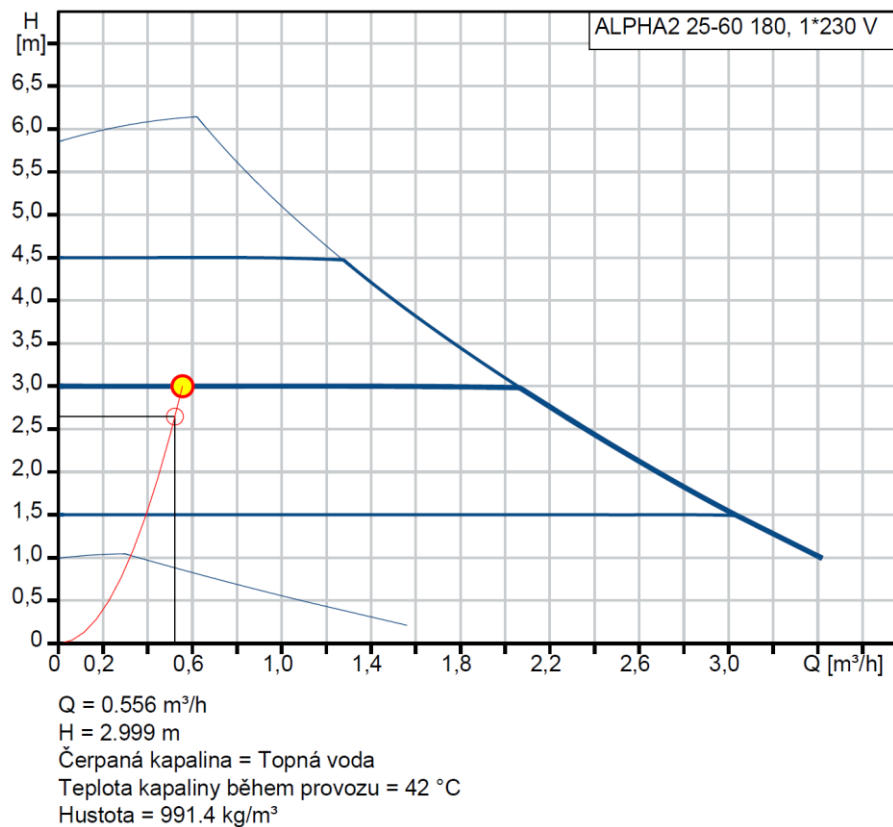
Charakteristiky zvolených oběhových čerpadel vypadají následovně:

Větev 01:



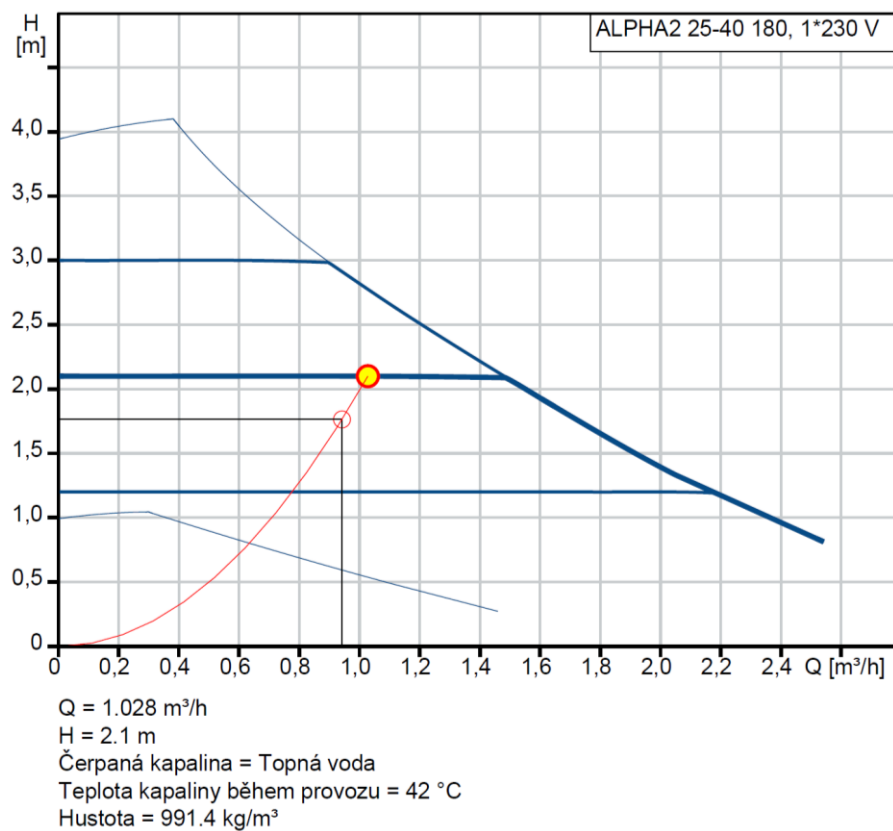
Obrázek 16 Oběhové čerpadlo na větvi 01 (14)

Větev 02:



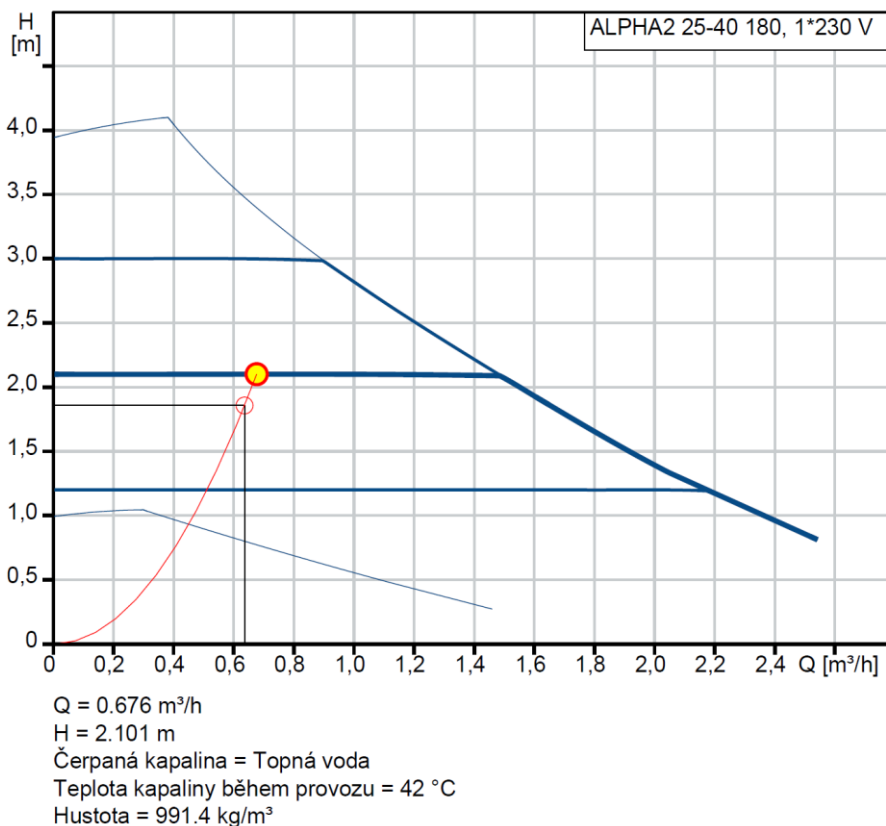
Obrázek 17 Oběhové čerpadlo na větví 02 (14)

Větev 03:



Obrázek 18 Oběhové čerpadlo na větví 03 (14)

Větev 04:



Obrázek 19 Oběhové čerpadlo na větví 04 (14)

3.3.3 ARMATURY

Na rozvodech otopné soustavy jsou navrženy armatury pro správné fungování soustavy, každá má svoji funkci. Je důležité dodržet navrženou velikost ale i polohu dle rozvinutého schéma ve výkresové části této práce. Následuje seznam stručného popsaní funkcí použitých armatur.

Kulový kohout je dvupolohová uzavírací armatura, neslouží k regulaci.

Vypouštěcí kohout je dvupolohová uzavírací armatura, slouží k vypouštění. Umisťuje se v nejnižším místě vypustitelného úseku.

Automatický odvzdušňovací ventil automaticky odvzdušňuje soustavu, umisťuje se v nejvyšším místě odvzdušnitelného úseku.

Vyvažovací ventil škrcením vyvažuje tlakové ztráty okruhů na jedné větví tak, aby do okruhu proudil navržený hmotnostní průtok.

Regulační ventil škrcením řídí tlakovou ztrátu regulovaného okruhu vytápění a upravuje tak hmotnostní průtok dle akčního signálu.

Zpětný ventil je armatura, která zajistí pouze jednosměrný tok potrubím.

3.3.4 POTRUBÍ

Chladivové potrubí propojuje venkovní a vnitřní jednotku tepelného čerpadla. Potrubí bude z mědi vedené v dimenzi dle technického listu. Potrubí pro vedení tekutého chladiva bude mít průměr 6,35 mm (1/4") a potrubí pro vedení plynného chladiva bude mít průměr 12,7 mm (1/2"). Potrubí musí také dodržet maximální výškový rozdíl mezi vnitřní a venkovní jednotkou 25 m. Délka potrubí musí být v rozmezí 2 až 25 m. Minimální mez délky potrubí je dána kvůli přenášení hluku potrubím z vnější jednotky do vnitřní. Maximální možná délka rovného úseku se za každý 90° ohyb zkrátí o 0,5 m délky. (15)

Potrubí pro vytápění bude také z mědi, jeho dimenze jsou popsány ve výkresu jako vnější rozměr x tloušťka stěny potrubí. Dimenze potrubí jsou vypočítány pomocí počítačového softwaru Giacomini Techcon. Výsledky ze softwaru jsou součástí této práce jako příloha. Potrubí musí být vedené ve spádu k místě s vypouštěcím kohoutem a stoupáním k místu s automatickým odvzdušňovacím ventilem. Sklon potrubí musí být vyšší než 0,3 %. (16)

Chladivové potrubí i potrubí pro vytápění je vyrobené z mědi, a proto se spojuje pájením. Měděné potrubí se musí pájet dusíkem, jinak na vnitřní straně spoje budou vznikat nečistoty ze svařování (oxidy). Tyto nečistoty při chodu oběhového čerpadla nebo kompresoru putují potrubím. V tepelném čerpadle se tyto nečistoty zachytávají na filtrační sítko chránící zařízení před mechanickými nečistotami. Po zanesení sítko těmito nečistotami může sítko fungovat podobně jako kapilára, změní tlak za chladivem a tím upraví účinnost systému. V horším případě nečistoty projdou sítkem do kompresoru kde budou narušovat homogenní strukturu oleje, tím se zhoršuje mazací schopnost, až se kompresor zadře. (15)



Obrázek 20 Rozdíl mezi pájením s kyslíkem (dole) a s dusíkem(nahoře) jako ochrannou atmosférou (15)

3.4 PODLAHOVÉ VYTÁPĚNÍ

Pro přenos tepla do místností jsem zvolil velkoplošné teplovodní podlahové vytápění. Způsob montáže bude proveden jako mokrý proces, potrubí tedy bude přímo v kontaktu s roznášecí vrstvou. Způsob provedení pokládky bude meandrem směrem od ochlazované obvodové konstrukce.

Průměrná povrchová teplota podlahy nesmí překročit 29 °C v místnostech s dlouhodobým pobytem lidí a 34 °C v koupelnách. (17) (15)

Vzhledem k velkým podlahovým plochám bude jako roznášecí vrstva použita anhydritová směs místo betonové mazaniny. Anhydritová směs má až desetkrát nižší tepelnou roztažnost než beton, má samonivelační schopnost. Dostatečná výška nad potrubím z hlediska nosnosti je 35 mm a jeden dilatační úsek může mít až 600 m². Anhydritová směs má jednu výraznou nevýhodu, při kontaktu s vodou ztrácí svoji pevnost. Kontakt anhydritové směsi s vodou lze jednoduše zabránit hydroizolační vrstvou nebo nátěrem. (18)

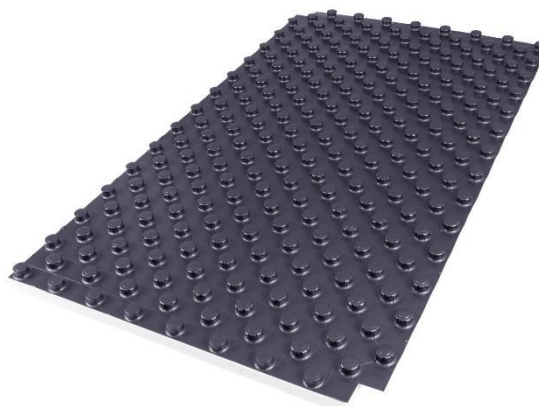
3.4.1 SKLADBY PODLAH

Skladba podlahy v suterénu:

• Keramická dlažba	s = 0,015 m	$\lambda = 1,3 \text{ W/m.K}$
• Anhydritová směs	s = 0,04 m	$\lambda = 1,8 \text{ W/m.K}$
• Systémová deska	s = 0,03 m	$\lambda = 0,04 \text{ W/m.K}$
• ISOVER EPS 100F	s = 0,08 m	$\lambda = 0,037 \text{ W/m.K}$
• ISOVER EPS 100F	s = 0,12 m	$\lambda = 0,037 \text{ W/m.K}$
• Železobeton	s = 0,3 m	$\lambda = 1,43 \text{ W/m.K}$
• Hydroizolační a asfaltový pás	s = 0,004 m	$\lambda = 0,21 \text{ W/m.K}$
• Podkladní betonová deska	s = 0,1 m	$\lambda = 1,3 \text{ W/m.K}$
• Hutněný štěrkopískový podsyp	s = 0,15 m	$\lambda = 2,0 \text{ W/m.K}$

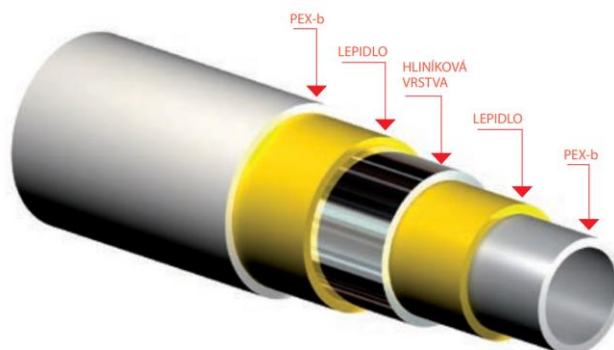
Skladba podlahy v místnostech:

• Keramická dlažba	s = 0,015 m	$\lambda = 1,3 \text{ W/m.K}$
• Anhydritová směs	s = 0,04 m	$\lambda = 1,8 \text{ W/m.K}$
• Systémová deska	s = 0,03 m	$\lambda = 0,04 \text{ W/m.K}$
• ISOVER T-N	s = 0,03 m	$\lambda = 0,044 \text{ W/m.K}$
• POROTHERM strop	s = 0,21 m	$\lambda = 0,875 \text{ W/m.K}$
• Vápenocementová omítka	s = 0,01 m	$\lambda = 0,99 \text{ W/m.K}$



Obrázek 21 Systémová deska R979 T50 (19)

Pro přenos tepla do podlahy je použité vícevrstvé potrubí PEX-AL-PEX 18x2, které je uloženo do systémových desek Giacomini R979 s roztečí 50 mm. Vícevrstvé potrubí splené z umělé hmoty a hliníkové vrstvy má nízkou tepelnou roztažnost (0,026 mm/m.K) a hladký povrch umělé hmoty a díky vrstvě hliníku nedochází k difúzi oxidu skrz potrubí. (20)



Obrázek 22 PEX-AL-PEX (20)

Potrubí bude skládáno od vnějších ochlazovaných stěn. Pro napojení potrubí z umělé hmoty na rozdělovač slouží adaptér např. Giacomini R179AM. Potrubí podlahové smyčky nesmí přesáhnout délky 140 m. (17)

3.5 POJISTNÁ A ZABEZPEČOVACÍ ZAŘÍZENÍ

Pojistné a zabezpečovací zařízení jsou přesně definovány ve skriptu „Sálavé a průmyslové vytápění pro IB“ od prof. Ing. Jiřího Bašty, Ph.D. a Ing. Ondřej Hojer, Ph.D. takto:

„Pojistné zařízení jistí zdroj tepla proti překročení nejvyššího dovoleného přetlaku $P_{h,dov}$.“

„Zabezpečovací zařízení zabezpečuje otopnou soustavu proti náhlým změnám teploty a potažmo tlaků.“

3.5.1 POJISTNÝ VENTIL

Pojistný ventil tedy slouží jako pojistné zařízení pro soustavy bez otevřených expanzních nádob, které slouží jako pojistné zařízení i jako zabezpečovací zařízení. Pojistný ventil se umísťuje blízko ke zdroji tepla. Mezi pojistným ventilem a zdrojem tepla nesmí být žádná uzavírací armatura. V řešené budově je pojistný ventil již součástí vnitřní jednotky tepelného čerpadla. (17)

3.5.2 EXPANZNÍ NÁDOBA

Expanzní nádoba dle definice zabezpečovacího zařízení zabezpečuje otopnou soustavu proti roztažnosti vody při jejím ohřevu na požadovanou teplotu. Uzavřená expanzní nádoba zároveň udržuje tlak na předem nastavené hodnotě. Velikost expanzní nádoby byla stanovena pomocí rovnice:

$$V_{et} = 1,3 \cdot n \cdot \frac{1}{\eta} \quad [25]$$

kde

- V_{et} – Objem tlakové expanzní nádoby [l],
- n – součinitel zvětšení objemu, součinitel je stanovený empiricky [-],
- η – stupeň využití expanzní nádoby [-],

Stupeň využití je závislý na nejnižším dovoleném přetlaku a nejvyšším dovoleném přetlaku. Po dosazení těchto tlaků a odečtení součinitele zvětšení objemu z tabulky mi vyšla velikost tlakové expanzní nádoby 16,8 litrů. Zvolil jsem nejbližší vyšší velikost tlakové expanzní nádoby s objemem 18 litrů. Objem vody v otopné soustavě je přibližně 750 litrů. Expanzní nádoba bude napojena na straně vratného potrubí přes zaplombovaný uzavírací ventil. (17)

4 VĚTRÁNÍ A KLIMATIZACE

4.1 HYGIENICKÉ POŽADAVKY NA VĚTRÁNÍ

Návrh přiváděného objemového průtoku čerstvého vzduchu je klíčovým faktorem pro zajištění zdravého vnitřního prostředí v budovách. Vychází ze specifických hygienických požadavků, které jsou stanoveny v platných právních předpisech. Jedním z těchto předpisů je vyhláška ministerstva pro místní rozvoj č. 20/2012 Sb., která rozšiřuje vyhlášku 268/2009 Sb. a upravuje minimální dávku čerstvého vzduchu na osobu na 25 m³/h nebo minimální intenzitu větrání na 0,5 1/h-1. (21) (22)

Kromě toho stanovuje tato vyhláška maximální koncentraci oxidu uhličitého (CO₂) ve vnitřním prostředí, která nesmí překročit 1500 ppm (parts per million). Tento ukazatel kvality vnitřního prostředí je důležitý, protože překročení této hranice může způsobit únavu, zhoršenou koncentraci, a dokonce i zdravotní problémy. (21) (22)

Kromě vyhlášky Ministerstva pro místní rozvoj existuje i norma ČSN 15665/Z1, která stanoví požadavky na větrání obytných místností. Tyto požadavky jsou uvedeny v přehledné tabulce a zahrnují různé parametry, jako je objemový průtok vzduchu, minimální dávka čerstvého vzduchu na osobu, požadovaná kvalita vzduchu a další faktory, které mají vliv na vnitřní prostředí. (23)

Všechny tyto normy a předpisy mají za cíl zajistit zdravé a příjemné vnitřní prostředí v budovách. Správné řešení větrání může také pomoci snížit riziko šíření infekčních chorob a dalších zdravotních rizik. Proto je důležité, aby byly tyto požadavky a normy respektovány a správně aplikovány při plánování a konstrukci nových budov nebo při úpravách stávajících prostor. (23)

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

Tabulka 2 Požadavky na větrání obytných budov podle národní přílohy Z1 k ČSN EN 15665

4.1.1 NÁVRH BYTOVÉHO VĚTRÁNÍ

Návrh minimálního větrání pro byty vychází z minimální hodnoty dávky venkovního vzduchu na osobu (15 m³/h). Doporučené větrání vychází analogicky z doporučené hodnoty venkovního vzduchu na osobu (25 m³/h). Pro nárazové větrání jsou přiřazené minimální hodnoty odváděného vzduchu z tabulky 2 k příslušným místnostem a dorovnány přivodním vzduchem ve stejném poměru jako u doporučeného větrání, ale navýšeném, aby docházelo k rovnotlakému větrání bytu. Výsledky jsou přehledně vypsány v následujících tabulkách. (22) (21)

VÝCHODNÍ BYT								
Č.M.	POPIS	OBJEM [m ³]	MINIMÁLNÍ VĚTRÁNÍ		DOPORUČENÉ VĚTRÁNÍ		NÁRAZOVÉ VĚTRÁNÍ	
			PŘÍVOD	ODVOD	PŘÍVOD	ODVOD	PŘÍVOD	ODVOD
103	KOUPELNA	12	-	19	-	31	-	50
104	WC	4,5	-	9	-	16	-	25
105	KUCHYŇ	12	8	9	13	16	20	25
106	POKOJ	42	15	-	25	-	40	-
107	POKOJ	45	15	-	25	-	40	-
		Σ	38	38	63	63	100	100

Tabulka 3 Návrh větrání východního bytu

ZÁPADNÍ BYT								
Č.M.	POPIS	OBJEM [m ³]	MINIMÁLNÍ VĚTRÁNÍ		DOPORUČENÉ VĚTRÁNÍ		NÁRAZOVÉ VĚTRÁNÍ	
			PŘÍVOD	ODVOD	PŘÍVOD	ODVOD	PŘÍVOD	ODVOD
110	KOUPELNA	12	-	30		50		50
111	WC	4,5	-	15		25		25
112	KUCHYŇ	12	-	15		25		25
113	POKOJ	42	15	-	25	-	25	
114	POKOJ	42	15	-	25	-	25	
115	POKOJ	42	15	-	25	-	25	
116	POKOJ	45	15	-	25	-	25	
		Σ	60	60	100	100	100	100

Tabulka 4 Návrh větrání západního bytu

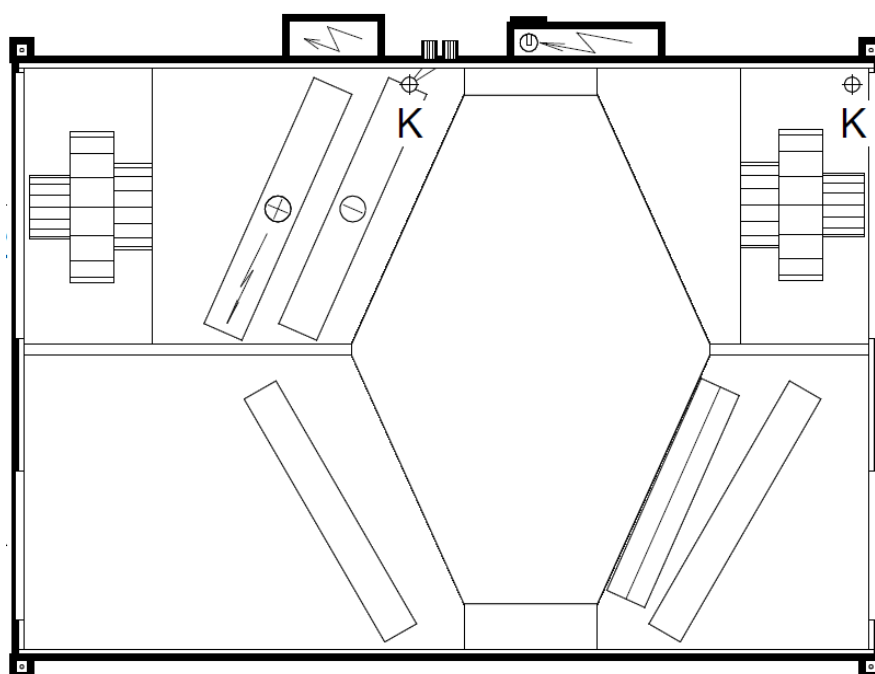
4.1.2 NÁVRH POBYTOVÉHO VĚTRÁNÍ

Větrání místnosti 003 – klubovna je navrženo podle předpokládané maximální obsazenosti. Maximální předpokládaná obsazenost v místnosti je 40 osob. Pro pobyt osob v klubovně se předpokládá lehká činnost ve stoje, proto byla navržena dávka venkovního vzduchu na osobu 36 m³/h. Maximální průtok přiváděného vzduchu je tedy 1440 m³/h.

Větrání místnosti 403 – studovna je navrženo pro 50 lidí při 80% současnosti. Dávka venkovního vzduchu je stanovena na 36 m³/h pro nadstandardní zvýšení kvality vnitřního ovzduší vzhledem k účelu místnosti.

4.2 NÁVRH KLIMATIZAČNÍ JEDNOTKY

Klimatizační jednotka je navržena v návrhovém programu jednotek DUPLEX od firmy ATREA. Tento návrhový software je vhodný pro návrh malých a středně velkých kompaktních jednotek. Pro větrání objektu byla vybrána jednotka tak, aby splňovala nařízení EU 1253/2014, platné od 1.1.2016 i 1.1.2018. Pro nominální průtok vzduchu 3.400 m³/h v přívodní i odvodní části byla vybrána skříň jednotky DUPLEX 3500 MultiEco.



Obrázek 23 Návrh klimatizační jednotky z návrhového softwaru Atrea (24)

4.2.1 FILTRACE

Filtrace je název pro mechanické odlučování znečištění filtračním materiálem. Cílem je dosáhnout toho, aby koncentrace škodlivých látek ve vzduchu přiváděném do prostoru byly nižší než stanovené limitní hodnoty, které jsou určeny hygienickými standardy. Filtry se třídí do skupin podle odlučivosti viz následující tabulka.

Skupina	Třída	Konečná tlaková ztráta (Pa)	Střední odlučivost A_m (%)	Střední odlučivost E_m (%)
Hrubý	G1	250	$A_m < 65$	
	G2	250	$65 \leq A_m < 80$	
	G3	250	$80 \leq A_m < 90$	
	G4	250	$90 \leq A_m$	
Jemný	F5	450		$40 \leq E_m < 60$
	F6	450		$60 \leq E_m < 80$
	F7	450		$80 \leq E_m < 90$
	F8	450		$90 \leq E_m < 95$
	F9	450		$95 \leq E_m$

Obrázek 24 Třídění filtrů pro běžné větrání podle ČSN EN 779 (23)

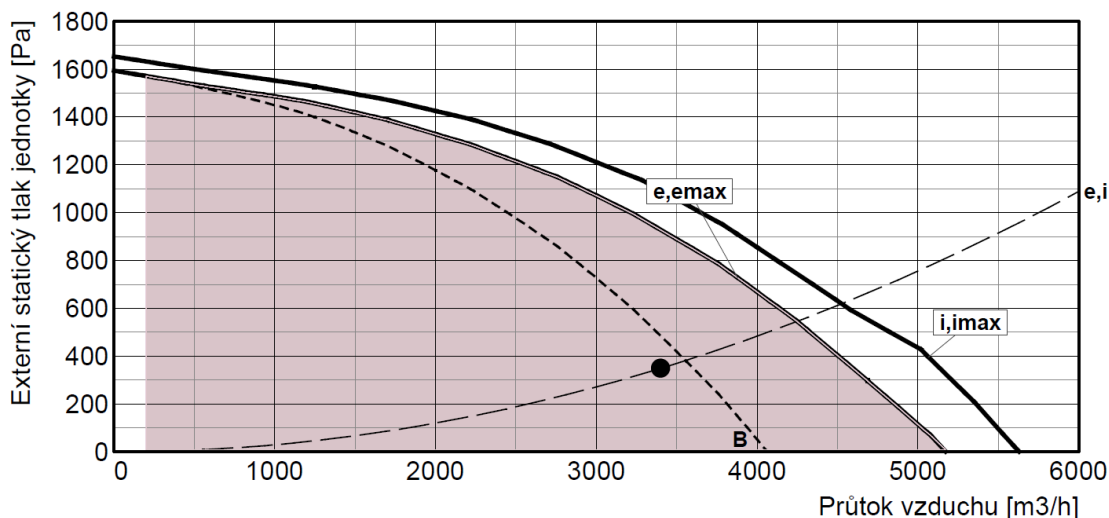
Filtr na přívodní části jednotky byl použit třídy F7, na odvodní straně byl použit filtr třídy G4. Filtry se časem zanášejí a zvyšují tak svoji tlakovou ztrátu místním odporem, a proto je nutné filtry po čase čistit nebo vyměnit. (24) (23)

4.2.2 ZPĚTNÉ ZÍSKÁVÁNÍ TEPLA

Klimatizační jednotka bude v provedení s protiproudým rekuperačním výměníkem tepla mezi venkovním a odváděným vzduchem. Účinnost rekuperace tepla protiproudého výměníku je v katalogu udávána až 93 %. Jednotka je vybavena by-passovou klapkou a je možné obejít rekuperační výměník a nevyužít odváděné teplo. By-pass se skládá z protiběžné listové klapky a servopohonu. By-pass se využívá v případech kdy je v objektu zvýšená tepelná zátěž a stačí přivádět neupravovaný nebo z části neupravovaný vzduch. V případě tohoto objektu by mohl tento případ nastat v letních měsících, kdy jsou byty neobývané a ve večerních hodinách bývá klubovna plně obsazená. (24)

4.2.3 VENTILÁTOR

Na přívodní i odvodní části jsou osazeny stejné ventilátory s volnými oběžnými koly a dozadu zahnutými lopatkami. Ventilátory jsou poháněny třífázovými elektricky komutovanými motory a je možné tedy plynule řídit jejich otáčky za minutu. Ventilátor je nejvýznamnějším zdrojem hluku a vibrací jednotky, akustický výkon je zobrazený v následující tabulce č. 5. Tabulka je z návrhového softwaru klimatizační jednotky Atrea DUPLEX. (24)



Obrázek 25 Výkonová charakteristika jednotky (24)

Hladina akustického výkonu LwA (dB) - bod A

	Total dB (A)	63 dB(A)	125 dB(A)	250 dB(A)	500 dB(A)	1 k dB(A)	2 k dB(A)	4 k dB(A)	8 k dB(A)
sání e1	65	46	53	60	61	56	47	41	29
výtlač e2	93	69	77	84	89	87	82	75	66
sání i1	63	42	50	56	61	49	40	29	<25
výtlač i2	90	66	74	82	87	85	78	72	64
plášť do okolí	75	46	53	71	69	66	65	59	50

Hladina akustického tlaku LpA (dB) - bod A

plášť do okolí	54	26	33	50	49	46	45	39	30
----------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----

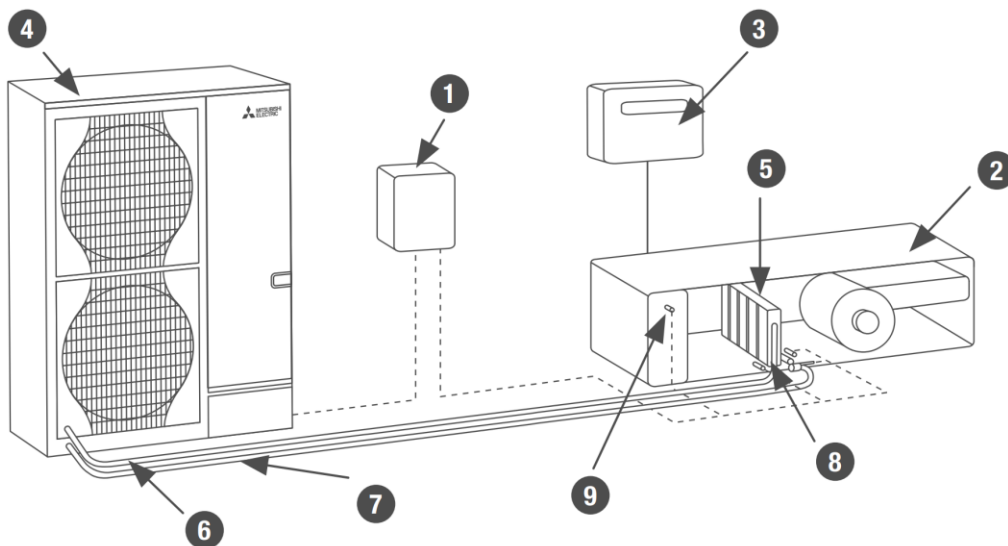
Hladina akustického tlaku je uváděna ve vzdálenosti 3 m.

Tabulka 5 Akustický výkon ventilátorů (24)

4.2.4 OHŘEV A CHLAZENÍ

Ohřev v zimním období a chlazení v letním období je zajištěn tepelným čerpadlem vzduch x vzduch. Tepelné čerpadlo je spojeno se vzduchotechnickou jednotkou chladivovým okruhem, který přenáší vyrobené teplo, nebo chlad do trubkového výměníku tepla v komoře klimatizační jednotky. Teplo je přenášeno do vzduchu konvekci.

Řízení tepelného čerpadla zajišťuje regulace VZT jednotky na straně výměníku a tepelné čerpadlo se přizpůsobí pomocí přípojovacího rozhraní PAC-IF. Schéma zapojení je na následujícím obrázku. (25)

Použití přípojovacího rozhraní s větracím systémem

- | | | |
|----------------------------------|--|---|
| 1 Přípojovací rozhraní PAC-IF013 | 5 Tepelný výměník
(není součástí dodávky) | 8 Teplotní čidlo vstřík. potrubí |
| 2 Vzduchotechnická jednotka | 6 Sací potrubí | 9 Teplotní čidlo zpětného vzduchu/
vzduchu v místnosti (volitelné) |
| 3 Regulace VZT jednotky | 7 Vedení chladiva (kap.)/
vstříkovací potrubí | |
| 4 Venkovní jednotka Mr. Slim | | |

Obrázek 26 Napojení tepelného čerpadla k výměníku tepla VZT (25)

Zimní provoz

V zimním období tepelné čerpadlo bude přiváděný vzduch ohřívát na 20 °C. Přiváděný vzduch nehradí ani nezpůsobuje tepelnou ztrátu. Pro výpočet byly zvoleny tyto vstupní hodnoty:

Venkovní vzduch

Teplota $t_e = -12$ °C,

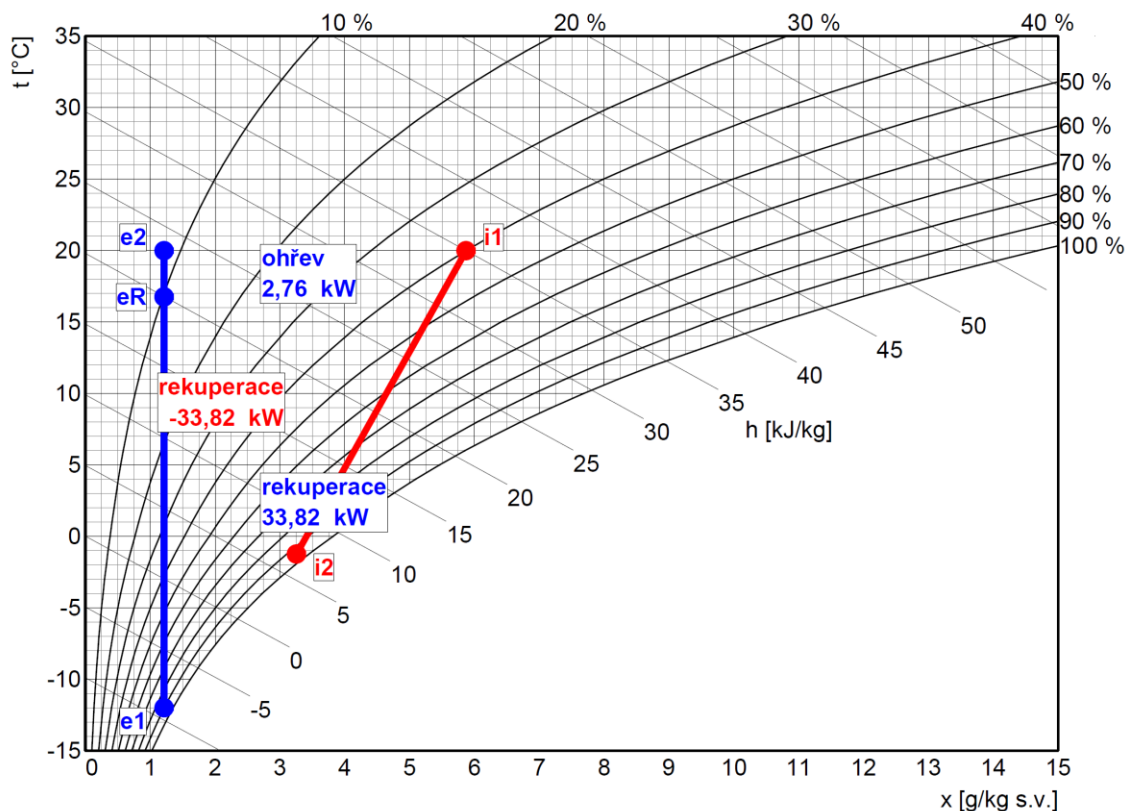
Relativní vlhkost $\varphi = 90$ %

Vnitřní vzduch

Teplota $t_e = 20$ °C,

Relativní vlhkost $\varphi = 40$ %

Využívání zpětného získávání tepla zajišťuje přehřev před výměníkem tepla z tepelného čerpadla a nemůže tak dojít k zamrznutí a poškození trubkového registru. Dle h-x diagramu zimního provozu je ale zřejmé, že u rekuperace na straně odváděného vzduchu vzniká kondenzace. Kondenzovaná voda způsobí námrazu výměníku a oslabí tak účinnost zpětného získávání tepla. Jednotka je proto vybavena automatickou protimrazovou ochranou. Automatická protimrazová ochrana při nebezpečí namrznutí rekuperačního výměníku tepla sníží otáčky přívodního ventilátoru, tím zvedne teplotu deskového výměníku nad bod mrazu.



Obrázek 27 H-X diagram – zimní provoz (24)

Letní provoz

V letním období bude přiváděný vzduch ochlazovaný na potřebnou teplotu řízenou regulací vzduchotechnické jednotky, minimálně na 22 °C. Pro výpočet maximálního chladicího výkonu byly použity tyto vstupní parametry:

Venkovní vzduch

Teplota $t_e = 32$ °C,

Relativní vlhkost $\varphi = 35$ %

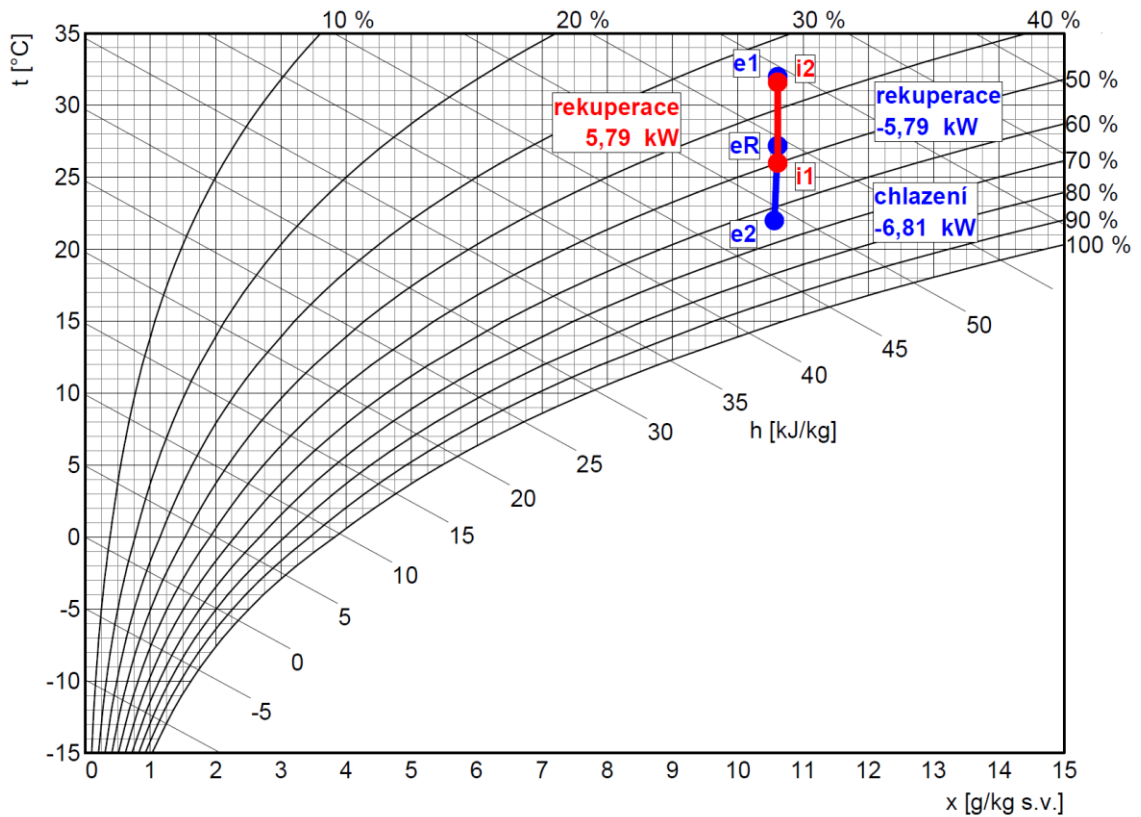
Vnitřní vzduch

Teplota $t_e = 26$ °C,

Relativní vlhkost $\varphi = 50$ %

Výkon tepelného čerpadla bude přes den řízen podle vnitřní teploty. Přesněji je řízení popsáno v podkapitole 5.3 Regulace vzduchotechniky. Přes noc bude tepelné čerpadlo vypnuté, vzduch bude proudit převážně obtokem výměníku zpětného získávání tepla. Budova se tak vyvětrá a vychladí pouze za náklady na otáčení ventilátoru. Pro další úspory na výrobu chladu je důležité správná ochrana před přímým slunečním svitem skrz průsvitné konstrukce.

Podle h-x diagramu z výpočtového softwaru Atrea se jedná spíše o suché chlazení, přesto je nutné výměník napojit na odvod kondenzátu přes kuličkový sifon.



Obrázek 28 H-X diagram – letní provoz (24)

4.3 TLUMENÍ HLUKU

Ve vzduchotechnickém systému je značný počet zdrojů hluku a vibrací. Největším tímto zdrojem je ventilátor v klimatizační jednotce. Dalším výrazným zdrojem hluku jsou potrubní prvky zužující volný průřez potrubí, způsobující tak vířivé proudy a vibrace. Hygienické limity hluku jsou stanoveny nařízením vlády č. 272/2011 Sb. a mají za účel chránit vnitřní i venkovní prostory od hlukového znečištění. Pro obytné místnosti je hygienický limit hluku rozdělený podle doby pobytu:

6:00 až 22:00 h	45 dB
22:00 až 6:00 h	30 dB

Pro snižování hluku se užívají čtyři metody. Nejvhodnější je však používat všechny čtyři najednou.

4.3.1 METODA REDUKCE ZDROJE HLUKU

Metoda redukce zdroje hluku spočívá v snížení hluku ve zdroji například snížením frekvence ventilátoru. S nižší frekvencí ventilátoru ovšem klesá i jeho výkon. (26)

4.3.2 METODA DISPOZICE

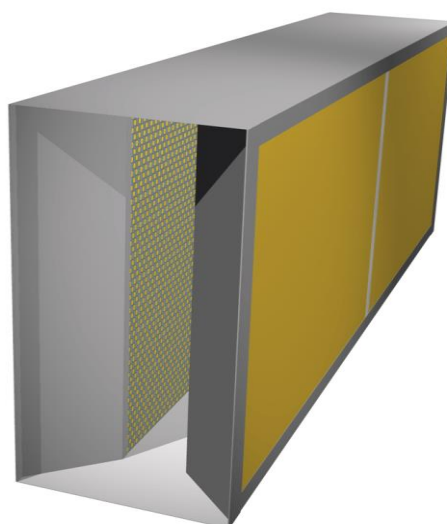
Metoda dispozice má pasivní a preventivní funkci. Metodou dispozice se rozumí vhodné umístění hlučných částí systému. V řešeném objektu jsou nejhlučnější zařízení umístěna do technické místnosti v podzemním podlaží a sousedí s hlučnou klubovnou. Hluk ze zařízení se šíří i potrubím do instalačních šachet, které sousedí s místnostmi s krátkodobým pobytem. (26)

4.3.3 METODA ZVUKOVÉ IZOLACE

Systémy technických zařízení budov se často izolují od okolního prostředí nejen kvůli akustickým podmínkám. Izolace potrubí slouží také pro snížení tepelných ztrát, v případě vytápění a vzduchotechniky, nebo tepelných zisků, v případě chladivových rozvodů. U vzduchotechnických systémů může být také protipožární opatření izolací. Izolace jsou z materiálů s vysokou zvukovou pohltivostí, tudíž není potřeba žádná dodatečná akustická izolace. (26)

4.3.4 METODA ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI

Tato metoda využívá stejně jako metoda izolace vlastností materiálů. Jedná se o vlastnost pohlcovat akustickou energii a přeměňovat ji na teplo. Tlumič hluku je primární složka útlumu hluku vzduchotechniky. Jelikož tlumič hluku je překážkou v trase proudění vzduchu, vytváří hluk. Ze zkušeností z technické praxe se doporučuje, aby rychlost proudění v tlumiči nepřesahovala 5 m/s. Optimální rychlost je 3 až 4 m/s. Tlumiče hluků mají více druhů provedení. Ve vzduchotechnice se používají absorpční tlumiče hluku. Pro útlum hluku šířícího se potrubím je v projektu použito pět buňkových tlumičů. Jejich návrh je součástí práce jako příloha č.6. (26)



Obrázek 29 Buňkový tlumič hluku (27)

4.4 TLAKOVÉ ZTRÁTY ROZVODŮ VZDUCHU

Tlakové ztráty ve vzduchotechnických systémech vznikají třením o vnitřní povrch potrubí a vířivými proudy při změně trajektorie částice vzduchu. Tlakové ztráty dělíme na tlakové ztráty třecí a tlakové ztráty místními odpory. (28)

4.4.1 TŘECÍ TLAKOVÉ ZTRÁTY

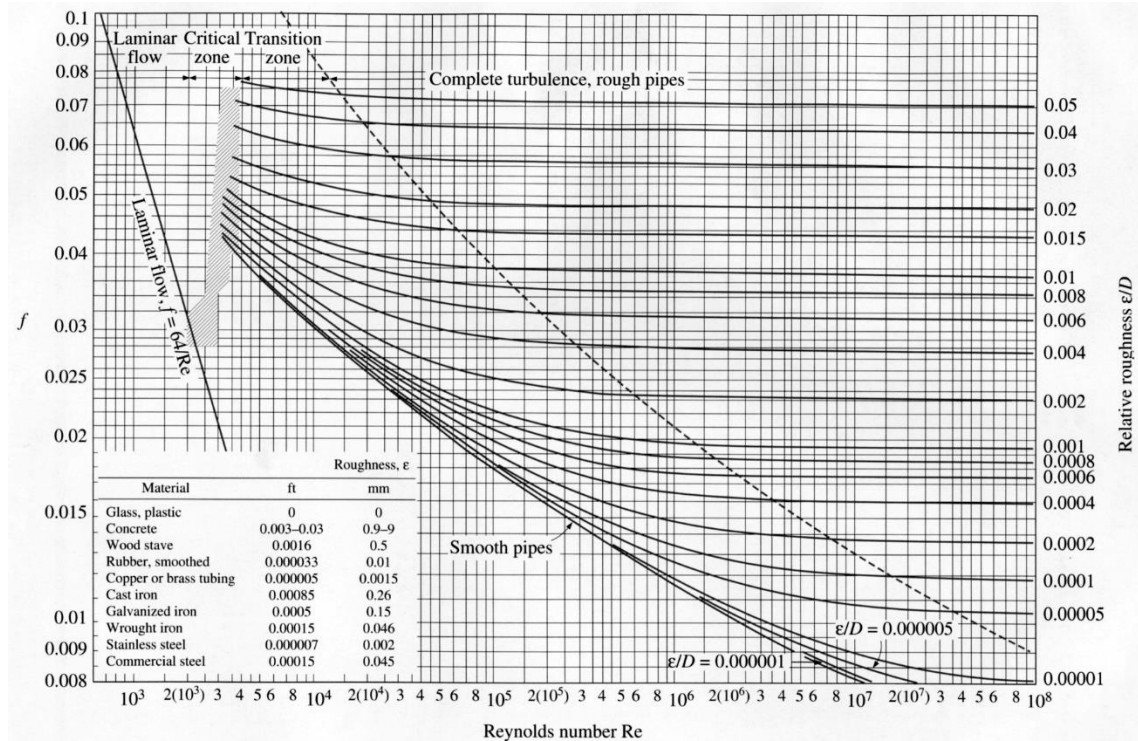
Pro výpočet tlakových ztrát potrubního systému je nutné najít úsek s nejvyššími tlakovými ztrátami, většinou to bývá ten nejvyšší a nejvzdálenější. Dalším krokem je rozdělit si nejdelší trasu na úseky se stejnou rychlostí. Pro každý úsek zjistíme charakter proudění v potrubí. Charakter proudění udává Reynoldsovo číslo.

$$Re = \frac{w_s \cdot d_h}{\nu} \quad [26]$$

kde

Re	Reynoldsovo číslo	[-],
w_s	Střední rychlost proudění	[m/s],
d_h	Hydraulický průměr potrubí	[m],
ν	Kinematická viskozita	[m ² /s],

Součinitel tlakových ztrát třením závisí na Reynoldsově čísle a na relativní drsnosti stěn potrubí k/D . Podle velikosti Reynoldsova čísla lze z Moodyho diagramu odečíst součinitel tlakových ztrát třením. Drsnost potrubí byla pro vzduchotechnické potrubí uvažovaná $k = 0,15$ mm. (23)



Obrázek 30 - Moodyho diagram (29)

Třecí tlakové ztráty lze vyjádřit ze vztahu:

$$\Delta p_{zt} = \lambda \cdot \frac{l}{d_h} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot w^2 \quad [27]$$

kde

Δp_{zt}	tlaková ztráta třením	[Pa],
λ	součinitel tlakových ztrát třením	[-],
l	délka potrubí	[m],
d_h	hydraulický průměr	[m],
ρ	hustota vzduchu	[kg/m ³],
w	střední rychlost proudění vzduchu	[m/s],

4.4.2 MÍSTNÍ TLAKOVÉ ZTRÁTY

Místní tlakové ztráty vznikají v místech, kde dochází ke změně směru nebo změně průřezu. U vzduchotechnického potrubí jsou těmito místy kolena, oblouky, odbočky, rozbočky, místa zúžení, etažový odskok atp. Tlakovou ztrátu tvarovky spočítáme ze vztahu:

$$\Delta p_{zm} = \xi \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot w^2 \quad [28]$$

kde

Δp_{zm}	tlaková ztráta místními odpory	[Pa],
ξ	součinitel místní ztráty	[-],
ρ	hustota vzduchu	[kg/m ³],
w	střední rychlost proudění vzduchu	[m/s],

Součinitel ξ lze většinou stanovit pouze experimentálně. Pro výpočet jsem použil součinitele tlakových ztrát vypsané v tabulce ve skriptu vzduchotechniky. (23)

Výpočet tlakové ztráty byl zhotoven pro nejvzdálenější distribuční prvek s nejvyšším průtokem. Tímto distribučním prvkem je vířivý anemostat přivádějící vzduch do studovny ve čtvrtém nadzemním podlaží.

Rozdíl výpočtu tlakové ztráty pro vytápění a vzduchotechniku je v přenášené látce, která ovlivňuje výsledek svými vlastnostmi. Druhým rozdílem je, že vzduchotechnika je otevřený systém a na konci potrubí se musí přidat jeden dynamický tlak pro vyústění vzduchu do místnosti.

4.5 ROZVODY KLIMATIZAČNÍ SOUSTAVY

Upravený vzduch v klimatizační jednotce je rozváděn po budově plechovým potrubím s povrchovou úpravou pozinkováním.

Čtyřhranné potrubí je používáno pro vyšší průtoky vzduchu. Čtyřhranné potrubí se hodí zvláště do podhledů a prostorů omezených na výšku. Protože se čtyřhranné potrubí vyrábí většinou ručně na zakázku má vysokou variabilitu odboček, rozboček, úskoků a dalších tvarovek. Dva kusy čtyřhranného potrubí jsou spojovány přírubami 20 nebo 30 mm.

Kruhové potrubí má lepší profil proudění vzduchu než čtyřhranné potrubí, vyšší pevnost v ohybu a snadnější montáž. Nejpoužívanějším druhem kruhového potrubí je potrubí typu spiro. Spiro potrubí je vyráběno spirálně vinutým pozinkovaným plechem a je prodáváno vzduchotechnickými dodavateli. Rovné kusy se běžně dodávají po 3 m. (23)

Flexibilní potrubí je třetím typickým potrubím pro rozvody vzduchotechniky. Flexibilní potrubí je ohebná hadice z hliníkové fólie, často se prodává spolu s izolací a používá se k dopojení prvků a jako tlumící prvek. Aby flexibilní potrubí sloužilo jako tlumící prvek, nesmí být však nainstalováno pouze jako rovný kus.

Pro rozvody upravovaného vzduchu je možné také použít atypické potrubí jako třeba textilní potrubí, nebo potrubí z lepených ALP panelů.

Vzduchotechnické potrubí bývá zavěšeno pod strop pomocí nosných prvků. Čtyřhranné potrubí je položeno na nosník, který je ukotvený do stropu. Mezi nosníkem a potrubím je pryžová vložka tlumící hluk a vibrace přenášené ze systémů vzduchotechniky. Kruhové potrubí se ukládá do závěsných objímek s pryžovou vložkou.

4.6 DISTRIBUCE VZDUCHU V MÍSTNOSTECH

Při návrhu distribuce vzduchu do místnosti je třeba zohlednit mnoho faktorů, které ovlivňují konečné řešení. Distribuce by měla být navržena tak, aby vzduch dokázal proudit do každé části místnosti a zároveň byla minimalizována stagnace vzduchu. Pro tento účel jsou distribuční prvky rozmístěny do místnosti s ohledem na optimální průtok vzduchu. Toto rozmístění spolu s volbou typu distribučního prvku je klíčové pro dosažení efektivního a pohodlného vnitřního prostředí. (23)

Výběr velikosti distribučních prvků závisí na rychlosti proudění vzduchu, což je důležitý faktor pro pohodlí osob v místnosti. Vysoká rychlost proudění může vést k nepříjemnému průvanu, zatímco příliš nízká rychlost může způsobit stagnaci vzduchu. Proto je třeba při návrhu distribučních prvků zohlednit požadovanou rychlost vzduchu v oblasti pobytu a optimalizovat velikost a tvar prvku s ohledem na tuto rychlost.

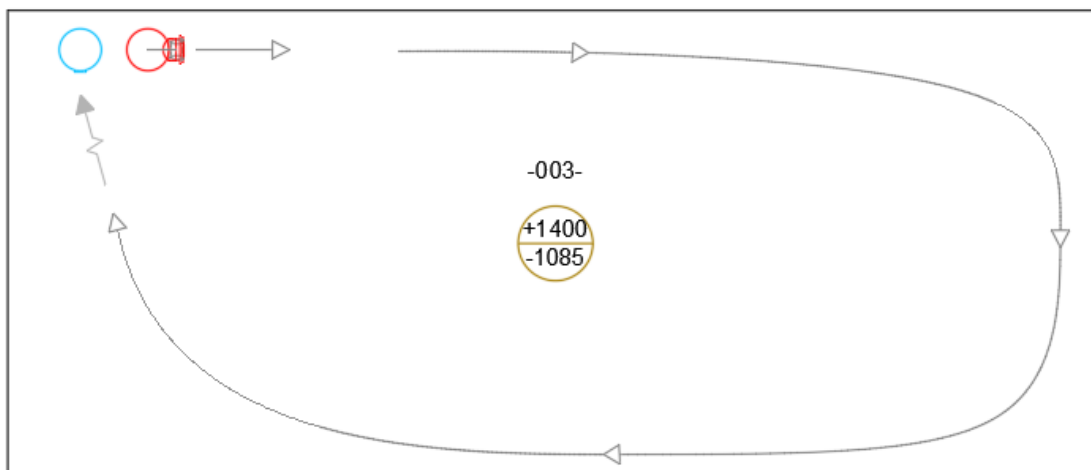
Vzhledem k mnoha faktorům ovlivňujícím návrh distribuce vzduchu není jednoznačně definováno, jaký přesný postup použít. Výběr správného řešení závisí na mnoha faktorech, jako jsou velikost a tvar místnosti, požadovaná rychlost proudění vzduchu a umístění ostatních prvků vzduchotechnického systému. Pro dosažení optimálního řešení je tedy nutné zohlednit všechny tyto faktory a vybrat řešení, které bude nejefektivnější a nejpohodlnější pro uživatele.

4.6.1 KLUBOVNA

V klubovně je upravený venkovní vzduch přiváděný po delší straně dýzami s dalekým dosahem. Dýzy jsou používány pro svůj daleký dosah, maximální dosah dýzy může být i vyšší než 10 metrů. Při návrhu velikosti dýzy byl dodržen postup v technickém listu od výrobce, rychlost proudění vzduchu v pobytové oblasti nebude vyšší než 0,5 m/s. Pobytová zóna je uvažována do 1,7 metrů nad podlahou. (23)

Znehodnocený vzduch bude z místnosti odtahován čtyřhrannou jednořadou vyústkou pro kruhové potrubí rozmístěné po delší straně za potrubním přívodním. Vzduch bude zároveň přetlakově přefukován do hygienického a technického zázemí klubovny. Vzduch bude proudit

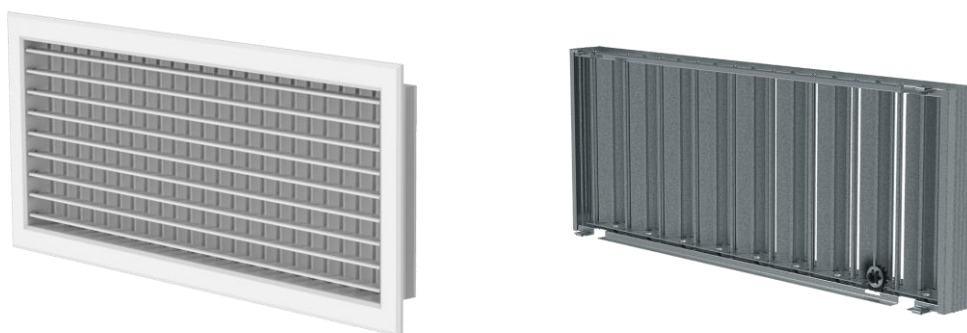
mezerou pod podříznutými dveřmi bez prahů. Mezera pode dveřmi nesmí být moc malá, aby nevznikal nepříjemný průvan na kotníky.



Obrázek 31 Obraz proudění v místnosti 003

4.6.2 BYTY

V bytech je venkovní vzduch přiváděný do místností s dlouhodobým pobytem lidí. Vzduch je přiváděný čtyřhrannými dvouřadými vyústkami směrem ke zdi sousedící s venkovním prostorem. Vzduch bude přefukovaný netěsnostmi a pode dveřmi bez prahu do místností, kde je vzduch odsáván. Vzduch je odsáván z místností, kde vzniká škodlivina. Typickou škodlivinou pro byty jsou vlhkost a zápach z kuchyně anebo z koupelny. V koupelně a na toaletě bude vzduch odváděný talířovými ventily v podhledu. (30)



Obrázek 32 Přívodní vyústka Nova-A s regulací R1 (30)

4.6.3 STUDOVNA

Pro prostor studovny je především důležité rozptěnění přiváděného vzduchu s malou rychlostí proudění vzduchu v pobytové oblasti. Příliš vysoká rychlost by mohla způsobit pocit nepříjemného průvanu, který by způsobil nepohodu prostředí. Studium lze považovat jako práci

I. třídy dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. Rychlost vzduchu na pracovišti I. třídy je nařízená v rozmezí 0,01 až 0,2 m/s. (31)

Z tohoto důvodu byly zvoleny podstropní vířivé anemostaty, které díky vysoké indukci rychle smíchají primární přiváděný vzduch se sekundárním a nedochází tak k studenému průvanu při letním chlazení prostoru. (32)



Obrázek 33 Vířivý anemostat 300/8 s plenumboxem (32)

4.7 POŽÁRNÍ VĚTRÁNÍ OBJEKTU

Z objektu vedou dvě chráněné únikové cesty typu A. Chráněné únikové cesty je potřeba větrat v případě požáru tak, aby je bylo možné pokládat za bezpečné. Chráněnou únikovou cestu pokládá norma za bezpečnou, pokud jsou zplodiny hoření a kouře zředěny na koncentraci 1 % objemu vzduchu, nejvýše však 2 %. (33)

Chráněná úniková cesta bude větrána dle ČSN 73 0802/Z3, článku 9.4.2 a1) otevíratelnými okny v každém patře o ploše nejméně 2 m². Okna budou otevíraná signálem z elektrické požární signalizace. Otevřenými okny nesmí být narušený prostor chráněné únikové cesty, okna se budou otevírat ven. (33)

5 MĚŘENÍ A REGULACE

5.1 MĚŘENÍ VELIČIN

Pro efektivní řízení vytápění a vzduchotechniky je důležité spolehlivé měření řízených veličin. Regulace vytápění je závislá na okamžitém měření teplot a tlaků v soustavě i mimo ni. Pro úctovací a přehledové účely je důležité měření spotřebovaného tepla.

5.1.1 MĚŘENÍ TEPLoty

Měření teploty pro regulaci a řízení otopné soustavy i vzduchotechniky jsou používána čidla typu NTC (Negative Temperature Coefficient). Čidlo typu NTC je elektronická součástka, která má proměnlivý odpor v závislosti na teplotě. NTC termistor obsahuje polovodičový materiál, který má vlastnost, že jeho odpor se snižuje s rostoucí teplotou. Závislost odporu na teplotě u NTC lze napsat rovnicí:

$$R = R_0 \cdot e^{\frac{B}{T}} \quad [23]$$

Teplotní rozsahy NTC se pohybují od běžných $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $150\text{ }^{\circ}\text{C}$. (34)

Kontrolní senzor teploty se stupnicí pro servis a údržbu je umístěn na každou větev hlavního rozdělovače vytápění. Senzor teploty pracuje na mechanickém principu, k měření využívá bimetalovou pružinu, která se změnou teploty deformuje. Přesnost teploměru s bimetalovou spirálou je $\pm 2\text{ K}$. (35)

5.1.2 MĚŘENÍ TLAKU

Měření tlaku ve vzduchotechnice a vytápění je klíčovým procesem pro správné fungování a optimalizaci těchto systémů. Tlakové podmínky mají významný vliv na tok vzduchu, výkon ventilátorů, správnou distribuci tepla a celkovou účinnost. Přesné měření tlaku umožňuje identifikovat problémy, jako jsou úniky potrubím, zanesené filtry nebo chybu regulace.

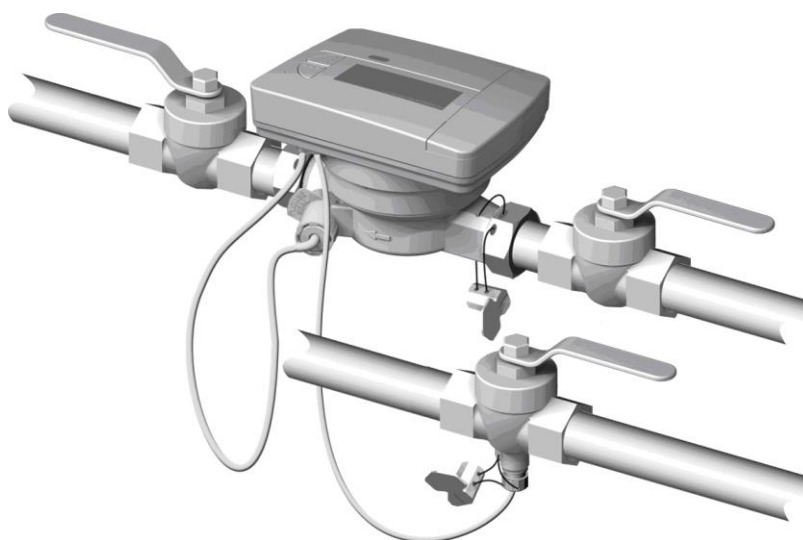
Kontrolní manometr se stupnicí pro servis a údržbu je umístěn na každou větev hlavního rozdělovače vytápění. Manometr je mechanický a k měření využívá deformaci trubkové pružiny, ta se změnou tlaku narovná. (35)

Pro měření diferenčního tlaku ve vzduchotechnice před a za filtrem jsou osazeny manostaty v rozsahu $0\text{--}500\text{ Pa}$. Hodnota na manostatu ukazuje, jak je filtr zanešený. Při vysokých hodnotách je potřeba filtr vyčistit, případně vyměnit za nový. (24)

5.1.3 MĚŘENÍ TEPLA

V objektu je jeden centrální zdroj tepla pro vytápění pro více plátců energií, proto je potřeba, aby každý plátec měl svůj měřič tepla. Použitý měřič tepla je elektronický s vrtulkovým průtokoměrem.

Měřič tepla se skládá z průtokoměrné části, senzorů teploty a vyhodnocovací jednotky. Průtokoměrná část je instalována na zpátečku před rozdělovač podlahového topení. Do přívodního potrubí se pouze instaluje senzor teploty. Mikroprocesor v elektronické jednotce vypočítá teplotní rozdíl přívodu a zpátečky, který se použije se střední hodnotou průtoku a tepelnou konstantou k výpočtu množství spotřebované energie zobrazené na displeji ve fyzikálních jednotkách (kWh / MWh nebo MJ / GJ). Pro zvýšení přesnosti se při každém měření využívají hodnoty hustoty a entalpie, které jsou zahrnuty do výpočtu. (36)



Obrázek 34 Měřič tepla – montáž s kulovými kohouty

5.2 REGULACE OTOPNÉ SOUSTAVY

Pro zvýšení komfortu a snížení spotřeby tepla je klíčové, aby byla otopná soustava regulována. Otopná soustava bude regulována na dvou místech, a to na straně zdroje tepla a na straně uživatele. Na straně zdroje tepla bude systém regulován podle potřebného množství tepla dodávaného do objektu. Na straně uživatele bude možné řízení teploty v místnosti.

Regulace zdroje tepla

Výstupní teplota ze zdroje tepla bude řízena pomocí PI regulátoru, který bude pracovat na principu ekvitermní regulace. To znamená, že regulátor bude sledovat venkovní teplotu

vzduchu a na základě toho upravovat výstupní teplotu ze zdroje tepla. K tomu bude využíváno čidlo teploty venkovního vzduchu, který bude umístěn na severní fasádě objektu. Důležité je, že čidlo bude polozapuštěné do fasády, aby nebylo ovlivněné povětrnostními vlivy a slunečním zářením. Zároveň čidlo nesmí být poblíž otevíravých oken, výdechů vzduchotechniky a ostatních možných faktorů, které by mohly znehodnotit měření. (37)

Aby byl zdroj tepla co nejefektivnější, bude přerušovat svůj provoz, pokud dojde k určitému rozdílu teploty vody v přívodním a vratném potrubí. Konkrétně se jedná o přerušení provozu, pokud bude rozdíl teploty menší než 8 K. Tato ochrana pomůže zamezit neefektivnímu chodu zdroje tepla a zbytečné spotřebě energie. Celkově tedy bude regulace výstupní teploty zdroje tepla prováděna inteligentně a s ohledem na vnější vlivy a parametry, aby byl zdroj co nejefektivnější a zároveň se minimalizovala spotřeba energie.

Zónová regulace

Pro účinné řízení teploty v objektu byl objekt rozdělen na zóny podle plátců tepla, které budou řízeny jedním akčním prvkem. Pro tento účel byl zvolen dvoucestný regulační ventil s motorickým servopohonem, který umožňuje řízení hmotnostního průtoku. Tento způsob regulace se nazývá kvantitativní regulace.

Regulační ventily byly navrženy tak, aby jejich autorita byla v rozmezí 0,3 až 0,5. Obecně lze říci, že čím vyšší autorita ventilu, tím je lepší regulační schopnost ventilu v potrubní síti. Autorita ventilu je definována tímto vzorcem:

$$P_v = \frac{\Delta P_{v100}}{\Delta P_{v0}}, \quad [24]$$

kde

Δp_{v100} – tlaková ztráta dvoucestného ventilu při plném otevření [Pa],

Δp_{v0} – tlaková ztráta dvoucestného ventilu při plném uzavření [Pa],

Regulační ventil bude řízen PI regulátorem, který bude součástí nástěnného nastavovacího prvku se senzorem teploty. Tento regulátor bude umístěn na stěně referenční místnosti zóny a bude obsahovat čidlo teploty vzduchu v místnosti. PI regulátor bude vyhodnocovat rozdíl teploty mezi nastavenou teplotou a skutečnou teplotou v místnosti a na základě této informace vyhodnotí regulační odchylku a bude regulovat akčním signálem zdvih kuželky škrtícího ventilu. Tím se bude řídit množství tepla, které je dodáváno do otopné plochy v dané zóně. (37)

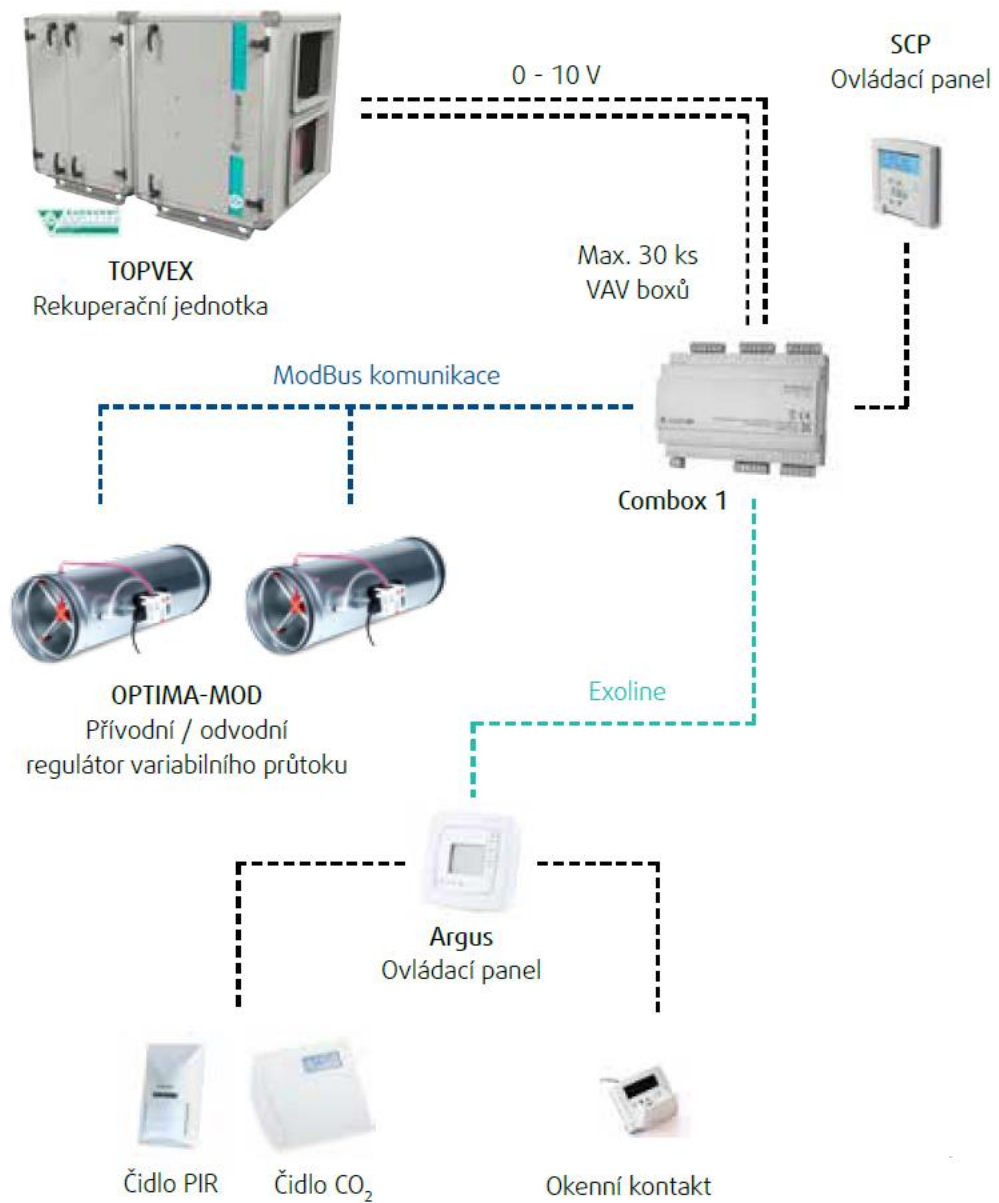
Díky této regulaci bude možné efektivně řídit teplotu v každé zóně a zároveň minimalizovat přetápění místností v jednotlivých zónách. Pokud bude potřeba snížit teplotu v místnosti, regulátor sníží průtok otopné vody do otopné plochy a tím sníží množství předávaného tepla do místnosti. To znamená, že teplo nebude zbytečně vyhřívat místnost, což sníží energetickou náročnost a ušetří náklady na vytápění.

5.3 REGULACE VZDUCHOTECHNIKY

Aby byl vzduch distribuován do zón dle navržených objemových průtoků vzduchu, je potřeba akční prvek, který bude tento průtok upravovat. Do potrubí se vloží akční prvek, který uzavírá volný průřez potrubí a zvyšuje tak celkovou tlakovou ztrátu větve. Pro pobytové místnosti a byty jsou zvoleny regulátory variabilního průtoku vzduchu s možností regulací dle zóny. Pro ostatní prostory jsou zvoleny regulátory konstantního průtoku vzduchu.

Pro regulování konstantního průtoku vzduchu je použit regulátor Systemair RDR. Tento typ regulátoru se instaluje přímo do potrubí. Vzduch prochází otvorem v regulátoru, kde se klapka pohybuje podle nastaveného průtoku vzduchu. Klapka je spojena s kalibrovanou pružinou, která zajišťuje konstantní průtok. Nastavení průtoku se mění pomocí středového šroubu, který posune regulační mechanismus nahoru nebo dolů. Průtok se může měnit pouze v určitém rozsahu. Regulační rozsah regulátoru je 50–250 Pa. (38)

Regulátor variabilního průtoku vzduchu je opatřen motorem připojeným na logickou jednotku, která autonomně řídí požadovanou tlakovou ztrátu v systému podle koncentrace CO_2 a v létě i podle teploty vzduchu v referenční místnosti. Čidlo CO_2 je umístěné do odvodního potrubí ze zóny, čidlo teploty je součástí ovládacího panelu. Zóny studovna a klubovna budou také vybaveny čidlem přítomnosti osob. Pro zvýšení uživatelského komfortu bude v každé zóně nástěnný ovladač pro možnost dočasného zvýšení průtoku vzduchu, nebo snížení po dobu nepřítomnosti. Logická řídicí jednotka na tento pokyn zareaguje a upraví polohu listů dle potřeby. Kromě nastavení polohy listů se taky změní otáčky ventilátorů v klimatizační jednotce a tím celkový přiváděný a odváděný objemový průtok vzduchu. (39) (40)



Obrázek 35 Schéma regulace VAV regulátorů (40)

6 ZÁVĚR

V této práci byla vypracována studie vytápění a větrání čtyřpodlažního činžovního domu. Dům je postavený z konstrukcí s kvalitními tepelně technickými vlastnostmi. Na základě výpočtu tepelných ztrát a tepelných zisků vychází roční spotřeba tepla objektu na vytápění 44,3 kWh/m².

Norma ČSN 730540 2 definuje nízkoenergetický dům jako dům nepřekračující roční spotřebu tepla na vytápění 50 kWh/m². Tudíž jej lze považovat za nízkoenergetický. Tepelné ztráty, tepelné zisky, celková potřeba tepla na vytápění i potřeba tepla na ohřev teplé vody byla vypočítána ve mnou vytvořeném souboru MS Excel. Výpočtové tabulky byly vytvořeny podle příslušných českých technických norem.

Na celkovou tepelnou ztrátu bylo navrženo tepelné čerpadlo pro svoji vysokou energetickou úsporu, nízké emise CO₂ a možnost napájení z primárních obnovitelných zdrojů. Výpočet podlahového vytápění a dimenzování teplovodního potrubí vytápění byl proveden v grafickém výpočtovém softwaru TechCON. Do místností bylo navrženo podlahové vytápění díky zvýšené tepelné pohodě už při nižších teplotách vzduchu v místnosti. Druhým důvodem ke zvolení podlahového vytápění bylo souznění teplotního spádu s nízko teplotním zdrojem. Zóny jsou regulovány kvantitativně, a ne kvalitativně proto, aby nedocházelo ke zbytečným ztrátám tepla v akumulární nádobě při přehřívání topné vody na vyšší než potřebnou teplotu. Systém je zároveň tak jednodušší a odolnější poruchám.

Větrání a klimatizace objektu bylo navrženo pomocí jediné klimatizační jednotky. Objemový průtok byl vypočítán podle hygienických předpisů a českých technických norem. Výpočtové tabulky objemových průtoků a tlakových ztrát pro návrh klimatizační jednotky byly zpracovány v tabulkách MS Excel. Hodinové tepelné zisky byly vypočítány pomocí doplňku do MS Excel od společnosti Qpro. V návrhovém programu jednotek DUPLEX byla zvolena jednotka DUPLEX 3500 Multi Eco (technický list jako příloha k této práci). Za jednotku jsou osazeny na každé potrubí tlumiče hluku, tlumící hluk přenášený vzduchem do objektu. Tlumiče hluku byly navrženy s tlumícími buňkami od firmy Greif v oficiální tabulce MS Excel. Vzduchotechnické potrubí vedené suterénem bude tepelně izolováno, jelikož v zimním období může být klubovna pouze temperována a docházelo by k nechtěným tepelným ztrátám. Návrh distribuce byl v každém prostoru individuální a bylo nutné k prostoru přistupovat i z hlediska jeho využívání.

Otopný systém dokáže reagovat na vnější i vnitřní prostředí, a dokonce i na nastavení uživatelem. Na vnější prostředí reaguje pomocí nastavené ekvitermní křivce ve vnitřní jednotce tepelného čerpadla, tepelné čerpadlo upravuje výstupní teplotu do otopného systému a tím

efektivně zvyšuje SCOP otopného systému. Otopný systém reaguje i na vnitřní prostředí a odebírá pouze potřebné teplo z akumulací nádrže. Klimatizační systém také automaticky řídí množství a kvalitu vzduchu na základě naměřených hodnot v budově. Regulátory variabilního průtoku vzduchu umožňují větrání studovny a klubovny pouze při přítomnosti lidí a díky PIR senzoru začnou prostor větrat ještě před tím, než koncentrace CO₂ vystoupá nad kritickou hodnotu. V bytech se nepředpokládá okamžitý nárůst koncentrace CO₂, je zde určena maximální hranice PEL 1500 ppm CO₂ a také je zde regulována teplota vnitřního vzduchu v letním období. Vnitřní teplota se bude blížit k nastavené hodnotě podle charakteristiky PI regulátoru.

Technická zařízení budovy byla navržena tak, aby bylo veškeré přizpůsobování automatické, úsporné a šetrné k životnímu prostředí. Budovu tedy lze pokládat za inteligentní.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. ČSN EN ISO 6946. *Stavební prvky a stavební konstrukce - Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtové metody*. Praha : ÚNMZ, září 2020.
2. ČSN EN ISO 13370. *Tepelné chování budov - Přenos tepla zeminou - Výpočtové metody*. Praha : ÚNMZ, říjen 2019.
3. Window Holding a.s. Prohlášení o vlastnostech. *Plastová okna a balkónové dveře, typ KOMFORT EVO, DESIGN EVO, STYLE EVO*. [Online] leden 2021. [Citace: 3. březen 2021.] https://www.vekra.cz/wp-content/uploads/2015/10/KOMFORT-EVO_DESIGN-EVO_STYLE_EVO_74g_2014_POV.pdf.
4. —. Prohlášení o vlastnostech . *Plastové vchodové dveře typ KOMFORT EVO prosklené, poloprosklené a/nebo plné*. [Online] leden 2021. [Citace: 3. březen 2021.] https://www.vekra.cz/wp-content/uploads/2015/10/KOMFORT-EVO-dvere_78b_2014_POV-1.pdf.
5. ČSN EN 12831-1. *Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3*. Praha : ÚNMZ, srpen 2018.
6. ČSN 38 3350. *Zásobování teplem, všeobecné zásady*. Praha : ÚNMZ, červen 1988.
7. ČSN EN ISO 13790. *Energetická náročnost budov - Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení*. Praha : ÚNMZ, listopad 2009.
8. TNI 73 0329. *Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění - Rodinné domy*. Praha : ÚNMZ, červenec 2010.
9. ČSN EN ISO 52016-1. *Energetická náročnost budov - Potřeba energie na vytápění a chlazení, vnitřní teploty a citelné a latentní tepelné výkony - Část 1: Výpočtové postupy*. Praha : ÚNMZ, září 2019.
10. ČSN EN 12831-3. *Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 3: Tepelný výkon pro soustavy přípravy teplé vody a charakteristika potřeb, Modul M8-2, M8-3*. Praha : ÚNMZ, leden 2019.
11. Mitsubishi Electric. Databook Ecodan Vol.5.5. *Library Mitsubishi Electric*. [Online] 2023. [Citace: 12. Leden 2023.] <https://library.mitsubishielectric.co.uk/home>.
12. doc. Ing. Tomáš Matuška, Ph. D. Navrhování a bilancování tepelných čerpadel. *Alternativní zdroje energie*. Praha : autor neznámý.
13. GIACOMINI. Komplettní rozdělovač R553F. *Giacomini*. [Online] [Citace: 25. Duben 2023.] <https://www.giacomini.cz/katalog/r553fk>.
14. GRUNDFOS, s.r.o. ALPHA2. *GRUNDFOS*. [Online] [Citace: 16. Duben 2023.] <https://product-selection.grundfos.com/cz/products/alpha/alpha2?tab=models>.
15. CS-MTRADE CZ, s.r.o. Mitsubishi Electric - Tepelná čerpadla. *Školení ME - Tepelná čerpadla*. Praha : CS-MTRADE CZ, s.r.o., 2023.

16. Ing. Jiří Bašta, Ph.D. a Ing. Karel Kabele, CSc. *Otopné soustavy teplovodní. místo neznámé* : Společnost pro techniku prostředí, 2001.
17. Prof. Ing. Jiří, Bašta, Ph.D. a Ing. Ondřej, Hojer, Ph.D. *Sálavé a průmyslové vytápění pro IB*. Praha : Evropský sociální fond Praha & EU, 2009.
18. Pojar, Petr. Lité anhydritové podlahy, jejich přednosti a stinné stránky. *České stavby*. [Online] 28. Únor 2020. [Citace: 27. 03 2023.] <https://www.ceskestavby.cz/>.
19. GIACOMINI CZECH, s.r.o. Systémová izolační deska pro podlahové vytápění s montážními výstupky. *Giacomini*. [Online] [Citace: 6. Prosinec 2022.] <https://www.giacomini.cz/katalog/r979>.
20. —. Vícevrstvá trubka PEX/Al/PEX. *Giacomini*. [Online] [Citace: 11. Prosinec 2022.] https://www.giacomini.cz/data/technicke-dokumenty/katalogove-listy/R999_R999I.pdf.
21. Ministerstvo pro místní rozvoj. Vyhláška o technických požadavcích na stavby. *Vyhláška č. 268/2009 Sb.* 2009.
22. —. Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby. *Vyhláška č. 20/2012 Sb.* 2012.
23. Prof. Ing. Drkal, František, CSc., a další. *Vzduchotechnika*. Praha : Evropský sociální fond, 2009.
24. Atrea, s.r.o. *Návrhový program jednotek DUPLEX*. [Software] místo neznámé : Atrea, 2023.
25. Mitsubishi Electric Europe B.V. *Klimatizační a větrací systémy, kompletní katalog 2022/2023*. 2022. .
26. Ing. Ondřej Jelínek, doc. Ing. Aleš Rubina a Ph.D, Ing. Petr Blasinski. Akustika a protihluková opatření ve vzduchotechnice. *tzbinfo*. [Online] 9. Zář 2013. [Citace: 12. Květen 2023.] <https://vetrani.tzb-info.cz/10319-akustika-a-protihlukova-opatreni-ve-vzduchotechnice>.
27. Greif-akustika, s.r.o. Tlumiče hluku. *Greif-akustika, s.r.o.* [Online] [Citace: 2. květen 2023.] <https://greif.cz/vyroby-pro-snizeni-hluku/tlumice-hluku/>.
28. Ing. Martin Barták, Ph. D. Úvod do přenosových jevů pro inteligentní budovy. Praha : Evropský sociální fond, 2010.
29. Charles S. Tritt, Ph.D. Moody Friction Factor Graph. *Faculty web MSOE edu*. [Online] 20. Leden 2004. [Citace: 25. Květen 2023.] <https://faculty-web.msoe.edu/tritt/be382/MoodyChart.html>.
30. Systemair, a.s. NOVA-A. *Systemair DESIGN*. [Online] [Citace: 2. Duben 2023.] https://design.systemair.com/CZ/cs-CZ/catalogue/NOVA_A.
31. Ministerstvo pro místní rozvoj. Nařízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. *Nařízení vlády č. 361/2007 Sb.* 2007.

32. Systemair, a.s. VVKR-A-S-300-8-B-SW. [Online] [Citace: 6. duben 2023.] VVKR-A-S-300-8-B-SW.

33. Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty. ČSN 73 0802 ZMĚNA Z3. místo neznámé : Úřad pro technickou tnormalizaci, 2020.

34. Špringl, Vít. Měření teploty- polovodičové odporové senzory teploty. *vyvoj.hw*. [Online] 19. Srpen 2004. [Citace: 12. květen 2023.] <https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/mereni-teploty-polovodicove-odporove-senzory-teploty.html>.

35. Giacomini. Manometr R225I. *Komponenty pro kotelny*. [Online] Listopad 2012. [Citace: 23. duben 2023.] https://www.giacomini.cz/data/technicke-dokumenty/katalogove-listy/katalogovylistr225i_r540i.pdf.

36. SIEMENS. Elektronické měřiče tepla . *Bola*. [Online] 19. březen 2014. [Citace: 16. únor 2023.] https://www.bola.cz/admin/files/e_product_files/3/2794/src_wfx5%20katalogovy%20list.pdf.

37. Prof. Ing. Bašta, Jiří, Ph.D. a Prof. Ing. Hemzal, Karel, CSc. *Regulace v technice prostředí staveb*. Praha : Evropský sociální fond, 2009.

38. Systemair, a.s. RDR-80/15-50. *Systemair DESIGN*. [Online] [Citace: 25. 03 2023.] <https://design.systemair.com/CZ/cs-CZ/catalogue/RDR>.

39. —. OPITIMA-LV-R-100. *Systemair DESIGN*. [Online] [Citace: 25. 03 2023.] https://design.systemair.com/CZ/cs-CZ/catalogue/OPTIMA_LV_R.

40. *Systémy větrání pro rezidenční budovy*. Systemair, a.s. Čakovice : Systemair, 2016.

8 SEZNAM PŘÍLOH

- 8.1 PŘÍLOHA Č.1 – SKLADBY KONSTRUKCÍ
- 8.2 PŘÍLOHA Č.2 – VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT A ZISKŮ
- 8.3 PŘÍLOHA Č.3 – VÝPOČET POTŘEBY TEPLA
- 8.4 PŘÍLOHA Č.4 – NÁVRH PODLAHOVÉHO VYTÁPĚNÍ
- 8.5 PŘÍLOHA Č.5 – NÁVRH ZÁSOBNÍKU TV
- 8.6 PŘÍLOHA Č.6 – NÁVRH TLUMIČŮ HLUKU
- 8.7 PŘÍLOHA Č.7 – TECHNICKÉ LISTY ZAŘÍZENÍ
- 8.8 PŘÍLOHA Č.8 – PROJEKTOVÁ DOKUMENTACE
 - 8.8.1 VYTÁPĚNÍ: PŮDORYS 1.PP
 - 8.8.2 VYTÁPĚNÍ: PŮDORYS 1.NP
 - 8.8.3 VYTÁPĚNÍ: PŮDORYS 1.NP
 - 8.8.4 VYTÁPĚNÍ: PŮDORYS 2.NP
 - 8.8.5 VYTÁPĚNÍ: PŮDORYS 3.NP
 - 8.8.6 VYTÁPĚNÍ: PŮDORYS 4.NP
- 8.9 VYTÁPĚNÍ: ROZVINUTÉ SCHÉMA
 - 8.9.1 VZDUCHOTECHNIKA: PŮDORYS 1.PP
 - 8.9.2 VZDUCHOTECHNIKA: PŮDORYS 1.NP
 - 8.9.3 VZDUCHOTECHNIKA: PŮDORYS 1.NP
 - 8.9.4 VZDUCHOTECHNIKA: PŮDORYS 2.NP
 - 8.9.5 VZDUCHOTECHNIKA: PŮDORYS 3.NP
 - 8.9.6 VZDUCHOTECHNIKA: PŮDORYS 4.NP
 - 8.9.7 VZDUCHOTECHNIKA: ROZVINUTÉ SCHÉMA