



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

NÁVRH VZDUCHOTECHNIKY V MULTIFUNKČNÍ SPORTOVNÍ HALE

AIR CONDITIONING DESIGN IN THE MULTIFUNCTIONAL SPORTS HALL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Radek Navrátil

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Blasinski, Ph.D.

BRNO 2021



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. Radek Navrátil
Název	Návrh vzduchotechniky v multifunkční sportovní hale
Vedoucí práce	Ing. Petr Blasinski, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2020
Datum odevzdání	15. 1. 2021

V Brně dne 31. 3. 2020

prof. Ing. Jiří Hirš, CSc.
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

1. Stavební dokumentace zadané budovy
2. Aktuální legislativa ČR
3. České i zahraniční technické normy
4. Odborná literatura
5. Zdroje na internetu

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

- A. Popis stávajícího stavu, analýza tématu a podkladů stavby, stanovení konkrétních cílů a metod řešení.
- B. Minimálně 2 varianty optimalizace stávajícího stavu doplněné o experimentální měření nebo matematickou simulaci proudění ve sportovní hale. Jednočarová schémata rozvodů VZT systému a chlazení. Hodnocení navržených variant řešení z hlediska vnitřního prostředí, uživatelského komfortu, prostorových nároků, ekonomiky provozu, dopadu na životní prostředí apod.
- C. Minimálně 1 varianta v rozpracovanosti rozšířeného projektu pro stavební povolení (půdorysy v měřítku 1:100, stručná technická zpráva).

Práce bude zpracována v souladu s platnými předpisy (zákony a vyhláškami, normami) pro navrhování zařízení techniky staveb.

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).

Ing. Petr Blasinski, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce řeší návrh vzduchotechnického zařízení v objektu multifunkční haly v Brně a zahrnuje i experimentální analýzu proudění vzduchu. Skládá se ze tří částí. V první části je zpracována teorie distribuce vzduchu. Druhá část pojednává o analýze proudění vzduchu z různých typů distribučních vyústek a pro jednu vyústku dále hledá zjednodušený model. Poslední část této práce je zaměřená na návrh vzduchotechnického zařízení v zadaném objektu, a to v multifunkční sportovní hale.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vzduchotechnika, distribuce vzduchu, ohřev, chlazení, tepelná zátěž, tepelné zisky, analýza, vyústka, model, proud vzduchu.

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the design of air-conditioning equipment in the building of a multifunctional hall in Brno and also includes an experimental analysis of air flow. It consists of 3 parts. In the first part a theory of air distribution is elaborated. The second part deals with the analysis of air flow for different types of air diffusers and for one diffuser further looks for a simplified model. The last part of this work is focused on the design of air conditioning equipment in the assigned building, the multifunctional sports hall.

KEYWORDS

Air conditioning, air distribution, heating, cooling, heat load, heat gains, analysis, diffuser, model, air flow.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Radek Navrátil *Návrh vzduchotechniky v multifunkční sportovní hale*. Brno, 2020. 110 s., 58 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce Ing. Petr Blasinski, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Návrh vzduchotechniky v multifunkční sportovní hale* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 4.1.2021

Bc. Radek Navrátil

Autor práce

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Návrh vzduchotechniky v multifunkční sportovní hale* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 4.1.2021

Bc. Radek Navrátil

Autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych tímto poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Blasinskému, Ph.D. za poskytnutí cenných rad a věnování svého času. Také děkuji za ochotu, trpělivost a příkladné vedení při tvorbě této práce.

OBSAH

ÚVOD	11
1 PROUDĚNÍ A DISTRIBUCE VZDUCHU	13
1.1 SLOŽENÍ VZDUCHU	13
1.2 DISTRIBUCE VZDUCHU	14
1.2.1 FYZIKÁLNÍ JEVI PŘI DISTRIBUCI VZDUCHU	14
1.2.2 PROUDĚNÍ VZDUCHU UVNITŘ OBJEKTŮ	15
1.2.2.1 PROFILY PROUDĚNÍ VZDUCHU (TEKUTINY)	16
1.2.2.2 ZÁKLADNÍ NÁZVOSLOVÍ PROUDŮ VZDUCHU	17
1.2.2.3 ZÁKLADNÍ OBRAZY PROUDĚNÍ VZDUCHU	18
1.2.2.4 METODY PRO ŘEŠENÍ PROUDĚNÍ VZDUCHU	20
1.2.2.5 ZHODNOCENÍ PROBLEMATIKY PROUDĚNÍ VZDUCHU V MÍSTNOSTECH	21
1.3 DISTRIBUČNÍ KONCOVÉ PRVKY	21
1.3.1 HISTORICKÝ NÁHLED DO DISTRIBUCE VZDUCHU	21
1.3.2 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA DISTRIBUČNÍCH PRVKŮ	21
1.3.3 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ DISTRIBUČNÍCH PRVKŮ	22
1.3.4 TYPICKY POUŽÍVANÉ DISTRIBUČNÍ PRVKY	22
1.3.4.1 PRVKY POUŽÍVANÉ PRO SMĚŠOVACÍ PROUDĚNÍ VZDUCHU	22
1.3.4.2 PRVKY POUŽÍVANÉ PRO SMĚŠOVACÍ PROUDĚNÍ S KOMPAKTNÍM PROUDEM VZDUCHU	25
1.3.4.3 ZAPLAVOVACÍ, ZDROJOVÉ PROUDĚNÍ VZDUCHU	27
1.3.4.4 PROUDĚNÍ VZDUCHU ZDOLA NAHORU	27
1.3.4.5 INDUKČNÍ JEDNOTKY	28
1.4 NÁVRH DISTRIBUČNÍCH PRVKŮ	29
1.4.1 HODNOTÍCÍ KRITÉRIA PŘI NÁVRHU DISTRIBUČNÍCH PRVKŮ	29
1.4.2 VYHODNOCENÍ KVALITY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ STAVEB	31
1.4.3 POSTUP NÁVRHU DISTRIBUČNÍHO PRVKU	32
2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	34
2.1 CÍL PRÁCE	35
2.2 MĚŘICÍ PŘÍSTROJE, POMŮCKY A DISTRIBUČNÍ ELEMENTY	35
2.2.1 MĚŘICÍ PŘÍSTROJE A POMŮCKY	35
2.2.2 MĚŘENÉ DISTRIBUČNÍ ELEMENTY	37
2.3 POSTUP MĚŘENÍ A SIMULACE	38
2.3.1 MĚŘENÍ SMĚRU PROUDĚNÍ VZDUCHU	39
2.3.2 SIMULACE SMĚRU PROUDĚNÍ VZDUCHU	39
2.3.2.1 PRE-PROCESSING – TVORBA MODELU	39
2.3.2.2 PRE-PROCESSING – VÝPOČTOVÁ SÍŤ A OKRAJOVÉ PODMÍNKY	43
2.3.2.3 PROCESSING – ŘEŠIČ	45
2.3.2.4 POST-PROCESSING – ZPRACOVÁNÍ A POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ	45
2.4 FOTODOKUMENTACE	46
2.5 NAMĚŘENÉ HODNOTY	49
2.6 VÝSLEDKY MĚŘENÍ A SIMULACE	50
2.7 VYHODNOCENÍ	60

3	APLIKACE TÉMATU NA ZADANÉ BUDOVĚ	62
3.1	ÚVOD – ANALÝZA OBJEKTU	62
3.2	VÝPOČTOVÁ ČÁST	63
3.2.1	TEPELNÉ ZTRÁTY JEDNOTLIVÝCH MÍSTNOSTÍ	63
3.2.2	TEPELNÁ ZÁTĚŽ JEDNOTLIVÝCH MÍSTNOSTÍ.....	64
3.2.3	NÁVRH PRŮTOKŮ VZDUCHU	68
3.2.4	NÁVRH KONCOVÝCH DISTRIBUČNÍCH ELEMENTŮ	70
3.2.5	DIMENZOVÁNÍ POTRUBÍ	74
3.2.6	NÁVRH VZDUCHOTECHNICKÉ JEDNOTKY	79
3.2.7	ÚTLUM HLUKU	83
3.2.8	IZOLACE POTRUBÍ	87
3.3	TECHNICKÁ ZPRÁVA	90
3.3.1	ÚVOD	90
3.3.1.1	PODKLADY PRO ZPRACOVÁNÍ.....	90
3.3.1.2	VÝPOČTOVÉ HODNOTY KLIMATICKÝCH PARAMETRŮ.....	91
3.3.2	ZÁKLADNÍ KONCEPCE ŘEŠENÍ	91
3.3.2.1	POPIS VZT ZAŘÍZENÍ	91
3.3.2.2	HYGIENICKÉ VĚTRÁNÍ	92
3.3.3	POPIS TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ.....	93
3.3.3.1	POPIS JEDNOTLIVÝCH ZAŘÍZENÍ.....	93
3.3.4	NÁROKY NA ENERGIE	96
3.3.5	MĚŘENÍ A REGULACE, PROTIMRAZOVÁ OCHRANA	97
3.3.6	NÁROKY NA SOUVISEJÍCÍ PROFESE	97
3.3.6.1	STAVEBNÍ ÚPRAVY.....	97
3.3.6.2	SILNOPROUD.....	98
3.3.6.3	VYTÁPĚNÍ.....	98
3.3.6.4	ZDRAVOTECHNIKA.....	98
3.3.7	PROTIHLUKOVÁ A PROTITŘESOVÁ OPATŘENÍ	98
3.3.8	IZOLACE A NÁTĚRY	98
3.3.9	PROTIPOŽÁRNÍ OPATŘENÍ	99
3.3.10	MONTÁŽ, PROVOZ, ÚDRŽBA A OBSLUHA ZAŘÍZENÍ.....	99
3.3.11	ZÁVĚR	99
3.4	SPECIFIKACE PRVKŮ	100
	ZÁVĚR.....	102
	POUŽITÉ ZDROJE.....	103
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A OZNAČENÍ.....	105
	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	107
	SEZNAM PŘÍLOH	110

ÚVOD

Tato diplomová práce je dělena na tři části. Teoretická část, experimentální část a aplikace tématu na zadané budově.

Teoretická část se věnuje problematice distribuce vzduchu. Popisuje základní fyzikální jevy při distribuci vzduchu, obrazy proudění a typy větrání. Dále je zde shrnut výčet používaných distribučních prvků, jejich způsob proudění a využití. V závěru jsou zde popsány posuzované veličiny při návrhu distribučních prvků, metodika hodnocení vnitřního prostoru a návrh distribučního prvku.

Experimentální část se zabývá analýzou proudění vzduchu z různých typů distribučních prvků měřených ve školní laboratoři. Poté řeší podrobněji simulaci proudění vzduchu z vířivé vyústky ve dvou polohách lamel (vodorovně a pod 45°). Dále hledá zjednodušený model k této vyústce s grafickým i numerickým porovnáním modelů a konečným zhodnocením.

Ve třetí projektové části bylo navrženo vzduchotechnické zařízení pro zadaný objekt multifunkční sportovní haly a jejího zázemí. Budova zde byla rozdělena do dvou zón. Pro zónu č. 2 (tělocvična) byly navrženy dvě varianty distribučních elementů a vhodnější varianta byla dále použita v následujícím řešení projektu. Součástí této práce je i technická zpráva a výkresy.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

1 - TEORETICKÁ ČÁST

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Radek Navrátil

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR TM

Ing. Petr Blasinski, Ph.D.

BRNO 2021

1 PROUDĚNÍ A DISTRIBUCE VZDUCHU

Vzduch je jednou ze čtyř základních složek života. Z hlediska posuzování kvality venkovního prostředí i vnitřního prostředí budov se taktéž jedná o důležitý parametr. Venkovní i vnitřní ovzduší je v dnešní době výrazně ovlivňováno člověkem. S rozvojem průmyslové výroby a dopravy se zvyšuje naše životní úroveň, zároveň ale dochází i k znečišťování ovzduší - zejména venkovního.

Ve vnitřním prostředí budov zvyšující se nároky na energetickou úsporu objektů směřují a dále budou směřovat k utěsňování konstrukcí tvořících budovy a tím i zabránění možnosti přirozeného větrání, jak tomu bylo u starých objektů. Stejně tak se zvyšují nároky na kvalitu vnitřního vzduchu nejen ve specializovaných objektech (např. operační sály), ale dnes už i v soukromém vlastnictví bytových a rodinných domů se vyžaduje dostatečná kvalita vzduchu.

Z těchto důvodů je nutné vzduch dovnitř objektu dopravovat, upravovat a distribuovat tak, aby splnil požadované kritéria. K tomu nám dnes slouží instalované vzduchotechnické systémy, které se skládají z jednotky, která umí vzduch upravit, a dále ze vzduchotechnického potrubí napojeného na koncové distribuční prvky – vyústky. Ty slouží nejen k různému usměrňování proudu vzduchu, ale zároveň i k estetickému zakrytí.

Proto je nutné jednotlivé části systému vhodně navrhnout tak, aby jejich vlastnosti odpovídaly určenému prostředí.

1.1 Složení vzduchu

Atmosférický vzduch je směsí kyslíku, dusíku a dalších plynů tvořících atmosféru naší planety. Jednotlivé složky vzduchu jsou uvedené v tabulce 1.1. Kromě výjimek jsou tyto plyny stálé a jejich koncentrace ve vzduchu se nemění. Atmosférický vzduch obsahuje vždy vodní páru a různé tuhé částice (prach, kouř), jejichž koncentrace je závislá na místě (vesnice, město), na meteorologických podmínkách (srážky, vítr) a také na druhu využití krajiny (průmyslová oblast, zemědělská oblast).[1]

Tabulka 1.1 Složení suchého čistého vzduchu

Plyn	Chemická značka	Obsah dle objemu [%]	Obsah dle hmotnosti [%]
dusík	N ₂	78,084	75,51
kyslík	O ₂	20,946	23,16
argon	Ar	0,934	1,28
oxid uhličitý	CO ₂	0,033	0,05
neon	Ne	0,001818	0,001212
helium	He	0,000524	0,000072
methan	CH ₄	0,0002	0,0001
krypton	Kr	0,000114	0,0003
vodík	H ₂	0,00005	0,000001
xenon	Xe	0,00000087	0,00004

1.2 Distribuce vzduchu

Definice distribuce vzduchu:

Distribuce vzduchu slouží pro dopravu vzduchu do vnitřních prostor navrhovaných objektů. Dále slouží pro vytvoření obrazů proudění vzduchu v místnostech.[14]

Definice transportu vzduchu:

Transport vzduchu slouží k dopravě vzduchu v uzavřeném a těsném vzduchotechnickém potrubí. Nemá vliv na distribuci vzduchu a obrazy proudění, avšak ovlivňuje hydraulický návrh potrubních rozvodů.[14]

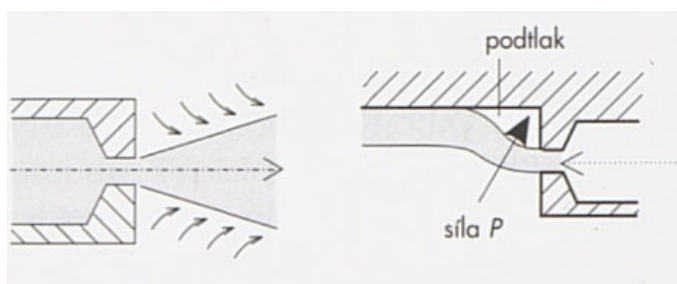
1.2.1 Fyzikální jevy při distribuci vzduchu

Během distribuce vzduchu dochází k proudění. Proudění je fyzikální děj spojený s přenosem látky a tepla. Ve vzduchotechnice je tento děj tvořen prouděním vzduchu v místnosti a prouděním vzduchu v potrubí. Pohyb vzduchu je způsoben mechanicky (ventilátor), gravitačně anebo rozdílem tlaku. Samotné proudění vzduchu je výchozí pro návrh a umístění přívodních i odvodních koncových prvků v místnostech a také pro dimenzování vzduchotechnického potrubí. Kromě obecně platných zákonů je pro vzduchotechniku důležitý indukční efekt, Coandův jev a vírový efekt.[2]

Coandův jev

Coandův jev se vyskytuje při výtoku tekutiny. Pokud vytéká z trysky paprsek tekutiny, tak nasává jeho rozvířený povrch tekutinu z okolí, do něhož vtéká. Pokud paprsek tekutiny proudí podél stěny, vysaje proud tekutinu za vzniku podtlaku a vlivem jeho působení se paprsek přisaje ke stěně. Toto nastává zejména přisátím a prouděním podél stropu, jestliže koncové vyústky umístíme v jeho blízkosti.[2]

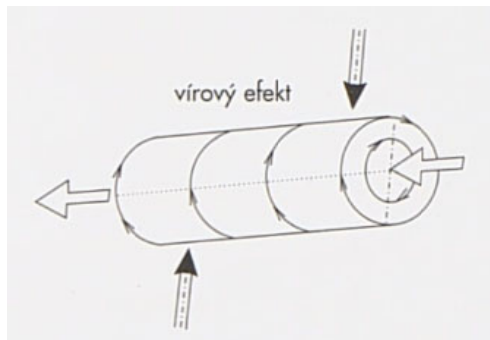
Coandův jev objevil při pokusech rumunský letecký konstruktér Henri Marie Coandă.



Obrázek 1.1 Coandův jev[2]

Vírový efekt

Vírový efekt vzniká u přírodních úkazů (vodní toky) nebo technických zařízení (trysky) a projevuje se vtahováním okolní tekutiny do středu rotace. Může působit také jako zesilovač proudění. Využívá se zejména u vířivých výustí.[2]

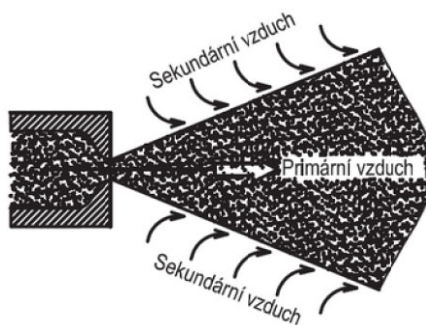


Obrázek 1.2 Vírový efekt [2]

Indukční efekt

Indukční efekt vzniká, jestliže z otvoru (trysky) vytéká proud vzduchu do klidného okolí. Z něho pak nasává rozvířený přívodní proud vzduch z okolí, do něhož vtéká. Tedy přísávání okolního vzduchu do přívodního rozvířeného vzduchu nazveme indukcí.

Tento jev je hojně využíván např. u indukčních jednotek.[13]



Obrázek 1.3 Indukční efekt[13]

1.2.2 Proudění vzduchu uvnitř objektů

Prouděním vzduchu uvnitř objektů je zajišťovaný požadovaný stav vzduchu v pobytové zóně osob. Tato zóna je přibližně 1,6 - 2 m nad úrovní podlahy. Základním kritériem vnitřního ovzduší je rychlost, optimálně 0,1 - 0,25 m/s a charakter proudění vzduchu. Charakter proudění vzduchu uvnitř místnosti je tvořen obrazy proudění, tzv. proudnicemi, rozložením vektorů rychlosti, rozložením teploty vzduchu a také obsahem příměsových látek ve vzduchu (škodlivin).[16]

Výsledné skalární pole proudění vzduchu uvnitř místnosti je pak závislé na mnoha faktorech, hlavně tedy:

1. Proudění z přívaděcích otvorů
2. Zdroje tepla (chlada)
3. Proudění do odváděcích otvorů

Dále na geometrii místnosti, geometrii přívodní vyústky a pohybu lidí, případně předmětů.

Rozhodující je však vliv proudění z přívodních vyústek a konvekční proudy okolo zdrojů tepla.[16]

Pohyb vzduchu z přívodních vyústek je formován proudy přiváděného vzduchu. Jedná se téměř vždy o turbulentní charakter proudění. Turbulenci je strháván okolní klidný vzduch a tím jsou vytvářeny různé skupiny vírů.[13]

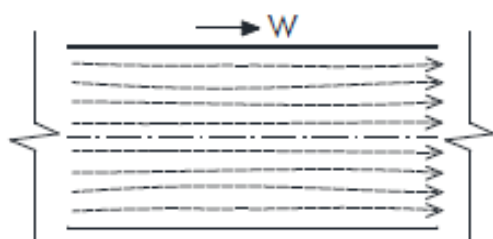
1.2.2.1 Profily proudění vzduchu (tekutiny)

Laminární proudění:

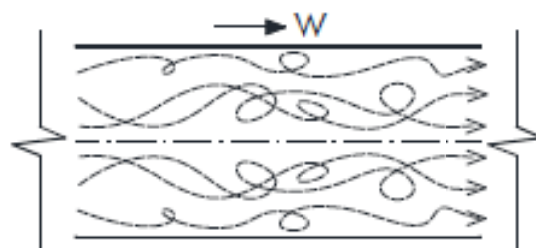
Jedná se o stabilní proudění (obrázek 1.4), vznikající při malých rychlostech, kdy se proudnice vzduchu či tekutiny pohybují rovnoměrně, téměř rovnoběžně a jen se zanedbatelnými odchylkami. Dochází pouze k mírnému promísení jednotlivých molekul tekutiny či vzduchu.[12]

Turbulentní proudění:

Jedná se o nahodilé, nestabilní až bouřlivé proudění (obrázek 1.5), které je typické při proudění velkými rychlostmi. Nastává při překročení Reynoldsova čísla. Proudnice vzduchu se začnou mísit a výrazně změni svůj směr proudu. Dochází k intenzivnímu promíchání molekul tekutiny či vzduchu. Vlivem velkých rychlostí a různých směrů proudění vznikají uspořádané skupiny vírů.[12]



Obrázek 1.4 Laminární proudění[12]



Obrázek 1.5 Turbulentní proudění[12]

Reynoldsovo kritérium Re udává hranici mezi laminárním a turbulentním prouděním. Je závislé na rychlosti proudění w , charakteristickém rozměru d a viskozitě ν .

$$Re = \frac{\text{setrvačné síly}}{\text{viskózní síly}} = \frac{w \cdot d}{\nu} \quad (1.1)$$

V kruhovém potrubí tekutina proudí laminárně, dokud nepřekročí hranici $Re_{\text{krit}}=2320$. Po překročení této hranice nastane turbulentní proudění.[12]

1.2.2.2 Základní názvosloví proudů vzduchu

Proud primární: je tvořen z části z přiváděného vzduchu a z části ze vzduchu v místnosti, který je stržen do přívodního proudu. Šíří se vlivem setrvačných sil.

Proud sekundární: je druhotný proud, který vznikne z proudu primárního, přičemž se uplatní indukční efekt.

Druhotné proudění vzduchu v místnosti: je tvořeno sekundárními proudy, které jsou indukované primárními proudy.

Volný proud: proud, který neovlivňují stěny místnosti.

Omezený proud: je sekundární proud, který je brzděn zpětným prouděním okolo primárního proudu vzduchu.

Dosah proudu: jde o vzdálenost od roviny vyústky po oblast, ve které rychlost proudícího vzduchu poklesne pod určitou hodnotu, zpravidla pod 0,5 m/s.

Proud izotermní: jedná se o proud vzduchu, který má stejné fyzikální vlastnosti (zejména teplotu), jaké jsou uvnitř místnosti. Tzn. teploty přívodního vzduchu a vzduchu nacházejícího se v místnosti jsou stejné.

Proud neizotermní: jedná se o proud vzduchu, který má jinou teplotu, než jaká je uvnitř místnosti. Rozdílem teplot jsou ovlivňovány setrvačné a vztlakové síly.

Slabě neizotermní proud: u slabě neizotermního proudu jsou gravitační (vztlakové) síly v porovnání se silami setrvačnými zanedbatelně menší.

Konvektivní proud: vznikne samovolně od zdrojů tepla (chlada) a šíří se díky gravitačním silám.

Přilnutý proud: je proud vzduchu, který přilne ke stěně (např. vlivem podtlaku – Coandův jev), podél které se šíří.

Ohraničený proud: je proud, jenž je usměrněn ohraničujícími stěnami místnosti.

Hlavní oblast proudu: jedná se o oblast, ve které rychlost vzduchu klesá na určitou hodnotu (např. rychlost v pobytové zóně), až postupně doznívá.

Osová rychlost v otvoru, osová rychlost v ose proudu, rychlostní profil, rozdíl teplot, dosah proudu a rychlost zpětného proudu jsou základními veličinami k identifikaci proudu vzduchu.[2][14]

1.2.2.3 Základní obrazy proudění vzduchu

Obrazy proudění nám ukazují grafické zobrazení idealizovaného proudění v uzavřeném prostoru, znázorňující rychlost, průtoky a směry proudění vzduchu.

Z důvodu turbulentního profilu proudění v uzavřené místnosti je zobrazení přesného obrazu proudění, zejména rychlostního a teplotního charakteru, i v dnešní počítačové době velmi obtížné. Řešení komplikuje mnoho faktorů, zvláště pak, že vlastnosti viskózní tekutiny nejsou konstantní, ale jedná se o funkci prostorových souřadnic s různými parametry. [2]

Proto se k řešení využívá hojně experimentální měření či matematické modely založené na numerickém výpočtu, ale ty jsou často extrémně náročné.

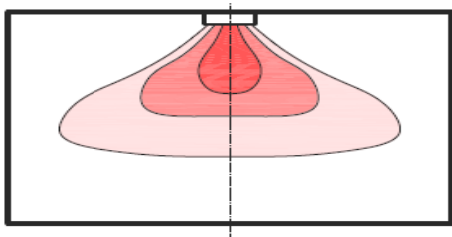
Další možnosti jsou návrhové programy od výrobců koncových distribučních prvků.

Rozdělení proudů vzduchu:

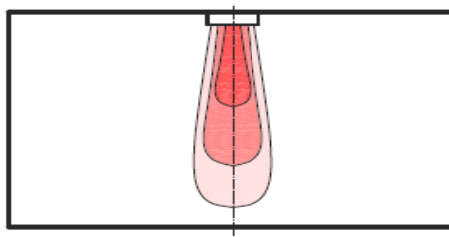
Dle geometrie proudu:

- a) Kruhové (kuželové)
- b) Kruhové kompaktní
- c) Ploché
- d) Radiální

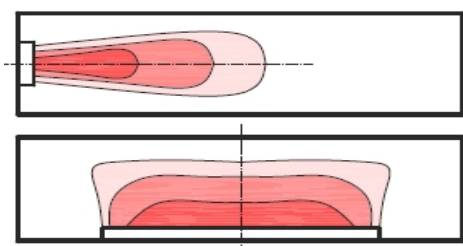
a) Kruhový (kuželový) proud



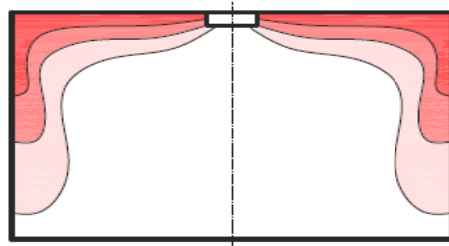
b) Kruhový kompaktní proud



c) Ploché proud



d) Radiální proud

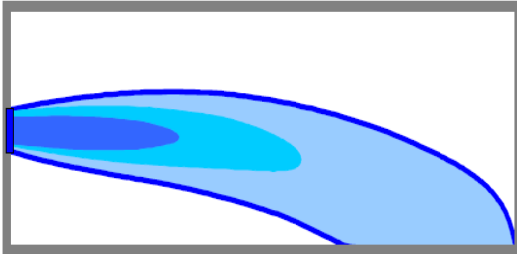


Obrázek 1.6 Rozdělení proudů dle geometrie[2]

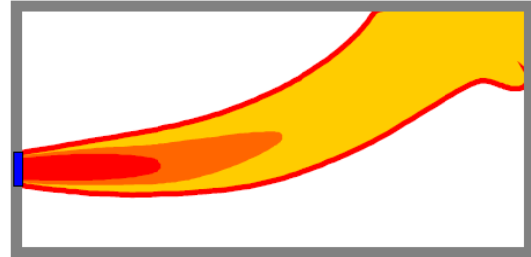
Dle teploty:

- a) Izotermní (zatopené)
- b) neizotermní

teplota proudu < teplota interiéru



teplota proudu > teplota interiéru



Obrázek 1.7 Neizotermní proud[13]

Dle typu větrání:

- a) Laminární – zaplavovací – vytěšňovací větrání

Vzduch je zde přiváděn v malých rychlostech výstřiky s potlačenou intenzitou směřovat se s okolním vzduchem.

- b) Turbulentní – zředňovací – směšovací větrání

Vzduch je zde přiváděn ve větších rychlostech výstřiky s velkou intenzitou směšovat se s okolním vzduchem.

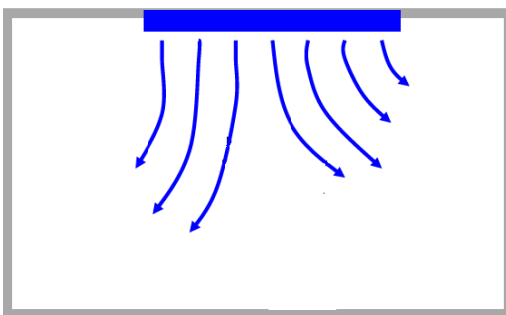
- c) Zdrojové větrání

Jedná se o formu vytěšňovacího větrání směrem vzhůru.

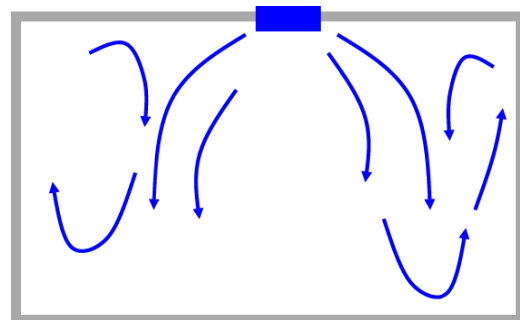
- d) Kompaktní proudové větrání

Tento typ větrání vzniká velkými soustřednými proudy vzduchu. Používá se u velkých či vysokých prostorů.

- a) Zaplavovací – vytěšňovací větrání

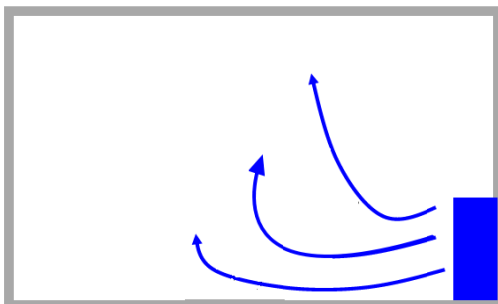


- b) Zředňovací – směšovací větrání

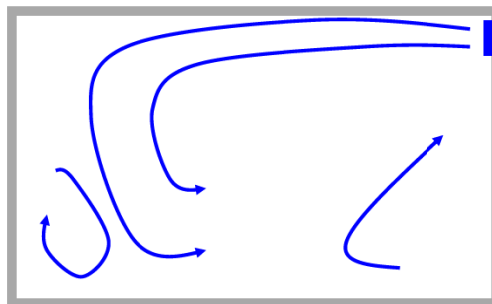


Obrázek 1.8 Typy větrání: zaplavovací, zředňovací[13]

c) Zdrojové větrání



d) Kompaktní proudové



Obrázek 1.9 Typy větrání: zdrojové, kompaktní proudové[13]

1.2.2.4 Metody pro řešení proudění vzduchu

Metod pro řešení proudění vzduchu je několik, liší se zejména svou náročností a přesností výsledku.

Analytické

U tohoto řešení komplikovanou problematiku proudění vzduchu uvnitř objektu zjednodušíme na dvourozměrnou či jednorozměrnou úlohu. Proudění vzduchu je zde popisováno fyzikálními zákony.[12]

Experimentální měření

Jde o experimentální měření v reálném prostoru s reálnými okrajovými podmínkami. Většinou se provádí na již zrealizovaných objektech. Nejčastěji se jedná o kouřovou zkoušku, kdy je přivodní vzduch mísen s aerosolem a vpouští se do prostoru, čímž vznikají viditelné obrazy proudění vzduchu. [12]

CFD simulace (computational fluid dynamics)

CFD využívá numerické modelování sloužící k vytvoření simulace proudění vzduchu za pomoci výpočetní techniky. Při výpočtu jsou používány základní fyzikální rovnice. Z časového hlediska se jedná o velmi náročné operace, avšak dosažené výsledky jsou často velmi podobné reálnému proudění vzduchu.[12]

Empirické

Tento způsob určení proudění vzduchu vychází z experimentálního měření již zrealizovaných projektů v kombinaci se známými analytickými přístupy. Pro různé případy lze vytvořit podobnostní kritéria umožňující rychlý a přesný návrh.[12]

1.2.2.5 Zhodnocení problematiky proudění vzduchu v místnostech

Proudění vzduchu uvnitř místností je důležité měřítko úrovně vnitřního mikroklimatu. Podstatné parametry proudění vzduchu jsou jeho obrazy, přírodní rychlost a teplota. Nejdůležitějšími faktory ovlivňující proudění jsou přírodní otvory. Odvodní otvory jsou svým vlivem na proudění z důvodu charakteru proudových polí méně podstatné. Velký vliv má také obsah škodlivin ve vzduchu či jiných částic, zejména prachových. K vhodnému řešení se často dochází i za kompromisu dalších požadavků na vnitřní prostředí. Náprava nevhodného návrhu proudění může být značně komplikovaná a zahrnují rekonstrukci distribučního i potrubního systému. Z tohoto důvodu by neměla být rozhodující ekonomická hlediska a návrh proudění v případě realizačního záměru by měl být vyzkoušen buď experimentálně, nebo pomocí výpočetního programu.[2]

1.3 Distribuční koncové prvky

Vzduchotechnický systém je soubor dílčích komponentů, které dohromady tvoří celek s funkcí upravovat mikroklima uvnitř objektů.

Součástí vzduchotechnických systémů je mnoho prvků a zařízení, zajišťující tepelně vlhkostní úpravu a distribuci vzduchu. Jedná se zejména o prvky koncové (distribuční komponenty), regulační (klapky, clony), přenosové (potrubí), úpravy vzduchu (ohříváče, chladiče ...), ochranné (tlumiče hluku), pomocné (rámy, závěsy, podpěry) a jiné.[3]

V této části bude pojednáno o koncových distribučních prvcích.

1.3.1 Historický náhled do distribuce vzduchu

Problematice distribuce vzduchu se věnuje pozornost již od přelomu 19. a 20. století. Při měření koncentrace CO_2 v pařížské opeře byla zjištěna až dvojnásobná koncentrace pod stropem než u podlahy. Byl učiněn závěr, že jelikož je vydechovaný znečištěný vzduch lehčí než čistý, měl by být odváděn v nejvyšším místě objektu a přívod by se měl umístit v blízkosti člověka, tedy nízko.[2]

1.3.2 Základní charakteristika distribučních prvků

Distribuční vyústky jsou důležitým prvkem systému vzduchotechniky, které mají značný vliv na obraz proudění vzduchu v místnosti. Dosah proudu i intenzita turbulence u přírodního proudu jsou určeny konstrukcí koncového prvku (hlavně jeho aerodynamickými vlastnostmi). Tyto vlastnosti určuje zejména provedení a velikost výtokové plochy.[2]

Na trhu se dnes objevuje velké množství distribučních prvků od různých výrobců, lišících se tvarem a zejména obrazem proudění, který vytváří uvnitř objektů. Je možno je zabudovat do

stropů, stěn, příp. i podlahy. Výrobci by dále měli umožnit regulaci průtoku vzduchu, případně upravit směr výtoku.[2]

1.3.3 Základní rozdělení distribučních prvků

Tabulka 1.2 Rozdělení distribučních prvků

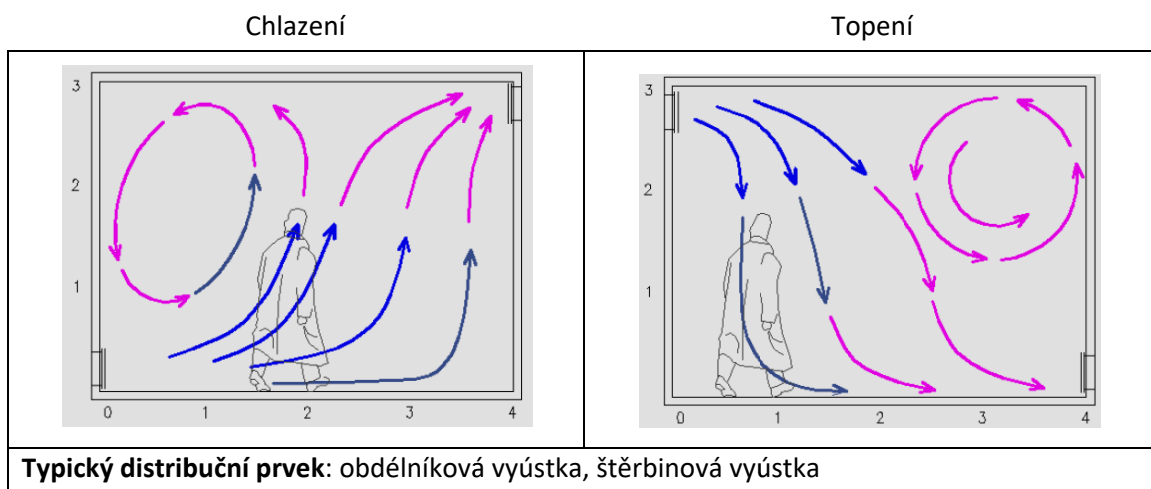
Dle proudění vzduchu:	Laminární (vytěšňovací, zaplavovací) Turbulentní (směšovací, zředovací) Proudové, kompaktní
Dle lokace:	Vnitřní Vnější
Dle tvaru:	Čtyřhranné Kruhové Štěrbínové
Dle materiálu:	Kovové Plastové Kombinace
Dle osazení:	Stropní Stěnové Podlahové
Dle regulace:	Průtoku vzduchu Směru výstupního proudu
Dle úpravy vzduchu:	Bez úpravy Filtrace Tepelná úprava – ohřev, chlazení

1.3.4 Typicky používané distribuční prvky

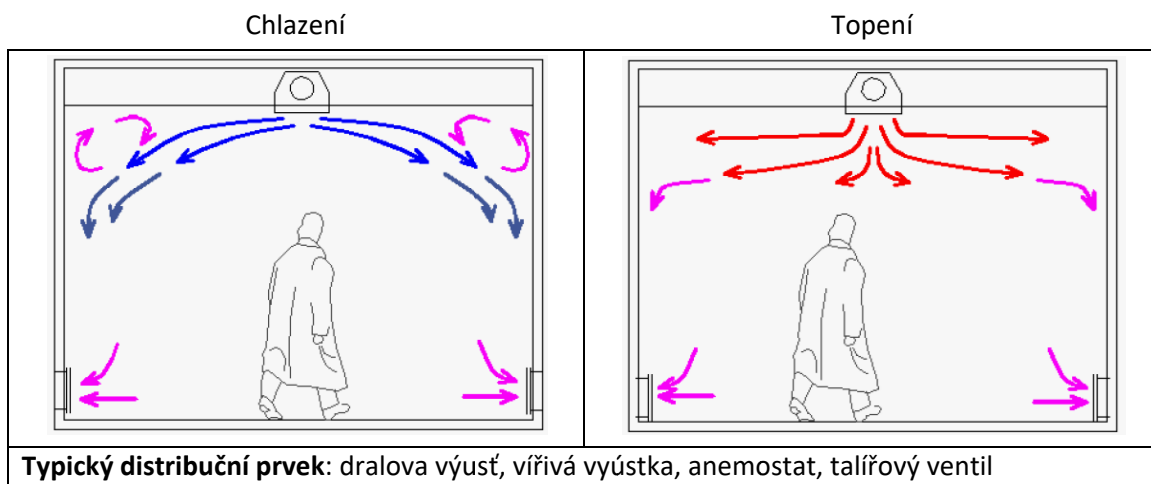
1.3.4.1 Prvky používané pro směšovací proudění vzduchu

Pro směšovací větrání místnosti jsou používány obdélníkové a štěrbinové vyústky, vířivé vyústky, dralové vyústě, anemostaty a pro malé průtoky vzduchu talířové ventily. Rozdělujeme směšovací proudění s kruhovým či plochým proudem s výraznou turbulencí (obrázek 1.10) a směšovací proudění s radiálním proudem (obrázek 1.11). Obě možnosti jsou vhodné pro větrání místnosti s výškou do 4 - 5 m. Zajistí provětrání celého prostoru místnosti a lze je užít jak pro teplotovzdušné vytápění, tak chlazení. U těchto prvků jsou vysoké výtokové rychlosti, čímž dojde

k rychlému promíchání přivodního vzduchu se vzduchem v místnosti. Některé z prvků (např. vířivá vyústka) mají také lopatky či lamely nastavitelné ručně, nebo umožňují osazení servopohonu, čímž je možné dálkově ovlivňovat směr a dosah proudu.[2]

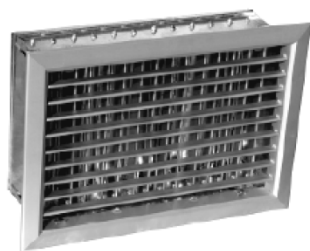


Obrázek 1.10 Směšovací proudění s kruhovým či plochým proudem a s výraznou turbulencí[13]



Obrázek 1.11 Směšovací proudění s radiálním proudem[13]

Vyústka obdélníková mřížová: obdélníková vyústka s jednou či dvěma řadami pevných či otočných listů.



Obrázek 1.12 Vyústka obdélníková mřížová[13]

Štěrbínová vyústka: obdélníková vyústka s poměrem stran větším než 10.



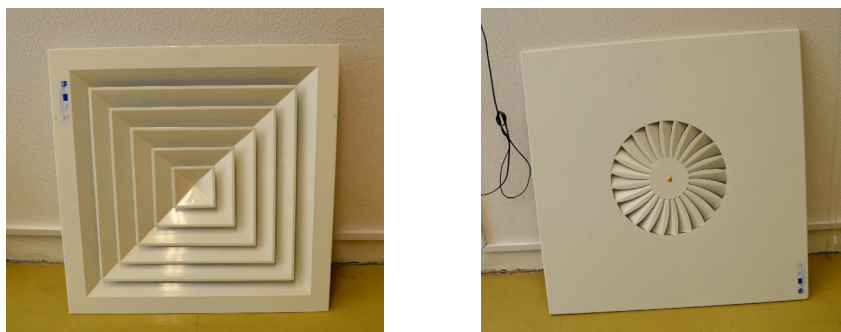
Obrázek 1.13 Štěrbínová vyústka[13][16]

Vířivá vyústka: box se čtvercovou či kruhovou čelní deskou. Čelní deska má radiálně uspořádané pevné drážky, nebo nastavitelné lamely. Přívod vzduchu je veden skrze rozptylový plech.



Obrázek 1.14 Vířivá vyústka [13]

Anemostat: čelní plocha je buď kruhové, nebo čtvercové konstrukce. Výtokové drážky jsou z pevných profilovaných lamel, které zajišťují rovnoměrné proudění vzduchu do všech směrů.



Obrázek 1.15 Anemostat

Talířový ventil: pro malé průtoky vzduchu. Regulace množství přívodního vzduchu se provádí otáčením talířů ventilu.



Obrázek 1.16 Talířový ventil [13]

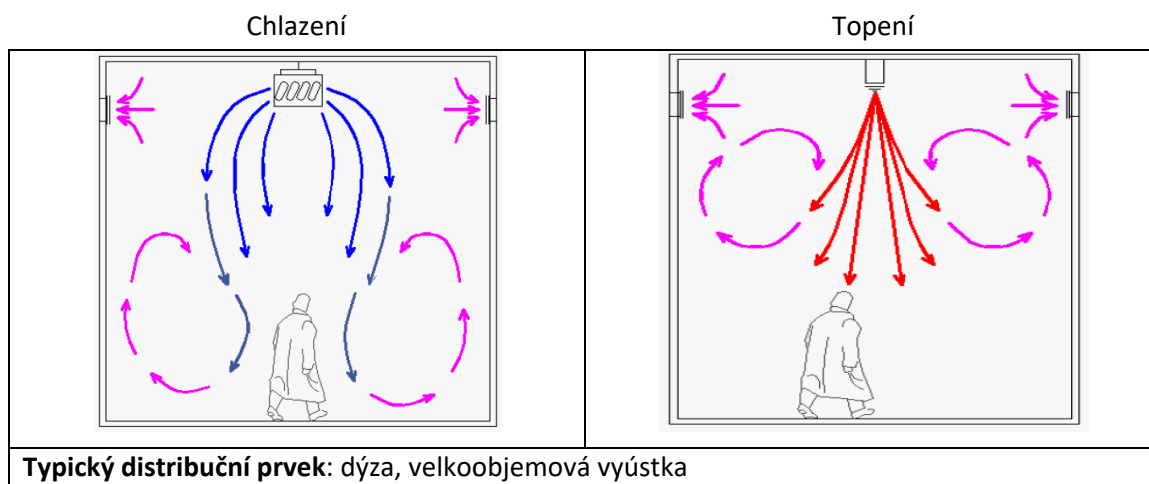
Dralova výúst: používá se pro distribuci velkého množství vzduchu s velkou teplotní diferencí (-10°C až +15°C). Nastavitelné lopatky umožňují změnu úhlu výstupu vzduchu od vodorovného až po svislý výstup. Tím je zajištěno promíchání přívodního vzduchu se vzduchem v místnosti.[13]



Obrázek 1.17 Dralova výúst [13]

1.3.4.2 Prvky používané pro směšovací proudění s kompaktním proudem vzduchu

Nejčastěji používaným prvkem jsou dýzy nebo trysky. Dále pak v menší míře velkoobjemové vyústky. Vytváří úzký a hladký proud vzduchu s velkým dosahem a malou indukci sekundárních proudů. Jejich využití se uplatní zvláště v rozlehlých a vysokých budovách, jako jsou letiště, aquaparky a různé jiné velké haly.[2]



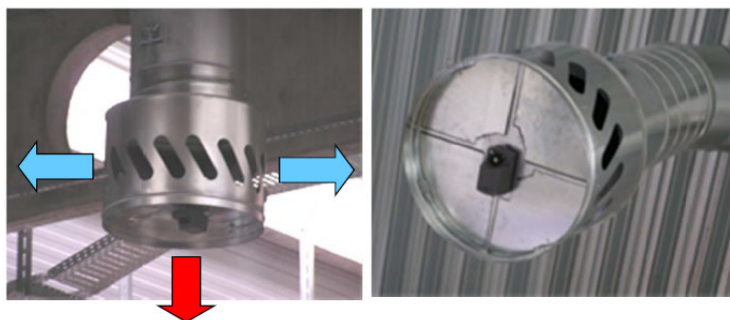
Obrázek 1.18 Směšovací proudění s kompaktním proudem vzduchu[13]

Dýza: pro distribuci vzduchu s velkým dosahem. S pevným, ručním, nebo servopohonovým nastavením směru a velikosti proudění.



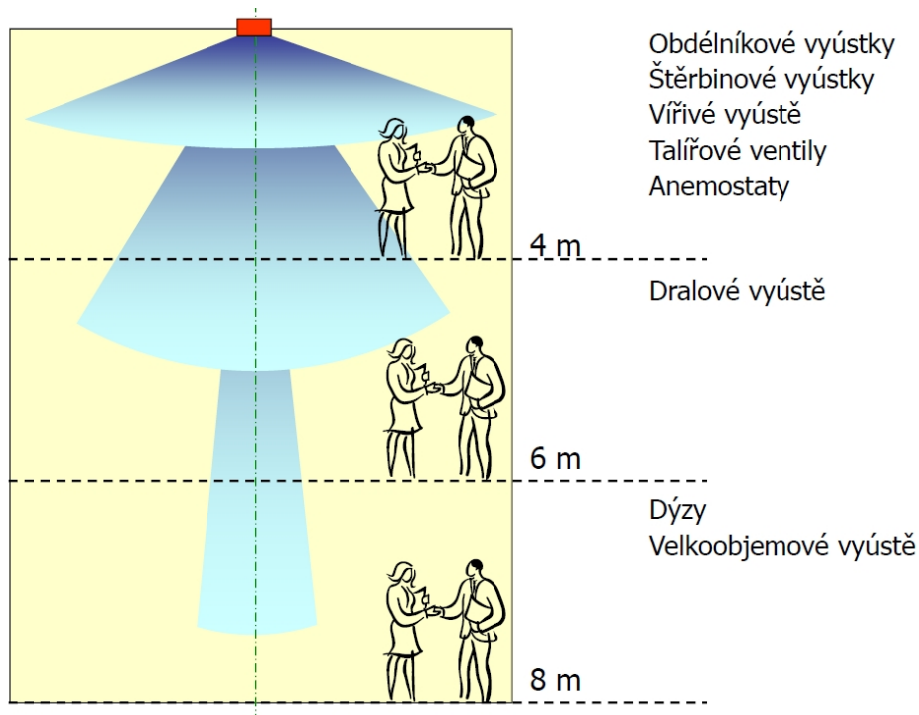
Obrázek 1.19 Dýza [13][16]

Velkoobjemová vyústka: Umožňuje přednastavit přívod vzduchu vodorovně do stran (pro chlazení) či svisle dolů (pro topení).



Obrázek 1.20 Velkoobjemová vyústka [13]

Zde je znázorněn přibližný dosah proudu vzduchu z vyústek:

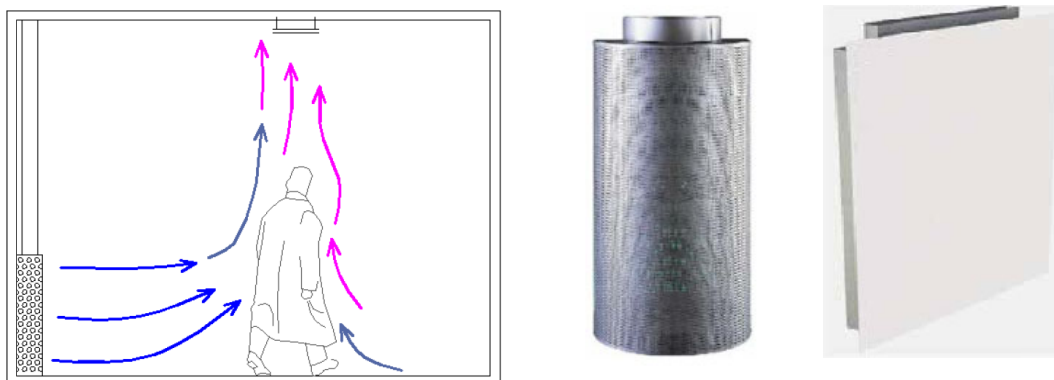


Obrázek 1.21 Dosah proudu jednotlivých vyústek[13]

1.3.4.3 Zaplavovací, zdrojové proudění vzduchu

Tímto způsobem se přivádí velké množství vzduchu přímo do pobytové oblasti člověka a tím se vytlačuje znehodnocený vzduch do podstropních prostor. Typickým představitelem je velkoplošná výústka.

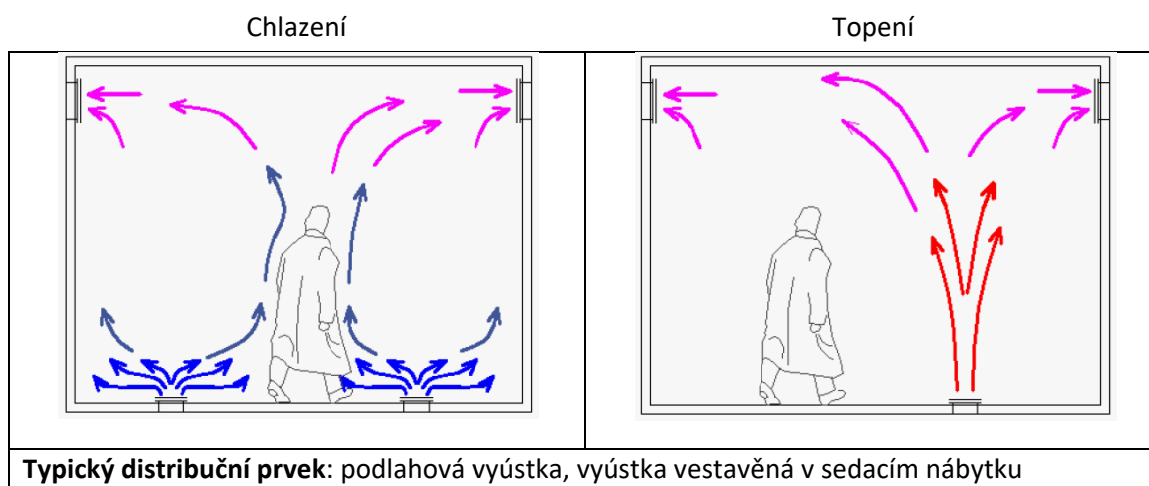
Velkoplošná výúst: Používá se v rozlehlých prostorách, kde se vyskytují malé skupiny osob, např. výrobní haly a linky, ale také v kancelářích a sportovních halách. Přiváděný vzduch vytvoří v pobytové zóně oblast čerstvého vzduchu s nízkou turbulencí. Vyústky se vyrábí v různých tvarových provedeních (kruhové, čtyřhranné, rohové...). [2]



Obrázek 1.22 Zaplavovací větrání a velkoplošná výústka [3][13][16]

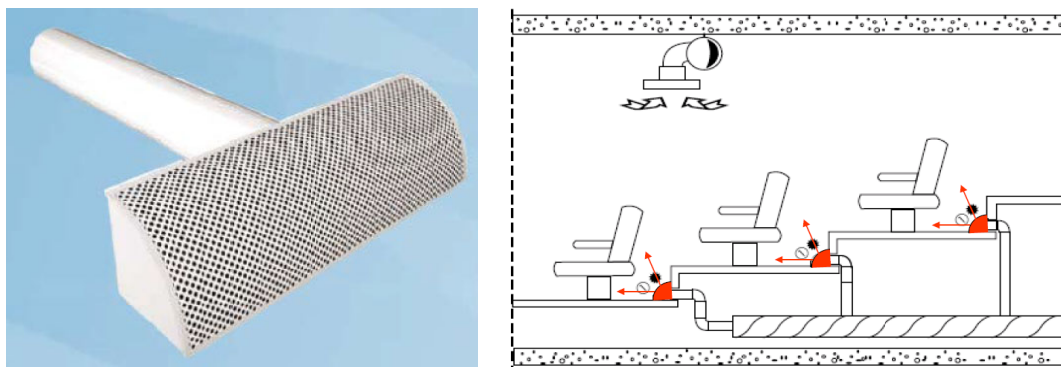
1.3.4.4 Proudění vzduchu zdola nahoru

U tohoto případu proudí vzduch z výústek umístěných v podlaze či u podlahy přímo směrem zdola nahoru do odvodních otvorů umístěných u stropu. Typickým představitelem je podlahová výústka a taktéž vyústky přímo vsazené do sedacího nábytku. Časté využití např. v posluchárnách.



Obrázek 1.23 Proudění vzduchu zdola nahoru[13]

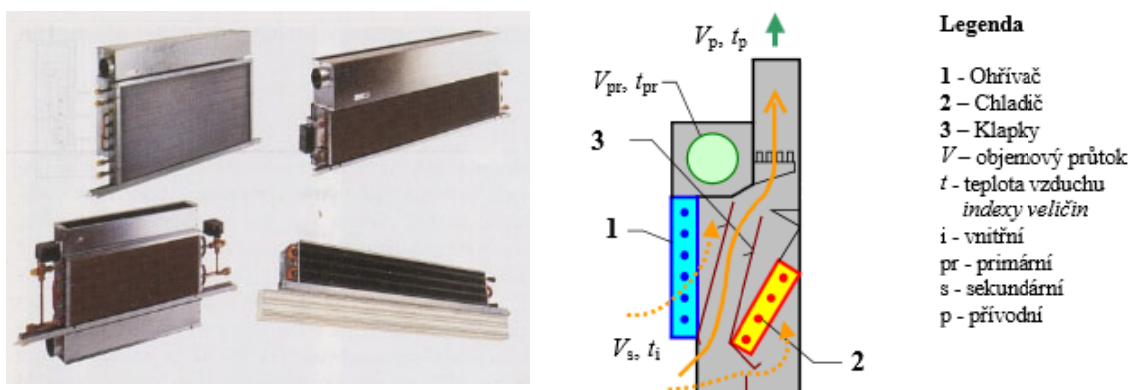
Podlahová výústka:



Obrázek 1.24 Podlahová výústka [13]

1.3.4.5 Indukční jednotky

U vysokotlakých klimatizací se jako koncový prvek používá indukční jednotka. Byla rozšířena hlavně v 60. až 80. letech minulého století, avšak v dnešní době se tento distribuční prvek stále používá. Indukční jednotka je tvořena ocelovou skříňí, tlakovou komorou s tryskami, jedním či dvěma výměníky a klapkami. Ale neobsahuje ventilátor. Hnací silou je primární vzduch. Je vyráběna v různém provedení, nejběžnější je parapetní či stropní. Do boxu jednotky je přiváděn vzduch pro větrání. Poté se vzduch upraví přes výměníky a do místnosti je nakonec vyfukován přes prvek, který vytvoří požadovaný obraz proudění vzduchu.[2]



Legenda

- 1 - Ohřivač
- 2 - Chladič
- 3 - Klapky
- V - objemový průtok
- t - teplota vzduchu
- indexy veličin*
- i - vnitřní
- pr - primární
- s - sekundární
- p - přívodní

Obrázek 1.25 Indukční jednotka[2][3]

1.4 Návrh distribučních prvků

Cílem optimálního návrhu distribučních prvků je vhodný obraz proudění vzduchu s vyhovujícími hygienickými, technologickými, fyzikálními, ekonomickými a estetickými faktory daného prostoru či místnosti v objektu.

Výstupem je pak určitý typ distribučního prvku, jeho velikost a umístění v prostoru.

1.4.1 Hodnotící kritéria při návrhu distribučních prvků

Hodnotící kritéria pro návrh distribučních prvků jsou:

- Dosah proudu
- Rychlost proudění vzduchu
- Teplota vzduchu v pobytové místnosti
- Akustika vnitřního prostředí

Dosah proudu:

O možnostech dosahu proudu u různých distribučních prvků a jejich využití pro rozdílné výšky vnitřních prostor bylo již pojednáno v předchozím textu. Přehled dosahu proudu pro různé druhy vyústek viz obrázek 1.21.

Rychlost proudění vzduchu:

Rychlost proudění se posuzuje zpravidla v oblasti pobytové zóny, tj. 1,6 - 2 m nad úrovní podlahy. Směrem od vyústky rychlost proudění vzduchu slábne. V tabulce 1.3 jsou uvedeny návrhové hodnoty rychlosti proudění vzduchu v pobytových místnostech dle vyhlášky č. 6/2003 Sb.

Tabulka 1.3 Rychlost proudění vzduchu v pobytových místnostech[10]

Období roku	Rychlost proudění [m/s]
Teplé	0,16 - 0,25
Chladné	0,13 - 0,20

Tyto hodnoty neplatí, jsou-li dány jiné požadavky na pobytové místnosti ve zdravotnických zařízeních, vyplývající z prováděných výkonů nebo léčebným procesem.[10]

Teplota vzduchu v pobytové místnosti:

Teplota vzduchu se hodnotí hlavně v pobytové zóně osob. Posuzuje se zejména výsledná teplota t_g [°C], změřená kulový teploměrem, která zahrnuje jak vliv teploty vzduchu, tak i obklopujících stěn. V tabulce 1.4 jsou uvedeny požadavky na výslednou teplotu kulového teploměru v pobytových místnostech dle vyhlášky č. 6/2003 Sb.

Tabulka 1.4 Požadavky na výslednou teplotu kulového teploměru v obytných místnostech[10]

Typ obytné místnosti ¹⁾	Výsledná teplota $t_g(^{\circ}\text{C})$ období roku	
	teplé	chladné
Ubytovací zařízení	24,0±2,0	22,0±2,0
Zasedací místnost staveb pro shromažďování většího počtu osob	24,5+1,5	22,0±2,0
Haly kulturních a sportovních zařízení	24,5±1,5	22,0±2,0
Učebny ²⁾	24,5±1,5	22,0±2,0
Ústavy sociální péče	24,0±2,0	22,0±2,0
Zdravotnická zařízení ³⁾	24,0±2,0	22,0±2,0
Výstaviště	24,5+2,5	22,0+3,0
Stavby pro obchod	23,0±2,0	19,0±3,0

1) Není-li typ prostoru uveden v tabulce. č. 1.4, vychází se z požadavku typu prostoru s obdobným charakterem činnosti.[10]

2) Učebny ve stavbách, které nejsou zařízením pro výchovu a vzdělávání.[10]

3) Nejsou-li jiné požadavky na obytné místnosti ve zdravotnických zařízeních dané prováděným výkonem nebo léčebným procesem.[10]

Akustika vnitřního prostoru:

Akustické parametry vnitřního chráněného prostoru se posuzují pomocí ekvivalentní hladiny akustického tlaku $A_{L_{Aeq,T}}$ a maximální hladiny akustického tlaku $A_{L_{Amax}}$. Hygienický limit maximální hladiny akustického tlaku $A_{L_{Amax}}$ pro hluk šířící se ze zdrojů uvnitř objektu se rovná 40 dB, přičtený či odečtený o korekci, přihlížející k druhu vnitřního chráněného prostoru a denní době. Výčet hodnot korekcí pro chráněné vnitřní prostředí některých typů staveb je uvedený v tabulce 1.5, dle nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.[11]

Tabulka 1.5 Korekce pro chráněné vnitřní prostředí některých typů staveb[11]

Druh chráněného vnitřního prostoru	Doba pobytu	Korekce v dB
Nemocniční pokoje	doba mezi 6.00 a 22.00 hodinou	0
	doba mezi 22.00 a 6.00 hodinou	-15
Lékařské vyšetřovny, ordinace	po dobu používání	-5
Obytné místnosti	doba mezi 6.00 a 22.00 hodinou	0 ⁺⁾
	doba mezi 22.00 a 6.00 hodinou	-10 ⁺⁾
Přednáškové síně, učebny a obytné místnosti škol, jestliže staveb pro předškolní a školní výchovu a vzdělávání	po dobu používání	+5

1.4.2 Vyhodnocení kvality vnitřního prostředí staveb

Vyhodnocení kvality vnitřního prostředí se poté děje za pomoci různých ukazatelů. Mezi nej-používanější patří:

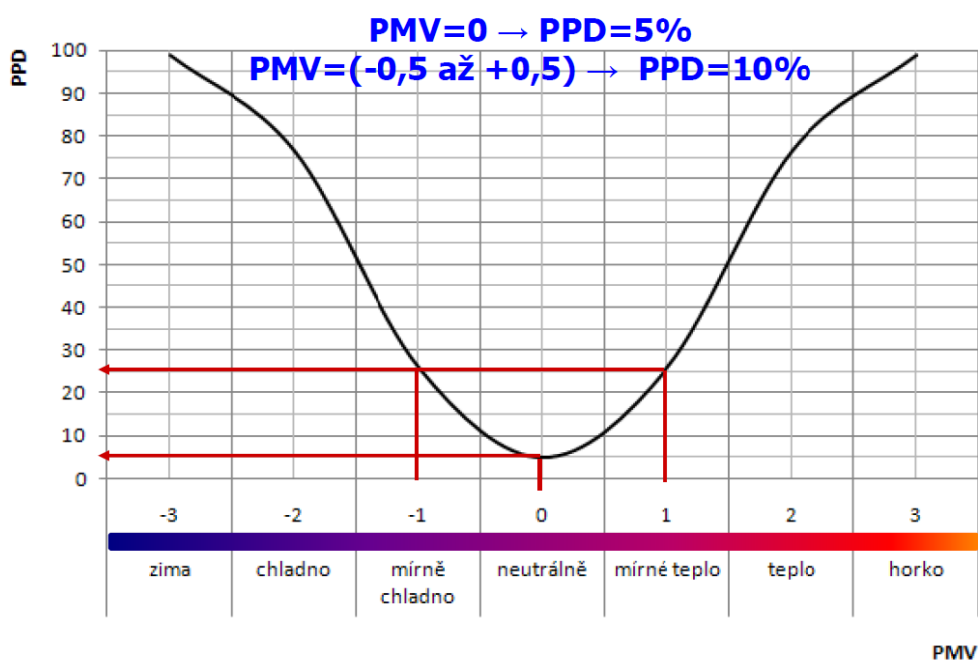
- index tepelného pocitu člověka PMV
- index podílu nespokojených PPD
- index obtěžování průvanem DR

Index tepelného pocitu PMV (Predicted mean vote):

Jedná se o ukazatel tepelné pohody uvnitř objektu, založený na předpovědi středního tepelného pocitu člověka v důsledku jeho činnosti, oděvu, teploty vzduchu, teploty okolních povrchů a proudění. Používá se pro ověření, že dané tepelné prostředí odpovídá kritériím pohody vnitřního prostředí. Nabývá hodnot -3 (zima) až 3 (horko). Při neutrálním pocitu se rovná 0.[15]

Index podílu nespokojených PPD (Predicted percentage dissatisfied):

Jedná se o kvantitativní předpověď poměrného počtu lidí, kteří budou v daném prostředí nespokojeni. S kombinací s PMV udává procentuální podíl osob, kteří budou pociťovat přílišné horko nebo chladno. [15]



Obrázek 1.26 Příklad posuzování vnitřního prostředí dle PPD a PMV [15]

Index obtěžování průvanem DR:

Vyjadřuje procentuální počet lidí, u kterých lze předpokládat pocit obtěžování průvanem. Průvan způsobuje, pohybem vzduchu, nežádoucí ochlazování lidského těla.[15]

$$DR = (34 - t_a)(v - 0,05)^{0,62} (0,37v \cdot T_u + 3,14) \quad (1.2)$$

T_u ... místní intenzita turbulence [%]

t_a ... teplota vzduchu v interiéru [°C]

v ... rychlost proudění vzduchu v interiéru [m/s]

Tabulka 1.6 Kategorie tepelného mikroklimatu budov dle ČSN EN ISO 7730 [9]

Kategorie budovy	PPD	PMV	DR
A	< 6 %	-0,2 / +0,2	< 15 %
B	< 10 %	-0,5 / +0,5	< 20 %
C	< 15 %	-0,7 / +0,7	< 25 %

1.4.3 Postup návrhu distribučního prvku

- 1) Určení okrajových podmínek vnitřního mikroklimatu místnosti, tzn. vnitřní teploty, rychlosti proudění vzduchu a akustické hodnoty.
- 2) Určení požadovaného průtoku přívodního a odvodního vzduchu v místnosti.
- 3) Zhodnocení geometrie místnosti.
- 4) Architektonické řešení a estetické požadavky vnitřního prostoru.
- 5) Technologické požadavky (obytná místnost, kuchyně, bazén...).
- 6) Zvolení vhodného obrazu proudění a s ohledem na výšku prostoru určení vhodného typu distribučního prvku.
- 7) Předběžný návrh, určení počtu kusů a schéma rozmístění distribučních prvků.
- 8) Určení rozteče mezi distribučními prvky.
- 9) Posouzení návrhu s normovými požadavky (rychlost proudění, pokles teploty, hluk) a s požadavky investora, posouzení tlakové ztráty.[3]



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

2 - EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Radek Navrátil

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR™

Ing. Petr Blasinski, Ph.D.

BRNO 2021

2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

ANALÝZA PROUDĚNÍ VZDUCHU

PROTOKOL Z MĚŘENÍ A SIMULACE

NÁZEV: 1) MĚŘENÍ SMĚRU PROUDĚNÍ VZDUCHU
2) SIMULACE SMĚRU PROUDĚNÍ VZDUCHU

DATUM MĚŘENÍ: 1) 30.9.2020
2) 8.10.2020

MÍSTO MĚŘENÍ: E520 – TZB LABORATOŘ

ZPRACOVAL: Bc. Radek Navrátil

KONTROLOVAL: Ing. Petr Blasinski, Ph.D.

2.1 Cíl práce

Cílem měření a simulace je ověřit možnost aplikace zjednodušujících geometrických modelu distribučních prvků v simulačním softwaru. Postup zpracování je rozdělen do následujících kroků:

- A) Sestavit a připravit měřící soustavu pro experimentální změření daných distribučních prvků.
- B) Za pomoci měřících pomůcek změřit přibližný směr proudění vzduchu a jeho rychlost.
- C) Vytvoření některých modelů z naměřených hodnot ve vizualizačním programu.
- D) Vytvoření zjednodušených modelů polokoule ve vizualizačním programu.
- E) Simulace proudění vzduchu.
- F) Vyhodnocení – porovnání.

Pozn.: tabulky naměřených hodnot viz přílohy P5 a P6.

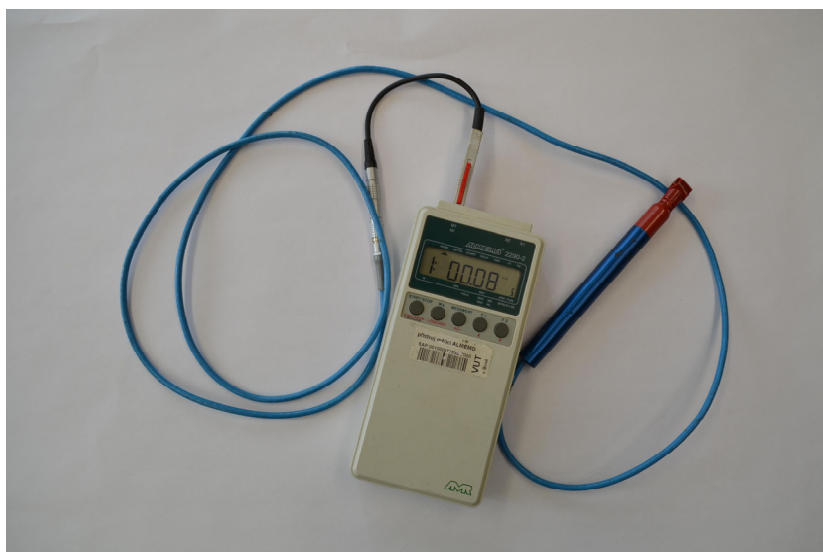
2.2 Měřicí přístroje, pomůcky a distribuční elementy

2.2.1 Měřicí přístroje a pomůcky

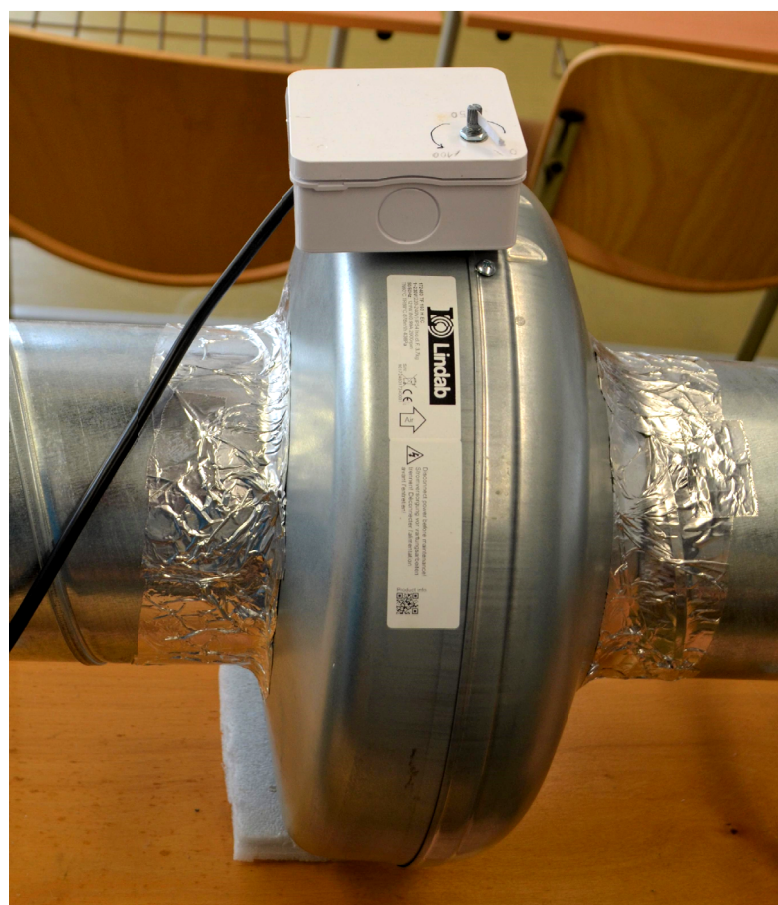
- Svinovací metr – 5m
- Odlamovací nůž
- Hliníková lepící páska
- Červená nit
- Anemometr ALMEMO 2290-2
- Radiální ventilátor Lindab TF 160H, výkon: 121W, průtok: 878 m³/h



Obrázek 2.1 Měřicí pomůcky



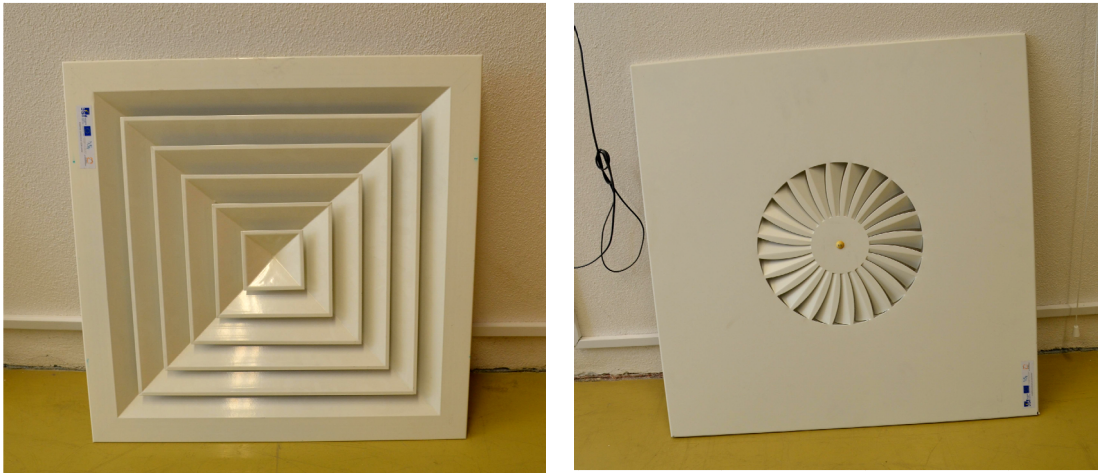
Obrázek 2.2 Anemometr ALMEMO 2290-2



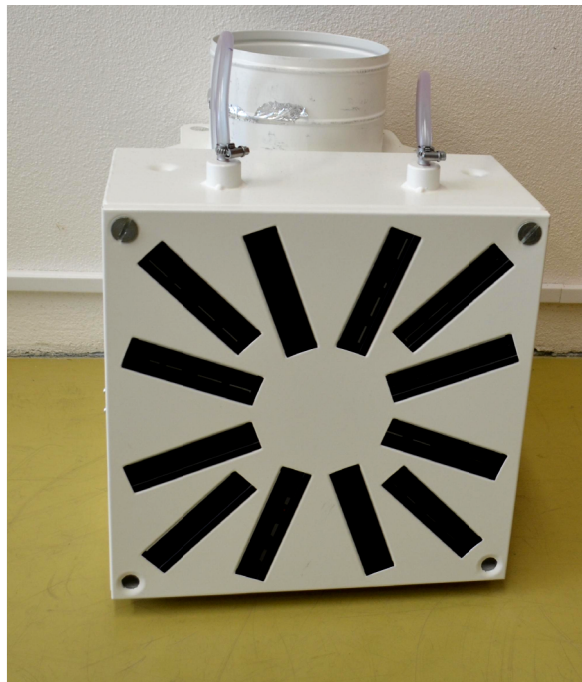
Obrázek 2.3 Radiální ventilátor Lindab TF 160H

2.2.2 Měřené distribuční elementy

- Čtyřhranný anemostat 520mm x 520mm
- Kruhový anemostat 600mm x 600mm
- Vířivá výust' 315mm x 315mm



Obrázek 2.4 Čtyřhranný a kruhový anemostat



Obrázek 2.5 Vířivá výust'

2.3 Postup měření a simulace

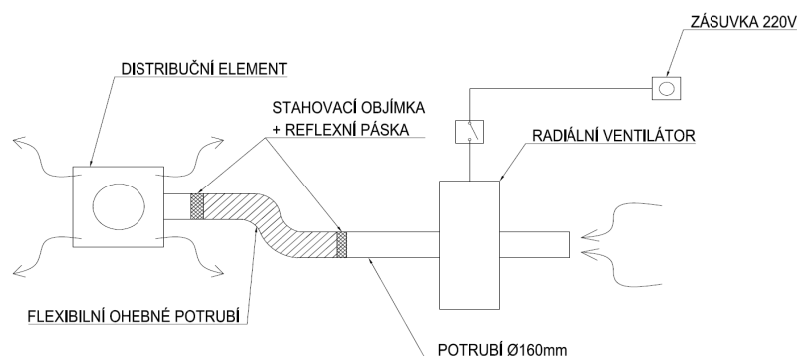
Experimentální měření probíhalo na soustavě z kruhového potrubí (obrázek 2.6). To bylo ocelové, pozinkované průměru 160 mm. Na toto potrubí byl za pomoci stahovací objímky a těsnící reflexní pásky napojen elektrický radiální ventilátor z jedné strany a příslušný měřený distribuční prvek ze strany druhé (viz schéma a fotodokumentace). V případě, že bylo připojení distribučního prvku většího průměru, byla použita redukce (např. průměr 160 mm a 200 mm). Na konci soustavy byla připevněna lišta s červenou tenkou nití, která po spuštění ventilátoru ukazovala směr proudění vzduchu. Lišta byla dále umístěna v různých polohách a na různých distribučních elementech. Za pomoci lopatkového anemometru ALMEMO 2290-2 byla změřena rychlost v daném směru proudění a za pomoci měřicí techniky pak přibližná pozice vektoru proudění vzduchu.

Za pomoci vizualizačního softwaru jsem dále vytvořil zjednodušený model vířivé vyústky s lamely pod sklonem 45° (obrázek 2.7) a s lamely vodorovnými (obrázek 2.8). A to z naměřených hodnot tak, aby směr proudění vzduchu byl přibližně stejný s naměřenými souřadnicemi. Dále byl model exportován (ve formátu stl) do simulačního softwaru, kde za pomoci tohoto programu bylo určeno přibližné proudění vzduchu z tohoto distribučního prvku v modelové místnosti 8 m x 8 m x 5 m.

Poté byly ve vizualizačním programu vymodelovány různé modely polokoule, či polokoule utnuté o kulový vrchlík, nebo jen kulový vrchlík s mezikružím. Tyto modely byly poté taktéž vloženy do simulačního softwaru.

Dále byly porovnány obrazy proudění vzduchu z těchto zjednodušených alternativních modelů s obrazy proudění z reálných modelů vyústky. Nakonec byla ze skalárního pole určena rychlost proudění vzduchu v síti bodů okolo distribučních prvků a porovnána vzájemná shoda mezi nejpodobnějšími modely.

Schéma měřicí soustavy:



Obrázek 2.6 Schéma měřicí soustavy

2.3.1 Měření směru proudění vzduchu

Měření bylo provedeno pro tři různé distribuční prvky, přičemž u posledního prvku – vířivé vyústky byla možnost nastavení lamel. U tohoto prvku byl změřen směr proudu při lamelách přibližně pod úhlem 45° a poté s úhlem lamel přibližně vodorovným. Nastavení výkonu ventilátoru bylo zvoleno na maximum z důvodu zřetelnosti směru proudu vzduchu. Pro každý tento distribuční prvek byla změřena rychlost proudění v [m/s] ve směru proudění a byly změřeny souřadnice přibližného vektoru směru proudu vzduchu v milimetrech, a to ve směrech x, y a z (viz fotodokumentace).

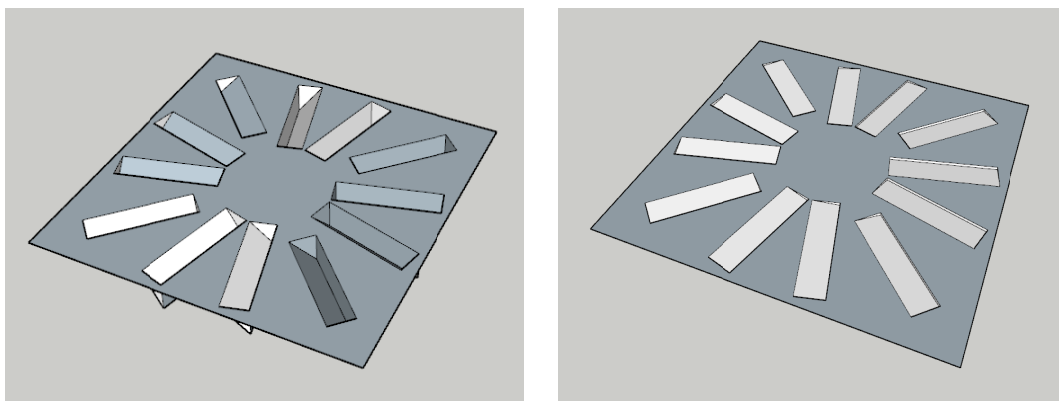
2.3.2 Simulace směru proudění vzduchu

Proces simulace je složený z 3 částí:

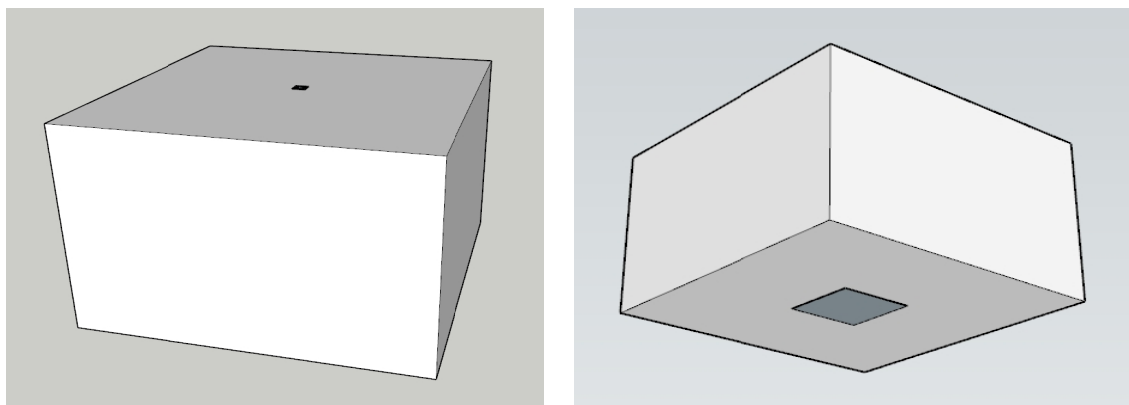
- Pre-processing
- Processing
- Post-processing

2.3.2.1 Pre-processing – tvorba modelu

Na základě naměřených hodnot byl ve vizualizačním programu vytvořen odpovídající model vířivé vyústky s oběma případy natočení lamel. Tedy pod sklonem 45° (obrázek 2.7 vlevo) a s lamely vodorovnými (obrázek 2.7 vpravo). Tyto modely byly vsazeny do modelové místnosti o půdorysu 8 m x 8 m s výškou 5 m. Dále byl v místnosti vytvořen odvodní otvor 2 m x 2 m v podlaze místnosti. Tento model byl dále importován do simulačního softwaru ve formátu stl.



Obrázek 2.7 Model vířivé vyústky s lamely pod 45°(vlevo) a lamely vodorovnými (vpravo)

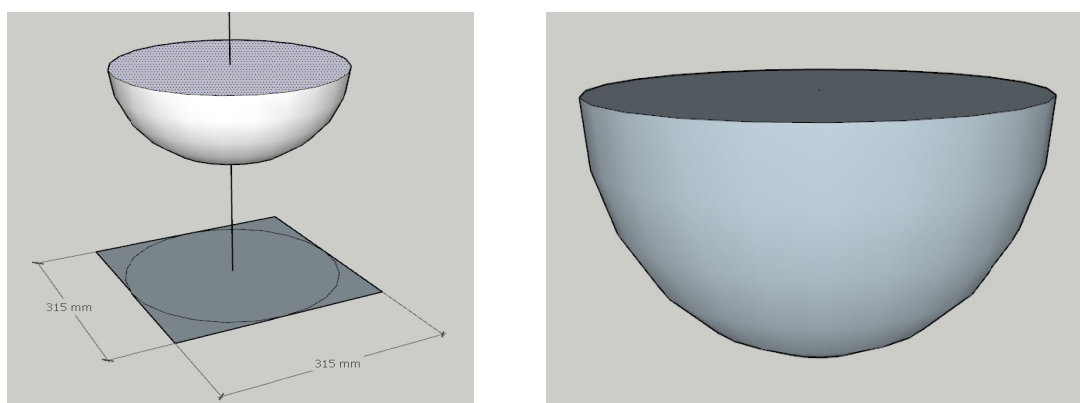


Obrázek 2.8 Modelová místnost s výústkou (vlevo) a s odvodním otvorem (vpravo)

Dále byly vytvořeny zjednodušené alternativní modely výústky o různých tvarech polokoule. Jednotlivé modely jsem postupně upravoval a snažil se dojít co nejvíc podobného řešení s reálným modelem výústky. Zjednodušené výústky byly vsazeny do modelové místnosti o stejném půdorysu 8 m x 8 m s výškou 5 m. Dále byl v místnosti vytvořen stejný odvodní otvor 2 m x 2 m v podlaze místnosti. Na těchto modelech byla dále udělána simulace proudění vzduchu v simulačním softwaru. Toto řešení výstupní podmínky bylo zvoleno jako kompromis požadavků dobré konvergence výsledků a minimalizace ovlivnění přírodního proudu vzduchu z důvodu vlivu přirozené bariéry okolních stěn a odvodu vzduchu z modelové místnosti.

Model polokoule (dále model č.1)

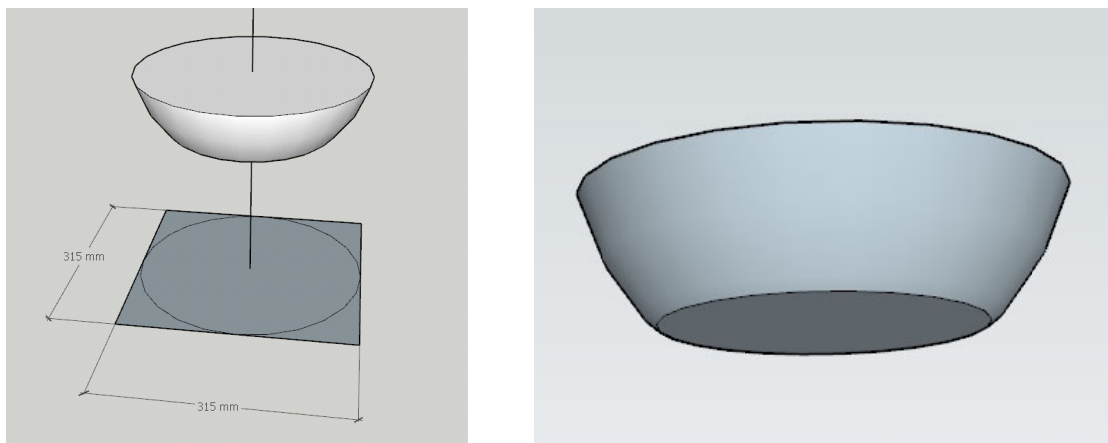
Jako poloměr polokoule byl vzat poloměr kružnice vepsané ve čtverci 315 mm x 315 mm z původních rozměrů výústky. Poloměr polokoule je tedy 157,5 mm (viz obrázek 2.9).



Obrázek 2.9 Model polokoule

Model polokoule utnuté o kulový vrchlík (dále model č.2)

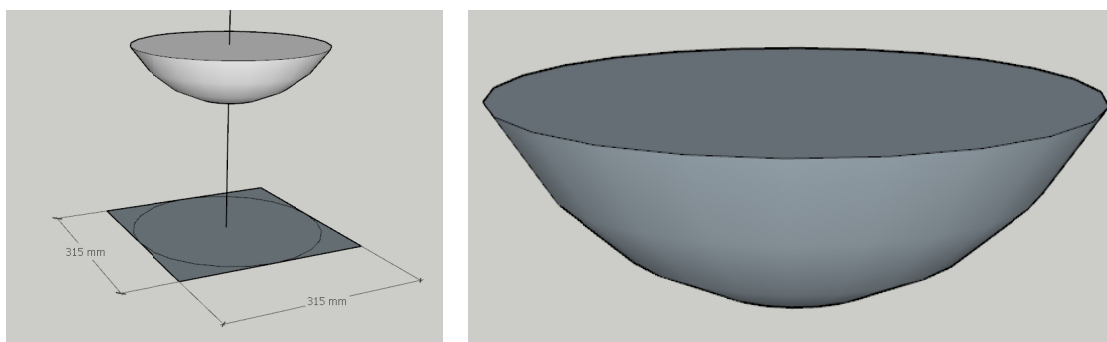
Jako poloměr polokoule byl vzat poloměr kružnice vepsané ve čtverci 315 mm x 315 mm z původních rozměrů výustky. Poloměr polokoule je tedy 157,5 mm. Výška utnutého vrchlíku byla $\frac{1}{4}$ poloměru, tedy 39,375 mm (viz obrázek 2.10).



Obrázek 2.10 Model polokoule utnuté o kulový vrchlík

Model kulového vrchlíku (dále model č.3)

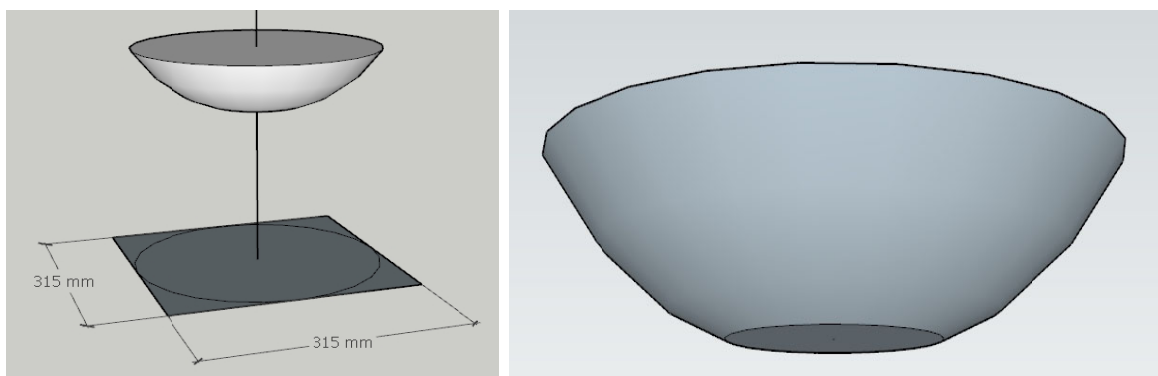
Jako vrchní podstava vrchlíku byla vzata kružnice vepsaná ve čtverci o rozměrech 315 mm x 315 mm z původních rozměrů výustky. Poloměr kružnice je tedy 157,5 mm. Výška vrchlíku od kružnice je 90 mm (viz obrázek 2.11).



Obrázek 2.11 Model kulového vrchlíku

Model kulového vrchlíku částečně utnutý o menší vrchol (dále model č.4)

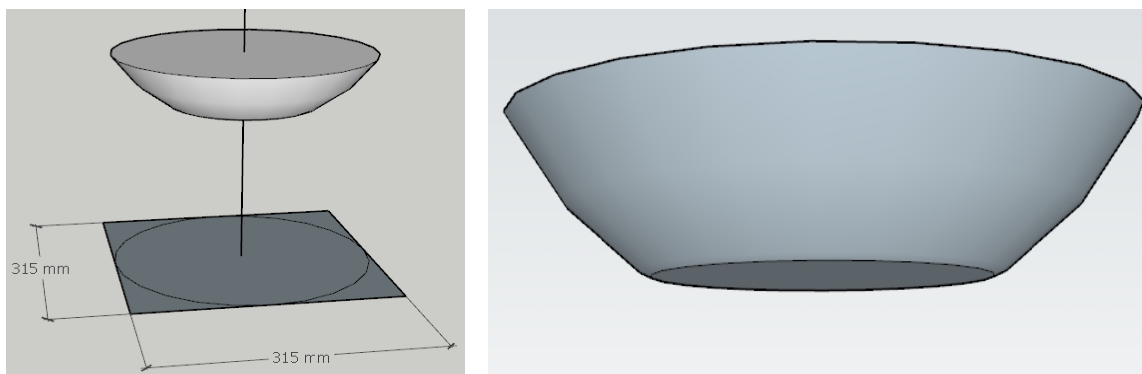
Jako vrchní podstava vrchlíku byla vzata kružnice vepsaná ve čtverci o rozměrech 315 mm x 315 mm z původních rozměrů vyústky. Poloměr kružnice je tedy 157,5 mm. Výška vrchlíku od kružnice je 80 mm. Poloměr spodní utnuté kružnice je 60 mm (viz obrázek 2.12).



Obrázek 2.12 Model kulového vrchlíku částečně utnutý o menší vrchol

Model kulového vrchlíku částečně utnutý o větší vrchol (dále model č.5)

Jako vrchní podstava vrchlíku byla vzata kružnice vepsaná ve čtverci o rozměrech 315 mm x 315 mm z původních rozměrů vyústky. Poloměr kružnice je tedy 157,5 mm. Výška vrchlíku od kružnice je 70 mm. Poloměr spodní utnuté kružnice je 85 mm (viz obrázek 2.13).



Obrázek 2.13 Model kulového vrchlíku částečně utnutý o větší vrchol

2.3.2.2 Pre-processing – výpočtová síť a okrajové podmínky

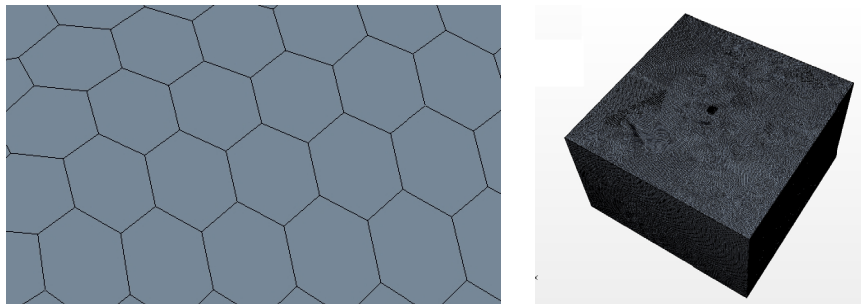
Výpočtová síť

Po importu modelů do simulačního programu bylo nutné tyto rozdělit na jednotlivé části, aby jim bylo možno přiřadit fyzikální vlastnosti. V tomto případě rychlost proudění v m/s. Jednotlivé části jsou plochy vstupu rozdělené na jednotlivé lamely, plochy výstupu a zbylé plochy – stěny.

Dále bylo nutné vytvořit výpočtovou síť modelu. Její typ, vlastnosti a jemnost mají výrazný vliv na kvalitu výstupu a také na čas výpočtu v programu. Prvně bylo nutné specifikovat vlastnosti výpočtové sítě:

- Polyhedralní síť
- Maximální velikost buňky 50 mm

Na základě těchto vlastností byla vytvořena nejdříve povrchová a poté objemová síť s celkovým počtem přes 2 400 000 buněk pro všechny modely (obrázek 2.14).



Obrázek 2.14 Výpočtová síť

Po úspěšném vytvoření výpočtové sítě bylo nutné stanovit fyzikální vlastnosti modelu, aby bylo možno dosáhnout reálných výsledků:

- Gravity
- Two-layer All γ +Wall Treatment
- Exact Wall Distance
- Realizable K-Epsilon Two-Layer
- K-Epsilon Turbulance
- Ryenolds-Averaged Navier-Stokes
- Turbulent
- Segregated Fluid Temperature
- Ideal Gas
- Gradients
- Segragated flows
- Gas
- Steady
- Three Dimensional

Zjednodušeně tedy gravitace, turbulentní proudění vzduchu, ideální plyn, tři dimenze atd.

Okrajové podmínky

Nastavení okrajových podmínek je nedílnou součástí této analýzy. Pro jednotlivé části ploch (vstup, výstup, stěna) byly tyto podmínky stanoveny zvlášť.

- Pro přívodní plochy vzduchu – lamely byly nastaveny jako rychlostní podmínky (Velocity inlet)
- Pro odvodní plochu vzduchu byly nastaveny tlakové podmínky (Pressure outlet)
- Plochy ohraničujících stěn byly nastaveny jako stěna (Wall)
- Zbylá plocha vyústky byla nastavena jako stěna (Wall)

Pro oba modely s lamelami pod sklonem 45° a s lamelami vodorovnými (obrázek 2.7) byla dále upřesněna rychlost proudícího vzduchu a to pro každou lamelu dle změřených hodnot (viz příloha P6).

Rychlost proudícího vzduchu pro zjednodušené alternativní modely různých typů polokoule byla určena dle výpočtu na základě průtoku vzduchu z naměřených hodnot. Průtok byl spočten z průměrné rychlosti již změřené vyústky, a to 0,284 m³/s. Poté byla vzata přesná plocha zjednodušených modelů pro vyústku a dle vztahu níže spočtena rychlost proudění vzduchu pro zjednodušené modely viz tabulka 2.1.

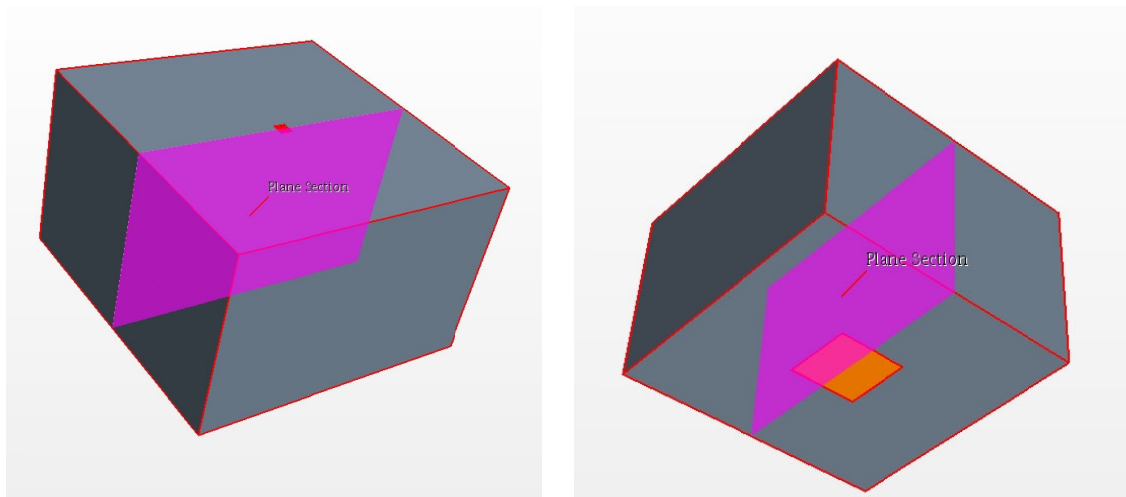
$$\text{rychlost } (v) = \frac{\text{průtok vzduchu}}{\text{plocha vyústky}}$$

Tabulka 2.1 Stanovení rychlosti proudění vzduchu u zjednodušených modelů

Zjednodušený model	Průtok vzduchu [m ³ /s]	Plocha [m ²]	Rychlost [m/s]
Model č.1	0,284	0,307	0,93
Model č.2		0,077	3,69
Model č.3		0,103	2,76
Model č.4		0,092	3,09
Model č.5		0,077	3,69

Volba zobrazení výsledků

Bylo nutné zvolit vhodné vyobrazení výstupu z programu tak, aby byly výsledky zřejmé a dobře čitelné. K tomu byla vytvořena příčná řezová rovina, jdoucí přes střed modelu (viz obrázek 2.15), kterou jsem proložil ve skalárním poli ve všech modelech.



Obrázek 2.15 Volba řezové roviny

2.3.2.3 Processing – řešič

Průběh řešení CFD simulace je možno sledovat v grafu reziduál, který má na svislé ose velikost odchylky a na vodorovné ose počet spočtených iterací. Pro stabilní řešení musí hodnoty odchylek konvergovat směrem k nule. Toho jsem dosáhl vhodným zadáním a také množstvím spočtených iterací. Řešení mi konvergovalo.

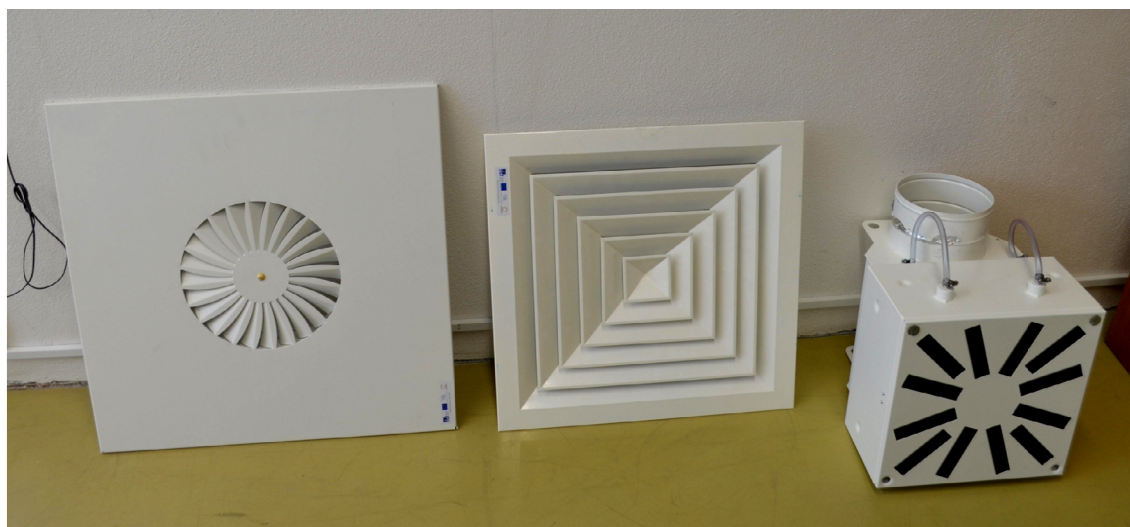
2.3.2.4 Post-processing – Zpracování a porovnání výsledků

Na základě výstupu z programu jsem zhodnotil dané skalární pole rychlosti proudění vzduchu v modelové místnosti. Určil jsem síť okolo distribučního prvku v nejvíce si podobných modelech a vyhodnotil podobnost proudění vzduchu a tedy shodu těchto modelů s reálným modelem.

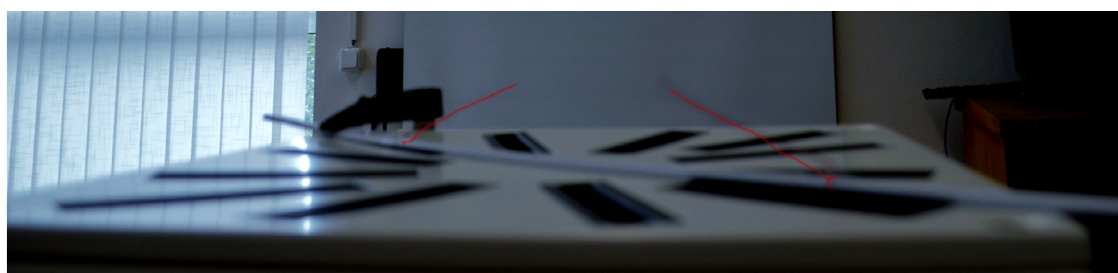
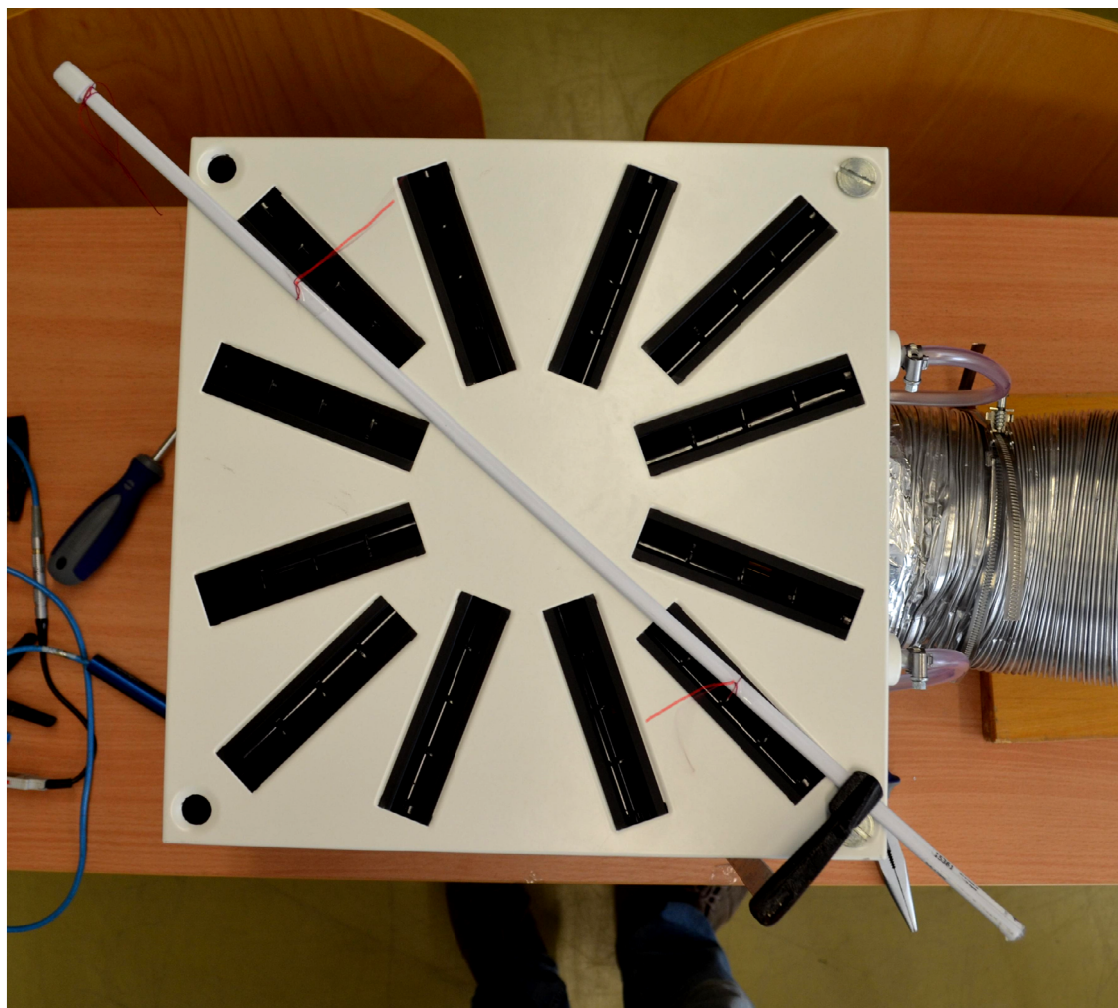
2.4 Fotodokumentace



Obrázek 2.16 Měřicí soustava s ventilátorem



Obrázek 2.17 Měřené distribuční prvky



Obrázek 2.18 Měření vířivé vyústě - pomocí nitě určení směru proudění vzduchu - horní a 2x boční pohled



Obrázek 2.19 Měření rychlosti proudění vzduchu z vyústky



Obrázek 2.20 Měření směru proudu vzduchu z vyústky

2.5 Naměřené hodnoty

Viz přílohy:

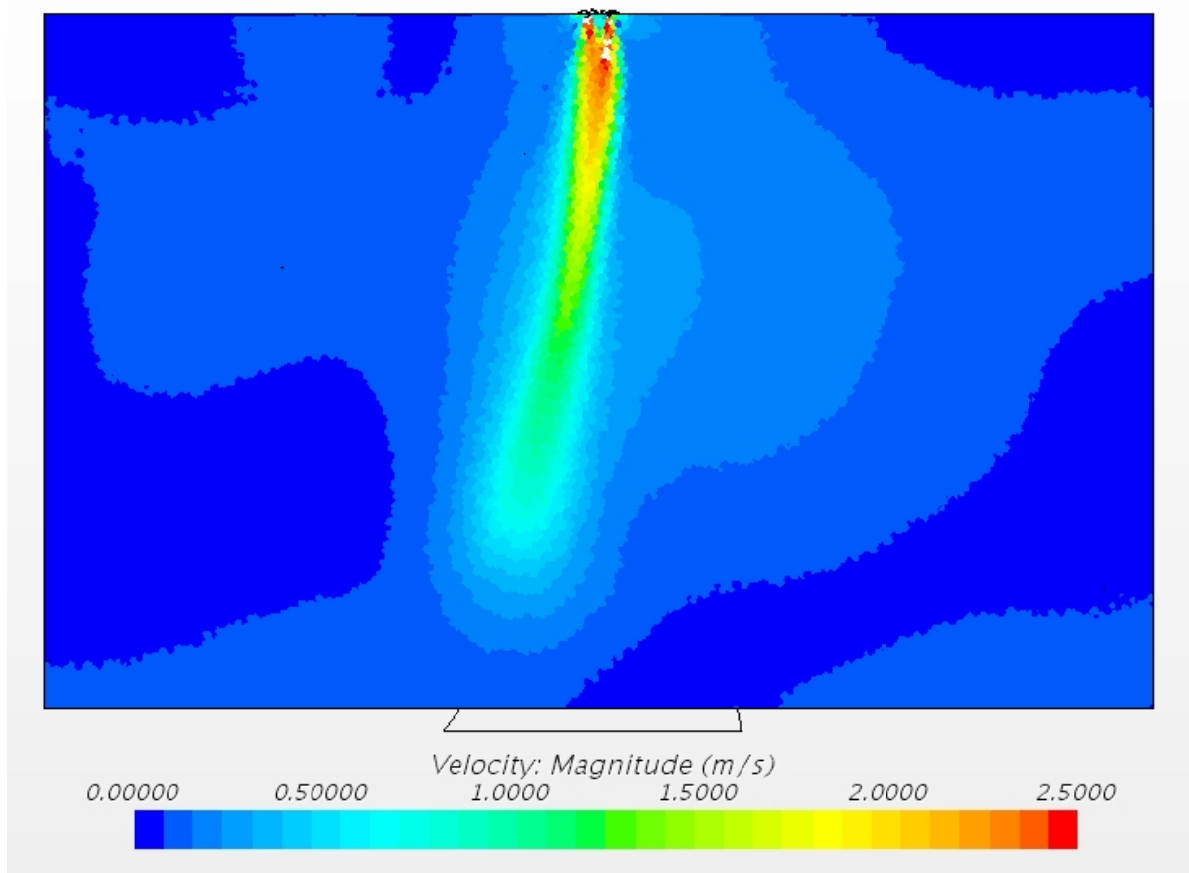
P5 - Tabulky souřadnic vektorů směru proudění vzduchu pro jednotlivé distribuční prvky

P6 - Tabulky rychlosti proudění ve směru proudu vzduchu pro jednotlivé distribuční prvky

2.6 Výsledky měření a simulace

Skalární pole rychlosti proudění vzduchu v modelové místnosti

- 1) Simulace reálného modelu vířivé vyústky s lamely vodorovnými

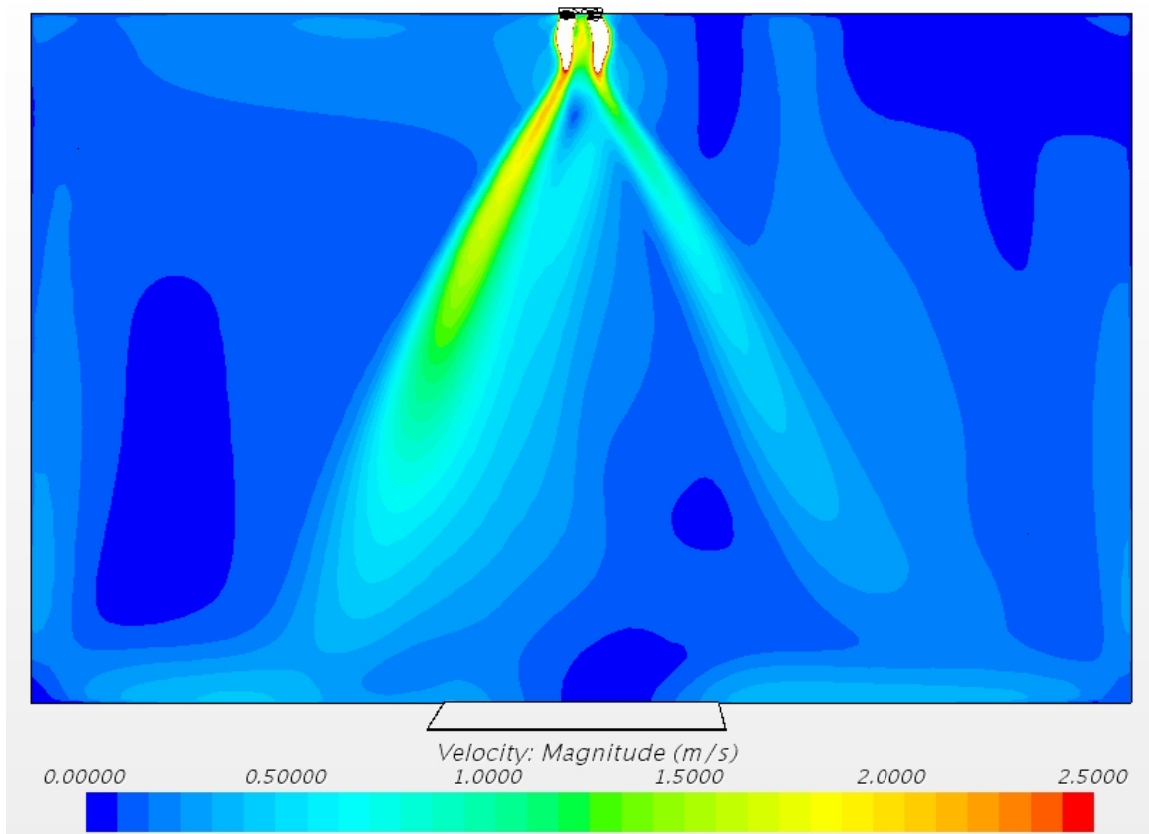


Obrázek 2.21 Skalární pole vířivé vyústky s lamely vodorovnými

Pozn.:

Z obrázku 2.21 je možno vidět přibližný obraz proudění vzduchu z tohoto typu vyústky. Je patrné, že díky natočení lamel vodorovně je směr proudu strháván jako kompaktní svislý kruhový proud směrem dolů k odvodnímu otvoru v podlaze. Lehké vyosení směru proudu do strany je způsobeno nejspíše lehce různými rychlostmi vzduchu v jednotlivých lamelách (způsobené nepřesným natočením všech lamel do naprosto stejné polohy). Největší rychlosti je dosaženo v okolí vyústky, poté rychlost postupně klesá směrem k odvodnímu otvoru. Částečně se také rozvíří i okolní vzduch směrem ke stěnám, avšak jen velmi málo.

2) Simulace reálného modelu vířivé vyústky s lamely pod 45°

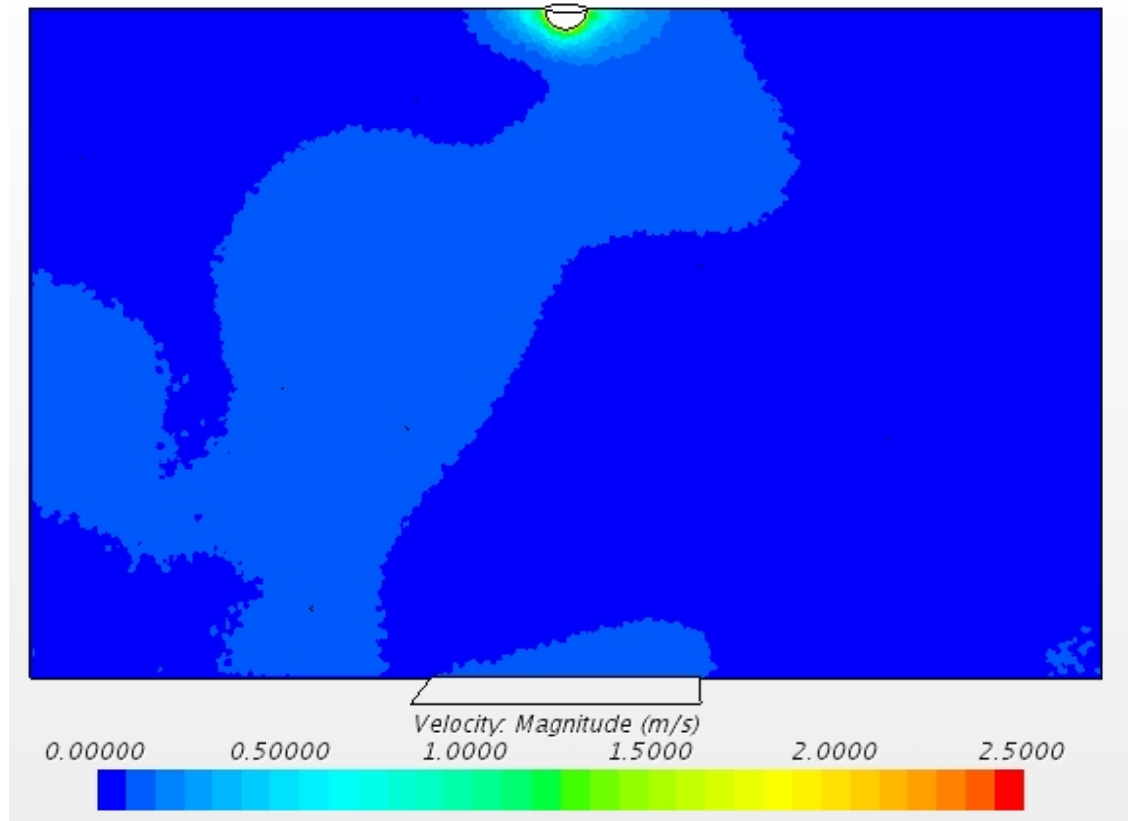


Obrázek 2.22 Skalární pole vířivé vyústky s lamely pod 45°

Pozn.:

Z obrázku 2.22 je možno vidět přibližný obraz proudění vzduchu z tohoto typu vyústky. Při natočení lamel již proud vzduchu není zcela kompaktní, ale stává se více kuželovým, a to díky natočení lamel pod úhlem 45°. Úhel kuželového proudu je přibližně 35° vzhledem ke svislé ose. Kuželový proud vzduchu zde vytváří už znatelné zaplavení místnosti směrem do stran oproti obrázku 2.21. Avšak také vzniká zóna malých rychlostí a to ve středu kužele směrem k odvodnímu otvoru. Lehké vyosení směru proudu do strany je způsobeno nejspíše lehce různými rychlostmi vzduchu v jednotlivých lamelách (způsobené nepřesným natočením všech lamel do naprosto stejné polohy). Největší rychlosti je dosaženo v okolí vyústky, ještě v polovině výšky místnosti (tedy v 2,5m od podlahy) je rychlost vzduchu stále poměrně velká. Poté rychlost postupně klesá směrem k odvodnímu otvoru. Výrazně více zde dochází k zaplavení místnosti směrem do stran, od podlahy pak vzduch stoupá okolo stěn.

3) Simulace zjednodušeného modelu č.1 - polokoule



Obrázek 2.23 Skalární pole model č.1 - polokoule

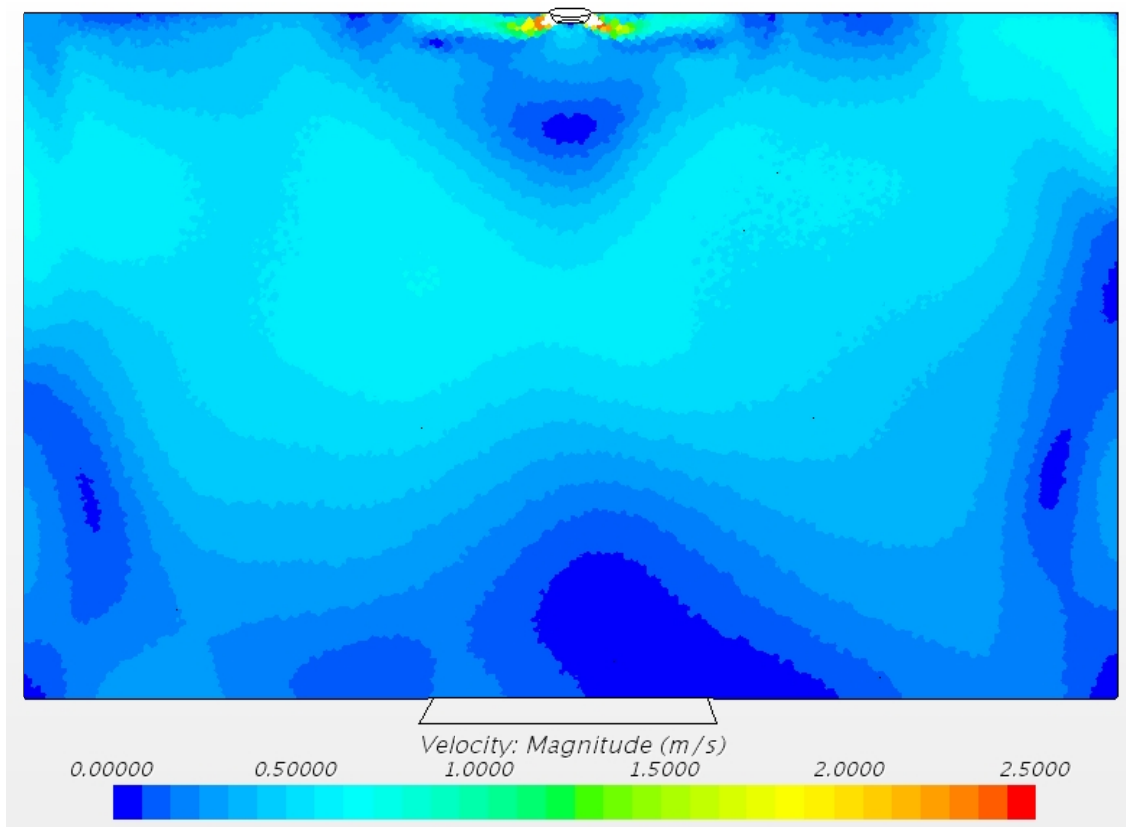
Pozn.:

Z obrázku 2.23 je možno vidět přibližný obraz proudění vzduchu z modelu polokoule, která vznikla z kružnice vepsané do původního čtvercového rozměru vířivé výústky, tedy průměr 315 mm. Jelikož tvar polokoule má oproti jiným modelům velkou plochu, tak výsledná rychlost proudícího vzduchu zdaleka neodpovídá rychlostem z reálné výústky. Proto jsem pokračoval u dalších typů modelu cestou zmenšování plochy a tím i přiblížení se reálným obrazům proudění.

U tohoto obrazu proudění lze i vidět, že vzduch celkem rovnoměrně proudí na všechny strany stejně. Rychlost proudění je zde velmi nízká, pohybuje se okolo 0,25 m/s. V okolí výústky vzduch proudí rychleji.

Obraz proudění vzduchu tohoto modelu se nějak výrazně nepodobá obrazu proudění pro model vířivé výústky s lamely vodorovnými (obrázek 2.21) ani s lamelami pod 45° (obrázek 2.22).

4) Simulace zjednodušeného modelu č.2 - polokoule utnutá o kulový vrchlík



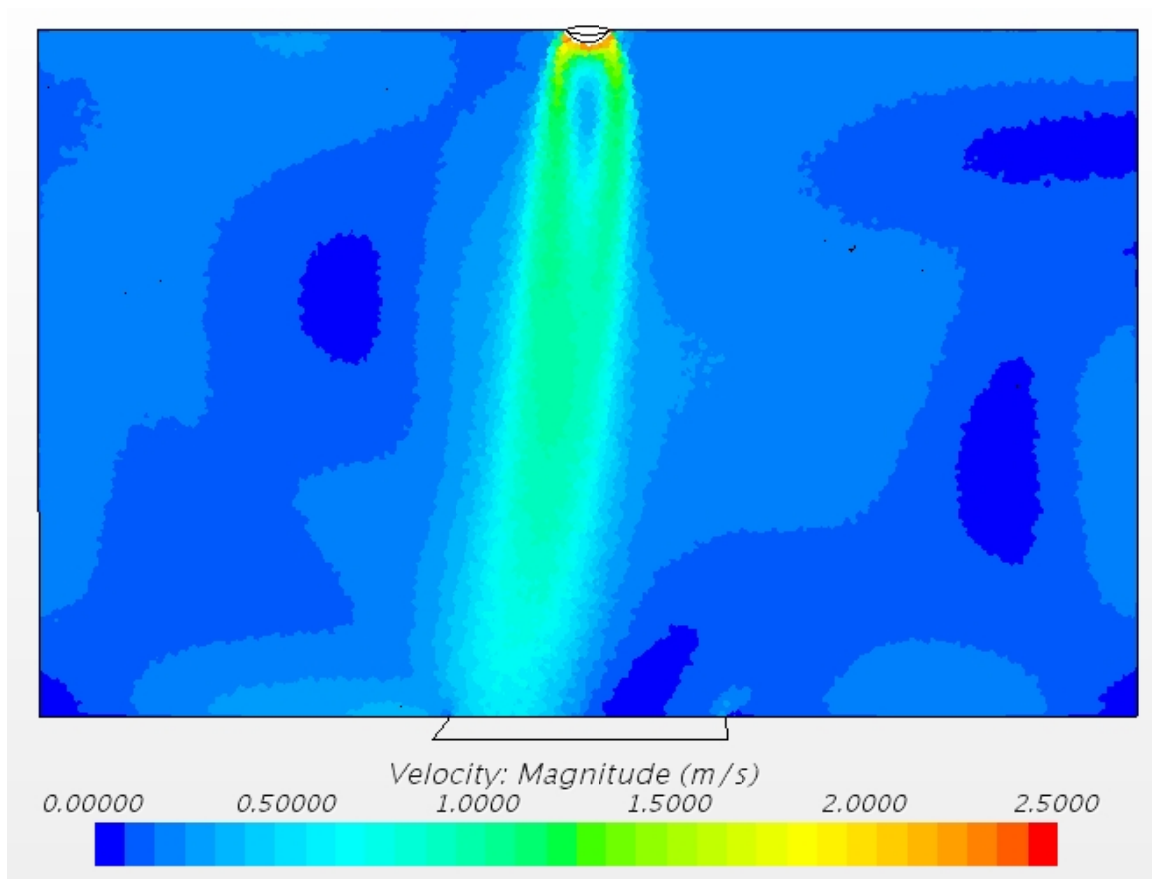
Obrázek 2.24 Skalární pole model č.2 - polokoule utnutá o kulový vrchlík

Pozn.:

Z obrázku 2.24 je možno vidět výrazné rozdělení proudu vzduchu do stran směrem k obvodovým stěnám. Úhel proudu vzduchu od svislice je asi 75° , dochází k zaplavení místnosti a rychlost proudu vzduchu se zde poměrně pěkně sjednotí do podobných hodnot okolo 1 m/s. Větší rychlost se zde drží spíše v horních oblastech a směrem k podlaze postupně klesá.

Tento model má sice z hlediska rozložení rychlosti proudu zajímavý obraz proudění vzduchu, avšak nepříliš podobný obrazu proudění pro model vířivé vyústky s lamely vodorovnými (obrázek 2.21), ani s lamelami pod 45° (obrázek 2.22).

5) Simulace zjednodušeného modelu č.3 - kulový vrchlík



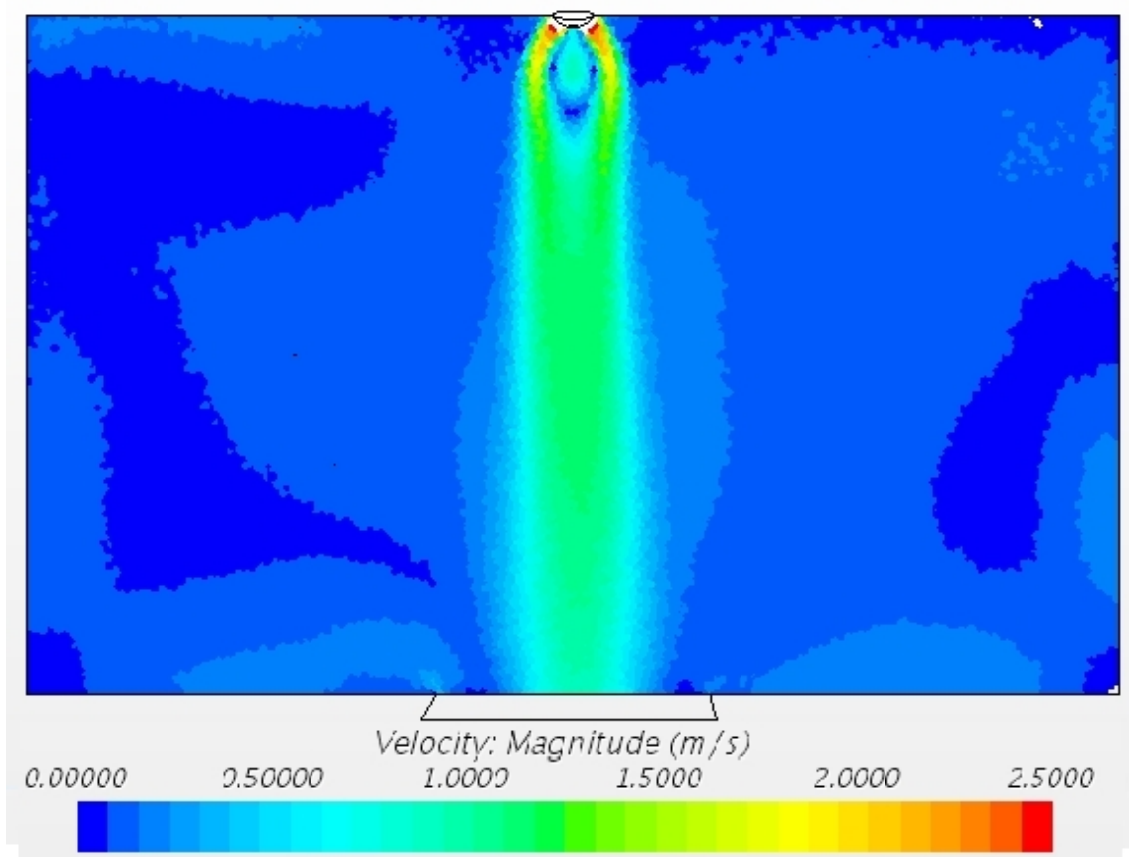
Obrázek 2.25 Skalární pole model č.3 - kulový vrchlík

Pozn.:

Z obrázku 2.25 je možno vidět kompaktní kruhový téměř svislý proud vzduchu od vyústky směrem k odvodnímu otvoru. Pouze pod vyústkou je malá oblast, kde vzduch neproudí kompaktně. Zároveň zde ale nedochází k velkému zaplavení místnosti do stran ke stěnám. Rychlost zde klesá od vyústky směrem k podlaze. Na stranách okolo stěn vzduch téměř neproudí. Na pravé straně vznikají malé oblasti, kde vzduch neproudí vůbec.

Tento model se z hlediska směru proudu vzduchu poměrně dost podobá obrazu proudění z modelu vířivé vyústky s lamely vodorovnými (obrázek 2.21). Rychlost proudu vzduchu je zde ale menší a ne tolik výrazná.

6) Simulace zjednodušeného modelu č.4 - kulový vrchlík částečně utnutý o menší vrchol



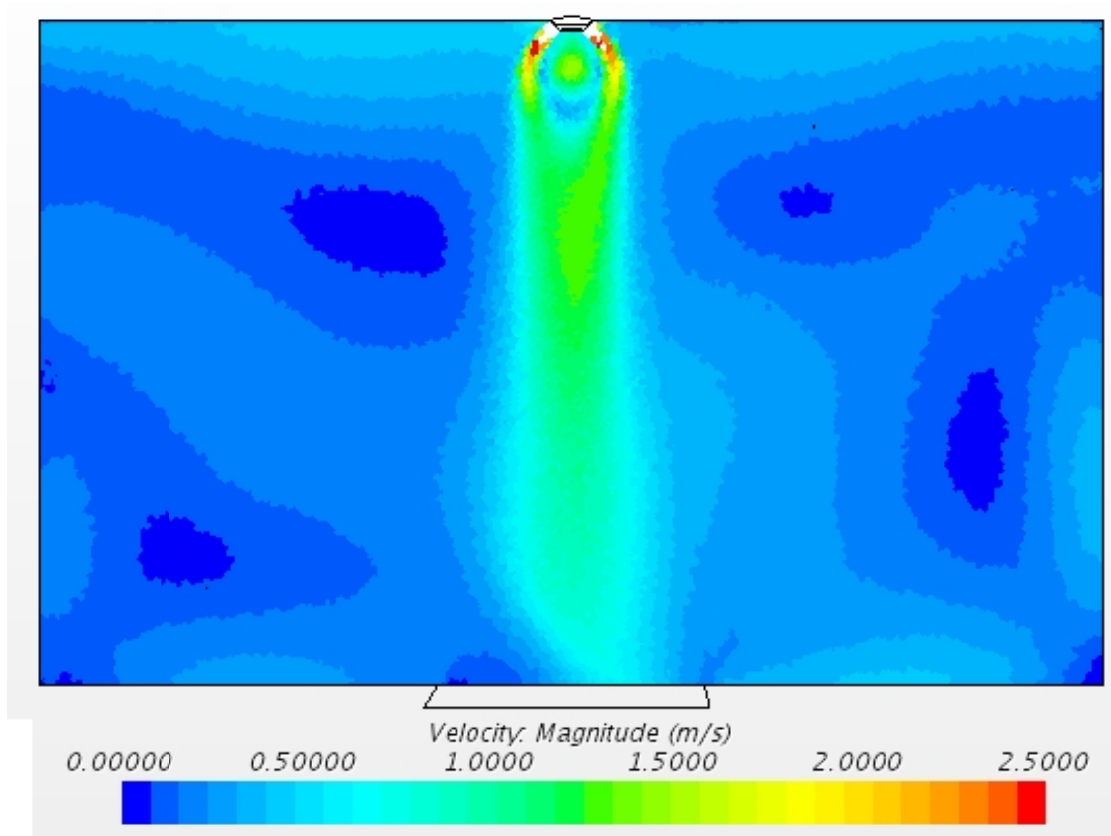
Obrázek 2.26 Skalární pole modelu č.4 - kulový vrchlík částečně utnutý o menší vrchol

Pozn.:

Na obrázku 2.26 vidíme částečně kruhový a téměř svislý proud vzduchu od výstky směrem k odvodnímu otvoru. V oblasti pod výstky vzniká část, kde vzduch proudí pomaleji a tvoří se zde rychlostní víry. Zároveň je zde proud vzduchu roztrhnut do kužele pod úhlem téměř 35° (což je způsobeno utnutím vrcholu), ale velmi záhy se proud vzduchu opět spojuje do jednoho kompaktního proudu směrem k odvodnímu otvoru. Také zde ale nedochází k velkému zaplavení místnosti do stran ke stěnám místnosti. Rychlost přímo pod výstky je poměrně značná (okolo 1,25 m/s), ale postupně klesá směrem k podlaze. Na stranách okolo stěn vzduch téměř neproudí.

Horní část modelu se z hlediska směru proudu vzduchu lehce podobá obrazu proudění z modelu vířivé výstky s lamely pod 45° (obrázek 2.22). Avšak níže směrem k podlaze je směr proudu již nepodobný.

7) Simulace zjednodušeného modelu č.5 - kulový vrchlík částečně utnutý o větší vrchol



Obrázek 2.27 Skalární pole modelu č.5 - kulový vrchlík částečně utnutý o větší vrchol

Pozn.:

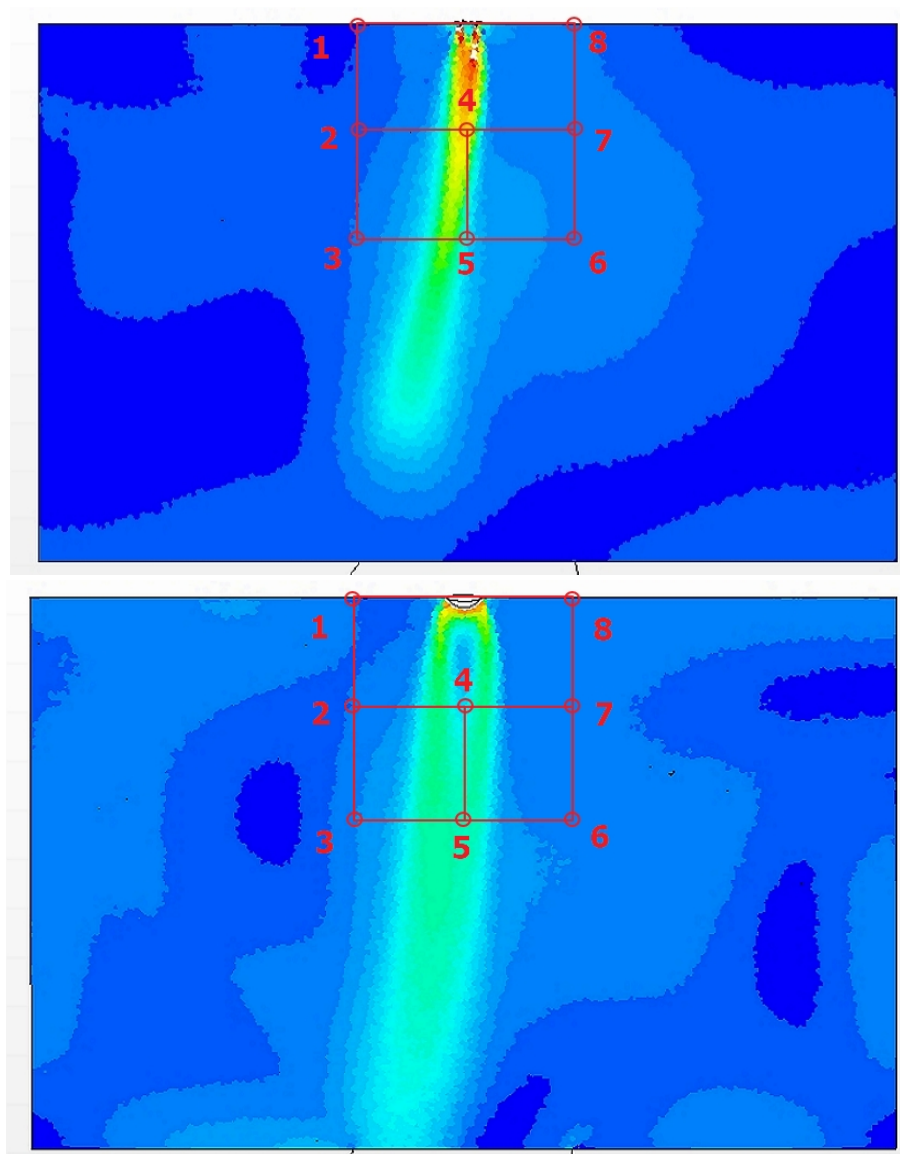
Na obrázku 2.27 vidíme velmi podobný obraz proudu vzduchu jako na obrázku 2.26, avšak proud vzduchu je více roztrhnut a má větší rychlost (to je způsobeno menší plochou => větší rychlost). Jedná se o částečně kruhový a stále dosti svislý proud vzduchu od vyústky směrem k odvodnímu otvoru. V oblasti pod vyústkou vzniká část, kde vzduch proudí pomaleji a tvoří se zde rychlostní víry. Zároveň je zde proud vzduchu roztrhnut do kužele pod úhlem téměř 45° (což je způsobeno utnutím vrcholu), ale velmi záhy se proud vzduchu opět spojuje do jednoho kompaktního proudu směrem k odvodnímu otvoru. Díky většímu náklonu a rychlosti zde dochází k lepšímu zaplavení místnosti i do stran než u obrázku 2.26. Rychlost přímo pod vyústkou se pohybuje okolo 1,5 m/s, ale postupně klesá směrem k podlaze. Na stranách okolo stěn vzduch proudí výrazně pomaleji.

Tento model se z hlediska směru proudu vzduchu asi nejvíce podobá obrazu proudění z modelu vířivé vyústky s lamely pod 45° (obrázek 2.22). Částečně dochází i k zaplavení místnosti jako u modelu na obrázku 2.22.

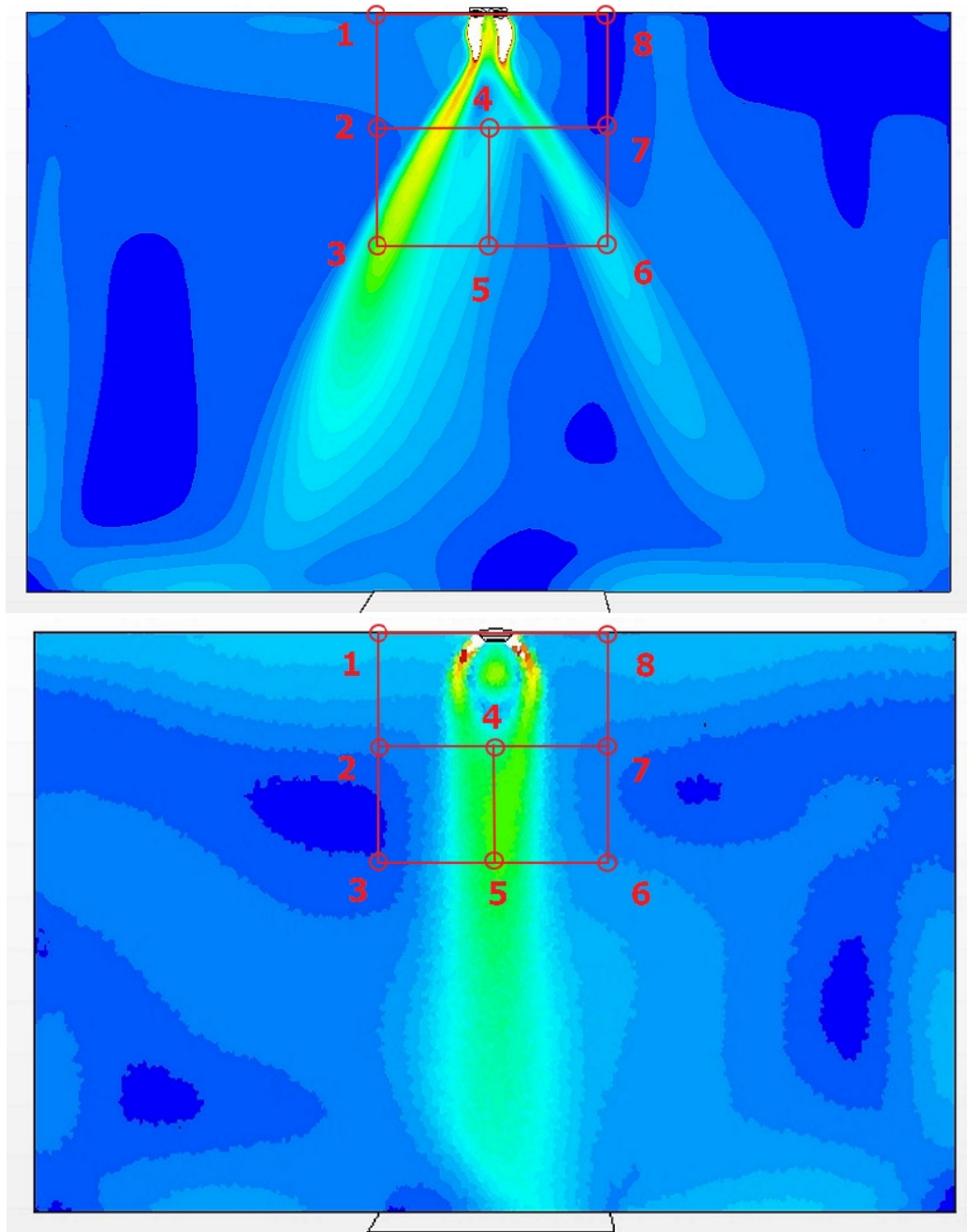
Numerické porovnání shody rychlosti proudění vzduchu:

Pro nejvíce si podobné modely byla vytvořena čtvercová síť 8 bodů ve vzdálenosti 1 m, respektive 2 m od vyústky (obrázky 2.28 a 2.29). Vzdálenost bodů je vodorovně i svisle 1 m. V těchto bodech byla odečtena rychlost proudícího vzduchu a poté vytvořena tabulka vzájemné shody (tabulka 2.2 a 2.3).

Pro reálný model vířivé vyústky s lamely vodorovnými (obrázek 2.21) jsem porovnával model č. 3 – kulový vrchlík (obrázek 2.25). A pro reálný model vířivé vyústky s lamely pod 45° (obrázek 2.22) jsem porovnával model č. 5 – kulový vrchlík, částečně utnutý o větší vrchol (obrázek 2.27).



Obrázek 2.28 Čtvercová síť okolo vířivé vyústky s lamely vodorovně a modelu č.3 – kulový vrchlík



Obrázek 2.29 Čtvercová síť okolo vířivé vyústky s lamely pod 45° a modelu č.5 – kulový vrchlík, částečně utnutý o větší vrchol

Tabulka 2.2 Vzájemná shoda rychlosti proudění vzduchu v místnosti - lamely vodorovně a model č.3 – kulový vrchlík

Rychlost proudění vzduchu [m/s]			
Bod č.	Vířivá vyústka - lamely vodorovně	Model č.3 - kulový vrchlík	Shoda [%]
1	0,066	0,15	44,0
2	0,127	0,155	81,9
3	0,146	0,218	67,0
4	0,954	0,37	38,8
5	0,536	0,91	58,9
6	0,22	0,222	99,1
7	0,197	0,176	89,3
8	0,165	0,109	66,1
Aritmetický průměr shody:			68,1

Tabulka 2.3 Vzájemná shoda rychlosti proudění vzduchu v místnosti - lamely pod 45° a model č.5 – kulový vrchlík, částečně utnutý o větší vrchol

Rychlost proudění vzduchu [m/s]			
Bod č.	Vířivá vyústka - lamely pod 45°	Model č.5 - kulový vrchlík, částečně utnutý o větší vrchol	Shoda [%]
1	0,019	0,32	5,9
2	0,145	0,154	94,2
3	1,283	0,089	6,9
4	0,531	0,837	63,4
5	0,370	1,015	36,5
6	0,524	0,201	38,4
7	0,075	0,163	46,0
8	0,02	0,110	18,2
Aritmetický průměr shody:			38,7

2.7 Vyhodnocení

Cílem této části bylo změřit směr a rychlost vzduchu u reálných distribučních prvků. Dále pak na jedné z vyústek – vířivé vyústí zkusit namodelovat simulaci proudění vzduchu v modelové místnosti a najít pro tuto vyústku odpovídající zjednodušení s podobným prouděním vzduchu.

Dle obrazu proudění vzduchu z vířivé vyústky s lamely vodorovnými nejvíce odpovídal zjednodušený model č. 3 – kulový vrchlík. Tato shoda byla dále porovnána numericky dle rychlosti v m/s. Výsledná shoda činila 68,1 %. Což je poměrně dobrý výsledek, i když k přesnému výsledku stále dosti vzdálený.

Obraz proudění vzduchu z vířivé vyústky s lamely pod 45° byl značně kuželový a nedařilo se mi najít vhodný typ zjednodušeného modelu. Nejvíce mu odpovídal model č. 5 – kulový vrchlík, částečně utnutý o větší vrchol, ale tato shoda byla mizivá. Z numerického porovnání rychlostí proudění v m/s byla výsledná shoda pouze 38,7 %. Což se nedá pokládat za přesné zjednodušení.

Co bylo dále zjištěno, že se při utnutí modelu polokoule o vrchlík shlukují pod vyústkou proudy vzduchu vytvářející oblasti turbulentních vírů s tvarem koule (viz obrázek 2.27).

Ze všech těchto zjištění se nedá konstatovat, že použité zjednodušené modely dokážou dokonale nahradit reálné řešení. Lze však vyzorovat podobnost mezi tvary proudů zjednodušeného a reálného modelu. Zajímavé je pozorování vlivu velikosti odříznuté části vrchlíku kulové plochy a velikosti zjednodušeného modelu na výsledné proudění vzduchu. Nerovnost mezi plochou a tedy i rychlosti z čela vyústky mezi zjednodušeným a reálným modelem povede vždy k tomu, že se výsledky budou lišit. Nicméně další úpravy plochy modelu by vedly ke zvýšení časové náročnosti jeho tvorby, což jde proti myšlence zjednodušení a urychlení celého problému. Také lze konstatovat, že shoda při použití vhodného modelu je mnohem lepší, než ponechání pouze volného otvoru se vstupní podmínkou velocity inlet, což je velmi časté zjednodušení, které jsou v simulacích prováděny.

V závěru této experimentální části bych shrnul, že zjednodušování složitých modelů má své opodstatnění. Zde například vytvoření simulace ke skutečnému modelu vířivé vyústky zabralo o dost více času, než u zjednodušených modelů, které jsem vytvořil. Takže u zjednodušeného modelu s dostatečnou přesností by byla úspora času značná.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

3 – APLIKACE TÉMATU NA ZADANÉ BUDOVĚ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Radek Navrátil

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR™

Ing. Petr Blasinski, Ph.D.

BRNO 2021

3 APLIKACE TÉMATU NA ZADANÉ BUDOVĚ

3.1 Úvod – analýza objektu

Tato část diplomové práce řeší návrh vzduchotechnického zařízení pro multifunkční sportovní halu a zázemí této haly.

Objekt haly i zázemí se nachází v okolí města Brna. Budova haly je jednopodlažní, budova zázemí má 2 nadzemní podlaží s plochou střechou. Ve 2. NP zázemí bude umístěna pouze strojovna VZT. Objekt byl rozdělen do 2 funkčních zón. V zóně 1 je situované zázemí haly skládající se z chodby, šaten, hygienických místností, kabinetu, skladovacích místností a recepcce. Zóna 2 obsahuje celou místnost sportovní tělocvičny propojené s nářadovnou. Pro tyto 2 zóny se bude navrhovat vzduchotechnické zařízení.



Obrázek 3.1 Členění objektu do jednotlivých zón

3.2 Výpočtová část

3.2.1 Tepelné ztráty jednotlivých místností

Tepelné ztráty pro jednotlivé místnosti zadaného objektu byly stanoveny podrobnou metodou (viz příloha P3). Tepelná ztráta prostupem byla vypočtena s venkovní výpočtovou teplotou -15°C.

V tabulce 3.1 můžeme vidět souhrn tepelných ztrát jednotlivých místností objektu.

Tabulka 3.1 Tepelné ztráty prostupem jednotlivých místností

Místnost	Název místnosti	Teplota interiéru	Teplota exteriéru	Tepelné ztráty prostupem Q_p
		[°C]	[°C]	[W]
1.01	Spojovací krček	15	-15	1 155
1.02	Vstup	20	-15	936
1.03	Recepce	20	-15	218
1.04	Chodba	15	-15	-567
1.05	Kotelna	15	-15	114
1.06	WC + předsíň - ženy	24	-15	633
1.07	WC	24	-15	179
1.08	WC + předsíň - muži	24	-15	451
1.09	Úklidová komora	15	-15	-168
1.10	Kabinet	20	-15	267
1.11	Sprcha + WC	24	-15	281
1.12	Nářadovna	15	-15	114
1.13	Nářadovna	15	-15	353
1.14	Šatna - muži	20	-15	100
1.15	Šatna - muži	20	-15	208
1.16	Umývárna - muži	24	-15	-15
1.17	WC - muži	24	-15	174
1.18	Šatna - ženy	20	-15	315
1.19	Šatna - ženy	20	-15	490
1.20	Umývárna - ženy	24	-15	506
1.21	WC - ženy	24	-15	174
1.22	Sklad	15	-15	95
1.23	Tělocvična	15	-15	13 342
Celkem				19355

Pozn.: Výpočet součinitele prostupu tepla uveden v příloze – P1

Výpočet tepelných ztrát prostupem uveden v příloze – P2 a P3

3.2.2 Tepelná zátěž jednotlivých místností

Pro jednotlivé typické místnosti byla vypočtena tepelná zátěž v programu TERUNA.

Typické místnosti pro výpočet byly uvažovány 1.10 kabinet, 1.19 šatna ženy a 1.23 tělocvična. Ostatní místnosti byly rozpočítány dle plochy a podobnosti s typickou místností. Místnosti s předpokládanými malými zisky nebyly brány v úvahu. Pro výpočet byla použita teplota venkovního vzduchu pro město Brno (teplé období roku) 34,4°C.

Výpočet v programu TERUNA je poskládan z jednotlivých zadaných vstupních prvků, jako jsou venková stěna, symetrická stěna, asymetrická stěna, podlaha, střecha, okna a dveře. Dané prvky jsou charakterizovány již vypočteným součinitelem prostupu tepla a dalšími vlastnostmi konstrukcí, jako jsou hustota a měrná tepelná kapacita. Další započtené parametry byly větrání, tepelný zisk svítidel, vnitřní zdroje a také akumulací hmoty, jako je nábytek a jiné vybavení místnosti.

Výstupem z programu je maximální tepelná zátěž pro jednotlivé místnosti v příslušnou hodinu. Dále grafické znázornění tepelné zátěže nebo tepelného toku radiace okny v průběhu roku.

Objekt multifunkční sportovní haly se zázemím nemá výrazné požadavky na stínění, jelikož se zde nevyskytuje velké množství prosklených ploch.

V tabulce 3.2 můžeme vidět souhrn tepelných zisků jednotlivých místností objektu.

Tabulka 3.2 Tepelné zisky jednotlivých místností

Místnost	Název místnosti	Teplota interiéru	Teplota exteriéru	Tepelné zisky Q_z
		[°C]	[°C]	
1.01	Spojovací krček	26	34,4	8 101
1.02	Vstup	26	34,4	7 078
1.03	Recepce	26	34,4	1 010
1.04	Chodba	26	34,4	9 657
1.10	Kabinet	26	34,4	766
1.14	Šatna - muži	26	34,4	3 592
1.15	Šatna - muži	26	34,4	3 707
1.18	Šatna - ženy	26	34,4	4 467
1.19	Šatna - ženy	26	34,4	5 783
1.23	Tělocvična	26	34,4	21 706

Výstupy z programu TERUNA:

Místnost 1.10 (zóna 1)

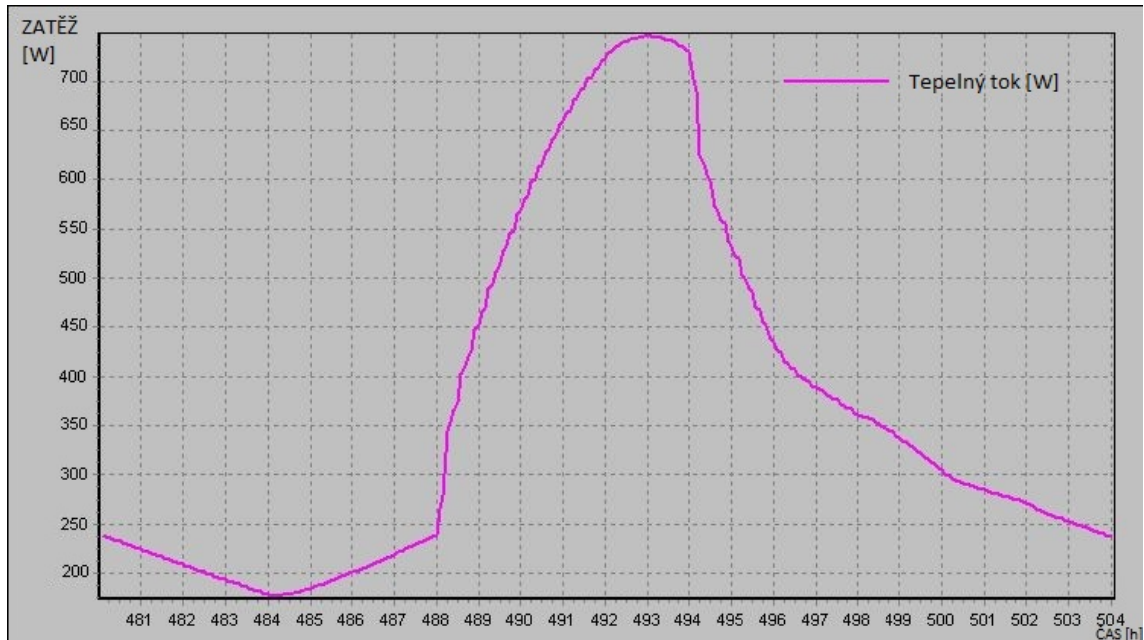
Vstupní údaje:

Objem místnosti: 37,17 m³
 Teplota vnitřního vzduchu: 26°C
 Teplota venkovního vzduchu: 34,4°C (Brno)
 Osvětlení: 18:00 – 22:00h, 10W

Výsledky:

Maximální tepelná zátěž: 21.7.12:25 h Citelné teplo Max = 766 W

Průběh tepelné zátěže:



Obrázek 3.2 Výstup z programu TERUNA – místnost 1.10

Místnost 1.19 (zóna 1)

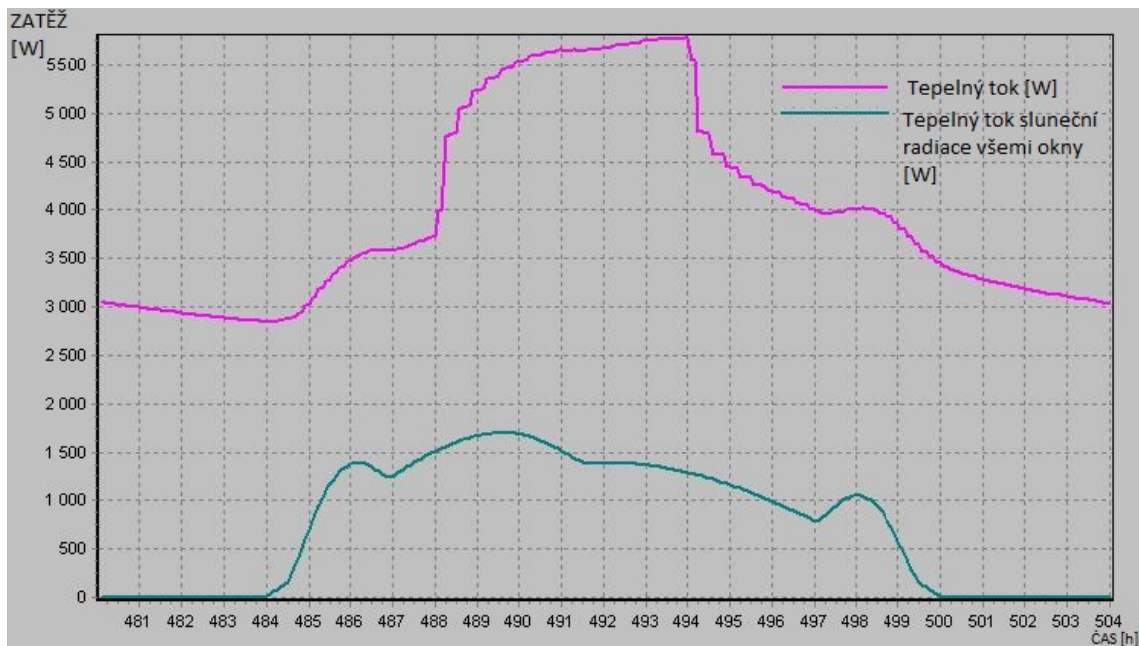
Vstupní údaje:

Objem místnosti: 104,7 m²
 Teplota vnitřního vzduchu: 26°C
 Teplota venkovního vzduchu: 34,4°C (Brno)
 Osvětlení: 18:00 – 22:00h, 10W

Výsledky:

Maximální tepelná zátěž: 21.7.12:25 h Citelné teplo Max = 5783 W

Průběh tepelné zátěže:



Obrázek 3.3 Výstup z programu TERUNA – místnost 1.19

Místnost 1.23 (zóna 2)

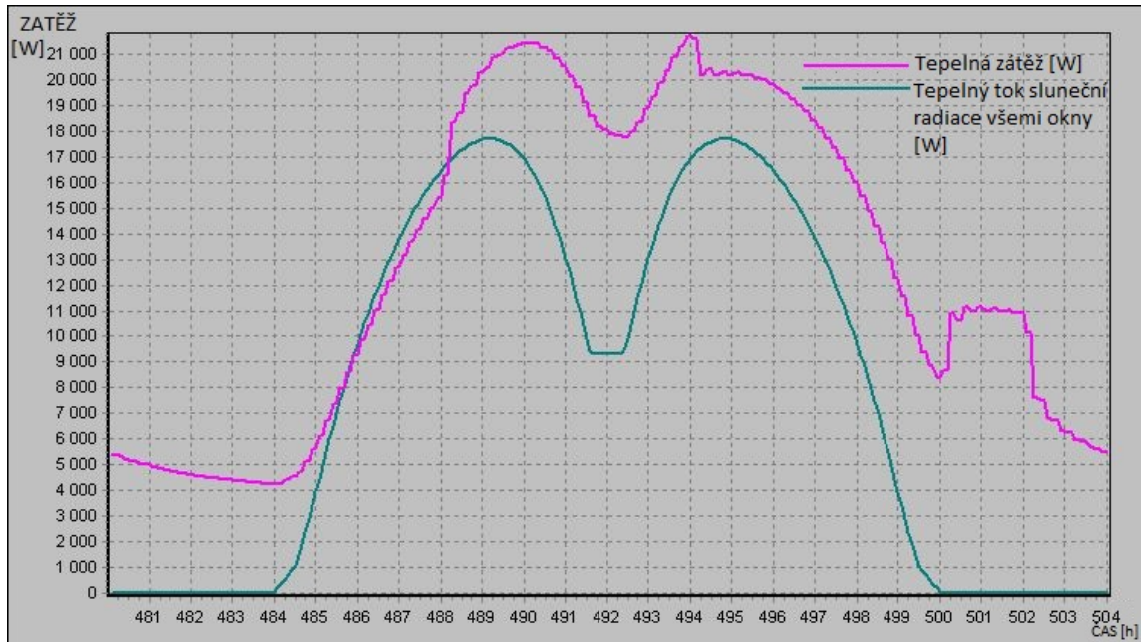
Vstupní údaje:

Objem místnosti: 6355,55 m²
 Teplota vnitřního vzduchu: 26°C
 Teplota venkovního vzduchu: 34,4°C (Brno)
 Osvětlení: 18:00 – 22:00h, 6786W
 Biologická produkce: 8:00 – 14:00 75kg, počet sob: 20

Výsledky:

Maximální tepelná zátěž: 21.7.12:25 h Citelné teplo Max = 21706 W

Průběh tepelné zátěže:



Obrázek 3.4 Výstup z programu TERUNA – místnost 1.23

3.2.3 Návrh průtoků vzduchu

V tabulce 3.3 jsou místnosti rozděleny dle zón. Dále je pro každou místnost vypočteno množství přírodního a odvodního vzduchu.

Pro zařízení č.1 (zóna 1 - zázemí) bude navržena centrální VZT – teplovzdušné větrání. Množství přírodního a odvodního vzduchu pro jednotlivé místnosti bylo určeno z maximální hodnoty požadovaného čerstvého vzduchu.

Pozn. U místností č. 1.02, 1.04, 1.10, 1.14, 1.15, 1.18, 1.19 je množství odváděného vzduchu poníženo s uvažováním podtlakového větrání sousedních hygienických či jiných neobývaných místností, viz tabulka 3.3.

Pro zařízení č.2 (zóna 2 - tělocvična) bude navržena centrální VZT. Množství přírodního a odvodního vzduchu bylo určeno z požadované výměny čerstvého vzduchu z objemu místnosti (vyšší z hodnot oproti výpočtu dávky vzduchu na odvod tepelné zátěže).

3.2.4 Návrh koncových distribučních elementů

V této části bude uvažována 1 varianta pro zónu č.1 – zázemí a dvě varianty pro zónu č.2 - tělocvična. Přičemž vhodnější varianta bude poté použita dále v projektu.

V zóně č.1 – zázemí byly navrženy 2 typy koncových distribučních elementů. Pro přívod i odvod bude použita vířivá výúst VVM od firmy Mandik různé velikosti a s různým počtem lamel dle požadovaného množství vzduchu. Pro menší objem odváděného vzduchu z nepobytových místnosti bude použit kovový talířový ventil DVS 160 a 200.

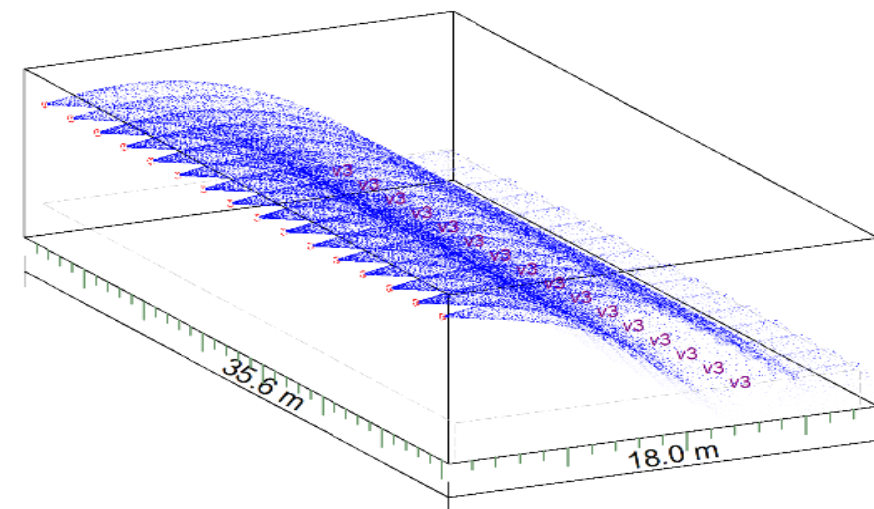
V zóně č.2 – tělocvična byly navrženy 2 varianty.

Varianta 1 - dýza

Zde budou uvažovány 2 typy koncových distribučních elementů. Pro přívod vzduchu bude použita dýza TRS – 315 od firmy Halton. V programu Halton HIT design jsem navrhl 16 vyústek. Jejich parametry lze vidět níže v tabulce 3.4. Pro odvod vzduchu bude použita obdélníková vyústka na kruhové potrubí o rozměru 825 x 225 mm od firmy Mandik.

Tabulka 3.4 Výstup z programu Halton HIT design - Dýza TRS-315

DÝZA TRS-315(CN)	
Přívodní element	
Místnost:	1.23 - tělocvična
Velikost místnosti:	35,6 x 18 x 8,5 m
Zóna pobytu:	h=1,8 m
Vzduch v místnosti:	25°C /55 %
Celkový průtok přívodního vzduchu:	12160 m ³ /h (16 x 760 m ³ /h)
Tlaková ztráta:	56 Pa
Akustický výkon:	34 dB
Celkový chladicí výkon:	27299 W (16 x 1706 W = 43 W/m ²)
Bod stanovení rychlosti:	v1
Rychlost [m/s]	0,6

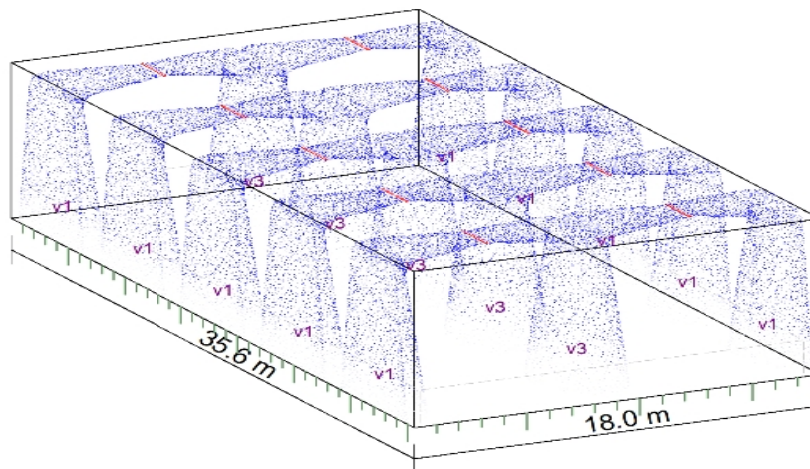


Varianta 2 – štěrbinová vyústka

Zde budou uvažovány štěrbinové vyústky SLL od firmy Halton pro přívod i odvod vzduchu. V programu Halton HIT design jsem navrhl 10 vyústek. Jejich parametry lze vidět níže v tabulce 3.5.

Tabulka 3.5 Výstup z programu Halton HIT design - štěrbinová výúst SLL

SLL/S-2-2072 2/2		
Přívodní element		
Místnost:	1.23 - tělocvična	
Velikost místnosti:	35,6 x 18 x 8,5 m	
Zóna pobytu:	h=1,8 m	
Vzduch v místnosti:	25°C /55 %	
Celkový průtok přívodního vzduchu:	12160 m ³ /h (10 x 1216 m ³ /h)	
Tlaková ztráta:	74 Pa	
Akustický výkon:	63 dB	
Celkový chladicí výkon:	24409 W (10 x 2441 W = 38 W/m ²)	
Bod stanovení rychlosti:	v1	v3
Rychlost [m/s]	0,5	0,55



Pozn.:

Jelikož u štěrbinové vyústky dochází k výrazně většímu akustickému výkonu, který by se dal snížit pouze větším množstvím vyústek, a zároveň poměrně velké tlakové ztrátě vyústky než v případě dýzy, bude pro další postup v projektu zvolena varianta 1. Stejně tak z hlediska obrazu proudění vzduchu se do vysokých prostorů hodí více kompaktní proud s velkým dosahem, který zajistí dýza.

Základní popis všech elementů viz níže.

Popis zvolených distribučních prvků:

Vířivá výúst' VVM 600,500 – Mandik

Vyústky jsou ručně přenastavitelné lopatkami, které umožní odklon proudu vzduchu. Vířivým výstupem vzduchu je zajištěno jeho intenzivní promíchání se stávajícím vzduchem, čímž je dosaženo podstatného snížení rychlosti a teploty vzduchu. Výška místnosti je vyhovující od cca 2,6 m do 4,0 m. Připojení koncového elementu flexibilním připojovacím potrubím SONOFLEX proběhne na připojovací hrdla přes připojovací skříň UNIBOX.

Talířový ventil DVS 160,200

Ventil je vyroben z kovového plechu. Hlavním prvkem je plynule uzavíratelný ventil, zajišťující nízkou hladinu hluku při průchodu vzduchu. Pracovní teplota je vhodná od -30°C do +100 °C. Připojení koncového elementu flexibilním připojovacím potrubím SONOFLEX.

Dýza TRS 315 – Halton

Jedná se o přestavitelnou dýzu pro přívod kompaktního nebo kuželového proudu studeného, teplého nebo izotermického vzduchu. Je určena pro přívod vzduchu ze stěny nebo ze stropu, zvláště vhodná pro velké a rozlehlé prostory. Lze nastavit úzký proud přívodního vzduchu. Alternativní obrazy proudění vzduchu lze měnit otáčením centrálního kužele. Daleký dosah proudu přiváděného vzduchu s nízkým úbytkem rychlosti nebo široký a krátký obraz proudění vzduchu.

Vyústka na kruhové potrubí VNKM 825x225 – Mandik

Jedná se o ocelovou obdélníkovou vyústku. Sestava vyústky je tvořena obdélníkovým rámem, ve kterém jsou upevněny dvě řady otočných listů. Teplota proudícího vzduchu od -20°C do +70 °C.

Přehled koncových distribučních elementů je uveden v následující tabulce 3.6.

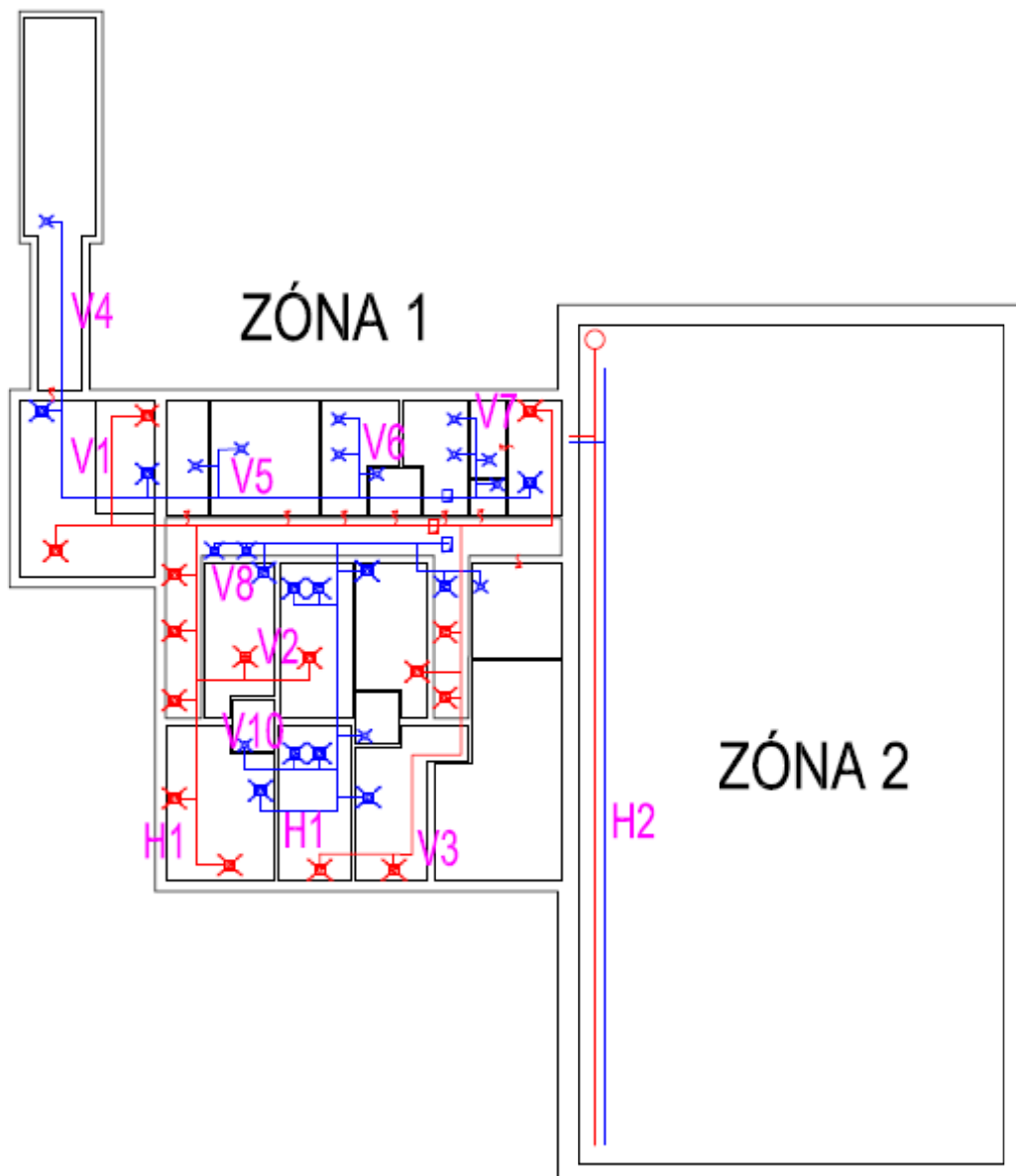
Tabulka 3.6 Přehled koncových distribučních elementů

Zóna	Č. ZAŘÍZENÍ	Č. MÍSTNOSTI	OBJEM (m ³)	PŘÍVOD/ ODVOD	OZNAČENÍ VÝUSTKY	POČET (Ks)	PRŮTOK NA 1 ELEMENT (m ³ /h)	Δpc (Pa)	Lwa (dB)
2	2	1.23	6073,10	P	TRS-315(CW)	16	760	21	26
				O	Vyústka na kruhové potrubí VNKM 825x225	16	760	17	
1	1	1.01	125,67	O	odvodní talířový ventil DVS200	1	100	19,5	
		1.02	109,80	P	VVM 600 - 48 lamel	1	400	9	16
				O	VVM 500 - 24 lamel	1	300	17	
		1.03	31,34	P	VVM 600 - 48 lamel	1	400	9	16
				O	VVM 600 - 48 lamel	1	400	9	
		1.04	149,82	P	VVM 500 - 24 lamel	5	310	18	30
				O	VVM 500 - 24 lamel	3	300	17	
		1.05	70,59	O	odvodní talířový ventil DVS160	1	50	4,7	
		1.06	40,15	O	odvodní talířový ventil DVS200	2	100	19,5	
		1.07	13,33	O	odvodní talířový ventil DVS160	1	50	4,7	
		1.08	35,93	O	odvodní talířový ventil DVS200	2	100	19,5	
		1.09	6,98	O	odvodní talířový ventil DVS160	1	50	4,7	
		1.10	34,07	P	VVM 600 - 48 lamel	1	450	8	25
				O	VVM 500 - 24 lamel	1	300	17	
		1.11	15,04	O	odvodní talířový ventil DVS200	1	150	25	
		1.12	44,24	O	odvodní talířový ventil DVS160	1	50	4,7	
		1.14	54,16	P	VVM 600 - 48 lamel	1	400	9	16
				O	VVM 500 - 24 lamel	1	250	11	
		1.15	55,89	P	VVM 600 - 48 lamel	1	400	9	16
				O	VVM 500 - 24 lamel	1	250	17	
		1.16	64,45	P	VVM 600 - 24 lamel	1	350	9	20
				O	VVM 500 - 24 lamel	2	300	17	
1.17	12,00	O	odvodní talířový ventil DVS160	1	50	4,7			
1.18	67,36	P	VVM 600 - 48 lamel	1	400	9	16		
		O	VVM 500 - 24 lamel	1	250	11			
1.19	87,20	P	VVM 500 - 24 lamel	2	250	17	24		
		O	VVM 600 - 24 lamel	1	350	19			
1.20	64,45	P	VVM 600 - 24 lamel	1	350	9	20		
		O	VVM 500 - 24 lamel	2	300	17			
1.21	12,00	O	odvodní talířový ventil DVS160	1	50	4,7			
1.22	27,25	O	odvodní talířový ventil DVS160	1	50	4,7			

3.2.5 Dimenzování potrubí

V zóně 1 – zázemí bylo navrženo obdélníkové ocelové potrubí od firmy Lindab v závislosti na rychlosti a průtoku vzduchu.

V zóně 2 – tělocvična bylo navrženo kruhové ocelové potrubí od firmy Lindab v závislosti na rychlosti a průtoku vzduchu.



Obrázek 3.5 Přibližné schéma vedení potrubí pro dimenzování

Tabulka 3.7 Dimenzování - hlavní potrubí

PŘÍVOD			HODNOTY									TLAK. ZTRÁTA		POZNÁMKA
			PŘEDBĚŽNÉ		SKUTEČNÉ - VYPOČTENÉ							$R_1 \cdot l$	$\xi \cdot Pd$	
Č.Ú.	V		l	w' (R' ₁)	S' (d' _r)	d a*b (∅)	d _r	S	w	p _d (Z)	R ₁			
-	m ³ /h	m ³ /s	m	m/s	m ²	mm	mm	m ²	m/s	Pa	Pa.m ⁻¹	-	Pa	Pa

ZAŘÍZENÍ č. 1 - ZÁZEMÍ - Přívodní potrubí obdélníkové - hlavní větev H1

1	250	0,07	3,8	2	0,035	250	150	0,21	0,035	2,00	2,41	0,25	0,9	0,95	2,17	
2	500	0,14	3,6	2,43	0,057	500	150	0,287	0,065	2,15	2,77	0,257	0,6	0,93	1,66	
3	810	0,23	0,95	2,86	0,079	500	200	0,337	0,089	2,52	3,82	0,25	1,5	0,24	5,73	
4	1560	0,43	2,2	3,29	0,132	500	300	0,421	0,139	3,11	5,81	0,261	0,3	0,57	1,74	
5	1870	0,52	2,8	3,72	0,140	500	300	0,421	0,139	3,73	8,35	0,364	0,3	1,02	2,51	
6	2180	0,61	1,1	4,15	0,146	600	300	0,44	0,152	3,98	9,52	0,333	1,2	0,37	11,42	
7	2980	0,83	11,1	4,58	0,181	600	400	0,534	0,224	4,44	11,80	0,347	0,9	3,85	10,62	
8	5200	1,44	2	5	0,289	600	500	0,599	0,282	5,13	15,76	0,374	2,1	0,75	33,10	
													Σ	8,67	68,95	
													Σ	77,63 Pa		
														11,00 Pa		VÝUSŤ
														13,00 Pa		KLAPKY
														1,61 Pa		SÁNÍ
														80,00 Pa		ŽALUZIE
														91,00 Pa		TLUMIČ HLUKU
													Σ	274,24 Pa		

ZAŘÍZENÍ č. 2 - TĚLOCVIČNA - Přívodní potrubí kruhové - hlavní větev H2

1	760	0,21	2,05	2	0,106			0,355	0,099	2,13	2,73	0,15	0,6	0,31	1,64	
2	1520	0,42	2,05	2,2	0,192			0,5	0,196	2,15	2,77	0,11	0,6	0,23	1,66	
3	2280	0,63	2,05	2,4	0,264			0,6	0,283	2,24	3,01	0,1	0,6	0,21	1,81	
4	3040	0,84	2,05	2,6	0,325			0,63	0,312	2,71	4,40	0,13	0,6	0,27	2,64	
5	3800	1,06	2,05	2,8	0,377			0,71	0,396	2,67	4,26	0,12	0,6	0,25	2,56	
6	4560	1,27	2,05	3	0,422			0,71	0,396	3,20	6,14	0,18	0,3	0,37	1,84	
7	5320	1,48	2,05	3,2	0,462			0,8	0,503	2,94	5,19	0,13	0,6	0,27	3,11	
8	6080	1,69	2,05	3,4	0,497			0,8	0,503	3,36	6,77	0,14	0,3	0,29	2,03	
9	6840	1,90	2,05	3,6	0,528			0,8	0,503	3,78	8,57	0,17	0,3	0,35	2,57	
10	7600	2,11	2,05	3,8	0,556			0,8	0,503	4,20	10,58	0,21	0,3	0,43	3,18	
11	8360	2,32	2,05	4	0,581			0,9	0,636	3,65	7,99	0,14	0,6	0,29	4,80	
12	9120	2,53	2,05	4,2	0,603			0,9	0,636	3,98	9,51	0,17	0,3	0,35	2,85	
13	9880	2,74	2,05	4,4	0,624			0,9	0,636	4,31	11,17	0,19	0,3	0,39	3,35	
14	10640	2,96	2,05	4,6	0,643			0,9	0,636	4,65	12,95	0,29	0,3	0,59	3,89	
15	11400	3,17	2,05	4,8	0,660			0,9	0,636	4,98	14,87	0,29	0,3	0,59	4,46	
16	12150	3,38	15,8	5	0,675			0,9	0,636	5,31	16,89	0,29	1,8	4,57	30,40	
													Σ	9,73	72,78	
													Σ	82,52 Pa		
														21,00 Pa		VÝUSŤ
														13,00 Pa		KLAPKY
														2,70 Pa		SÁNÍ
														80,00 Pa		ŽALUZIE
														45,00 Pa		TLUMIČ HLUKU
													Σ	244,22 Pa		

ODVOD			HODNOTY										TLAK. ZTRÁTA		POZNÁMKA
			PŘEDBĚŽNÉ		SKUTEČNÉ - VYPOČTENÉ										
Č.Ú.	V		l	w'	S'	a*b	d _r	S	w	p _d (Z)	R ₁	ξ	R ₁ · l	ξ · Pd	
-	m ³ /h	m ³ /s	m	m/s	m ²	mm	mm	m ²	m/s	Pa	Pa·m ⁻¹	-	Pa	Pa	

ZAŘÍZENÍ č. 1 - ZÁZEMÍ - Odvodní potrubí obdélníkové - hlavní větev H1																
1	350	0,10	4	2	0,049	300	200	0,24	0,045	2,15	2,77	0,36	1,2	1,44	3,33	
2	600	0,17	1,1	2,33	0,072	400	200	0,305	0,073	2,28	3,12	0,184	1,5	0,20	4,68	
3	1250	0,35	3,4	2,66	0,131	600	250	0,414	0,135	2,58	3,99	0,194	1,5	0,66	5,99	
4	1300	0,36	3,3	2,99	0,121	600	250	0,414	0,135	2,68	4,32	0,209	1,2	0,69	5,18	
5	1900	0,53	2,7	3,32	0,159	600	300	0,458	0,165	3,20	6,16	0,255	1,5	0,69	9,24	
6	2750	0,76	1,2	3,65	0,209	600	400	0,534	0,224	3,41	6,98	0,235	1,5	0,28	10,47	
7	3000	0,83	2,3	3,98	0,209	600	400	0,534	0,224	3,72	8,31	0,275	1,2	0,63	9,97	
8	3300	0,92	0,9	4,31	0,213	600	400	0,534	0,224	4,09	10,05	0,33	1,2	0,30	12,06	
9	3350	0,93	1	4,64	0,201	600	400	0,534	0,224	4,15	10,36	0,337	2,1	0,34	21,75	
10	5200	1,44	2	5	0,289	600	500	0,599	0,282	5,13	15,76	0,374	1,5	0,75	23,65	
													Σ	5,98	106,31	
													Σ	112,29 Pa		
														19,00 Pa		VÝUSTĚ
														13,00 Pa		KLAPKY
														1,87 Pa		VÝTLAK
														80,00 Pa		ŽALUZIE
														91,00 Pa		TLUMIČ HLUKU
													Σ	317,16 Pa		

ZAŘÍZENÍ č. 2 - TĚLOCVIČNA - Odvodní potrubí kruhové - hlavní větev H2																
1	760	0,21	2,05	2	0,106			0,355	0,099	2,13	2,73	0,15	0,9	0,31	2,46	
2	1520	0,42	2,05	2,2	0,192			0,5	0,196	2,15	2,77	0,11	0,9	0,23	2,50	
3	2280	0,63	2,05	2,4	0,264			0,6	0,283	2,24	3,01	0,1	0,9	0,21	2,71	
4	3040	0,84	2,05	2,6	0,325			0,63	0,312	2,71	4,40	0,13	0,9	0,27	3,96	
5	3800	1,06	2,05	2,8	0,377			0,71	0,396	2,67	4,26	0,12	0,9	0,25	3,84	
6	4560	1,27	2,05	3	0,422			0,71	0,396	3,20	6,14	0,18	0,6	0,37	3,68	
7	5320	1,48	2,05	3,2	0,462			0,8	0,503	2,94	5,19	0,13	0,9	0,27	4,67	
8	6080	1,69	2,05	3,4	0,497			0,8	0,503	3,36	6,77	0,14	0,6	0,29	4,06	
9	6840	1,90	2,05	3,6	0,528			0,8	0,503	3,78	8,57	0,17	0,6	0,35	5,14	
10	7600	2,11	2,05	3,8	0,556			0,8	0,503	4,20	10,58	0,21	0,6	0,43	6,35	
11	8360	2,32	2,05	4	0,581			0,9	0,636	3,65	7,99	0,14	0,9	0,29	7,20	
12	9120	2,53	2,05	4,2	0,603			0,9	0,636	3,98	9,51	0,17	0,6	0,35	5,71	
13	9880	2,74	2,05	4,4	0,624			0,9	0,636	4,31	11,17	0,19	0,6	0,39	6,70	
14	10640	2,96	2,05	4,6	0,643			0,9	0,636	4,65	12,95	0,29	0,6	0,59	7,77	
15	12150	3,38	10,5	5	0,675			0,9	0,636	5,31	16,89	0,29	0,6	3,05	10,13	
													Σ	7,62	76,88	
													Σ	84,50 Pa		
														17,00 Pa		VÝUSTĚ
														13,00 Pa		KLAPKY
														3,70 Pa		VÝTLAK
														80,00 Pa		ŽALUZIE
														74,00 Pa		TLUMIČ HLUKU
													Σ	272,20 Pa		

Tabulka 3.8 Dimenzování - vedlejší potrubí

PŘÍVOD				HODNOTY					
				PŘEDBĚŽNÉ		SKUTEČNÉ - VYPOČTENÉ			
Č.Ú.	v		l	w'	S' (d',)	d a*b (∅)	d _r	S	w
-	m ³ /h	m ³ /s	m	m/s	m ²	mm	mm	m ²	m/s

ZAŘÍZENÍ č. 1 - Přívodní potrubí - vedlejší větev V1										
1	400	0,11	1,7	2	0,056	400	150	0,26	0,053	2,09
2	800	0,22	4,5	2,5	0,089	400	250	0,344	0,093	2,39

ZAŘÍZENÍ č. 1 - Přívodní potrubí - vedlejší větev V2										
1	350	0,10	3	2	0,049	300	150	0,23	0,042	2,34
2	750	0,21	2	2,5	0,083	400	200	0,305	0,073	2,85

ZAŘÍZENÍ č. 1 - Přívodní potrubí - vedlejší větev V3										
1	350	0,10	4,2	2	0,049	300	150	0,23	0,042	2,34
2	750	0,21	7,8	2,5	0,083	400	200	0,305	0,073	2,85
3	1060	0,29	1	3	0,098	400	250	0,344	0,093	3,17
4	1460	0,41	3,4	3,5	0,116	500	250	0,381	0,114	3,56
5	1770	0,49	2,5	4	0,123	500	250	0,381	0,114	4,31
6	2220	0,62	1	4,5	0,137	600	250	0,401	0,126	4,88

ODVOD				HODNOTY					
				PŘEDBĚŽNÉ		SKUTEČNÉ - VYPOČTENÉ			
Č.Ú.	v		l	w'	S' (d',)	d a*b (∅)	d _r	S	w
-	m ³ /h	m ³ /s	m	m/s	m ²	mm	mm	m ²	m/s

ZAŘÍZENÍ č. 1 - Odvodní potrubí - vedlejší větev V4										
1	100	0,03	14,5	2	0,014	200	100	0,15	0,018	1,57
2	400	0,11	1,1	2,4	0,046	400	150	0,26	0,053	2,09
3	800	0,22	1	2,8	0,079	400	250	0,344	0,093	2,39
4	900	0,25	3	3,2	0,078	400	250	0,344	0,093	2,69
5	1150	0,32	4,8	3,6	0,089	400	250	0,344	0,093	3,44
6	1850	0,51	5,2	4	0,128	400	300	0,378	0,112	4,58

ZAŘÍZENÍ č. 1 - Odvodní potrubí - vedlejší větev V5										
1	50	0,01	1	2	0,007	200	100	0,15	0,018	0,79
2	100	0,03	2,6	2,4	0,012	200	100	0,15	0,018	1,57

ZAŘÍZENÍ č. 1 - Odvodní potrubí - vedlejší větev V6										
1	100	0,03	1,6	2	0,014	200	100	0,15	0,018	1,57
2	200	0,06	0,8	2,4	0,023	300	100	0,183	0,026	2,11
3	250	0,07	2,1	2,8	0,025	300	100	0,183	0,026	2,64

ZAŘÍZENÍ č. 1 - Odvodní potrubí - vedlejší větev V7										
1	100	0,03	1,6	2	0,014	200	100	0,15	0,018	1,57
2	200	0,06	3	2,4	0,023	300	100	0,183	0,026	2,11
3	250	0,07	3	2,8	0,025	300	100	0,183	0,026	2,64
4	400	0,11	3	3,2	0,035	300	100	0,183	0,026	4,22

ZAŘÍZENÍ č. 1 - Odvodní potrubí - vedlejší větev V8										
1	300	0,08	6	2	0,042	400	150	0,26	0,053	1,57
2	600	0,17	1,1	2,4	0,069	400	250	0,344	0,093	1,79
3	850	0,24	1	2,8	0,084	400	250	0,344	0,093	2,54

ZAŘÍZENÍ č. 1 - Odvodní potrubí - vedlejší větev V9										
1	300	0,08	1,6	2	0,042	300	150	0,23	0,042	2,01
2	600	0,17	1	2,4	0,069	400	200	0,305	0,073	2,28

ZAŘÍZENÍ č. 1 - Odvodní potrubí - vedlejší větev V10										
1	50	0,01	2,1	2	0,007	200	100	0,15	0,018	0,79
2	350	0,10	1,6	2,4	0,041	300	150	0,23	0,042	2,34
3	650	0,18	0,9	2,8	0,064	400	200	0,305	0,073	2,47

Celková tlaková ztráta potrubí	Přívod	Odvod
Zařízení č. 1 - zázemí	274,24	317,16
Zařízení č. 2 - tělocvična	244,22	272,20

3.2.6 Návrh vzduchotechnické jednotky

Pro návrh vzduchotechnické jednotky byl použit program AeroCAD od firmy Remak.

Obě zóny bude obsluhovat samostatná vzduchotechnická jednotka. Jednotlivé komponenty VZT jednotky budou navrženy dle požadavku na dané prostředí.

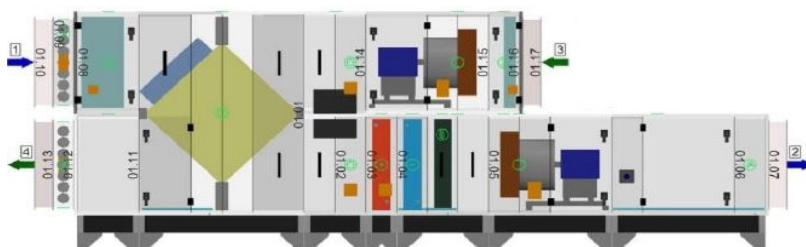
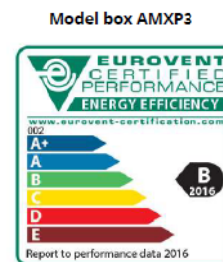
Zařízení č. 1 – zázemí (zóna 1)

Navržená vzduchotechnická jednotka bude sloužit pro úpravu vzduchu v zázemí tělocvičny. Tedy převážně šaten, hygienických místností a přilehlých prostor. Jednotka se skládá z reku-peračního deskového výměníku tepla, vodního ohřívače pro ohřev vzduchu pomocí deskových výměníků, vodního chladiče pro chlazení vzduchu a parního zvlhčovače pro řízenou úpravu vlhkosti vzduchu. Další komponenty jsou kapsové filtry a ventilátory s volným oběžným kolem.

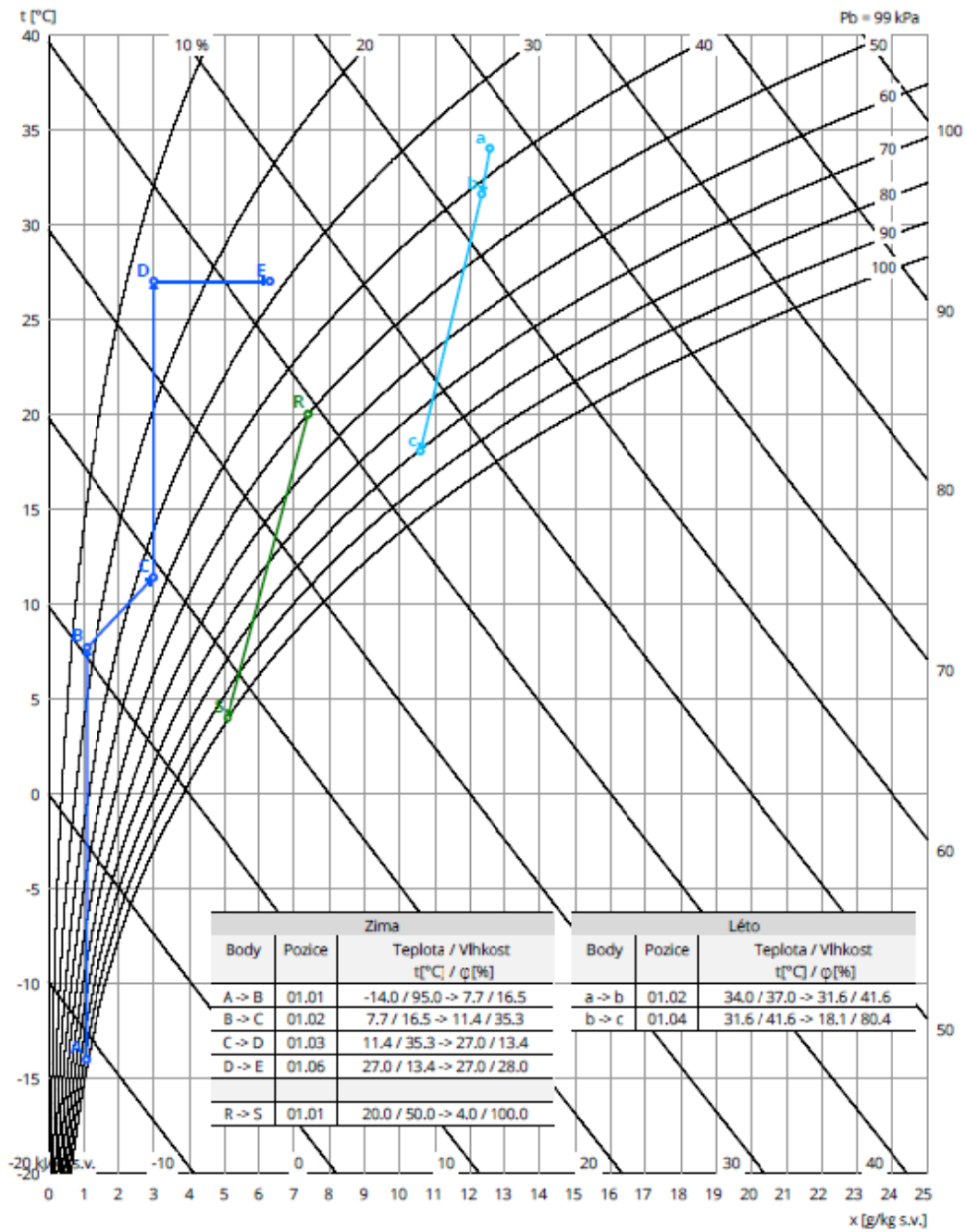
Tabulka 3.9 Specifikace VZT jednotky - zařízení č. 1

STRUČNÁ SPECIFIKACE ZAŘÍZENÍ

Základní parametry zařízení			
Druh, rozměr	AeroMaster XP 10		
Řídicí jednotka VCS (Climatix)	Ne		
Hmotnost (+/-10%)	1 477 kg		
Umístění VZT jednotky	Vnitřní		
Materiálové provedení			
Vnější plášť	Lakovaný plech (RAL 9002)		
Vnitřní plášť	Pozinkovaný plech		
	Přívod	Odvod	
Průtok vzduchu	5200 m ³ /h	5200 m ³ /h	
Externí tlaková rezerva	245 Pa	288 Pa	
Rychlost v průřezu	2.08 m/s	2.08 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 %	G4 / ISO Coarse 60 %	
2. stupeň filtrace	-	-	
SFP _W	859 W.m ³ .s	733 W.m ³ .s	
	Parametry pláště dle EN1886		
	Mechanická stabilita	D2(M)	
	Netěsnost skříně	L2(M)	
	Termická izolace	T3(M)	
	Faktor tepelných mostů	TB3(M)	
SFP _{WAHU}	1592 W.m ³ .s	Netěsnost mezi filtrem a rámem < 0,5 % (F9)	
Nejdůležitější parametry vybraných komponentů			
	Na straně vzduchu		Na straně média
Zpětný zisk tepla	-14.0 -> 7.7 °C	64 %, 26.0 kW	
Směšování	7.7 -> 11.4 °C	30.0 %	
Ohřev	11.4 -> 27.0 °C	27.7 kW	70/38 °C, Voda, 0.8 kPa, 0.76 m ³ /h, 1 "
Chlazení	31.6 -> 18.1 °C	29.4 kW	6/12 °C, Voda, 9.1 kPa, 4.21 m ³ /h, 1 "
Vlhčení	27.0 -> 27.0 °C	13 -> 28 %	25.0 kg/h, 18.8 kW**



Psychrometrický diagram



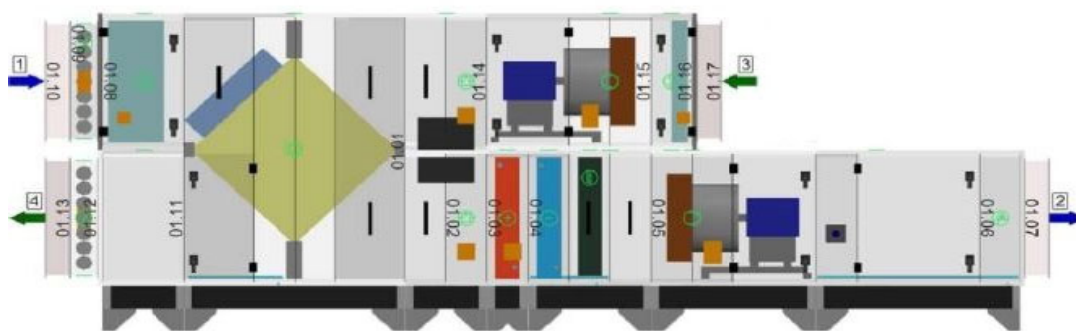
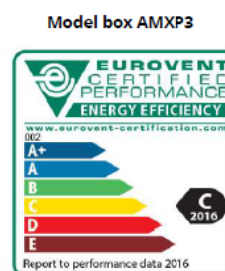
Obrázek 3.6 Psychrometrický diagram VZT jednotky - zařízení č. 1

Zařízení č. 2 – tělocvična (zóna 2)

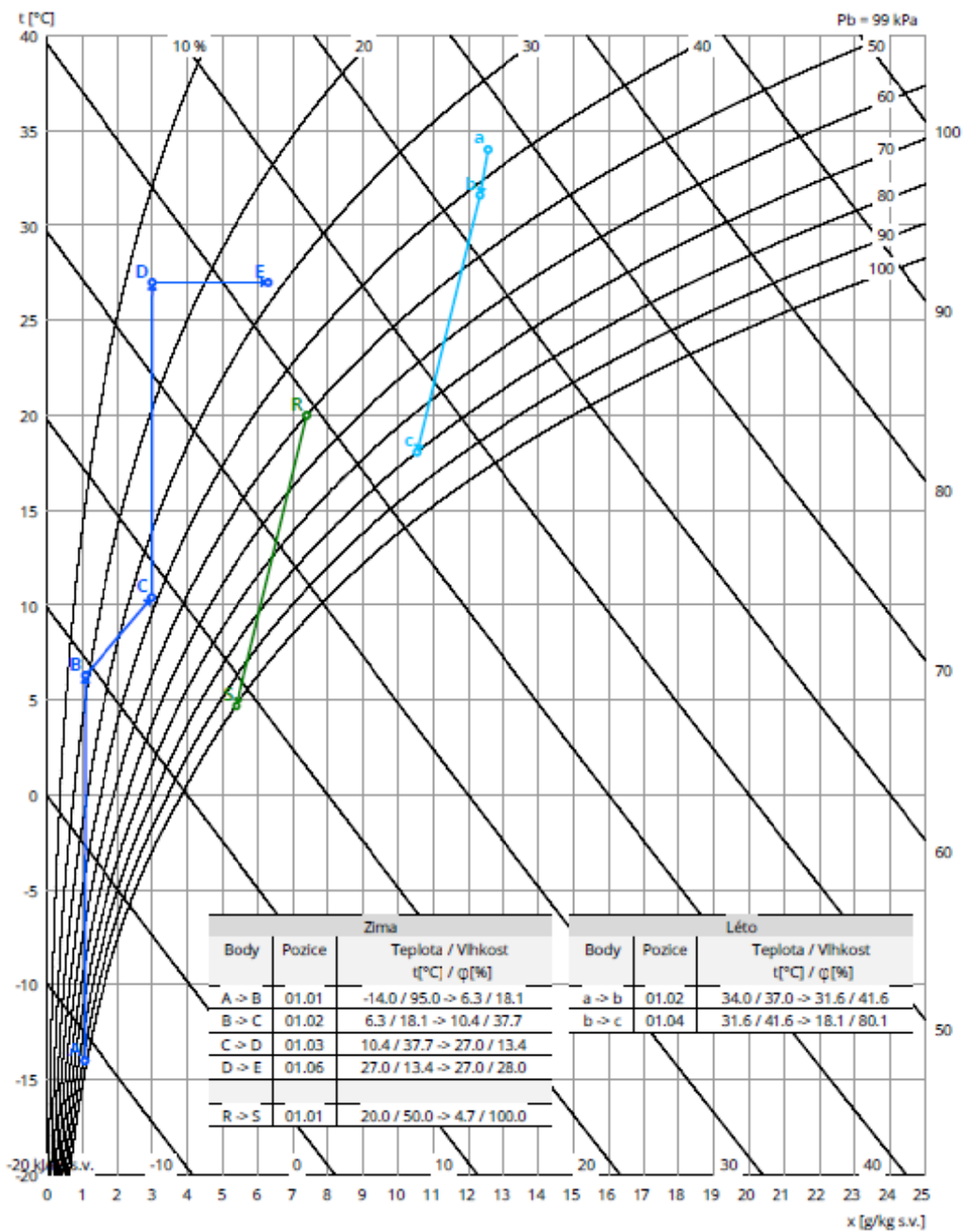
Navržená vzduchotechnická jednotka bude sloužit pro úpravu vzduchu v místnosti tělocvičny. Jednotka se skládá z rekuperačního deskového výměníku tepla, vodního ohříváče pro ohřev vzduchu pomocí deskových výměníků, vodního chladiče pro chlazení vzduchu a parního zvlhčovače pro řízenou úpravu vlhkosti vzduchu. Další komponenty jsou kapsové filtry a ventilátory s volným oběžným kolem.

Tabulka 3.10 Specifikace VZT jednotky - zařízení č. 2

STRUČNÁ SPECIFIKACE ZAŘÍZENÍ			
Základní parametry zařízení			
Druh, rozměr	AeroMaster XP 22		
Řídicí jednotka VCS (Climatix)	Ne		
Hmotnost (+/-10%)	2 621 kg		
Umístění VZT jednotky	Vnitřní		
Materiálové provedení			
Vnější plášť	Lakovaný plech (RAL 9002)		
Vnitřní plášť	Pozinkovaný plech		
	Přívod	Odvod	
Průtok vzduchu	12150 m ³ /h	12150 m ³ /h	
Externí tlaková rezerva	277 Pa	330 Pa	
Rychlost v průřezu	2.18 m/s	2.18 m/s	
Výkon motoru nominální	5.50 kW	4.00 kW	
Typ motoru ventilátoru	AC motor	AC motor	
Frekv. měnič součást dodávky	Ano (IP21)	Ano (IP21)	
1. stupeň filtrace	M5 / ISO Coarse 80 %	G4 / ISO Coarse 60 %	
2. stupeň filtrace	-	-	
SFP _v	1018 W.m ³ .s	896 W.m ³ .s	
		Parametry pláště dle EN1886	
		Mechanická stabilita	D2(M)
		Netěsnost skříně	L2(M)
		Termická izolace	T3(M)
		Faktor tepelných mostů	TB3(M)
SFP _{vahu}	1913 W.m ³ .s	Netěsnost mezi filtrem a rámem	< 0,5 % (F9)
Nejdůležitější parametry vybraných komponentů			
	Na straně vzduchu		Na straně média
Zpětný zisk tepla	-14.0 → 6.3 °C	60 %, 57.1 kW	
Směšování	6.3 → 10.4 °C	30.0 %	
Ohřev	10.4 → 27.0 °C	68.9 kW	70/42 °C, Voda, 0.5 kPa, 2.11 m ³ /h, 2 "
Chlazení	31.6 → 18.1 °C	69.2 kW	6/12 °C, Voda, 4.6 kPa, 9.89 m ³ /h, 2 "
Vlhčení	27.0 → 27.0 °C	13 → 28 %	65.0 kg/h, 48.8 kW**



Psychrometrický diagram



Obrázek 3.7 Psychrometrický diagram VZT jednotky - zařízení č. 2

3.2.7 Útlum hluku

Byl proveden výpočet velikosti hladiny akustického výkonu pro vnitřní i venkovní prostředí. Výsledky byly poté porovnány s maximálními normovými požadavky. Pro útlum hluku byly navrženy tlumiče hluku od firmy Greif (viz příloha P4).

Tabulka 3.11 Výpočet útlumu hluku - zařízení č. 1 - posuzovaná místnost: kabinet 1.10

Zařízení č. 1 - přívodní potrubí výtlač - ZÁZEMÍ										
Ozn.	Veličina	Frekvence oktávového pásma [Hz]								součtová hladina [dB]
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
L _{w1}	Hladina akustického výkonu ve výústce - bez tlumiče	42	51	72	74	80	74	71	69	83
	Útlum hluku tlumičem Greif - G200x1000x2000.1	9	15	28	43	48	46	40	30	
	Vlastní hluk tlumiče	55	49	44	40	36	31	25	19	42,6
L _{w1}	Hladina akustického výkonu ve výústce - s tlumičem	46	38	44	31	32	28	31	39	49
L _{wa}	Hladina akustického výkonu vyústky									25
K	Korekce na počet vyústek							počet vyústek:	1	0
L _s	Hladina akustického výkonu všech přívodních vyústek									49

Zařízení č. 1 - odvodní potrubí sání - ZÁZEMÍ										
Ozn.	Veličina	Frekvence oktávového pásma [Hz]								součtová hladina [dB]
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
L _{w1}	Hladina akustického výkonu ve výústce - bez tlumiče	38	48	64	67	63	61	58	60	71
	Útlum hluku tlumičem Greif - G200x1000x2000.1	9	15	28	43	48	46	40	30	
	Vlastní hluk tlumiče	55	49	44	40	36	31	25	19	42,6
L _{w1}	Hladina akustického výkonu ve výústce - s tlumičem	46	37	36	24	15	15	18	30	47
L _{wa}	Hladina akustického výkonu vyústky									30
K	Korekce na počet vyústek							počet vyústek:	1	0
L _s	Hladina akustického výkonu všech odvodních vyústek									47

Posouzení pro místnost: kabinet 1.10											
L _s	Hladina akustického výkonu všech vyústek									51	
Q	Směrový činitel									2	
r	Vzdálenost od vyústky k posluchači									1	
A	Pohltivá plocha místnosti		Plocha povrchů místnosti [m ²]:				60		Pohltivost:	0,2	12
L _{so}	Hladina akustického tlaku v místě posluchače									48	
L _{p,A}	Předepsaná hodnota hladiny akustického tlaku v místnosti									50	

NAVRHUJI TLUMIČ HLUKU: 1x Greif - G200x500x2000.1

48 dB < 50 dB VYHOVUJE

Tabulka 3.12 Výpočet útlumu hluku - zařízení č. 2 - posuzovaná místnost: tělocvična 1.23

Zařízení č. 2 - přívodní potrubí výtlač - TĚLOCVIČNA										
Ozn.	Veličina	Frekvence oktávového pásma [Hz]								součtová hladina [dB]
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
L _{w1}	Hladina akustického výkonu ve výústce - bez tlumiče	54	65	82	84	88	83	81	83	92
	Útlum hluku tlumičem Greif - G200x1000x2000.1	9	15	28	43	48	46	40	30	
	Vlastní hluk tlumiče	47	42	38	34	29	24	18	12	36
L _{w1}	Hladina akustického výkonu ve výústce - s tlumičem	46	50	54	41	40	37	41	53	58
L _{wa}	Hladina akustického výkonu výústky									26
K	Korekce na počet vyústek						počet vyústek:		17	12
L _s	Hladina akustického výkonu všech vyústek									70

Zařízení č. 2 - odvodní potrubí sání - TĚLOCVIČNA										
Ozn.	Veličina	Frekvence oktávového pásma [Hz]								součtová hladina [dB]
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
L _{w1}	Hladina akustického výkonu ve výústce - bez tlumiče	48	62	77	75	73	71	70	77	82
	Útlum hluku tlumičem Greif - G200x1000x2000.1	9	15	28	43	48	46	40	30	
	Vlastní hluk tlumiče	47	42	38	34	29	24	18	12	36
L _{w1}	Hladina akustického výkonu ve výústce - s tlumičem	41	47	49	32	25	25	30	47	53
L _{wa}	Hladina akustického výkonu výústky									20
K	Korekce na počet vyústek						počet vyústek:		17	12
L _s	Hladina akustického výkonu všech vyústek									65

Posouzení pro místnost: tělocvična 1.23										
L _s	Hladina akustického výkonu všech vyústek									71
Q	Směrový činitel									2
r	Vzdálenost od vyústky k posluchači									4
A	Pohltivá plocha místnosti		Plocha povrchů místnosti [m ²]:			2298		Pohltivost:	0,1	230
L _{so}	Hladina akustického tlaku v místě posluchače									56
L _{p,A}	Předepsaná hodnota hladiny akustického tlaku v místnosti									60

NAVRHUJI TLUMIČ HLUKU: 1x Greif - G200x500x2000.1
rozměr: 1000x1000x2000 ; počet buněk v tlumiči: 10ks

**56 dB < 60 dB
VYHOVUJE**

Tabulka 3.13 Výpočet útlumu hluku - zařízení č. 1 - venkovní prostor

Zařízení č. 1 - přívodní potrubí sání - VENKOVNÍ PROSTOR										
Ozn.	Veličina	Frekvence oktávového pásma [Hz]								součtová hladina [dB]
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
L _{w1}	Hladina akustického výkonu v žaluzii - bez tlumiče	34	40	58	57	52	48	43	42	61
L _{wa}	Hladina akustického výkonu žaluzie									30

Zařízení č. 1 - odvodní potrubí výtlak - VENKOVNÍ PROSTOR										
Ozn.	Veličina	Frekvence oktávového pásma [Hz]								součtová hladina [dB]
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
L _{w1}	Hladina akustického výkonu v žaluzii - bez tlumiče	42	50	64	67	70	65	61	60	74
L _{wa}	Hladina akustického výkonu žaluzie									30

Posouzení pro VENKOVNÍ PROSTOR - VÝCHODNÍ FASÁDA										
L _s	Hladina akustického výkonu všech vyústek									74
Q	Směrový činitel									2
r	Vzdálenost k sousední budově									8
L _{so}	Hladina akustického tlaku v místě posluchače									48
L _{p,A}	Předepsaná hodnota hladiny akustického tlaku venkovního prostoru									50

Bez tlumiče hluku

**48 dB < 50 dB
VYHOVUJE**

Tabulka 3.14 Výpočet útlumu hluku - zařízení č. 2 - venkovní prostor

Zařízení č. 2 - přívodní potrubí sání - VENKOVNÍ PROSTOR										
Ozn.	Veličina	Frekvence oktávového pásma [Hz]								součtová hladina [dB]
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
L _{w1}	Hladina akustického výkonu v žaluzii - bez tlumiče	45	55	69	64	60	57	53	59	71
L _{wa}	Hladina akustického výkonu žaluzie									30

Zařízení č. 2 - odvodní potrubí výtlač - VENKOVNÍ PROSTOR										
Ozn.	Veličina	Frekvence oktávového pásma [Hz]								součtová hladina [dB]
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
L _{w1}	Hladina akustického výkonu v žaluzii - bez tlumiče	53	63	78	79	79	74	73	75	85
	Útlum hluku tlumičem Greif - G200x1000x1000.1	6	9	15	26	40	35	30	19	
	Vlastní hluk tlumiče	55	49	44	40	36	31	25	19	43
L _{w1}	Hladina akustického výkonu žaluzii - s tlumičem	51	54	63	53	39	39	43	56	65
L _{wa}	Hladina akustického výkonu žaluzie									30

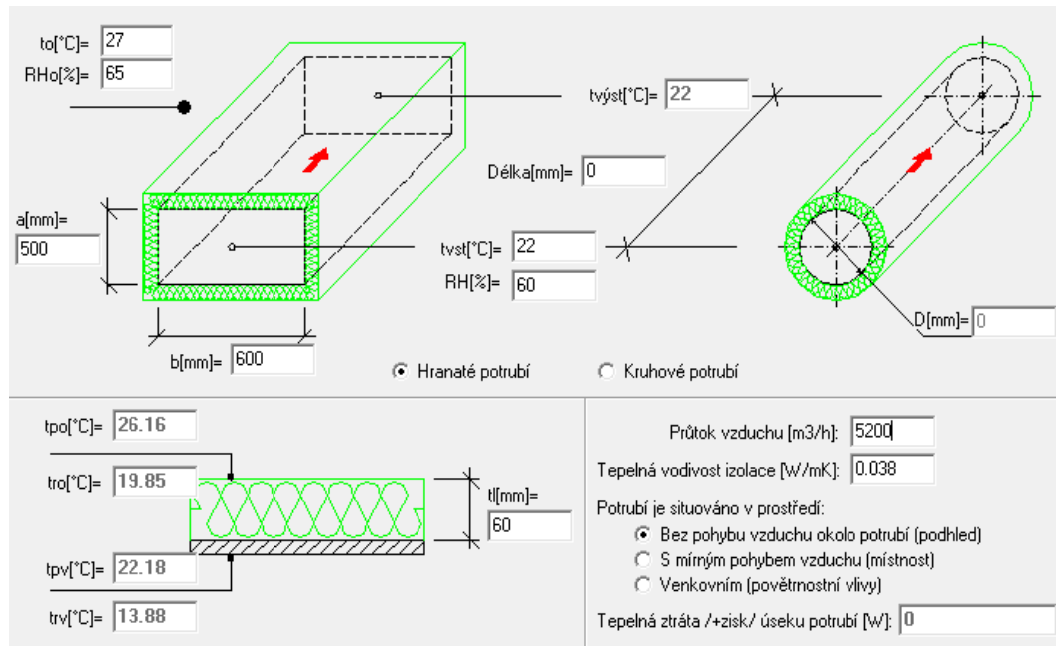
Posouzení pro VENKOVNÍ PROSTOR - JIŽNÍ FASÁDA										
L _s	Hladina akustického výkonu všech výustek									72
Q	Směrový činitel									2
r	Vzdálenost k sousední budově									7
L _{so}	Hladina akustického tlaku v místě posluchače									40
L _{p,A}	Předepsaná hodnota hladiny akustického tlaku venkovního prostoru									50

NAVRHUJI TLUMIČ HLUKU: 1x Greif - G200x500x1000.1
rozměr: 1000x1000x1000 ; počet buněk v tlumiči: 10ks

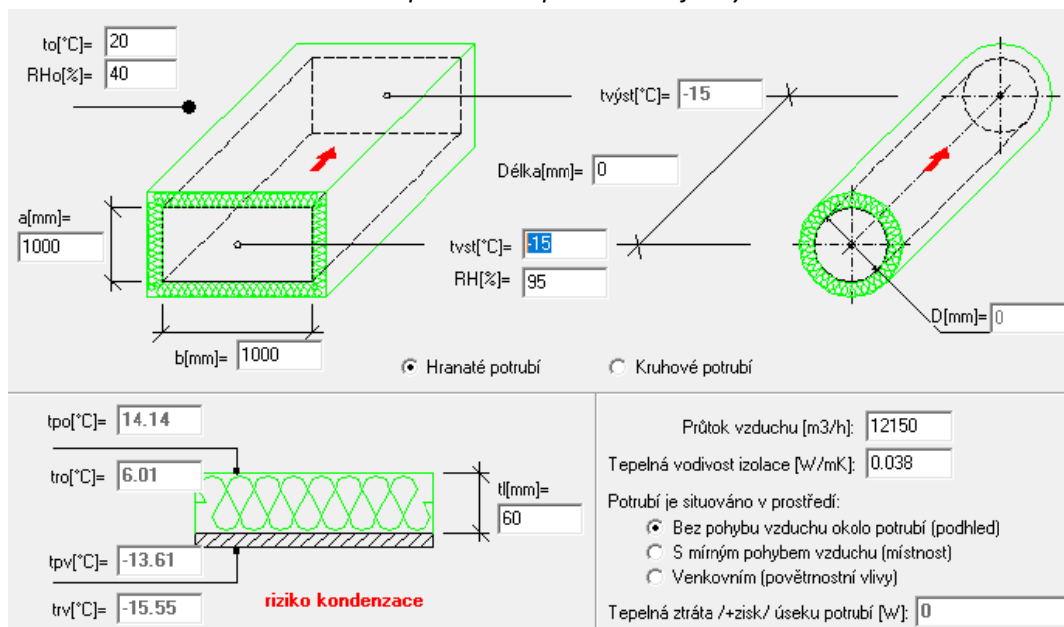
**40 dB < 50 dB
VYHOVUJE**

3.2.8 Izolace potrubí

Pro izolaci potrubí byla zvolena izolace na bázi minerální vaty výrobce např. Orsil orstech LSP. Tloušťka ve strojovně VZT byla zvolena 60 mm a na přívodním potrubí v interiéru 40 mm. Pro posouzení kondenzace na potrubí byl použit software Teruna. Posouzeno bylo potrubí ve strojovně VZT a přívodní potrubí interiéru v létě. Na obrázku 3.8 a 3.9 lze vidět výstup ze softwaru Teruna.



Obrázek 3.8 Posouzení izolace přívodního potrubí strojovny VZT v létě – zařízení č. 1



Obrázek 3.9 Posouzení izolace přívodního potrubí strojovny VZT v zimě – zařízení č. 2

Tabulka 3.15 Návrhové parametry místností pro posouzení izolace potrubí

Místnost	léto t [°C]	rel. Vlh. Φ [%]	zima t [°C]	rel. Vlh. Φ [%]
2.01 Strojovna VZT	27	65	22	40
1.10 Kabinet	26	55	20	50
1.23 Tělocvična	26	55	20	50
Exteriér	34,4	38	-15	95

Tabulka 3.16 Návrhové parametry potrubí pro posouzení izolace

Potrubí	léto t [°C]	rel. Vlh. Φ [%]	zima t [°C]	rel. Vlh. Φ [%]
Zázemí přívod	22	60	19	15
Tělocvična přívod	22	60	19	15
interiér kabinet - přívod	23,5	55	20,5	20
interiér tělocvič. - přívod	24	60	19	15

Zázemí odvod	26	55	26	40
Tělocvična odvod	26	55	26	40

Zázemí sání	34,4	38	-15	95
Tělocvična sání	34,4	38	-15	95

Zázemí výtlač	26	55	3	90
Tělocvična výtlač	26	55	3	90

Tabulka 3.17 Výstupní hodnoty z programu Teruna pro posouzení tloušťky izolace potrubí – zařízení č. 1

Zařízení č. 1 - zázemí		Strojovna				Interiér
		Přívod	Odvod	Sání	Výtlač	Přívod
Tloušťka izolace [mm]		60	60	60	60	40
LÉTO	t _{po} [°C]	26,2	26,8	28,2	26,8	25,6
	t _{ro} [°C]	19,9	19,9	19,8	19,9	16,3
	t _{pv} [°C]	22,2	26	34,1	26	26,6
	t _{rv} [°C]	13,9	16,26	18	16,3	14
ZIMA	t _{po} [°C]	21,5	22,7	15,8	18,8	20,1
	t _{ro} [°C]	7,8	7,8	7,8	7,8	9,3
	t _{pv} [°C]	19,1	25,9	-13,6	3,7	20,5
	t _{rv} [°C]	-8,2	11,36	-15,6	1,5	-3,2

Tabulka 3.18 Výstupní hodnoty z programu Teruna pro posouzení tloušťky izolace potrubí – zařízení č. 2

Zařízení č. 2 - tělocvična		Strojovna				Interiér
		Přívod	Odvod	Sání	Výtlak	Přívod
Tloušťka izolace [mm]		60	60	60	60	40
LÉTO	tpo [°C]	26,2	26,8	28,2	26,8	25,7
	tro [°C]	19,9	19,9	19,8	19,9	16,3
	tpv [°C]	22,2	26	34,1	26	24,1
	trv [°C]	13,9	16,26	18	16,3	15,8
ZIMA	tpo [°C]	21,5	22,7	15,8	18,8	19,8
	tro [°C]	7,8	7,8	7,8	7,8	9,3
	tpv [°C]	19,1	25,9	-13,6	3,7	19,1
	trv [°C]	-8,2	11,36	-15,6	1,5	-8,2

3.3 Technická zpráva

3.3.1 Úvod

Předmětem této projektové dokumentace pro stavební povolení a realizaci stavby zařízení č. 1 a č. 2 je návrh větrání a klimatizace pro přístavbu tělocvičny a zázemí v Brně tak, aby byly zajištěny předepsané hodnoty dle státních norem, vyhlášek a nařízení. Dále aby byla zajištěna vnitřní pohoda prostředí a požadavky na technické řešení.

3.3.1.1 Podklady pro zpracování

Podkladem pro zpracování projektové dokumentace byly stavební výkresy půdorysů 1. – 2.NP a svislý řez objektu v elektronické formě „dwg“ formátu. Dále také platné právní předpisy (zákony, nařízení vlády a prováděcí vyhlášky), české technické normy a podklady výrobců vzduchotechnických zařízení:

- Nařízení vlády č. 217/2016 Sb., kterými se mění nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
- Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. se změnami 68/2010 Sb., 93/2012., 9/2013 Sb., 32/2016 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.
- Vyhláška č. 20/2012 Sb. Kterou se mění Vyhláška 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby
- ČSN 73 0548 – Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů (1986)
- ČSN 73 0540 – Tepelná ochrana budov (2012)
- ČSN 12 7010 – Navrhování větracích a klimatizačních zařízení (1988)
- ČSN 73 0872 – Ochrana staveb proti šíření požáru vzduchotechnickým zařízením (1996)
- ČSN 14 0646 – Bezpečnostní požadavky pro chladicí zařízení
- Návrhový software Teruna 1.5b
- Návrhový software AeroCad
- Katalogové listy výrobců vzduchotechniky

3.3.1.2 Výpočtové hodnoty klimatických parametrů

Umístění:	Brno – Střed
Nadmořská výška:	251 m n. m.
Normální tlak vzduchu:	98,7 kPa
Venkovní výpočtová teplota:	Léto: +34,4 °C Zima: -15 °C

3.3.2 Základní koncepce řešení

Při koncepci řešení daného projektu byl objekt rozdělen do 2 zón, tedy 2 zařízení.

Řešené prostory jsou umístěné v 1.NP objektu. V 2.NP je samostatně umístěna strojovna VZT.

Zařízení č. 1 – centrální VZT (zóna 1) pro prostory zázemí (místnosti č. 1.01 – č. 1.22, vyjma místnosti 1.13).

Zařízení č. 2 – centrální VZT (zóna 2) pro prostor tělocvičny (místnosti č. 1.13 a č. 1.23).

Obě zóny budou zajištěné samostatnou VZT jednotkou.

3.3.2.1 Popis VZT zařízení

Zařízení č. 1 – centrální VZT (zóna 1)

Hlavním řešením tohoto projektu byl návrh klimatizace pro prostory zázemí tělocvičny. Řešení bylo koncipováno včetně návrhu VZT jednotky, distribučních prvků, potrubí a dalších technických prvků systému VZT. Navržená VZT jednotka bude umístěna ve strojovně VZT ve 2.NP. Přívodní a odvodní potrubí bude procházet ze strojovny ve 2.NP do chodby v 1.NP a dále pak přes jednotlivé místnosti zóny. Veškeré potrubí v 1.NP bude umístěno v instalačním prostoru nad navrženým podhledem.

Navržená centrální VZT jednotka bude zajišťovat jednostupňovou filtraci čerstvého vzduchu, rekuperaci pomocí křížového deskového výměníku, ohřev přívodního vzduchu pomocí teplovodního výměníku v zimním období, chlazení přívodního vzduchu za pomoci vodního chladiče v letním období a řízenou úpravu vnitřní relativní vlhkosti přiváděného vzduchu v zimním období. Součástí dodávky VZT jednotky budou dále připojovací manžety, tlumící vložky, kapsové filtry, uzavírací klapky a dva ventilátory s volným oběžným kolem, každý pro jedno potrubí.

Pro distribuci přívodního čerstvého vzduchu a odvod znehodnoceného vzduchu bude navrženo čtyřhranné ocelové potrubí z pozinkovaného plechu. Pro napojení distribučních prvků bude použito flexibilní zvukově izolační potrubí. Jako distribuční prvky na přívodním potrubí jsou navrženy vířivé vyústky. A znova tyto vyústky v kombinaci s talířovými odvodními ventily na potrubí odvodním. Tyto distribuční elementy budou dále opatřeny regulačními prvky pro dodatečnou regulaci proudu vzduchu. Jako primární regulační prvky distribučních elementů budou na všech odbočkách osazeny regulační klapky. Na prostupech skrze zdi strojovny VZT budou umístěny požární klapky.

Zařízení č. 2 – centrální VZT (zóna 2)

Hlavním řešením této části projektu byl návrh klimatizace pro prostory tělocvičny. Řešení bylo koncipováno včetně návrhu VZT jednotky, distribučních prvků, potrubí a dalších technických prvků systému VZT. Navržená VZT jednotka bude umístěna ve strojovně VZT ve 2.NP. Přívodní a odvodní potrubí bude procházet ze strojovny ve 2.NP přímo do prostor tělocvičny, kde bude vedeno pod stropem, obě potrubí nad sebou.

Navržená centrální VZT jednotka bude zajišťovat jednostupňovou filtraci čerstvého vzduchu, rekuperaci pomocí křížového deskového výměníku, ohřev přívodního vzduchu pomocí teplovodního výměníku v zimním období, chlazení přívodního vzduchu za pomoci vodního chladiče v letním období a řízenou úpravu vnitřní relativní vlhkosti přiváděného vzduchu v zimním období. Součástí dodávky VZT jednotky budou dále připojovací manžety, tlumící vložky, kapsové filtry, uzavírací klapky a dva ventilátory s volným oběžným kolem, každý pro jedno potrubí.

Pro distribuci přívodního čerstvého vzduchu a odvod znehodnoceného vzduchu bude navrženo kruhové ocelové potrubí z pozinkovaného plechu. Napojení distribučních prvků bude přímé z potrubí. Jako distribuční prvky na přívodním potrubí jsou navrženy dýzy. Na potrubí odvodním jsou navrženy klasické obdélníkové vyústky. Tyto distribuční elementy budou dále opatřeny regulačními prvky pro dodatečnou regulaci proudu vzduchu. Jako primární regulační prvky distribučních elementů budou na všech odbočkách osazeny regulační klapky. Na prostupech skrze zdi strojovny VZT budou umístěny požární klapky.

3.3.2.2 Hygienické větrání

V zóně 1 v prostorách zázemí tělocvičny se nachází hygienické zařízení. U hygienického zařízení je uvažováno podtlakové větrání. Bylo nutné tedy navýšit množství přiváděného čerstvého vzduchu (o množství odváděného vzduchu) v okolních místnostech. Dále návrh počítá s osazením dveřních mřížek v těchto prostorách (rozměr 200 mm x 100 mm).

3.3.3 Popis technického řešení

3.3.3.1 Popis jednotlivých zařízení

Zařízení č. 1 – centrální VZT (zóna 1)

Pro teplovzdušné větrání zóny č. 1 – zázemí byla zvolena jednotka VZT AeroMaster XP 10 od firmy Remak. Pro rozvody vzduchu se uvažuje s rovnotlakým systémem větrání.

Navržená centrální VZT jednotka bude zajišťovat jednostupňovou filtraci čerstvého vzduchu, rekuperaci pomocí křížového deskového výměníku, ohřev přívodního vzduchu pomocí teplovodního výměníku v zimním období, chlazení přívodního vzduchu za pomoci vodního chladiče v letním období a řízenou úpravu vnitřní relativní vlhkosti přiváděného vzduchu v zimním období. Součástí dodávky VZT jednotky budou dále připojovací manžety, tlumící vložky, kapsové filtry, uzavírací klapky a dva ventilátory s volným oběžným kolem, každý pro jedno potrubí s regulací výkonu pomocí frekvenčního měniče. Řízení bude zajišťovat profese pro měření a regulaci, signálem mezi 0-10V.

Výkon zvlhčovače bude dále nadimenzován na 28 % relativní vlhkosti přiváděného vzduchu při přívodní teplotě 27 °C a budou ho zajišťovat elektrické parní zvlhčovače s odporovým vyvíječem. Vlhčení se skládá ze dvou jednotek vyvíječe páry, parních hadic, kondenzačních hadic, relé a distribučních trubic pro krátkou rozptylovou vzdálenost, které budou vsazeny do vlhčicí komory VZT jednotky. Parní hadice, včetně distributorů a jejich osazení do prostoru zvlhčovací komory, bude dodávkou profese VZT. Instalační ocelové konstrukce pro parní vyvíječe budou zajištěny dodávkou profese VZT. Fázové napojení každého zvlhčovače přes samostatně jištěný přívodní kabel zajistí profese silnoproudu - 3 x 400 V. Silové napojení regulace 1 x 230 V zajistí profese taktéž silnoproud. Napojení vyvíječe na rozvod pitné vody přes filtr zajistí profese ZTI (profese ZTI dodá 5mikronový filtr). Odvod horkého kondenzátu na primárním odvodu v těle vyvíječe zajistí ZTI, patřičným odvodem do kanalizace. Spouštění, ovládání a regulaci včetně snímání chodu a signalizaci poruch zajistí profese měření a regulace pomocí napětí 0 - 10V.

Chlazení přiváděného čerstvého vzduchu je ve VZT jednotce řešeno instalací vodního chladiče a eliminátoru kapek (kompaktní prvek). Tato sekce má na dolním panelu integrovanou nerezovou vanu s trubicí zakončenou šroubením pro odvod kondenzátu. Také je vybavena panelem pro servisní použití s madlem pro snadný přístup k eliminátoru. Teplonosné médium pro vodní chladič je voda s teplotním spádem 6/12 °C. Teplosměnná plocha je tvořena hliníkovými lamelami, které jsou s přesahem připevněny na měděných trubicích. Eliminátor kapek bude sloužit k zachytávání vodních kapek vznikajících při kondenzaci na teplosměnné ploše chladiče.

Ohřev přívodního vzduchu ve VZT zařízení bude zajištěn v teplosměnném výměníku. Teplonosnou látku bude tvořit topná voda s teplotním spádem 70/38 °C (z výpočtu programu). Teplosměnnou plochu tvoří hliníkové lamely, které jsou s přesahem nataženy na měděných trubkách. Napojení topné vody bude provedeno z topných rozvodů, které zajistí topenářská profese včetně regulačního uzlu. Pro napojení bude použito lisované měděné potrubí.

Pro distribuci přívodního čerstvého vzduchu a odvod znehodnoceného vzduchu bude navrženo čtyřhranné ocelové potrubí z pozinkovaného plechu třídy těsnosti C. Pro napojení distribučních prvků bude použito flexibilní zvukově izolační potrubí. Tyto ohebné hadice se připevní následovně: vnitřní perforovaná část flexi potrubí bude přetažena přes nástavec VZT potrubí a uchycena stahovací páskou. Tento spoj bude poté těsně přelepen hliníkovou páskou. Poté bude přetažena i svrchní izolovaná strana flexi hadice a tento spoj bude poté těsně přelepen hliníkovou páskou.

Jako distribuční prvky na přívodním potrubí jsou navrženy vířivé vyústky a znova tyto vyústky v kombinaci s talířovými odvodními ventily na potrubí odvodním. Tyto distribuční elementy budou dále opatřeny regulačními prvky pro dodatečnou regulaci proudu vzduchu. Jako primární regulační prvky distribučních elementů budou na všech odbočkách osazeny regulační klapky. Na prostupech skrze zdi strojovny VZT budou umístěny požární klapky.

Sání čerstvého vzduchu bude tvořeno nasávacím otvorem ve střeše budovy a výfuk znehodnoceného vzduchu zajistí výfukový otvor v obvodovém plášti. Sání i výfuk jsou koncipovány na východní straně fasády, avšak jsou od sebe dostatečně vzdáleny, aby nedošlo ke zpětnému nasání. Jako ukončení sacího a výfukového potrubí budou sloužit protidešťové žaluzie opatřené ochrannými pletivy.

Vzduchotechnická jednotka je umístěna ve strojovně VZT ve 2.NP. Transport jednotky proběhne po jednotlivých dílech a následně proběhne složení jednotky. Jednotka bude osazena na betonovém základu a opatřena ocelovým rámem se stavitelnými nohama o výšce 300 mm.

Provoz VZT jednotky bude řízen samostatným systémem měření a regulace.

Vnitřní přívodní potrubí v prostorách zázemí bude tepelně izolováno minerální vatou o tloušťce 40 mm. Potrubí procházející mezi 1.NP a strojovnou VZT v 2.NP bude požárně izolováno. Všechno potrubí vedené ve strojovně VZT bude dále opatřeno tepelnou izolací tloušťky 60 mm. Izolace má za úkol vyloučit kondenzaci vodních par na povrchu potrubí a zároveň omezit ztráty tepla či chladu a omezit šíření hluku do okolního prostředí.

Zařízení č. 2 – centrální VZT (zóna 2)

Pro klimatizaci zóny č. 2 – tělocvična byla zvolena jednotka VZT AeroMaster XP 22 od firmy Remak. Pro rozvody vzduchu se uvažuje s rovnotlakým systémem větrání.

Navržená centrální VZT jednotka bude zajišťovat jednostupňovou filtraci čerstvého vzduchu, rekuperaci pomocí křížového deskového výměníku, ohřev přívodního vzduchu pomocí teplovodního výměníku v zimním období, chlazení přívodního vzduchu za pomoci vodního chladiče v letním období a řízenou úpravu vnitřní relativní vlhkosti přiváděného vzduchu v zimním období. Součástí dodávky VZT jednotky budou dále připojovací manžety, tlumicí vložky, kapsové filtry, uzavírací klapky a dva ventilátory s volným oběžným kolem, každý pro jedno potrubí s regulací výkonu pomocí frekvenčního měniče. Řízení bude zajišťovat profese pro měření a regulaci, signálem mezi 0 - 10 V.

Výkon zvlhčovače bude dále nadimenzován na 28 % relativní vlhkosti přiváděného vzduchu při přívodní teplotě 27 °C a bude zajišťován pomocí elektrických parních zvlhčovačů s odporovým vyvíječem. Vlhčení se skládá ze dvou jednotek vyvíječe páry, parních hadic, kondenzačních hadic, relé a distribučních trubic pro krátkou rozptylovou vzdálenost, které budou vsazeny do vlhčicí komory VZT jednotky. Parní hadice, včetně distributorů a jejich osazení do prostoru zvlhčovací komory, bude dodávkou profese VZT. Instalační ocelové konstrukce pro parní vyvíječe budou zajištěny dodávkou profese VZT. Fázové napojení každého zvlhčovače přes samostatně jištěný přívodní kabel zajistí profese silnoproudu - 3 x400 V. Silové napojení regulace 1 x 230 V zajistí profese taktéž silnoproud. Napojení vyvíječe na rozvod pitné vody přes filtr zajistí profese ZTI (profese ZTI dodá 5mikronový filtr). Odvod horkého kondenzátu na primárním odvodu v těle vyvíječe zajistí ZTI patřičným odvodem do kanalizace. Spouštění, ovládání a regulaci včetně snímání chodu a signalizaci poruch zajistí profese měření a regulace pomocí napětí 0 - 10V.

Chlazení přiváděného čerstvého vzduchu je ve VZT jednotce řešeno instalací vodního chladiče a eliminátoru kapek (kompaktní prvek). Tato sekce má na dolním panelu integrovanou nerezovou vanu s trubicí zakončenou šroubením pro odvod kondenzátu. Také je vybavena panelem pro servisní použití s madlem pro snadný přístup k eliminátoru. Teplonosné médium pro vodní chladič je voda s teplotním spádem 6/12 °C. Teplosměnná plocha je tvořena hliníkovými lamelami, které jsou s přesahem připevněny na měděných trubicích. Eliminátor kapek bude sloužit k zachytávání vodních kapek vznikajících při kondenzaci na teplosměnné ploše chladiče.

Ohřev přívodního vzduchu ve VZT zařízení bude zajištěn v teplosměnném výměníku. Teplonosnou látku bude tvořit topná voda s teplotním spádem 70/42 °C (z výpočtu programu). Teplosměnnou plochu tvoří hliníkové lamely, které jsou s přesahem nataženy na měděných trubkách. Napojení topné vody bude provedeno z topných rozvodů, které zajistí topenářská profese včetně regulačního uzlu. Pro napojení bude použito lisované měděné potrubí.

Pro distribuci přívodního čerstvého vzduchu a odvod znehodnoceného vzduchu bude navrženo kruhové ocelové potrubí z pozinkovaného plechu, třídy těsnosti C. Napojení distribučních prvků bude přímé z potrubí. Tedy vsazením do otvoru stažením objímkou či připevněním šrouby a těsným přelepením hliníkovou páskou přímo do VZT potrubí.

Jako distribuční prvky na přívodním potrubí jsou navrženy dýzy. Na potrubí odvodním jsou navrženy klasické obdélníkové vyústky. Tyto distribuční elementy budou dále opatřeny regulačními prvky pro dodatečnou regulaci proudu vzduchu. Jako primární regulační prvky distribučních elementů budou na všech odbočkách osazeny regulační klapky. Na prostupech skrze zdi strojovny VZT budou umístěny požární klapky.

Sání čerstvého vzduchu bude tvořeno nasávacím otvorem ve střeše budovy a výfuk znehodnoceného vzduchu zajistí výfukový otvor v obvodovém plášti. Sání i výfuk jsou koncipovány na jižní straně fasády, avšak jsou od sebe dostatečně vzdáleny, aby nedošlo ke zpětnému nasání. Jako ukončení sacího a výfukového potrubí budou sloužit protidešťové žaluzie opatřené ochrannými pletivy.

Vzduchotechnická jednotka je umístěna ve strojovně VZT ve 2.NP. Transport jednotky proběhne po jednotlivých dílech a následně proběhne složení jednotky. Jednotka bude osazena na betonovém základu a opatřena ocelovým rámem se stavitelnými nohama o výšce 300 mm.

Provoz VZT jednotky bude řízen samostatným systémem měření a regulace.

Vnitřní přívodní potrubí v prostorách zázemí bude tepelně izolováno minerální vatou o tloušťce 40 mm. Potrubí procházející mezi 1.NP a strojovnou VZT v 2.NP bude požárně izolováno. Všechno potrubí vedené ve strojovně VZT bude dále opatřeno tepelnou izolací tloušťky 60 mm. Izolace má za úkol vyloučit kondenzaci vodních par na povrchu potrubí a zároveň omezit ztráty tepla či chladu a omezit šíření hluku do okolního prostředí.

3.3.4 Nároky na energie

Pro zajištění funkčnosti a chodu větracích a klimatizačních zařízení bude nutno zabezpečit elektrickou energii pro pohon elektromotorů ventilátorů, čerpadel, uzavíracích a regulačních klapek a jiných elektrických zařízení.

3.3.5 Měření a regulace, protimrazová ochrana

Navržená zařízení VZT budou řízeny a regulovány samostatným systémem měření a regulace. To bude zajišťovat profese MaR těmito signalizačními prvky a kroky:

- Ovládání chodu ventilátorů, silové napájení ovládaných zařízení
- Regulace teploty vzduchu řízením výkonu teplovodního ohřívače v zimním období
- Regulace teploty vzduchu řízením výkonu vodního chladiče a přímého výparníku v letním období – ovládání kondenzačních jednotek přímého chlazení přes připojovací rozhraní
- Regulace vlhkosti vzduchu řízením výkonu parního vlhčení v závislosti na vlhkosti v místnosti a na vlhkosti přívodního vzduchu
- Dodávka a umístění teplotních a vlhkostních čidel proběhne dle požadavku
- Protimrazová ochrana deskového výměníku se bude dít nastavováním obtokové klapky (tlakové i teplotní čidlo na výměníku)
- Ovládání uzavíracích klapek na jednotce pomocí servopohonů
- Protimrazová ochrana teplovodního výměníku – měření na straně vody i vzduchu
Při poklesu teploty: 1. vypnutí ventilátorů, 2. uzavření klapek, 3. otevření třicestného ventilu, 4. spouštění čerpadla
- Signalizování bezporuchového chodu ventilátorů pomocí diferenčního snímače tlaku
- Snímání diferenčního tlaku na filtrech a signalizace zanesení filtračních vložek pomocí čidla
- Plynulá regulace výkonu ventilátoru frekvenčními měniči na přívodu i odvodu vzhledem ke stupni zanášení filtrů a možnosti nastavení vzduchového výkonu zařízení podle potřeby provozu a časového rozvrhu
- Poruchová signalizace, připojení regulace a signalizace všech zařízení na centralizované stanoviště
- Signalizace požárních klapek

3.3.6 Nároky na související profese

3.3.6.1 Stavební úpravy

- Bude nutné vytvořit veškeré otvory pro prostupy potrubí a jejich uvedení do finálního stavu (zazdění, zaomítání, výmalba)
- Dotěsnění a doobložení prostupu potrubí příslušnými izolačními materiály (tepelnou izolací, hliníkovou páskou atd.)
- Nátěry některých částí VZT zařízení
- Oplechování součástí VZT zařízení
- Vytvoření revizních otvorů pro přístup k regulačním klapkám
- Zajištění povrchové úpravy podlahy pro bezpečný provoz a její vyspádování do kanalizační vpusti
- Připevnění VZT prvků do nosných konstrukcí budovy
- Případné jiné nutné stavební práce

3.3.6.2 Silnoproud

- Veškerá elektrická zařízení budou zapojena dle technického listu těchto výrobků
- Nutné správné napojení pro systémy MaR
- Nutné správné napojení elektrických parních vyvíječů
- Osazení servisních vypínačů
- Případné jiné nutné silnoproudové práce

3.3.6.3 Vytápění

- Nutné zabezpečit přípravu otopné vody pro výměník ohříváče a následné rozvody k tomuto výměníku (včetně všech regulačních armatur).

3.3.6.4 Zdravotechnika

- Odvod kondenzátu a jeho napojení do kanalizační vpusti přes zpětnou klapku na všech zařízeních, kde kondenzát vzniká.

3.3.7 Protihluková a protiotřesová opatření

Dle technického návrhu byly nadimenzovány a dále budou vloženy kulisové tlumiče hluku, které sníží akustický výkon, vydávaný ventilátorem, na normou přípustnou hodnotu v dané místnosti a venkovním prostředí.

Tyto tlumiče budou osazeny jak v přívodních, tak odvodních trasách vzduchovodů, a to v rozměru předepsaném dle výpočtu.

Dále budou všechny zařízení způsobující vibrace a otřesy (VZT jednotky, ventilátory) pružně uloženy proti zamezení přenosu vibrací do stavebních konstrukcí a následnému šíření vibrací do obytných prostor. Rám jednotky bude stát na gumových podložkách.

VZT potrubí bude napojeno přes pružné manžety na VZT jednotku.

3.3.8 Izolace a nátěry

Vnitřní přívodní potrubí v prostorách zázemí bude tepelně izolováno minerální vatou o tloušťce 40 mm. Potrubí procházející mezi 1.NP a strojovnou VZT v 2.NP bude požárně izolováno. Všechno potrubí vedené ve strojovně VZT bude dále opatřeno tepelnou izolací tloušťky 60 mm. Izolace má za úkol vyloučit kondenzaci vodních par na povrchu potrubí a zároveň omezit ztráty tepla či chladu a omezit šíření hluku do okolního prostředí.

3.3.9 Protipožární opatření

V potrubí, procházející dělicí konstrukcí ohraničující požární úsek, jsou navrženy protipožární klapky pro zamezení šíření požáru skrze potrubí. Ke klapkám bude zajištěn revizní přístup. Dále na prostupu potrubí do strojovny VZT ve 2.NP budou veškeré potrubí opatřeny protipožární izolací.

3.3.10 Montáž, provoz, údržba a obsluha zařízení

VZT zařízení musí být pravidelně kontrolováno a čištěno odborným technickým pracovníkem s příslušným oprávněním. Musí být zajištěny revize zařízení tímto technikem. Provozní řád údržby a manipulace se zařízením bude umístěn ve strojovně VZT.

3.3.11 Závěr

Navržené VZT zařízení splňuje požadavky normy a nároky kladené na daný provoz. Zabezpečí celoročně v daných místnostech požadovanou pohodu vnitřního prostředí s ohledem na předpisy a zároveň zajistí maximální hospodárnost provozu.

Datum: 3.12.2020

Vypracoval: Bc. Radek Navrátil

3.4 Specifikace prvků

Tabulka 3.19 Specifikace zařízení č.1

Zařízení č. 1 - Teplovzdušné větrání zázemí - specifikace			
ozn.	Popis zařízení	Jednotka	Množství
VZT jednotka			
1.01	VZT jednotka AeroMaster XP 10 - skladba:	ks	1
	Tlumící manžety, sekce filtru M5, deskový rekuperátor vč. směšování, ohřívací komora, chladič, 2x ventilátorová komora, filtr G3, parní vlhčení, eliminátor kapek, rám s nosnými nohami		
Distribuční prvky			
1.03	Protidešťová žaluzie 800/800	ks	1
1.04	Protidešťová žaluzie 1000/800	ks	1
1.07	odvodní talířový ventil DVS200	ks	5
1.08	odvodní talířový ventil DVS160	ks	7
1.09	Vířivá vyústka s nastavitelnými lamelami VVM/C 500x24, vč. regulační klapky; MANDIK	ks	19
1.10	Vířivá vyústka s nastavitelnými lamelami VVM/C 600x48, vč. regulační klapky; MANDIK	ks	7
1.11	Vířivá vyústka s nastavitelnými lamelami VVM/C 600x24, vč. regulační klapky; MANDIK	ks	3
Potrubí			
1.14	Čtyřhranné ocelové potrubí sk. I		
	200x100/4% tvar. dílů	bm	23,4
	250x150/4% tvar. dílů	bm	3,8
	300x100/5% tvar. dílů	bm	11,9
	300x150/3% tvar. dílů	bm	9,8
	300x200/6% tvar. dílů	bm	4
	400x150/3% tvar. dílů	bm	6,6
	400x200/4% tvar. dílů	bm	12,8
	400x250/5% tvar. dílů	bm	15,5
	500x150/4% tvar. dílů	bm	3,6
	500x300/3% tvar. dílů	bm	5
	600x250/5% tvar. dílů	bm	6,7
	600x300/2% tvar. dílů	bm	3,8
	600x400/23% tvar. dílů	bm	16,5
	600x500/29% tvar. dílů	bm	12,3
Připojovací flexibilní potrubí			
1.16	Flexibilní zvukově izolační potrubí SONOFLEX		
	průměr 315 mm	bm	21
	průměr 200 mm	bm	11
Ostatní			
1.17	Požární klapky 600 x 500	ks	1
	Požární klapky 600 x 400	ks	1
	Požární klapky 400 x 300	ks	1

1.19	Regulační klapky	ks	18
1.20	Tlumič hluku Greif - G200x500x2000.1	ks	2
	Tepelná izolace Orsil Orstech LSP H, tl.60mm (čtyřhranné potrubí) S AL polepem, přelepení spojů AL páskou	m ²	65
	Tepelná izolace Orsil Orstech LSP H, tl.40mm (čtyřhranné potrubí) S AL polepem, přelepení spojů AL páskou	m ²	50
	Protipožární izolace Orsil Orstech 65 H, tl.40mm (čtyřhranné potrubí)	m ²	15

Tabulka 3.20 Specifikace zařízení č. 2

Zařízení č. 2 - Klimatizace tělocvičny - specifikace			
ozn.	Popis zařízení	Jednotka	Množství
VZT jednotka			
1.02	VZT jednotka AeroMaster XP 22 - skladba:	ks	1
	Tlumící manžety, sekce filtru M5, deskový rekuperátor vč. směšování, ohřívací komora, chladič, 2x ventilátorová komora, filtr G3, parní vlhčení, eliminátor kapek, rám s nosnými nohami		
Distribuční prvky			
1.05	Protidešťová žaluzie 1100/1200	ks	1
1.06	Protidešťová žaluzie 1300/1200	ks	1
1.12	Dýza TRS-315(CW)	ks	17
1.13	Mřížová vyústka na kruhové potrubí 825x225	ks	17
Potrubí			
1.15	Kruhové ocelové potrubí sk. I		
	355/2% tvar. dílů	bm	4
	500/2% tvar. dílů	bm	4
	600/2% tvar. dílů	bm	4
	630/2% tvar. dílů	bm	4
	710/2% tvar. dílů	bm	8
	800/2% tvar. dílů	bm	16
	900/88% tvar. dílů	bm	55
Ostatní			
1.18	Požární klapky 900x900	ks	1
1.19	Regulační klapky 900	ks	2
1.21	Tlumič hluku Greif - G200x500x2000.1; 1000x1000x2000	ks	2
1.22	Tlumič hluku Greif - G200x500x2000.1; 1000x1000x1000	ks	1
	Tepelná izolace Orsil Orstech LSP H, tl.60mm (kruhové potrubí) S AL polepem, přelepení spojů AL páskou	m ²	185
	Tepelná izolace Orsil Orstech LSP H, tl.40mm (kruhové potrubí) S AL polepem, přelepení spojů AL páskou	m ²	95

ZÁVĚR

Účelem experimentální části této práce bylo zkusit změřit přibližný směr proudění vzduchu z koncového distribučního elementu (vyústky). Tuto vyústku poté namodelovat a v simulačním softwaru zobrazit přibližné proudění vzduchu v modelové místnosti a najít k této vyústce (zde vířivá výust) alternativní zjednodušený model, který by ve stejné modelové místnosti měl co nejvíce shodné obrazy proudění vzduchu. Při dostatečné shodě by pak bylo možno komplikované tvary koncových vyústek při simulacích nahradit těmito zjednodušenými modely, čímž by se celý výpočet a modelování značně zjednodušily.

V dnešní době, kdy se přechází na systém BIM a veškeré profese se shlukují do jednoho modelu, jsou zjednodušení, která se dají dobře užít, čím dál více vítaná odborníky z praxe. Stejně tak v případě simulací jsou softwary, které tyto simulace počítají, velmi náročné na výkon zařízení a na čas. Je tedy výhodné si výpočet urychlit vhodným zjednodušením.

Jsem velice rád, že jsem si mohl v této práci vyzkoušet experiment s měřením i simulací směru a obrazu proudění. Myslím si také, že čím více výzkumu na toto téma proběhne, tím je větší pravděpodobnost pro přesnější výsledky a tím i větší uplatnění v praxi. Přeci jen ušetřit čas na výpočtu je v dnešní době, kdy času moc není, jistě žádané. Byl bych tedy rád, kdyby se na podobném, anebo souvisejícím experimentu dále pracovalo a rozvíjel se tak jeho potenciál.

Děkuji všem, kteří se podíleli na této práci a jsem velice rád, že jsem měl možnost vyzkoušet si tento experiment.

POUŽITÉ ZDROJE

Knihy a akademické práce

1. CHYSKÝ, Jaroslav a Ladislav OPPL. *Větrání a klimatizace*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1971. s. 5.
2. GEBAUER, Günter, Olga RUBINOVÁ a Helena HORKÁ. *Vzduchotechnika*. Brno: ERA, 2007. s. 142. ISBN 978-80-7366-091-8.
3. HIRŠ Jiří, GEBAUER Günter. Součásti vzduchotechnických systémů, Modul BT02-06, Studijní opory. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2005. s. 16.

Normy

4. ČSN 730540. ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA. Tepelná ochrana budov:
Požadavky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012
5. ČSN 12 7010/Z1. Vzduchotechnická zařízení - navrhování větracích a klimatizačních zařízení - obecná ustanovení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016. 14 p.
6. ČSN 73 0548. Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostor. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1986. 32 p.
7. ČSN 73 0872. Požární bezpečnost staveb. Ochrana staveb proti šíření požáru vzduchotechnickým zařízení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1996. 12 p.
8. ČSN 14 0646. Bezpečnostní požadavky pro chladicí zařízení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1989. 48 p
9. ČSN EN ISO 7730. Ergonomie tepelného prostředí - Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu. Praha: Český normalizační institut, 2006. 48 p.

Elektronické zdroje

10. Vyhláška č. 6/2003 Sb., vyhláška, kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb [online]. In: *Zákony pro lidi.cz*. © AION CS 2010-2020 [cit. 16. 12. 2020]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2003-6>
11. Nařízení č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. [online]. In: *tzb-info.cz*. [cit. 15. 12. 2020]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/narizeni-c-272-2011-sb-o-ochrane-zdravi-pred-nepriznivymi-ucinky-hluku-a-vibraci>
12. LENHART Marek. Optimalizace větrání divadelní haly. [online]. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2018. [cit. 17. 12. 2020]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/111462>

13. CT011-10 – Experimentální metody v TZB. Vizualizace obrazu proudění vzduchu s použitím distribučních prvků. Přednášky v elektronické podobě. [online]. Brno: VUT FAST, ústav TZB. [cit. 10. 12. 2020]. Dostupné z: <https://lms.fce.vutbr.cz/course/view.php?id=332>
14. RUBINA Aleš, Blasinski Petr. CT002-Vybrané statě ze vzduchotechniky. Proudění vzduchu a jeho distribuce. Přednášky v elektronické podobě. [online]. Brno: VUT FAST, ústav TZB, 2016. [cit. 10. 12. 2020]. Dostupné z: <https://lms.fce.vutbr.cz/course/view.php?id=299>
15. RUBINOVÁ Olga. CT052 – Technika prostředí. Hodnocení tepelné vlhkostního mikroklimatu budov. Přednášky v elektronické podobě. [online]. Brno: VUT FAST, ústav TZB, 2018. [cit. 12. 12. 2020]. Dostupné z: <https://lms.fce.vutbr.cz/course/view.php?id=190>
16. DRKAL František, LAIN Miloš, SCHWARZER Jan, ZMRHAL Vladimír. Vzduchotechnika. [online]. Praha: 2009. [cit. 15. 12. 2020]. Dostupné z: <http://svjvybiralova.cz/images/dokumenty/vzt/Vzduchotechnika.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A OZNAČENÍ

Zkratky

VZT	– vzduchotechnika
ČSN	– česká státní norma
CFD	– computational fluid dynamics
BIM	– building information model
F	– filtry pro hrubý prach
G	– filtry pro jemný prach
TZB	– technické zařízení budov
ZZT	– zpětné získávání tepla
ZTI	– zdravotnická
MaR	– měření a regulace
Ti	– tepelná izolace
tl.	– tloušťka
Al	– aluminium (hliník)
M	– filtry pro středně hrubý prach
NP	– nadzemní podlaží
Č.Ú.	– číslo úseku
CO ₂	– oxid uhličitý
Re _{krit}	– reynoldsovo kritérium
Tzn.	– to znamená

Fyzikální veličiny

L	– délka	[m]
m	– hmotnost	[kg]
S	– plocha	[m ²]
O	– objem	[m ³]
d	– průměr	[m]
t	– teplota	[°C]
v	– rychlost	[m/s]
V	– objemový průtok	[m ³ /h]
ρ	– hustota	[kg/m ³]
n	– násobnost výměny vzduchu	[h ⁻¹]
η	– účinnost	[-]
φ	– relativní vlhkost	[%]
p	– tlak	[Pa]
Q	– tepelná ztráta/zisky	[W]
W	– akustický výkon	[dB]
R	– měrná tlaková ztráta	[Pa/m]

ξ	– součinitel vřazených odporů	[-]
Z	– tlaková ztráta místními odpory	[Pa]
λ	– součinitel tepelné vodivosti	[W/m.K]
U	– součinitel prostupu tepla	[W/m ² .K]
R	– tepelný odpor konstrukce	[m ² .K/W]
c	– měrná tepelná kapacita	[J/Kg.K]
H	– měrná ztráta prostupem	[W/K]
b	– redukční činitel	[-]
ν	– viskozita	[m ² /s]
w	– rychlost proudění	[m/s]
t_g	– výsledná teplota kulového teploměru	[°C]
$L_{A,eq,T}$	– ekvivalentní hladina akustického tlaku A	[dB]
$L_{A,max}$	– maximální hladina akustického tlaku A	[dB]

Indexy

- i – interiér
- o – odvodní / odpadní
- p – přívod / pracovní

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázky

Obrázek 1.1 Coandův jev[2]	14
Obrázek 1.2 Vírový efekt [2].....	15
Obrázek 1.3 Indukční efekt[13]	15
Obrázek 1.4 Laminární proudění[12]	16
Obrázek 1.5 Turbulentní proudění[12].....	16
Obrázek 1.6 Rozdělení proudů dle geometrie[2].....	18
Obrázek 1.7 Neizotermní proud[13].....	19
Obrázek 1.8 Typy větrání: zaplavovací, zřed'ovací[13].....	19
Obrázek 1.9 Typy větrání: zdrojové, kompaktní proudové[13]	20
Obrázek 1.10 Směšovací proudění s kruhovým či plochým proudem a s výraznou turbulencí[13]23	
Obrázek 1.11 Směšovací proudění s radiálním proudem[13]	23
Obrázek 1.12 Vyústka obdélníková mřížová[13].....	23
Obrázek 1.13 Štěrbínová vyústka[13][16].....	24
Obrázek 1.14 Vířivá vyústka [13]	24
Obrázek 1.15 Anemostat.....	24
Obrázek 1.16 Talířový ventil [13]	24
Obrázek 1.17 Dralova výust' [13].....	25
Obrázek 1.18 Směšovací proudění s kompaktním proudem vzduchu[13]	25
Obrázek 1.19 Dýza [13][16].....	26
Obrázek 1.20 Velkoobjemová vyústka [13].....	26
Obrázek 1.21 Dosah proudu jednotlivých vyústek[13].....	26
Obrázek 1.22 Zaplavovací větrání a velkoplošná vyústka [3][13][16]	27
Obrázek 1.23 Proudění vzduchu zdola nahoru[13]	27
Obrázek 1.24 Podlahová vyústka [13].....	28
Obrázek 1.25 Indukční jednotka[2][3].....	28
Obrázek 1.26 Příklad posuzování vnitřního prostředí dle PPD a PMV [15]	31
Obrázek 2.1 Měřicí pomůcky.....	35
Obrázek 2.2 Anemometr ALMEMO 2290-2.....	36
Obrázek 2.3 Radiální ventilátor Lindab TF 160H.....	36
Obrázek 2.4 Čtyřhranný a kruhový anemostat	37
Obrázek 2.5 Vířivá výust'.....	37
Obrázek 2.6 Schéma měřicí soustavy	38
Obrázek 2.7 Model vířivé vyústky s lamely pod 45°(vlevo) a lamely vodorovnými (vpravo)	39

Obrázek 2.8 Modelová místnost s vyústkou (vlevo) a s odvodním otvorem (vpravo).....	40
Obrázek 2.9 Model polokoule	40
Obrázek 2.10 Model polokoule utnuté o kulový vrchlík	41
Obrázek 2.11 Model kulového vrchlíku	41
Obrázek 2.12 Model kulového vrchlíku částečně utnutý o menší vrchol	42
Obrázek 2.13 Model kulového vrchlíku částečně utnutý o větší vrchol.....	42
Obrázek 2.14 Výpočtová síť.....	43
Obrázek 2.15 Volba řezové roviny.....	45
Obrázek 2.16 Měřicí soustava s ventilátorem.....	46
Obrázek 2.17 Měřené distribuční prvky	46
Obrázek 2.18 Měření vířivé vyústě - pomocí nitě určení směru proudění vzduchu - horní a 2x boční pohled.....	47
Obrázek 2.19 Měření rychlosti proudění vzduchu z vyústky	48
Obrázek 2.20 Měření směru proudu vzduchu z vyústky.....	48
Obrázek 2.21 Skalární pole vířivé vyústky s lamely vodorovnými	50
Obrázek 2.22 Skalární pole vířivé vyústky s lamely pod 45°.....	51
Obrázek 2.23 Skalární pole model č.1 - polokoule	52
Obrázek 2.24 Skalární pole model č.2 - polokoule utnutá o kulový vrchlík.....	53
Obrázek 2.25 Skalární pole model č.3 - kulový vrchlík	54
Obrázek 2.26 Skalární pole modelu č.4 - kulový vrchlík částečně utnutý o menší vrchol.....	55
Obrázek 2.27 Skalární pole modelu č.5 - kulový vrchlík částečně utnutý o větší vrchol.....	56
Obrázek 2.28 Čtvercová síť okolo vířivé vyústky s lamely vodorovně a modelu č.3 – kulový vrchlík.....	57
Obrázek 2.29 Čtvercová síť okolo vířivé vyústky s lamely pod 45° a modelu č.5 – kulový vrchlík, částečně utnutý o větší vrchol.....	58
Obrázek 3.1 Členění objektu do jednotlivých zón	62
Obrázek 3.2 Výstup z programu TERUNA – místnost 1.10.....	65
Obrázek 3.3 Výstup z programu TERUNA – místnost 1.19.....	66
Obrázek 3.4 Výstup z programu TERUNA – místnost 1.23.....	67
Obrázek 3.5 Přibližné schéma vedení potrubí pro dimenzování	74
Obrázek 3.6 Psychrometrický diagram VZT jednotky - zařízení č. 1.....	80
Obrázek 3.7 Psychrometrický diagram VZT jednotky - zařízení č. 2.....	82
Obrázek 3.8 Posouzení izolace přívodního potrubí strojovny VZT v létě – zařízení č. 1	87
Obrázek 3.9 Posouzení izolace přívodního potrubí strojovny VZT v zimě – zařízení č. 2.....	87

Tabulky

<i>Tabulka 1.1 Složení suchého čistého vzduchu</i>	<i>13</i>
<i>Tabulka 1.2 Rozdělení distribučních prvků.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabulka 1.3 Rychlost proudění vzduchu v obytných místnostech[10].....</i>	<i>29</i>
<i>Tabulka 1.4 Požadavky na výslednou teplotu kulového teploměru v obytných místnostech[10]30</i>	
<i>Tabulka 1.5 Korekce pro chráněné vnitřní prostředí některých typů staveb[11]</i>	<i>30</i>
<i>Tabulka 1.6 Kategorie tepelného mikroklimatu budov dle ČSN EN ISO 7730 [9].....</i>	<i>32</i>
<i>Tabulka 2.1 Stanovení rychlosti proudění vzduchu u zjednodušených modelů</i>	<i>44</i>
<i>Tabulka 2.2 Vzájemná shoda rychlosti proudění vzduchu v místnosti - lamely vodorovně a model č.3 – kulový vrchlík.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabulka 2.3 Vzájemná shoda rychlosti proudění vzduchu v místnosti - lamely pod 45° a model č.5 – kulový vrchlík, částečně utnutý o větší vrchol</i>	<i>59</i>
<i>Tabulka 3.1 Tepelné ztráty prostupem jednotlivých místností</i>	<i>63</i>
<i>Tabulka 3.2 Tepelné zisky jednotlivých místností.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabulka 3.3 Průtoky přívodního a odvodního vzduchu jednotlivých místností</i>	<i>69</i>
<i>Tabulka 3.4 Výstup z programu Halton HIT design - Dýza TRS-315.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabulka 3.5 Výstup z programu Halton HIT design - štěrbinová výust' SLL</i>	<i>71</i>
<i>Tabulka 3.6 Přehled koncových distribučních elementů</i>	<i>73</i>
<i>Tabulka 3.7 Dimenzování - hlavní potrubí</i>	<i>75</i>
<i>Tabulka 3.8 Dimenzování - vedlejší potrubí</i>	<i>77</i>
<i>Tabulka 3.9 Specifikace VZT jednotky - zařízení č. 1</i>	<i>79</i>
<i>Tabulka 3.10 Specifikace VZT jednotky - zařízení č. 2</i>	<i>81</i>
<i>Tabulka 3.11 Výpočet útlumu hluku - zařízení č. 1 - posuzovaná místnost: kabinet 1.10.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabulka 3.12 Výpočet útlumu hluku - zařízení č. 2 - posuzovaná místnost: tělocvična 1.23</i>	<i>84</i>
<i>Tabulka 3.13 Výpočet útlumu hluku - zařízení č. 1 - venkovní prostor.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabulka 3.14 Výpočet útlumu hluku - zařízení č. 2 - venkovní prostor.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabulka 3.15 Návrhové parametry místností pro posouzení izolace potrubí</i>	<i>88</i>
<i>Tabulka 3.16 Návrhové parametry potrubí pro posouzení izolace</i>	<i>88</i>
<i>Tabulka 3.17 Výstupní hodnoty z programu Teruna pro posouzení tloušťky izolace potrubí – zařízení č. 1</i>	<i>88</i>
<i>Tabulka 3.18 Výstupní hodnoty z programu Teruna pro posouzení tloušťky izolace potrubí – zařízení č. 2</i>	<i>89</i>
<i>Tabulka 3.19 Specifikace zařízení č.1</i>	<i>100</i>
<i>Tabulka 3.20 Specifikace zařízení č. 2</i>	<i>101</i>

SEZNAM PŘÍLOH

P1 – Výpočet součinitele prostupu tepla konstrukcí

P2 – Výpočet součinitele prostupu tepla oken a dveří

P3 – Výpočet tepelných ztrát

P4 – Návrh tlumičů hluku Greif

P5 – Tabulky souřadnic vektorů směru proudění vzduchu pro jednotlivé distribuční prvky

P6 – Tabulky rychlosti proudění ve směru proudu vzduchu pro jednotlivé distribuční prvky

P7 – Simulace – obrazy proudění vzduchu z jednotlivých typů modelů

Výkresy:

Výkres č. D.1.1.01 – PŮDORYS 1.NP M 1:100

Výkres č. D.1.1.02 – PŮDORYS 2.NP M 1:100

Výkres č. D.1.1.03 – ŘEZ A-A M 1:100