



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

## REGULACE VZDUCHOTECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ

CONTROL OF HVAC EQUIPMENTS

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Kateřina Zaoralová

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ RUBINA, Ph.D.

BRNO 2020



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608T001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav technických zařízení budov

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Kateřina Zaoralová
Název	Regulace vzduchotechnických zařízení
Vedoucí práce	doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2019
Datum odevzdání	10. 1. 2020

V Brně dne 31. 3. 2019

---

prof. Ing. Jiří Hirš, CSc.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **PODKLADY A LITERATURA**

Stavební dokumentace zadané budovy  
České i zahraniční právní předpisy a technické normy  
Odborná literatura  
Zdroje na internetu

## **ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ**

A. Teoretická část – literární rešerše vztahující se k tématu regulace průtoku vzduchu v potrubních rozvodech vzduchotechniky

Cíl práce, zvolené metody řešení

B. Aplikace tématu na zadané budově - návrh technického řešení regulace průtoku vzduchu na specifickém zařízení vzduchotechniky v rozsahu studie projektu (půdorysy v měřítku 1:100, stručná technická zpráva, výpočty). Ideové řešení navazujících profesí TZB (ZTI, UT, silnoproud, MaR.

C. Experimentální řešení a zpracování výsledků měření

Experiment realizovaný v reálné budově postihující zadanou problematiku.

## **STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE**

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).

2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

---

doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D.  
Vedoucí diplomové práce

## **ABSTRAKT**

Cílem této diplomové práce je aplikování tématu regulace vzduchotechnických zařízení. Práce je rozdělena na tři části – A, B, C.

První část je teoretická a pojednává o regulaci obecně, zaměřuje se na regulaci ve vzduchotechnice a popisuje způsoby měření průtoku vzduchu, které se vztahují i k experimentální třetí části.

Druhá část je zaměřena na návrh vzduchotechnického zařízení v nemocničním oddělení s lůžkovými pokoji a zázemím pro zaměstnance.

V třetí části byla provedena verifikace regulátoru ve dvou vybraných budovách, z čehož v jedné nebyly splněny požadavky kladené výrobcem a ve druhé ano. Na závěr proběhlo porovnání naměřených hodnot.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Vzduchotechnika, měření průtoku vzduchu, měřicí metody, měřicí zařízení, regulátor, regulace, regulátor variabilního průtoku vzduchu, regulátor konstantního průtoku vzduchu, verifikace.

## **ABSTRACT**

The aim of the diploma thesis is application of the topic Control of HVAC equipments. The thesis is divided into three part – A, B, C.

The first theoretical part deals with controlling/regulation in general, it focuses on controlling/regulation of HVAC equipments and it describes ways of air volume flow measurement, which relates to the third experimental part.

The second part is focused on design of HVAC system in inpatient ward and fit-out for employees.

In the third part was realized verification of air flow volume controller in two chosen buildings, whence in one there weren't fulfilled manufacturer's requirements and in the second one they were fulfilled. In conclusion there were compared measured values.

## **KEYWORDS**

Air-conditioning, air volume flow measurement, measurement methods, measurement device, regulation, variable air volume flow controller, constant air volume flow controller, verification.



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

Bc. Kateřina Zaoralová *Regulace vzduchotechnických zařízení*. Brno, 2020. 99 s., 8 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Regulace vzduchotechnických zařízení* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 9.1.2020

---

Bc. Kateřina Zaoralová  
autor práce

## **PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Regulace vzduchotechnických zařízení* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 9.1.2020

---

Bc. Kateřina Zaoralová  
autor práce

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu této diplomové práce panu doc. Ing. Aleši Rubinovi, Ph.D. za trpělivost, odborné vedení, věcné rady a cenné zkušenosti, které mi ochotně předal. Také bych ráda poděkovala Ing. Juraji Gašpárovi za rady a ochotu při realizaci měření. Dále děkuji firmě Systemair, a.s. za školení na téma regulátory průtoku vzduchu a za ochotu zodpovědět všechny dotazy.

# OBSAH

## ČÁST A

ÚVOD DO TEORETICKÉ ČÁSTI .....	13
1. REGULACE.....	13
1.1 REGULACE OBECNĚ .....	13
1.2 REGULACE VE VZDUCHOTECHNICE .....	14
1.2.1 MONITOROVÁNÍ STAVU ZAŘÍZENÍ A OCHRANNÉ FUNKCE .....	14
1.2.2 REGULACE VENTILÁTORU .....	15
1.2.3 REGULACE PRŮTOKU VZDUCHU – REGULÁTORY OBJEMOVÉHO PRŮTOKU.....	15
1.2.4 REGULACE TEPELNÉHO VÝKONU VÝMĚNÍKŮ.....	17
1.2.5 REGULACE VÝMĚNÍKŮ ZZT.....	19
1.2.6 VLHČENÍ A ODVLHČOVÁNÍ VZDUCHU.....	20
2. MĚŘENÍ PRŮTOKU VZDUCHU .....	21
2.1 MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ.....	21
2.1.1 ANEMOMETR.....	21
2.1.2 PRANDTLOVA TRUBICE .....	21
2.1.3 BALOMETR.....	22
2.1.4 VESTAVĚNÁ MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ.....	22
2.2 MĚŘICÍ METODY .....	25
2.2.1 MĚŘENÍ V PRŮŘEZU VZDUCHOVODU.....	25
2.2.2 METODA PRO OBDÉLNÍKOVÉ VZDUCHOVODY .....	26
2.2.3 METODA STEJNOPLOCHÝCH MEZIKRUŽÍ .....	27
2.2.4 MĚŘENÍ ŠKRTICÍMI PRVKY .....	28
2.2.5 MĚŘENÍ V PRŮŘEZU KOMORY, VENTILÁTOROVÉ SKŘÍŇĚ NEBO ZAŘÍZENÍ .....	28
2.2.6 MĚŘENÍ NA KONCOVÝCH PRVCÍCH.....	28
2.2.7 METODA EFEKTIVNÍHO PRŮŘEZU .....	28
2.2.8 METODA TĚSNÉHO VAKU .....	28
2.2.9 METODA S POUŽITÍM MĚŘICÍHO NÁSTAVCE.....	29
2.2.10 KOMPENZAČNÍ METODA .....	30
2.2.11 MĚŘENÍ REFERENČNÍHO TLAKU .....	30
2.2.12 METODA ZNAČKOVACÍHO PLYNU.....	31
2.3 CHYBY MĚŘENÍ .....	31
ZÁVĚR .....	32

## ČÁST B

ÚVOD.....	34
3. SOUČINITELÉ PROSTUPU TEPLA .....	34
4. TEPELNÁ BILANCE.....	35
4.1 TEPELNÉ ZISKY .....	35
4.2 TEPELNÉ ZTRÁTY .....	39
5. ROZDĚLENÍ OBEKTU .....	41
6. DISTRIBUČNÍ ELEMENTY .....	41
7. NÁVRH PRŮTOKU VZDUCHU .....	42
8. DIMENZE POTRUBÍ .....	43
8.1 ZAŘÍZENÍ Č. 1 .....	43
8.2 ZAŘÍZENÍ Č. 2 .....	45
9. NÁVRH REGULÁTORŮ PRŮTOKU VZDUCHU .....	47
10. NÁVRH VZDUCHOTECHNICKÝCH JEDNOTEK.....	48
10.1 ZAŘÍZENÍ Č. 1 .....	49
10.2 ZAŘÍZENÍ Č. 2 .....	50
11. TECHNICKÁ ZPRÁVA.....	51
ÚVOD.....	51
ZÁKLADNÍ KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ.....	52
DIMENZOVÁNÍ ZAŘÍZENÍ.....	53
ENERGETICKÉ ZDROJE.....	54
POPIS TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ.....	54
NÁROKY NA ENERGIE.....	57
MĚŘENÍ A REGULACE, PROTIMRAZOVÁ OCHRANA .....	57
NÁROKY NA SOUVISEJÍCÍ PROFESE .....	58
MATERIÁL POTRUBÍ.....	58
PROTIHLUKOVÁ A PROTIOTŘESOVÁ OPATŘENÍ.....	59
IZOLACE A NÁTĚRY .....	59
PROTIPOŽÁRNÍ OPATŘENÍ .....	59
MONTÁŽ, PROVOZ, ÚDRŽBA A OBSLUHA ZAŘÍZENÍ.....	60
MONTÁŽ.....	60
OBSLUHA A ÚDRŽBA.....	60
ZÁVĚR .....	60

12.	PŘÍLOHY TECHNICKÉ ZPRÁVY.....	61
<b>ČÁST C</b>		
	<b>ÚVOD DO EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI .....</b>	<b>68</b>
13.	VERIFIKACE REGULÁTORU OPTIMA S-600x300-BLC1 OD VÝROBCE SYSTEMAIR .....	68
13.1	PODKLADY OD VÝROBCE REGULÁTORU PRŮTOKU.....	68
13.2	PŘÍSTROJOVÁ TECHNIKA.....	68
13.3	POSTUP MĚŘENÍ.....	68
13.4	ROZMÍSTĚNÍ BODŮ V ČTYŘHRANNÉM POTRUBÍ .....	69
13.4.1	SÍŤ MĚŘENÍ .....	69
13.4.2	POŽADOVANÝ POČET MĚŘICÍCH BODŮ.....	70
13.4.3	VÝPOČET POTŘEBNÉ DÉLKY ROVNÉHO ÚSEKU:.....	71
13.4.4	SCHÉMA S VYZNAČENÝMI MĚŘICÍMI BODY.....	71
13.5	FOTOGRAFIE Z MĚŘENÍ.....	71
13.6	MĚŘENÍ.....	73
13.7	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ .....	79
14.	VERIFIKACE REGULÁTORU OPTIMA S-300x200-BLC1 OD VÝROBCE SYSTEMAIR .....	83
14.1	PODKLADY OD VÝROBCE REGULÁTORU PRŮTOKU.....	83
14.2	PŘÍSTROJOVÁ TECHNIKA.....	83
14.3	POSTUP MĚŘENÍ.....	83
14.4	ROZMÍSTĚNÍ BODŮ V ČTYŘHRANNÉM POTRUBÍ .....	84
14.4.1	SÍŤ MĚŘENÍ .....	84
14.4.2	POŽADOVANÝ POČET MĚŘICÍCH BODŮ.....	84
14.4.3	VÝPOČET POTŘEBNÉ DÉLKY ROVNÉHO ÚSEKU.....	85
14.4.4	SCHÉMA S VYZNAČENÝMI MĚŘICÍMI BODY.....	86
14.5	FOTOGRAFIE Z MĚŘENÍ.....	87
14.6	MĚŘENÍ.....	88
14.7	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ .....	91
15.	GRAFICKÉ POROVNÁNÍ OBOU MĚŘENÝCH VARIANT.....	93
	ZÁVĚR .....	94
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	95
	SEZNAM PŘÍLOH.....	97
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	97
	SEZNAM TABULEK .....	98

# ÚVOD

Cílem této diplomové práce je aplikování tématu Regulace vzduchotechnických zařízení. Práce je rozdělena na tři části – A, B, C.

Část A je teoretická a pojednává obecně o regulaci, dále o regulaci ve vzduchotechnice a následně popisuje měření průtoku vzduchu ve vzduchovodech, jak měřicí přístroje, tak i různé metody měření.

Část B je aplikací tématu na zadané budově, kde bylo cílem navrhnout dvě vzduchotechnická zařízení a řešení regulace průtoku vzduchu. Tento návrh je proveden ve stupni projektové dokumentace pro stavební povolení doplněn o výkresovou část v měřítku M 1:100.

Částí C je experimentální řešení a zpracování výsledků měření. Byla provedena verifikace regulátorů průtoků vzduchu použitých ve dvou vybraných budovách. V jedné budově byly splněny požadavky výrobce na osazení regulátoru v trase VZT a v druhé ne. Na závěr proběhlo početní a grafické vyhodnocení těchto dvou případů.



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

## ČÁST A – TEORETICKÁ ČÁST

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Kateřina Zaoralová

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ RUBINA Ph.D.

BRNO 2020



## ÚVOD DO TEORETICKÉ ČÁSTI

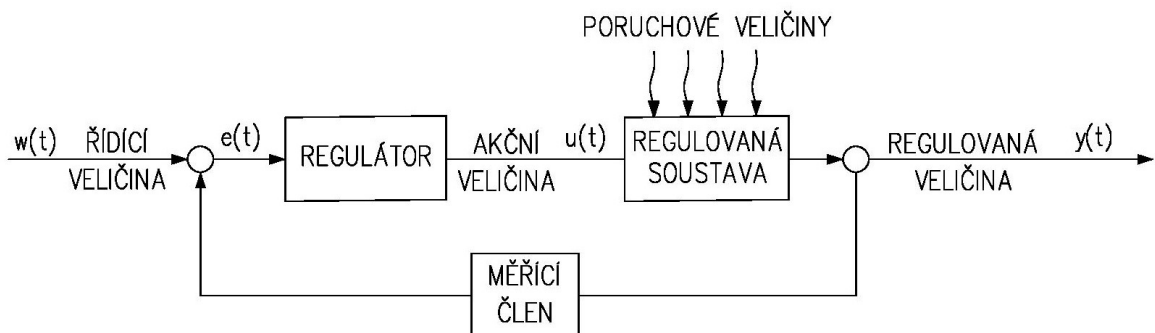
S rostoucími požadavky na kvalitu vnitřního prostředí a komfort uživatele nabývá automatická regulace značného významu, proto je třeba této problematice věnovat náležitou pozornost.

### 1. REGULACE

#### 1.1 REGULACE OBECNĚ

Regulace je průběžné cílené působení na regulovanou veličinu s jejím následným přibližováním nebo udržováním blízko pevně stanovené požadované hodnoty. Regulovanou veličinou pro potřeby vzduchotechniky mohou být vybrané fyzikální veličiny prostředí, jako je teplota, tlak, vlhkost, koncentrace, ale mohou to být i provozně technické parametry jako průtok a otáčky. Na rozdíl od ovládní, regulace využívá principu zpětné vazby, která umožňuje vyrovnávání odchylek a stabilizování požadovaného stavu působením regulačních/akčních veličin i přes působení nepředvídatelných vlivů, tzv. poruchových veličin.

Z níže uvedeného blokového schématu (Obr. 1.1) lze vidět, že probíhá měření regulované veličiny  $y(t)$ , které pomocí zpětné vazby vstupuje spolu s řídicí veličinou  $w(t)$  do regulátoru. Jestliže se na výstupu regulované soustavy nerovná  $y(t)$  zadané hodnotě  $w(t)$ , vzniká regulační odchylka  $e(t)$ , kterou můžeme vyjádřit jako rozdíl žádané hodnoty a regulované veličiny  $e(t) = w(t) - y(t)$ . Dalším krokem je zpracování regulační odchylky tak, že díky změně akční veličiny  $u(t)$  se regulační diference zmenší či v ideálním případě odstraní.



Obr. 1.1 Blokové schéma regulačního obvodu

- Regulace ruční, kdy se nastavuje hodnota regulované veličiny ručně a na výstupu regulované soustavy je vhodný měřicí přístroj, který udává skutečnou hodnotu regulované veličiny.
- Regulace automatická, která probíhá bez vlivu člověka, s výjimkou nastavení řídicí veličiny. Regulační systém samočinně udržuje hodnotu regulované veličiny podle zadaných podmínek a vyrovnává regulační odchylku zjištěnou měřením. Tímto systémem jsou běžně obsluhována všechna vzduchotechnická a klimatizační zařízení.

## Druhy regulace

- Regulace spojitá
  - Všechny prvky regulačního obvodu pracují spojitě. Akční veličina může plynule nabývat libovolných hodnot od minima po maximum.
- Regulace nespojitá
  - Regulovaná veličina neustále kmitá kolem žádané hodnoty, protože akční veličina může nabývat jen několika stanovených hodnot.
- Regulace na konstantní hodnotu
  - Tento typ regulace má zajistit, aby regulovaná veličina nabývala požadované konstantní hodnoty.
- Regulace programová
  - Používá se, když je potřeba měnit veličinu v předepsaném programu.
- Regulace vlečná
  - Řídící veličina se mění v závislosti na jiné fyzikální veličině než čas.
- Regulace adaptibilní
  - Regulátor se přizpůsobuje nastavení v závislosti na změnách dynamických nebo statických vlastností regulované soustavy.
- Regulace víceparametrová
  - Složitá regulace obsahující více regulovaných i akčních veličin a také více akčních prvků.
- Regulace rozvětvená
  - Regulátor má rozvětvený vstup a díky tomu může provádět různé činnosti.

## Druhy regulovaných soustav

- Statické
  - Statická regulovaná soustava se po změně přechodného děje ustálí na požadované hodnotě.
- Astatické
  - U astatické regulované soustavy se po změně akční nebo poruchové veličiny regulovaná veličina neustálí, ale neustále kmitá.

## 1.2 REGULACE VE VZDUCHOTECHNICE

### 1.2.1 MONITOROVÁNÍ STAVU ZAŘÍZENÍ A OCHRANNÉ FUNKCE

Pro sledování chodu, stavu a provozního režimu zařízení se vyhodnocují následující parametry strojního zařízení:

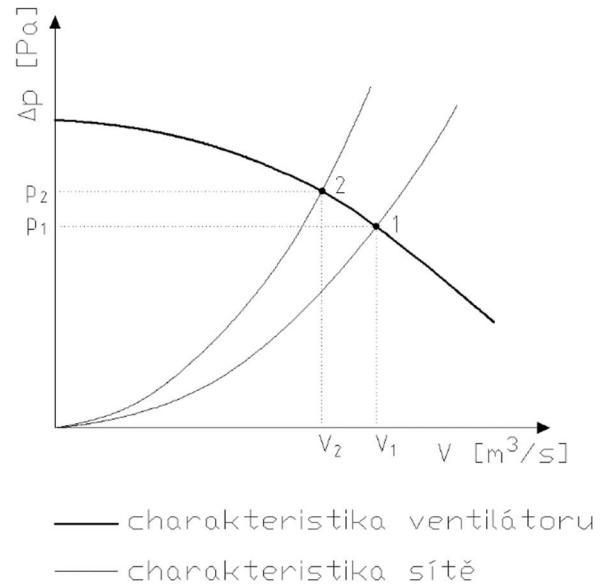
- tlakové ztráty filtrů – měření rozdílu tlaků před a za filtrem signalizující stupeň znečištění
- tepelná ochrana elektromotoru a elektrických ohřivačů
- měření tlakové diference před a za ventilátorem pro vyhodnocení, zda je ventilátor v chodu nebo není
- krajní polohy požárních a uzavíracích klapek
- protimrazová ochrana vodních a ZZT výměníků

## 1.2.2 REGULACE VENTILÁTORU

Ventilátor zajišťuje přívádění požadovaného množství vzduchu do vnitřního prostoru a musí překonat tlakové ztráty potrubní sítě. Reguluje se množství dopravovaného vzduchu, které může být konstantní nebo proměnlivé, dále je možné regulovat množství vzduchu na konstantní tlak.

Způsoby řízení průtoku vzduchu ventilátorem:

- Škrcení, což byl dříve nejčastějším, ale z energetického hlediska nejméně výhodným způsobem řízení průtoku, protože velká část energie potřebná k úpravě a distribuci vzduchu je neefektivně zmařena. Škrcení se realizovalo například klapkou před nebo za ventilátorem, čímž vznikala místní tlaková ztráta a následně se změnila charakteristika sítě. Další nevýhodou tohoto způsobu regulace ventilátoru je, že vede ke zvýšení hlučnosti.
- Změna otáček, může být plynulá nebo skoková regulací elektromotorů. Změna výkonu se děje změnou některé elektrické veličiny, a to změnou napětí nebo frekvence proudu. Napěťové regulátory mění napětí odporem v obvodu motoru. Frekvenční měniče umožňují plynulou regulaci s velkým rozsahem (otáčky motoru se přizpůsobují aktuálním požadavkům), ale vlivem většího namáhání magnetických obvodů a vinutí nejsou vhodné pro všechny motory. [3]
- Natáčení lopatek, které je použitelné hlavně u axiálních ventilátorů, ale konstrukce zajišťující natáčení lopatek ventilátoru je poměrně komplikovaná. Realizuje se změnou úhlu náběhu listu oběžného kola ventilátoru.



Obr. 1.2 Regulace ventilátoru škrcením

Pomocí regulace otáček ventilátoru je možné zajistit požadovanou tlakovou diferenci mezi interiérem a exteriérem, případně mezi sousedními prostory. Některé ventilátory mají jako proměnnou veličinu průtok v závislosti na teplotě, koncentraci látek atd.

V praxi, kde je pro regulaci užito konstantních nebo variabilních otáček ventilátoru a regulačních klapek pro udržení konstantního průtoku, je nutné při uvedení zařízení do provozu měřit průtok v každé odbočce a seřadit regulační klapky na základě odchylek průtoku.

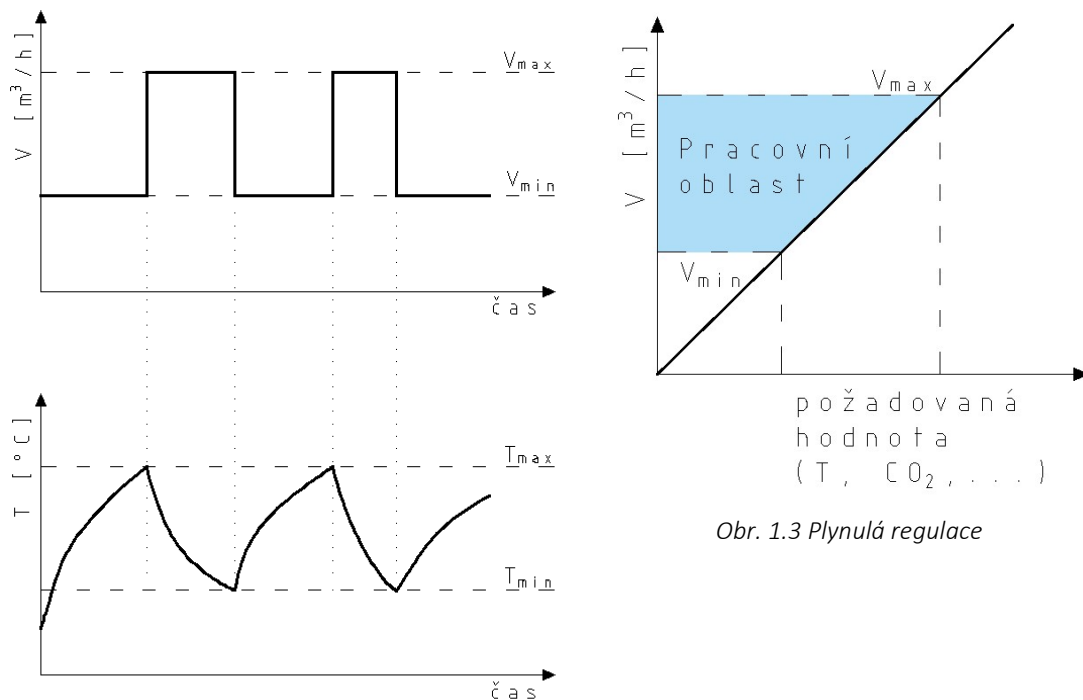
## 1.2.3 REGULACE PRŮTOKU VZDUCHU – REGULÁTORY OBJEMOVÉHO PRŮTOKU

Regulátory průtoku vzduchu usnadňují zavádění zařízení do provozu a jeho provoz. Nevýhodou použití regulátoru je, že jsou náročné na osazení v prostoru, protože k jejich správné funkci je potřebný dostatečně dlouhý rovný úsek potrubí před regulátorem objemového průtoku.

Součástí regulátoru je zařízení, jako je například měřicí mříž nebo měřicí kříž s několika měřicími body, ve kterých je měřena tlaková diference. Při návrhu je nutné dbát na pracovní rozsah regulátoru, jako je minimální a maximální tlaková diference a rychlost, a také na akustické parametry.

- Regulátory variabilního průtoku vzduchu

Regulátory variabilního průtoku vzduchu slouží k řízení průtoku vzduchu v potrubních rozvedech dle požadavku externího signálu. Obecně jsou tyto regulátory užívány pro regulaci vzduchu tam, kde se množství vzduchu řídí dle individuálních požadavků na topení, chlazení nebo hodnoty CO<sub>2</sub>. Regulátor porovnává skutečnou a požadovanou hodnotu a při odchylce změní signál pohonu klapky. Průtok je limitován minimální a maximální hodnotou.



Obr. 1.3 Plynulá regulace

Obr. 1.4 Skoková regulace

- Regulátor konstantního průtoku vzduchu

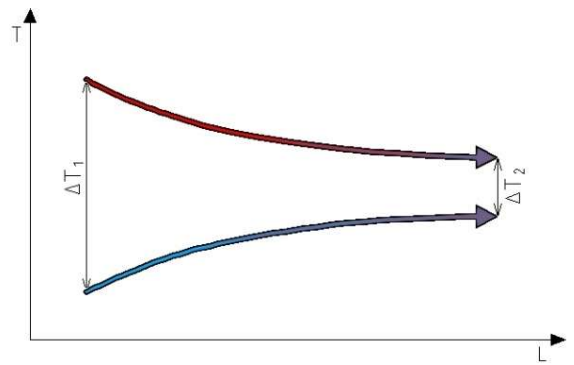
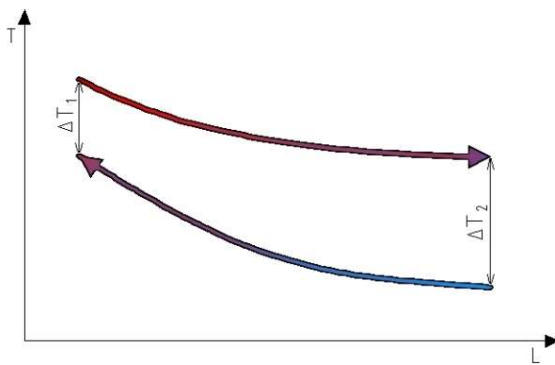
Systémy s regulátorem konstantního průtoku vzduchu zajistí každému místu v částech potrubí konstantní průtok. Takový regulátor slouží k přesnému nastavení požadovaného množství vzduchu v určitém tlakovém rozsahu [Pa]. Vzduch proudí přes regulátor, kde je umístěna klapka, která zaujímá polohy dle stanoveného průtoku. Nastavení požadovaného průtoku se provádí ručně (mechanické regulátory, bez elektrického připojení) nebo pomocí servopohonu. Osazují se jak na přívodní, tak i na odvodní větve vzduchotechnického potrubí.

## 1.2.4 REGULACE TEPELNÉHO VÝKONU VÝMĚNÍKŮ

- Vodní ohřivač a chladič

Výkon ohřivače a chladiče se nejčastěji reguluje podle teploty snímané v obsluhované místnosti nebo podle teploty v odvodním potrubí. Při obsluze více místností s odlišnými požadovanými teplotami nebo pokud zařízení slouží pouze pro větrání, lze výkon výměníků řídit i podle teploty snímané v přívodním potrubí. Když jsou čidla umístěná v referenčních místnostech je třeba dbát na správné umístění čidel, aby nebyla čidla ovlivňována slunečním zářením nebo lokálními zdroji tepla. Výhodou čidel umístěných v odvodním potrubí je, že nemohou být ovlivňována výše zmíněnými zdroji tepla, ale nevýhodou je, že teplota odváděného vzduchu nemusí vždy odpovídat teplotě vzduchu v referenční místnosti.

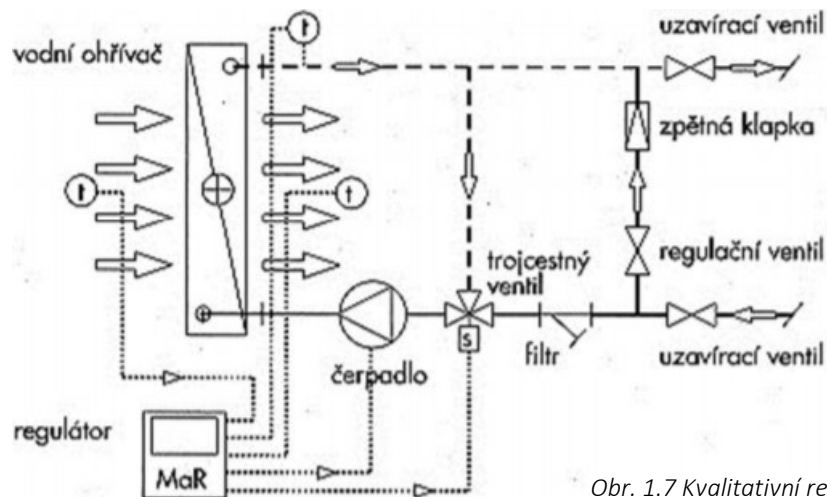
Na výkon lamelových výměníků má významný vliv jejich zapojení, Mohou být jako protiproudé nebo souproudé. Většího výkonu dosahují výměníky v protiproudém zapojení.



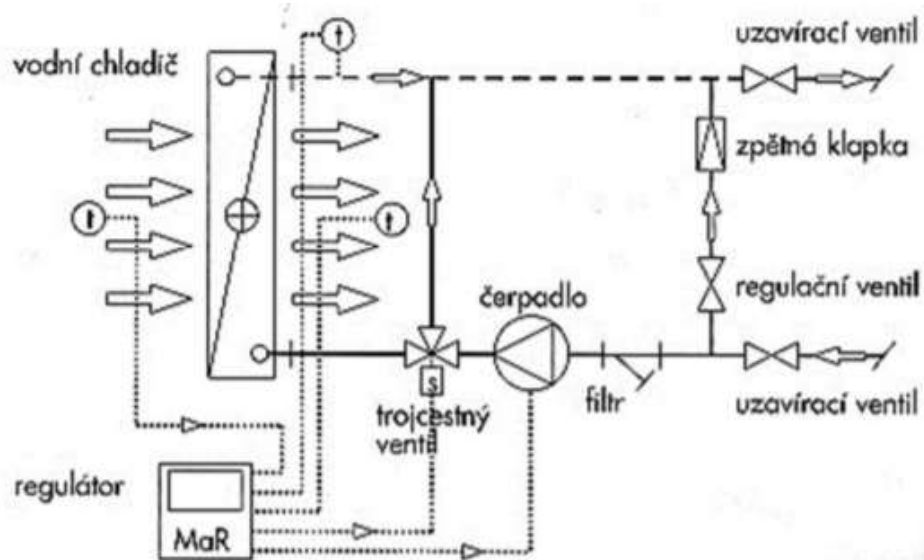
Obr. 1.5 Průběh teplot u protiproudého výměníku

Obr. 1.6 Průběh teplot u souproudého výměníku

Tepebný výkon vodního ohřivače nebo chladiče se řídí buď kvalitativně směšováním (regulace pomocí trojcestného ventilu - řízení teploty topné vody) nebo kvantitativně rozdělováním teplotné látky (řízení průtoku chladicí vody). Pro regulaci výkonu výměníků se používají teplotní čidla na straně vzduchu a vody, čerpadlo, regulační uzel, popř. dvoucestný nebo trojcestný ventil.



Obr. 1.7 Kvalitativní regulace [3]



Obr. 1.8 Kvantitativní regulace [3]

- **Protimrazová ochrana**

Protimrazová ochrana je soubor opatření k zabránění zamrznutí vody ve výměníku a jeho následnému prasknutí. Trvale se monitoruje teplota vzduchu za výměníkem a teplota vody na výstupu za výměníkem. Při poklesu teploty pod stanovené hodnoty se spustí čerpadlo a úplně se otevře trojcestný ventil do ohřivače a pokud teplota stále klesá, uvede se zařízení mimo provoz tzn. vypnou se ventilátory a uzavřou se vstupní klapky.

Další součástí protimrazové ochrany je předehřev ohřivače před spuštěním ventilátorů. Vzhledem k malému vodnímu obsahu výměníků může ohřivač za nízkých teplot velmi rychle zamrznout a prasknout, proto je vhodné pro vstupní klapky použít servomotor s havarijní funkcí, který zajistí při poruše jejich okamžité uzavření.

Při nízkých výparných teplotách nebo při chlazení vody s přídavkem nemrzoucí látky s nízkou teplotou dochází k namrzání výparníku, které zhoršuje jeho regulovatelnost a použitelnost. V těchto případech se sleduje teplota vzduchu za výměníkem a při podkročení nastavené hodnoty je tento výměník odstaven. Pro vyšší nároky na přesnost regulace teploty vzduchu je vhodné použít dva výměníky, kdy jeden je v režimu chlazení a druhý v režimu odtávání. [3]

- **Elektrický ohřivač**

Obvykle se používá jeden z následujících třech způsobů regulace:

- Dvupolohové regulace (vypnuto/zapnuto) se spínáním plného výkonu při požadavku na ohřev (neregulovaný předehřev).
- Dvupolohová regulace s pulzní šířkovou modulací. Topný výkon je tak řízen podle požadavku řídicího členu, který spíná plný výkon pouze na krátký čas úměrný aktuálnímu požadavku na topný výkon. Tento typ regulace zajistí kolísání teploty ohřátého vzduchu v rozmezí  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ .

- o Spínání jednotlivých sekcí se používá pro větší výkony ohřivačů (nad 10 kW), kdy řídicí člen spíná postupně jednotlivé sekce ohřivače. Je vhodný zejména pro instalace s vyššími požadavky na rozložení příkonu při zatížení rozvodné sítě.

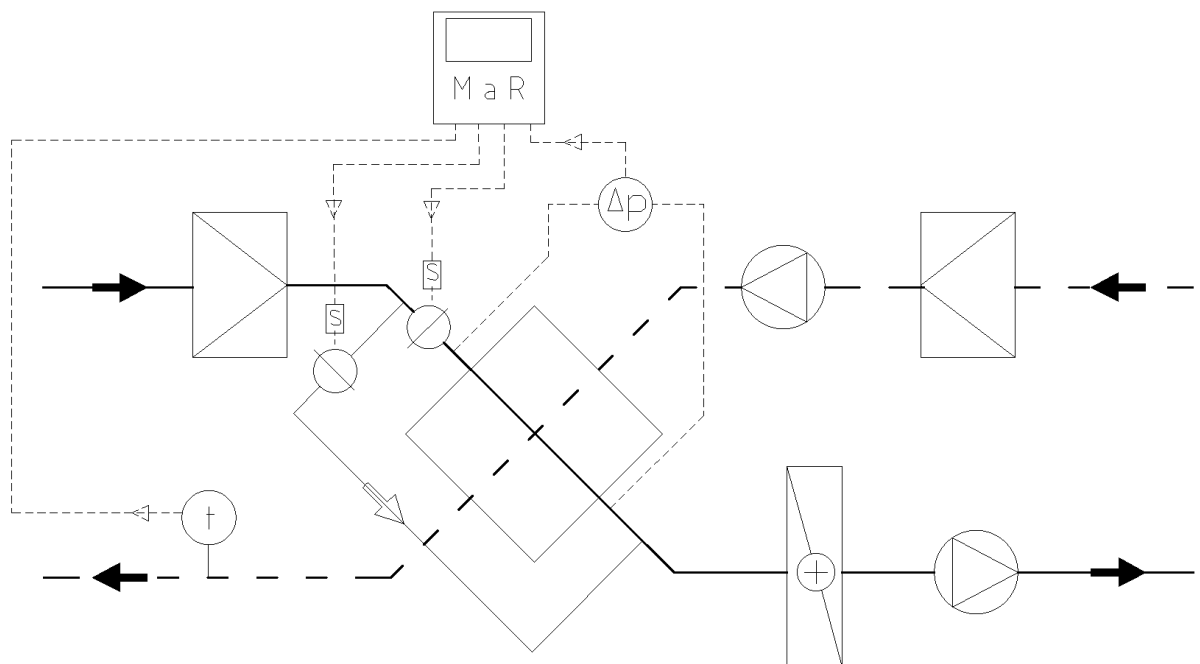
Elektrické ohřivače bývají vybaveny tepelnou ochranou dvěma havarijními termostaty (mezi topnými tyčemi a na plášti ohřivače), které zajistí vypnutí ohřivače, např. při zastavené ventilátoru vlivem poruchy apod. Při ostavování zařízení vyžadují elektrické ohřivače vychlazení proudem vzduchu (řádově 3 min.), takže regulátor zajistí zpožděné vypnutí – doběh ventilátoru.

[3]

## 1.2.5 REGULACE VÝMĚNÍKŮ ZZT

ZZT slouží k odebírání citelného a vázaného tepla ze vzduchu odváděného z vnitřního prostoru.

U výměníků ZZT se nereguluje tepelný výkon, pouze u rotačního výměníku, kde lze změnou otáček dosáhnout mírného zvýšení účinnosti. Důsledkem chlazení odváděného vlhkého odpadního vzduchu z obsluhovaných místností ve výměnících ZZT přivodním chladným vzduchem dochází ke kondenzaci, proto se i zde používá protimrazová ochrana. U deskových a lamelových výměníků se protimrazová ochrana realizuje jako obtok. Ten se také používá pro vyřazení rekuperace v letním období, kdy je nevýhodný teplotní poměr mezi přiváděným venkovním vzduchem a vzduchem odváděným.



Obr. 1.9 Regulace výměníků ZZT [3]

Snímá se teplota odpadního vzduchu a pokud poklesne pod požadovanou mez, nebo pokud je překročena určitá mez tlakové ztráty výměníku, která je způsobena námrazou teplosměnné plochy, aktivuje se protimrazová ochrana. Obtok se vybavuje dvěma spřaženými klapkami se servomotorem (jedna před výměníkem a jedna na obtoku), jedna se otvírá, druhá zavírá. Pokud

tento stav nastane, přiváděný chladný vzduch prochází zcela nebo zčásti obtokem přímo k ohřívači a výměník se postupně odmrazí odváděným teplým vzduchem. Pokud stále klesá teplota za výměníkem a nedochází k odmražení výměníku, dojde k odstavení nejprve přívodního, následně i odvodního ventilátoru a k uzavření klapek.

## 1.2.6 VLHČENÍ A ODVLHČOVÁNÍ VZDUCHU

- **Vlhčení vzduchu**

Přívod vodní páry nebo vody do proudícího vzduchu je regulován na základě požadované relativní vlhkosti vzduchu obsluhované místnosti (popřípadě relativní vlhkosti vzduchu za komorou zvlhčovače) a na základě aktuální relativní vlhkosti vzduchu v místnosti. Obvykle je nutný nadřazený systém definující relativní vlhkost za zvlhčovací komorou v závislosti na stavu vzduchu v obsluhované místnosti.

- Vlhčení vzduchu vodou – dostatečně nízká relativní vlhkost pře zvlhčení je zajištěná předeřevem
- Vlhčení parou – výhodou vlhčení parou je omezené riziko výskytu bakterií.

- **Odvlhčování vzduchu**

Nejčastěji se realizuje kondenzační odvlhčení na chladiči s povrchovou teplotou pod teplotou rosného bodu vzduchu. Po tomto procesu bývá nutné zpětné zvýšení teploty vzduchu. Další způsob odvlhčení je adsorpce vlhkosti v regeneračních entalpických výměnících s vrstvou silikagelu.



## 2. MĚŘENÍ PRŮTOKU VZDUCHU

Tato kapitola se zabývá metodami měření vzduchu popsány hlavně v ČSN EN 12599 a ČSN EN 16211.

Ke stanovení průtoku vzduchu lze použít několik metod. Obvyklá metoda je metoda s použitím výpočtu průtoku z rychlosti proudění vzduchu a odpovídajícího průřezu vzduchovodu.

### 2.1 MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ

Měření rychlosti proudění lze uskutečnit vhodným anemometrem nebo Prandtlovou sondou. Dále můžeme průtok stanovit z tlakového rozdílu na škrticím zařízení, nástavci pro měření průtoku vzduchu, v průřezu komory, ventilátorové skříně nebo zařízení, na koncových prvcích atd.

#### 2.1.1 ANEMOMETR

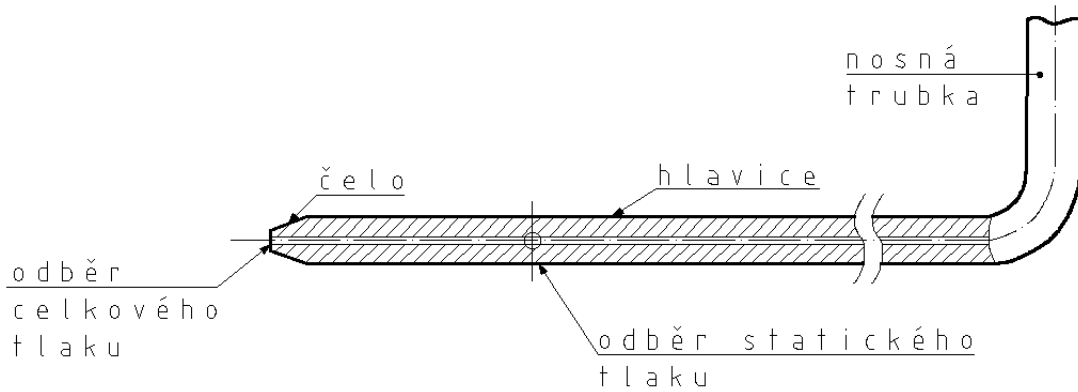
Anemometry sloužící k měření průtoku ve vzduchotechnickém potrubí mohou být mechanické (vrtulkový/lopatkový anemometr) a termické. U mechanických anemometrů působí energie proudícího vzduchu na konstrukci, ta se vychýlí z ustálené polohy a začíná rotovat. Rychlost otáčení je úměrná střední rychlosti proudění. Termoanemometr obsahuje žhavené tělísko (drátek) zahřívané na konstantní teplotu. Proudící kapalina ochlazuje tělísko, a aby se udržela konstantní teplota, musí se dodávat více energie. Změny potřeby elektrické energie pak slouží pro výpočet proudění kapaliny.

Mechanické anemometry by neměly být použity pro rychlosti nižší než 1 m/s (pokud výrobce použitého přístroje neudává jinak). Termoanemometry mají pracovní rozsah měření (pokud výrobce použitého přístroje neudává jinak) od 0,2 m/s, proto by se neměly používat pro nižší rychlosti.

Pokud se přesto termoanemometr nebo mechanický anemometr použije pro měření rychlostí mimo jejich pracovní rozsah, je nutné zvýšit celkovou nejistotu měření. Tato zařízení představují vřazený odpor a nejsou schopná tuto tlakovou ztrátu kompenzovat.

#### 2.1.2 PRANDTLOVA TRUBICE

Prandtlova trubice je rychlostní sonda s odběrovými místy statického tlaku vyvrtnými po obvodu hlavice v jednom nebo několika řezech a s odběrem celkového tlaku, který je odebírán čelně proti směru proudění na vrcholu hlavice.



Obr. 2.1 Schéma Prandtlovy trubice

Průměr Prandtlovy sondy umístěné v průřezu vzduchovodu by neměl překročit 1/30 průměru potrubí. Neměla by být použita pro měření rychlostí nižších než 2,5 – 3 m/s (pokud výrobce použitého přístroje neudává jinak), což souvisí s nejnižším povoleným měřeným tlakem. Prandtlou sondou je měřen celkový a statický tlak, ze kterých je možné získat tlak dynamický, který lze dále použít pro výpočet rychlosti proudění vzduchu po úpravě následujícího vzorce:

$$p_d = \frac{\rho \cdot v^2}{2}$$

↓

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot p_d}{\rho}}$$

### 2.1.3 BALOMETR

Balometr je zařízení, které se používá při měření, zaregulování vzduchotechnických systémů a jejich uvedení do provozu. Měření je založeno na použití měřicího nástavce a na snímání diferenčního tlaku v rovnoměrně rozmístěných bodech v zařízení. Měření tlaku je realizováno obdobnou formou jako u Prandtlovy trubice.

### 2.1.4 VESTAVĚNÁ MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ

- Wilsonovy mříže

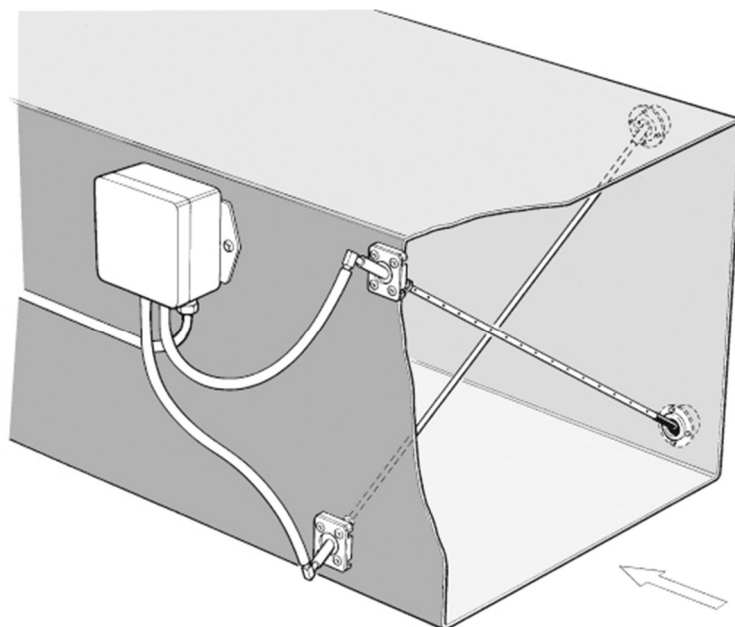
Wilsonovu mříž tvoří paralelně uspořádané sběrné (kolmo na osu potrubí a kolmo k proudění vzduchu) trubky s otvory, ve kterých je tlak. Odběrová místa jsou rovnoměrně uspořádána tak, aby šlo získat střední hodnotu diferenčního tlaku.



Obr. 2.2 Příklad Wilsonovy mříže [11]

- Měřicí kříže

Měřicí kříž se skládá ze dvou trubic s místy určenými k odběru tlaku. Tyto místa jsou rovnoměrně uspořádána po délce obou trubek. Diferenční tlak lze získat ze zprůměrovaného tlaku po délce trubky – na jedné se měří celkový tlak a na druhé statický.

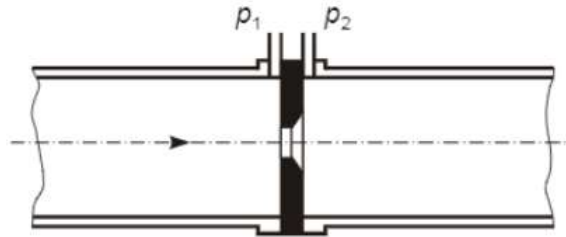


Obr. 2.3 Příklad měřicího kříže [12]

- Měřicí zařízení s konstantním poměrem zúžení

- Clona

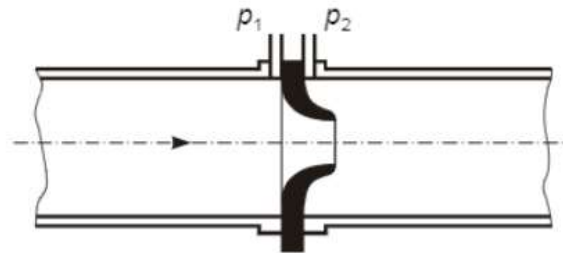
Měřicí clona je tenký kotouč s obvykle kruhovým otvorem, jehož střed leží v ose potrubí. Je charakterizována ostrou náběžnou hranou na straně vtoku tekutiny.



Obr. 2.4 Clona [13]

- Dýza

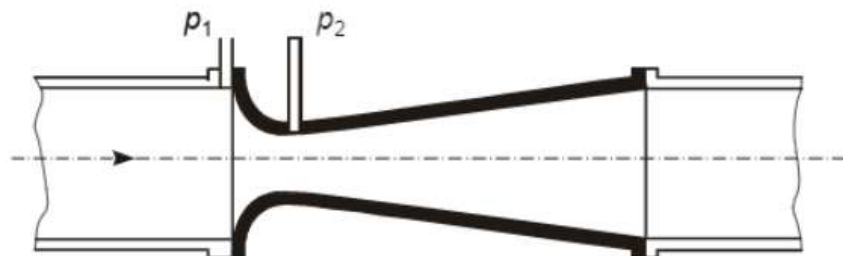
Dýza je nátrubek, který má zaoblenou hranu na straně vtoku a ostrou hranu na straně výtoku.



Obr. 2.5 Dýza [13]

- Venturiho dýza

Venturiho dýza je charakterizována zaoblenou hranou na straně vtoku a na straně výtoku se její hrana postupně kuželovitě rozšiřuje až na původní průměr potrubí.



Obr. 2.6 Venturiho dýza [13]

Měření tlaku probíhá před a za měřicím zařízením, jen u Venturiho dýzy je tlak měřen v místě největšího zúžení.

Mezi speciální škrtkicí orgány patří čtvercová a obdélníková clona a čtyřhranná Venturiho trubice, které se používají v potrubích s čtvercovým či obdélníkovým průřezem. Dále pak je to segmentová clona, což je tvarově kruhová úseč, zabudovaná v horní části vodorovného potrubí. Segmentová clona se používá při měření průtoku heterogenních směsí, kdy je nebezpečí tvorby usazenin či kondenzátů v potrubí. [13]

## 2.2 MĚŘICÍ METODY

### 2.2.1 MĚŘENÍ V PRŮŘEZU VZDUCHOVODU

Pokud je k dispozici vhodný měřicí úsek, měření musí být provedeno v průřezu vzduchovodu. Před začátkem měření je nutné stanovit si vhodné místo (s přihlédnutím k požadovaným délkám před a za měřicí rovinou), průřez vzduchovodu a počet měřicích bodů.

Přímý úsek	Kruhové potrubí	Pravoúhlé potrubí
Před rovinou měření	$a \geq 5 \cdot D$	$a \geq 6 \cdot D_h$
Za rovinou měření	$a \geq 2 \cdot D$	$a \geq 2 \cdot D_h$

Tab. 2.1 Požadovaná délka rovného úseku před a za měřicí rovinou

V pravoúhlém potrubí s většími rozměry může být provedeno profilování kvůli vyšší stabilitě vzduchovodu při tlakových změnách. V takovém případě by mělo být měření provedeno ze strany, která není profilovaná.

Proudění ve vzduchovodu má jen málokdy symetrický charakter a bývá nerovnoměrné. Symetrie může být narušena různými odpory, jako například za zúžením, rozšířením, obloukem, T-kusem nebo za klapkou. Důsledkem nerovnoměrnosti rychlostního profilu po průřezu vzduchovodu, je nutné rozdělit průřez na dostatečný počet dílčích průřezů s použitím tzv. sítě měření. Z jednotlivých naměřených rychlostí v bodech sítě se stanoví průměrná rychlost v průřezu vzduchovodu. Metodika měření v průřezu vzduchovodu s použitím sítě měření zohledňuje i nejistoty měření a měřicích přístrojů.

Stanovení rychlostí proudění lze provést jak pomocí Prandtlovy sondy, tak pomocí anemometru, popřípadě použitím jakékoliv jiné sondy se srovnatelnou nebo s vyšší přesností, než jaká je u Prandtlovy sondy.

Minimální počet měřicích bodů závisí na relativní vzdálenosti mezi měřeným úsekem a místem, kde je narušena rovnoměrnost průtoku a závisí také na hydraulickém průměru vzduchovodu v měřicí rovině. Požadovaný počet bodů se stanoví z tabulky D.1 v normě ČSN EN 12599 jako funkce relativní vzdálenosti  $a/D_h$  a relativní nejistoty měření a měřicího zařízení.

Hydraulický průměr  $D_h$  je průměr potrubí, který při stejné rychlosti proudění vzduchu a při stejném součiniteli třecích ztrát způsobuje stejnou tlakovou ztrátu a je definován následujícím vztahem:

$$D_h = 4 \cdot \frac{A}{U}$$

A ..... plocha průřezu

U ..... obvod

Požadovaný počet měřících bodů			
Relativní vzdálenost	Celková nejistota v % / nejistota měřícího zařízení v %		
	"10/5"	"15/5"	"15/10"
a/D <sub>n</sub>			
1,6	-	30	44
2,0	50	21	30
2,5	34	16	24
3,0	25	12	18
4,0	16	8	12
5,0	12	6	9
6,0	9	4	6

Tab. 2.2 Požadovaný počet měřících bodů

### 2.2.2 METODA PRO OBDÉLNÍKOVÉ VZDUCHOVODY

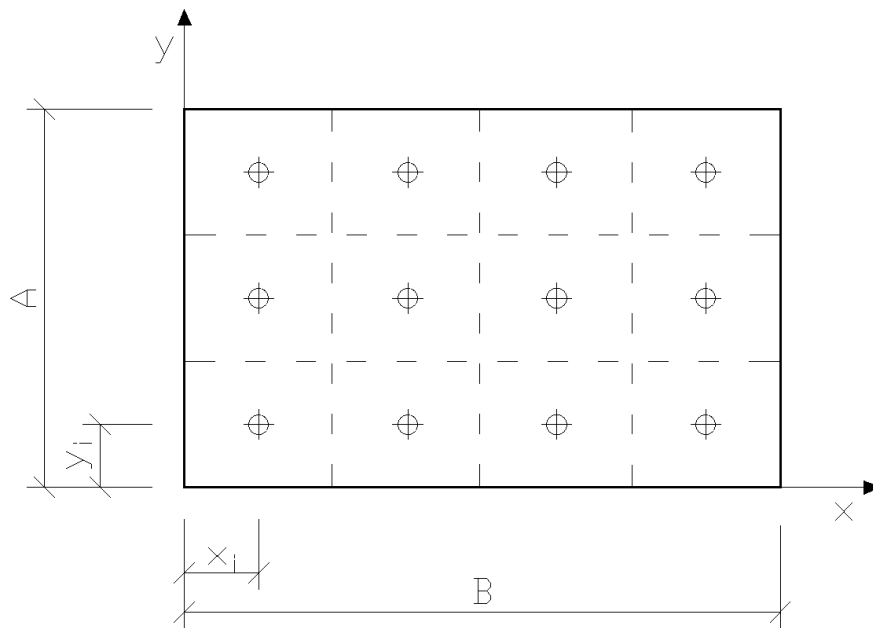
Počet měřících bodů závisí jak na geometrii vzduchovodu, tak na rychlostním profilu. V místech s velkou nerovnoměrností rychlostního profilu se doporučuje vyšší počet bodů, což znamená menší vzdálenosti mezi body měření.

Čtyřhranné potrubí se rozdělí na dílčí průřezy o stejné ploše podle vztahu:

$$\frac{y_i}{A} = \frac{x_i}{B}$$

x<sub>i</sub>, y<sub>i</sub> ..... souřadnice měřících bodů

A, B ..... rozměry čtyřhranného potrubí



Obr. 2.7 Rozložení měřících bodů a dílčích průřezů v měřící rovině

### 2.2.3 METODA STEJNOPLOCHÝCH MEZIKRUŽÍ

Plocha průřezu se rozdělí na mezikruží o stejné ploše. Rychlostní profil uvnitř kruhového vzduchovodu se stanoví postupným měřením rychlostí v bodech ležících nejméně na dvou radiálních přímkách, které jsou vůči sobě kolmé. Výsledkem měření je rychlost stanovená jako aritmetický průměr všech měření.

Umístění měřicího bodu se vypočte ze vztahu:

$$\frac{D_i}{D} = \sqrt{1 - \frac{2i - 1}{2n}}$$

$$\frac{y_i}{D} = \frac{1}{2} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2i - 1}{2n}} \right)$$

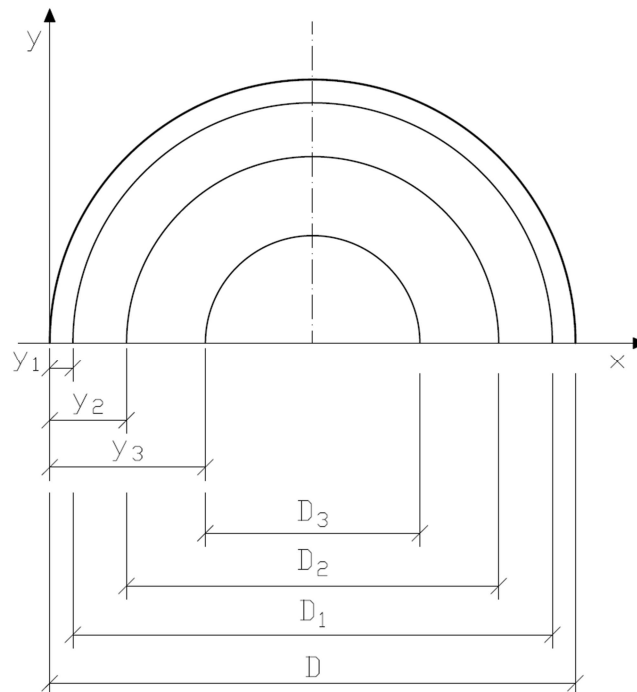
$D_i$ .....průměr středu mezikruží

$D$  .....vnější průměr

$i$ .....pořadové číslo mezikruží

$n$  .....počet mezikruží

$y_i$  .....vzdálenost od stěny



Obr. 2.8 Metoda stejnoplochých mezikruží - rozdělení měřicí roviny

#### 2.2.4 MĚŘENÍ ŠKRTICÍMI PRVKY

Komponenty, u kterých je znám konkrétní vztah mezi průtokem vzduchu a tlakovou ztrátou prvku, je možné použít jako kalibrované měřicí prvky. Při instalaci by měly být dodrženy stejné podmínky pro přívod a odvod vzduchu jako v průběhu kalibrace. Jako takové prvky lze použít tepelné výměníky, tlumiče hluku, perforované kovové desky atd.

#### 2.2.5 MĚŘENÍ V PRŮŘEZU KOMORY, VENTILÁTOROVÉ SKŘÍNĚ NEBO ZAŘÍZENÍ

Přednostně by se mělo měřit vestavěným zařízením pro měření průtoku vzduchu. Jinak je toto měření přípustné jen pokud je vliv člověka nebo zařízení na průtok a zmenšení měřicího průřezu zanedbatelný. V případě měření v ohříváči nebo chladiči se doporučuje tato zařízení vypnout, protože vlivem nerovnoměrného rozložení teplot může docházet k dalším chybám.

#### 2.2.6 MĚŘENÍ NA KONCOVÝCH PRVCÍCH

Na většině koncových prvcích nelze stanovit průtok vzduchu měřením síťovou metodou měření v dílčích průřezech v důsledku nerovnoměrnosti rozložení rychlostí. Výjimkou jsou koncové prvky jednoduchých geometrických průřezů. Pokud výrobce poskytuje závislost mezi průtokem vzduchu a tlakem, je možné stanovit průtok koncovým prvkem nebo jednotkou měřením tlaku. V takovém případě by šlo o měření škrticím prvkem.

#### 2.2.7 METODA EFEKTIVNÍHO PRŮŘEZU

Metoda efektivního průřezu využívá pro výpočet průtoku koncovým prvkem nebo jednotkou efektivní průřez  $A_k$  [m<sup>2</sup>] a pozici přístroje  $i$  pro změření rychlosti proudění vzduchu udávající střední hodnotu  $v_k$  [m/s]. Měří se  $n$  hodnot  $v_{ki}$  [m/s] podle metodiky výrobce.

Vztah pro výpočet průtoku vzduchu je pak dán:

$$q_v = A_k \cdot v_k$$

$$v_k = \sum_{i=1}^n \frac{v_{ki}}{n}$$

Principy této metody jsou podrobněji rozebrány v ČSN EN 12238.

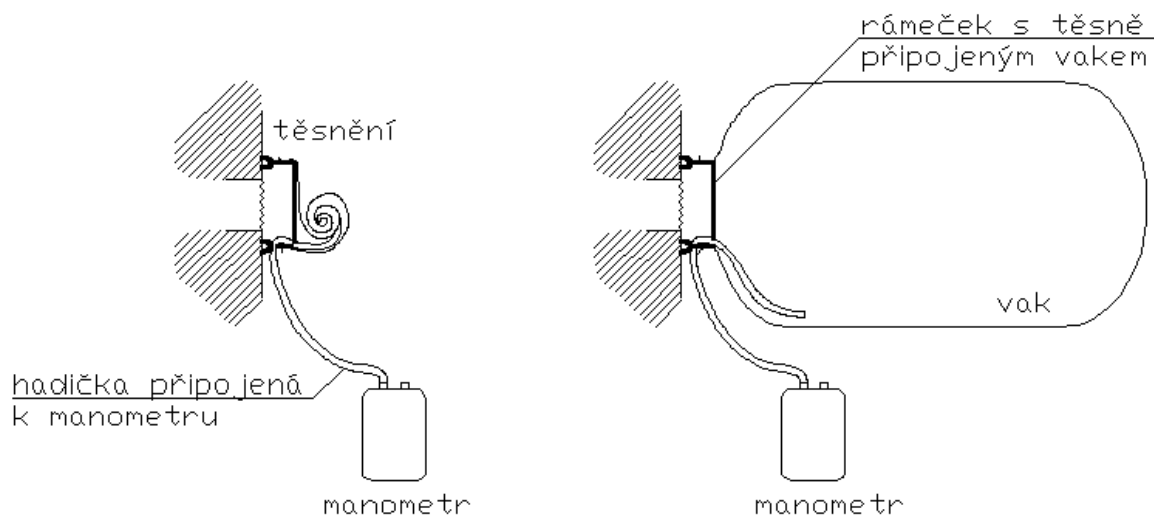
#### 2.2.8 METODA TĚSNÉHO VAKU

Metoda měřicího vaku užívá sbaleného vaku o určitém objemu  $V$  [m<sup>3</sup>] připevněném na rámu, který se umístí tak, že úplně zakrývá přívodní měřený prvek nebo jednotku. Měří se doba  $t$  [s] naplnění vaku při určitém přetlaku. Pokud je doba plnění do přetlaku 3 Pa kratší než 10 s, musí se měření opakovat s větším vakem. Pouze v případě použití největšího dostupného vaku a dobou plnění pod 10 s se měření opakuje dvakrát až třikrát. Vztah pro výpočet průtoku vzduchu  $q_v$  pak je:

$$q_v = \frac{V}{t}$$



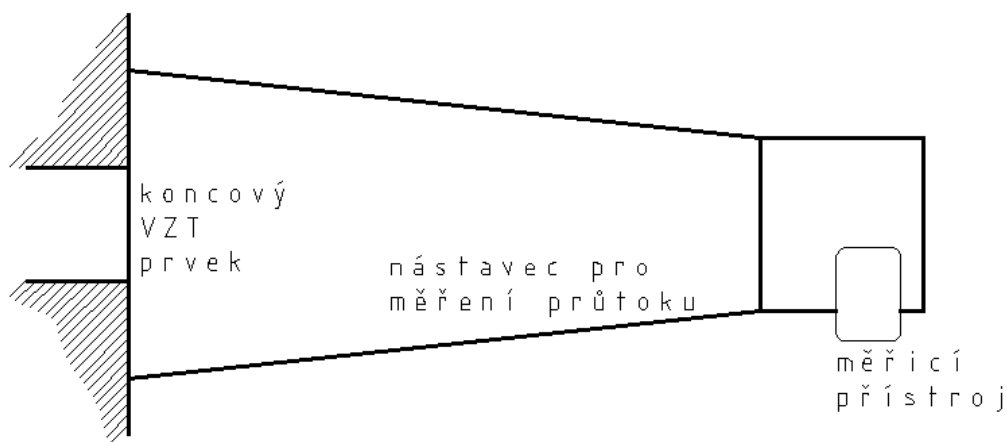
Nejistota měření se pohybuje v rozsahu  $\pm 6\%$  a závisí na kalibraci objemu měřicího vaku a na těsném přiložení rámu ke stěně nebo stropu. Dále se může vyskytnou nejistota díky špatné synchronizaci spouštění stopek.



Obr. 2.9 Princip měření metodou měřicího vaku

## 2.2.9 METODA S POUŽITÍM MĚŘICÍHO NÁSTAVCE

V měřicích nástavcích určených pro měření průtoku vzduchu je zabudované termoanemometrické čidlo nebo jsou nástavce ve spojení s termoanemometrickými sondami, Prandtlůvými sondami, či anemometry. Při měření průtoku touto metodou je třeba dbát zvýšené opatrnosti z důvodu potřeby rovnoměrného proudění, netěsnostem a vlivu tlakové ztráty nástavce. Přednostně by měly být použity nástavce s volným průřezem, tudíž s nízkou tlakovou ztrátou (minimalizování vlivu nástavce na měření).

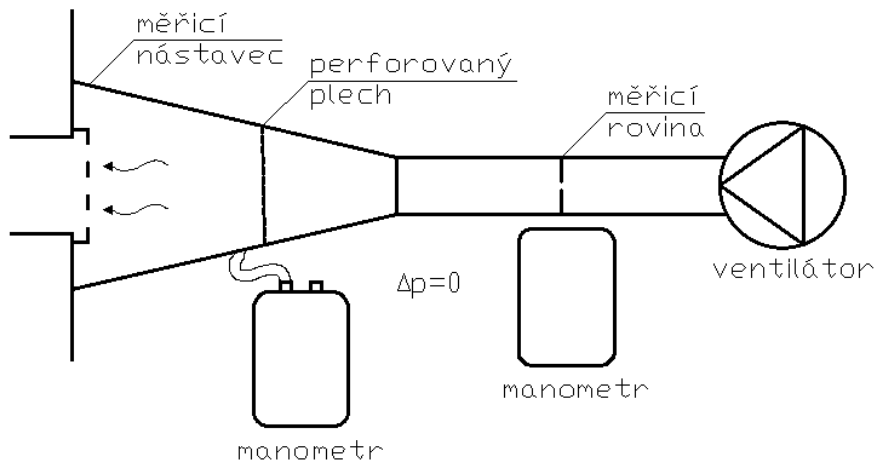


Obr. 2.10 Princip měření s použitím měřicího nástavce

### 2.2.10 KOMPENZAČNÍ METODA

Tlaková ztráta vyvolaná měřicím zařízením je kompenzována pomocí dodatečného ventilátoru, kterému se upravují otáčky tak, aby statický tlak v nástavci odpovídal statickému tlaku v místnosti. Měření se může realizovat i přes měřicí komoru, do které ventilátor přivádí (případně ze které ventilátor odsává) vzduch. Ventilátor je nastaven tak, aby vyrovnával tlak v měřicí komoře s tlakem v místnosti.

U tohoto druhu měření se předpokládá splnění rovnoměrného proudění vzduchu. To je splněno při délce nástavce  $L \geq 3 \cdot D_h$ . Když není tato podmínka splněna, uživatel by měl zkontrolovat, že je i tak splněna podmínka ustáleného proudění.



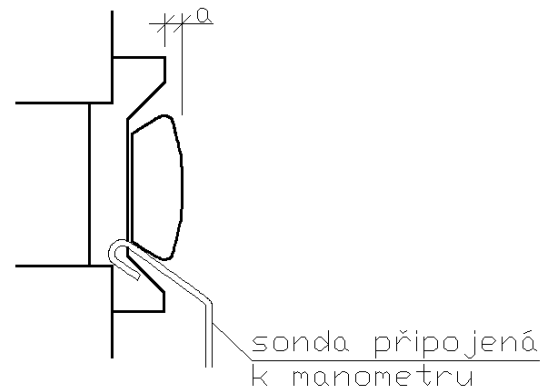
Obr. 2.11 Princip měření kompenzační metodou

### 2.2.11 MĚŘENÍ REFERENČNÍHO TLAKU

Tuto metodu lze použít pro klasické koncové elementy jako talířové ventily, pokud jsou k dispozici potřebné podklady od výrobce. Měřicí sonda je umístěna do konkrétního bodu elementu, kde je měřen tlak. Princip měření je znázorněn na grafu, který je závislostí mezi nastavením výústky, tlakem a průtokem. Popřípadě je možné průtok spočítat dle vztahu:

$$q_v = k \cdot (p_u)^n$$

- k..... funkce nastavení výústky
- n..... exponent uvedený výrobcem  
(obvykle v rozmezí 0,5 – 1,0)
- $p_u$ ..... tlak



Obr. 2.12 Princip měření metodou referenčního tlaku

## 2.2.12 METODA ZNAČKOVACÍHO PLYNU

Metoda spočívá v tom, že se vstříkne známý značkovací plyn do vzduchovodu a jakmile je promíchán se vzduchem proudícím potrubím, stanoví se koncentrace značkovacího plynu a tím i průtok vzduchu. Tato metoda předpokládá kontinuální znalost průtoku značkovacího plynu vzduchovodem a také dobré promíchání plynu se vzduchem. Právě proto je u této metody výhodou, pokud se v trase vyskytnou klapky, ohyby a další kusy a zařízení, které narušují symetrii proudění.

Značkovací plyn je do vzduchovodu vstřikován a měřen ve čtyř bodech. Plyny používané pro tuto metodu jsou například oxid dusný  $N_2O$  a helium He.

$$q = \left( \frac{q_s}{C_s} \right) \cdot 10^6$$

$C_s$ ..... koncentrace značkovacího plynu v odběrovém průřezu

$q_s$ .....průtok značkovacího plynu

$q$ .....průtok

Pokud známe počáteční koncentraci značkovacího plynu  $C_i$ , pak použijeme vztah ve tvaru:

$$q = \left( \frac{q_s}{C_s - C_i} \right) \cdot 10^6$$

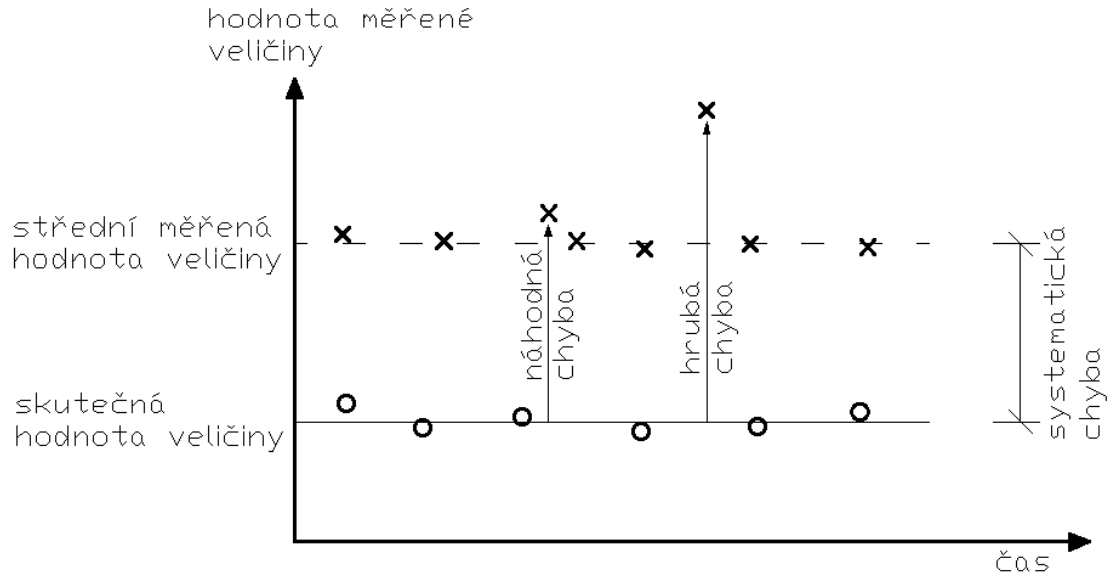
Důkladného promíchání značkovacího plynu a vzduchu je dosaženo po překonání směšovací délky, což je nejkratší vzdálenost, ve které je největší odchylka koncentrace  $C_s$  menší než předem stanovená hodnota měnící se v závislosti na odchylce přípustně koncentrace. Velikost směšovací délky se může uvažovat kratší v závislosti na počtu vstříků, počtu odběrných bodů a pokud je směšovací plyn vstřikován do vzduchovodu před ventilátorem.

## 2.3 CHYBY MĚŘENÍ

Jakékoliv měření fyzikální veličiny je zatíženo chybou, proto by se v rámci měření měl uvádět interval hodnot, ve kterém se pohybuje skutečná hodnota, nebo procentuální odchylka. Výsledky měření mohou být ovlivňovány mnoha faktory, tyto faktory musí být ve spojitosti s měřením kontrolovány. Mohou to být: kolísání měřené veličiny, náhodné nejistoty přístroje, náhodné nejistoty odečtu, ovlivnění průtoku měřicími metodami, stabilita průtoku vzduchu, ... Některé zdroje chyb lze zredukovat, nebo dokonce odstranit. Nejnutnější je vyvarovat se chybám způsobených člověkem, a to jsou chyby hrubé. Dále existují chyby systematické (soustavné) a náhodné.

Systematické chyby vznikají trvalými vlivy působícími jednoznačně co do smyslu i velikosti, lze je stanovit rozbořením použité metody či rozbořením vlastností použitého měřicího přístroje. Vznikají skutečnými a reálnými vlastnostmi součástí a dílů z nichž je přístroj vyroben, postupným opotřebením provozem. Tyto chyby je možné kompenzovat nebo alespoň omezit jejich vliv. Kompenzujeme je korekcí podle kalibračního protokolu a podle kalibračního návodu přístroje.

Náhodné chyby, nazývané také nejistoty, jsou chyby, které se vyskytují i po odstranění chyb systematických. Nejistotu není možné započítat předem. Nejistotu lze snížit zvýšením počtu měřicích bodů nebo nastavením delšího času měření u přístrojů s funkcí střední hodnoty.



Obr. 2.13 Chyby měření

- ✕ naměřené hodnoty ležící okolo správné reálné hodnoty, tzn hodnoty bez systematické chyby
- naměřené hodnoty se systematickou chybou, což je způsobeno například použitím nekalibrovaného přístroje

## ZÁVĚR

Z výše uvedených údajů o regulaci vyplývá, že je regulace nedílnou součástí každodenního života a cílem této části bylo shrnout základní pojmy a teorii v oblasti regulace se zaměřením na regulaci ve vzduchotechnických zařízeních a na principy měření průtoku vzduchu ve vzduchovodech vycházejících z technických norem.



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

# ČÁST B – APLIKACE TÉMATU NA ZADANÉ BUDOVĚ

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Kateřina Zaoralová

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ RUBINA, Ph.D.

BRNO 2020

## ÚVOD

Cílem této části diplomové práce je návrh vzduchotechnického zařízení v prostorách nemocničního oddělení s lůžkovými pokoji a zázemím pro zaměstnance v rozsahu studie projektu a následné aplikování tématu „regulace průtoku vzduchu“ na zadaný objekt. Výstupem jsou výpočty, výkres v měřítku 1:100, technická zpráva a ideové řešení navazujících profesí.

Vzhledem k tomu, že se podle ČSN EN ISO 14 644 nejedná o čistý prostor, ale o prostor se zvýšeným hygienickým minimem, nebudou koncové elementy navrhovány jako čisté nástavce, ale jednotka bude navržena v hygienickém provedení. Objekt bude obsluhován dvěma vzduchotechnickými zařízeními, z čehož jedno obsluhuje severozápadní a druhé jihovýchodní stranu. Přívodní i odvodní větve u obou vzduchotechnických zařízení se dělí na dvě dílčí větve (jedna obsluhuje pokoje, sesternu a přípravnu sester a druhá ostatní místnosti příslušného úseku). Na každé dílčí větvi je osazen regulátor průtoku vzduchu. V případě větví, které zabezpečují větrání pokojů, sesterny a přípravny sester se jedná o regulátory variabilního průtoku vzduchu se skokovou regulací (denní a noční útlumový režim). Větve, kterými se realizuje větrání ostatních místností, jsou osazeny regulátory konstantního průtoku vzduchu.

### 3. SOUČINITELÉ PROSTUPU TEPLA

Obvodová stěna	d [mm]	$\lambda$ [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ]	R [ $m^2 \cdot K^1 \cdot W^{-1}$ ]
Stěrková omítka	2	0,44	0,005
Pórobetonové obvodové zdivo	300	0,13	2,308
Vnější vápenocementová omítka	15	0,47	0,032
		$\Sigma R =$	2,344
		$R_{si} =$	0,13
		$R_{se} =$	0,04
		$R_t =$	2,514
		$U =$	0,398
			$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$

Vnitřní nosná stěna	d [mm]	$\lambda$ [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ]	R [ $m^2 \cdot K^1 \cdot W^{-1}$ ]
Stěrková omítka	2	0,44	0,005
Pórobetonová příčka	250	0,13	1,923
Stěrková omítka	2	0,44	0,005
		$\Sigma R =$	1,932
		$R_{si} =$	0,13
		$R_t =$	2,192
		$U =$	0,456
			$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$

Vnitřní příčka	d [mm]	$\lambda$ [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ]	R [ $m^2 \cdot K^1 \cdot W^{-1}$ ]	
Stěrková omítka	2	0,44	0,005	
Pórobetonové zdivo	150	0,13	1,154	
Stěrková omítka	2	0,44	0,005	
			$\Sigma R =$	1,163
			$R_{si} =$	0,13
			$R_t =$	1,423
			$U =$	0,703
				$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$

Střecha	d [mm]	$\lambda$ [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ]	R [ $m^2 \cdot K^1 \cdot W^{-1}$ ]	
Asfaltový pás	5,3	0,2	0,027	
Asfaltový pás	3	0,2	0,015	
Tepelná izolace	100	0,039	2,564	
Tepelná izolace	120	0,039	3,077	
Parotěsná vrstva	0,2	-	-	
Cementový potěr	50	1,16	0,043	
ŽB deska	200	1,74	0,115	
Stěrková omítka	2	0,44	0,005	
			$\Sigma R =$	2,606
			$R_{si} =$	0,1
			$R_{se} =$	0,04
			$R_t =$	2,746
			$U =$	0,364
				$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$

## 4. TEPELNÁ BILANCE

Výpočet tepelných zisků a ztrát byl proveden zjednodušeně pro referenční místnosti. Zisky i ztráty byly následně rozpočítány i pro ostatní místnosti podle jejich podobnosti s referenčními místnostmi.

### 4.1 TEPELNÉ ZISKY

#### Tepelný zisk sluneční radiací

$$Q_{or} = [S_{os} \cdot I_o \cdot c_o + (S_o - S_{os}) \cdot I_{o \text{ dif}}] \cdot s \text{ [W]}$$

$c$  – korekce na čistotu atmosféry

$I_o$  – celková intenzita sluneční radiace [ $W/m^2$ ]

$I_{o \text{ dif}}$  – intenzita difúzní radiace [ $W/m^2$ ]

$s$  – stínící součinitel

**Osluněná část okna**

$$S_{os} = [l_a - (e_1 - f)] \cdot [l_b - (e_2 - g)] \text{ [m}^3\text{]}$$

$l_a$  – výška zasklení [m]

$l_b$  – šířka zasklení [m]

$f$  – odstup od svislé stínící překážky [m]

$g$  – odstup od vodorovné stínící překážky [m]

$c$  – hloubka okna [m]

$d$  – hloubka okna [m]

**Vodorovný stín**

$$e_1 = c \cdot \tan(\alpha - \gamma) \text{ [m]}$$

**Svislý stín**

$$e_2 = d \cdot \frac{\tan h}{\cos(\alpha - \gamma)} \text{ [m]}$$

**Teplný zisk oken konvekcí**

$$Q_{ok} = S_{ok} \cdot U_o \cdot (t_e - t_i) \text{ [W]}$$

**Teplný zisk vnějších stěn**

$$Q_s = U_s \cdot S \cdot [(t_{rm} - t_i) + m \cdot (t_{r\psi} - t_{rm})] \text{ [W]}$$

$t_{rm}$  – průměrná rovnocenná sluneční teplota vzduchu za 24 hodin [°C]

$t_{r\psi}$  – rovnocenná sluneční teplota v době o  $\psi$  dříve [°C]

$m$  – součinitel zmenšení teplotního kolísání při prostupu tepla stěnou

$\psi$  – fázové posunutí teplotních kmitů

$$\psi = 32d - 0,5$$

$$m = \frac{1 + 7,6d}{2500d}$$

$d$  – tloušťka stěny



Výpočet tepelných zisků pro místnost: 8.14					
Označení konstrukce	Šířka [m]	Výška [m]	A [m <sup>2</sup> ]	U <sub>k</sub> [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	
Obvodová stěna	3,5	2,5	6,86	0,390	
Okno	1,2	1,5	1,8	1,3	
Balkonové dveře	0,9	2,1	1,89	1,3	
Tepelné zisky okny+balkonovými dveřmi:					
l <sub>a,ok</sub>	l <sub>b,ok</sub>	c	d	f	g
1,5	1,2	0,2	0,9	0,1	0,75
l <sub>a,d</sub>	l <sub>b,d</sub>	c	d	f	g
2,1	0,9	0,2	0,9	0,1	1,8
h	e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>	α-γ	S <sub>os</sub> [m <sup>2</sup> ]	s
44	-0,093	0,958	25	0,97	0,45
l <sub>o</sub>	l <sub>o dif</sub>	c <sub>o</sub>	Tepelné zisky od oslunění		38,38 W
511	117	0,85	Tepelné zisky radiací		603,77 W
Tepelné zisky stěnami a střechou:					
t <sub>i</sub>	t <sub>m</sub>	t <sub>rψ</sub>	m	δ	ψ
24	31,2	21,5	0,28	0,31	9,42
U <sub>stř</sub> [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]			Tepelné zisky prostupem stěnou		16,00 W
0,364			Tepelné zisky prostupem střechou		38,79 W
Tepelné zisky vnitřními zdroji:					
n <sub>osob</sub>	q <sub>osob</sub> [W]				
2	65	Tepelné zisky od lidí			130,00 W
					<b>826,94 W</b>

Tab. 4.1 Výpočet tepelných zisků pro místnost 8.14

Tepelných zisků pro místnost: 8.29					
Označení konstrukce	Šířka [m]	Výška [m]	A [m <sup>2</sup> ]	U <sub>k</sub> [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	
Obvodová stěna	3,5	2,5	5,6	0,005	
Okno	2,1	1,5	3,15	1,3	
Tepelné zisky okny:					
l <sub>a</sub>	l <sub>b</sub>	c	d	f	g
1,5	2,1	0,2	0,2	0,1	0,1
h	e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>	α-γ	S <sub>os</sub> [m <sup>2</sup> ]	s
25	-0,093	0,103	47	3,11	0,45
l <sub>o</sub>	l <sub>o dif</sub>	c <sub>o</sub>	Tepelné zisky od oslunění		32,76 W
361	80	0,85	Tepelné zisky radiací		435,00 W
Tepelné zisky stěnami a střechou:					
t <sub>i</sub>	t <sub>m</sub>	t <sub>rψ</sub>	m	δ	ψ
24	29,1	29,3	0,28	0,31	9,42
U <sub>stř</sub> [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]			Tepelné zisky prostupem stěnou		11,49 W
0,364			Tepelné zisky prostupem střechou		44,72 W
Tepelné zisky vnitřními zdroji:					
n <sub>osob</sub>	q <sub>osob</sub> [W]				
2	65	Tepelné zisky od lidí			130,00 W
					<b>653,97 W</b>

Tab. 4.2 Výpočet tepelné zátěže pro místnost 8.29

Výpočet tepelných zisků pro místnost: 8.33						
Označení konstrukce	Šířka [m]	Výška [m]	A [m <sup>2</sup> ]	U <sub>k</sub> [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]		
Obvodová stěna	3,5	2,5	5,51	0,390		
Okno	1,2	1,5	1,8	1,3		
Balkonové dveře	0,9	2,1	1,89	1,3		
Tepelné zisky okny+balkonovými dveřmi:						
l <sub>a,ok</sub>	l <sub>b,ok</sub>	c	d	f	g	
1,5	1,2	0,2	0,9	0,1	0,75	
l <sub>a,d</sub>	l <sub>b,d</sub>	c	d	f	g	
2,1	0,9	0,2	0,9	0,1	1,8	
h	e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>	α-γ	S <sub>OS</sub> [m <sup>2</sup> ]	s	
25	-0,214	0,615	25	2,53	0,45	
l <sub>o</sub>	l <sub>o dif</sub>	c <sub>o</sub>	Tepelné zisky od oslunění		33,70 W	
361	80	0,85	Tepelné zisky radiací		307,13 W	
Tepelné zisky stěnami a střechou:						
t <sub>i</sub>	t <sub>m</sub>	t <sub>rp</sub>	m	δ	ψ	
24	31,2	21,5	0,28	0,31	9,42	
U <sub>stř</sub> [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]			Tepelné zisky prostupem stěnou		11,31 W	
0,364			Tepelné zisky prostupem střechou		44,72 W	
Tepelné zisky vnitřními zdroji:						
n <sub>osob</sub>	q <sub>osob</sub> [W]					
2	65	Tepelné zisky od lidí				130,00 W
					<b>526,86 W</b>	

Tab. 4.3 Výpočet tepelné zátěže pro místnost 8.33

## 4.2 TEPELNÉ ZTRÁTY

Výpočet tepelné ztráty prostupem pro místnost: 8.05, chodba

Tepelná ztráta do venkovního prostředí

Označení konstrukce	Šířka [m]	Výška [m]	A [m <sup>2</sup> ]	A <sub>k</sub> [m <sup>2</sup> ]	U <sub>k</sub> [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	ΔU [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	U <sub>kce</sub> [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	e <sub>k</sub>	A <sub>k</sub> ·U <sub>k</sub> ·e <sub>k</sub> [W·K <sup>-1</sup> ]	
Střeška				78,28	0,364		0,1	0,464	1	36,339
Tepelná ztráta z/do prostorů vytápěných na rozdílnoú teplotu										
Označení kce	Místnost	Šířka [m]	Výška [m]	A [m <sup>2</sup> ]	U <sub>k</sub> [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	ΔU [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	f <sub>ij</sub>	A <sub>k</sub> ·U <sub>k</sub> ·f <sub>ij</sub> [W·K <sup>-1</sup> ]		
Stěna	-	73,26	2,2	161,172	141,399		0,703	-0,057	-5,678	
18x dveře	-	1	1,97	1,97	19,773		1,800	-0,057	-2,034	
							Návrhová ztráta prostupem [W]	1287,291		
				θ <sub>i</sub> [°C]	θ <sub>e</sub> [°C]	Δθ [°C]				
				20	-15	35				

Tab. 4.4 Výpočet tepelných ztrát pro místnost 8.05

Výpočet tepelné ztráty prostupem pro místnost: 8.17

Tepelná ztráta do venkovního prostředí

Označení konstrukce	Šířka [m]	Výška [m]	A [m <sup>2</sup> ]	A <sub>k</sub> [m <sup>2</sup> ]	U <sub>k</sub> [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	ΔU [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	U <sub>kce</sub> [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	e <sub>k</sub>	A <sub>k</sub> ·U <sub>k</sub> ·e <sub>k</sub> [W·K <sup>-1</sup> ]	
Obvodová stěna	3,5	2,5	8,75	5,6	0,398		0,1	0,498	1	2,789
Okno + balkonové dveře	2,1	1,5	3,15	3,15	1,300		0,1	1,400	1	4,410
Střeška				24,91	0,364		0,1	0,464	1	11,558
Tepelná ztráta z/do prostorů vytápěných na rozdílnoú teplotu										
Označení kce	Místnost	Šířka [m]	Výška [m]	A [m <sup>2</sup> ]	U <sub>k</sub> [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	ΔU [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	f <sub>ij</sub>	A <sub>k</sub> ·U <sub>k</sub> ·f <sub>ij</sub> [W·K <sup>-1</sup> ]		
Stěna	chodba	3,5	2,5	8,75	6,977		0,703	0,265	0,054	
Dveře	chodba	1	1,97	1,97	1,773		1,800	0,173	0,054	
Stěna	schodiště	6,6	2,5	16,5	16,5		0,456	0,407	0,054	
							Návrhová ztráta prostupem [W]	696,140		
				θ <sub>i</sub> [°C]	θ <sub>e</sub> [°C]	Δθ [°C]				
				22	-15	37				

Tab. 4.5 Výpočet tepelných ztrát pro místnost 8.17

**Výpočet tepelné ztráty prostupem pro místnost: 8.33**
**Tepelná ztráta do venkovního prostředí**

Označení konstrukce	Šířka [m]	Výška [m]	A [m <sup>2</sup> ]	A <sub>k</sub> [m <sup>2</sup> ]	U <sub>k</sub> [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	ΔU [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	U <sub>kce</sub> [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	e <sub>k</sub>	A <sub>k</sub> ·U <sub>k</sub> ·e <sub>k</sub> [W·K <sup>-1</sup> ]
Obvodová stěna	3,5	2,5	8,75	5,6	0,398	0,398	0,1	0,498	2,787
Okno + balkonové dveře	2,1	1,5	3,15	3,15	1,300	1,300	0,1	1,400	4,410
Střecha				24,91	0,364	0,364	0,1	0,464	11,564
									18,761

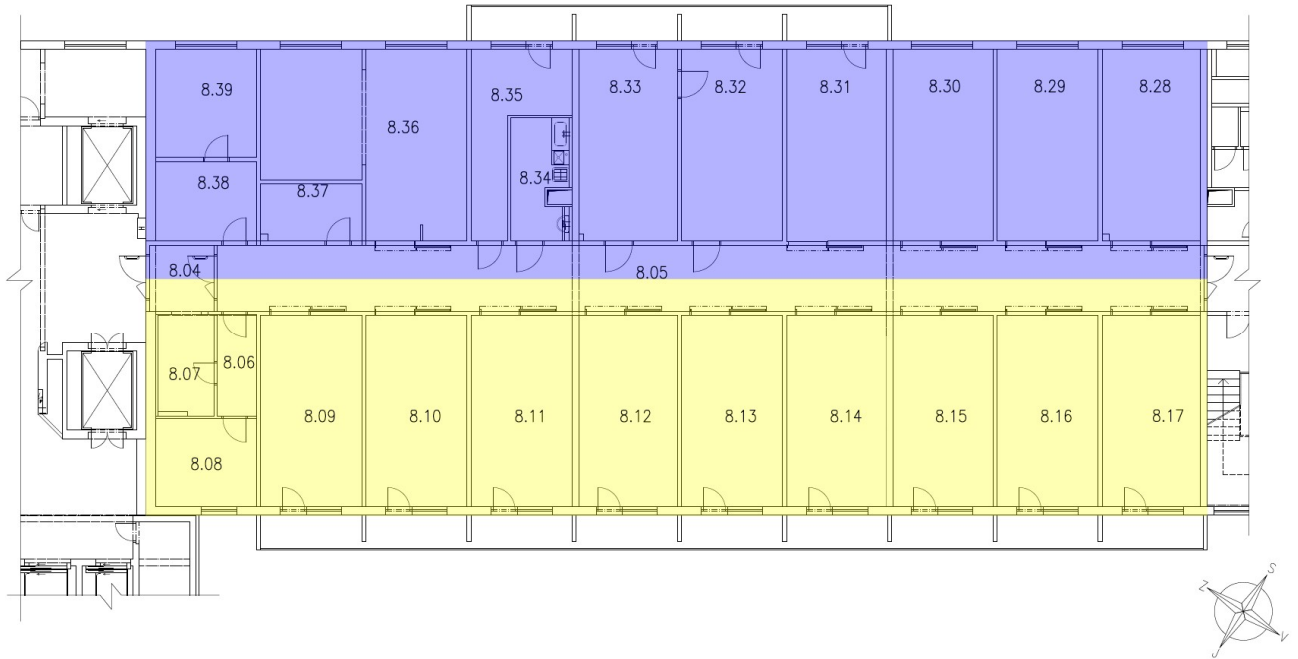
**Tepelná ztráta z/do prostorů vytápěných na rozdílou teplotu**

Označení kce	Místnost	Šířka [m]	Výška [m]	A [m <sup>2</sup> ]	A <sub>k</sub> [m <sup>2</sup> ]	U <sub>k</sub> [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	f <sub>ij</sub>	A <sub>k</sub> ·U <sub>k</sub> ·f <sub>ij</sub> [W·K <sup>-1</sup> ]
Stěna	chodba	3,5	2,5	8,75	6,977	0,703	0,054	0,265
Dveře	chodba	1	1,97	1,97	1,773	1,800	0,054	0,173
								0,438
								Návrhová ztráta prostupem [W]
								695,035

Tab. 4.6 Výpočet tepelných ztrát pro místnost 8.33

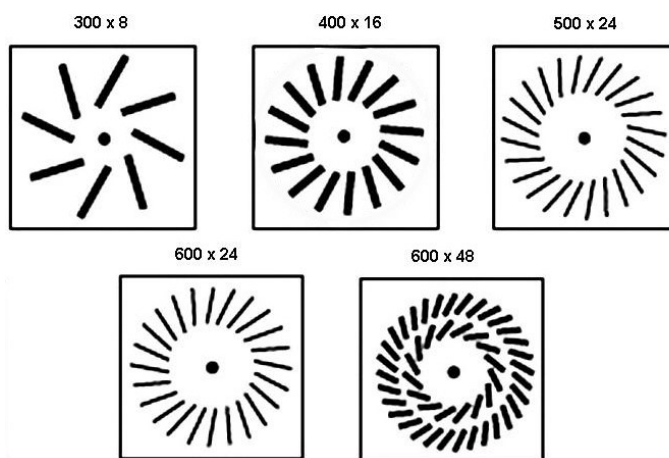
## 5. ROZDĚLENÍ OBEJKTU

Vzduchotechnika řeší klimatizaci a větrání rekonstruovaných prostorů 8.NP, ve kterých se nachází lůžkové pokoje a zázemí pro zaměstnance. Všechny lůžkové pokoje jsou větrány přetlakově, kuchyňka, sklad prádla, čisticí místnost a hygienické zázemí zaměstnanců jsou větrány podtlakově. Na níže uvedeném schématu je objekt barevně rozdělen na dvě části, na část severozápadní, která bude obsluhována zařízením č. 1, a jihovýchodní, která bude obsluhována zařízením č. 2.



## 6. DISTRIBUČNÍ ELEMENTY

Jako přívodní i odvodní elementy byly použity vířivé anemostaty, talířové ventily a na chodbě, kde bylo potřeba použít užší elementy, byly použity štěrbinové výústky.



Obr. 6.2 Rozložení štěrbin u vířivých anemostatů [17]



Obr. 6.1 Příklad talířového ventilu a štěrbinové výústky

## 7. NÁVRH PRŮTOKU VZDUCHU

Průtok v jednotlivých místnostech nebyl navrhován na pokrytí tepelné zátěže objektu. Při navrhování průtoku vzduchu bylo uvažováno (v denním režimu) s 100 m<sup>3</sup>/h-os, v lůžkových pokojích bylo uvažované zvýšené hygienické minimum a jejich minimální výměna je 3x h<sup>-1</sup>. V nočním režimu budou lůžkové pokoje větrány 70 % z navrženého průtoku pro denní režim.

Číslo místnosti	Účel místnosti	Objem místnosti [m <sup>3</sup> ]	Počet osob	Léto		Zima		Tepelná bilance		Přívod						Odvod		Výměna [h <sup>-1</sup> ]
				t [°C]	φ [%]	t [°C]	φ [%]	Tepelné ztráty [W]	Tepelné zisky [W]	Dávka vzduchu (hygienické minimum) [m <sup>3</sup> /h]	Dávka vzduchu na pokrytí tepelných ztrát [m <sup>3</sup> /h]	Dávka vzduchu na pokrytí tepelných zisků [m <sup>3</sup> /h]	Tepota pro přívod v létě [°C]	Tepota pro přívod v zimě [°C]	Zvolený min přívod [m <sup>3</sup> /h]	Zvolený min odvod [m <sup>3</sup> /h]		
8.04	Předšň	13,6	-	24	50	20	50	136,36	51,76	-	73,64	43,928	20,5	25,5	50	50	3,7	
8.05	Chodba	223	-	24	50	20	50	1287,29	488,63	-	695,21	414,68	20,5	25,5	150	700	0,7	
8.06	Předšň	14,2	-	24	50	20	50	78,89	29,94	-	42,60	25,412	20,5	25,5	-	-	-	
8.07	Hygienické zázemí pro personál	11,1	-	24	55	22	50	217,10	12,43	-	184,24	10,545	20,5	25,5	-	150	-	
8.08	Pracovna	30	1	24	55	22	50	336,87	257,53	100	270,56	218,55	20,5	25,5	150	-	5,0	
8.09	Pokoj	66	2	25	55	22	50	695,04	826,94	200	557,77	545,83	20,5	25,5	200	150	3,0	
8.10	Pokoj	66	2	25	55	22	50	695,04	826,94	200	557,77	545,83	20,5	25,5	200	150	3,0	
8.11	Pokoj	66	2	25	55	22	50	695,04	826,94	200	557,77	545,83	20,5	25,5	200	150	3,0	
8.12	Pokoj	66	2	25	55	22	50	695,04	826,94	200	557,77	545,83	20,5	25,5	200	150	3,0	
8.13	Pokoj	66	2	25	55	22	50	695,04	826,94	200	557,77	545,83	20,5	25,5	200	150	3,0	
8.14	Pokoj	66	2	25	55	22	50	695,04	826,94	200	557,77	545,83	20,5	25,5	200	150	3,0	
8.15	Pokoj	66	2	25	55	22	50	695,04	826,94	200	557,77	545,83	20,5	25,5	200	150	3,0	
8.16	Pokoj	66	2	25	55	22	50	695,04	826,94	200	557,77	545,83	20,5	25,5	200	150	3,0	
8.17	Pokoj	66	2	25	55	22	50	696,14	826,94	200	558,66	545,83	20,5	25,5	200	150	3,0	
8.28	Pokoj	66	2	25	55	22	50	696,14	826,94	200	558,66	431,4	20,5	25,5	200	150	3,0	
8.29	Pokoj	66	2	25	55	22	50	695,04	826,94	200	557,77	431,4	20,5	25,5	200	150	3,0	
8.30	Pokoj	66	2	25	55	22	50	695,04	826,94	200	557,77	431,4	20,5	25,5	200	150	3,0	
8.31	Pokoj	66	2	25	55	22	50	695,04	826,94	200	557,77	431,4	20,5	25,5	200	150	3,0	
8.32	Přípravna	66	2	25	55	24	50	695,04	826,94	200	1302,5	347,76	20,5	25,5	200	200	3,0	
8.33	Sesterna	66	3	24	55	22	50	695,04	826,94	300	557,77	447,12	20,5	25,5	300	300	4,5	
8.34	Čistící místnost	24,3	-	24	55	22	50	143,78	54,58	100	115,48	46,317	20,5	25,5	50	150	2,1	
8.35	Sklad léčiv	33	-	20	-	20	-	428,36	324,71	-	218,93	-1929	20,5	25,5	150	150	4,5	
8.36	Pokoj	113	3	25	55	22	50	1218,01	1145,35	300	1141,3	972,01	20,5	25,5	350	300	3,1	
8.37	Sklad	20,3	-	-	-	-	-	112,60	42,74	-	105,5	36,272	20,5	25,5	-	50	-	
8.38	Kuchyňka	27,3	2	24	55	22	50	276,18	54,45	130	221,82	46,208	20,5	25,5	150	200	5,5	
8.39	Denní místnost zaměstnanců	37,8	4	24	55	22	50	408,92	383,92	200	328,42	325,81	20,5	25,5	200	150	5,3	

Tab. 7.1 Návrh průtoku vzduchu



## 8. DIMENZE POTRUBÍ

### 8.1 ZAŘÍZENÍ Č. 1

ZAŘÍZENÍ Č. 1 PŘÍVOD														
č. úseku	V m <sup>3</sup> /h	V m <sup>3</sup> /s	l m	v' m/s	S' m <sup>2</sup>	d' mm	šifka	Výška	S m <sup>2</sup>	v m <sup>s</sup> <sup>-1</sup>	R Pa·m <sup>-1</sup>	ξ	Z Pa	Z+R <sup>0,1</sup> Pa
1	200	0,06	3,6	2,5	0,02	0,17	φ 200		0,03142	1,77	0,288	0,8	1,50	2,54
2	400	0,11	3,6	2,85	0,04	0,22	200		0,04	2,78	0,571	0,8	3,70	5,76
3	600	0,17	3,6	3,2	0,05	0,26	225		0,05625	2,96	0,522	1	5,27	7,15
4	800	0,22	3,6	3,55	0,06	0,28	250		0,0625	3,56	0,684	1,2	9,10	11,56
5	1000	0,28	3,6	3,9	0,07	0,30	280		0,07	3,97	0,785	0,9	8,50	11,33
6	1300	0,36	1,7	4,25	0,08	0,33	280		0,0882	4,09	0,689	1	10,06	11,23
7	1650	0,46	1,4	4,6	0,10	0,36	315		0,099225	4,62	0,796	0,9	11,52	12,64
8	2350	0,65	12	5	0,13	0,41	400		0,142	4,60	0,629	2,1	26,63	34,18
9	2350	0,65	2,4	2,5	0,26	0,58	630		0,252	2,59	0,158	0,4	1,61	1,99

KONCOVÝ ELEMENT 36  
 2x REGULAČNÍ KLAPKA 30  
 POŽÁRNÍ KLAPKA 25  
 3x TLUMIČ HLUKU 120  
 REGULÁTOR PRŮTOKU VZDUCHU 150  
 ŽALUZIE 20  
**ΔP<sub>ext</sub> = 479,37 Pa**

ZAŘÍZENÍ Č. 1 PŘÍVOD - vedlejší větev										
č. úseku	V m <sup>3</sup> /h	V m <sup>3</sup> /s	l m	v' m/s	S' m <sup>2</sup>	d' mm	šifka	Výška	S m <sup>2</sup>	v m <sup>s</sup> <sup>-1</sup>
10	175	0,05	3,6	2,5	0,02	0,16	φ 160		0,020109	2,42
11	350	0,10	3,2	4,1	0,02	0,17	160		0,0256	3,80

ZAŘÍZENÍ Č. 1 PŘÍVOD - vedlejší větev										
č. úseku	V m <sup>3</sup> /h	V m <sup>3</sup> /s	l m	v' m/s	S' m <sup>2</sup>	d' mm	šifka	Výška	S m <sup>2</sup>	v m <sup>s</sup> <sup>-1</sup>
12	150	0,04	1,7	2,5	0,02	0,15	φ 160		0,020109	2,07
13	350	0,10	12	3,2	0,03	0,20	225		0,05625	1,73
14	500	0,14	2,2	3,9	0,04	0,21	225		0,05625	2,47
15	700	0,19	1,8	4,6	0,04	0,23	225		0,05625	3,46

Tab. 8.1 Dimenzování - přívod, zařízení č. 1

ZARÍZENÍ Č. 1 ODVOD														
č. úseku	V	V	I	V'	S'	d'	Šířka	Výška	S	V	R	ξ	Z	Z+R*L
m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /s	m	m/s	m <sup>2</sup>	mm	mm	mm	mm	m <sup>2</sup>	ms <sup>-1</sup>	Pa·m <sup>-1</sup>	-	Pa	Pa
1	150	0,04	4	2,5	0,02	0,15	160	200	0,020109	2,07	0,585	0,3	0,77	3,11
2	300	0,08	3,6	2,86	0,03	0,19	160	200	0,032	2,60	0,592	1	4,07	6,20
3	450	0,13	3,6	3,22	0,04	0,22	200	200	0,04	3,13	0,709	0,9	5,27	7,83
4	600	0,17	3,6	3,58	0,05	0,24	200	225	0,045	3,70	0,904	0,9	7,41	10,66
5	800	0,22	3,6	3,94	0,06	0,27	225	250	0,05625	3,95	0,887	0,9	8,43	11,62
6	1100	0,31	7,4	4,3	0,07	0,30	250	280	0,07	4,37	0,936	1	11,43	18,36
7	1400	0,39	3,4	4,66	0,08	0,33	315	280	0,0882	4,41	0,79	1,1	12,83	15,52
8	2800	0,78	11,5	5	0,16	0,45	400	400	0,16	4,86	0,644	2,5	35,45	42,85
9	2800	0,78	2,4	2,5	0,31	0,63	630	500	0,315	2,47	0,123	0,3	1,10	1,39

KONCOVÝ ELEMENT 28  
 REGULAČNÍ KLAPKA 15  
 POŽÁRNÍ KLAPKA 25  
 REGULÁTOR PRŮTOKU VZDUCHU 150  
 3xTLUMIČ HLUKU 120  
 ŽALUZIE 20  
 $\Delta p_{ext} = 475,54 \text{ Pa}$

ZARÍZENÍ Č. 1 ODVOD - vedlejší větev													
č. úseku	V	I	V'	S'	d'	Šířka	Výška	S	V				
m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /s	m	m/s	m <sup>2</sup>	mm	mm	mm	m <sup>2</sup>	ms <sup>-1</sup>				
10	150	0,04	1,5	2,5	0,02	0,15	φ 160	0,020109	2,07				
11	300	0,08	0,9	2,93	0,03	0,19	160	0,0288	2,89				
12	1000	0,28	3,7	3,36	0,08	0,32	280	0,0784	3,54				
13	1050	0,29	4	3,79	0,08	0,31	280	0,0784	3,72				
14	1200	0,33	0,5	4,22	0,08	0,32	315	0,0882	3,78				
15	1400	0,39	4	4,41	0,09	0,34	315	0,0882	4,41				

Tab. 8.2 Dimenzování - odvod, zařízení č. 1



## 8.2 ZAŘÍZENÍ Č. 2

ZAŘÍZENÍ Č. 2 PŘÍVOD														
č. úseku	V		l	v'	S'	d'	Šířka	Výška	S	v	R	ξ	Z	Z+R*L
	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /s												
1	200	0,06	4,1	2,5	0,02	0,17	φ 200	200	0,03142	1,77	0,288	0,8	1,50	2,68
2	400	0,11	3,6	2,78	0,04	0,23	200	200	0,04	2,78	0,571	0,5	2,31	4,37
3	600	0,17	3,6	3,06	0,05	0,26	225	250	0,05625	2,96	0,522	1	5,27	7,15
4	800	0,22	3,6	3,34	0,07	0,29	250	250	0,0625	3,56	0,648	0,9	6,83	9,16
5	1000	0,28	3,6	3,62	0,08	0,31	280	250	0,07	3,97	0,785	1	9,45	12,27
6	1200	0,33	3,6	3,9	0,09	0,33	315	280	0,0882	3,78	0,595	1	8,57	10,71
7	1400	0,39	3,6	4,18	0,09	0,34	315	315	0,09225	3,92	0,589	1	9,22	11,34
8	1600	0,44	3,6	4,46	0,10	0,36	315	315	0,09225	4,48	0,75	0,9	10,83	13,53
9	1800	0,50	1,5	4,74	0,11	0,37	355	315	0,111825	4,47	0,696	1,1	13,19	14,24
10	2000	0,56	12	5	0,11	0,38	355	315	0,111825	4,97	0,847	2,6	38,50	48,67
11	2000	0,56	2,4	2,5	0,22	0,53	560	400	0,224	2,48	0,155	0,3	1,11	1,48

KONCOVÝ ELEMENT 36  
2x REGULAČNÍ KLAPKA 30  
POŽÁRNÍ KLAPKA 25  
3x TLUMIČ HLUKU 120  
REGULÁTOR PRŮTOKU VZDUCHU 150  
ŽALUZIE 20  
**Δp<sub>ext</sub> = 516,60 Pa**

ZAŘÍZENÍ Č. 2 PŘÍVOD - vedlejší větev						
č. úseku	V	l	v'	S'	d'	S
	m <sup>3</sup> /h	m	m/s	m <sup>2</sup>	mm	m <sup>2</sup>
12	150	3,5	2,5	0,02	0,15	φ 160
13	200	3	4,47	0,01	0,13	φ 160
						Výška
						0,020109
						0,020109
						2,07
						2,76

Tab. 8.3 Dimenzování - přívod, zařízení č. 2

ZARÍZENÍ Č. 2 ODVOD														
č. úseku	V		l	v'	S'	d'	š	Výška	S	V	R	ξ	Z	
	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /s												Pa·m <sup>-1</sup>
1	150	0,04	4	2,5	0,02	0,15	φ 160	0,020109	2,07	0,436	0,3	0,77	Z+R*L Pa	2,52
2	300	0,08	3,6	2,77	0,03	0,20	160	0,032	2,60	0,592	1	4,07	Pa	6,20
4	450	0,13	3,6	3,05	0,04	0,23	200	0,04	3,13	0,709	1	5,86	Pa	8,41
5	600	0,17	3,6	3,33	0,05	0,25	200	0,05	3,33	0,701	1	6,67	Pa	9,19
6	750	0,21	3,6	3,61	0,06	0,27	225	0,05625	3,70	0,708	0,9	7,41	Pa	9,96
7	900	0,25	3,6	3,89	0,06	0,29	250	0,0625	4,00	0,751	1	9,60	Pa	12,30
8	1050	0,29	3,6	4,17	0,07	0,30	250	0,07	4,17	0,859	0,8	8,33	Pa	11,43
9	1200	0,33	1,3	4,45	0,07	0,31	280	0,0784	4,25	0,83	0,8	8,68	Pa	9,76
10	1350	0,38	2,3	4,73	0,08	0,32	280	0,0784	4,78	0,987	0,9	12,35	Pa	14,62
11	1550	0,43	11,5	5	0,09	0,33	280	0,0882	4,88	0,953	2,4	34,31	Pa	45,27
12	1550	0,43	2,4	2,5	0,17	0,47	450	0,18	2,39	0,164	0,3	1,03	Pa	1,42

KONCOVÝ ELEMENT 28  
 REGULAČNÍ KLAPKA 15  
 REGULÁTOR PRŮTOKU VZDUCHU 150  
 POŽÁRNÍ KLAPKA 25  
 3xTLUMIČ HLUKU 120  
 ŽALUZIE 20  
**Δp<sub>ext</sub> = 489,08 Pa**

ZARÍZENÍ Č. 2 ODVOD - vedlejší větev											
č. úseku	V		l	v'	S'	d'	š	Výška	S	V	
	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /s									m
14	150	0,04	3	2,5	0,02	0,15	φ 160	0,020109	2,07	0,020109	2,07
15	200	0,06	1,7	4,78	0,01	0,12	φ 160	0,020109	2,76	0,020109	2,76

Tab. 8.4 Dimenzování - odvod, zařízení č. 2

## 9. NÁVRH REGULÁTORŮ PRŮTOKU VZDUCHU

Na hlavních větvích, které zajišťují větrání pokojů, sesterny a přípravný sester budou osazeny regulátory variabilního průtoku. Maximální průtok bude průtok přes den a v noci bude větrání těmito větvemi v útlumovém režimu (70 % z průtoku v denním režimu).

Na vedlejších větvích budou osazeny regulátory konstantního průtoku zajišťující průtok hygienického minima místnostmi jako je například kuchyňka, hygienické zázemí zaměstnanců, sklady atd.

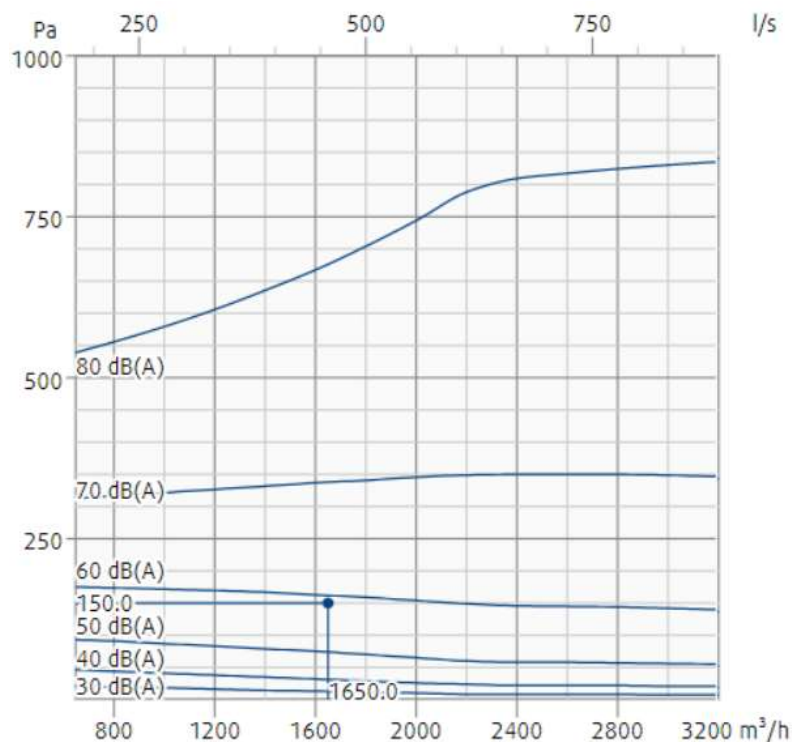


Obr. 9.1 Regulátor variabilního průtoku vzduchu [18]

Regulátory jsou navrženy tak, aby průtok na větvi byl zhruba v polovině rozpětí pracovního rozsahu regulátoru průtoku vzduchu, a aby rychlost v regulátoru byla vyšší než 2 m/s. Pracovní rozsah regulátoru je 2 – 13 m/s a tlaková diference na listech/klapce regulátoru se má pohybovat v rozmezí 5 – 1000 Pa. Protože je toto zařízení zařízením škrticím je to také zdroj hluku, a proto se za regulátor osazují tlumiče hluku.

Návrh regulátoru proběhl s pomocí webových stránek od Systemair, a.s. [18]

Příklad návrhu regulátoru průtoku vzduchu. Jedná se o hlavní přívodní větev zařízení č. 1.



Obr. 9.2 Návrh regulátoru variabilního průtoku vzduchu

Parametr	Hodnota	
Průtok vzduchu	1650	m <sup>3</sup> /h ▼
Rychlost vzduchu	5.1	m/s ▼
Tlaková ztráta	150	Pa ▼
Celková hladina akustického výkonu	59.6	dB ▼
Celková hladina akustického výkonu (váhový filtr-A)	59.0	dB(A) ▼

	Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
$L_W$	dB	32	45	50	53	53	54	50	40
$L_{WA}$	dB(A)	9	31	42	50	53	55	51	40

Obr. 9.3 Parametry navrženého regulátoru průtoku vzduchu

	Číslo zařízení	Větev	Průtok [m <sup>3</sup> /h]	Dimenze potrubí	Typ regulátoru	Rozměr regulátoru	Potřebná délka rovného kusu před regulátorem [mm]
Přívod	1	Hlavní	1650	315 x 315	S variabilním průtokem	300 x 300	900
	1	Vedlejší	700	225 x 250	S konstantním průtokem	200 x 200	200
	2	Hlavní	1800	355 x 315	S variabilním průtokem	300 x 300	900
	2	Vedlejší	200	φ 160	S konstantním průtokem	φ 125	100
Odvod	1	Hlavní	1400	315 x 280	S variabilním průtokem	300 x 250	818
	1	Vedlejší	1400	315 x 280	S konstantním průtokem	300 x 200	240
	2	Hlavní	1350	280 x 280	S variabilním průtokem	300 x 250	818
	2	Vedlejší	200	φ 160	S konstantním průtokem	φ 125	100

Tab. 9.1 Návrh regulátorů průtoku vzduchu

## 10. NÁVRH VZDUCHOTECHNICKÝCH JEDNOTEK

Vzhledem k tomu, že se podle ČSN EN ISO 14 644 nejedná o čistý prostor, ale o prostor se zvýšeným hygienickým minimem, nebudou koncové elementy navrhovány jako čisté nástavce, ale jednotka bude navržena v hygienickém provedení se dvěma stupni filtrace. První stupeň filtrace bude ISO Coarse 80 % (M5) a druhý ISO ePM 1 85 % (F9).

## 10.1 ZAŘÍZENÍ Č. 1

Zařízení č. 1 bude obsluhovat severozápadní část objektu.

### STRUČNÁ SPECIFIKACE ZAŘÍZENÍ

Základní parametry zařízení		Model box AMXP3		
Druh, rozměr	AeroMaster XP 04			
Řídicí jednotka VCS (Climatix)	Ne			
Hmotnost (+/-10%)	977 kg			
Umístění VZT jednotky	Vnitřní			
Materiálové provedení				
Vnější plášť	Lakovaný plech (RAL 9002)			
Vnitřní plášť	Pozinkovaný plech			
	Přívod			Odvod
Průtok vzduchu	2350 m <sup>3</sup> /h			2800 m <sup>3</sup> /h
Externí tlaková rezerva	480 Pa			480 Pa
Rychlost v průřezu	2,38 m/s	2,83 m/s		
Výkon motoru nominální	1,50 kW	1,50 kW		
Typ motoru ventilátoru	AC motor	AC motor		
Frekv. měnič součást dodávky	Ano (IP21)	Ano (IP21)		
1. stupeň filtrace	M5 / ISO Coarse 80 %	M5 / ISO Coarse 80 %		
2. stupeň filtrace	F9 / ISO ePM 1 85%	-		
SFP <sub>H</sub>	2035 W.m <sup>3</sup> .s	1662 W.m <sup>3</sup> .s		
Parametry pláště dle EN1886				
		Mechanická stabilita	D2(M)	
		Netěsnost skříně	L2(M)	
		Termická izolace	T3(M)	
		Faktor tepelných mostů	TB3(M)	
		Netěsnost mezi filtrem a rámem	< 0,5 % (F9)	
SFP <sub>VAHU</sub>	3370 W.m <sup>3</sup> .s			

### Nejdůležitější parametry vybraných komponentů

	Na straně vzduchu		Na straně média
Zpětný zisk tepla	-15,0 → 16,1 °C	84 %, 23,9 kW	
Ohřev	16,1 → 25,5 °C	7,3 kW	70/50 °C, Voda, 4,4 kPa, 0,32 m <sup>3</sup> /h, 1 "
Chlazení	32,0 → 20,5 °C	10,0 kW	7/15 °C, Voda, 3,7 kPa, 1,10 m <sup>3</sup> /h, 1 "
Vlhčení	25,5 → 25,5 °C	4 → 50 %	35,0 kg/h, 26,3 kW**

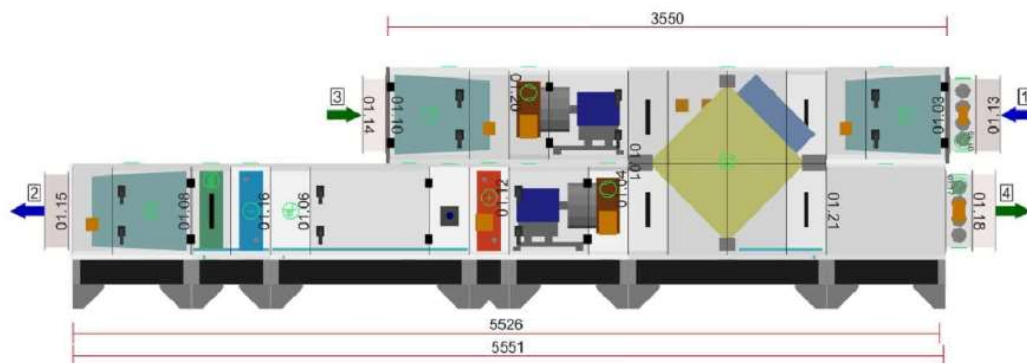
*Detailní specifikace a výsledné parametry jsou součástí detailní specifikace vzduchotechnického zařízení*

\*\* Napájení a jištění zvlhčovače není řešeno z ŘJ VCS

### Hlukové parametry zařízení

	LwA <sub>okt</sub> [dB]								ΣLwA [dB(A)]
Oktávové pásmo	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	
Přívod - sání	45	49	53	62	57	55	50	43	65
Přívod - výtlak	51	57	64	74	75	73	64	56	79
Přívod - okolí	46	44	50	54	55	56	51	40	61
Odvod - sání	44	50	61	72	69	67	64	58	75
Odvod - výtlak	44	50	58	67	69	67	60	51	73
Odvod - okolí	40	40	48	51	53	52	47	36	58

Obr. 10.1 Specifikace zařízení č. 1



Obr. 10.2 Zařízení č. 1



## 10.2 ZAŘÍZENÍ Č. 2

Zařízení č. 2 bude obsluhovat jihovýchodní část objektu.

### STRUČNÁ SPECIFIKACE ZAŘÍZENÍ

Základní parametry zařízení		
Druh, rozměr	AeroMaster XP 04	
Řídicí jednotka VCS (Climatix)	Ne	
Hmotnost (+/-10%)	971 kg	
Umístění VZT jednotky	Vnitřní	
Materiálové provedení		
Vnější plášť	Lakovaný plech (RAL 9002)	
Vnitřní plášť	Pozinkovaný plech	
	Prívod	Odvod
Průtok vzduchu	2000 m <sup>3</sup> /h	1550 m <sup>3</sup> /h
Externí tlaková rezerva	520 Pa	490 Pa
Rychlost v průřezu	2.03 m/s	1.57 m/s
Výkon motoru nominální	1.50 kW	0.75 kW
Typ motoru ventilátoru	AC motor	AC motor
Frekv. měnič součást dodávky	Ano (IP21)	Ano (IP21)
1. stupeň filtrace	M5 / ISO Coarse 80 %	M5 / ISO Coarse 80 %
2. stupeň filtrace	F8 / ISO ePM 1 75 %	-
SFP <sub>W</sub>	1928 W.m <sup>3</sup> .s	1374 W.m <sup>3</sup> .s
	Parametry pláště dle EN1886	
	Mechanická stabilita	D2(M)
	Netěsnost skříně	L2(M)
	Termická izolace	T3(M)
	Faktor tepelných mostů	TB3(M)
	Netěsnost mezi filtrem a rámem	< 0,5 % (F9)
SFP <sub>WAU</sub>	2993 W.m <sup>3</sup> .s	

Model box AMXP3



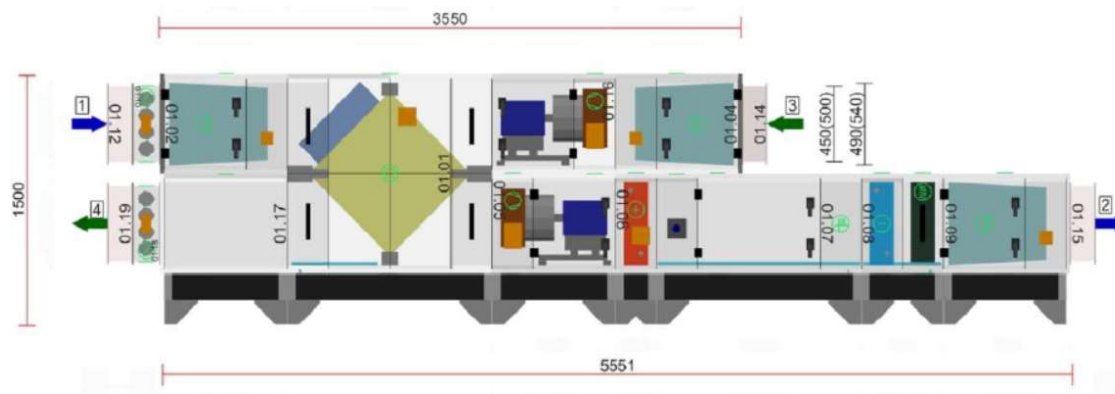
Nejdůležitější parametry vybraných komponentů	Na straně vzduchu		Na straně média	
	Zpětný zisk tepla	-15.0 -> 13.2 °C	76 %, 18,4 kW	
Ohřev	13.2 -> 25.5 °C	8,3 kW	70/35 °C, Voda, 0,7 kPa, 0,21 m <sup>3</sup> /h, 1 "	
Chlazení	32,0 -> 20,5 °C	8,2 kW	7/15 °C, Voda, 2,4 kPa, 0,86 m <sup>3</sup> /h, 1 "	
Vlhčení	25,5 -> 25,5 °C	4 -> 50 %	25,0 kg/h, 18,8 kW**	

*Detailní specifikace a výsledné parametry jsou součástí detailní specifikace vzduchotechnického zařízení*  
\*\* Napájení a jištění zvlhčovače není řešeno z ŘJ VCS

### Hlukové parametry zařízení

Oktávové pásmo	LwA <sub>okt</sub> [dB]								ΣLwA [dB(A)]
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	
Prívod - sání	45	48	53	62	56	53	48	42	64
Prívod - výtlak	50	56	62	72	73	70	61	53	77
Prívod - okolí	45	44	49	53	53	54	49	38	59
Odvod - sání	42	49	61	67	66	62	59	55	71
Odvod - výtlak	43	48	57	62	64	62	56	47	69
Odvod - okolí	39	37	47	46	49	47	44	31	54

Obr. 10.3 Specifikace zařízení č. 2



Obr. 10.4 Zařízení č. 2

## 11. TECHNICKÁ ZPRÁVA

### ÚVOD

Vzduchotechnika řeší klimatizaci a větrání rekonstruovaných prostorů 8.NP v bloku D2, ve Fakultní nemocnici Olomouc. V rekonstruovaném podlaží budou umístěny dvouložkové a jeden trojlůžkový pokoj. Dle ČSN EN ISO 14 644 se nejedná o čistý prostor, ale o prostor se zvýšeným hygienickým minimem.

### PODKLADY PRO ZPRACOVÁNÍ

Podkladem pro zpracování byly výkresy půdorysů stavební části. Součástí podkladů jsou příslušné zákony a prováděcí vyhlášky, České technické normy a podklady výrobců vzduchotechnických zařízení, zejména:

Nařízení vlády č. 217/2016 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 272/2011 Sb., O ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací

Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci

Nařízení vlády č. 68/2010 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci

Nařízení vlády č. 93/2012 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, ve znění nařízení vlády č. 68/2010 Sb.

Nařízení vlády č. 32/2016 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, ve znění pozdějších předpisů

Vyhláška 20/2012 Sb., o technických požadavcích na stavby

Vyhláška 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí obytných místností některých staveb

Vyhláška č. 193/2007 Sb., kterou se stanoví podrobnosti účinnosti energie při rozvodu tepelné energie a vnitřním rozvodu tepelné energie a chladu

Vyhláška č. 78/2013 Sb., O energetické náročnosti budov, ve znění vyhlášky č. 230/2015 Sb.

Vyhláška č. 23/2008 Sb., O technických podmínkách požární ochrany staveb, ve znění vyhlášky č. 268/2011 Sb.

Zákon 406/2000 Sb., O hospodaření s energií a související předpisy

ČSN 730548 Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů

ČSN 730540-1 Tepelná ochrana budov – část 1: Terminologie

ČSN 730540-2 Tepelná ochrana budov – část 2: Požadavky

ČSN 730540-3 Tepelná ochrana budov – část 3: Návrhové hodnoty veličin

ČSN 127010 – Navrhování větracích a klimatizačních zařízení

ČSN 730835 Požární bezpečnost staveb – budovy zdravotnických zařízení a sociální péče

ČSN EN 15255 – Tepelné chování budov, výpočet chladicího výkonu pro odvod citelného tepla z místnosti

ČSN EN 14644 Čisté prostory a příslušné řízené prostředí – část 1: klasifikace čistoty vzduchu

ČSN EN 1886 Větrání budov – Potrubní prvky – mechanické vlastnosti, těsnost VZT jednotek

ČSN EN 1505 Větrání budov – Kovové plechové potrubí a armatury pravoúhlého průřezu –

rozměry

ČSN EN 1507 Větrání budov – Kovové plechové potrubí pravoúhlého průřezu – požadavky na pevnost a těsnost

ČSN EN 15780 Větrání budov – Vzduchovody, čistota vzduchotechnických zařízení

ČSN EN 1822-1 Vysoce účinné filtry vzduchu (HEPA a ULPA), část 1 - Klasifikace, ověřování vlastností, označování

Nařízení EK 2016/2281, Požadavky na ECODESIGN větracích jednotek

## VÝPOČTOVÉ HODNOTY KLIMATICKÝCH POMĚRŮ

místo:	Olomouc
nadmořská výška:	219 m. n. m.
normální tlak vzduchu :	97,5 kPa
výpočtová teplota vzduchu:	léto +32 °C, zima -15°C,
entalpie:	léto 59 kJ/kg, zima: -13 kJ/kg

## ZÁKLADNÍ KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

V rámci rekonstrukce je řešeno vybudování provozu oddělení s lůžkovými pokoji a jeho zázemím v 8.NP objektu budovy D2.

Budova D2 je součástí centrálního monobloku budov A, B, C, D1, D2 a E v areálu Fakultní nemocnice Olomouc. Objekty D1 a D2 tvoří výškovou budovu v západní části areálu. Objekt D2 má 8 nadzemních podlaží (9. podlaží tvoří výlez na střechu a dojezd výtahů). V dotčeném podlaží jsou situovány lůžkové pokoje se zázemím pro zaměstnance.

Vzduchotechnické jednotky pro řešený úsek budou umístěny ve strojovně na střeše. Sání čerstvého vzduchu i výfuk odváděného vzduchu bude řešeno sací protidešťovou žaluzií a výfukovou protihlukovou žaluzií. VZT jednotky bude vybaveny zpětným získáváním tepla. Součástí jednotky budou jednotlivé stupně filtrace, ohřev čerstvého vzduchu, napojovací pružné manžety, zápachové uzávěry pro odvod kondenzátu. V zimním období je uvažováno s vlhčením vzduchu.

Všechny odvodní a přívodní koncové elementy budou napojeny zvukově izolační flexi hadicí přes ruční těsnou regulační klapku daného průměru, která bude osazena na nástavci na potrubí. Ohebné hadice budou připevněny následujícím způsobem: vnitřní část hadice bude přetažena přes nástavec VZT potrubí a uchycena stahovací páskou, poté bude kraj vnitřní části hadice těsně přelepen hliníkovou páskou k nástavci VZT potrubí. Následně bude přetažena i svrchní izolovaná strana hadice a tato bude opět těsně přilepena hliníkovou páskou k nástavci VZT potrubí.

Filtrovaný a tepelně upravený vzduch bude do obsluhovaných prostorů transportovaný čtyřhranným nebo kruhovým SPIRO potrubím z pozinkovaného plechu.



Jako koncové elementy budou sloužit přírodní vířivé anemostaty, talířové ventily a štěrbinové vyústky. Odvod znehodnoceného vzduchu bude taktéž realizován potrubním rozvodem, s osazenými koncovými elementy – odvodními anemostaty, talířovými ventily a štěrbinovými vyústkami.

Větrání pokojů je navrženo jako nucené přetlakové a větrání hygienického zázemí jako nucené podtlakové. Množství přiváděného vzduchu do místností je určeno z hygienického minima a nepokrývá tepelnou zátěž (bylo uvažováno s 100 m<sup>3</sup>/h a v pokojích minimálně trojnásobná výměna). Při navrhování zařízení bylo nutné vycházet nejen z požadavků na parametry zařízení dle typizačních směrnic pro projektování zdravotnických staveb a dalších souvisejících předpisů, ale rovněž z prostorových možností daných stávajícími konstrukcemi, výškou stropů velikostí prostupů apod.

## **DIMENZOVÁNÍ ZAŘÍZENÍ**

**Dimenzování vzduchotechnických a klimatizačních zařízení bylo prováděno na základě:**

- požadovaných parametrů vnitřního prostředí
- dle hygienických předpisů a minimálních dávek vzduchu
- požadovaných výměn vzduchu

**Dimenzování zařízení z hlediska požadovaného množství vzduchu v hygienických zařízeních:**

Minimální množství odváděného vzduchu:

Umývárny 30 m<sup>3</sup>/h na 1 umyvadlo

Sprchy 150-250 m<sup>3</sup>/h na 1 sprchu

WC 50 m<sup>3</sup>/h na 1 mísu

25 m<sup>3</sup>/h na 1 pisoár

Hygienické větrání bude navrženo v úrovni nejméně hygienického minima ve smyslu obecně závazných předpisů. Přitom jako základní principy návrhu projektového řešení jsou přijaty následující podmínky:

- podtlakové větrání je navrženo ve všech místnostech hygienického vybavení objektu (WC, umývárny, úklidové komory apod.)
- úhrada vzduchu bude tvořena z okolních prostorů – větrací a KLM zařízení tvořící funkční celek
- třída a počet stupňů filtrace přiváděného vzduchu bude určena dle třídy čistoty řešeného prostoru
- nejvyšší přípustná maximální hladina vnitřního hluku  $L_{Amaxp} = 35 - 55$  dB(A) dle druhu provozu a účelu jednotlivých místností

Přípustné hodnoty hladiny hluku v interiéru pro vybrané obsluhované místnosti jsou navrženy:

nemocniční pokoje	den max. 40 dB/A, noc max. 25 dB/A
ostatní	dle druhu provozu max.45 - 55 dB/A
hladina akustického tlaku v exteriéru	max.ve dne 45 a 35 v noci dB/A

#### Dva stupně filtrace pro oddělení s lůžkovými pokoji:

- 1.stupeň - v jednotce třída ISO Coarse 80 % (M5)
- 2.stupeň - v jednotce třída ISO ePM 1 85 % (F9)

### ENERGETICKÉ ZDROJE

Elektrická energie, Tepelná energie

Pro ohřev vzduchu ve výměnících vzduchotechnických a klimatizačních jednotek bude sloužit topná voda s nejnižším garantovaným rozsahem pracovních teplot  $t_{w1}/t_{w2} = 70/50$  °C. Pro chlazení vzduchu ve výměnících klimatizačních jednotek je použita voda s rozsahem pracovních teplot  $t_{w1}/t_{w2} = 7/15$  °C centrálně připravovaná ve zdroji chladu, který není předmětem řešení této PD.

Elektrická energie je uvažována pro pohon elektromotorů vzduchotechnických a klimatických zařízení, kompresorů a zdrojů chladu a pro systémy automatické regulace.

- rozvodná soustava 3 + PEN, 50 Hz, 400V/230V
- ochrana před dotykem napětím základní – samočinným odpojením od zdroje, doplňková pospojování

### POPIS TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ

Návrh klimatizace a větrání uvažovaných prostor vychází ze stavební dispozice a požadavků na komfort prostředí daných jak hygienickými požadavky, tak požadavky uživatele.

Větrání a klimatizaci prostorů v 8.NP budou zajišťovat dvě jednotky umístěné na střeše v nově zřízené strojovně VZT, stejně jako i zdroj chladu pro výrobu chladicího média – studené vody, který ale není předmětem této práce. Jednotky jsou vybaveny dvěma stupni filtrace. Sání čerstvého vzduchu a výfuk znehodnoceného vzduchu jsou dispozičně situovány tak, aby nedocházelo ke zpětnému nasávání vyfukovaného znehodnocovaného vzduchu.

Rozvod vzduchu je řešen nízkotlakým systémem a vzhledem k tomu, že se jedná o zařízení vysoce energeticky náročné je v jednotkách využito rekuperace vzduchu.

K vlhčení vzduchu je v jednotkách navrženo elektrické parní vlhčení, které bude zajišťovat požadovanou vlhkost v klimatizovaných prostorách a jejich zázemí. Horní hranice relativní vlhkosti nebude sledována. Návrh neuvažuje s odvlhčováním vzduchu.

Jak již bylo uvedeno třída čistoty a tlakové poměry, množství vzduchu a přesné teplotní, vlhkostní a hlukové parametry vzduchu v jednotlivých místnostech jsou součástí tabulky místností.

Řešený objekt je rozdělen do následujících funkčních celků, které jsou obsluhovány těmito zařízeními:

### **Strojovna VZT:**

V objektu bude nově zřízena na střeše nová strojovna vzduchotechniky. Jednotky budou do strojovny dodány v rozebraném stavu, po jednotlivých sekcích zvedacím zařízením. Montáž bude probíhat za spoluúčasti dodavatele jednotek, případně jim určené firmy.

### **Použité systémy vzduchotechniky:**

1. Nízkotlaké větrací zařízení s centrální jednotkou zajišťující dvoustupňovou filtraci vzduchu, jeho tepelnou úpravu rekuperací v deskovém výměníku, ohřevem, chlazením a vlhčením.

Nastavení teploty přírodního vzduchu bude prováděno centrální MaR

V zimním období  $t_i = +22\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_{p,max} = +25.5\text{ }^\circ\text{C}$  a v letním období  $t_i = +24/25\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_{p,min} = +20,5\text{ }^\circ\text{C}$ .

2. Místní klimatizační zařízení – která nejsou předmětem této práce

Pro eliminaci tepelných zisků a ztrát v prostoru budou navržena zařízení k tomu určená.

#### **• Zařízení č. 1 – Větrání a klimatizace – severozápadní fasáda**

Klimatizační zařízení je navrženo pro jihovýchodní fasádu prostor 8.NP. Zařízení bude pracovat jako centrální soustava pracující se 100 % čerstvým vzduchem s nuceným odvodem vzduchu s komplexní úpravou vzduchu filtrací, ohřevem, chlazením a s rekuperací tepla v křížovém deskovém výměníku.

Zařízení na straně přívodu vzduchu je vybaveno filtrací vzduchu ISO Coarse 80 % (M5), deskovým rekuperačním výměníkem s bypassem, ventilátorem s AC motorem s frekvenčním měničem a sekcemi ohřevu, vlhčení a chlazení vzduchu s druhým stupněm filtrace ISO ePM 1 85 % (F9). Na odvodu vzduchu je zařízení vybaveno filtrem vzduchu ISO Coarse 80 % (M5), AC ventilátorem s frekvenčním měničem a rekuperátorem. Jednotka bude osazena ve strojovně VZT na střeše a je vybavena nosným rámem a nožičkami.

Provoz zařízení bude nepřetržitý, trvalý.

Sání čerstvého vzduchu je navrženo z fasády strojovny ze severozápadní strany objektu, přes protidešťovou žaluzii. Výfuk vzduchu je vyveden na fasádu strojovny.

Větev přívodu a větev odvodu vzduchu budou vedeny ze strojovny vzduchotechniky po střeše objektu do 8.NP. Dále je potrubí vedeno pod stropem v podhledu do klimatizovaných prostorů. Jako koncové elementy přívodu jsou v klimatizovaných prostorách navrženy přírodní anemostaty, talířový ventil a štěrbinová vyústka osazené v podhledu. Odvod vzduchu z lůžkových pokojů zajišťují odsávací vyústky, odvod z chodby zajišťuje štěrbinová vyústka a

z čisticí místnosti talířový ventil (všechny odvodní elementy jsou taktéž umístěné v úrovni pohledu).

Rozvody vzduchu jsou navrženy jako čtyřhranné z pozinkovaného potrubí v hygienickém provedení a požadované třídě těsnosti. Na větvi přívodu (jak na větví obsluhující pokoje, tak na větví obsluhující místnosti pro personál) a odvodu (jak na větví obsluhující pokoje, tak na větví obsluhující místnosti pro personál) bude osazen regulátor průtoku vzduchu. V případě větve obsluhující pokoje bude použit regulátor variabilního průtoku vzduchu (VAV) a na vedlejší větví obsluhující zázemí zaměstnanců, chodbu a sklady bude použit regulátor konstantního průtoku vzduchu (CAV).

Na potrubí jsou před a za jednotkou na všech větvích a za regulátory průtoku osazeny tlumiče hluku v hygienickém provedení.

### Technické parametry zařízení č. 1

Přívod/odvod vzduchu	2350/2800 m <sup>3</sup> /h
Příkon ventilátoru na přívodu	1,5 kW
Příkon ventilátoru na odvodu	1,37 kW
Příkon parního zvlhčovače	26,3 kW
Výkon ohříváče	7,3 kW
Výkon chladiče	10,0 kW

### • Zařízení č. 2 – Větrání a klimatizace – jihovýchodní fasáda

Klimatizační zařízení je navrženo pro jihovýchodní fasádu prostor 8.NP. Zařízení bude pracovat jako centrální soustava pracující se 100 % čerstvým vzduchem s nuceným odvodem vzduchu s komplexní úpravou vzduchu filtrací, ohřevem, chlazením a s rekuperací tepla v křížovém deskovém výměníku.

Zařízení na straně přívodu vzduchu je vybaveno filtrací vzduchu ISO Coarse 80 % (M5), deskovým rekuperačním výměníkem s bypassem, ventilátorem s AC motorem s frekvenčním měničem a sekcemi ohřevu, vlhčení a chlazení vzduchu s druhým stupněm filtrace ISO ePM 1 85 % (F9). Na odvodu vzduchu je zařízení vybaveno filtrem vzduchu ISO Coarse 80 % (M5), AC ventilátorem s frekvenčním měničem a rekuperátorem. Jednotka bude osazena ve strojovně VZT na střeše a je vybavena nosným rámem a nožičkami.

Provoz zařízení bude nepřetržitý, trvalý.

Sání čerstvého vzduchu je navrženo z fasády strojovny ze severozápadní strany objektu, přes protidešťovou žaluzii. Výfuk vzduchu je vyveden na fasádu strojovny.

Větev přívodu a větev odvodu vzduchu budou vedeny ze strojovny vzduchotechniky po střeše objektu do 8.NP. Dále je potrubí vedeno pod stropem v pohledu do klimatizovaných prostorů. Jako koncové elementy přívodu jsou v klimatizovaných prostorách navrženy přívodní anemostaty, talířový ventil. Odvod vzduchu z lůžkových pokojů zajišťují odsávací výústky a

odvod z hygienického zázemí a předsíně talířové ventily (všechny odvodní elementy jsou taktéž umístěné v úrovni podhledu).

Rozvody vzduchu jsou navrženy jako čtyřhranné z pozinkovaného potrubí v hygienickém provedení a požadované třídě těsnosti. Na větví přívodu (jak na větví obsluhující pokoje, tak na větví obsluhující místnosti pro personál) a odvodu (jak na větví obsluhující pokoje, tak na větví obsluhující místnosti pro personál) bude osazen regulátor průtoku vzduchu. V případě větve obsluhující pokoje bude použit regulátor variabilního průtoku vzduchu (VAV) a na vedlejší větví obsluhující zázemí zaměstnanců, hygienické zázemí a předsíň bude osazen regulátor konstantního průtoku vzduchu (CAV).

Na potrubí jsou před a za jednotkou na všech větvích a za regulátory průtoku osazeny tlumiče hluku v hygienickém provedení.

### Technické parametry zařízení č. 2

Přívod/odvod vzduchu	2000/1550 m <sup>3</sup> /h
Příkon ventilátoru na přívodu	1,26 kW
Příkon ventilátoru na odvodu	0,67 kW
Příkon parního zvlhčovače	18,8 kW
Výkon ohříváče	8,3 kW
Výkon chladiče	8,2 kW

## NÁROKY NA ENERGIE

K zajištění chodu větrání a klimatizačních zařízení je třeba zabezpečit následující energie:

Topná voda 70/50 °C

Chlad. Voda 7/15 °C

Elektrická energie 3x 400 V/230 V-50 Hz

## MĚŘENÍ A REGULACE, PROTIMRAZOVÁ OCHRANA

Navržené vzduchotechnické a klimatizační jednotky budou řízeny a regulovány vlastním systémem MaR. Tato zařízení budou monitorována profesí MaR a ta zajistí:

- Ovládání chodu ventilátorů
- Deblokační skříně na klimatizačních jednotkách
- Regulace teploty vzduchu řízením výkonu teplovodního ohříváče v zimním období
- Regulace teploty vzduchu řízením výkonu vodních chladiče v letním období
- Řízení účinnosti deskového výměníku nastavováním obtokové klapky
- Ovládání uzavíracích klapek na jednotce včetně dodání servopohonů
- Přestavení všech regulátorů průtoku na základě denní doby
- Protimrazová ochrana teplovodního výměníku

- Při poklesnutí teploty:
1. vypnutí ventilátoru
  2. uzavření klapek
  3. otevření třícestného ventilu
  4. spuštění čerpadla

- Signalizace bezporuchového chodu ventilátorů pomocí diferenčního snímače tlaku
- Signalizace zanesení filtrů
- Poruchová signalizace

## NÁROKY NA SOUVISEJÍCÍ PROFESE

### STAVEBNÍ ÚPRAVY

- otvory pro prostupy vzduchovodů včetně zapravení a odklizení sutě
- obložení a dotěsnění prostupů VZT potrubí izolačními protiotřesovými hmotami v rámci zapravení
- dotěsnění a oplechování prostupů stěnovými konstrukcemi
- zajištění případných nátěrů VZT prvků umístěných na fasádě střeše objektu (architektonické ztvárnění)
- stavební, výpomocné práce
- zřízení revizních otvorů pro přístup k ventilátorům, regulačním a požárním klapkám v nerozebíratelných částech pohledu

### SILNOPROUD

- silové napojení a spouštění zařízení dle tabulek výkonů
- tepelná ochrana napájených zařízení dle tabulek výkonů
- napojení rozvaděče MaR

### VYTÁPĚNÍ

- Připojení VZT jednotek k topnému a chladicímu médiu včetně uzlů a příslušných armatur

### ZTI

- odvod kondenzátu od výměníků jednotek (chladič, deskový rekuperátor a eliminátor kapek) a vnitřních výparníků (tvořeno přes zápachovou uzávěrku)
- osazení podlahových vpustí ve strojvnách VZT
- přívod vody k zvlhčovačům

### MATERIÁL POTRUBÍ

Potrubí bude provedeno z pozinkovaného plechu v požadovaných tloušťkách k profilu potrubí a v požadované třídě těsnosti. Přírubové spoje budou těsněny. Kruhové spiro potrubí bude spojováno bezpřírubově (pomocí vsuvek a nátrubků) – nasunutím, snýtováním a utěsněním sil. tmelem nebo přelepením páskou.

## PROTIHLUKOVÁ A PROTIOTŘESOVÁ OPATŘENÍ

Na výstupech z jednotky jsou osazeny tlumiče hluku v hygienickém provedení. Dále jsou tlumiče osazeny za regulátory průtoku. Všechny prostupy stěnou a stropem budou obloženy pryžovou výplní a dotěsněny. Mezi potrubí a závěsy bude vložena pružná podložka.

Jednotky budou osazeny na pryžových pásech a blocích. Napojení vzduchovodů k zařízení je provedeno přes pružné vložky za účelem zamezení přenosu chvění.

Noční doba je mezi 22:00 a 6:00. V této době, případně v čase požadovaném dle provozu oddělení budou VZT zařízení provozována v útlumovém režimu, snížení vzduchového výkonu je předpokládáno na cca 70 % z plného denního chodu. Vzduchovody budou protihlukově izolovány od zdroje hluku za jednotlivé tlumiče jak na sání, tak na výtlačku.

## IZOLACE A NÁTĚRY

Přívodní a odvodní potrubí ve strojovně VZT (zař.1 a 2) bude opatřeno izolací z čedičové nebo minerální vlny tl. 60 mm a povrchovou úpravou AL.

Potrubí přívodu a odvodu zař. 1 a 2 vedené po střeše bude opatřeno požární izolací (izolace bude sloužit také jako tepelná, min tloušťka 60 mm) z čedičové nebo minerální vlny příslušné odolnosti s povrchovou úpravou oplechováním.

Tepelná izolace - šířka izolace 40mm	souč. tepelné vodivosti 0,04W/m <sup>2</sup> K
Požární izolace - šířka izolace 60mm	požární odolnost min 45 minut

V případě použití jiného druhu izolací je nutné se řídit uvedenými parametry. Všechny protidešťové žaluzie budou tvořeny z pozinkovaného plechu – možnost nátěru – architektonické řešení dodávka stavby.

## PROTIPOŽÁRNÍ OPATŘENÍ

Do vzduchovodů procházejících stavební konstrukcí ohraničující určitý požární úsek budou vřazeny protipožární klapky, zabraňující v případě požáru v některém požárním úseku jeho šíření do dalších úseků nebo na celý objekt. Osazené požární klapky budou v provedení s ručním ovládáním a se signalizací polohy. Všechny otvory po osazení PK budou požárně dotěsněny. Ke klapkám budou zajištěny přístupy pro následné revize – nutná koordinace se stavební profesí v průběhu realizace výstavby. Potrubí vedené po střeše ze strojovny VZT bude požárně chráněno izolací s minimální tloušťkou 60 mm.

## **MONTÁŽ, PROVOZ, ÚDRŽBA A OBSLUHA ZAŘÍZENÍ**

### **MONTÁŽ**

Montáž je třeba provádět dle pokynů uvedených v podkladech výrobce a dodavatele zařízení

- realizační firma v rámci své dodávky provede rozpis VZT potrubí pro výrobní a montážní účely
- rozvody VZT budou instalovány před ostatními profesemi
- po skončení montážních prací tlakové poměry a množství na vyústkách vyregulovat dle popisu na výkrese.

Vzhledem k časové náročnosti procesu si vyhradit dostatečný časový prostor na zaregulování celého systému a zaregulování dokladovat výstupním protokolem dokladujícím správnost vyregulování celého systému. Zaregulování provádět postupně od jednotky ke koncovým elementům.

### **OBSLUHA A ÚDRŽBA**

Obsluhu a údržbu je nutné provádět dle podkladů výrobce a pokynů dodavatele. Je třeba provádět pravidelné revize zařízení. K pravidelnému servisu patří zejména kontrola a případná výměna filtračních vložek. Výměna je závislá na intenzitě a době větrání. Správná údržba VZT zařízení je dána dle podkladů výrobce. Pro pravidelnou údržbu musí být zaškolený stálý pracovník, který bude poučen jak teoreticky, tak prakticky.

### **ZÁVĚR**

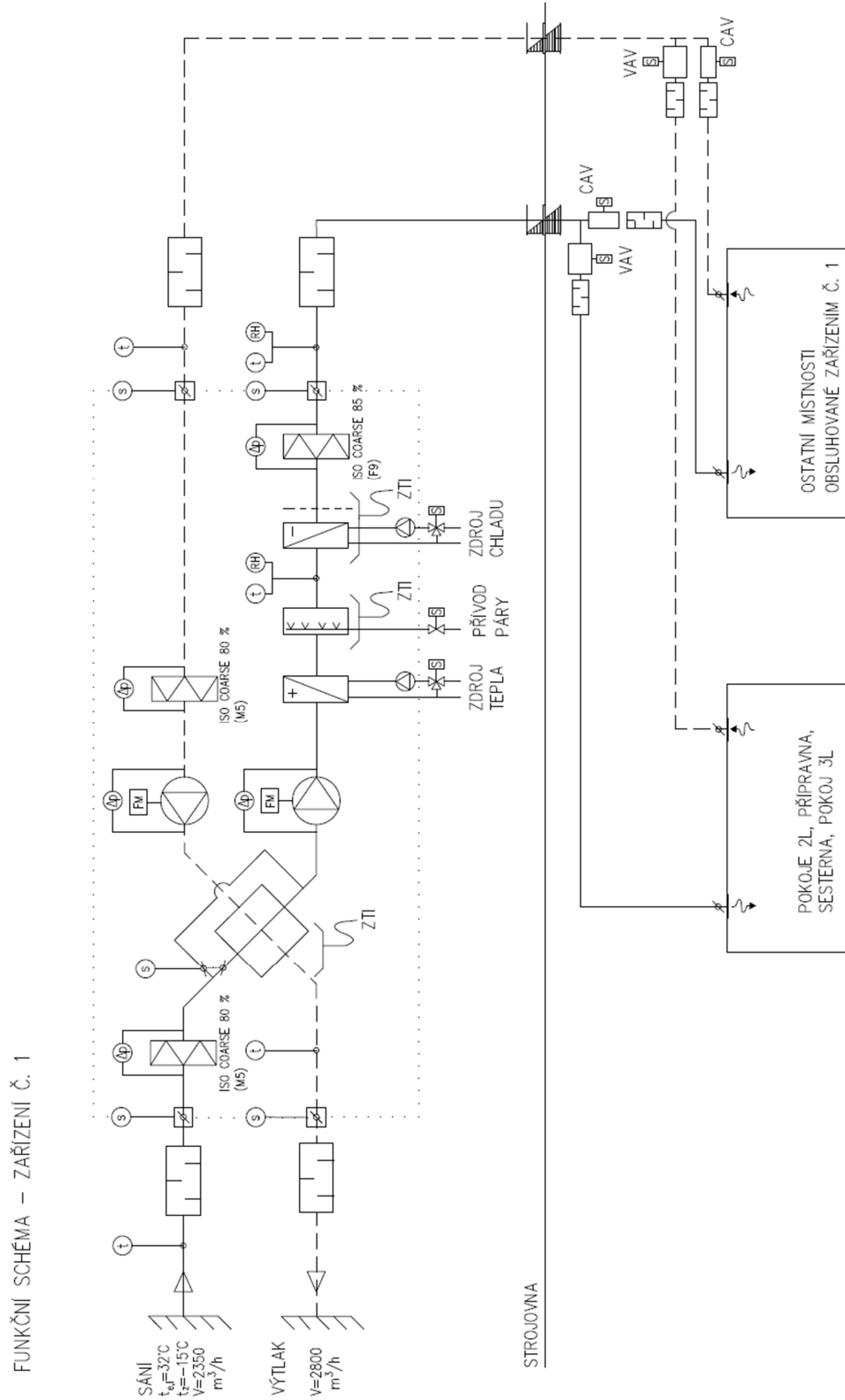
Navržené větrací a klimatizační zařízení splňuje nároky kladené na provoz daného typu a charakteru. V obsluhovaných prostorách zajistí pohodu prostředí požadovanou předpisy s ohledem na technické možnosti a požadavky. Před spuštěním VZT zařízení do provozu musí být systém zaregulován a odzkoušen na všechny provozní režimy.



## 12. PŘÍLOHY TECHNICKÉ ZPRÁVY

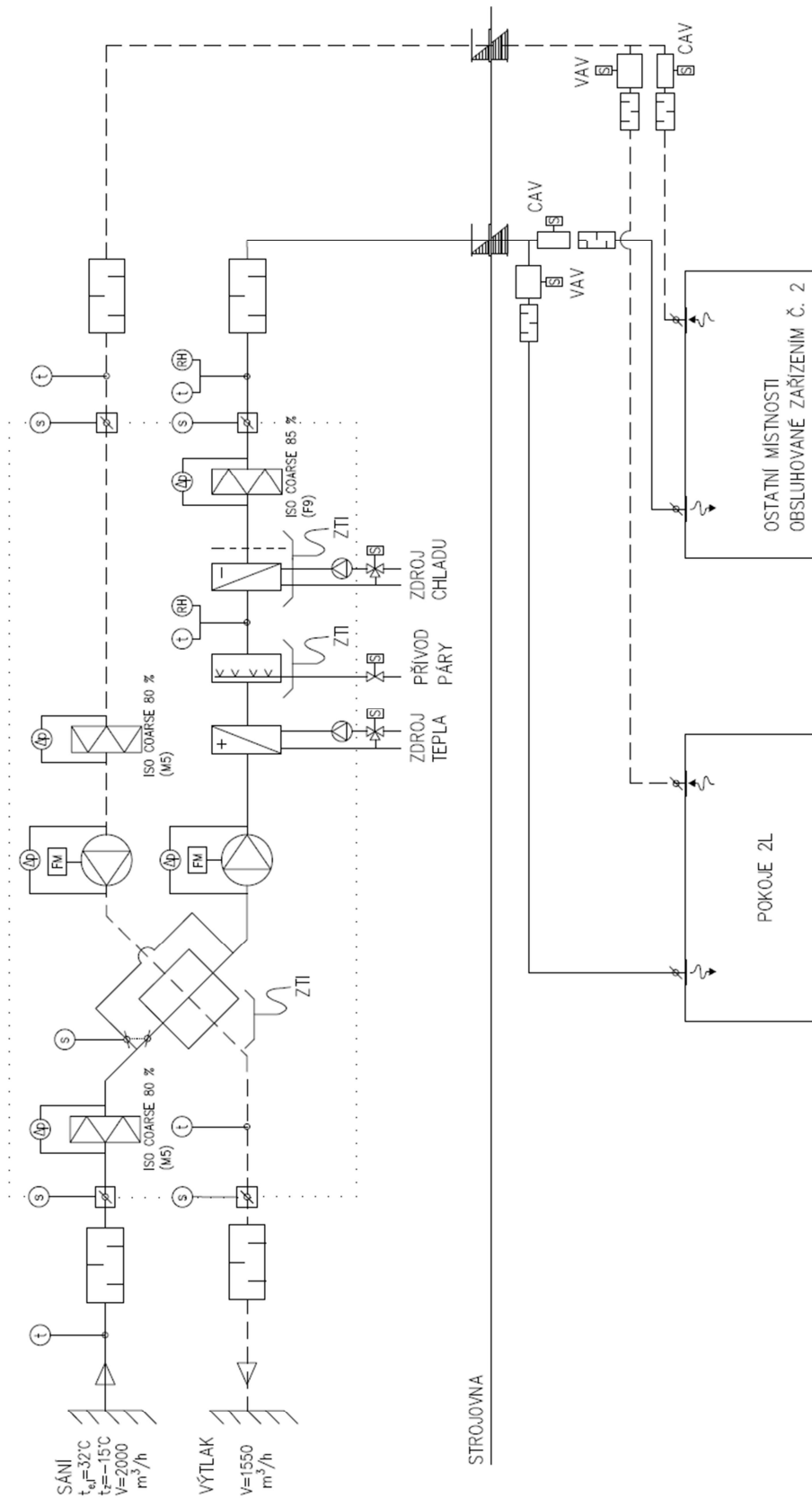
### IDEOVÁ SCHÉMATA

- SCHÉMATA MaR



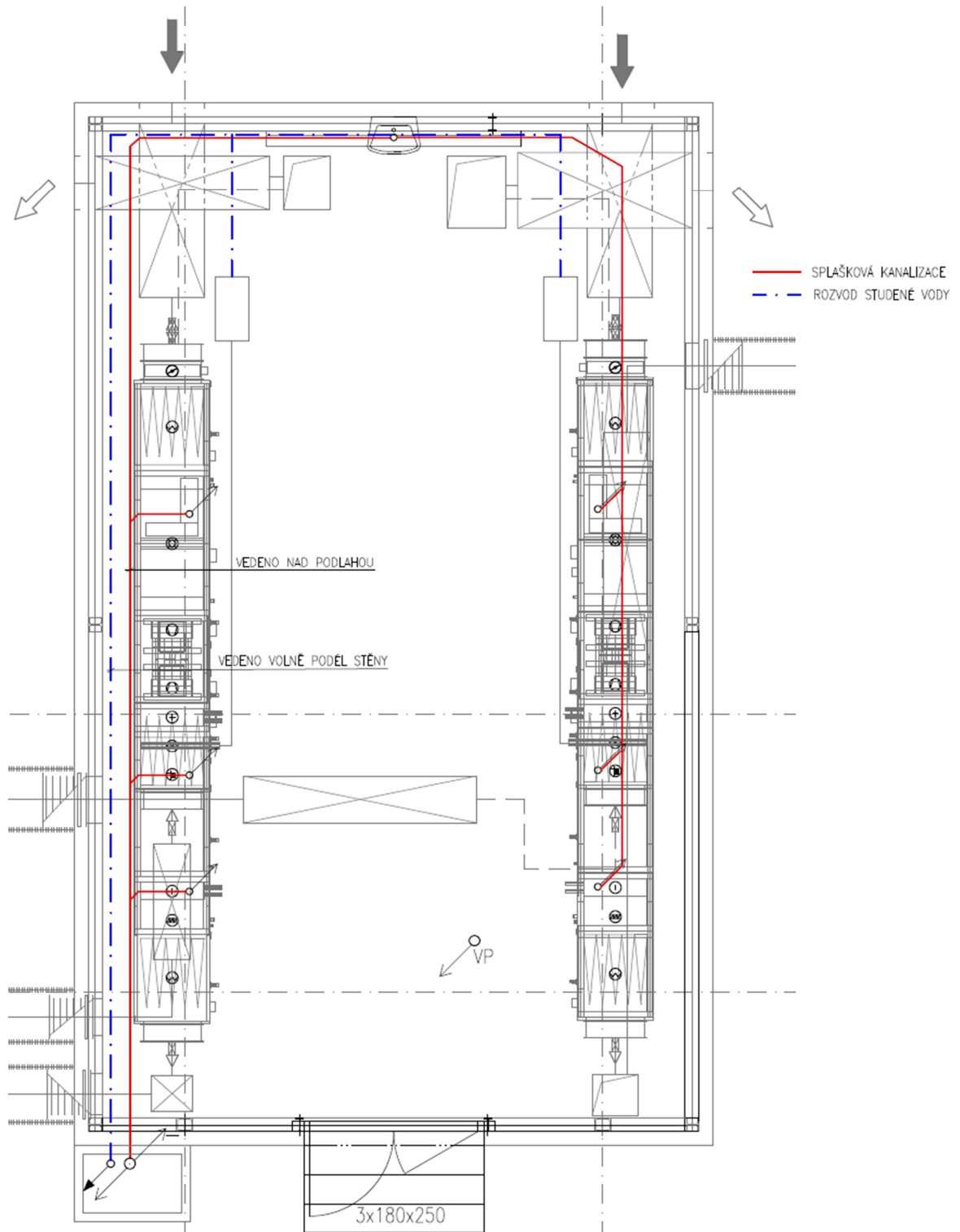
Obr. 12.1 Schéma MaR - zařízení č. 1

FUNKČNÍ SCHEMA – ZAŘÍZENÍ Č. 2



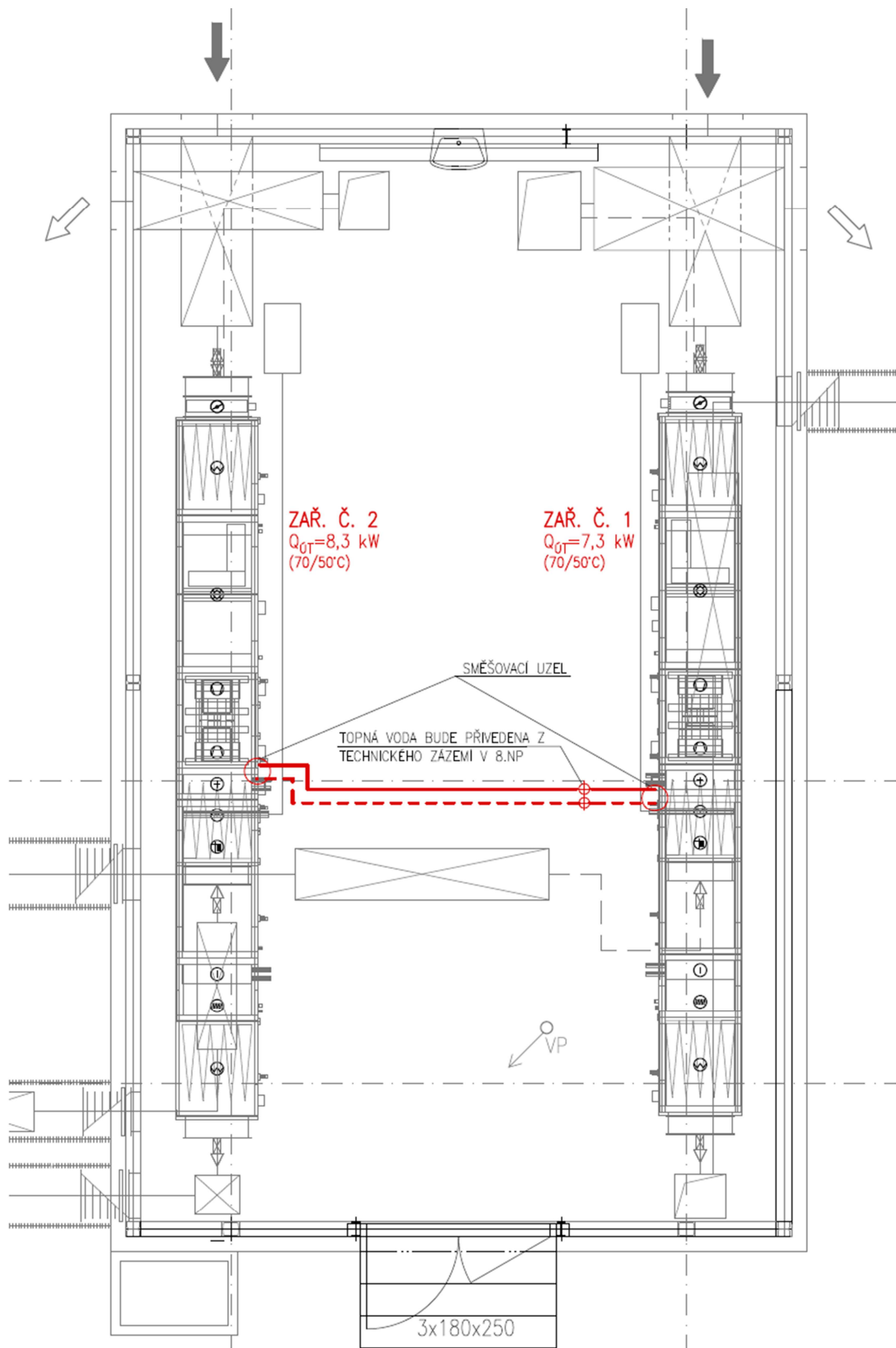
Obr. 12.2 Schéma MaR - zařízení č. 2

• SCHÉMA ZTI



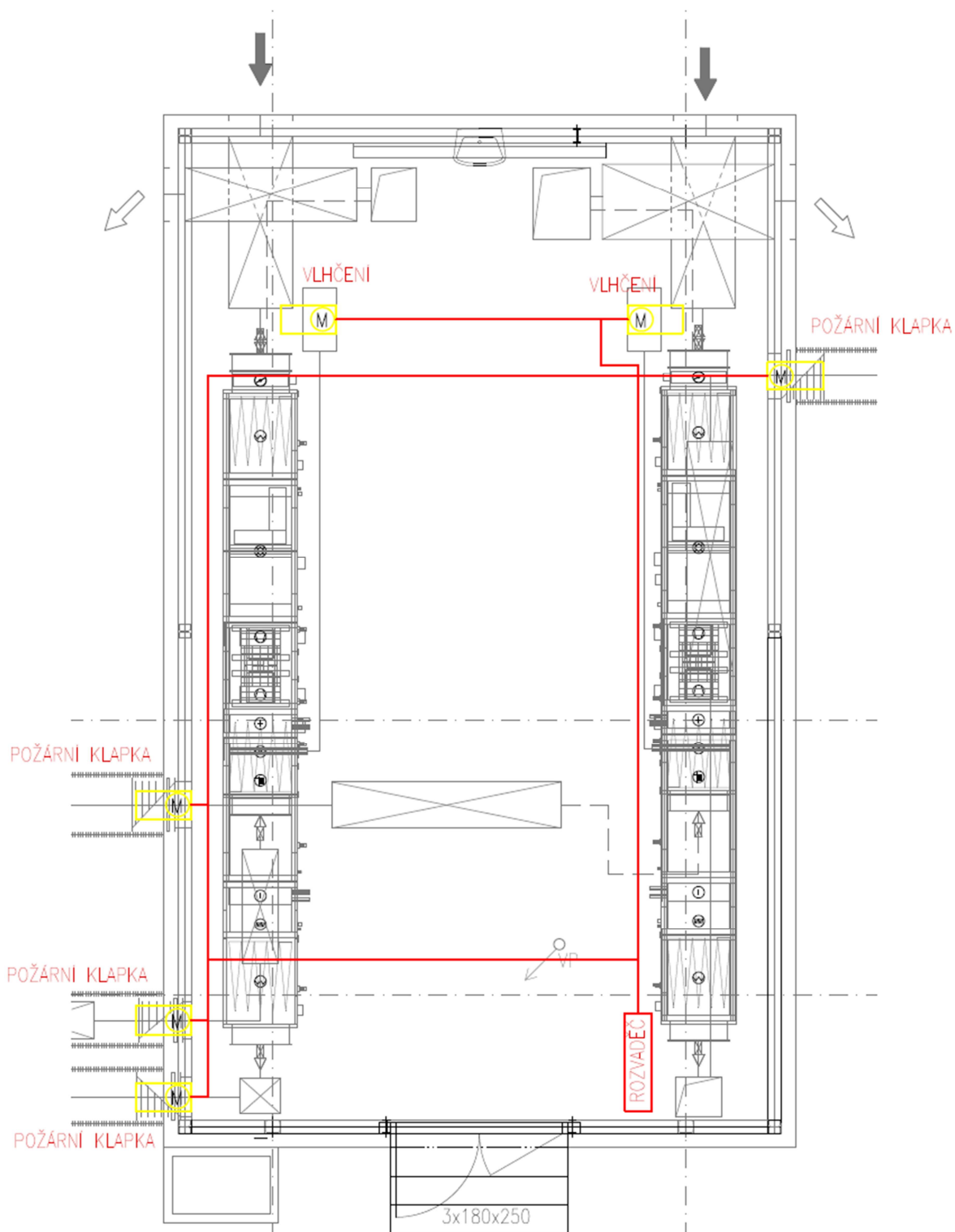
Obr. 12.3 Ideové schéma ZTI

• SCHÉMA ÚT



Obr. 12.4 Ideové schéma ÚT

• SCHÉMA SILNOPROUD



Obr. 12.5 Ideové schéma Silnoproud

**ZJEDNODUŠENÁ SPECIFIKACE**

č. zařízení	Název	přívod/ odvod	Měrná jednotka	Množství	č. zařízení	Název	přívod/ odvod	Měrná jednotka	Množství	
1	Vířivý anemostat 300x8	přívod		3	2	Vířivý anemostat 300x8	přívod		1	
		odvod		6			odvod		9	
	Vířivý anemostat 400x16	přívod		7			Vířivý anemostat 400x16	přívod		9
		odvod		4				odvod		1
	Štěrbínová výústka L=600	přívod		1			Talířový ventil $\phi$ 100	přívod		3
		odvod		1				odvod		1
	Talířový ventil $\phi$ 100	přívod		1			Regulátor variabilního průtoku vzduchu	přívod		1
		odvod		1			Regulátor konstantního průtoku vzduchu	odvod		1
	Talířový ventil $\phi$ 160	odvod		1			Regulátor konstantního průtoku vzduchu	přívod		1
	Regulátor variabilního průtoku vzduchu	přívod		1			Regulátor variabilního průtoku vzduchu	odvod		11
		odvod		1			Regulační klapka do kruhového potrubí	přívod		12
	Regulátor konstantního průtoku vzduchu	odvod		1				odvod		1
	Regulátor konstantního průtoku vzduchu	přívod		1			Požární klapka	přívod		1
		odvod		14				odvod		3
	Regulátor variabilního průtoku vzduchu	odvod		13			Kulisový tlumič hluku	přívod		4
	Regulační klapka do kruhového potrubí	přívod		2				odvod		1
		odvod		1			Kruhový tlumič hluku	přívod		1
	Regulační klapka do hranatého potrubí	přívod		1				odvod		1
		odvod		4			Protidešťová žaluzie	přívod		1
	Požární klapka	odvod		2				odvod		8
	Kulisový tlumič hluku	přívod		4			Ohebné potrubí SONOFLEX $\phi$ 100			20
	Kruhový tlumič hluku	přívod		2			Ohebné potrubí SONOFLEX $\phi$ 160			18
	Kulisový tlumič hluku	odvod		4			Ohebné potrubí SONOFLEX $\phi$ 200			
	Protidešťová žaluzie	přívod		1						
		odvod		1						
	Ohebné potrubí SONOFLEX $\phi$ 100			4						
Ohebné potrubí SONOFLEX $\phi$ 160			24							
Ohebné potrubí SONOFLEX $\phi$ 200			26							

Tab. 12.1 Zjednodušená specifikace

**ZÁVĚR**

Výstupem této části je návrh dvou vzduchotechnických zařízení včetně navržení regulátorů průtoku vzduchu pro nemocniční oddělení s lůžkovými pokoji a s zázemím zaměstnanců. Tento návrh je proveden ve stupni projektové dokumentace pro stavební povolení doplněn o výkresovou část v měřítku M 1:100.



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

# ČÁST C – EXPERIMENTÁLNÍ ŘEŠENÍ A ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Kateřina Zaoralová

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ RUBINA, Ph.D.

BRNO 2020

## ÚVOD DO EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI

### VERIFIKACE REGULÁTORU OPTIMA S OD VÝROBCE SYSTEMAIR

Cílem experimentálního měření realizovaného ve dvou budovách, a to ve Fakultní nemocnici Olomouc a ve Smart Innovation centru v Ostravě bylo zjistit, zda naměřené hodnoty odvíjející se od nastavených hodnot odpovídají hodnotám udaným výrobcem, popřípadě spadají do určených mezí nepřesností.

### 13. VERIFIKACE REGULÁTORU OPTIMA S-600x300-BLC1 OD VÝROBCE SYSTEMAIR

Toto měření bylo realizované ve Fakultní nemocnici Olomouc. Vzhledem k podmínkám nebylo možné provést měření v optimální vzdálenosti od místa způsobující nerovnoměrnosti průtoku, což byl pro tenhle případ zvlhčovač vzduchu, a proto je přítomná velká nepřesnost v měřící rovině nacházející se blíže ke zvlhčovači.

#### 13.1 PODKLADY OD VÝROBCE REGULÁTORU PRŮTOKU

- potřebná délka rovného úseku (za obloukem, rozbočkou nebo změnou průřezu) před regulátorem udaná výrobcem je  $L \geq 3 \cdot D_{eff}$ , kde  $D_{eff} = \frac{2 \cdot W \cdot H}{W + H}$  (skutečná délka je 0,4 m)
- správná funkce tohoto typu regulátoru je zajištěna od rychlosti 2 m/s a rozdílu tlaku na listech regulátoru v rozmezí 5-1000 Pa

#### 13.2 PŘÍSTROJOVÁ TECHNIKA

- KIMO AMI 300 – pracovní rozsah použitého nástavce – do 30 m/s s nepřesností měření  $\pm 3 \%$
- BELIMO ZTH EU

#### 13.3 POSTUP MĚŘENÍ

Do stávajícího přívodního potrubí o rozměrech 700x300 bylo navrtáno šest otvorů – vzdálenost jednotlivých otvorů viz schéma. V každém otvoru bylo pomocí přístroje *KIMO* naměřeno 7 hodnot, respektive 7 rychlostí, v určených bodech postupně od zadní stěny potrubí až k bližší stěně potrubí. Pomocí přístroje *BELIMO ZTH EU* se upravil nastavený průtok na regulátoru průtoku vzduchu a podle něj se listy klapky regulátoru přivíraly nebo otevíraly. Pro jeden přednastavený průtok bylo naměřeno přístrojem *KIMO AMI 301* 42 rychlostí, následně byl spočítán průtok a ten byl porovnán s údaji od výrobce. Maximální rychlost proudění vzduchu regulátorem je 13 m/s od čehož se odvíjí hodnota průtoku vzduchu  $V_{norm}$ . Pro posuzovaný typ regulátoru je hodnota  $V_{norm}=8124 \text{ m}^3/\text{h}$ . Od této hodnoty se odvíjí procentuální nepřesnosti regulátoru.



Nepřesnosti regulátoru udané výrobcem:

Pro množství vzduchu 40%-100% z  $V_{norm}$  je  $< \pm 4\%$

Pro množství vzduchu 20%-40% z  $V_{norm}$  je  $< \pm 10\%$

Pro množství vzduchu 10%-20% z  $V_{norm}$  je  $< \pm 25\%$

Vztah pro výpočet objemového průtoku:

$$V = v \cdot S$$

V objemový průtok vzduchu [ $m^3/h$ ]

v naměřená rychlost proudění vzduchu [ $m/h$ ]

S průřez potrubí [ $m^2$ ]

### 13.4 ROZMÍSTĚNÍ BODŮ V ČTYŘHRANNÉM POTRUBÍ

- zvolený počet bodů v jedné rovině měření = 21

$$\frac{y_i}{A} = \frac{2 \cdot i - 1}{2n}, \quad \frac{x_i}{A} = \frac{2 \cdot i - 1}{2n}$$

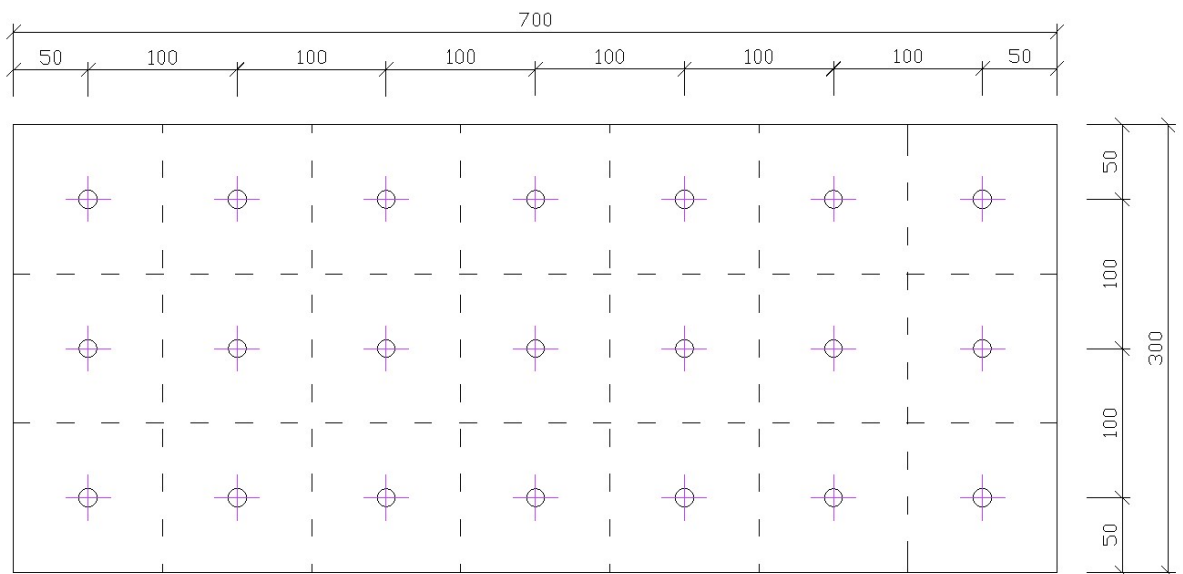
Vzdálenost krajního bodu od stěny potrubí:

$$\frac{y_i}{300} = \frac{2 \cdot 1 - 1}{2 \cdot 3} = 50 \text{ mm}$$

$$\frac{x_i}{700} = \frac{2 \cdot 1 - 1}{2 \cdot 7} = 50 \text{ mm}$$

#### 13.4.1 SÍŤ MĚŘENÍ

– základní metoda rozdělení na dílčí průřezy dle ČSN EN 12599:



Obr. 13.1 Síť měření - Olomouc

### 13.4.2 POŽADOVANÝ POČET MĚŘICÍCH BODŮ

- dle ČSN EN 12599:

Minimální počet měřicích bodů s ohledem na nejistotu měření 10 % a 15 % včetně nejistoty měřicího přístroje 5 % nebo 10 %

U obvod potrubí [m]

A průřez potrubí [m]

a vzdálenost mezi měřicími body a místem nerovnoměrnosti proudění

$$D_h = 4 \cdot \frac{A_s}{U}$$

$$A \cdot B = 0,7 \times 0,3 \text{ m} \rightarrow A_s = A \cdot B = 0,7 \cdot 0,3 = 0,21 \text{ m}^2$$

$$a_1 = 0,4 \text{ m}; a_2 = 0,95 \text{ m}$$

$$U = 2 \cdot (A + B) = 2 \cdot (0,7 + 0,3) = 2 \text{ m}$$

$$D_h = 4 \cdot \frac{A_s}{U} = 4 \cdot \frac{0,21}{2} = 0,42$$

$$\frac{a_1}{D_h} = \frac{0,4}{0,42} = 0,952$$

$$\frac{a_2}{D_h} = \frac{0,95}{0,42} = 2,262$$

Požadovaný počet měřicích bodů			
Relativní vzdálenost	Celková nejistota v % / nejistota měřicího zařízení v %		
	"10/5"	"15/5"	"15/10"
a/D <sub>h</sub>			
1,6	-	30	44
2,0	50	21	30
2,5	34	16	24
3,0	25	12	18
4,0	16	8	12
5,0	12	6	9
6,0	9	4	6

Tab. 13.1 Požadovaný počet měřicích bodů

Požadovaný počet vzdálenějších bodů pro 15 % nejistotu měření vyplývajících z tabulky je 16. Bližší body měření jsou příliš blízko zvlhčovači vzduchu, z toho vyplývá že jsou jejich výsledky zatíženy větší chybou měření, než je 15 %.

### 13.4.3 VÝPOČET POTŘEBNÉ DÉLKY ROVNÉHO ÚSEKU:

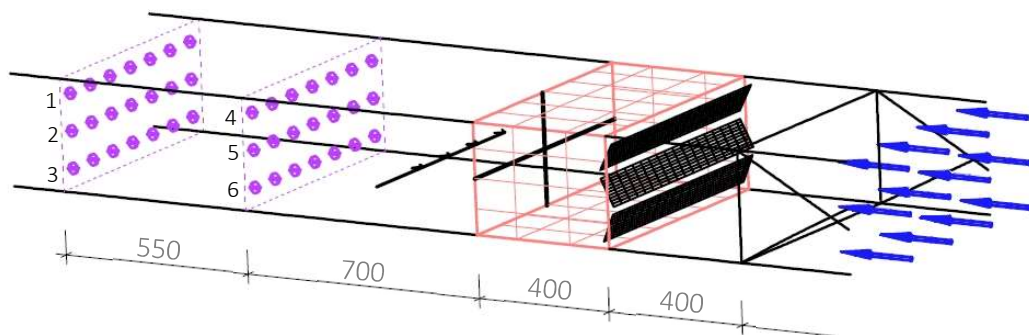
$$L \geq 3 \cdot D_{eff}$$

$$D_{eff} = \frac{2 \cdot W \cdot H}{W + H} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot 0,3}{0,6 + 0,3} = 0,4 \text{ m}$$

$$L \geq 3 \cdot 0,4$$

$$\geq 1,2 \text{ m.}$$

### 13.4.4 SCHÉMA S VYZNAČENÝMI MĚŘICÍMI BODY



Obr. 13.2 Schéma měření s vyznačenými měřicími body

### 13.5 FOTOGRAFIE Z MĚŘENÍ



Obr. 13.3 Použité přístroje



*Obr. 13.4 Měřená trasa VZT potrubí*



*Obr. 13.5 Otevřené listy regulátoru, tlumič hluku osazený před regulátorem*

## 13.6 MĚŘENÍ

### Měření č.1

Nastavený průtok na regulátoru vzduchu  $V=1300 \text{ m}^3/\text{h}$ , klapka otevřená na 20 %,  $\Delta p=19 \text{ Pa}$ .

Otvor	Rychlost [m/s]	Průměrný průtok pro otvor [m <sup>3</sup> /h]	Otvor	Rychlost [m/s]	Průměrný průtok pro otvor [m <sup>3</sup> /h]
<b>1</b>	2,59	1755,65	<b>4</b>	0,55	306,72
	2,32			0,00	
	2,42			0,00	
	2,32			0,57	
	2,37			1,04	
	2,23			0,00	
	2,01			0,68	
<b>2</b>	2,34	1590,84	<b>5</b>	0,85	2503,44
	2,49			1,42	
	1,23			3,44	
	2,36			3,48	
	2,21			3,80	
	1,94			5,06	
	2,16			5,13	
<b>3</b>	2,34	1456,92	<b>6</b>	0,45	1996,92
	2,16			0,91	
	2,25			1,25	
	1,77			1,95	
	1,48			2,11	
	1,40			5,38	
	2,09			6,44	

Tab. 13.2 Měření č. 1

Průměrný průtok bodů stanovený v rovině vzdálenější od regulátoru  $V_{1300,(1,2,3)}=1601,14 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Průměrný průtok bodů stanovený v rovině bližší k regulátoru  $V_{1300,(4,5,6)}=1602,36 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Měření č.2

Nastavený průtok na regulátoru vzduchu  $V=2000 \text{ m}^3/\text{h}$ , klapka otevřená na 26 %,  $\Delta p=24 \text{ Pa}$ .

Otvor	Rychlost [m/s]	Průměrný průtok pro otvor [m <sup>3</sup> /h]	Otvor	Rychlost [m/s]	Průměrný průtok pro otvor [m <sup>3</sup> /h]
<b>1</b>	3,46	2717,28	<b>4</b>	1,56	1537,92
	3,17			2,55	
	3,73			2,00	
	3,91			2,46	
	3,97			1,96	
	3,72			1,53	
	3,2			2,18	
<b>2</b>	2,88	2279,88	<b>5</b>	2,65	2832,84
	3,65			4,36	
	3,85			3,60	
	3,15			4,45	
	2,85			4,24	
	2,37			4,92	
	2,36			2,01	
<b>3</b>	3,29	1693,44	<b>6</b>	4,95	2971,08
	2,92			4,77	
	2,45			5,20	
	2,36			1,08	
	1,79			1,30	
	1,42			5,49	
	1,45			4,72	

Tab. 13.3 Měření č. 2

Průměrný průtok bodů stanovený v rovině vzdálenější od regulátoru  $V_{2000,(1,2,3)}=2230,20 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Průměrný průtok bodů stanovený v rovině bližší k regulátoru  $V_{2000,(4,5,6)}=2447,28 \text{ m}^3/\text{h}$ .

**Měření č.3**

Nastavený průtok na regulátoru vzduchu  $V=2700 \text{ m}^3/\text{h}$ , klapka otevřená na 32 %,  $\Delta p=26 \text{ Pa}$ .

Otvor	Rychlost [m/s]	Průměrný průtok pro otvor [m <sup>3</sup> /h]	Otvor	Rychlost [m/s]	Průměrný průtok pro otvor [m <sup>3</sup> /h]
<b>1</b>	4,76	3487,32	<b>4</b>	0,00	699,84
	4,6			1,05	
	4,76			0,85	
	4,78			1,47	
	4,31			1,80	
	4,7			1,31	
	4,38			0,00	
<b>2</b>	4,73	2598,48	<b>5</b>	2,49	4568,4
	4,29			2,65	
	3,89			4,66	
	3,52			4,74	
	3,68			8,45	
	3,95			9,68	
	4,01			9,63	
<b>3</b>	3,35	2835,00	<b>6</b>	1,94	3913,92
	3,28			2,02	
	3,11			3,32	
	3,13			3,99	
	4,06			4,02	
	4,89			10,35	
	4,43			10,60	

Tab. 13.4 Měření č. 3

Průměrný průtok bodů stanovený v rovině vzdálenější od regulátoru  $V_{2700,(1,2,3)}=2973,60 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Průměrný průtok bodů stanovený v rovině bližší k regulátoru  $V_{2700,(4,5,6)}=3060,72 \text{ m}^3/\text{h}$ .

**Měření č.4**

Nastavený průtok na regulátoru vzduchu  $V=3400 \text{ m}^3/\text{h}$ , klapka otevřená na 43 %,  $\Delta p=28 \text{ Pa}$ .

Otvor	Rychlost [m/s]	Průměrný průtok pro otvor [m <sup>3</sup> /h]	Otvor	Rychlost [m/s]	Průměrný průtok pro otvor [m <sup>3</sup> /h]
<b>1</b>	6,03	4201,2	<b>4</b>	1,66	1149,12
	5,58			1,49	
	5,09			0,83	
	5,06			1,57	
	5,52			1,46	
	5,77			1,17	
	5,85			2,46	
<b>2</b>	5,20	2787,48	<b>5</b>	1,20	4917,24
	4,53			1,57	
	3,04			1,45	
	4,01			4,83	
	4,83			11,64	
	4,20			11,71	
	4,87			13,13	
<b>3</b>	6,33	3735,72	<b>6</b>	10,66	7023,24
	4,45			3,68	
	4,66			4,12	
	3,78			5,79	
	4,63			8,92	
	4,94			18,19	
	5,80			13,67	

Tab. 13.5 Měření č. 4

Průměrný průtok bodů stanovený v rovině vzdálenější od regulátoru  $V_{3400,(1,2,3)}=3574,80 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Průměrný průtok bodů stanovený v rovině bližší k regulátoru  $V_{3400,(4,5,6)}=4363,20 \text{ m}^3/\text{h}$ .



Měření č.5

Nastavený průtok na regulátoru vzduchu  $V=4100 \text{ m}^3/\text{h}$ , klapka otevřená na 82 %,  $\Delta p=29 \text{ Pa}$ .

Otvor	Rychlost [m/s]	Průměrný průtok pro otvor [m <sup>3</sup> /h]	Otvor	Rychlost [m/s]	Průměrný průtok pro otvor [m <sup>3</sup> /h]
<b>1</b>	6,73	5276,88	<b>4</b>	6,44	5225,04
	6,76			5,98	
	6,98			7,06	
	6,98			7,23	
	7,07			7,26	
	7,46			7,69	
	6,88			6,72	
<b>2</b>	7,06	4247,64	<b>5</b>	5,98	5090,04
	7,37			5,27	
	6,63			6,98	
	5,39			7,25	
	6,66			7,56	
	6,22			7,73	
	5,49			6,36	
<b>3</b>	6,12	3299,4	<b>6</b>	5,33	4275,72
	4,73			5,02	
	4,32			4,17	
	3,85			4,77	
	3,52			5,91	
	3,97			7,24	
	4,04			7,15	

Tab. 13.6 Měření č. 5

Průměrný průtok bodů stanovený v rovině vzdálenější od regulátoru  $V_{4100,(1,2,3)}=4274,64 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Průměrný průtok bodů stanovený v rovině bližší k regulátoru  $V_{4100,(4,5,6)}=4863,60 \text{ m}^3/\text{h}$ .

### Skutečná nepřesnost měření:

- Celková nejistota:

$$\tau_t = \sqrt{(2 \cdot \tau_s)^2 + (\tau_u)^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot \tau_p\right)^2 + (\tau_G)^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot \tau_d\right)^2}$$

- Určení míry nerovnoměrnosti U rychlostního profilu při síťovém měření

$$U = \frac{v_{max} - v_{min}}{2 \cdot v}$$

v střední rychlost v celém průřezu [m/s]

$v_{min}, v_{max}$ ..... minimální a maximální hodnota průměrné rychlosti ve čtvrtině průřezu [m/s]

V případě pravoúhlého průřezu se maximální a minimální průměrné rychlosti vyberou ze čtvrtiny celkového průřezu, u kterého se délka strany rovná polovině délky strany vzduchovodu.

- Nejistota umístění měření  $\tau_u$  ze vztahu:

$$\tau_u = 2,314 \cdot U \cdot n^{-0,552} - 0,895 \cdot U \cdot n^{-0,698} + 13,725 \cdot n^{-0,778}$$

n počet měřicích bodů

- Nejistota nastavení tlaku v komoře  $\tau_p$ 
  - nejistota odečtená z obrázku E.5 normy ČSN EN 12599
- Nejistota způsobená měřicím zařízením  $\tau_G$ 
  - odečet z obrázku E.6 normy ČSN EN 12599
- Nejistota měřicího zařízení udaná výrobcem  $\tau_d$ 
  - odečet z obrázku E.6 normy ČSN EN 12599

## 13.7 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

- Porovnání naměřené chyby a chyby stanovené výrobcem regulátoru

Nastavený průtok [m <sup>3</sup> /h]	Dílčí interval $V_{norm}$		Nepřesnost udaná výrobcem [%]	Dovolený průtok s ohledem na nepřesnost pro zvolený průtok [m <sup>3</sup> /h]	Naměřený průtok [m <sup>3</sup> /h]	Naměřená nepřesnost (bez zohlednění chyby měření) [%]
	[%]	[m <sup>3</sup> /h]				
Měřicí body v rovině vzdálenější od regulátoru						
1300	10-20	812,4-1624,8	±25	975 - 1625	1601,14	23,16
2000	20-40	1624,8-3249,6	±10	1800 - 2200	2230,20	11,51
2700	20-40	1624,8-3249,6	±10	2430 - 2970	2973,60	10,13
3400	40-100	3249,6-8124	±4	3264 - 3536	3574,80	5,14
4100	40-100	3249,6-8124	±4	3936 - 4264	4274,64	4,26
Měřicí body v rovině bližší k regulátoru						
1300	10-20	812,4-1624,8	±25	975 - 1625	1602,36	23,26
2000	20-40	1624,8-3249,6	±10	1800 - 2200	2447,28	22,36
2700	20-40	1624,8-3249,6	±10	2430 - 2970	3060,72	13,36
3400	40-100	3249,6-8124	±4	3264 - 3536	4363,20	28,33
4100	40-100	3249,6-8124	±4	3936 - 4264	4863,6	18,62

Tab. 13.7 Porovnání naměřené chyby a chyby stanovené výrobcem

- Skutečná chyba měření

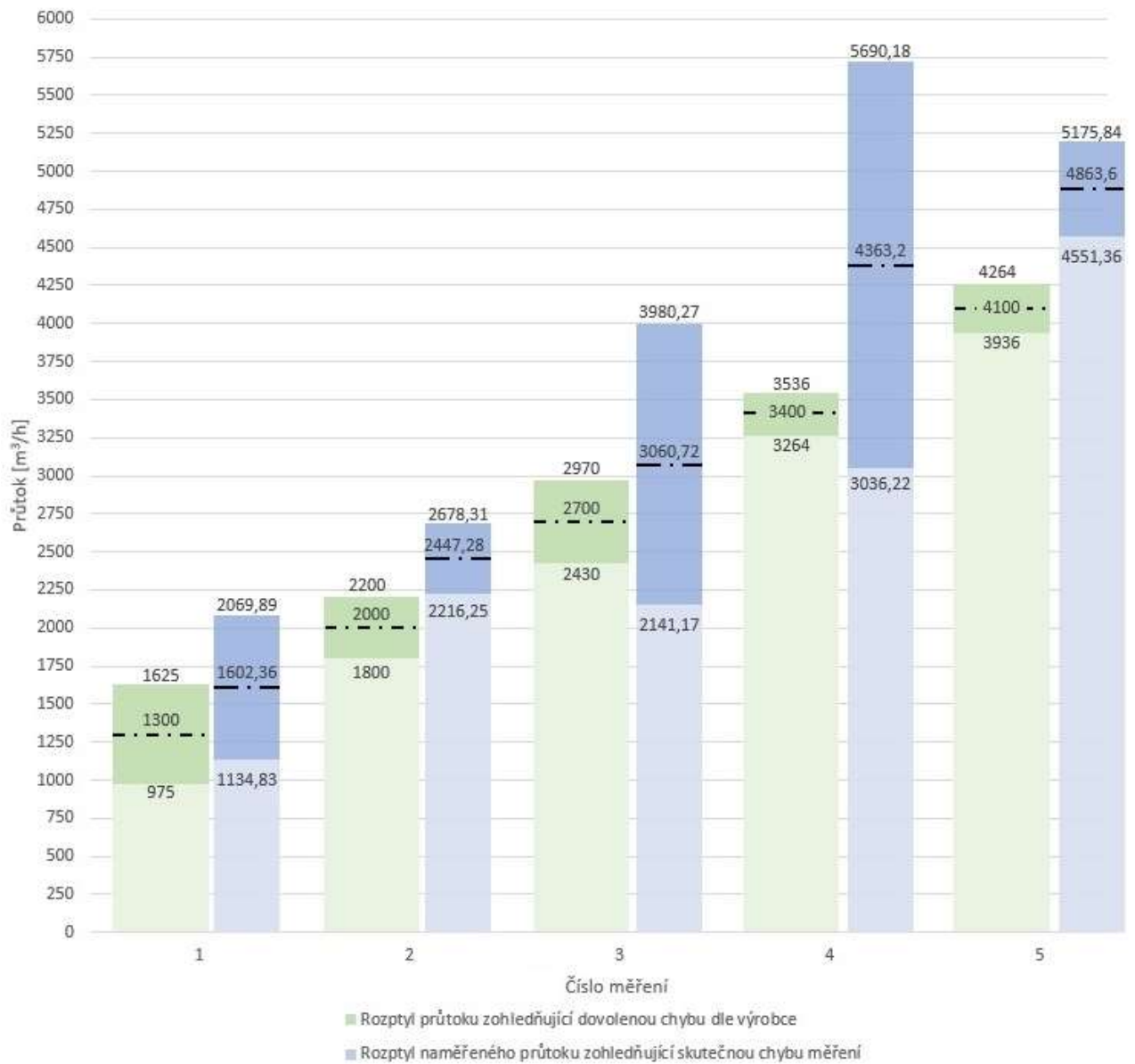
Číslo měření	Průtok [m <sup>3</sup> /h]	Počet měřicích bodů n	v [m/s]	v <sub>min</sub> [m/s]	v <sub>max</sub> [m/s]	U [%]	τ <sub>u</sub> [%]	τ <sub>p</sub> [%]	τ <sub>G</sub> [%]	τ <sub>d</sub> [%]	τ <sub>s</sub> [%]	τ <sub>t</sub> [%]
Měřicí body v rovině vzdálenější od regulátoru												
1	1300	21	2,12	1,67	2,41	17,35	6,91	1,00	3,00	3,00	1,00	7,81
2	2000	21	2,95	1,90	3,47	26,69	9,94	1,00	2,01	3,00	1,00	10,35
3	2700	21	4,12	3,82	4,45	7,58	3,74	1,00	1,50	3,00	1,00	4,53
4	3400	21	4,96	4,57	5,43	8,67	4,09	1,00	0,70	3,00	1,00	4,64
5	4100	21	5,92	6,10	7,07	1,56	1,79	1,00	0,45	3,00	1,00	3,15

Tab. 13.8 Skutečná chyba měření – rovina vzdálenější od regulátoru

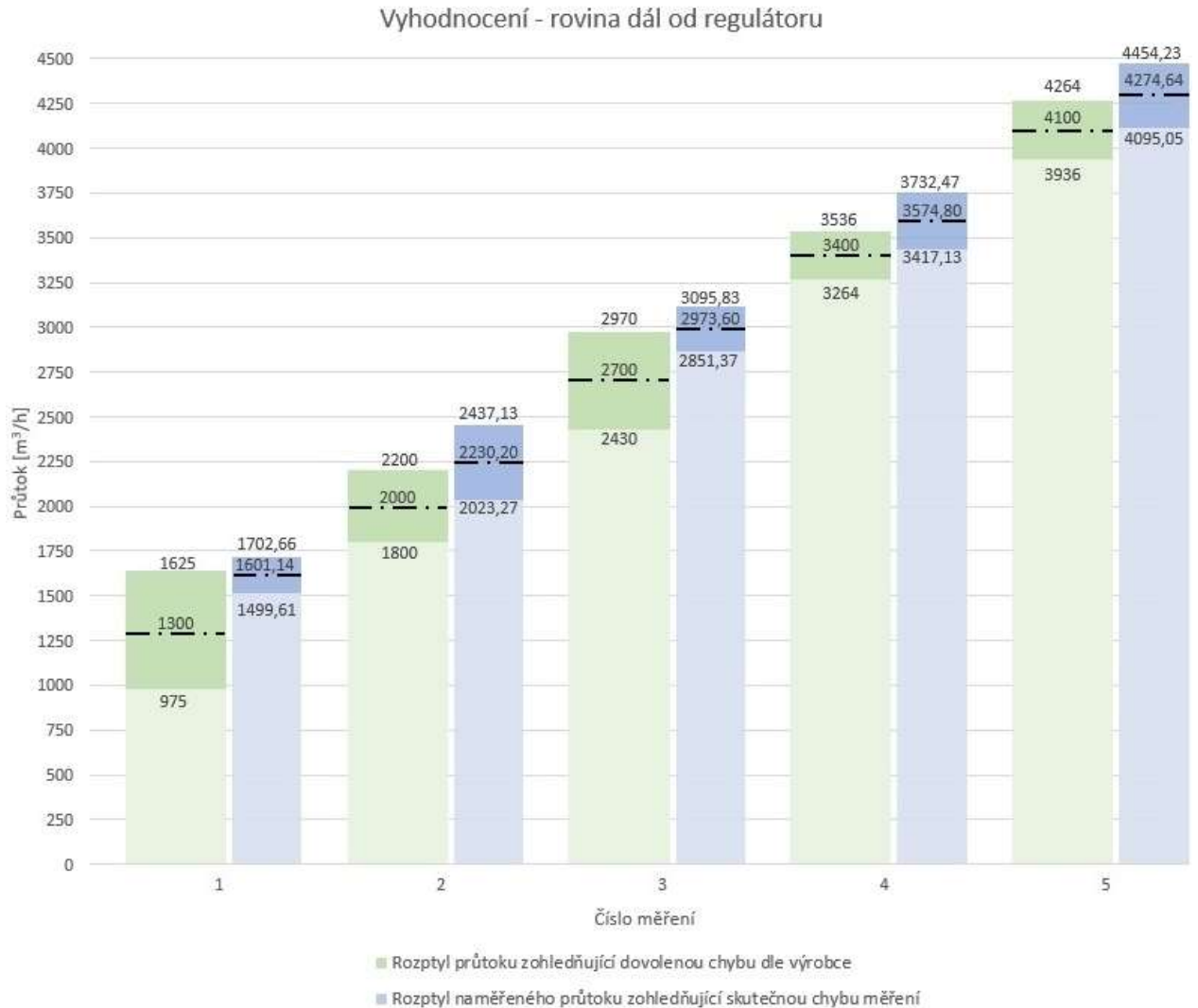
Číslo měření	Průtok [m <sup>3</sup> /h]	Počet měřicích bodů n	v [m/s]	v <sub>min</sub> [m/s]	v <sub>max</sub> [m/s]	U [%]	τ <sub>u</sub> [%]	τ <sub>p</sub> [%]	τ <sub>G</sub> [%]	τ <sub>d</sub> [%]	τ <sub>s</sub> [%]	τ <sub>t</sub> [%]
Měřicí body v rovině bližší k regulátoru												
1	1300	21	2,12	0,71	5,22	106,39	35,77	1,00	3,10	3,00	1,00	35,96
2	2000	21	3,24	3,23	5,21	30,58	11,20	1,00	1,95	3,00	1,00	11,55
3	2700	21	4,05	1,85	10,02	100,84	33,97	1,00	1,30	3,00	1,00	34,06
4	3400	21	5,77	1,53	14,95	116,26	38,97	1,00	0,60	3,00	1,00	39,03
5	4100	21	6,43	5,15	7,71	10,01	4,53	1,00	0,45	3,00	1,00	7,62

Tab. 13.9 Skutečná chyba měření – rovina bližší k regulátoru

Vyhodnocení - měřicí rovina blíž k regulátoru



Obr. 13.6 Grafické vyhodnocení - měřicí rovina blíž k regulátoru



Obr. 13.7 Grafické vyhodnocení - měřicí rovina dál od regulátoru

## ZÁVĚR

Skutečná délka rovného úseku před regulátorem je 0,4 m, což nespĺňuje požadavek výrobce. Rozdíl tlaku na listech klapky odpovídá požadavkům výrobku. V grafickém vyhodnocení roviny bližší k regulátoru si můžeme všimnout, že dovolený interval průtoku je velký kvůli skutečné chybě měření, která je ovlivněna nerovnoměrností proudění způsobeného zvlhčovačem vzduchu osazeným přímo za regulátorem průtoku vzduchu. I přes to, že některá měření neleží v intervalu pracovního rozsahu regulátoru (nižší rychlosti u měření v rovině bližší regulátoru), naměřené průtoky s ohlednutím na nepřesnosti udané výrobcem regulátorů, nepřesnosti měřicího přístroje a skutečné chyby měření odpovídají zadaným hodnotám průtoků.

## 14. VERIFIKACE REGULÁTORU OPTIMA S-300x200-BLC1 OD VÝROBCE SYSTEMAIR

Cílem experimentálního měření realizovaného ve Smart Innovation centru v Ostravě bylo zjistit, zda naměřené hodnoty odvíjející se od nastavených hodnot odpovídají hodnotám udaným výrobcem, popřípadě spadají do určených mezí nepřesností.

### 14.1 PODKLADY OD VÝROBCE REGULÁTORU PRŮTOKU

- potřebná délka rovného úseku (za obloukem, rozbočkou nebo změnou průřezu) před regulátorem udaná výrobcem je  $L \geq 3 \cdot D_{eff}$ , kde  $D_{eff} = \frac{2 \cdot W \cdot H}{W + H}$  (skutečná délka je 0,6 m)
- správná funkce tohoto typu regulátoru je zajištěna od rychlosti 2 m/s a rozdílu tlaku na listech regulátoru v rozmezí 5-1000 Pa

### 14.2 PŘÍSTROJOVÁ TECHNIKA

- KIMO AMI 300 – pracovní rozsah použitého anemometru – 0,6-40 m/s s nepřesností měření  $\pm 2\%$
- BELIMO ZTH EU

### 14.3 POSTUP MĚŘENÍ

Do stávajícího odvodního potrubí o rozměrech 355x225 byly navrtány 4 otvory a měření – vzdálenost jednotlivých otvorů viz schéma. V každém otvoru byly pomocí přístroje KIMO naměřeny 3 hodnoty, respektive 3 rychlosti, v určených bodech postupně od zadní stěny potrubí až k bližší stěně potrubí. Pomocí přístroje BELIMO ZTH EU se upravil nastavený průtok na regulátoru průtoku vzduchu, a podle něj se listy klapky regulátoru přivíraly nebo otevíraly. Pro jeden přednastavený průtok bylo naměřeno přístrojem KIMO AMI 12 rychlostí, následně byl spočítán průtok a ten byl porovnán s údaji od výrobce. Maximální rychlost proudění vzduchu regulátorem je 13 m/s od čehož se odvíjí hodnota průtoku vzduchu  $V_{norm}$ . Pro posuzovaný typ regulátoru je hodnota  $V_{norm}=2808 \text{ m}^3/\text{h}$ . Od této hodnoty se odvíjí procentuální nepřesnosti regulátoru.

Nepřesnosti regulátoru udané výrobcem:

Pro množství vzduchu 40%-100% z  $V_{norm}$  je  $< \pm 4\%$

Pro množství vzduchu 20%-40% z  $V_{norm}$  je  $< \pm 10\%$

Pro množství vzduchu 10%-20% z  $V_{norm}$  je  $< \pm 25\%$

Vztah pro výpočet objemového průtoku:

$$V = v \cdot S$$

V objemový průtok vzduchu [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

v naměřená rychlost proudění vzduchu [ $\text{m}/\text{h}$ ]

S průřez potrubí [ $\text{m}^2$ ]

## 14.4 ROZMÍSTĚNÍ BODŮ V ČTYŘHRANNÉM POTRUBÍ

- zvolený počet bodů = 12

$$\frac{y_i}{A} = \frac{2 \cdot i - 1}{2n}; \frac{x_i}{A} = \frac{2 \cdot i - 1}{2n}$$

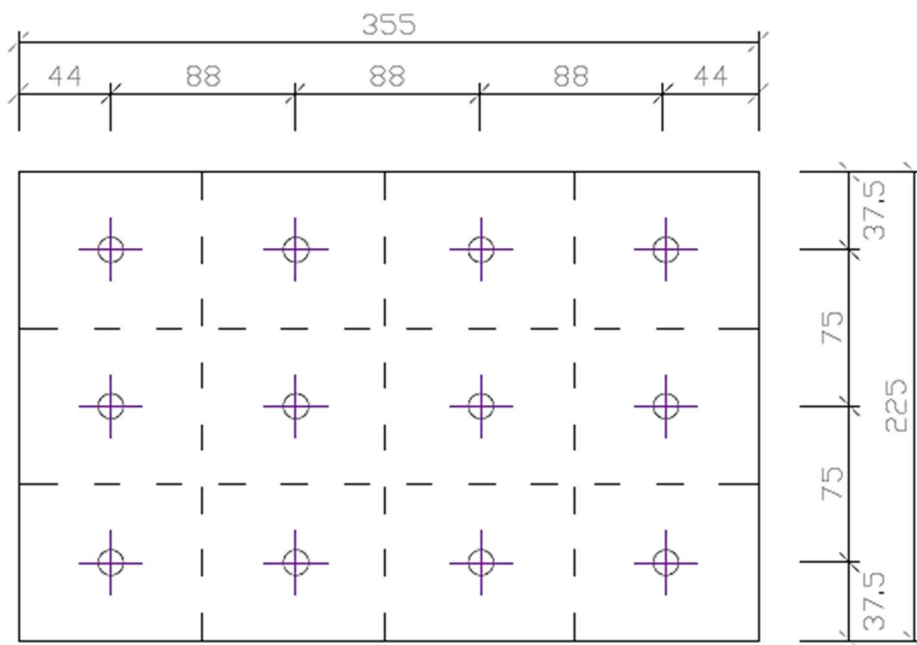
Vzdálenost krajního bodu od stěny potrubí:

$$\frac{y_i}{225} = \frac{2 \cdot 1 - 1}{2 \cdot 3} = 37,5 \text{ mm}$$

$$\frac{x_i}{355} = \frac{2 \cdot 1 - 1}{2 \cdot 4} = 44 \text{ mm}$$

### 14.4.1 SÍŤ MĚŘENÍ

– základní metoda rozdělení na dílčí průřezy dle ČSN EN 12599:



Obr. 14.1 Síť měření – Ostrava

### 14.4.2 POŽADOVANÝ POČET MĚŘICÍCH BODŮ

- dle ČSN EN 12599:

Minimální počet měřicích bodů s ohledem na nejistotu měření 10 % a 15 % včetně nejistoty měřicího přístroje 5 % nebo 10 %

- U obvod potrubí [m]
- A průřez potrubí [m]
- a vzdálenost mezi měřicími body a místem nerovnoměrnosti proudění

$$D_h = 4 \cdot \frac{A_s}{U}$$



$$A \times B = 0,355 \times 0,225 \text{ m}$$

$$a = 2,1 \text{ m}$$

$$A_s = A \cdot B = 0,355 \cdot 0,225 = 0,0799 \text{ m}^2$$

$$U = 2 \cdot (A + B) = 2 \cdot (0,355 + 0,225) = 1,16 \text{ m}$$

$$D_h = 4 \cdot \frac{A_s}{U} = 4 \cdot \frac{0,0799}{1,16} = 0,2754$$

$$\frac{a}{D_h} = 7,624$$

Požadovaný počet měřicích bodů			
Relativní vzdálenost	Celková nejistota v % / nejistota měřicího zařízení v %		
	"10/5"	"15/5"	"15/10"
a/D <sub>h</sub>			
1,6	-	30	44
2,0	50	21	30
2,5	34	16	24
3,0	25	12	18
4,0	16	8	12
5,0	12	6	9
6,0	9	4	6

Tab. 14.1 Požadovaný počet měřicích bodů

Požadovaný počet měřicích bodů pro 10 % nejistotu měření vyplývajících z tabulky je 9.

#### 14.4.3 VÝPOČET POTŘEBNÉ DÉLKY ROVNÉHO ÚSEKU

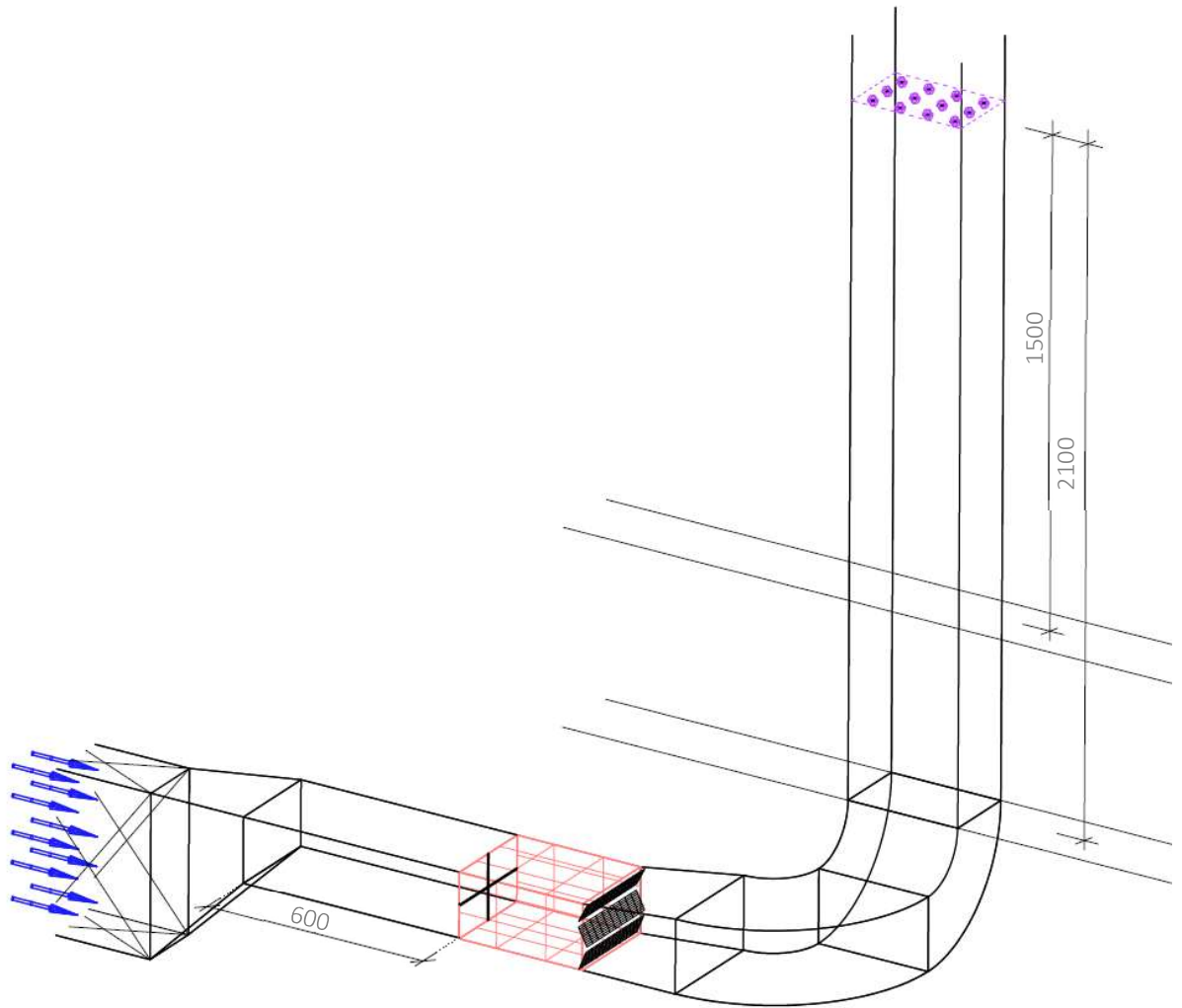
$$L \geq 3 \cdot D_{eff}$$

$$D_{eff} = \frac{2 \cdot W \cdot H}{W + H} = \frac{2 \cdot 0,300 \cdot 0,200}{0,300 + 0,200} = 0,2 \text{ m}$$

$$L \geq 3 \cdot 0,2$$

$$\geq 0,6 \text{ m}$$

#### 14.4.4 SCHÉMA S VYZNAČENÝMI MĚŘICÍMI BODY



Obr. 14.2 Schéma měření s vyznačenými měřicími body

## 14.5 FOTOGRAFIE Z MĚŘENÍ



Obr. 14.3 Měřená trasa VZT potrubí



Obr. 14.4 Měřicí otvory vyvrtané do odvodního potrubí

## 14.6 MĚŘENÍ

### Měření č.1

Nastavený průtok na regulátoru vzduchu  $V=440 \text{ m}^3/\text{h}$ , klapka otevřená na 20 %,  $\Delta p=6 \text{ Pa}$ .

Měření č.1, $V=440 \text{ m}^3/\text{h}$					
Otvor	Rychlost [m/s]	Průměrný průtok v otvoru [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]	Otvor	Rychlost [m/s]	Průměrný průtok v otvoru [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]
<b>1</b>	1,42	493,63	<b>3</b>	1,34	496,50
	1,78			1,74	
	1,95			2,10	
<b>2</b>	1,32	481,17	<b>4</b>	1,53	508,96
	1,75			1,85	
	1,95			1,93	
Celkový průměr průtoku $V_{440} =$					495,07

Tab. 14.2 Měření č. 1

### Měření č.2

Nastavený průtok na regulátoru vzduchu  $V=500 \text{ m}^3/\text{h}$ , klapka otevřená na 23 %,  $\Delta p=8 \text{ Pa}$ .

Měření č.1, $V=500 \text{ m}^3/\text{h}$					
Otvor	Rychlost [m/s]	Průměrný průtok v otvoru [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]	Otvor	Rychlost [m/s]	Průměrný průtok v otvoru [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]
<b>1</b>	1,83	573,18	<b>3</b>	1,73	572,22
	1,95			2,03	
	2,20			2,21	
<b>2</b>	1,80	560,72	<b>4</b>	1,90	588,52
	1,92			2,03	
	2,13			2,21	
Celkový průměr průtoku $V_{500} =$					573,66

Tab. 14.3 Měření č. 2

**Měření č.3**

Nastavený průtok na regulátoru vzduchu  $V=600 \text{ m}^3/\text{h}$ , klapka otevřená na 25 %,  $\Delta p=12 \text{ Pa}$ .

Měření č.1, $V=600 \text{ m}^3/\text{h}$					
Otvor	Rychlost [m/s]	Průměrný průtok v otvoru [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]	Otvor	Rychlost [m/s]	Průměrný průtok v otvoru [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]
<b>1</b>	2,11	628,78	<b>3</b>	2,22	667,12
	2,15			2,36	
	2,30			2,38	
<b>2</b>	2,13	630,69	<b>4</b>	2,15	646,99
	2,18			2,26	
	2,27			2,34	
Celkový průměr průtoku $V_{600} =$					643,39

Tab. 14.4 Měření č. 3

**Měření č.4**

Nastavený průtok na regulátoru vzduchu  $V=710 \text{ m}^3/\text{h}$ , klapka otevřená na 30 %,  $\Delta p=14 \text{ Pa}$ .

Měření č.1, $V=710 \text{ m}^3/\text{h}$					
Otvor	Rychlost [m/s]	Průměrný průtok v otvoru [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]	Otvor	Rychlost [m/s]	Průměrný průtok v otvoru [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]
<b>1</b>	2,75	763,92	<b>3</b>	2,70	725,58
	2,72			2,57	
	2,50			2,30	
<b>2</b>	2,66	768,72	<b>4</b>	2,64	766,80
	2,65			2,72	
	2,71			2,64	
Celkový průměr průtoku $V_{710} =$					756,26

Tab. 14.5 Měření č. 4

### Skutečná nepřesnost měření:

- Celková nejistota:

$$\tau_t = \sqrt{(2 \cdot \tau_s)^2 + (\tau_u)^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot \tau_p\right)^2 + (\tau_G)^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot \tau_d\right)^2}$$

- Určení míry nerovnoměrnosti U rychlostního profilu při síťovém měření

$$U = \frac{v_{max} - v_{min}}{2 \cdot v}$$

v střední rychlost v celém průřezu [m/s]

$v_{min}, v_{max}$ ..... minimální a maximální hodnota průměrné rychlosti ve čtvrtině průřezu [m/s]

V případě pravoúhlého průřezu se maximální a minimální průměrné rychlosti vyberou ze čtvrtiny celkového průřezu, u kterého se délka strany rovná polovině délky strany vzduchovodu.

- Nejistota umístění měření  $\tau_u$  ze vztahu:

$$\tau_u = 2,314 \cdot U \cdot n^{-0,552} - 0,895 \cdot U \cdot n^{-0,698} + 13,725 \cdot n^{-0,778}$$

n počet měřicích bodů

- Nejistota nastavení tlaku v komoře  $\tau_p$ 
  - nejistota odečtená z obrázku E.5 normy ČSN EN 12599
- Nejistota způsobená měřicím zařízením  $\tau_G$ 
  - odečet z obrázku E.6 normy ČSN EN 12599
- Nejistota měřicího zařízení udaná výrobcem  $\tau_d$ 
  - odečet z obrázku E.6 normy ČSN EN 12599

## 14.7 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

- Porovnání naměřené chyby a chyby stanovené výrobcem regulátoru

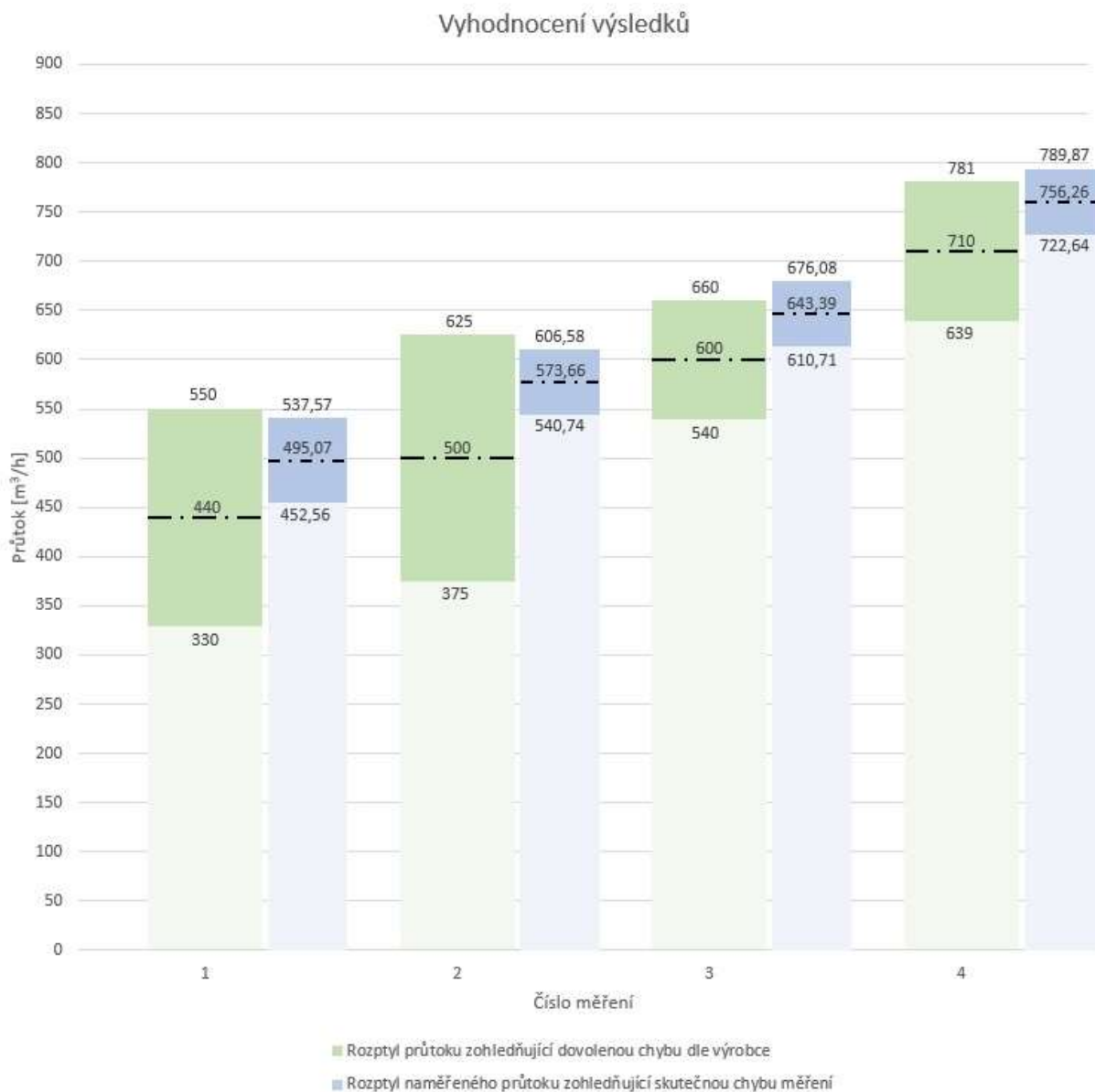
Nastavený průtok [m <sup>3</sup> /h]	Dílčí interval $V_{norm}$		Nepřesnost udaná výrobcem [%]	Dovolený průtok s ohledem na nepřesnost pro zvolený průtok [m <sup>3</sup> /h]	Naměřený průtok [m <sup>3</sup> /h]	Naměřená nepřesnost (bez zohlednění chyby měření) [%]
	[%]	[m <sup>3</sup> /h]				
440	10-20	280,8 - 561,6	±25	330 - 550	495,07	12,51
500	10-20	280,8 - 561,6	±25	375 - 625	573,66	14,73
600	20-40	561,6 - 1123,2	±10	540 - 660	643,39	7,23
710	20-40	561,6 - 1123,2	±10	639 - 781	756,26	6,52

Tab. 14.6 Porovnání naměřené chyby a chyby stanovené výrobcem

- Skutečná chyba měření

Číslo měření	Průtok [m <sup>3</sup> /h]	Počet měřících bodů n	v [m/s]	$v_{min}$ [m/s]	$v_{max}$ [m/s]	U [%]	$\tau_u$ [%]	$\tau_p$ [%]	$\tau_G$ [%]	$\tau_d$ [%]	$\tau_t$ [%]
1	440	12	1,72	1,57	1,91	9,80	6,19	2,00	7,00	2,00	9,66
2	500	12	2,00	1,88	2,12	6,14	4,62	2,00	4,00	2,00	6,58
3	600	12	2,24	2,14	2,34	4,30	3,83	2,00	3,00	2,00	5,45
4	710	12	2,63	2,56	2,70	2,61	3,11	2,00	2,60	2,00	4,73

Tab. 14.7 Skutečná chyba měření



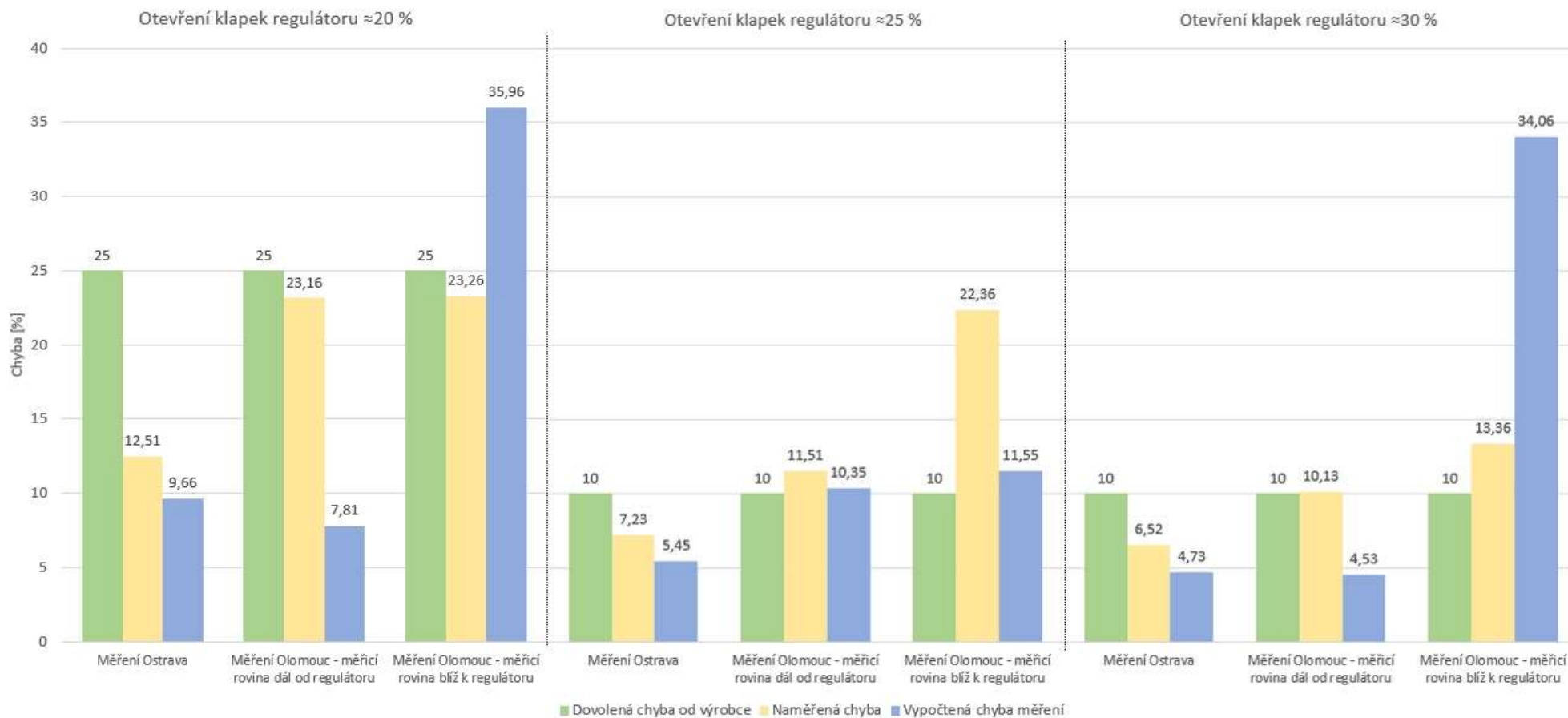
Obr. 14.5 Grafické vyhodnocení

## ZÁVĚR

Skutečná délka rovného úseku před regulátorem je 0,6 m, což splňuje požadavek výrobce. Rozdíl tlaku na listech klapky odpovídá požadavkům výrobku. I přes to, že některá měření neleží v intervalu pracovního rozsahu regulátoru (nižší rychlosti u měření č. 1 a 2), naměřené průtoky s ohlednutím na nepřesnosti udané výrobcem regulátorů, nepřesnosti měřícího přístroje a skutečné chyby měření odpovídají zadaným hodnotám průtoků.



## 15. GRAFICKÉ POROVNÁNÍ OBOU MĚŘENÝCH VARIANT



Obr. 14.1 Grafické vyhodnocení - porovnání obou měřených variant

## ZÁVĚR

Pro porovnání byly vybrány 3 měření, ve kterých byla procentuálně zhruba stejně otevřená klapka regulátoru. V Olomouci, kde nebyl dodržen výrobcem stanovený požadavek na délku rovného úseku před regulátorem, docházelo k naměření větší skutečné chyby než v Ostravě, kde tento požadavek byl splněn. Po zhodnocení obou měření lze říct, že osazení regulátoru v trase VZT potrubí dle požadavků výrobce značně ovlivňuje správnou funkci regulátoru.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

### TECHNICKÉ NORMY

- [6] ČSN EN 12599. Větrání budov: Zkušební postupy a měřicí metody pro přejímky instalovaných větracích a klimatizačních zařízení. 2013.
- [7] ČSN EN 16211. Větrání budov: Provozní měření průtoku vzduchu - Metody. 2016.
- [15] ČSN EN ISO 14644. Čisté prostory a příslušné řízené prostředí. 2006.

### ODBORNÁ LITERATURA A ODKAZY NA DALŠÍ ZDROJE

- [1] Ruční a automatická regulace: Základní pojmy. In: Automatizace [online]. [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <http://automatizace-issnp.wz.cz/Soubory2/2%20zakladni%20pojmy.pdf>
- [2] GEBAUER, Günter, Helena HORKÁ a Olga RUBINOVÁ. VZDUCHOTECHNIKA. Era - vydavatelství, 2005. ISBN 80-7366-027-X.
- [3] Klimatizace. In: JANKA [online]. [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: [https://janka.cz/files/2\\_3\\_www.pdf](https://janka.cz/files/2_3_www.pdf)
- [4] REGULACE PRŮTOKU VZDUCHU: Příručka pro projektování. In: TROX [online]. [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: [https://www.trox.cz/downloads/54326652aef38d0a/S\\_Airflowcontrol\\_CZ\\_2\\_web.pdf](https://www.trox.cz/downloads/54326652aef38d0a/S_Airflowcontrol_CZ_2_web.pdf)
- [5] Air Volume Control. In: Systemair [online]. [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <https://shop.systemair.com/en/air--volume--control/c40758>
- [8] Teplotní průtokoměry: termoanemometry. Automatizace.hw.cz [online]. 23.08.2006 [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2006082301>
- [9] Podklady k principu měření rychlosti. In: Západočeská Univerzita v Plzni [online]. [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~formanek/mmvyuka/Data/ivk-mt-soubory/12-F.pdf>
- [10] Testo objemový průtokoměr. In: Testo [online]. [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <https://www.testo.com/cz-CZ/testo-420/p/0563-4200>
- [11] AIRFLOW [online]. [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <http://www.airflow.cz/kestazeni/prospekty.php>
- [12] Měřicí kříž. In: Airflow [online]. [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <http://www.airflow.cz/produkty/pristroje/merkrize.php>
- [13] Měření průtoku a proteklého množství. In: Ústav počítačové a řídicí techniky [online]. [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <http://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/F4/F4k45-prut.htm#k453>

[14] Teorie měření a regulace. *VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ: FAKULTA STAVEBNÍ* [online]. [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <https://www.fce.vutbr.cz/tst/rada.v/TMaR/t-mar-2015-p2p-tm2-CHYB1.pdf>

[16] PROJEKT III. (IV) - Vzduchotechnika. *FAKULTA STROJNÍ ČVUT V PRAZE* [online]. [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: [http://www.users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/Projekt3/Podklady/01\\_Vypocet%20tepelne%20zateze.pdf](http://www.users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/Projekt3/Podklady/01_Vypocet%20tepelne%20zateze.pdf)

[17] VA C 500/24 vířivý anemostat přívodní (deska). In: UNIVENT: nízkonákladový distributor [online]. [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <https://www.univent.cz/web/cs/product/va-c-500-24-virivy-anemostat-privodni-deska>

[18] Systemair DESIGN [online]. [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <https://design.systemair.com/CZ/cs-CZ/catalogue>

[19] VZDUCHOTECHNIKA. In: SVJ Vybíralova [online]. [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <http://svjvybiralova.cz/images/dokumenty/vzt/Vzduchotechnika.pdf>

[20] Výpočet měrné tlakové ztráty v potrubí. *TECHNIKA PROSTŘEDÍ* [online]. [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <https://www.qpro.cz/Ztraty-trenim-ve-vzduchotechnickem-potrubu>

## POUŽITÉ SOFTWARE

AeroCAD

AutoCAD

Microsoft Office

## SEZNAM PŘÍLOH

P1 VZDUCHOTECHNIKA ODDĚLENÍ S LŮŽKOVÝMI POKOJI – PŮDORYS 8.NP

P2 VZDUCHOTECHNIKA ODDĚLENÍ S LŮŽKOVÝMI POKOJI – PŮDORYS STŘECHY – STROJOVNA

P3 TABULKA MÍSTNOSTÍ

P4 TABULKA VÝKONŮ

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 Blokové schéma regulačního obvodu .....	13
Obr. 1.2 Regulace ventilátoru škrcením .....	15
Obr. 1.3 Plynulá regulace.....	16
Obr. 1.4 Skoková regulace .....	16
Obr. 1.5 Průběh teplot u protiproudého výměníku .....	17
Obr. 1.6 Průběh teplot u souprroudého výměníku .....	17
Obr. 2.1 Schéma Prandtlovy trubice.....	22
Obr. 2.2 Příklad Wilsonovy mříže [11] .....	23
Obr. 2.3 Příklad měřicího kříže [12] .....	23
Obr. 2.4 Clona [13] .....	24
Obr. 2.5 Dýza [13].....	24
Obr. 2.6 Venturiho dýza [13] .....	24
Obr. 2.7 Rozložení měřicích bodů a dílčích průřezů v měřicí rovině.....	26
Obr. 2.8 Metoda stejnoplochých mezikružích - rozdělení měřicí roviny .....	27
Obr. 2.9 Princip měření metodou měřicího vaku .....	29
Obr. 2.10 Princip měření s použitím měřicího nástavce .....	29
Obr. 2.11 Princip měření kompenzační metodou.....	30
Obr. 2.12 Princip měření metodou referenčního tlaku .....	30
Obr. 2.13 Chyby měření.....	32
Obr. 6.2 Rozložení štěrbin u vířivých anemostatů [17] .....	41
Obr. 6.1 Příklad talířového ventilu a štěrbinové vyústky .....	41
Obr. 9.1 Regulátor variabilního průtoku vzduchu [18] .....	47
Obr. 9.2 Návrh regulátoru variabilního průtoku vzduchu .....	47
Obr. 9.3 Parametry navrženého regulátoru průtoku vzduchu.....	48
Obr. 10.1 Specifikace zařízení č. 1 .....	49
Obr. 10.2 Zařízení č. 1.....	49
Obr. 10.3 Specifikace zařízení č. 2 .....	49
Obr. 10.4 Zařízení č. 2.....	49
Obr. 12.1 Schéma MaR - zařízení č. 1 .....	61
Obr. 12.2 Schéma MaR - zařízení č. 2 .....	62

Obr. 12.3 Ideové schéma ZTI .....	63
Obr. 12.4 Ideové schéma ÚT .....	64
Obr. 12.5 Ideové schéma Silnoproud .....	65
Obr. 13.1 Síť měření - Olomouc.....	69
Obr. 13.2 Schéma měření s vyznačenými měřicími body .....	71
Obr. 13.3 Použité přístroje .....	71
Obr. 13.4 Měřená trasa VZT potrubí.....	72
Obr. 13.5 Otevřené listy regulátoru, tlumič hluku osazený před regulátorem .....	72
Obr. 13.6 Grafické vyhodnocení - měřicí rovina blíž k regulátoru .....	81
Obr. 13.7 Grafické vyhodnocení - měřicí rovina dál od regulátoru.....	82
Obr. 14.1 Síť měření – Ostrava .....	84
Obr. 14.2 Schéma měření s vyznačenými měřicími body .....	86
Obr. 14.3 Měřená trasa VZT potrubí.....	87
Obr. 14.4 Měřicí otvory vyvrtané do odvodního potrubí.....	87
Obr. 14.5 Grafické vyhodnocení .....	92
Obr. 14.1 Grafické vyhodnocení - porovnání obou měřených variant.....	93

## SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1 Požadovaná délka rovného úseku před a za měřicí rovinou .....	25
Tab. 2.2 Požadovaný počet měřících bodů.....	26
Tab. 4.1 Výpočet tepelných zisků pro místnost 8.14 .....	37
Tab. 4.2 Výpočet tepelné zátěže pro místnost 8.29 .....	37
Tab. 4.3 Výpočet tepelné zátěže pro místnost 8.33 .....	38
Tab. 4.4 Výpočet tepelných ztrát pro místnost 8.05.....	39
Tab. 4.5 Výpočet tepelných ztrát pro místnost 8.17.....	39
Tab. 4.6 Výpočet tepelných ztrát pro místnost 8.33.....	40
Tab. 7.1 Návrh průtoku vzduchu .....	42
Tab. 8.1 Dimenzování - přívod, zařízení č. 1 .....	43
Tab. 8.2 Dimenzování - odvod, zařízení č. 1.....	44
Tab. 8.3 Dimenzování - přívod, zařízení č. 2 .....	45
Tab. 8.4 Dimenzování - odvod, zařízení č. 2.....	46
Tab. 9.1 Návrh regulátorů průtoku vzduchu.....	48
Tab. 12.1 Zjednodušená specifikace .....	66
Tab. 13.1 Požadovaný počet měřících bodů.....	70
Tab. 13.2 Měření č. 1.....	73
Tab. 13.3 Měření č. 2.....	74
Tab. 13.4 Měření č. 3.....	75
Tab. 13.5 Měření č. 4.....	76
Tab. 13.6 Měření č. 5.....	77

Tab. 13.7 Porovnání naměřené chyby a chyby stanovené výrobcem.....	79
Tab. 13.8 Skutečná chyba měření – rovina vzdálenější od regulátoru.....	80
Tab. 13.9 Skutečná chyba měření – rovina blíž k regulátoru .....	80
Tab. 14.1 Požadovaný počet měřicích bodů.....	85
Tab. 14.2 Měření č. 1.....	88
Tab. 14.3 Měření č. 2.....	88
Tab. 14.4 Měření č. 3.....	89
Tab. 14.5 Měření č. 4.....	89
Tab. 14.6 Porovnání naměřené chyby a chyby stanovené výrobcem.....	91
Tab. 14.7 Skutečná chyba měření.....	91