



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STAVEBNÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

**ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV**

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

**AKUSTIKA MALÝCH VENTILÁTORŮ**

ACOUSTICS OF SMALL FANS

**TEZE DIZERTAČNÍ PRÁCE**

SHORT VERSION OF DISSERTATION

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**ING. LENKA HÁJKOVÁ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**DOC. ING. JIŘÍ HIRŠ, CSc.**

**BRNO 2016**

***Klíčová slova***

akustické mikroklima, akustika vzduchotechniky, hladina akustického tlaku, zdroj hluku, eliminace hluku

***Key words***

acoustic microclimate, acoustics of air conditioning, sound pressure level, noise source, elimination of noise

Rukopis dizertační práce je uložen na Ústavu technických zařízení budov, Fakultě stavební, VUT v Brně.

© Ing. Lenka Hájková, 2016

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU PROBLEMATIKY</b>	<b>5</b>
2.1	ZVUK A HLUK.....	6
2.2	ZDROJE HLUKU VE VZDUCHOTECHNICE.....	9
<b>3</b>	<b>CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE</b>	<b>11</b>
3.1	SPECIFIKACE DÍLČÍCH CÍLŮ .....	11
<b>4</b>	<b>METODY ŘEŠENÍ</b>	<b>12</b>
4.1	ANALÝZA OKRAJOVÝCH PODMÍNEK .....	12
4.2	EXPERIMENTÁLNÍ METODY .....	13
4.3	TEORETICKÉ METODY .....	14
<b>5</b>	<b>VÝSLEDKY DIZERTAČNÍ PRÁCE</b>	<b>15</b>
5.1	EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ.....	15
5.2	SIMULACE .....	21
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR</b>	<b>26</b>
6.1	SHRnutí VÝSLEDKŮ.....	26
6.2	VÝZNAM PRO ROZVOJ VĚDNÍHO OBORU .....	26
6.3	VÝZNAM A ZÁVĚRY PRO TECHNICKOU PRAXI .....	27
6.4	MOŽNOSTI DALŠÍHO VÝZKUMU .....	28
	<b>LITERATURA</b>	<b>29</b>
	<b>ŽIVOTOPIS</b>	<b>30</b>



# 1 ÚVOD

Pro vytvoření příjemného mikroklimatu v budovách, je nutné v souladu s platnými předpisy zajistit větrání jednotlivých pobytových místností. ČSN EN 15665 se změnou Z1 stanovuje minimální a doporučené hodnoty intenzity větrání v bytových jednotkách. Dle uvedené normy je minimální požadovaná intenzita výměny vzduchu v prostoru  $0,3 \text{ hod}^{-1}$  (při pobytu lidí). To znamená, že zvolená alternativa větrání prostor by měla být v provozu nepřetržitě 24 hodin denně. Prvky, které odvod vzduchu zajišťují, jsou ovšem zdrojem hluku, který vhodné mikroklima docílené výměnou vzduchu může značně narušovat. Proto je velmi podstatné věnovat pozornost vlastnostem zvoleného odvodního systému i po akustické stránce.

Podklady od výrobců malých vzduchotechnických (dále VZT) zařízení, které jsou určeny k odvodu vzduchu z hygienických prostor, nemají jednotnou formu. Zpravidla jsou uváděny jednočíselné hodnoty akustického tlaku, navíc naměřené v různých vzdálenostech od zdroje a především jsou tyto údaje získávány v laboratorních podmínkách bezdrazových akustických místností. Reálné hladiny akustických tlaků v prostorech hygienických místností, jejichž parametry jsou naprosto odlišné od laboratorních podmínek, dosahují potom výrazně vyšších hodnot.

Práce se zabývá akustikou hygienických místností a možnostmi snížení hlukových emisí vzduchotechnických zařízení, které se užívají pro jejich větrání a dále vlivem hluku z hygienických místností na chráněné bytové prostory. Byly zkoumány vlivy umístění vyústek v prostoru, přeslechy přes stoupací šachty, vlivy způsobu osazení ventilátoru do stěny (tuhé těžké konstrukce) a do podhledu (lehké konstrukce). Pochopením a uplatňováním zásad, které vedou ke snížení hlukových emisí v prostorech bytů, dojde ke zlepšení interního mikroklimatu nejen samotných uživatelů, ale i sousedících prostorů a jejich obyvatel.

## 2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU PROBLEMATIKY

Jak již bylo v úvodní kapitole popsáno, dle platné legislativy je nutné zajistit provětrání bytů a odvod škodlivin z prostorů nejvíce zatížených nežádoucími látkami (ať už jsou to oděry nebo pára), což obecně v bytech znamená záchod a koupelna (popř. kuchyň).

Akustické údaje ventilátorů jsou měřeny za různých okrajových podmínek, z čehož vyplývá, že se tyto hodnoty mezi jednotlivými výrobky porovnávají velmi obtížně. Tím, že výrobci používají pro měření akustického tlaku různé vzdálenosti od zdroje, dochází ke značnému zkreslování údajů a je velmi snadné daný výrobek "opticky vylepšit" oproti ostatním. Velmi často se také jedná o vzdálenosti, které v malých hygienických místnostech prakticky nelze dosáhnout.

V legislativních předpisech není uveden požadavek, který by nějakým způsobem omezoval emise hluku v hygienických prostorech. Jistý posun nastává až od r.2016, kdy je legislativním předpisem EU 1253/2014 omezen akustický výkon  $A L_{WA}$

zdrojů s elektrickým příkonem vyšším jak 30 W. Starších výrobků a všech výrobků uvedených na trh do tohoto roku se to ovšem netýká.

Nařízení vlády č.272/2011 o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací uvádí hygienický limit uvnitř obytných a jiných chráněných prostor. Jak je ovšem uvedeno v příloze č.2 k nařízení vlády č. 272/2011 Sb. "limity se nevztahují na hluk způsobený používáním chráněné místnosti". Ventilátory a jiné zdroje hluku, které jsou umístěné v prostorách koupelen a toalet, jsou považované za způsob používání těchto místností, proto se na ně hygienické limity nevztahují. V praxi z této skutečnosti vyplývá, že výrobci, investoři ani projektanti nejsou ničím limitováni a hluku v hygienických místnostech není přikládána velká důležitost.

Změna ovšem nastává v požadované funkci ventilátorů, kdy by dle ČSN EN 15665 se změnou Z1 měly zajistit celodenní provětrávání celého bytu. Z toho vyplývá jejich trvalé spuštění přes den i přes noc, což znamená trvalou emisi hluku 24 hod. denně. Proto je nutné se této problematice věnovat.

Tato problematika není nikde v literatuře příliš řešena. Jediná ucelená práce, zabývající se tímto tématem je dizertační práce Ing. Ivana Cifrince, Ph.D., MBA a jím vydané články. Tato práce navazuje na výzkum uvedené dizertační práce (dále DP) a doplňuje ji o další poznatky.

## **2.1 ZVUK A HLUK**

Zvuk vzniká mechanickým kmitáním v plynech, v kapalinách nebo v pevných látkách. Toto vlnění se šíří hmotným prostředím, přičemž nedochází k přesunu hmoty, ale přenosu energie. Akustické vlnění se šíří od zdroje zvuku ve vlnoplochách. Hmotné částice kmitají s rozličnou fází podle časového zpoždění postupu vlny.

Technická akustika se zabývá frekvenčním rozsahem akustického vlnění, které odpovídá kmitočtovému rozsahu lidského ucha - tzv. slyšitelné pásmo. Z pohledu akustiky existují tři pásma zvuku: infrazvuk (0,7 - 16 Hz), slyšitelné pásmo (16 - 20 000 Hz) a ultrazvuk (20 - 50 kHz) [1].

Hlukem nazýváme veškerý nežádoucí zvuk, který působí rušivě nebo škodlivě. Proto se v technické praxi snažíme o jeho eliminaci.

### **2.1.1 Hluk a životní prostředí**

Hluk je významnou složkou v řadě ostatních faktorů ohrožujících naše životní prostředí a v programech ochrany životního prostředí zaujímá jedno z čelních míst. Účinky hluku se zpravidla neprojevují výstražnými dopady na lidský organismus, ani běžně nedokážeme identifikovat naše zdravotní problémy jako důsledky působení hluku. Proto je mnohdy tento faktor mezi lidmi opomíjen. Každým rokem hluková zátěž vzrůstá - mezi růstem mechanického a akustického výkonu existuje přímá spojitost, což je jeden z důvodů nárůstu hlučnosti.

## 2.1.2 Akustický tlak a hladina akustického tlaku

Při postupu akustické vlny dochází ke shluku většího množství kmitajících bodů v jednom místě a zároveň ke zředění hustoty v místě jiném. Z tohoto důvodu jsou v kapalinách místa, ve kterých je přetlak, a místa, ve kterých je naopak podtlak, s čehož vyplývá celková změna statického tlaku vzduchu. Jeho hodnota se potom skládá ze součtu barometrického a akustického tlaku. Barometrický tlak dosahuje přibližně 100 000 Pa, kdežto akustický tlak slyšitelný lidským uchem se pohybuje přibližně v rozmezí 20  $\mu$ Pa až 100 Pa, kdy hodnota 60 Pa je označována jako práh bolesti. Nejslabší zvuk, který může zaznamenat lidský sluch, je charakterizován akustickým tlakem 20  $\mu$ Pa, tato hodnota je označována jako práh slyšení. Protože je lidský sluch schopen zachytit akustické tlaky více než milionkrát větší, byl zaveden logaritmus těchto hodnot, který se označuje jako hladina akustického tlaku  $L_p$  [dB], který rozsah akustického tlaku 20 - 100 000 000  $\mu$ Pa převádí do rozsahu 0 - 140 dB.

Hladina akustického tlaku  $L_p$  [dB] je definována vztahem:

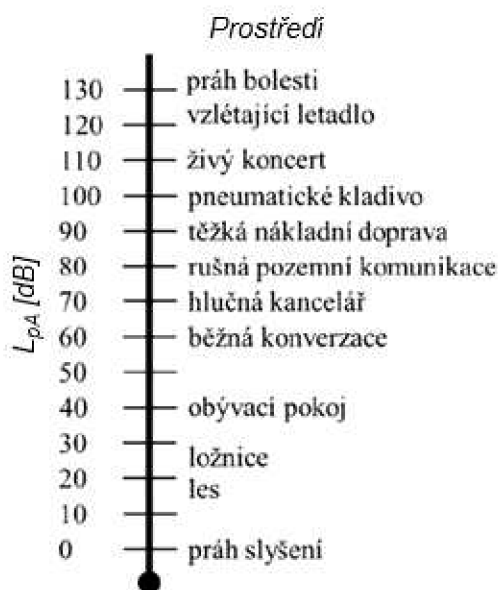
$$L_p = 20 \log \frac{P}{P_0}$$

kde je

$p_0$  [Pa] akustický tlak na prahu slyšení,  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Pa

$p$  [Pa] akustický tlak (jeho efektivní hodnota)

Na Obr. 1 jsou uvedeny typické hodnoty hladin akustického tlaku pro vybrané zdroje hluku.

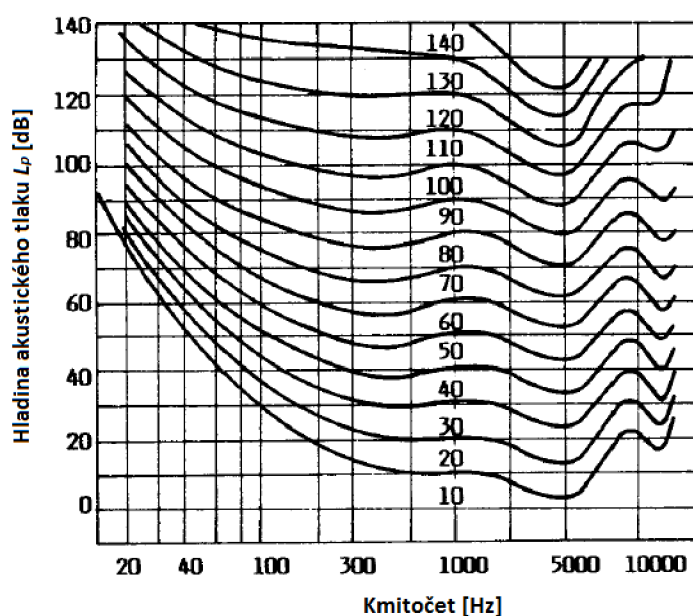


Obr. 1 Hladiny akustického tlaku v různém prostředí [1]

Hladina hluku (zvuku) je používána k jednočíselné klasifikaci hluku na pracovišti nebo obecně v oblasti komunální hygieny. Dle této hodnoty je posuzováno, zda hluk v kontrolním místě vyhovuje přípustným hlukovým limitům. Vzhledem k tomu, že lidské ucho není stejně citlivé na všechny frekvence, jsou naměřené hodnoty upraveny pomocí váhového filtru. Průběh citlivosti lidského ucha je přibližně

znázorněn tzv. filtrem A, který je aproximací křivek stejné hlasitosti pro oblast nízkých hladin akustického tlaku (viz Graf 1).

Na různé kmitočty není sluch stejně citlivý, přičemž nejcitlivější je v oblasti od 2 do 5 kHz. Křivky stejné hlasitosti jsou patrné viz Graf 1, který znázorňuje, jak jsou křivky stejné hlasitosti závislé na frekvenci. Dle Weber-Fechnerova zákona platí, že hlasitost daného tónu roste aritmetickou řadou, roste-li jeho fyzikální intenzita řadou geometrickou. Z tohoto zákona potom vyplývá logaritmická závislost mezi objektivními akustickými veličinami a subjektivním vjemem člověka. Reálné zvuky, které se vyskytují v našem životním prostředí, se skládají z řady dílčích frekvencí, proto byla zavedena spektra, která znázorňují složení zvuku v jednotlivých frekvenčních pásmech. K popisu a možnému posuzování zvuku (hluku) se používá spektrální analýza, která může být zobrazena buď v jeno oktávových frekvenčních pásmech, nebo podrobněji v třetino oktávových pásmech.



Graf 1 Křivky stejné hlasitosti [1]

### 2.1.3 Celková hladina akustického tlaku v uzavřeném prostoru

Akustická energie se v uzavřeném prostoru šíří od zdroje zvuku všemi směry v kulových vlnoplochách, dokud nenarazí na nějakou překážku (stěnu, vybavení prostoru atd.). Od této překážky se část akustické energie odrazí, část projde za překážku a část je pohlcena překážkou. U akusticky odrazivé plochy (tvrdé, masivní materiály) se téměř všechna energie odrazí, u akusticky pohltivých materiálů (měkké, poddajné materiály) se téměř žádná energie neodrazí, ale dojde k jejímu pohlcení a prostoupení za překážku. Poměr dopadající a odražené energie je u většiny reálných překážek frekvenčně závislý.

V uzavřeném prostoru se sčítají účinky přímých a odražených vln. Proto do celkové hladiny akustického tlaku  $L_p$  [dB] musíme započítat oba faktory:



$$L_p = L_w + 10 \log \left[ \frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4(1 - \alpha_m)}{S\alpha_m} \right]$$

kde je

$\alpha_m$  [-] střední činitel pohltivosti stěn

$Q$  [-] činitel směrovosti

Tento vztah platí pro jakékoli místo v uzavřeném prostoru, vyjma malých vzdáleností ( $\lambda/2$ ) od odražejících ploch. Pokud by bylo provedeno měření v této oblasti, je možné naměřit až o 6 dB více oproti hladině uvnitř místnosti.

## 2.2 ZDROJE HLUKU VE VZDUCHOTECHNICE

Tvorba hluku je velice podstatným kritériem určujícím kvalitu daného vzduchotechnického zařízení. Posouzení akustických vztahů je velmi problematické a to zejména proto, že propočítávané fyzikální veličiny je nutno uplatňovat s přihlédnutím k možným účinkům hluku, které vyvolávají např. přecitlivělost na hluk se současnými dopady na pracovní výkon a duševní rovnováhu.

V prostředí vzduchotechniky se setkáváme s hlukem aerodynamického původu, tzn. hluk vznikající v důsledku působení proudění (pohybu) vzduchu na jeho okolní prostředí. Při proudění plynů nebo kapalin rozeznáváme zdroje zvuku:

- hluk vzniklý volnou turbulencí
- hluk při obtékání tuhého tělesa při turbulentním proudění

### 2.2.1 Útlum a vlastní hluk vzduchotechnického potrubí

V trasách vzduchotechnického potrubí proudí vzduch při vyšších rychlostech, což znamená vznik turbulentního proudění. Většina z prvků potrubní sítě může být zároveň zdroj i útlumový prvek. Zatlumení těchto hluků lze v některých případech speciálním tlumičem, popř. výrazným snížením rychlosti proudícího vzduchu.

Útlum i vlastní hluk ovlivňují různé části potrubí - např. oblouky, kolena, rozbočky, odbočky, poloha umístění tlumiče, vyústky, regulační klapky atp.

Hladina akustického tlaku ve sledovaném místě v prostoru závisí na:

- hladině akustického tlaku ve vyústce (počet vyústek, vzdálenost od vyústky)
- zvukové pohltivosti prostoru (plocha a materiál stěn včetně podlahy a stropu)

Pro výpočty útlumu i vlastního hluku VZT potrubí v technické literatuře existuje množství vztahů. Tyto vztahy jsou experimentálně zjištěny a v závislosti na zdroji se více či méně liší.

### 2.2.2 Hluk ventilátorů

Malé ventilátory používané v bytové výstavbě jsou zdroji hluku, za jehož vznikem jsou aerodynamické účinky vyvolané vlastním ventilátorem - tzn. proudícím vzduchem při obtékání lopatek ventilátoru, turbulence, zanikání úplavů

na lopatkách apod. – a mechanické vibrace ve ventilátoru a motoru, způsobené nevyvážeností rotujících částí, hlukem ložisek, převodů atd.

### ***Obecné zákonitosti pro hluk ventilátorů:***

- ventilátor nepracující v bodě nejlepší účinnosti bude mít vyšší specifickou hladinu akustického výkonu až o 9 dB
- poruchy v proudovém poli oběžného kola mohou způsobit navýšení akustického výkonu v jednotlivých oktákových pásmech až o 10 - 15 dB
- pro hlučnost ventilátoru je rozhodující požadovaný dopravní tlak; s dvojnásobným navýšením dopravního tlaku naroste celkový akustický výkon o 6 dB
- při zvýšení průtočného množství vzduchu ventilátorem na dvojnásobek vzroste celková hladina akustického výkonu o 3 dB
- dopravované množství vzduchu narůstá lineárně se zvyšováním otáček, dopravní tlak vzrůstá s druhou mocninou otáček, tzn. při zvýšení otáček ventilátoru na dvojnásobek vzroste celková hladina akustického výkonu o 15 dB
- při stejných parametrech (množství vzduchu, dopravní tlak) a použití ventilátoru s větším průměrem oběžného kola je dosahováno nižší hladiny akustického výkonu

V případě nedokonalého konstrukčního uspořádání u ventilátorů může vznikat sirénový zvuk. K zabránění jeho vzniku musí konstrukčně dojít ke kompromisům mezi ideálním uspořádáním lopatkového stroje a požadavky na minimální hlučnost.

Způsoby snížení aerodynamického hluku jsou většinou velmi omezené a je zapotřebí využít různá opatření, jako jsou tlumiče hluku, oddělení zdrojů hluku, přídatné krytování atd.

Pro VZT zařízení má prvořadou důležitost akustický výkon vyzařovaný do sacího a výtlačného potrubí vyjádřený v jednotlivých oktákových pásmech. Tento akustický výkon se přenáší vzduchem v potrubí a potrubím. Vlivem akustických diskontinuit potrubí podléhá útlumu nebo naopak je v potrubí buzen tzv. vlastní hluk.

### **3 CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE**

Práce se zabývá akustikou hygienických místností a zkoumáním akustického chování vzduchotechnických zařízení a jejich součástí (distribuční prvky) instalovaných v těchto místnostech. Cílem dizertační práce je najít možnosti snížení emisí hluku v prostoru hygienických místností a okolních chráněných prostor.

#### **3.1 SPECIFIKACE DÍLČÍCH CÍLŮ**

- Analýza okrajových podmínek
- Vytvoření modelu zkoumané problematiky a stanovení okrajových podmínek jednotlivých variant
- Realizace experimentálních měření v laboratoři
- Realizace experimentálních měření v reálném prostředí hygienických místností
- Teoretický výzkum akustiky hygienických místností - simulace akustických polí
- Vyhodnocení jednotlivých měření a definování závěrů pro zlepšení akustického mikroklimatu v hygienických místnostech i v chráněných vnitřních prostorech staveb, možnosti uplatnění v praxi

## 4 METODY ŘEŠENÍ

### 4.1 ANALÝZA OKRAJOVÝCH PODMÍNEK

V úvodních kapitolách je již popsána problematika emisí hluku malých ventilátorů v prostoru hygienických místností. Jedná se především o neomezené akustické emise, které tyto ventilátory mohou mít. Jisté omezení vyplývá až z předpisu EU 1253/2014 o ekodesignu malých zařízení o vzduchovém výkonu do 250m<sup>3</sup>/h a elektrickém příkonu vyšším jak 30 W. Všechny výrobky uvedené na trh do tohoto roku žádnému omezení nepodléhají. Stejně tak již dnes lze na trhu najít výrobky s uváděným elektrickým příkonem pod 30 W s vysokou hladinou akustického výkonu. Proto se stále setkáváme s jejich instalacemi.

I když předpis 1253/2014 je již nějakou dobu v platnosti, a výrobci jsou povinni udávat akustický výkon A těchto zařízení, stále se běžně setkáváme s tím, že je jako podklad pro projektanty používána hodnota hladiny akustického tlaku A naměřená v různých vzdálenostech od zdroje, která je získávána v laboratorních podmínkách bezodrazových akustických místností. Pro mnoho projektantů je obtížné se v těchto informacích orientovat a správně vyhodnotit dané údaje.

Z těchto důvodů je práce zaměřena na akustiku hygienických místností především v bytech, popř. v nemocničních pokojích, zabývá se výzkumem různých variant snížení hlukových emisí do prostoru hygienických prostor a dále se zabývá vlivem hluku těchto prostor na okolní chráněné místnosti.

Okrajové podmínky zkoumaných prostor (více v DP):

- malý prostor do maximální plochy 4,5 m<sup>2</sup>
- vysoce reflexní prostor, jehož činitel pohltivosti  $\alpha$  se pohybuje v rozmezí 0,05 - 0,19 v závislosti na druhu podhledu
- v práci byl uvažován běžný sádkartonový podhled bez akustických úprav a širokospektrální akustický podhled s činitelem pohltivosti  $\alpha = 0,8 - 0,85$
- zkoumané prostory jsou větrány decentrálním způsobem - vždy buď potrubním ventilátorem osazeným nad podhledem s koncovými prvky z talířových ventilů, nebo ventilátorem osazeným přímo na konstrukci v hygienické místnosti
- obložení stěn keramickým obkladem;
- podlaha z keramické dlažby (popř. jiný materiál s nízkým činitelem pohltivosti běžný pro tyto místnosti)
- přívod vzduchu z okolních místností štěrbinou pod dveřmi nebo dvevní mřížkou

Činitel směrovosti je pro všechny metody využité v této práci shodný - vždy jde o umístění zdroje na plochu, kdy je hodnota činitele směrovosti přibližně rovna 2. Proto není v dalších částech zmiňován.

Akustiku hygienických místností a instalované vzduchotechniky lze zkoumat pomocí teoretických metod, které se řídí fyzikálními zákonitostmi, nebo experimentálními metodami, kdy jsou provedena měření přímo v daném prostředí. Tato práce využívá obou zmíněných metod.

## 4.2 EXPERIMENTÁLNÍ METODY

V experimentální části této práce byly zjišťovány závislosti instalace vzduchotechnických prvků na akustiku hygienické místnosti. Jedna část experimentálních měření se uskutečnila v laboratorním prostředí vytvořeném pro tento výzkum a druhá část byla provedena v reálných hygienických místnostech s jejich instalovanými vzduchotechnickými prvky. Ve všech případech se jednalo o decentrální systém větrání. Všechny místnosti, ve kterých bylo prováděno měření, odpovídaly svými rozměry, stavebními úpravami, vzduchotechnickými systémy i množstvím odváděného vzduchu běžným bytovým hygienickým prostorům.

### 4.2.1 Použité měřicí přístroje a vybavení a měřené veličiny

Pro měření prováděná v experimentální části byl použit zvukoměr od firmy Brüel & Kjær - Spektrální analyzátor zvuku typ 2250. K přenosu dat byl potom využit software BZ-5503.

Byla měřena spektrální analýza hladin akustického tlaku v 1/3 oktávách. Pro možné srovnávání naměřených hodnot byly statisticky vyhodnoceny jednotlivé hladiny:

- $L_{Aeq}$  [dB] - ekvivalentní hladina akustického tlaku (vážená filtrem A)
- $L_{Cpeak}$  [dB] - nejvyšší naměřená hodnota (vážená filtrem C)
- $L_{AFmax}$  [dB] - maximální hladina akustického tlaku průměrná v čase (vážená filtrem A)
- $L_{AFmin}$  [dB] - minimální hladina akustického tlaku průměrná v čase (vážená filtrem A)

### 4.2.2 Postup měření a vyhodnocování naměřených dat

Veličiny byly měřeny pomocí ručního zvukoměru Brüel & Kjær typ 2250, který byl vždy umístěn na stativu v pomyslném středu místnosti, ve výšce 1,5 m nad zemí.

Postupy měření byly voleny tak, aby byly dodrženy obecné požadavky na metodiku měření.

Hluk pozadí v žádném experimentálním měření nepřekročil hodnotu 25 dB. Vzhledem k výši hladin měřeného akustického tlaku nemá hluk pozadí vliv na naměřené údaje.

Každý sledovaný zdroj byl měřen patnáctkrát po deseti (patnácti) sekundách. Naměřené hodnoty byly poté statisticky vyhodnoceny.

### **4.3 TEORETICKÉ METODY**

Teoretické metody jsou založeny na fyzikálních zákonitostech akustiky. Mezi tyto metody patří jednotlivé teorie eliminace hluku a dále výpočtové softwary určené pro simulaci prostorové akustiky.

#### **4.3.1 Teorie eliminace hluku**

V malých prostorech, jako jsou hygienické místnosti, je možné eliminovat akustickou energii pomocí některých z opatření:

- Volba mezi centrální a decentrální ventilací
- Použití ventilátoru s nejnižší možnou emisí hluku v požadovaném pracovním bodě
- Osazení decentrálních ventilátorů mimo pobytovou místnost
- Optimalizace otáček, průtoku a externí tlakové ztráty
- Optimalizace rychlosti proudění vzduchu systémem
- Osazení tlumiče hluku na sání/výtlač
- Akustická izolace zdroje
- Zvýšení absorpční plochy místnosti
- Zásah do konstrukce zdroje hluku
- Připojení stěnového decentrálního ventilátoru na rozvody potrubí
- Osazení stěnového/stropního ventilátoru ke konstrukci

#### **4.3.2 Simulace akustických polí**

Jedním z nástrojů teoretických metod jsou simulace, které jsou provedeny pomocí vhodného softwaru. V dizertační práci je pro modelování akustiky v hygienických místnostech využito programu Odeon, který je vytvořen pro modelování prostorové akustiky. V tomto programu jsou zpracované jednotlivé výpočty a pro dokreslení slouží zobrazení akustických tlaků v simulacích akustických polí.

Software Odeon je založen na základě stanovení doby dozvuku v daném prostoru (dle ČSN EN ISO 3382). Doba dozvuku patří vzhledem k akustice k hlavním charakterovým vlastnostem místnosti. Software pracuje metodou trasování – ze zdroje počítá šíření zvuku pomocí sledování paprsku. Konkrétní druh zdroje je možné v softwaru nastavit. Z hlediska zpracování dat v dizertační práci byly zdroje hluku považovány za ekvivalentní bodové zdroje, jejichž směrová charakteristika v polárních souřadnicích je konstantní.

## 5 VÝSLEDKY DIZERTAČNÍ PRÁCE

Následující kapitoly předkládají výtah nejdůležitějších výsledků a dílčích závěrů, které jsou podrobně popsány v dizertační práci. Výsledky plně korespondují s vytyčenými cíli.

### 5.1 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

#### 5.1.1 Potrubní ventilátor umístěný nad podhledem - objekt A

Měření probíhalo v reálném prostředí, kdy ventilátor pro větrání hygienického zázemí byl umístěn nad kazetovým podhledem jako potrubní sestava ve složení (popis ve směru proudu vzduchu): kruhový tlumič hluku, potrubní diagonální ventilátor, kruhový tlumič hluku, zpětná klapka. Přes pružnou hadici jsou potom dopojeny talířové ventily, přes které je realizován odtaž vzduchu z daného prostoru. Měření probíhalo ve třech totožných prostorech se stejným vybavením - záchodová mísa, pisoár, umyvadlo, topný žebřík včetně běžného zařízení hygienických prostorů (zrcadlo, hygienické prostředky apod.). Jediná změna byla v umístění talířových ventilů v jednom z prostorů. Ve dvou místnostech byly talířové ventily umístěny přibližně 600 mm (osově) od stěny, ve zbývajícím potom byly osazeny přibližně 250 mm od stěny.



Obr. 2 Měřený prostor, půdorys měřeného prostoru – talířové ventily blíže stěny

Statisticky vyhodnocené naměřené hodnoty pro talířové ventily, které jsou umístěny blíže ke stěně, vycházejí přibližně o 1 dB vyšší. Je to způsobeno velkou odrazivostí povrchů místnosti (stěny s keramickým obkladem), kdy při umístění ventilu blíže stěně dochází k odrazu zvukové vlny s větší zvukovou energií, než při umístění ventilu dále od stěny. Statisticky vyhodnocené naměřené hodnoty (vč. odchylek) pro talířové ventily, které jsou umístěny blíže stěny:

$L_{Aeq}$ [dB]	$L_{AFmax}$ [dB]	$L_{AFmin}$ [dB]
$47.18 \pm 1.73$	$48.51 \pm 1.74$	$46,19 \pm 1.73$

Naměřené hodnoty dokládají, že ve všech místnostech bylo dosaženo mnohem vyšší akustické zátěže, než by se dalo předpokládat z údajů od výrobce. Dle výrobce naměřený akustický tlak ventilátoru ve 3 m ve volném poli s připojeným potrubím na sání i výtlaku je  $L_{pA} = 33$  dB. S přihlédnutím k předpokládanému dalšímu zatlumení ohebnou hadicí pro dopojení talířových ventilů, vlastním hlukem i útlumem těchto distribučních prvků a především s použitím širokopásmového akustického podhledu, lze jen s malou pravděpodobností očekávat, že investor/projektant bude uvažovat s vnitřní akustickou zátěží o 13 až 14 dB vyšší, než je údaj uvedený u ventilátoru.

### 5.1.2 Ventilátor umístěný pod podhledem hygienické místnosti

Měření probíhalo v reálném prostředí bytového domu, kdy ventilátor pro větrání hygienického zázemí byl umístěn pod podhledem, do kterého byl částečně zabudován. Měření probíhalo v několika obdobných prostorech koupelen a samostatných místností s WC, ve kterých byl umístěn totožný ventilátor pro odvod vzduchu. Byl hodnocen hluk, který zařízení způsobuje v daných prostorech a rušení, které může vznikat šířením hluku přes společné stoupací potrubí, na které byly ventilátory připojené. Vždy bylo měřeno vlastní zařízení a dále hluk šířený stoupacím potrubím, kdy vlastní zařízení je vypnuto.



Obr. 3 Ukázka jednoho z měřených prostorů s ventilátorem

Statisticky vyhodnocené veličiny (vč. odchylek), které byly naměřeny při spuštění ventilátoru přímo v místnosti koupelny:

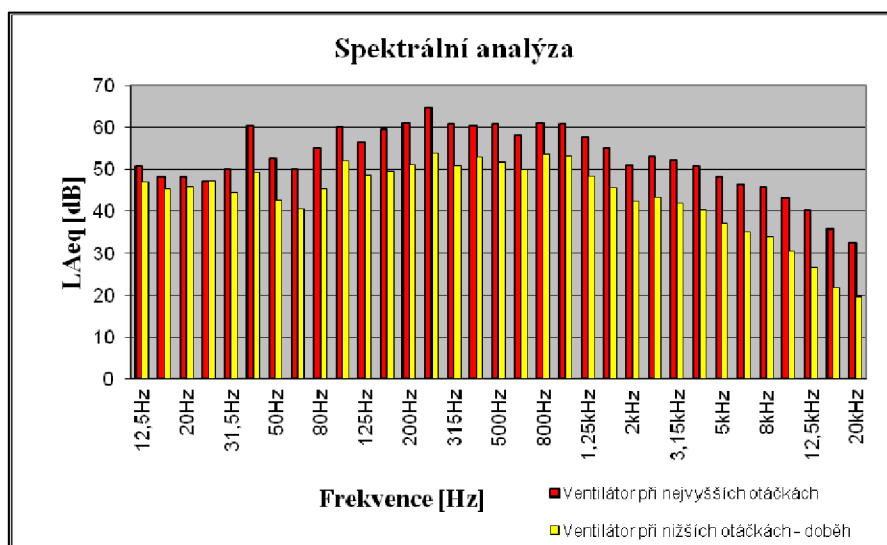
$L_{Aeq}$ [dB]	$L_{AFmax}$ [dB]	$L_{AFmin}$ [dB]
68,27±1.74	69,21±1.75	67,39±1.74

Je zřejmé, že tyto hodnoty jsou vzdáleny výrobcem udávané hodnotě  $L_{pA} = 55$  dB, která je naměřena ve volném poli. Hodnoty, které byly naměřeny na samostatných toaletách jsou samozřejmě ještě vyšší:

$L_{Aeq}$ [dB]	$L_{AFmax}$ [dB]	$L_{AFmin}$ [dB]
72,35±1.73	73,80±1.73	71,19±1.73



Graf 2 znázorňuje spektrální analýzu akustického tlaku naměřeného při nejvyšších otáčkách (červeně) a při nižších otáčkách - doběh (znázorněno žlutě).



Graf 2 Srovnání spektrálních analýz akustického tlaku ventilátoru v chodu na nejvyšší a na nižší otáčky

Byl měřen přenos hluku přes stoupací potrubí – měření probíhalo mezi dvěma sousedními podlažími. Vždy byl spuštěn ventilátor v jednom podlaží, měřicí přístroj potom snímal přenesený hluk do dalšího podlaží. Samostatně byly měřeny koupelny a toalety. Přenesený hluk mezi toaletami je z důvodu malé velikosti prostoru s vysokou odrazivostí ještě vyšší. Statisticky vyhodnocené naměřené hodnoty přeneseného hluku (vč. odchylek):

	$L_{Aeq}$ [dB]	$L_{AFmax}$ [dB]	$L_{AFmin}$ [dB]
Přenos mezi koupelnami	$47,52 \pm 1,73$	$49,70 \pm 1,75$	$45,47 \pm 1,73$
Přenos mezi toaletami	$51,63 \pm 1,73$	$53,54 \pm 1,74$	$49,81 \pm 1,73$

Pokud by tyto hodnoty byly změřeny v obytné místnosti, tak by se jednalo o velmi vysoké překročení limitů.

### 5.1.3 Vliv osazení ventilátoru do stěny

V akustické laboratoři, která byla vytvořena shodně s prostorem bytové koupelny, byl proveden experimentální výzkum vlivu osazení ventilátoru do stěny – tuhé konstrukce – na akustické chování ventilátoru uvnitř místnosti. Tři různé ventilátory pro použití v hygienických prostorech byly různými způsoby osazovány do stěny:

1. osazení ventilátoru přímo na stěnu, výfuk do volného prostoru
2. osazení ventilátoru přímo na stěnu, výfuk veden v potrubí, za vstupem stěnou osazeno koleno
3. osazení ventilátoru na stěnu přes pružnou podložku, výfuk do volného prostoru

4. osazení ventilátoru na stěnu přes pružnou podložku, výfuk veden v potrubí, za prostupem stěnou osazeno koleno
5. osazení ventilátoru na stěnu přes pružnou podložku, potrubí ve stěně izolováno pružnou podložkou, výfuk do volného prostoru
6. osazení ventilátoru na stěnu přes pružnou podložku, potrubí ve stěně izolováno pružnou podložkou, výfuk veden v potrubí, za prostupem stěnou osazeno koleno

Schémat osazení viz Obr. 5. V případě experimentální místnosti se jednalo o nenosnou stěnu z dutých pálených cihel o tloušťce 100 mm. Z pohledu akustiky se jedná o konstrukci s vyšší objemovou hmotností a tuhým připojením k okolním konstrukcím. Vlastní frekvence u cihelných stěn bývají v oblasti nejnižší části slyšitelného spektra. Lze tedy předpokládat, že osazený ventilátor nebude způsobovat rozkmitání stěny, která by se následně stala akustickým zdrojem. Jako tlumicí materiál byla použita mikroporézní pryž SBR (Styren Butadien Rubber) o tl.5 mm.

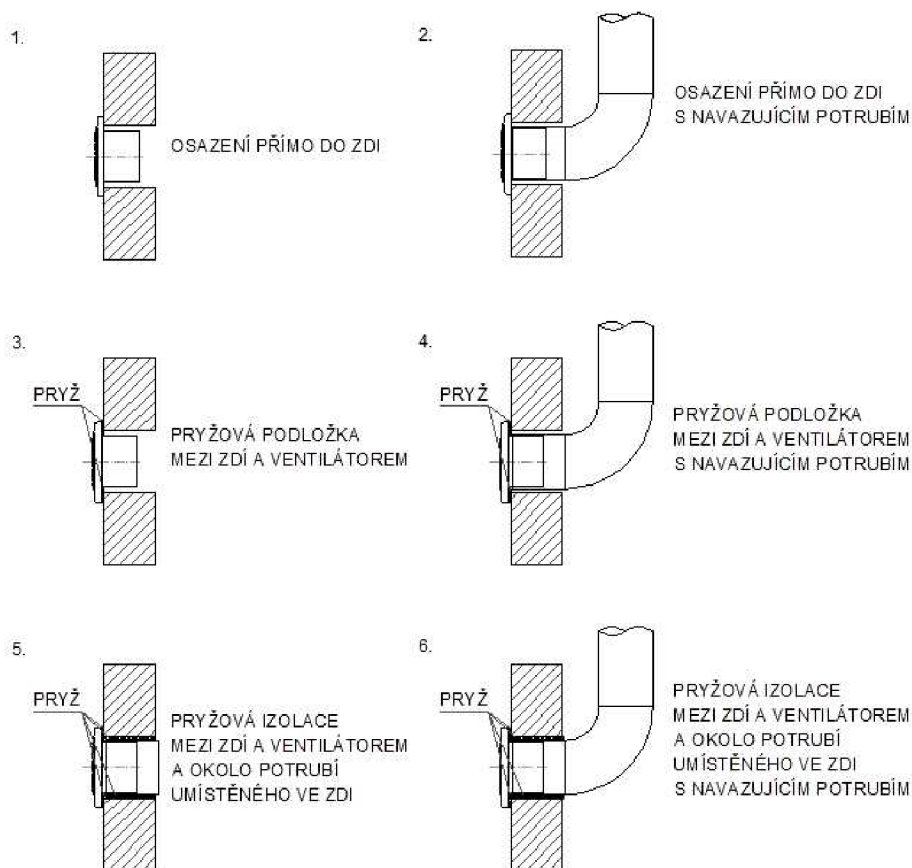
Výzkum byl zaměřen na zjištění zda má způsob osazení ventilátoru do tuhé konstrukce nějaký vliv na akustický tlak měřený uvnitř místnosti. Cílem bylo provést výzkum na vzorku běžných koupelnových ventilátorů o různých konstrukčních řešeních, různých vzduchových výkonech a odlišných externích tlakových ztrátách.



**Obr. 4** Příklad osazení ventilátorů - vlevo var.1 bez pryže, vpravo var.3 s pryží

<b>A. Malý radiální ventilátor</b>			
Varianta osazení do stěny	$L_{Aeq}$ [dB]	$L_{AFmax}$ [dB]	$L_{AFmin}$ [dB]
1.	55,44±1.73	56,26±1.74	54,71±1.73
2.	57,10±1.73	57,88±1.74	56,39±1.73
3.	54,84±1.73	55,57±1.73	54,22±1.73
4.	56,33±1.73	57,24±1.73	55,55±1.73
5.	55,53±1.73	56,19±1.73	54,88±1.73
6.	56,76±1.73	57,83±1.74	55,91±1.73

**Tabulka 1** Příklad naměřených hodnot pro radiální ventilátor



**Obr. 5** Schémata jednotlivých způsobů osazení do stěny

Obecně lze způsob osazení ventilátorů na tuhou stěnu vyhodnotit jako výhodnější bez použití pryže. Při osazení ventilátoru přes pryž je zamezeno zatlumení, ke kterému dochází přenosem do tuhé konstrukce. Odizolování ventilátoru od stavební konstrukce je opodstatněné v případě velmi lehké stěny, kdy by stěna mohla sama rezonovat na stejných frekvencích. U ventilátoru, který je instalován uvnitř samotného prostoru, obecně dojde ke zhoršení akustických parametrů. Podstatné zhoršení akustických výsledků u všech měřených ventilátorů je zřejmé při osazení navazujícího potrubí s kolenem, což je způsobeno odrazem akustické energie zpět do místnosti.

#### 5.1.4 Vliv osazení ventilátoru do podhledu

Ve stejné akustické laboratoři byl proveden experimentální výzkum vlivu osazení ventilátoru do sádkartonového podhledu (lehké konstrukce) na akustické chování ventilátoru uvnitř místnosti. Tři různé ventilátory určené pro použití v hygienických prostorech byly dvěma způsoby osazovány do podhledu:

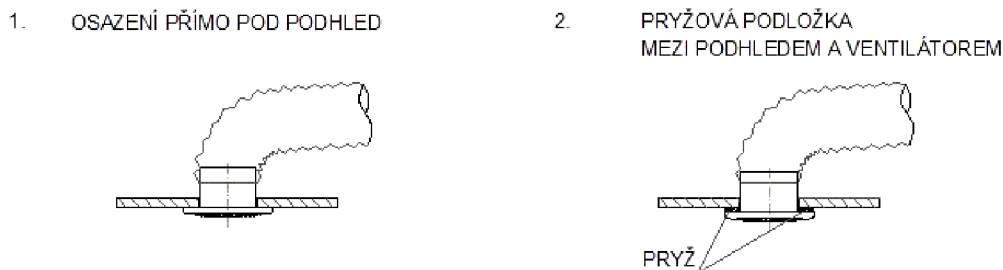
1. osazení ventilátoru přímo pod podhled
2. osazení ventilátoru pod podhled přes pružnou podložku

Schématy osazení ventilátorů jsou uvedena na Obr. 6.

Podhled v experimentální místnosti je plný sádkartonový o tl. 15 mm. Z pohledu akustiky se jedná o konstrukci s nízkou objemovou hmotností, s pevným

podložením na svých okrajích. Vlastní frekvence sádkokartonové desky zahrnují rozsah přes celé spektrum frekvencí. Lze předpokládat, že osazený ventilátor bude způsobovat rozkmitání desky, která bude mít vliv na akustiku v místnosti.

Výfuk z ventilátorů byl napojen pomocí pružného potrubí. Jako tlumicí materiál byla použita totožná mikroporézní pryž SBR o tl.5 mm.

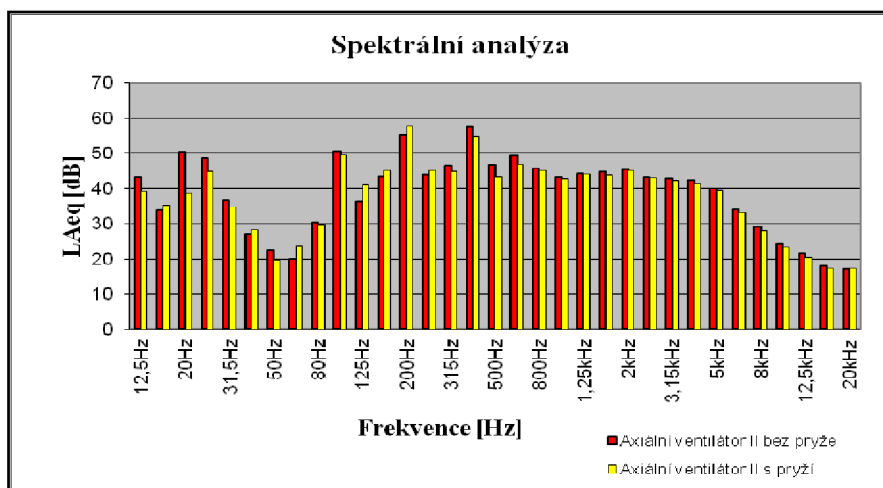


Obr. 6 Schematické znázornění osazení ventilátorů pod podhled

Statisticky vyhodnocené veličiny (vč. odchylek) pro dvě varianty umístění malého axiálního ventilátoru:

C. Malý axiální ventilátor II.			
Varianta osazení do podhledu	$L_{Aeq}$ [dB]	$L_{AFmax}$ [dB]	$L_{AFmin}$ [dB]
1.	57,41±1.75	58,69±1.77	56,39±1.75
2.	56,37±1.74	57,72±1.75	55,48±1.73

U hlučnějšího axiálního ventilátoru je patrné zlepšení středních hodnot přibližně o 1 dB. Graf 3 zobrazuje srovnání spektrálních analýz axiálního ventilátoru II pro oba způsoby uložení. Vyjma kmitočtů přibližně mezi 125 - 200 Hz je patrné mírné snížení akustického tlaku naměřeného v prostoru místnosti v případě oddělení ventilátoru od sádkokartonové desky pryžovou podložkou.



Graf 3 Srovnání spektrálních analýz akustického tlaku axiálního ventilátoru II

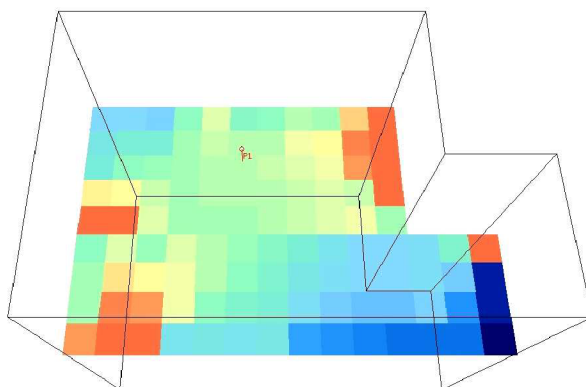
Obecně lze způsob osazení ventilátorů na lehkou stěnu typu sádkokarton vyhodnotit jako výhodnější s použitím pryže.

## 5.2 SIMULACE

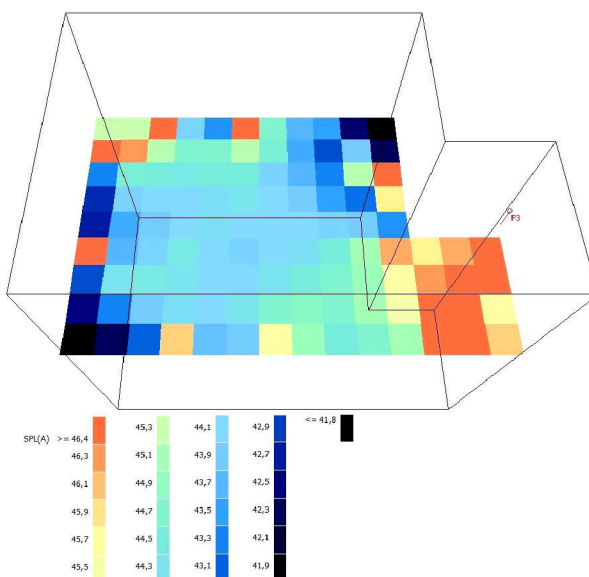
### 5.2.1 Vliv umístění talířového ventilu - experimentální laboratoř

V prostoru experimentální laboratoře byl zkoumán vliv osazení talířového ventilu do stropu vzhledem k okolním stěnám. Modelovaným prostorem byla experimentální laboratoř. Shodně jako v předešlém případě byl simulován decentrální systém větrání, kdy ventilátor je umístěn nad podhledem a distribuce (odvod) vzduchu je pomocí koncového prvku zabudovaného do konstrukce podhledu.

V každém ze simulovaných prostorů jsou vždy uvažované dva typy podhledů - bez akustických úprav a širokopásmový akustický podhled.



**Obr. 7** Akustické pole - talířový ventil nad středem místnosti, širokopásmový akustický podhled



**Obr. 8** Akustické pole - talířový ventil ve výklenku nad vanou, širokopásmový akustický podhled

Na jednočíselné vyhodnocení vlivu osazení zdroje hluku má největší vliv umístění ve výklenku nad vanou. Toto umístění způsobuje nejvyšší diferenciaci rozložení akustického tlaku v daném prostoru. Velmi významný je vliv akustického podhledu, kdy oproti stropu bez akustických úprav (SDK) vycházejí hodnoty až o 5 dB nižší.

## 5.2.2 Vliv hluku hygienických místností na akusticky chráněné prostory

Hluk v hygienických místnostech má velký vliv na pohodu při pobytu v těchto prostorech. Ale vyjma toho, hluk z hygienických místností ovlivňuje i okolní chráněné vnitřní prostory staveb. Pro posouzení vlivu hluku hygienických místností jsou z výše uvedených chráněných vnitřních prostor vybrány prostory pokojů nemocnic a bytů. V praxi se často setkáváme s nedodržením požadovaných akustických parametrů v nemocnicích a vzhledem k účelům těchto provozů je především zde nutné dbát na akustickou pohodu.

V normě ČSN 730532 jsou stanoveny požadavky na neprůzvučnosti dělicích konstrukcí v budovách a neprůzvučnosti obvodových plášťů budov. Základním předpokladem splnění požadavků na ochranu před hlukem v budovách podle zvláštních předpisů je uplatnění normových požadavků na neprůzvučnost stavebních konstrukcí.

### Posuzování hluku v budově

Určujícími ukazateli hluku jsou dle NV č. 272/2011 Sb., ekvivalentní hladina akustického tlaku  $A L_{Aeq,T}$  (pro zdroje mimo budovu) a maximální hladina akustického tlaku  $A L_{Amax}$  (pro zdroje uvnitř budovy). Hygienický limit maximální hladiny akustického tlaku  $A$  se stanoví pro hluk šířící se ze zdrojů uvnitř objektu součtem základní maximální hladiny akustického tlaku  $A L_{Amax}$  se rovná 40 dB a korekcí přihlížejících ke druhu chráněného vnitřního prostoru a denní a noční době podle přílohy č. 2 k tomuto nařízení.

### Obytné místnosti/ Nemocniční pokoje

Denní doba (6 - 22 h):  $L_{Amax} = 40 / 40$  dB

Noční doba (22 - 6 h):  $L_{Amax} = 30 / 25$  dB

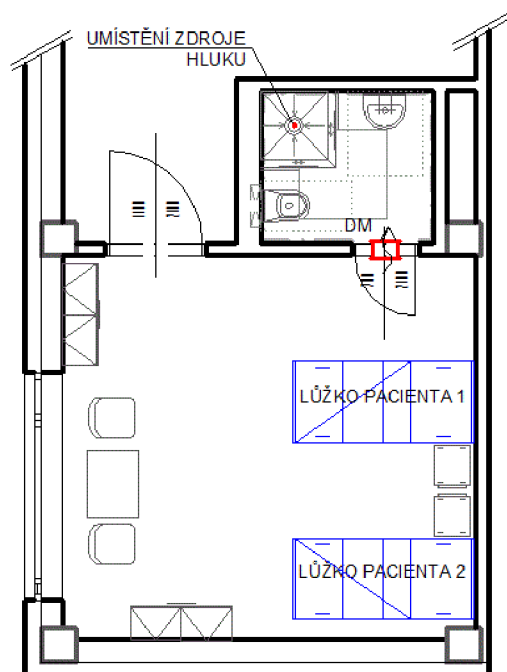
V případě zjištění výrazné tónové složky ve spektru hluku:

Denní doba (6 - 22 h):  $L_{Amax} = 35 / 35$  dB

Noční doba (22 - 6 h):  $L_{Amax} = 25 / 20$  dB

Pro ověření vlivu provozu hygienických místností na akustiku chráněného prostoru byla zvolena referenční místnost, která odpovídá statisticky častému rozmístění lůžkových pokojů v nemocnicích. Umístění pokoje a hygienické místnosti odpovídá 65% četnosti dvoulůžkových pokojů z vybraných referenčních řešení nemocnic. Pomocí softwaru ODEON byl namodelován tento prostor se dvěma lůžky.

Byl proveden výpočet akustické energie, která projde do pokoje přes dveřní mřížku osazenou přibližně 150 mm nad podlahou. Tato mřížka potom byla brána jako zdroj hluku v pobytové části prostoru. Pomocí akustických polí je znázorněn průběh akustické energie jak v hygienické místnosti, tak v lůžkovém pokoji. Vzhledem k velmi rozdílným rozsahům akustických tlaků v obou prostorech, bylo nutné použít dvou různých legend akustického tlaku.

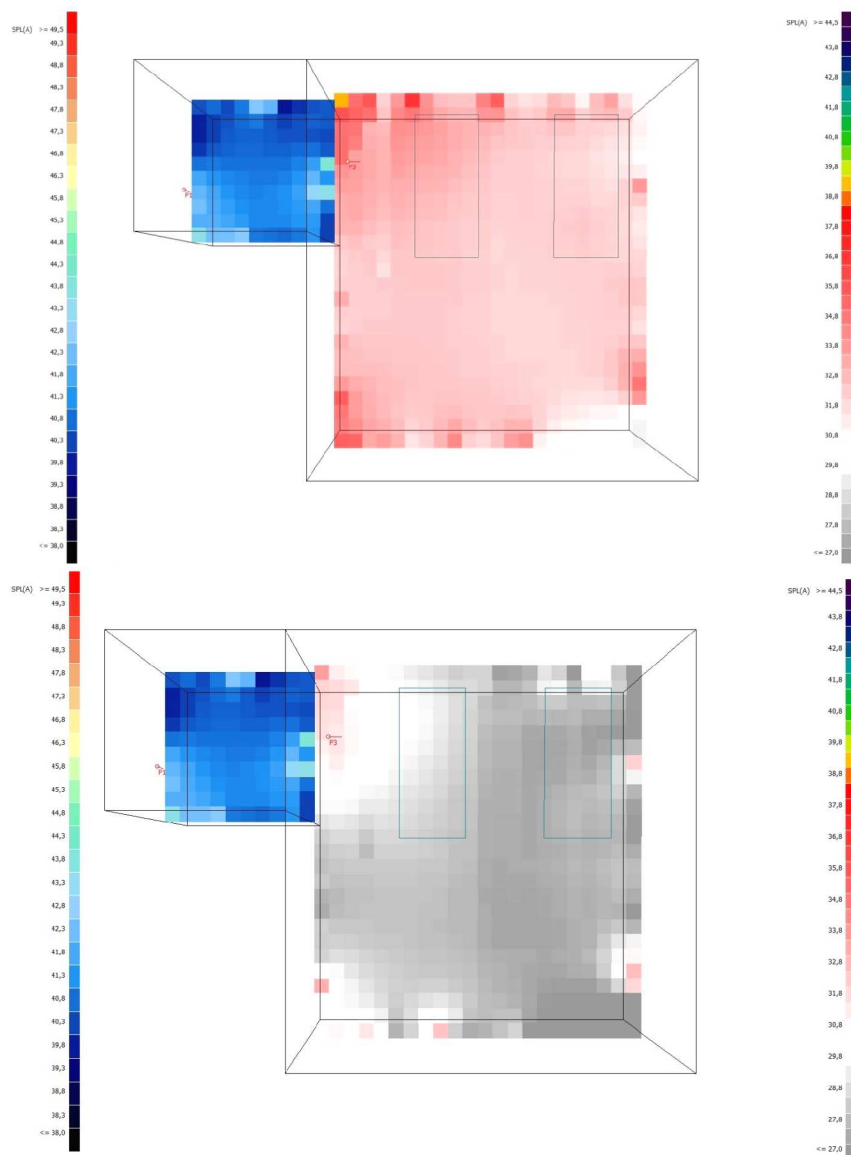


**Obr. 9** Půdorys modelovaného prostoru - dvoulůžkový pokoj s hygienickým zázemím

Jako výpočtová místa příjmu hluku jsou uvažováni pacienti na lůžkách - první hodnoty náleží vždy pacientu na lůžku blíže hygienické místnosti (tedy blíže zdroji hluku), druhé hodnoty jsou uvedeny pro vzdálenější lůžko pacienta.

Postupně byly modelovány tyto zdroje:

- běžný axiální ventilátor s akustickým výkonem  $L_{WA} = 51,5$  dB
- dle omezení vyplývajícím z předpisu o ekodesignu od r.2016 zdroj o ak. výkonu  $L_{WA} = 45$  dB
- dle omezení vyplývajícím z předpisu o ekodesignu od r.2018 zdroj o ak. výkonu  $L_{WA} = 40$  dB
- takový akustický výkon zdroje, u kterého při osazení širokopásmového akustického pohledu  $\alpha_w = 0,85$  je splněn limit pro akustický tlak v nemocnicích přes noc ( $L_{Amax} = 25$  dB)
- takový akustický výkon zdroje, u kterého při osazení pohledu bez akustických úprav je splněn limit pro akustický tlak v nemocnicích přes noc ( $L_{Amax} = 25$  dB)



**Obr. 10** Akustické pole - zdroj hluku o  $L_{WA}=40\text{dB}$ , pohled bez akustických úprav - horní obrázek, širokopásmový akustický pohled - spodní obrázek

### Závěry simulace:

- při osazení ventilátoru o  $L_{WA}=51,5\text{ dB}$  by při daném uspořádání nebyl dodržen ani mírnější požadavek pro noční hodiny v bytech ani pro vzdálenější lůžko při osazení akustického podhledu
- při osazení zdroje o  $L_{WA}=45\text{ dB}$  by při daném uspořádání nebyl dodržen ani mírnější požadavek pro noční hodiny v bytech ani pro vzdálenější lůžko při osazení akustického podhledu
- při osazení zdroje o  $L_{WA}=40\text{ dB}$  by při daném uspořádání nebyl dodržen požadavek pro noční hodiny v bytech v případě osazení podhledu bez akustických úprav; v případě osazení akustického podhledu není splněn limit pro akustický tlak pro nemocniční pokoje



- při simulaci zdroje o výkonu  $L_{WA} = 37 \text{ dB}$ , bylo vyhověno akustickým požadavkům požadovaného akustického tlaku v nemocničních pokojích přes noc při osazení širokospektrálního akustického podhledu
- při simulaci zdroje o výkonu  $L_{WA} = 31 \text{ dB}$ , bylo vyhověno akustickým požadavkům požadovaného akustického tlaku v nemocničních pokojích přes noc při osazení podhledu bez akustických úprav

Řešení uvedené problematiky pokojů v nemocnicích má velmi omezené možnosti. Jedno z nich je jiné stavební uspořádání daného prostoru, kdy otvor pro přívod vzduchu do hygienického prostoru bude z jiné místnosti, popř. celý přístup do hygienické místnosti bude z předsíně pokoje. Pokud není možné jiné stavební řešení, je nutné zvolit jiný systém větrání, než decentrální.

Při změně stavebního uspořádání a chráněný pobytový prostor potom bude od hygienické místnosti oddělen příčkou. Požadovaná stavební neprůzvučnost příček v nemocnicích je dle normy 47 dB, pro byty 42 dB. Výpočet prostupu akustické energie skrz konstrukci je pomocí vzorce:

$$L_2 = L_1 - R'_w + 10 \log S - 10 \log A + 2 \quad [dB]$$

Provedeme-li výpočet pro výše uvedenou místnost a jeden z naměřených ventilátorů o  $L_{pAmax} = 73,8 \text{ dB}$ , dostaneme hodnoty akustického tlaku v chráněném prostoru:

- |  |                          |
|--|--------------------------|
| • v bytě s širokopásmovým akustickým podhledem ( $\alpha = 0,85$ ) | $L_2 = 29,4 \text{ dB}$  |
| • v bytě s podhledem bez akustických úprav                         | $L_2 = 36,2 \text{ dB}$  |
| • v nemocničním pokoji s akustickým podhledem ( $\alpha = 0,85$ )  | $L_2 = 24,4 \text{ dB}$  |
| • v nemocničním pokoji s podhledem bez ak. úprav                   | $L_2 = 31,22 \text{ dB}$ |

### **Závěry výpočtu:**

- I když bude hygienická místnost oddělena příčkou, je nutné vždy osadit akustický podhled o minimální zvukové pohltivosti  $\alpha = 0,85$ .
- Při reálném měření nikdy nebude jediným zdrojem hluku ventilátor, proto výše vypočtené hladiny akustického tlaku budou překročeny i v případě osazení širokospektrálního akustického podhledu.
- Uvedený ventilátor nesmí ve spektru mít tónovou složku, jinak se oba požadované limity sníží ještě o dalších 5 dB. Z praxe ovšem víme, že u malých ventilátorů velmi často při měřeních dochází k nalezení tónové složky
- Stavebně je nutné dodržení požadovaných neprůzvučností konstrukcí. Je častou chybou projektantů, kdy zapomenou od laboratorní hodnoty neprůzvučnosti uváděné výrobcem konstrukce odečíst výše uvedené korekce na vedlejší cesty šíření zvuku. Především u konstrukcí ze sádkkartonu se jedná o korekci ve výši 8 - 10% laboratorní neprůzvučnosti.

## 6 ZÁVĚR

Dizertační práce je zaměřena na akustiku hygienických místností a eliminaci hluku, jehož zdroje jsou ventilátory určené pro větrání těchto prostor. Práce navazuje na výzkum provedený v [6] a rozšiřuje jeho poznatky. Hlavním přínosem této DP je vytvoření modelu pro simulaci a rozšíření projekčně-technických doporučení pro technickou praxi uvedených v [6].

### 6.1 SHRnutí VÝSLEDKŮ

*V laboratoři byly realizovány experimenty*, kdy byla zkoumána problematika způsobu osazování ventilátorů na objemově těžkou a lehkou konstrukci a jeho dopad na akustiku v prostoru hygienické místnosti. Bylo zjištěno, že v případě lehké konstrukce je výhodnější ventilátor pružně izolovat od této konstrukce, aby bylo zamezeno jejímu rozkmitání a tím i zvýšení akustického tlaku v prostoru místnosti. V případě středně těžké (a těžké) konstrukce je výhodnější ventilátor s konstrukcí spřáhnout, aby mohla případné vibrace ztlumit. Největší vliv na zvýšení hluku v hyg. místnosti má akusticky nezatlumená tvarovka osazená na výtlaku ventilátoru.

*V reálném prostředí hygienických místností byla realizována experimentální měření*, kdy byly zkoumány problémy bytů, které zahrnovaly hluk přenášený stoupacím potrubím mezi sousedními byty a vysokou hladinu akustické zátěže emitovanou ventilátory. Bylo prokázáno, že naměřené hodnoty uvnitř hygienických prostor jsou vždy vyšší, než dokládáné údaje výrobců. V nejhorším z případů tento rozdíl činil až 22 dB. Hluk, přenášený stoupacím potrubím mezi hygienickými místnostmi v našem případě překročil legislativně dané hodnoty pro přenosy hluku mezi obytnými místnostmi. Proto je v případě připojení jednotlivých ventilátorů na společné trubní rozvody nutné osazovat tlumící prvky.

Pomocí softwaru Odeon bylo provedeno *teoretické ověření vybraných experimentálních měření* a dále byla zkoumána problematika vhodnosti umístění zdroje hluku ve třech variantních uspořádání hygienických místností. Byl jasně prokázán vliv zvýšení pohltivosti prostoru a vliv umístění zdroje hluku na rozložení akustického tlaku po ploše místnosti. Dále byl prokázán vliv hluku z hygienických místností na chráněné prostory staveb. Při statisticky nejčastějším rozmístění nemocničních pokojů, nebude dodržen požadovaný akustický tlak ani pro zdroj o akustickém výkonu  $L_{WA} = 40$  dB - tzn. při uvažovaném omezení předpisem EU. Při nevhodně zvoleném ventilátoru pro větrání hygienické místnosti lze očekávat, že ani normová hodnota pro neprůzvučnost příčky nebude dostatečná pro jeho ztlumení a bude překročen legislativní limit v chráněných prostorech.

### 6.2 VÝZNAM PRO ROZVOJ VĚDNÍHO OBORU

Pro výzkum uvedený v této DP byl vytvořen model pro simulaci, na který lze navázat při dalším teoretickém výzkumu. V modelu jsou definovány okrajové podmínky hygienických místností:

- rozložení jednotlivých povrchů typických pro tyto prostory
- vlastnosti jednotlivých povrchů
- omezené rozměry prostoru

Model může být dále doplňován a rozšiřován o další parametry aplikovatelné v hygienických místnostech.

## 6.3 VÝZNAM A ZÁVĚRY PRO TECHNICKOU PRAXI

### 6.3.1 Obecná doporučení potvrzená vlastním výzkumem

K eliminaci nepříznivých účinků hluku v projekčně-montážní praxi lze doporučit zejména následující přístupy:

- Využití centrálního systému větrání s realizovaným zatlumením na připojení do společné potrubní trasy a s možností regulace odváděného množství vzduchu.
- V případě decentrálního systému větrání volit potrubní ventilátor s osazením mimo větranou místnost - alespoň nad podhled.
- Návrh co nejnižšího množství odváděného vzduchu vyhovující hygienickým požadavkům - tím je možné použití nižších otáček k dosažení potřebného pracovního bodu ventilátoru.
- Snížení potřebné externí tlakové ztráty (zkrácení výfukové trasy, zvětšení potrubí) - tím je možné použití nižších otáček k dosažení potřebného pracovního bodu ventilátoru.
- Zvolení vhodné velikosti distribučních prvků vzhledem k odtahovanému množství vzduchu a k emisi vlastního hluku těchto prvků.
- Volba vhodné velikosti ventilátoru vzhledem k požadovanému pracovnímu bodu.
- Správné zaregulování celého systému - ventilátoru i distribučních prvků.
- Připojení distribučních prvků realizovat přes akusticky pohltivé potrubí.
- Ventilátor instalovat pomocí pružných podložek. Připojení na potrubí pružně odizolovat.
- Na sání i výfuku ventilátoru osadit tlumiče hluku. Na výfuku jsou potřebné zejména k zamezení přenosu hluku do společného potrubí a tím šíření dále po objektu.
- Výfuk stěnového (stropního) ventilátoru realizovat do volného prostoru šachty, v případě připojení přes koleno nebo T-kus do těchto prvků vložit akusticky pohltivý materiál.
- V prostoru hygienické místnosti instalovat akustický podhled.

### 6.3.2 Závěry vyplývající z vlastního výzkumu

- Stěnový/stropní ventilátor osazený na stěnu (do stěny) tuhé konstrukce pružně izolovat vzhledem k přenosům hluku do okolních místností.
- Stěnový/stropní ventilátor hlučný především do prostoru hygienické místnosti (bez přenosu hluku do okolních místností) vůči tuhé konstrukci neizolovat.
- Stěnový/stropní ventilátor osazený na lehkou konstrukci (např. sádrokarton) instalovat přes pružnou podložku.
- Zdroj hluku (distribuční prvek, ventilátor) osadit půdorysně mimo častý pobyt osob, nejlépe do prostoru s předpokládanou vlastní emisí hluku (např. sprchový kout). V případě osazení na stěnu musí osa zdroje hluku směřovat mimo uživatele.
- Pro nemocniční pokoje s vlastní hygienickou místností volit jiné stavební uspořádání, než je nejčastější používané.
- V případě stávajícího nejčastějšího řešení nemocničních pokojů volit jiný, než decentrální způsob větrání.
- V případě decentrálního způsobu větrání hygienických prostor nemocničních pokojů, hygienickou místnost oddělit od pokoje plnou příčkou a navýšit neprůzvučnost příčky nad normovou hodnotu.
- Do chráněného pobytového prostoru vždy osadit širokospektrální akustický podhled.

Na základě těchto doporučení lze definovat vhodný přístup k návrhům a realizačním postupům malých VZT zařízení.

### 6.4 MOŽNOSTI DALŠÍHO VÝZKUMU

Při řešení dané problematiky bylo nalezeno několik témat, kterými by bylo vhodné se dále zabývat:

- výzkum optimalizace odváděného množství vzduchu z hygienických místností (v době jejich užívání)
- psychoakustické působení malých ventilátorů na osoby uvnitř/vně hygienické místnosti
- experimentální výzkum neprůzvučnosti stěn ze současných materiálů a složených konstrukcí

## LITERATURA

- [1] NOVÝ, Richard: Hluk a chvění, Praha, Vydavatelství ČVUT, třetí vydání, 2009, 400 s., ISBN 978-80-01-04347-9
- [2] CHYSKÝ, Jaroslav, HEMZAL, Karel a kolektiv: Větrání a klimatizace, Brno, Vydavatelství BOLIT, 1993, 560 s., ISBN 80-901574-0-8
- [3] ŠŤASTNÍK, Stanislav, ZACH, Jiří: Stavební akustika a zvukoizolační materiály, Vydavatel VUT v Brně FAST, 2002, 209 s., ISBN 80-214-2117-7
- [4] SZÉKYOVÁ, Marta, FERSTL, Karol, NOVÝ, Richard: Větrání a klimatizace, Vydavatel JAVA GROUP, s.r.o., 2006, 359 s., ISBN 80-8076-037-3
- [5] SMETANA, Ctirad a kolektiv: Hluk a vibrace, měření a hodnocení, Vydavatelství MTT, 1998, 188 s., ISBN 80-90 1936-2-5
- [6] CIFRINEC, Ivan: Akustika malých vzduchotechnických zařízení a eliminace nepříznivých účinků hluku: dizertační práce, Brno, 2011, 128 str., 36 str. příloh, Vysoké učení technické v Brně.
- [7] MELKA, Alois: Základy experimentální psychoakustiky, Akademie Múzických umění v Praze, 2005, 327 s., ISBN 80-7331-043-0
- [8] JOKL, Miloslav: Teorie vnitřního prostředí budov, České vysoké učení technické, 1991, 261 s., ISBN 80-01-00481-3
- [9] VAVERKA, Jiří: Stavební fyzika 1 - akustika urbanistická, stavební a prostorová, 9788021412835, 9788021412835, Vysoké učení technické v Brně, Nakladatelství VUTIUM, Brno 1998, 343 s., ISBN 80-214-1283- 6

### **Seznam legislativních předpisů**

- [10] Zákon 258/2000 Sb. O ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů
- [11] Nařízení vlády č.272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací se změnou č. 217/2016 Sb.
- [12] Metodický návod pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí Č.j. HEM-300-11.12.01-34065, (Ministerstvo zdravotnictví)
- [13] ČSN 730532 - Akustika - Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních výrobků
- [14] Nařízení evropské komise č. 1253/2014

# ŽIVOTOPIS

## Osobní údaje

*Jméno, příjmení:* Lenka Hájková

## Vzdělání:

2008 – dosud Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. Doktorský studijní program. Obor: Pozemní stavby – Technická zařízení budov.

2003 – 2008 Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. Studijní program stavební inženýrství. Studijní obor: Pozemní stavby – Technická zařízení budov.  
Dosažená kvalifikace: Inženýr (Ing.)

## Pracovní zkušenosti:

1/2012 – dosud SUBTECH, s. r. o., Slovinská 29, Brno 612 00. Projektant vzduchotechniky.

1/2009 – 12/2011 KLIMAKOM, spol.s r.o., Zámecká 4, Brno – Chrlice 643 00. Projektant vzduchotechniky.

**Cizí jazyk:** Angličtina

## Odborné znalosti, software:

- AutoCAD, MS Office (Word, Excel, PowerPoint), PROTECH, REVIT MEP

### ***Abstrakt***

Dizertační práce spadá do oblasti tvorby vnitřního prostředí a zabývá se výzkumem akustického mikroklimatu při nuceném větrání hygienických místností obytných budov. Zdroje hluku v těchto prostorech jsou malé ventilátory. Práce obsahuje zhodnocení současného stavu problematiky, fyzikální závislosti akustiky a teoretické základy akustiky ve vzduchotechnice. Dále práce obsahuje experimentální část, ve které se zaměřuje na zhodnocení stavu v reálných aplikacích a na možnosti ovlivnění akustického mikroklimatu osazením malých ventilátorů na stavební konstrukce. V práci je vytvořen model pro ověření některých předpokládaných závislostí a teoretický výzkum rozložení hladin akustického tlaku v hygienické místnosti v závislosti na umístění zdroje hluku. V závěru práce jsou uvedena doporučená opatření pro zlepšení akustického mikroklimatu a eliminaci hluku v hygienických prostorech a v chráněných prostorech obytných budov.

### ***Abstract***

Dissertation thesis falls within area of indoor climate and deals with investigation of acoustic microclimate in sanitary rooms of residential buildings during a mechanical ventilation. Sources of a noise in these areas are small fans. The thesis contains the evaluation of the existing situation concerning the referred issue, physical laws of acoustics and theoretical basics of acoustics of air conditioning. The part of the thesis is experimental measurement which aims to evaluate the situation in real applications and the possibility of influencing the acoustic microclimate by affixing of small fans on the building structure. The work contains a model for the verification of certain anticipated dependencies and theoretical investigation of the distribution of sound pressure levels in the sanitary room, depending on the location of the noise source. The last part of the work offers possible measures to improve the acoustic microclimate and elimination of the noise in sanitary rooms and in protected areas of residential buildings.

