



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

DIZERTAČNÍ PRÁCE
DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Ing. Lenka Hájková

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Hirš, CSc.

BRNO 2016

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.

Klíčová slova

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

Keywords

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

Bibliografická citace VŠKP

HÁJKOVÁ, Lenka. *Akustika malých ventilátorů*. Brno, 2016. 128 s. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Hirš, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem dizertační práci na téma "Akustika malých ventilátorů" zpracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje, ze kterých bylo čerpáno.

V Brně dne

.....
podpis autorky

Poděkování

Děkuji všem, kteří mi v průběhu vývoje práce byli radou a svými názory nápomocni a všem, kteří mi pomáhali v realizaci experimentálních měření.

Za odborné konzultace a za čas, který mi věnovala, děkuji Ing. Haně Vojířové.

OBSAH

Obsah	6
1 ÚVOD	9
2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU PROBLEMATIKY	10
2.1 Zvuk a hluk.....	11
2.1.1 Hluk a jeho zdroje	11
2.1.2 Akustický tlak a hladina akustického tlaku	11
2.1.3 Frekvence a frekvenční spektra	12
2.1.4 Intenzita zvuku a hladina intenzity zvuku	15
2.1.5 Akustický výkon a hladina akustického výkonu	16
2.1.6 Šíření zvuku ve volném prostoru.....	16
2.1.7 Šíření zvuku v uzavřeném prostoru.....	18
2.1.8 Volné a difúzní zvukové pole.....	19
2.1.9 Pohlcování zvuku	21
2.1.10 Činitel směrovosti.....	22
2.1.11 Doba dozvuku.....	22
2.1.12 Hladina akustického tlaku v poli odražených vln.....	23
2.1.13 Celková hladina akustického tlaku v uzavřeném prostoru	23
2.2 Zdroje hluku ve vzduchotechnice.....	24
2.2.1 Hluk při výtoku tekutiny	24
2.2.2 Hluk při obtékání těles	25
2.2.3 Útlum a vlastní hluk vzduchotechnického potrubí.....	25
2.2.4 Útlum hluku potrubí a jeho součástí.....	26
2.2.5 Vlastní hluk potrubí a jeho součástí	28
2.2.6 Hluk ventilátorů.....	31
2.3 Hluk a životní prostředí.....	35
2.3.1 Pohoda životního prostředí.....	35
2.3.2 Interní mikroklima v budovách	35
2.3.3 Akustické mikroklima	36
2.3.4 Účinky hluku na člověka	36
2.4 Měření a vyhodnocování hlučnosti	37
2.4.1 Obecné požadavky na metodiku měření.....	41
2.4.2 Legislativa, hygienické limity	41

2.4.3	Vybrané legislativní předpisy	42
3	CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE	43
3.1	Specifikace dílčích cílů	43
4	METODY ŘEŠENÍ.....	44
4.1	Analýza okrajových podmínek.....	44
4.2	Experimentální metody	45
4.2.1	Použité měřicí přístroje a vybavení	46
4.2.2	Měřené veličiny	46
4.2.3	Postup měření a vyhodnocování naměřených dat	46
4.3	Teoretické metody.....	47
4.3.1	Teorie eliminace hluku.....	47
4.3.2	Simulace akustických polí.....	52
5	VÝSLEDKY DIZERTAČNÍ PRÁCE.....	53
5.1	Experimentální měření	53
5.1.1	Potrubní ventilátor umístěný nad podhledem - objekt A.....	53
5.1.2	Potrubní ventilátor umístěný nad podhledem - objekt B.....	57
5.1.3	Ventilátor umístěný pod podhledem hygienické místnosti	62
5.1.4	Vliv osazení ventilátoru do stěny	66
5.1.5	Vliv osazení ventilátoru do podhledu.....	74
5.2	Simulace	77
5.2.1	Vliv různého umístění talířových ventilů	77
5.2.2	Vliv umístění talířového ventilu - experimentální laboratoř	84
5.2.3	Vliv umístění talířového ventilu - velký prostor	94
5.3	Shrnutí dílčích výsledků	102
5.3.1	Rekapitulace a vyhodnocení experimentálního výzkumu	102
5.3.2	Rekapitulace a vyhodnocení simulací	102
5.4	Vliv hluku hygienických místností na akusticky chráněné prostory	103
5.4.1	Posouzení vlivu hluku z hygienické místnosti	106
6	ZÁVĚR.....	118
6.1	Shrnutí výsledků.....	118
6.2	Význam pro rozvoj vědního oboru.....	119
6.3	Význam a závěry pro technickou praxi	119
6.3.1	Obecná doporučení potvrzená vlastním výzkumem.....	119
6.3.2	Závěry vyplývající z vlastního výzkumu	120

6.4	Možnosti dalšího výzkumu	121
	Seznam použité literatury a použitých zdrojů	122
	Seznam obrázků	124
	Seznam grafů.....	126
	Seznam použitých zkratk a symbolů	127

1 ÚVOD

Pro vytvoření příjemného mikroklimatu v budovách, je nutné v souladu s platnými předpisy zajistit větrání jednotlivých obytných místností. ČSN EN 15665 se změnou Z1 stanovuje minimální a doporučené hodnoty intenzity větrání v obytných jednotkách. Jednou z možností, jak zajistit dostatečnou výměnu vzduchu v místnostech, je využití přirozeného přívodu např. přes fasádní prvky do obytných prostor (ať už to jsou různé přírodní systémy určené přímo do fasády, nebo štěrbin integrované do okenních rámců) a nuceného odvodu. Tento odvod může být realizován buď centrálním nebo decentrálním větracím systémem. Centrální systém pracuje se společným ventilátorem pro více bytů a zpravidla je umístěn na střeše. Jednotlivé místnosti jsou potom připojeny přes variabilní typ odvodní vyústky. Decentrální systém větrání je realizován pomocí ventilátorů osazených přímo v prostorech, ze kterých požadujeme odvod vzduchu. Existuje i kombinovaný systém, kdy je využit jak centrální ventilátor, tak samostatné lokální ventilátory osazené přímo ve větraných místnostech.

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.

V legislativních předpisech není uveden požadavek maximálních emisí hluku těchto zdrojů ani hranice hladiny akustického tlaku, která v hygienických prostorech musí být dodržena. 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. Hygienický limit uvnitř obytných a jiných chráněných prostor je uvedený v Nařízení vlády (dále NV) č.272/2011 o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Zde je ovšem sporné, zda hluk z ventilátorů není možné považovat za hluk z užívání bytu, který toto nařízení neupravuje.

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 bezodrazových 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. Byly zkoumány vlivy umístění vyústek v prostoru, přeslechy přes stoupací šachty, vlivy způsobu osazení ventilátoru do stěny a do podhledu. 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). Projektant zvolí - v rámci omezení daných investorem nebo architektem - vhodnou variantu větrání bytů (jednotlivé způsoby možného větrání popsány v úvodní kapitole). Pro výběr samotného zařízení jsou stěžejní dva parametry - vzduchový výkon a externí tlaková ztráta. Až po nalezení vyhovujícího zařízení pro tyto parametry je možné zaměřit se na ostatní požadavky, jakými jsou např. i hlukové emise. V některých případech jsou parametry na požadovaný výrobek natolik specifické, že ani není možná jeho záměna za jiný - s lepšími hlukovými parametry. Pak je nutné přikročit k dodatečným akustickým úpravám.

V dnešní době, kdy je velký tlak na komfort uživatelů, se někteří z výrobců snaží vyhovět tomuto trendu a poskytnout projektantovi (uživateli) veškeré informace o daném výrobku, vč. spektrální analýzy akustického výkonu. Bohužel tyto informace jsou dosažitelné jen pro velmi malou část z výrobků uváděných na trh. U ostatních, pokud vůbec jsou uvedeny nějaké akustické údaje, se zpravidla jedná o jednočíselnou hodnotu akustického tlaku, naměřenou u různých výrobků v různé vzdálenosti v laboratorním prostředí bezodrazových akustických místností. Tyto hodnoty lze mezi sebou obtížně porovnávat a nelze identifikovat žádné z možných nežádoucích akustických projevů, jako jsou např. tónové složky. 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. Bohužel se velmi často jedná o vzdálenosti, které v malých hygienických místnostech prakticky nelze dosáhnout.

V legislativních předpisech není do r. 2016 uveden požadavek, který by nějakým způsobem omezoval emise hluku v hygienických prostorech. 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. Akustický výkon malých ventilátorů o elektrickém příkonu vyšším jak 30 W omezuje až předpis EU 1253/2014 (o ekodesignu) s platností od r.2016. Od r.2016 akustický výkon $A L_{WA}$ musí být maximálně 45 dB, a od r.2018 40 dB. Ovšem výrobky uvedené na trh před rokem 2016 tato omezení splňovat nemusí. Ventilátorů s elektrickým příkonem do 30 W se toto omezení netýká.

Změna 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. V plynném a kapalném prostředí dochází výlučně k podélnému vlnění ve směru postupu vlny, v pevných látkách se může vyskytovat podélné i příčné vlnění. 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].

DP je zaměřena především na šíření akustického vlnění v plynech.

2.1.1 Hluk a jeho zdroje

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

Zdroje hluku (zvuku) lze rozdělit do dvou základních skupin, jimiž jsou mechanické a aerodynamické zdroje. Podstatou mechanického zdroje je kmitání povrchu zářiče tak, že vyvolává i kmitání přiléhající vrstvy tekutiny, kterou se vlny šíří dále do prostoru. Mezi tyto zdroje řadíme obecně strojní zařízení. V aerodynamických zářičích je hlavní příčinou vzniku zvuku volné nestacionární turbulentní proudění tekutiny, turbulentní proudění v potrubí a obtékání těles proudem tekutiny. [1]

Zdroje hluku ve vzduchotechnice jsou podrobněji popsány v kap. 2.2.

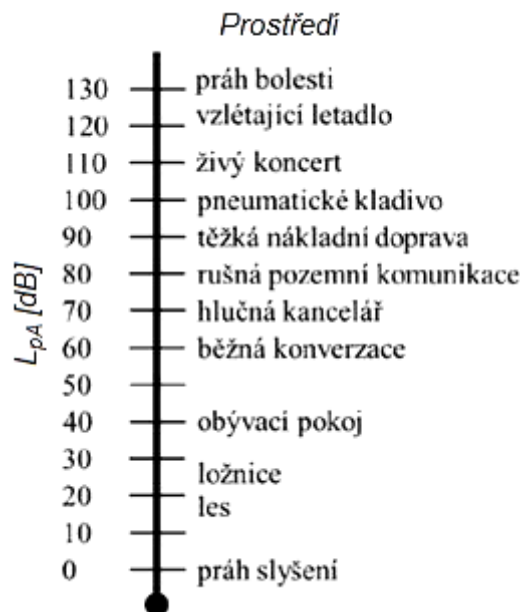
Zvuk je definován akustickými veličinami, mezi něž patří:

- akustický tlak
- akustický výkon
- akustická rychlost
- intenzita zvuku

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. Mezi hodnotami těchto tlaků je ovšem řádový rozdíl. Barometrický tlak dosahuje přibližně 100 000 Pa, kdežto akustický tlak slyšitelný lidským uchem se pohybuje přibližně v rozmezí 20 μ 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 μ 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 μ Pa převádí do rozsahu 0 - 140 dB.

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



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

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)

Jednotka akustického tlaku *decibel* [dB] je logaritmická, tzn. že zvětšení hladiny o 20 dB odpovídá desetinásobné hodnotě akustického tlaku atp. 1 dB je potom vyjádření nejmenší změny, kterou lidský sluch může zaznamenat.

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).

2.1.3 Frekvence a frekvenční spektra

Akustické vlnění se šíří od zdroje ve vlnoplochách. Všechny body vlnoplochy mají v daný časový okamžik stejnou fázi. Akustický paprsek se nazývá kolmice na vlnoplochu. Vlnová délka λ [m] je potom vzdálenost mezi dvěma sousedními body na akustickém paprsku, které mají stejnou fázi, což znamená vzdálenost, kterou zvuková vlna urazí za dobu jednoho kmitu T [s]. Kmitočet, neboli frekvence f [Hz], znázorňuje počet kmitů za sekundu, které vykoná kmitající hmotný bod prostředí, ve kterém se šíří zvuková vlna [1].

Vztah mezi dobou kmitu a frekvencí:

$$f = \frac{1}{T}$$

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.

Jednotkou hlasitosti je fón [Ph]. Hladina hlasitosti L_N odpovídá hodnotě hladiny intenzity při referenční frekvenci 1 kHz. Hladina hlasitosti L_N [Ph] je definována vztahem:

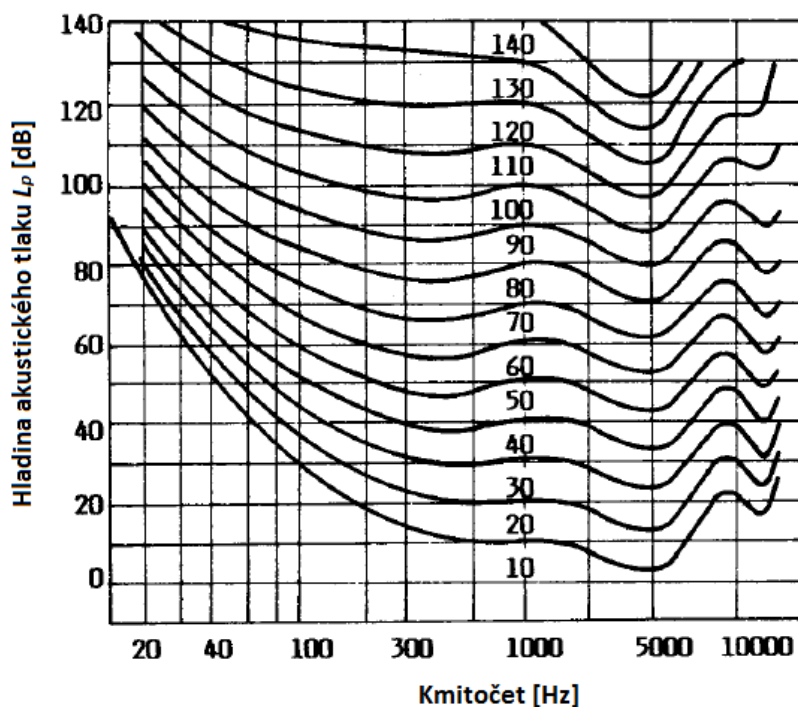
$$L_N = \text{kons.} \log \frac{I}{I_0}$$

kde je

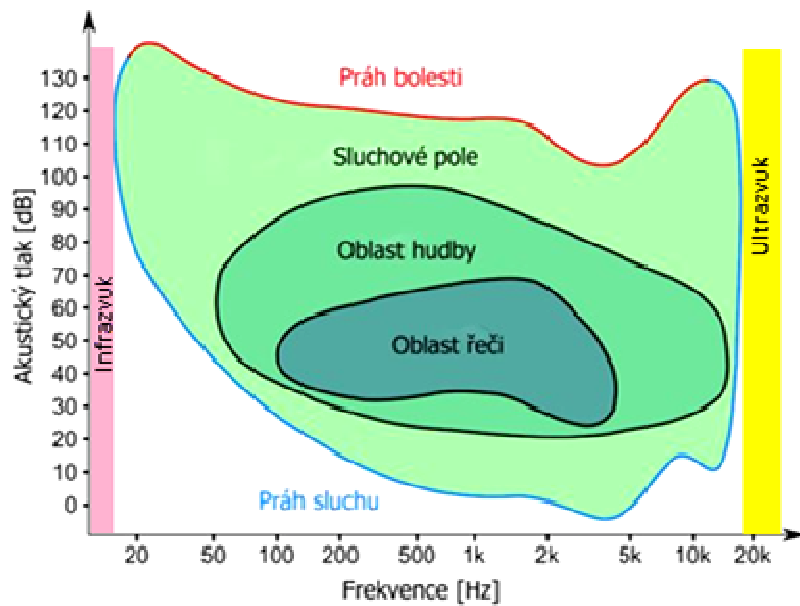
I [W/m^2] intenzita vnímaného zvuku

$I_0 = 10^{-12}$ [W/m^2] je referenční hodnota intenzity zvuku

Konstanta závisí především na frekvenci tónu - z výše uvedeného vyplývá, že pro tón o frekvenci 1000 Hz je konstanta 10. Pro ostatní frekvence je nutné hladinu hlasitosti stanovit porovnáním se zvukem o frekvenci 1000 Hz.



Graf 1 Křivky stejné hlasitosti [1]



Obr. 2 Oblasti lidského sluchu

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. Spektra lze rozdělit na dva druhy - diskrétní a spojité, popř. může jít o jejich kombinaci. K popisu a možnému posuzování zvuku (hluku) se používá spektrální analýza, která může být zobrazena buď v jenooktávových frekvenčních pásmech, nebo podrobněji v třetinooktávových pásmech. Každá oktáva je interval mezi dvěma kmitočty, kdy druhý je vždy dvojnásobkem prvního:

$$\frac{f_2}{f_1} = 2$$

Oktáva je pak charakterizována svým středním kmitočtem f_m [Hz], podle kterého je i nazvána:

$$f_m = \sqrt{f_1 f_2}$$

Třetinooktávové pásmo získáme rozdělením oktávového pásma na tři třetiny v logaritmických stupnicích. Platí následující závislost, kde f_1 a f_4 označují frekvence ohraničující celou oktávu:

$$\log \frac{f_2}{f_1} + \log \frac{f_3}{f_2} + \log \frac{f_4}{f_3} = \log \frac{f_4}{f_1} = \log 2$$

Zároveň platí rovnost:

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{f_3}{f_2} = \frac{f_4}{f_3}$$

Rozsah vnímání lidského ucha se vymezuje přibližně od 16 do 20 000 Hz. Vzduchotechnika je obecně posuzována v rozsahu 63 - 8000 Hz, ve kterém je lidské ucho nejcitlivější.

Dle frekvenčního spektra potom rozlišujeme:

- hluk s tónovými složkami - hladina akustického tlaku v třetinooktávovém pásmu, popř. i ve dvou sousedících třetinooktávových pásmech, o více než 5 dB vyšší než hladiny v obou sousedních pásmech
- proměnný hluk - hladina akustického tlaku se v daném místě mění v závislosti na čase o více než 5 dB
- ustálený hluk - hladina akustického tlaku se v daném místě nemění v závislosti na čase o více než 5 dB
- přerušovaný hluk - hladina akustického tlaku se skokově mění o více jak 5 dB
- impulsní hluk - je tvořen jednotlivými impulsy nebo jejich sledem, 1 - 200 ms dlouhými, intervaly mezi impulsy jsou delší než 10 ms
- vysokofrekvenční hluk - způsobený neakustickými vlivy (např. vibrace)

2.1.4 Intenzita zvuku a hladina intenzity zvuku

Střední hodnota měrného akustického výkonu za dobu jedné periody se nazývá intenzita zvuku. Měrný akustický výkon je dán součinem okamžitých hodnot akustického tlaku a akustické rychlosti. Intenzita zvuku I [W/m^2] je vyjádřena vztahem

$$I = \frac{p_{ef}^2}{\rho c}$$

kde

$$p_{ef} = \frac{p_0}{\sqrt{2}} \quad \text{je efektivní akustický tlak harmonického signálu [Pa]}$$

$$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ [Pa]} \quad \text{je referenční hodnota akustického tlaku}$$

$$\rho c \quad \text{vyjadřuje měrný vlnový odpor prostředí, ve kterém se šíří akustická vlna, kde } c \text{ [m/s] je rychlost šíření vlny a } \rho \text{ [kg/m}^3\text{] je hustota prostředí}$$

Tento výraz pro výpočet I má význam základního vzorce v technické akustice. Na jeho platnosti je založeno měření hluku a ostatní akustické výpočty, protože většina přístrojů pro měření zvuku je založeno na měření akustického tlaku a jen málokterý dokáže změřit intenzitu akustického vlnění. Vzorec je platný za předpokladu, že akustický tlak a akustická rychlost jsou ve fázi, což neplatí u kulové vlny. V tomto případě by bylo nutné znát fázový úhel a akustickou rychlost. Ovšem běžným vybavením nelze tyto veličiny měřit, a proto jsou měřicí zařízení založena na měření akustického tlaku.

Intenzita zvuku převedená do logaritmické stupnice se nazývá hladinou intenzity zvuku L_I [dB], která je definována vztahem:

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} \cong 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \log \frac{p}{p_0}$$

kde

$$I_0 = 10^{-12} \text{ [W/m}^2\text{]} \quad \text{je referenční hodnota intenzity zvuku}$$

$$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ [Pa]} \quad \text{je referenční hodnota akustického tlaku}$$

p [Pa] je hodnota akustického tlaku

Hodnota intenzity zvuku je spřažena se směrem šíření zvuku. Výše uvedená rovnice platí za podmínky, že zkoumaná plocha je kolmá na směr šíření zvuku.

Intenzita zvuku je závislá na šířce frekvenčního pásma, k němuž se intenzita vztahuje. Intenzita zvuku I [W/m²] je potom vyjádřena vztahem:

$$I = I_1 \cdot \Delta f$$

kde

I_1 [W/m²s] je intenzita zvuku pro pásmo 1 kHz

Δf [Hz] je šířka frekvenčního pásma

Z uvedeného vztahu vyplývá, že velikosti hodnot intenzity jsou různé pro různé šířky frekvenčních pásem. Pro spektrum zvuku závislé na kmitočtu se ke stanovení hladiny intenzity zvuku L_I [dB] použije vztah:

$$L_I = 10 \log \left[\frac{1}{I_0} \int_{f_1}^{f_2} I(f) df \right]$$

kde

$I(f)$ [W/m²s] je spektrální hustota intenzity zvuku

2.1.5 Akustický výkon a hladina akustického výkonu

Akustický výkon je energie zvukových vln vyzářená zdrojem (popř. prošlá nebo dopadající na plochu) za jednotku času.

Rozsah akustického výkonu je v přírodě značný. Akustický výkon šepotu je 1.10⁻⁹ W, křik vydává energii 1.10⁻³ W, proudový letoun vydává energii 1.10⁵ W. Vzhledem k veliké škále se pro technickou praxi zavedla logaritmická hladina akustického výkonu v decibelech [dB]. Zvýšení akustického výkonu o jeden řád odpovídá zvýšení hladiny akustického výkonu o 10 dB.

Hladina akustického výkonu L_w [dB] je definována vztahem:

$$L_w = 10 \log \frac{W}{W_0}$$

kde je

W_0 [W] referenční akustický výkon, $W_0 = 10^{-12}$ W

W [W] sledovaný akustický výkon

Hodnota hladiny akustického výkonu je zavedena jako měřítko hlučnosti zdrojů hluku.

Akustické hladiny (tlaku, výkonu, intenzity) jsou frekvenčně závislé veličiny, proto u nich vždy musí být uvedena frekvence, resp. frekvenční rozsah, ke kterým se vztahují.

2.1.6 Šíření zvuku ve volném prostoru

Z pohledu zařízení vzduchotechniky se s volným akustickým prostorem setkáváme pouze při instalaci zařízení vně objektu - zpravidla na střeše nebo na volném prostranství. V tomto prostředí

dochází k rozprostření energie do prostoru. Pokles akustických veličin závisí na vzrůstající vzdálenosti od zdroje, ale také na absorpci ve vzduchu, vlivu klimatických podmínek jako jsou mlha, teplotní gradient nebo vítr a v neposlední řadě na vlivu překážek v akustickém poli.

Volné zvukové pole

Ve volném zvukovém poli se zvuk šíří od bodového zdroje v kulových vlnoplochách. Pro výpočet akustického tlaku L_p [dB] při známé hladině akustického výkonu zdroje lze použít vzorec:

$$L_p = L_w + 10 \log \frac{Q}{4\pi r^2}$$

kde je

L_w [dB] hladina akustického výkonu na plochu $4\pi r^2$

Q [-] činitel směrovosti dle umístění zdroje

V reálném prostředí se zvuk nešíří rovnoměrně do všech směrů, proto byl zaveden činitel směrovosti Q [-], který je definován:

$$Q = \frac{I(\vartheta)}{I_m}$$

kde je

$I(\vartheta)$ [W/m²] intenzita zvuku ve směru prostorového úhlu ϑ

I_m [W/m²] střední intenzita zvuku na měřicí ploše

Hodnoty činitele směrovosti pro zdroj umístěný:

- Volně v prostoru – zvuk se šíří do všech směrů Q = 1
- Na stěně, na zemi – zvuk se šíří do poloprostoru Q = 2
- Na rozhraní stropu/země a stěny – zvuk se šíří do čtvrtiny prostoru Q = 4
- Na rozhraní 3 rovin, tzn. roh – zvuk se šíří do osminy prostoru Q = 8

Útlum ve vzduchu

V homogenním prostředí, ve kterém se šíří zvuk, dochází k přeměně zvukové energie na tepelnou:

- S rostoucí vzdáleností od zdroje bude klesat intenzita zvuku rychleji, než v ideálním prostředí, vlivem tepelné vodivosti a vyzařování tepelné energie a dále vlivem viskozity vzduchu a difúzi. Tyto vlivy nejsou závislé na vlhkosti vzduchu, jejich vliv roste úměrně s druhou mocninou frekvence daného zvuku.
- Molekulární absorpce akustického signálu je nejvyšší při relativní vlhkosti 10 – 20 %. Je založena na relaxaci při pohybu molekul kyslíku. S rostoucí frekvencí roste vliv tohoto faktoru na pokles akustické energie.

Útlum gradientem větru

Nerovnoměrné rozložení hmotnosti, teploty a vlhkosti v atmosféře se v akustickém poli projeví jako změny intenzity přijímaného signálu v čase, i když je akustický výkon zdroje konstantní. V místech

položených ve směru proti větru od zdroje zvuku může dojít ke vzniku akustického stínu. Tento jev není zapříčiněn přímo pohybem vzduchu, ale gradientem větru, kdy dochází k ohybům zvukových vln vzhůru. Stejně tak může dojít k zesílení akustického signálu vlivem ohybu vln směrem dolů.

Útlum gradientem teploty

Stejně jako v předchozím případě je útlum akustické energie vyvolán nerovnoměrností v atmosféře. Za normálních podmínek s rostoucí výškou klesá teplota vzduchu, v důsledku toho se zvukové paprsky odklánějí od povrchu země a v těchto místech při zemi vzniká akustický stín. Naopak při teplotní inverzi dochází k opačnému jevu, kdy do určité výšky teplota vzrůstá, v důsledku toho se zvukové vlny ohnou směrem k zemi, což způsobí vyšší hustotu akustické energie při povrchu země.

Útlum ohybem přes překážku

V případě umístění poměrně rozměrné tuhé překážky do dráhy akustické vlny, dojde k ohybu zvuku přes tuto překážku. Vznikne akustický stín ve směru šíření za touto překážkou. Jeho velikost závisí na rozměru překážky a na vlnové délce šířícího se zvuku. Ohybem zvuku se zabýval fyzik Fresnel, který objevil zákonitosti pro jeho vyhodnocení. V praxi se v dnešní době tohoto jevu hojně využívá především v externím prostředí, kdy jsou instalovány protihlukové stěny v okolí silnic a dálnic a v mnoha případech na střechách objektů jako protihlukové zábrany proti šíření hluku ze strojního zařízení, které je zde umístěno (chladicí věže, vzduchotechnické jednotky apod.).

Pro návrh protihlukových stěn platí zásady:

- šířka zástěny musí být dostatečně velká, minimálně dvojnásobná než je její výška na každou stranu od spojnice pozorovatele a okraje překážky
- zástěna musí být takové konstrukce, aby se vlivem dopadajících akustických vln nerozklmítala a nestala se sama zdrojem akustické energie tím, že by vyzařovala energii za překážku
- v konstrukci akustické překážky nesmí být žádné otvory
- na straně zdroje akustické energie je vhodné stěnu konstruovat z akusticky pohltivého materiálu, čímž lze zvýšit její vliv na útlum hluku až o několik decibelů

2.1.7 Šíření zvuku 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.). Protože tato překážka není nikdy dokonale pohltivá, odrazí se část akustické energie zpět, čímž vznikají tzv. odražené vlny.

Uvnitř místnosti se vytváří velmi složité akustické pole následkem mnohačetných odrazů od veškerých povrchů, které se zde vyskytují. Pro vnitřní prostory je charakteristické, že intenzita zvuku je ztlumována mnohem méně, než v otevřeném prostoru, i když se jedná o větší vzdálenosti v rozlehlé místnosti. Další odlišností je doznívání zvuku i po vypnutí zdroje, ke kterému dochází následkem odrazu zvuku.

Každý uzavřený prostor rezonuje na určitých, tzv. vlastních kmitočtech. Pro pravoúhlý uzavřený prostor platí výraz pro výpočet vlastních rezonančních frekvencí:

$$f_{xyz} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{n_x}{l_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{l_y}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{l_z}\right)^2}$$

kde jsou

f_{xyz} [Hz] vlastní rezonanční frekvence uzavřeného prostoru vypočtené pro různé kombinace celých čísel n_x, n_y, n_z , tato celá čísla charakterizují tzv. vidy (tzn. směry pohybů jednotlivých vlnových složek akustické energie v uzavřeném prostoru)

c [m/s] rychlost zvuku

l_x, l_y, l_z [m] rozměry místnosti

Z výše uvedeného vyplývá, že vlastních rezonančních frekvencí je nekonečně mnoho.

Pro šíření zvuku v uzavřeném prostoru platí zákonitosti, které vyplývají z vlnových rovnic [1]:

- na stěně nabývá akustický tlak vždy svého maxima
- akustický tlak je maximální na stěnách, v rozích a koutech místnosti
- na stěně má akustická rychlost nulovou hodnotu
- akustická rychlost je fázově posunuta o čtvrtinu vlnové délky oproti akustickému tlaku, tzn. kde má akustická rychlost uzly, tam má akustický tlak kmitnu
- amplitudy akustického tlaku a rychlosti jsou pro určitý bod v prostoru konstantní
- v uzavřené místnosti se vyskytují tři druhy vidů kmitání (tzn. směry pohybů jednotlivých vlnových složek akustické energie v uzavřeném prostoru tvořeného na sebe navzájem kolmými stěnami):
 - axiální (rovnoběžné se stěnami)
 - tangenciální (tečné k některé z dvojic stěn)
 - šikmé (šikmé ke všem třem dvojicím stěn)
- u vidů, kdy je jedno z čísel n_x, n_y, n_z liché, bude akustický tlak uprostřed místnosti nulový
- hustota vlastních kmitů souvisí s difúzním akustickým polem, akustické pole je považováno za difúzní od frekvence:

$$f = \frac{400}{\sqrt[3]{V}}$$

kde je

V [m³] objem místnosti

Pro nízké frekvence je hustota výskytu vlastních frekvencí uzavřeného prostoru nízká. Proto se nemůže vytvořit dostatečné difúzní pole, což se projevuje špatnou srozumitelností mluveného slova, zhoršenou akustikou místnosti apod.

2.1.8 Volné a difúzní zvukové pole

V nejbližším okolí zdroje se nachází pole přímých vln. Zde probíhá pokles hladiny akustického tlaku s rostoucí vzdáleností stejně jako ve volném prostoru. Příjemce je v tomto poli schopen rozeznat směr,

odkud zvuk přichází. Pole přímých vln se vyskytuje do vzdálenosti r [m] (tzv. dozvuková vzdálenost, která je hranicí mezi volným a difúzním polem):

$$r = \sqrt{\frac{AQ}{16\pi(1-\alpha_m)}}$$

kde je

- r [m] dozvuková vzdálenost
- A [m²] ekvivalentní pohltivá plocha
- Q [-] činitel směrovosti
- α_m [-] střední činitel pohltivosti

Ve větší vzdálenosti od zdroje hluku se v uzavřeném prostoru vyskytuje pole odražených vln, tedy převládají zde akustické vlny, které byly odraženy (i vícenásobně) od překážek a stěn v prostoru. V poli odražených vln se předpokládá difúzní charakter akustického pole.

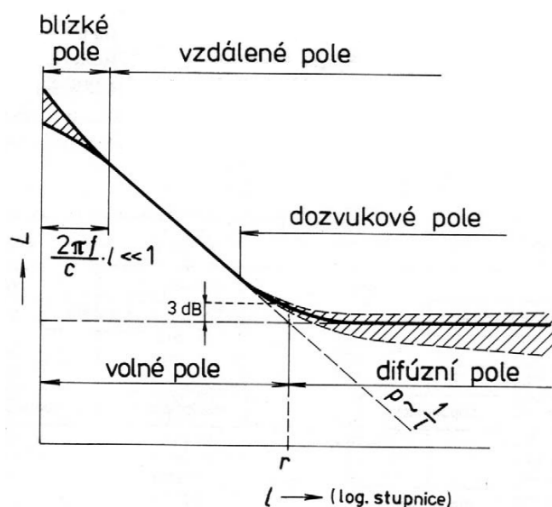
Po zapnutí zdroje zvuku v uzavřeném prostoru trvá určitý časový úsek, než dojde k ustálení akustického pole. V mnoha případech je potom možné skutečné zvukové pole aproximovat difúzním akustickým polem, kdy je hustota akustické energie v prostoru všude stejná a všechny směry šíření zvuku stejně pravděpodobné. Intenzita zvuku by v tomto ideálním případě byla všude stejná.

Pro ideální difúzní akustické pole je zavedena veličina, která se nazývá ustálená objemová hustota akustické energie w_o [Ws/m³]:

$$w_o = \frac{4W}{\alpha c S}$$

kde je

- W [W] výkon akustického zdroje
- c [m/s] rychlost šíření vlny
- S [m²] celková plocha povrchu místnosti
- α [-] činitel zvukové pohltivosti povrchu místnosti



Obr. 3 Schéma akustických polí v uzavřeném prostoru [5]

Na Obr. 3 je znázorněno schéma rozložení akustických polí v uzavřeném prostoru. Dozvukové pole je ta část vzdálenosti od zdroje, ve které dochází k odrazům zvukových vln od stěn nebo jiných předmětů. Amplituda odraženého zvuku může být téměř shodná s amplitudou přímých zvukových vln.

Hodnota akustického tlaku v poli odražených vln není závislá na vzdálenosti od zdroje hluku, ale je určena celkovou zvukovou pohltivostí prostoru A [m^2].

2.1.9 Pohlcování zvuku

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. Velikosti těchto jednotlivých částí závisí na vlastnostech překážky. 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. Rozeznáváme potom akusticky odrazivé a pohltivé plochy, kdy poměr dopadající a odražené energie je u většiny reálných překážek frekvenčně závislý. Pro tyto tři možnosti vznikající při dopadu akustické energie na překážku byly definovány činitele, které vyjadřují míru odrazu, pohlcení a průzvučnosti (tzn. nabývají bezrozměrných hodnot 0 - 1):

Činitel odrazu:

$$\rho = \frac{W_r}{W_d}$$

kde je

W_r [W] výkon odražené vlny

W_d [W] výkon dopadající vlny

Činitel pohltivosti:

$$\alpha = \frac{W_a}{W_d}$$

kde je

W_a [W] výkon pohlcené vlny

W_d [W] výkon dopadající vlny

Činitel průzvučnosti (prostupu):

$$\tau = \frac{W_t}{W_d}$$

kde je

W_t [W] výkon prostupující vlny

W_d [W] výkon dopadající vlny

Pohltivost prostoru, který je složen z různých povrchů o odlišných hodnotách činitelů zvukové pohltivosti, lze pro danou frekvenci stanovit jako součet pohltivostí všech jednotlivých ploch vnitřního prostoru (včetně vybavení a osob) - tato veličina se nazývá ekvivalentní pohltivá plocha A [m^2]:

$$A = \alpha_1 \cdot S_1 + \alpha_2 \cdot S_2 + \dots + \alpha_n \cdot S_n = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot S_i$$

kde je

S_i [m²] plocha povrchu

α_i [-] činitel zvukové pohltivosti povrchu jednotlivých ploch v místnosti

Pohltivost zvuku plochy závisí mj. na druhu materiálu, ze kterého je složena, jeho tloušťce a také na její vzdálenosti od tvrdého povrchu (stěny, stropu).

V případě hygienických prostor jsou použité materiály velice odrazivé (dlažba, obklady, zařízení jako je vana, umyvadlo či WC) a jejich akustická pohltivost je velmi malá.

Oproti tomu zvýšení útlumu můžeme docílit zavěšením ručníků a županů, použitím předložky k vaně atd. Lze tak snížit výslednou hladinu zvuku i o několik decibelů.

2.1.10 Činitel směrovosti

V uzavřeném prostoru je šíření od zdroje zvuku ovlivněno jeho umístěním. Akustické pole v místnosti je ovlivněno odrazy od nejbližších ploch v okolí zdroje. Tento faktor odráží činitel směrovosti Q [-]. Z praktického hlediska je činitel směrovosti funkcí prostorového úhlu, do kterého může zdroj vyzařovat zvuk:

$$Q = \frac{4\pi}{\Omega}$$

kde je

Ω [sr] prostorový úhel

Vztah platí pro odrazivé plochy vzdálené od zdroje více než $\lambda/2$.

U rozměrných prvků (zdrojů hluku) a vyšších frekvencí je činitel směrovosti na umístění elementů nezávislý.

2.1.11 Doba dozvuku

Doba, za kterou se sníží intenzita zvuku o 60 dB po vypnutí zdroje, se nazývá doba dozvuku. Jde o pokles hustoty akustické energie v poměru:

$$\frac{w}{w_0} = 10^{-6} = e^{-\frac{c\alpha_m S}{4V}T}$$

kde je

w [J/m³] hustota akustické energie

w_0 [J/m³] hustota akustické energie v čase $\tau = 0$

V [m³] objem místnosti

Z čehož vyplývá vzorec pro určení doby dozvuku T_s [s] - dle Sabineho:

$$T_s = 0,164 \frac{V}{\alpha_m S}$$

S rostoucí hodnotou činitele pohltivosti tento vztah ztrácí přesnost, proto Eyring vzorec upravil:

$$T_E = 0,164 \frac{V}{-S \ln(1 - \alpha_m)}$$

V prostorech s objemem větším než 2000 m³ a pro frekvence vyšší než 2000 Hz je třeba uvažovat i s absorpcí ve vzduchu - výpočet doby dozvuku dle Millingtona.

Výpočty dle výše uvedených vzorců slouží především pro návrh, reálnou dobu dozvuku je potom lépe získat přímým měřením v prostoru. Doba dozvuku je podstatná především pro prostory, které mají sloužit pro přednášení, koncerty, divadla apod.

2.1.12 Hladina akustického tlaku v poli odražených vln

Odražená vlna se do místa poslechu nešíří přímo, ale odrazem od stěn nebo jiných předmětů. Vzhledem k delší trase dochází ke zpoždění. V místě poslechu se odražená vlna interferuje v přímou vlnu a mění tak charakter zvuku. Úhel dopadu vlny na stěnu je shodný s úhlem odrazu. Vzhledem k nedokonalosti odrazu, kdy část zvuku je pohlcena a část prostoupí překážkou, s každým odrazem klesá intenzita zvuku. Odraz vln od stěn, má zásadní vliv na akustiku prostoru, především na jeho dozvuk.

V poli odražených vln je akustická energie dodávána do místnosti ve formě odraženého akustického výkonu W_R [W]. Jeho hodnota je vyjádřena vztahem:

$$W_R = W(1 - \alpha_m)$$

kde je

α_m [-] střední činitel pohltivosti stěn - jeho hodnota je dána materiálem, který se v těchto místnostech běžně používá

Hladinu akustického tlaku v poli odražených vln L_p [dB] lze potom stanovit ze vztahu, který platí v případě, že přímá vlna je zanedbatelně malá:

$$L_p = L_W + 10 \log \frac{4(1 - \alpha_m)}{S \alpha_m}$$

Změřením hladiny akustického tlaku v prostoru lze potom zpětně pomocí výše uvedeného vztahu zjistit hladinu akustického výkonu - za předpokladu, že jsou známé absorpční schopnosti místnosti.

2.1.13 Celková hladina akustického tlaku v uzavřeném prostoru

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

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

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

Velikost pole odražených vln je možné zmenšit zvýšením pohltivosti prostoru, tzn. aplikací pohltivějších povrchů, které sníží akustický výkon odražených vln zpět do prostoru. Tímto dojde ke zvětšení pole přímých vln, čímž se zvětší prostor, na který nemá vliv pohltivost stěn.

2.2 Zdroje hluku ve vzduchotechnice

Tvorba hluku je velice podstatným kritériem určujícím kvalitu daného vzduchotechnického zařízení. Proto je nutné kromě obvyklých aerodynamických a termodynamických propočtů VZT zařízení provádět také propočet akustických parametrů. 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

Hluk vznikající volnou turbulencí se skládá ze tří složek:

- změna výkonnosti zdroje tekutiny - zvukové vlny vznikají změnou geometrie těles, nebo jejich pohybu v čase; vyzařovaný akustický výkon závisí na čtvrté mocnině rychlosti proudění; např. plyn vytékající z potrubí proměnnou rychlostí
- změna setrvačných sil - je založena na změně hybnosti, ke které dochází v důsledku působení sil na sledovaný objem plynu (tekutiny)
- turbulentní pulzace v proudu tekutiny - principiálním zdrojem aerodynamického zvuku je fluktuální Reynoldsovo napětí

2.2.1 Hluk při výtoku tekutiny

Mezi základní zdroje aerodynamického hluku patří zvuk generovaný proudem vzduchu vytékající z trysky. Pro určení celkového akustického výkonu W [W] lze použít vzorec:

$$W = K \rho_0 w_0^8 c^{-5} D_0^2$$

kde je

K [-] koeficient úměrnosti (v hodnotách $3,5 \cdot 10^{-5}$ až $7 \cdot 10^{-5}$)

ρ_0 [kg/m³] střední hustota prostředí

w_0 [m/s] rychlost výtoku vzduchu v hrdle trysky

D_0 [m] průměr trysky

Uvedený vztah platí pro rozsah Machových čísel $0,5 < Ma < 1$. Při nízkých výtokových rychlostech (do 30 m/s) platí závislost na šesté mocnině výtokové rychlosti. Dle Strouhalova čísla lze hladinu celkového akustického výkonu L_w [dB] určit pro jednotlivé frekvence (viz graf závislosti [1]). Strouhalovo číslo je potom vyjádřeno jako závislost:

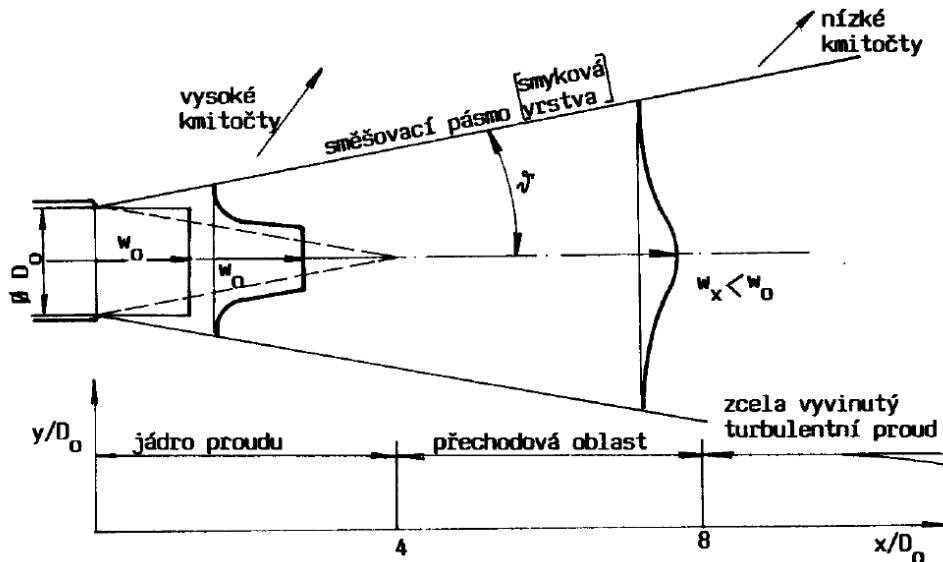
$$Sh = \frac{fD_0}{w}$$

kde je

f [Hz] frekvence

D_0 [m] charakteristický rozměr trysky

w [m/s] rychlost proudění tekutiny v trysce



Obr. 4 Aerodynamické schéma zatopeného proudu [1]

Maximum akustické energie je generováno v oblasti jádra proudu. Se zvyšující se vzdáleností klesá akustický výkon, snižují se frekvence. Hluk generovaný proudem tekutiny je směrově závislý a v případě vysokých rozdílů teplot je ovlivněn i teplotou proudu vzduchu (tzn. pro uplatnění ve vzduchotechnice nemá význam).

2.2.2 Hluk při obtékání těles

Pokud se do turbulentního proudu tekutiny vloží tuhé těleso, dojde ke zvýšení vyzařování akustické energie. Např. dle [1] pokud do proudu vzduchu vložíme destičku, přičemž proud vzduchu vytéká z trysky o průměru 25 mm, dojde ke zvýšení akustického tlaku přibližně o 20 dB. Tento druh hluku se vztahuje především k vyšším rychlostem proudění - tzn. ve vzduchotechnice se jedná např. o ventilátorové lopatky, žebra a mříže.

2.2.3 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 zdroji 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:

- přímé potrubí
- oblouky, kolena

- rozbočky, odbočky
- poloha umístění tlumiče
- rozdělení do vyústek
- vyústky
- regulační klapky

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. Ne vždy je možné kterýkoli z nich aplikovat na danou problematiku. Technik, který posuzuje hlučnost určitého VZT zařízení, musí dle svých zkušeností vyhodnotit správnost vypočtených výsledků a popř. použít jiný vzorec.

2.2.4 Útlum hluku potrubí a jeho součástí

Při výpočtech útlumu potrubí se postupuje směrem od zdroje hluku (většinou ventilátor) k posuzovanému kritickému místu (kritická vyústka). Do výpočtu se zahrnují útlumy jednotlivých částí potrubní sítě.

Přímé potrubí

Výpočty útlumů v jednotlivých částech potrubí je zapotřebí provést v závislosti na kmitočtu. Jenom tak se může provést posouzení a posléze navržení účinných opatření proti šíření hluku.

Útlum hluku v přímém potrubí většinou není nejvýznamnější složkou celkového útlumu potrubní sítě. Obvykle dosahuje desetin dB/m.

Většina technické literatury uvádí útlumy pomocí grafů, popř. tabulek. Výpočtové vzorce jsou jednodušší, ale výpočet jako takový je časově náročnější.

$$D_1 = D_{1m} \cdot l \quad [dB]$$

D_{1m} [dB/m] útlum jednoho metru potrubí (hodnota z tabulky či grafu)

l [m] délka trasy potrubí s útlumem D_{1m}

$$D_1 = 0,45 - \left(0,235 \cdot \log \sqrt{a \cdot b} + 0,374\right) \cdot \log \left(\frac{f_m}{31,5}\right) \quad [dB]$$

f_m [Hz] střední kmitočet v oktávovém pásmu

a, b [m] průřezy vzduchovodu

Kolena bez vodicích plechů

Ve vzduchotechnických kolenech vznikají akustická diskontinua, což se projevuje změnou akustické impedance. Následkem toho se akustická energie odráží zpět ke zdroji.

$$D_2 = 8,7e^{-7\left(\log\frac{f_m d}{400}\right)} + 8,5\left(1 - e^{-2\log\frac{f_m d}{250}}\right) \quad [dB] \quad \dots \text{ maximální hodnota } 8 \text{ dB}$$

f_m [Hz] frekvence (střední hodnota frek. pásma)

d [m] šířka kolena (menší z šířek přírub)

Druhý člen vzorce je kladný nebo roven nule.

Kolena s vodicími plechy

Přirozený útlum odrazem je mnohem menší než u kolena bez vodicích plechů.

$$D'_2 = 3,32 \log f_m + 3 \log d - 6 \quad [dB]$$

f_m [Hz] frekvence (střední hodnota frek. pásma)

d [m] šířka kolena (menší z šířek přírub)

V místě změny průřezu

V místech rozšíření či zúžení průřezu vzduchovodu dochází k částečnému odrazu akustické energie zpět ke zdroji. Maximální hodnota útlumu dosahuje 2 dB.

$$D_3 = 10 \log \frac{S_1 + S_2}{4S_1 \cdot S_2} \quad [dB]$$

S_i [m²] plocha odbočujícího průřezu

Rozbočky

K útlumu dochází dělením akustické energie, ne jeho odrazem jako u VZT kolena. Útlum hluku ohybem je nutné vypočítat zvlášť a přičíst k útlumu v rozbočce.

Útlum je frekvenčně závislý pouze při pravouhlém odbočení.

$$D_{41} = 10 \log \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{S_k} \cdot \left(\frac{k_1 + 1}{4k_1}\right)^2 \quad [dB]$$

S_k [m²] plocha rozbočky ve sledovaném směru

S_i [m²] všechny plochy za rozbočkou

S_{00} [m²] plocha před rozbočkou

$$k_1 = S_{00} / \sum S_i$$

popř.:

$$D_{41} = 10 \log \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{S_k} \quad [dB]$$

S_i [m²] průřez odboček do kterých se šíří hluk

S_k [m²] plocha rozbočky ve sledovaném směru

Vyústky, anemostaty

Útlum vzniká reflexí na konci potrubí (náhlé rozšíření do velkého prostoru, čímž dochází k odrazu zvuku nazpět ke zdroji).

$$D_5 = 30,9 - 14,85 \log(f_m \sqrt{S_v}) \quad [dB]$$

f_m [Hz] střední kmitočet oktávového pásma (63, 125, 250...)

S_v [m²] výtoková (volná) plocha vyústky

Místnost

$$D_6 = 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + 4 \frac{1-a}{S \cdot a} \right) \quad [dB]$$

r [m] vzdálenost vyústky od posluchače

S [m²] plocha stěn vč. podlahy a stropu přepočtena na jednu vyústku
(celková plocha / počet vyústek)

a [-] činitel pohltivosti

Q [-] směrový činitel

úhel s normálou vyústky $Q = 0^\circ$

$$Q = 4,375 \log(f_i \cdot S_v) - 0,75$$

$$p = \langle 2,5; 100 \rangle$$

$$Q = \langle 1; 8 \rangle \quad (\text{pro vyústky zavěš. v prostoru})$$

úhel s normálou vyústky $Q = 45^\circ$

$$Q = 0,06 + 1,97 \log(f_i \cdot S_v)$$

$$p = \langle 3,0; 100 \rangle$$

$$Q = \langle 1; 4 \rangle$$

2.2.5 Vlastní hluk potrubí a jeho součástí

Přímé potrubí

Vlastní hluk vznikající turbulentním prouděním vzduchu v potrubí je v běžných případech zanedbatelný. Uvažuje se hlavně v prostorech, které jsou citlivé na hluk (divadla, kina atp.).

$$L_w = 10 + 10 \log(w)^5 + 10 \log(S) - L_{rel} \quad [dB]$$

w [m/s] rychlost proudění vzduchu

S [m²] průřez potrubí

$$L_p = 6 + 50 \log(v) + 10 \log(S) - L_{rel} \quad [dB]$$

v [m/s] rychlost proudění vzduchu v potrubí

L_{rel} [dB] relativní hladina pro přepočet na oktávová pásma

Relativní hladiny vlastního hluku potrubí

f_m [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_{rel} [dB]	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-14	-22

Ze závislosti je zřejmé, že při vzrůstu rychlosti na dvojnásobek, vzroste hladina akustického výkonu o 15 dB.

Pravoúhlý oblouk (kolena, rozbočky atd.)

Při náhlé změně směru dochází k utržení proudnic vzduchu od stěny potrubí a vytváří se tzv. úplav, který generuje aerodynamický hluk. Pravoúhlý oblouk s vnitřním poloměrem větším než trojnásobná šířka potrubí nevytváří větší hluk než přímé potrubí. Kolena bez vnitřního zaoblení vykazují velké hydraulické ztráty. Pro snížení těchto ztrát se do kolena vkládají vodící plechy, které především v oblasti středních frekvencí významně zhoršují hlučnost.

$$L_p = L_{p,sp} + y(i) + L_a + L_v - L_{rel} \quad [dB]$$

v_a [m/s] rychlost vzduchu v potrubí s šířkou "a"

$$L_a = 30 \log(a)$$

$$L_v = 50 \log(v_a)$$

$$L_{rel} = -2 \quad \text{pro } r/a > 2 \quad (r \text{ [m]... r\u00e1dius kolena)}$$

$$L_{rel} = -40 r/a + 6 \quad \text{pro ostatn\u00ed}$$

$$y(i) = 10 \log(df_i)$$

nahrazen\u00ed grafu - rovnicemi: a) pro $f \cdot a/v_a \leq 10$ $L_{p,sp} = 16 - 26 \log(f \cdot a/v_a)$

b) pro $f \cdot a/v_a > 10$ $L_{p,sp} = 5 - 15 \log(f \cdot a/v_a)$

$$L_w = 62 \log(w) + 10 \log(S) - L_{rel} \quad [dB]$$

w [m/s] rychlost proud\u00e9n\u00ed vzduchu v potrub\u00ed

S [m²] pr\u00fci\u00e9z p\u00edpojovací p\u00edrub\u00ed

L_{rel} [dB] relativn\u00ed hladina pro p\u00e9po\u00e7et na okt\u00e1vov\u00e1 p\u00e1sma

Relativn\u00ed hladiny akustick\u00e9ho v\u00fdkonu pravo\u00fal\u00fdch oblouk\u00fa a kolena [dB]

v [m/s]	f_m [Hz]					
	125	250	500	1000	2000	4000
2	-3	-6	-9	-18	-25	-33
4	-4	-6	-9	-14	-20	-27
6	-4	-6	-8	-11	-16	-22
8	-5	-6	-8	-10	-13	-18

10	-5	-6	-7	-9	-11	-14
----	----	----	----	----	-----	-----

Je prokázána závislost vlivu poloměru zaoblení na hlučnost. Obecně to znamená, že čím je dosaženo menší ztráty tlaku prvkem, tím je i jeho hlučnost nižší.

Rozbočky

$$L_p = L_{p,sp} + y(i) + L_a + L_v - L_{rel} \quad [dB]$$

$L_a = 30 \log(d_a)$ u kruhového průřezu je d_a průměr v odbočení, u čtyřhranného je to $(4 \cdot S_a / \pi)^{0,5}$

$S_a [m^2]$ plocha v odbočení

Klapky

Obtékání konstrukce klapky znamená vložení tuhého tělesa do proudu vzduchu, čímž dojde ke zvýšení turbulence a tím i nárůstu aerodynamického hluku.

$$L_w = 50 \log w_c + 10 \log S + 10 \log D + K_f \quad [dB]$$

$w_c [m/s]$ rychlost proudění vzduchu v místě největší kontrakce proudu

$S [m^2]$ jmenovitý průřez klapky

$D [m]$ výška klapky

$K_f [dB]$ korekce dle tvaru spektra - závisí na středním kmitočtu v oktávě a Strouhalově čísle

Vyústky, anemostaty

Vlastní hluk koncových prvků většinou udávají výrobci těchto elementů. Přibližnou informaci můžeme také zjistit z rovnice:

$$L_p = 10 + 60 \log(v_v) + 30 \log(\xi) + 10 \log(S_v) + L_{rel} \quad [dB]$$

$v_v [m/s]$ rychlost vzduchu ve volném (výtokovém) průřezu vyústky

$S_v [m^2]$ jmenovitý průřez koncového prvku

$\xi = 2 \cdot \Delta p / \rho \cdot v_v^2$ součinitel odporu vyústě

$\Delta p [Pa]$ tlaková ztráta vyústě

$\rho [kg/m^3]$ hustota vzduchu

L_{rel} pro $p < 50$ $L_{rel} = -7$

pro $50 < p < 500$ $L_{rel} = -0,0633 \cdot p - 4$

pro $p > 500$ $L_{rel} = -35$

$p = f_i / (v_v \cdot x)$ parametr p

$$L_w = 10 + 60 \log(v_v) + 30 \log(\xi) + 20 \log(S_v) + L_{rel} \quad [dB]$$

Relativní hladiny akustického výkonu koncových elementů

$f_m/(v.x)$	5	10	20	30	40	60	80	100	200	400	800
L_{rel} [dB]	-8	-7	-6,8	-7	-7,2	-8	-9,5	-11	-18	-28	-38

popř.:

$$L_w = 60 \log(w) + 31,8 \log(\xi) + 10 \log(S) + 0,5 \quad [dB]$$

w [m/s] rychlost proudění vzduchu ve jmenovitém průřezu vyústky

S [m²] jmenovitý průřez vyústky

ξ [-] součinitel místní tlakové ztráty vyústky

Hluk koncových elementů nelze odstranit tlumiči ani jinými přídatnými prvky. Proto je třeba těmto prvkům věnovat zvýšenou pozornost při jejich výběru.

2.2.6 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.
- mechanické vibrace ve ventilátoru a motoru, způsobené nevyvážeností rotujících částí, hlukem ložisek, převodů atd.

Hluk ventilátorů se dle původu dělí na mechanický, magnetický a aerodynamický.

Mechanický hluk

Vzniká vibracemi povrchů strojů a zařízení; mechanické kmity se z místa zdroje (např. ložiska, převody) přenáší konstrukcí na větší povrchové plochy a ty je vyzařují z části v podobě akustické energie do okolí a z části jako chvění do dalších částí konstrukce.

Magnetický hluk

Vzniká buď vzájemným silovým působením feromagnetických hmot, nebo magnetostrikcí (v elektromotorech).

Aerodynamický hluk

Vzniká u zařízení, která využívají nebo vyvolávají proudění plynu (vzduchu), jako např. ventilátory, turbokompresory. Hlavní příčinou hluku ventilátorů je vysoce turbulentní proudění ventilátorovým kolem nebo spirální skříní. Jedná se o spojitý širokopásmový hluk, který roste s mocninou rychlosti proudění vzduchu. Celkový akustický výkon ventilátorů W [W] lze určit dle různých autorů z různých vztahů [1], které obecně zahrnují charakteristické rozměry ventilátoru a jeho provozní parametry:

- dle Ecka:

$$W = K \Delta p V \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right)$$

kde je

Δp [Pa] dopravní tlak ventilátoru

V [m³/s] průtok vzduchu ventilátorem

η [-] účinnost ventilátoru

K [-] konstanta úměrnosti závislá na typu ventilátoru

- dle Judina:

$$W = K \frac{\rho}{c^3} u^6 D^2$$

kde je

u [m/s] obvodová rychlost oběžného kola ventilátoru

D [m] průměr oběžného kola

Konstanta K v obou případech závisí na Machově čísle a jeho exponentu, který pro radiální ventilátor nabývá hodnoty 2 a pro axiální ventilátor 2,5.

Celková hladina akustického výkonu L_w [dB] lze po úpravách výše uvedených vztahů určit z výrazu:

$$L_w = L_{sp} + 10 \log V + 20 \log \Delta p$$

kde je

L_{sp} [dB] specifická hladina akustického výkonu, která odpovídá hladině akustického výkonu ventilátoru dopravující 1 m³/s při dopravním tlaku 1 Pa; pro ventilátory s obvodovou rychlostí 10 - 90 m/s je hodnota $L_{sp} = 1 \pm 4$ [dB] (pro tlak v jednotkách Pa a dopravované množství vzduchu v m³/h)

Celková hladina akustického výkonu správně navrženého ventilátoru nezávisí na jeho typu, ale lze ji odečíst z diagramu na Obr. 5 [1], který uvádí její závislost na dopravovaném množství vzduchu a dopravním tlaku. Spektrální rozložení akustického výkonu ale je závislé na typu ventilátoru. Z tohoto hlediska nejméně hlučný ventilátor je radiální s dopředu zahnutými lopatkami a axiální ventilátor, který má výkon soustředěn do středních a vyšších frekvencí, bude potom hodnocen jako hlučnější. Pro axiální ventilátory přibližně platí:

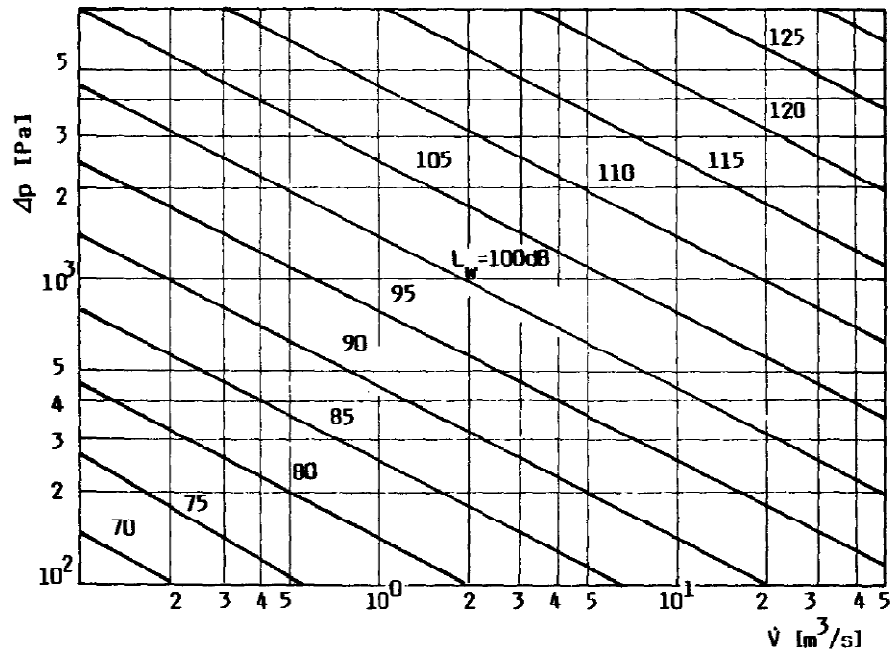
$$L_{WA} = L_w - 3 dB$$

Pro radiální ventilátory s dozadu zahnutými lopatkami:

$$L_{WA} = L_w - 10 dB$$

Pro radiální ventilátory s dopředu zahnutými lopatkami:

$$L_{WA} = L_w - 14 dB$$



Obr. 5 Celková hladina akustického výkonu ventilátoru [1]

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 oktávních 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. V mezilopatkových kanálech ventilátoru proudí vzduch, který vytvoří nevyrovnaný rychlostní profil. Pokud při rotování narazí na nějakou překážku, dojde k pulzacím tlaku a vyzařováním diskretních složek akustického výkonu [1]. Dle počtu lopatek a otáček ventilátoru lze určit jednotlivé frekvence diskretního spektra. K zabránění vzniku sirénového zvuku 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 oktávových 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. Ze strojoven VZT je hluk vyzařován nejenom do potrubí, ale také do prostoru strojovny, odkud se může dále šířit stavebními konstrukcemi do okolních prostor. Stejně tak se po konstrukcích mohou ze VZT jednotky šířit i vibrace z ventilátoru. Hluk ventilátoru se tedy skládá z hluku aerodynamického i mechanického.

Běžně se u ventilátorů pracuje s hladinami akustického výkonu v oktávových pásmech. Problém u malých ventilátorů je nedostupnost těchto informací. Výrobci většinou uvádí hladinu akustického tlaku A jako jednočíselnou hodnotu, která je zpravidla naměřena 3m od zdroje, což je pro většinu bytových koupelen nedosažitelné.

Malé ventilátory používané v hygienických místnostech jsou obvykle odváděcí a jsou osazeny přímo ve větraném prostoru. Jejich zvuk se šíří přímo do tohoto prostoru. K částečnému ztlumení nežádoucího hluku může dojít jeho umístěním do odvodného potrubí.

2.3 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 neprojeví výstražnými dopady na lidský organismus, ani běžně nedokážeme identifikovat naše zdravotní problémy jako důsledky působení hluku. Proto je mnohdy tento faktor mezi lidmi opomíjen. Dle údajů vědců, kteří se zabývají sledováním životního prostředí, každým rokem hluková zátěž vzrůstá. Mezi růstem mechanického a akustického výkonu existuje přímá spojitost, což je jeden z důvodů nárůstu hlučnosti.

Mezi nejpodstatnější negativní vlastnosti hluku patří to, že se šíří na poměrně velké vzdálenosti, což je velmi patrné obzvláště v nočních hodinách, kdy je hluková zátěž nižší a maskovací efekt od jiných zdrojů hluku je minimální.

Z hlediska ochrany člověka před nadměrným hlukem jsou nejdůležitější oblasti: konstrukce strojů a strojního zařízení, pracovní prostředí, vnitřní a vnější prostor obytných budov a staveb [1].

2.3.1 Pohoda životního prostředí

Pohodou prostředí uvažujeme takové podmínky, kdy adaptovaný organismus pomocí svých regulačních mechanismů udrží biologicky významné funkce s vynaložením minimálního úsilí. Tato pohoda je ovlivňována působením jednotlivých složek životního prostředí, které na lidský organismus působí biologickými, fyziologickými a psychickými vlivy. Pokud není dodržena pohoda prostředí (může jít i o částečný diskomfort způsobený kteroukoli ze složek životního prostředí), dochází pro organismus ke stresové situaci, čímž je vyvoláno psychické napětí. To může existovat nejen po dobu působení stresující situace, ale i po jejím skončení. Tyto účinky jsou jedním z faktorů, které vážně ohrožují zdraví osob. Pohoda prostředí má kromě vlivu na zdraví, čímž ovlivňuje i délku života, i vliv na celkovou kondici, spokojenost, náladu a výkonnost. V pracovním prostředí je nadměrnou hlukovou expozicí výrazně ovlivněna nejen produktivita a kvalita práce, ale i bezpečnost práce.

Hodnocení úrovně životního prostředí lze rozdělit na tři základní druhy:

- Subjektivní - je založeno na pocitech subjektu, je podmíněno smyslovými počítky - proto je označováno za senzorické; zpravidla se používá stupnice hodnocení 0 - 3, kdy 0 označuje komfortní prostředí - tzn. pohodu a 3 značnou nepohodu
- Objektivní - je založeno na fyzikálních zákonitostech, kdy je prostředí děleno na optimální prostředí, únosné prostředí a neúnosné prostředí
- Předpisové - je dáno normami a legislativními předpisy

Hodnocení pohody prostředí je založeno na subjektivním vnímání, kdy pohoda prostředí by měla vést ke spokojenosti alespoň 80% subjektů v daném prostředí.

2.3.2 Interní mikroklima v budovách

Interní mikroklima v budovách přímo ovlivňuje jejich uživatele. Jestliže vnitřní prostředí nevyhovuje uživatelům po zdravotní stránce, hovoříme o tzv. syndromu nemocných budov (Sick Building Syndrome - SBS). Nejčastější problémy a zdroje stížností zaměstnanců jsou na základě nevyhovujícího (seřazeno dle důležitosti) [10]:

- tepelně-vlhkostního mikroklimatu (vč. proudění vzduchu)

- hluku
- osvětlení
- tabákového kouře
- stísněnosti prostoru

Budovy bez SBS znamenají zajištění optimální úrovně jednotlivých složek mikroklimatu obytného prostředí, tzn. složky:

- tepelně-vlhkostní
- toxické
- odérové
- aerosolové
- mikrobiální
- ionizační
- elektrostatické
- elektromagnetické
- elektroiontové
- akustické
- světelné
- psychické

2.3.3 Akustické mikroklima

Akustické mikroklima je složka prostředí, která je tvořena akustickými toky působící na subjekt. Hluk je potom jakýkoli zvuk, který nepříznivě ovlivňuje pohodu člověka. Od zdroje se hluk může šířit buď přímo vzduchem, nebo konstrukcemi, a pak přechází do vzduchu.

Při vnímání hluku jsou zpravidla jako nevyhovující označovány složky:

- hlasitost
- rušivost
- výška zvuku

Obecně je interiér zatěžován hlukem především z dopravy, průmyslu, od sousedů, technických zařízení v budově.

2.3.4 Účinky hluku na člověka

Působení hluku na člověka se může negativně projevit na jeho zdraví. Prokázané účinky hluku na lidský organismus [9]:

- zvýšením tepové frekvence a krevního tlaku
- změny prokrvení kůže (změny tepelné bilance organismu)

- zvýšení hladiny krevního cukru
- změny hořčického metabolismu
- změny hladiny inzulínu v krvi
- narušení pohybové koordinace
- snížení koncentrace zraku na okraji zorného pole
- zhoršení zapamatování a opětovnému vybavení si poznatků - snížení pozornosti a paměti
- zvyšování únavy a podrážděnosti, nespavost, bolesti hlavy
- vznik psychosomatických chorob

Škodlivost působení hluku závisí na hladině akustického tlaku a na jeho frekvenci. Čím je zvukové spektrum soustředěno do vyšších frekvencí, tím nižší je jeho přípustná hladina. Lidský sluch je při zatížení hlukem schopen jistě adaptace, kdy dochází ke snížení citlivosti sluchu. Tímto ovšem není odbouráno škodlivé působení na organismus člověka.

Každý člověk vnímá hlukovou zátěž jiným - subjektivním způsobem. Výzkumem rozdílů působení veškerých zvuků na psychiku člověka se zabývá obor zvaný psychoakustika. Je to mezioborová vědní disciplína, která propojuje obory akustiku a psychologii. Předmětem zkoumání mohou být nejrůznější problematiky, jako je zjišťování prahů slyšení osob, zkoumání působení hluků na chování člověka nebo posuzování, jaké účinky na člověka může mít hluk strojního zařízení.

2.4 Měření a vyhodnocování hlučnosti

Měření akustických veličin je většinou spojeno se stanovením základní fyzikální veličiny popisující zvuk, tedy s akustickým tlakem. Podle zkušební metody a veličiny, kterou se snažíme měřením zachytit, se liší vyhodnocení a zpracování naměřených hodnot.

V dřívějších dobách se akustické veličiny měřily pouze pomocí analogových přístrojů, dnes je začínají nahrazovat přístroje s digitálním zpracováním akustického signálu.

Je známou skutečností, že dva jednoduché tóny stejné intenzity, ale rozdílné frekvence jsou vnímány s rozdílnou hlasitostí. Je to fyziologická vlastnost lidského sluchu, která má za následek jistý odklon od skutečných fyzikálních hodnot. Pro popis souvislosti mezi fyzikální a fyziologickou akustikou byla zavedena veličina hladina hlasitosti L_N [Ph] a hlasitost N [son]. Hladina hlasitosti L_N je definována jako hladina akustického tlaku L_p jednoho referenčního tónu o frekvenci 1 kHz, který je slyšen otologicky normální osobou stejně hlasitě, jako vyšetřovaný zvuk:

$$L_N(\text{vyšetřovaný zvuk}) = L_p(\text{referenční tón o frekvenci 1 kHz})$$

Jednotka hladiny hlasitosti je „fón“ [Ph].

Měření zvuků pro účely fyziologické akustiky musí být založeno na měřidlech, která jsou adaptována na lidské slyšení. Pro dosažení kompatibility mezi zvukovým záznamem fyzikálního přístroje a vjemem lidského ucha, mohou být použity křivky stejné hlasitosti, které představují specifický způsob frekvenčně závislého lidského slyšení. Zvukoměr by měl mít funkci, která umožňuje frekvenční modifikaci tak, aby jeho citlivost ke slyšitelným frekvencím byla stejná jako křivky stejné hlasitosti pro různé hodnoty fónů. Potom lze říci, že zvukoměr je adaptován na lidské slyšení zvuků blízkých např. 40 Ph. Pro zvuky vyšších hladin akustického tlaku je zapotřebí přizpůsobení některé z vyšších křivek stejné hlasitosti. Z toho vyplývá, že zvukoměr by měl mít sadu frekvenčních filtrů,

kteře pokryjí slyšitelnou oblast (přibližně do 120 Ph). Tento požadavek splňuje většina komerčně vyráběných zvukoměrů, které umožňují zapojení jednotlivých elektronických filtrů.

Frekvenční charakteristika zvukoměrů se udává pro zvukoměr jako celek. Hlavní určující částí této charakteristiky jsou váhové filtry A, B, C, D a průběh „lin“. Normou jsou požadovány váhové filtry A a C, které musí mít každý zvukoměr a vzhledem k potřebě stanovení hodnoty akustického tlaku je vhodné, aby zvukoměr měl i frekvenčně nezávislý průběh „lin“.

V praxi se pro měření používá zpravidla jedna ze základních měřících metod:

Stanovení hladiny hlasitosti L_N [Ph], která je odvozena od frekvenční charakteristiky prahové citlivosti lidského ucha. Tato metoda poskytuje výsledky s relativně nižší přesností.

Stanovení hladiny akustického tlaku L_p [dB], pomocí měřícího mikrofonu. Měří se buď při definovaném frekvenčním průběhu, nebo s váhovými filtry. Podmínky stanovení hodnoty akustického tlaku předepisují příslušné normy.

Měření zvukoměrem – hladina zvuku A L_A [dB], frekvenční závislost váhového filtru A je podobná Slawinově křivce stupně škodlivosti hluku. Filtr A adaptuje zvukoměr na lidskou frekvenční citlivost na hladině $L_N = 40$ Ph. Je používán při ověřování hygienických limitů. Někdy je doporučeno při vyhodnocování hlučnosti nahradit filtr A přímo Slawinovou křivkou.

Měření zvukoměrem – hladina zvuku B L_B [dB], tato hladina byla zavedena za účelem přímého měření hlasitosti, ale vzhledem ke značným nepřesnostem se v dnešní době již prakticky nepoužívá. Filtr B adaptuje zvukoměr na lidskou frekvenční citlivost na hladině $L_N = 70$ Ph.

Měření zvukoměrem – hladina zvuku C L_C [dB], slouží především k hodnocení hlučnosti pro technické účely. V ojedinělých případech může nahrazovat průběh bez použití filtru, ale vlivem poklesu v okrajích frekvenčního pásma může docházet k větším nepřesnostem. Filtr C adaptuje zvukoměr na lidskou frekvenční citlivost na hladině $L_N = 100$ Ph.

Měření zvukoměrem – hladina zvuku D L_D [dB], tento filtr se používá především pro vyhodnocování leteckého hluku, pro který je možné použít i *hladina rušivosti L_x [dB]* dle Kryterovy metody. Tato metoda hodnotí hluk nejen podle jeho intenzity, ale i podle jeho spektrálního složení.

Měření zvukoměrem – režim „lin“ znamená, že není zapojen žádný filtr. Hladina akustického tlaku je měřena bez frekvenční úpravy.

Stanovení hladiny akustického výkonu, vychází z hladin akustického tlaku a jeho hodnota je stanovena jednoduchým přepočtem uvedeným v normách pro různé zdroje, místa atd.

Určení třídy hluku, zohledňuje možné negativní ovlivnění sluchu hlukem. Změřeným hladinám akustického tlaku v oktávových pásmech se přiřazují čísla, která vyjadřují míru nebezpečnosti.

Stanovení hlasitosti podle Stevense, je jednoduchý způsob zpracování naměřených hladin akustického tlaku v oktávových pásmech, které se převedou na indexy hlasitosti, z nichž lze výpočtem odčíst *hlasitost N [Son]*. Metoda se většinou používá pro stanovení hlasitosti u běžných průmyslových hluků.

Stanovení hlasitosti podle Zwickera, jedná se o postup zpracování naměřených hladin akustického tlaku v třetinooktávových pásmech. Oproti Stevencově metodě respektuje maskovací jevy a poskytuje výsledky s vyšší přesností.

Metody statistické četnosti, všechny výsledky se statisticky vyhodnocují a výsledkem je ekvivalentní hladina.

Mezi další měřící metody patří stanovení doby dozvuku, neprůzvučnosti, činitele pohltivosti, akustické impedance a dynamické tuhosti.

Dle časového průběhu a kmitočtového složení rozlišujeme:

Hluk ustálený – jeho hladina nevykazuje změny větší než 5 dB (A)

Hluk proměnný – jeho hladina má mezi jednotlivými kmitočty větší změny než 5 dB (A) – neimpulzní a impulzní charakter (opakovací frekvence menší nebo větší než 20 Hz)

Hluk impulzní – je tvořen jednotlivými impulsy nebo jejich sledem 1 až 200 ms dlouhých, intervaly mezi impulsy jsou delší než 10 ms

Hluk vysokofrekvenční – bývá způsoben neakustickými rušivými vlivy (vibrace, vítr atd.)

Základními přístroji pro akustická měření jsou zvukoměry. Při měření musí všechny dávat srovnatelné výsledky, proto jsou jejich vlastnosti obecně definovány normou ČSN EN 61672 Elektroakustika - Zvukoměry. Podle třídy přesnosti dělí norma zvukoměry do tří skupin, viz tab.1.

Třída přesnosti	Odchylka [dB]
2	±1,1
1	±0,8
0	±0,4

Tab. 1 Rozdělení zvukoměrů podle třídy přesnosti dle ČSN EN 61672

Zvukoměry třídy 0 jsou používány pro vědecké výzkumy a metrologická měření. Jsou považovány za referenční normál, protože poskytují výsledky nejvyšší přesnosti. Pro většinu přesných měření se používají zvukoměry třídy 1. Jejich přesnost je vysoká a mají velkou reprodukovatelnost naměřených výsledků. Užívají se pro zjišťování zdrojů hluku, pro laboratorní měření akustických veličin apod. Přístroje třídy 2 jsou běžné měřící přístroje používané především pro provozní měření, např. pro zjištění hlukové expozice na pracovištích, šíření hluku, sledování průmyslové hlučnosti.

Pro spojitá frekvenční spektra zvuku je podstatná frekvenční pásmová analýza, která umožňuje určení hladin akustického tlaku pro jednotlivá frekvenční pásma zkoumaného signálu (zpravidla jedno nebo třetinooktávová). Analýza je měřena bez použití filtrů (v režimu lin). Naměřené akustické hladiny pro jednotlivá pásma jsou posléze zaznamenány do grafu, kde jsou vyneseny oproti středním frekvencím u každého z nich. Výsledkem analýzy je grafický výstup označovaný jako spektrogram.

Kmitočtové analyzátory mohou, ale nemusí být příomou součástí zvukoměru. Pásmové propustnosti jsou dány dolní a horní mezní frekvencí a střední frekvencí f_s [Hz] nebo střední frekvencí a šířkou pásma. Nejčastěji se používají tři typy pásmových propustností:

Oktávové – propustnost filtru je frekvenční spektrum o šířce jedné oktávy

Třetinooktávové – propustnost frekvenčního spektra je třetina oktávy

Volitelné – volitelná šířka pásma pro speciální účely – většinou se používá pro určení hladiny akustického tlaku diskretního signálu ze zvukového spektra, kdy při použití širšího pásma vlivem integrace akustických hladin ve frekvenčním pásmu dostáváme zkreslený výsledek

Mezi důležité charakteristiky zvukoměrů patří dynamické vlastnosti výstupního obvodu měřidla, tzn. rychlost s jakou je měřidlo schopno zaznamenat změnu vstupního signálu. Ve zvukoměrech bývá vestavěno několik dynamických vlastností:

- SLOW – vyhodnocena je průměrná naměřená hodnota za dobu 1000 ms, měřidlo reaguje na změny akustického tlaku nejpomaleji
- FAST – vyhodnocena je průměrná hodnota akustického tlaku za dobu 125 ms
- PEAK – doba vyhodnocení 50 ms
- IMP (impuls) – doba měření 35 ms, používá se pro signály s rychle se měnící hladinou akustického tlaku

Důležitou vlastností zvukoměrů je nejnižší hladina zvuku, kterou jsou schopny zachytit. Jedná se o prahovou hodnotu, která leží alespoň 5 dB nad hladinou napětí a je to nejnižší hladina, která se dá z pohledu reprodukovatelnosti považovat za platnou. Tato hladina je závislá na frekvenčním průběhu měřeného signálu a je tedy ovlivněna použitými váhovými filtry.

Další součástí zvukoměru mohou být hladinové zapisovače. Slouží pro kontinuální zapisování hladiny akustického signálu v čase. Zachycují efektivní hodnotu akustického tlaku, ale sami o sobě neobsahují dynamické obvody zvukoměru. Proto je vhodné jejich spojení a s pomocí softwaru lze potom určit i frekvenční analýza zkoumaného zvuku. Citlivost na změnu hladiny akustického tlaku je dána zápisovou rychlostí. Nejčastěji se používají dvě zápisové rychlosti:

- S (pomalou) – $25 \text{ dB}\cdot\text{s}^{-1}$ (integrační konstanta je rovna přibližně 1000 ms)
- F (rychle) – $100 \text{ dB}\cdot\text{s}^{-1}$ (integrační konstanta je rovna přibližně 200 ms)

Při výpočtech je nutné uvažovat s nepřesností naměřených dat. Hluk zdroje, který poskytuje výrobce, je zatížen chybou při svém měření. I když tyto hodnoty bývají zjišťovány zpravidla v laboratořích, může nejistota měření dosáhnout 1 až 2 dB. Po následném uvedení do provozu navrženého zařízení jsou hladiny hluku ověřovány opět měřením. Zde bývá chyba vlivem okolních podmínek ještě vyšší. Při „setkání“ nejnepríznivějších okolností se tak ve výsledku může přesáhnout 4 a více decibelů.

Ještě hůř zjistitelný a vedoucí k větší chybě bývá vliv místních podmínek při měření na výslednou hodnotu.

Většina výrobců zařízení udává akustický tlak, který je měřený ve vzdálenosti 1 m (nebo i více, přičemž ne vždy je tento údaj uveden) nad poloodrazivou rovinou. Tento akustický údaj je totiž ve výsledku nižší než akustický výkon daného zařízení.

Běžně je uváděno, že v případech, kdy je hluk z provozu zařízení šířen do chráněných prostor a nelze tomu zabránit jiným způsobem, je nutné přistoupit ke snížení hluku na zdroji - snížením otáček. Otázka zní, jaké důsledky by tento způsob měl v případě malých ventilátorů používaných v hygienických místnostech.

V případech, kdy je ventilace z hlediska aerodynamického hluku navržena správně může nastat případ, kdy hluk z provozu překračuje v chráněných místech hygienické limity. Může se jednat o přenos hluku po konstrukci. Příčinou bývá absence pružných vložek oddělující ventilátor od okolní potrubní trasy, tuhé uložení ventilátoru, zazděné potrubí apod. Jaký vliv má vlastní uložení malých ventilátorů je předmětem dalšího zkoumání.

V objektech, ve kterých je umístěno více chráněných prostor se společně navrženými technologickými rozvody (např. bytový dům) jsou charakteristické přeslechy. Zejména se jedná o ventilační rozvody. Nejběžnějším případem pak bývají přeslechy vedené traktem pro odsávání koupelen, WC a digestoří, přeslechy přes společné technologické šachty apod. Ventilační vzduchovody

se proti těmto zdrojům hluku doporučuje opatřit přeslechovými tlumiči hluku, v technologických šachtách instalovat mezipatrové přepážky, které jsou zpravidla nutné mj. i z požárního hlediska.

2.4.1 Obecné požadavky na metodiku měření

Aby bylo měření průkazné, musí být ve zprávě či v protokolu jasně udány podmínky měření, způsob snímání signálu, čas a doba měření, jaké hodnoty byly použity a jak či zda byly dále zpracovány.

Dle účelu a průkaznosti měření musí být zaznamenána:

- metoda měření – norma, legislativní předpis;
- přístrojové vybavení – měřicí, kalibrační a pomocné zařízení, popř. blokové schéma;
- měřené veličiny – jednotlivé údaje či statistické hodnocení (počet, četnost, doba, intervaly, popř. rozptyl, směrodatná odchylka);
- způsob měření – kmitočtové pásmo, spektrum;
- měřicí místo – prostorové umístění snímače, jeho vzdálenost od zdroje, poloha, směřování, popř. počet míst, pohyb po dráze
- charakter sledovaného hluku – náhodný, ustálený, impulzní, proměnný, tónovost; typ zdroje hluku – plošný, bodový, liniový; zvukové pole – volné, difúzní;
- rušivé signály: hluk pozadí, průkaznost měřených hodnot;
- při měření hluku zařízení – konkrétního, náhradního, referenčního; provozní podmínky zařízení – otáčky, upevnění, ustavení;
- doba měření: datum, čas, doba měření;
- charakteristika okolí – odrazivost a pohltivost ploch, popř. náčrt, fotografie;
- klima – teplota, vlhkost;
- korekce hodnot – zda bylo použito normování dat, vyloučeny extrémní hodnoty;
- uvedení přípustných, limitních hodnot – místní podmínky, druh činnosti;
- prezentace výsledků – hodnoty, tabulka, graf, časový záznam, odhad dosažené přesnosti, mapa izobar;

2.4.2 Legislativa, hygienické limity

Jakýkoli nežádoucí zvuk může být označován jako hluk. Snižuje kvalitu života v různých úrovních od rušení koncentrace po poruchu fyziologických funkcí lidských orgánů. Z důvodu ochrany lidského zdraví je třeba hluk vyhodnocovat a definovat jisté hygienické limity. Zpravidla se posuzují:

A – vážená hladina akustického tlaku L_{pA} [dB], problém spočívá v tom, že dva hlukové signály o stejné hodnotě hladiny L_{pA} nemusí mít stejný frekvenční průběh, což znamená, že nebudou mít ani stejný vliv na lidské zdraví, proto je zapotřebí tuto hodnotu doplnit frekvenční analýzou.

Ekvivalentní hladina akustického tlaku vážená filtrem A $L_{Aeq, T}$ [dB], veličina je používána pro posouzení hygienických limitů, pokud je zvukový signál časově závislý, tzn. že se mění s časem.

Třída hluku je založena na frekvenční analýze v oktávových pásmech – ke každé hladině v oktávovém pásmu se přiřazují číslo hlukové třídy, přičemž výsledkem je nejvyšší zjištěné (obdobný je grafický způsob).

Hygienické limity v ČR jsou vyjadřovány pomocí okamžité maximální A – vážené hladiny L_{pAmax} [dB] a pomocí ekvivalentní A – vážené hladiny akustického tlaku $L_{Aeq,T}$ [dB]. Limity jsou rozděleny dle typů vnitřních a venkovních prostor, typu lidské aktivity a dle denní doby (noc, den).

Problematika hluku hygienických prostorů není dostatečně legislativně ošetřena. Lze se opírat pouze o hygienický limit uvnitř obytných a jiných chráněných prostor dle Nařízení vlády č.272/2011 o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací (L_{Aeq}) $L_{Amax} = 40$ dB pro den a 30 dB pro noc. Zde je ovšem sporné, jestli hluk z ventilátorů není možné považovat za hluk z užívání bytu, který toto nařízení neupravuje.

Legislativní předpis EU 1253/2014 s platností od r.2016 omezuje akustický výkon A L_{WA} malých ventilátorů o elektrickém příkonu vyšším jak 30 W. Nevztahuje se ovšem na výrobky uvedené na trh před rokem 2016, které tato omezení splňovat nemusí. Na ventilátory s elektrickým příkonem do 30 W se toto omezení nevztahuje.

2.4.3 Vybrané legislativní předpisy

- Zákon 258/2000 Sb. O ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů
- Nařízení vlády č.272/2011 o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací se změnou č. 217/2016 Sb.
- Metodický návod pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí Č.j. HEM-300-11.12.01-34065, (Ministerstvo zdravotnictví)
- ČSN ISO 1996-1 Akustika - Popis, měření a hodnocení hluku prostředí - Část 1: Základní veličiny a postupy pro hodnocení
- ČSN ISO 1996-2 Akustika - Popis, měření a posuzování hluku prostředí - Část 2: Určování hladin hluku prostředí
- ČSN EN ISO 3744 Akustika - Určování hladin akustického výkonu a hladin akustické energie zdrojů hluku pomocí akustického tlaku

Další akustické normy a předpisy jsou uvedeny v seznamu literatury a použitých zdrojů.

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 250m³/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 a dokud nebude zcela vyčerpán trh s těmito již vyrobenými kusy, kterých jsou soudě dle aktuální nabídky výrobců velké zásoby, tak stále instalovány budou.

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. Reálné hladiny akustických tlaků v prostorech hygienických místností vlivem vysoce odrazivých povrchů dosahují výrazně vyšších hodnot s porovnáním s údaji z bezodrazových místností.

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:

- malý prostor do maximální plochy 4,5 m²
- vysoce reflexní prostor, jehož činitel pohltivosti α 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
- vybavení prostoru odpovídající běžné hygienické místnosti - záchodová mísa, umyvadlo, sprchový kout nebo vana, topný žebřík (v jednotlivých experimentálních měřeních je možné některý z prvků vynechat nebo naopak doplnit)
- nebude bráno v úvahu doplňkové vybavení s vysokou pohltivostí (ručníky, koupací pláště, předložky apod.)
- obložení stěn keramickým obkladem
- podlaha z keramické dlažby (popř. jiný materiál s nízkým činitelem pohltivosti běžný pro tyto místnosti)
- přívod vzduchu z okolních místností štěrbínou pod dveřmi nebo dveřní mřížkou

- teplota v prostoru v rozmezí 18 - 22°C
- relativní vlhkost vzduchu v rozmezí 40 - 70%
- měření a vyhodnocování hlučnosti bude provedeno mimo provoz veškerého zařízení (sprcha, tekoucí voda z vodovodu, splachování apod.)

Činitel směrovosti je pro všechny metody využití 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, dle výše uvedených fyzikálních zákonitostí, 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 decentralní systém větrání. Všechny místnosti, ve kterých bylo prováděno měření, odpovídaly svými rozměry, stavebními úpravami, vzduchotechnickými systémy i množstvím odváděného vzduchu běžným bytovým hygienickým prostorům.

Experimentální měření v hlukové laboratoři

Laboratoř byla realizována v prostorech VUT v Brně k testování hlukových emisí malých ventilátorů v reálných podmínkách hygienických prostor. Konstrukčně se jedná o koupelnu s běžnými zařízeními (vana, záchodová mísa, umyvadlo, otopný žebřík), která byla doplněna zařízením pro potřeby měření [6]. Z doplňkového zařízení bylo v experimentální části této práce využito především tichého přívodu vzduchu do místnosti s tlumičem hluku.

Stěny laboratoře jsou vzájemně rovnoběžné, provedení místnosti odpovídá reálným podmínkám hygienických místností [6]. Další parametry místnosti jsou uvedeny v experimentální části.

V laboratoři bylo provedeno experimentální měření:

- Vliv osazení ventilátoru do stěny
- Vliv osazení ventilátoru do podhledu

Experimentální měření v reálném prostředí

Pro posuzování skutečných stavů a možností eliminace hluku hygienických místností je nutné znát reálná řešení a problémy těchto místností. Proto byly vybrány realizované hygienické místnosti s parametry odpovídajícími bytovým koupelnám.

V reálném prostředí byla provedena experimentální měření:

- Potrubní ventilátor umístěný nad podhledem - bylo provedeno celkem 9 měření v různých hygienických prostorech
- Ventilátor umístěný pod podhledem hygienické místnosti - byla hodnocena vlastní emise hluku i vzájemné ovlivnění přes stoupačí potrubí, na které byly ventilátory připojeny

4.2.1 Použité měřicí přístroje a vybavení

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.

4.2.2 Měřené veličiny

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)

Hodnota L_{Cpeak} potom sloužila především k vyhodnocení, zda nedošlo k nějakému vnějšímu rušení v průběhu měření. Při zjištění její vysoké hodnoty oproti ostatním měřením, byly tyto údaje vyřazeny ze statistického vyhodnocení.

4.2.3 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 uvedené v kap. 2.4.1.

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.

Nejistota měření

Definice nejistoty ustáleného hluku je zpracována v ČSN ISO 1996-2 (r.2009). Vyjádření výsledků pomocí nejistoty měření umožňuje vzájemné srovnávání mezi jednotlivými laboratořemi apod. Charakterizuje daný rozptyl hodnot, které s určitou pravděpodobností je přisuzován naměřené veličině. Významný vliv na veličiny naměřené v experimentálních měřeních mají:

- Standardní nejistoty typu A u_A - kvantitativní charakteristika nejistoty měření, její hodnota klesá se vzrůstajícím počtem opakování měření, proto je požadováno min. 5 - 10 měření; je charakterizována standardní odchylkou aritmetického průměru
- Standardní nejistoty typu B u_B - nejistota je vyhodnocena pro jednotlivé přístroje, její hodnota nezávisí na počtu měření; skládá se z jednotlivých složek ovlivňujících přístroj - zvukoměr, kalibrátor, odchylka kalibrace
- Kombinovaná standardní nejistota měření u_C se potom vypočte jako geometrický součet nejistot typu A a typu B:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$

- Rozšířená nejistota měření U - standardní nejistota je vynásobena koeficientem rozšíření k - pro normálně rozdělené naměřené hodnoty platí $k = 2$ a znamená to, že 95% naměřených výsledků je v tomto rozmezí

$$U = ku_c$$

Nejmenší možná vypočítaná odchylka uvedených experimentálních měření (tzn. při nízkém rozptylu hodnot a při dostatečném počtu měření) je $\pm 1,73$ dB.

V dizertační práci byla naměřená data z každého prostoru podrobně zpracována a samostatně vyhodnocena pro každý prostor. V závěru je provedeno shrnutí všech výsledků a vyhodnocení. Pokud bylo možné srovnání mezi jednotlivými naměřenými hodnotami, bylo tak provedeno. Popis jednotlivých experimentů je uveden vždy v každé kapitole.

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

Jednotlivé body jsou níže podrobněji popsány.

Volba mezi centrální a decentrální ventilací

Z hlediska hlukových emisí je výhodnější použití centrální ventilace, která je většinou osazena mimo hygienickou místnost a hluk ventilátoru je zpravidla možné ztlumit po trase. Zdroj hluku u centrální ventilace pak představují především distribuční prvky, které obvykle nedosahují tak vysokých hodnot

jako je tomu u decentrální ventilace. Pokud je to možné, je vždy lepší osadit zdroj hluku mimo pobytovou místnost.

Použití ventilátoru s nejnižší možnou emisí hluku v požadovaném pracovním bodě

Různé typy ventilátorů mohou mít ve stejném pracovním bodě různé hladiny akustického výkonu (více [6]). Pro správné vyhodnocení rušivosti, jakou může ventilátor způsobovat, je potřebné znát alespoň spektrální analýzu daného zdroje, aby mohl být vyloučen vznik tónové složky apod. Subjektivní hodnocení akustiky ventilátorů bývá odlišné od číselně vyjádřených hodnot. Z toho důvodu jsou prováděny psychoakustické experimenty, které zobrazují skutečné vnímání rušivosti člověkem. Pro nejlepší možný výběr ventilátoru je potřebné znát parametry, které požadujeme pro větrání (požadovaný vzduchový výkon, tlak), a v nejlepším případě ventilátor přímo slyšet v reálné instalaci, aby bylo možné vyhodnotit jeho případné "akustické nedostatky".

Osazení decentrálních ventilátorů mimo pobytovou místnost

Umístění zdroje hluku mimo pobytovou místnost je jedno z nejlepších řešení. V praxi je obdoba tohoto řešení prováděna osazením akusticky izolovaného potrubního ventilátoru nad podhled (nejlépe akustický). Ventilátor je potom na sání a výfuku buď osazen tlumiči hluku, nebo v dostatečné délce zatlučen ohebnou hadicí s hlukovou izolací. Odtah vzduchu z hygienické místnosti je potom realizován přes vhodně zvolený distribuční prvek.

Optimalizace otáček, průtoku a externí tlakové ztráty

Dle [1] lze najít vztahy pro výpočet akustického výkonu, ze kterých lze odvodit závěry:

- s klesajícími otáčkami klesá akustický výkon - při poklesu otáček na polovinu se sníží akustický výkon o 18 dB
- s klesajícím průtokem klesá akustický výkon - při poklesu množství vzduchu na polovinu klesne akustický tlak o 3 dB
- se snížením tlakové ztráty se sníží akustický výkon - při snížení tlakových ztrát na polovinu klesne akustický výkon o 6 dB

Z uvedeného vyplývá požadavek na optimalizaci požadovaného odváděného množství vzduchu a tlakových ztrát rozvodné trasy. Správný návrh musí reflektovat nejen splnění požadavku větrání, ale také akustické mikroklima, které bude utvářeno daným zařízením.

Optimalizace rychlosti proudění vzduchu systémem

Jak lze vidět ve vztazích uvedených v kap. 2.2.5, je zřejmé, že se vzrůstajícími rychlostmi v potrubním systému narůstá i hluk, který vzniká prouděním vzduchu uvnitř systému. Optimalizací této rychlosti dosáhneme nejenom snížení tvorby vlastního hluku, ale také snížení tlakových ztrát, které mají vliv na hluk vlastního zařízení.

Osazení tlumiče hluku na sání/výtlač

Tlumiče hluku lze uplatnit u různých druhů ventilátorů:

- malé potrubní ventilátory - připojení pomocí akusticky tlumících pružných hadic na sání i výfuku, nebo pomocí potrubních tlumičů hluku
- stěnový/stropní ventilátor - tlumič hluku osazený na výtlaku ventilátoru, čímž se sníží odraz hluku od stěny potrubí zpět do místnosti
- stěnový/stropní ventilátor - deskový tlumič osazený před sacím ústím do ventilátoru, dochází k útlumu ohybem přes překážku v kombinaci s absorpční schopností výplně deskového tlumiče

Akustická izolace zdroje

Uvedený princip se používá pro konstrukci potrubních ventilátorů. Kolem ventilátoru je instalována izolační skříň s absorpční výplní, která tlumí aerodynamický hluk. Další konstrukční možností izolační skříň je princip dutinového rezonátoru.

Zvýšení absorpční plochy místnosti

Problematika akustiky hygienických místností spočívá v parametrech těchto místností - jde o malý vysoce reflexní prostor. Pokud se podaří alespoň částečně do tohoto prostoru včlenit více absorpční plochy, je zřejmé, že dojde ke zlepšení akustiky v tomto prostoru, což je jedna z mála možností nezasahující do zdroje hluku.

Jednou z možností zvýšení absorpční plochy v hygienických místnostech, je osazení širokospektrálního akustického podhledu. Jak je dokladováno simulacemi, osazením širokospektrálního akustického podhledu namísto sádkartonového podhledu výrazně zlepšíme akustické mikroklima, kdy s uvažovanými modelovými zdroji došlo ke snížení akustického tlaku v prostoru L_{pA} o 4-5 dB.

Další možnosti zvýšení absorpčních ploch je samotné vybavení hygienické místnosti, jako jsou zavěšené ručníky a župany, položená koupelňová předložka apod. Umístěním těchto prvků lze výslednou hladinu akustického tlaku snížit i o několik decibelů.

Zásah do konstrukce zdroje hluku

Výrobci v některých případech již uvažují o snižování hlukových emisí malých ventilátorů, proto už jsou dnes na trhu některé ventilátory přímo s prvky, které tyto parametry pozitivně ovlivňují. Konstrukčně se jedná o:

- ventilátor s deskovým tlumičem na sání (viz Osazení tlumiče hluku na sání/výtlak)
- izolované ventilátory (popis viz Akustická izolace zdroje)
- filtr vibrací pohonu, který snižuje plochu budiče a amplitudu kmitů a tím celkový akustický výkon ventilátoru
- skříň okolo ventilátoru na principu Helmholtzova rezonátoru, který absorbuje určité akustické spektrum
- aktivní tlumič hluku, který využívá principu součtu dvou akustických vln s opačnou polaritou, čímž se tyto vlny vzájemně vylučují

Připojení stěnového decentrálního ventilátoru na rozvody potrubí

Způsob připojení decentrálního ventilátoru na rozvody potrubí má velký vliv na akustickou energii v prostoru, kde je ventilátor umístěn. Z toho pohledu lze rozlišit dva způsoby připojení:

- ventilátor připevněný ke stěně (stropu) s výtlakem do přibližně volného prostoru
- ventilátor připevněný ke stěně (stropu) s výtlakem vedeným v potrubí

Pokud je výtlak z ventilátoru veden v pevném potrubí, zpravidla se v blízkosti osazení ventilátoru vyskytuje tvarovka, která způsobuje odraz akustické energie zpět do místnosti (viz kap.2.2.5). V experimentální části bylo provedeno ověření vlivu osazení ventilátoru s výtlakem do volného prostoru a s připojením na reflexní potrubí.

Osazení stěnového/stropního ventilátoru ke konstrukci

V experimentální části byly zkoumány vlivy vlastního mechanického upevnění ventilátoru na základovou konstrukci. Byl zkoumán vliv přenosu vibrací z rotujících částí ventilátoru na stavební konstrukci a možnosti jejich zatlumení. Stavební konstrukce v některých případech mohou začít vibrovat s ventilátorem a stanou se tím dalším zdrojem akustické energie. V experimentální části je posuzován rozdíl osazení na zděnou stěnu o velké hmotnosti a na sádrokartonový podhled.

V případě přenosu vibrací na konstrukci o nízké hmotnosti se tato konstrukce stane dalším budičem ve tvaru kmitající desky. Její vyzařování akustické energie je frekvenčně závislé. Od určitého kritického kmitočtu f_{kr} [Hz] dosahuje vyzařovaný akustický výkon svého maxima:

$$f_{kr} = \frac{c^2}{1,8c_L h}$$

kde je

h [m] tloušťka desky

c_L [m/s] rychlost podélných vln v desce

c [m/s] rychlost šíření zvuku ve vzduchu

Rychlost šíření podélných vln v deskách:

$$c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1}{1 - \mu^2}}$$

kde je

c_L [m/s] rychlost podélných vln v desce

E [N/m²] dynamický modul pružnosti v tahu

ρ [kg/m³] hustota materiálu

μ [-] Poissonův poměr

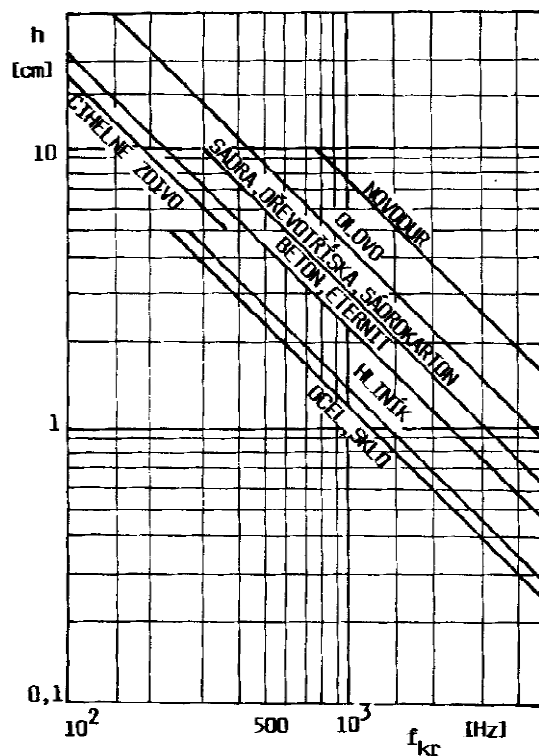
Poissonův poměr zohledňuje vliv kontrakce a je definován:

$$\mu = \frac{E - 2G}{2G}$$

kde je

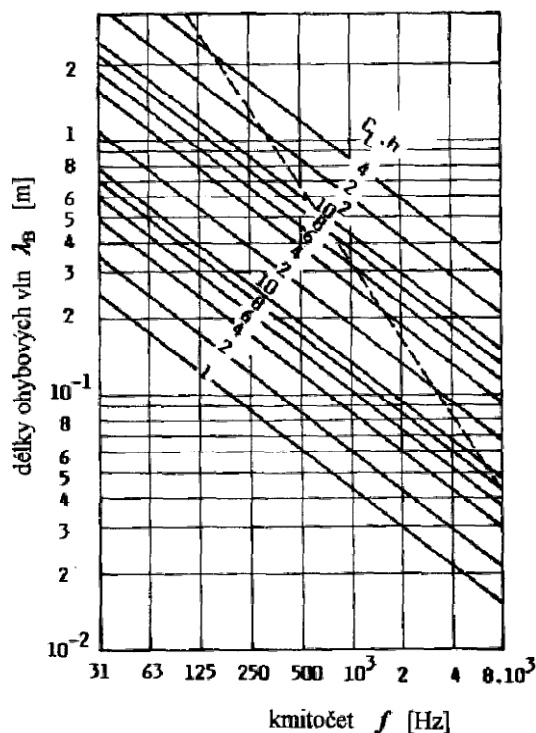
G [N/m²] modul pružnosti ve smyku

U sádrokartonových desek o hustotě materiálu cca 750 kg/m³ můžeme uvažovat s rychlostí podélných vln přibližně 1700 m/s.



Obr. 6 Kritické kmitočty pro různé materiály v závislosti na tloušťce desky [1]

Z Obr. 6 je patrné, že sádrokarton má zcela odlišné kritické kmitočty než cihelné zdivo především vzhledem k tloušťce materiálu. Na diagramu na Obr. 7 [1] jsou uvedeny závislosti šíření ohybových vln v deskách vzhledem k tloušťce desky a vlnové délce zvuku. Čárkovaně je znázorněna kritická frekvence.



Obr. 7 Délky ohybových vln v deskách [1]

Z jednotlivých fyzikálních závislostí lze vyvodit:

- akustický výkon vyzařovaný deskou je přímo úměrný kvadrátu rychlosti kmitání desky a velikosti vnějšího povrchu zdroje
- akustická energie je účinně vyzařována až od kritické frekvence, která je nepřímo úměrně závislá na velikosti zdroje
- kritická frekvence je přímo úměrná kvadrátu rychlosti šíření zvuku ve vzduchu a nepřímo úměrná tloušťce desky a rychlosti šíření podélných vln v desce
- čím je rozměr desky menší, tím se zvyšuje činitel vyzařování v podkritické oblasti a tím i celkový akustický výkon zářiče
- kmitající deska vyrobená z materiálu o velkém činiteli vnitřního tlumení má v podkritické oblasti vyšší činitel vyzařování, nad kritickou oblastí bude naopak činitel vyzařování nižší
- k dosažení nižšího akustického výkonu vyzařovaného deskou, je nutné volit parametry desky tak, aby kritický kmitočet byl co nejvyšší – tzn. malá tloušťka desky, malá rychlost podélných vln (nekovové materiály)

Při přenosu vibrací z rotujících částí ventilátoru na stavební konstrukci dochází k nucenému kmitání. Pokud se frekvence nutící síly přiblíží vlastní frekvenci oscilátoru, dochází k rezonanci. V hodnotě frekvence vlastních kmitů vzniká maximální amplituda, čímž tedy dojde k zesílení kmitů. Vlastní frekvence desky závisí na plošné hmotnosti desky, její ohybové tuhosti a na okrajových podmínkách, ve kterých je definováno její uložení (volné okraje, podložené okraje, vetknutí).

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 akustického pole. V závislosti na zvolené podrobnosti a na celkovém nastavení programu tato pole nemusí v některých případech zobrazovat přesné rozložení akustických tlaků v prostoru, slouží pouze pro lepší znázornění.

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

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 - jak je vidět na Obr. 8. Ve dvou místnostech byly talířové ventily umístěny přibližně 600 mm (osově) od stěny, ve zbývajícím potom byly osazeny přibližně 250 mm od stěny. Stěny místností jsou do výšky 2 m ošetřeny keramickými obklady, podlahy jsou z PVC, širokopásmový akustický podhled na bázi minerální vaty. Pro oddělení prostoru se záchodovou mísou jsou v každém prostoru nainstalovány lehké zástěny o výšce 2 m. Přívod vzduchu je realizován z okolních místností přes dvevní mřížku.



Obr. 8 Totožné hygienické prostory s rozdílným umístěním talířových ventilů

Parametry místnosti - součinitel zvukové pohltivosti:

f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
α^w - keramický obklad [-]	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
α^w - dveře [-]	0,10	0,11	0,10	0,08	0,08	0,11
α^w - sádrová omítka na zdi [-]	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
α^w - PVC na betonu [-]	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
α^w - širokopásmový akustický podhled, podvěšná výška 350mm [-]	0,6	0,75	0,85	1	1	1
α^w - 1 osoba v místnosti [-]	0,15	0,30	0,44	0,45	0,46	0,46
α^w - celkové [-]	0,11	0,13	0,16	0,19	0,19	0,20

Parametry jednotlivých komponentů VZT zařízení (údaje od výrobců; požadované množství vzduchu z projektové dokumentace):

- potrubní diagonální ventilátor - 110 m³/h, externí tlaková ztráta 200 Pa
- akustický tlak ventilátoru ve 3 m ve volném poli s připojeným potrubím na sání i výtaku - $L_{pA} = 33$ dB
- akustický výkon ventilátoru při maximálních otáčkách - údaje od výrobce:

f [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_{wA} [dB] strana sání	32	35	55	57	59	62	56	48
L_{wA} [dB] do okolí	25	32	43	39	44	53	42	29

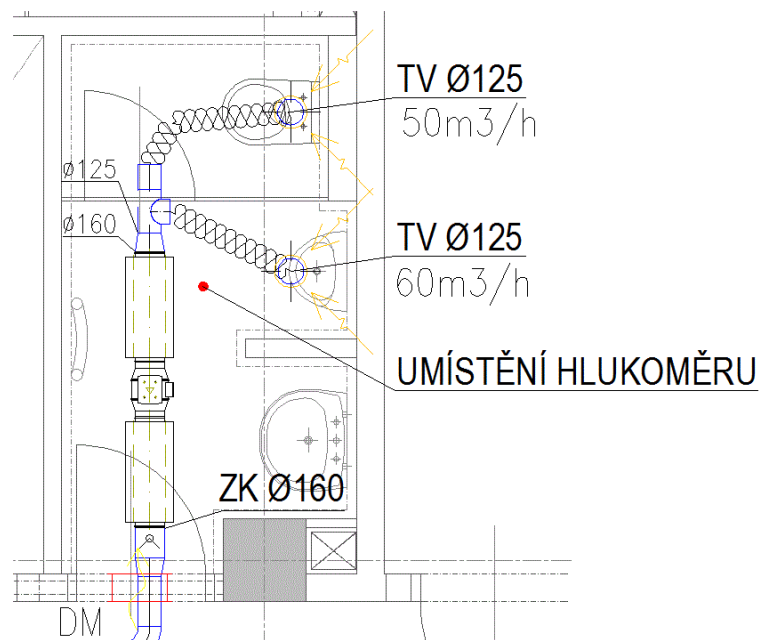
- talířové ventily DN 125 - odvod 50-60 m³/h
- akustický výkon talířového ventilu - dle technických podkladů od výrobce:

f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
L_{wA} [dB]	29±3	28±2	26±2	24±2	22±2	13±2

- útlum hluku talířového ventilu - dle technických podkladů od výrobce:

f [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
ΔL [dB]	21±6	15±3	12±2	11±2	8±2	9±2	12±2	11±3

- další vložné útlumy jsou realizovány přes pružné dopojení talířových ventilů



Obr. 9 Půdorys hygienického prostoru s umístěním VZT zařízení

Množství odváděného vzduchu z tohoto prostoru odpovídá hodnotám, které jsou uvažovány při větrání hygienických prostor v bytech.

Statisticky vyhodnocené naměřené hodnoty (vč. odchylek) pro talířové ventily, které jsou vzdálenější od stěny:

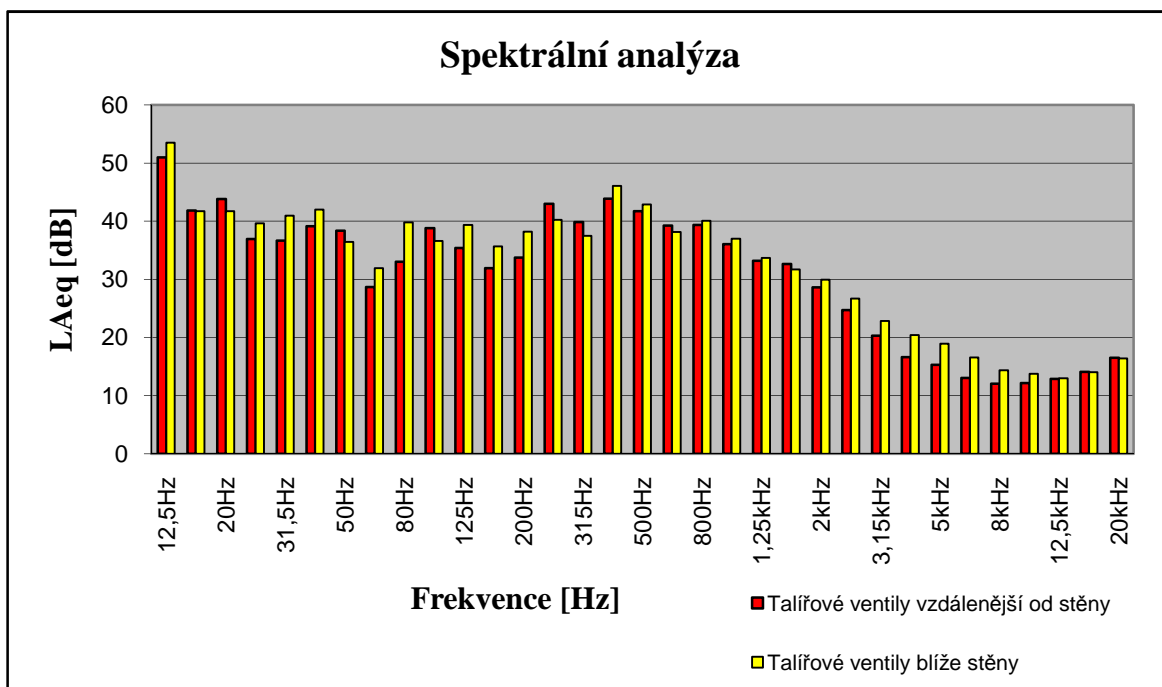
L_{Aeq} [dB]	L_{AFmax} [dB]	L_{AFmin} [dB]
46.38±1.73	47.59±1.73	45.35±1.73

Zajímavostí je, že 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, kdy je energie zvukové vlny mírně ztlumena vzduchem. 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±1.73	48.51±1.74	46,19±1.73

Zda má vliv umístění talířových ventilů vůči stěně bylo předmětem dalšího zkoumání v simulačním programu Odeon.

Statisticky vyhodnocená spektrální analýza naměřených hodnot v 1/3 oktávách a porovnání obou variant umístění talířových ventilů je uvedeno viz Graf 2.



Graf 2 Statisticky vyhodnocená spektrální analýza v 1/3 oktávách pro rozdílné umístění talířových ventilů

Z uvedeného grafu je zřejmé, že talířové ventily umístěné blíže stěny jsou na většině frekvencí hlučnější. Více viz kap. 5.2.1.

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 Potrubní ventilátor umístěný nad podhledem - objekt B

Měření probíhalo v reálném prostředí, kdy ventilátor pro větrání hygienického zázemí se sprchovým koutem a samostatným záchodem byl umístěn nad kazetovým podhledem jako potrubní sestava ve složení (popis ve směru proudu vzduchu): zpětná klapka, kruhový tlumič hluku, potrubní radiální ventilátor, kruhový tlumič hluku. Přes pružnou hadici jsou potom dopojeny talířové ventily (TV), přes které je realizován odtah vzduchu z daného prostoru.

Měření probíhalo ve třech různých podlažích obytného domu. V každém podlaží jsou umístěny dva symetricky shodné prostory včetně VZT zařízení a vybavení. V každém podlaží jsou jiné symetricky shodné prostory. V 1.NP je odtahový ventilátor umístěn přímo nad měřeným prostorem. Ve 2.NP jsou prostory obdobné vybavením, rozměry i parametry prostorů, ale vzhledem k ostatním místnostem v okolí měřené místnosti je zde použit ventilátor s celkovým vyšším vzduchovým výkonem. Ve 3.NP je prostor prakticky totožný jako v 1.NP, ale ventilátor je umístěn nad podhledem mimo měřený prostor.

V prostorech byla vždy umístěna záchodová mísa, umyvadlo a sprchový kout včetně běžného zařízení takovýchto prostor (zrcadlo, hygienické prostředky apod.). Stěny místností jsou až k podhledu obloženy keramickými obklady, podlahy jsou z keramické dlažby, podhled je širokopásmový akustický na bázi minerální vaty. Přívod vzduchu je realizován z okolních místností přes dveřní mřížku.



Obr. 10 Ukázka prostorů, ve kterých probíhalo měření

Průměrné parametry místností - součinitel zvukové pohltivosti:

f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
α^w - keramický obklad [-]	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
α^w - dveře [-]	0,10	0,11	0,10	0,08	0,08	0,11
α^w - dlažba [-]	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
α^w - širokopásmový akustický podhled, podvěsná výška 400mm [-]	0,65	0,8	0,85	1	1	1
α^w - 1 osoba v místnosti [-]	0,15	0,30	0,44	0,45	0,46	0,46
α^w - celkové [-]	0,12	0,15	0,17	0,19	0,19	0,20

Parametry jednotlivých komponentů VZT zařízení (údaje od výrobců; požadované množství vzduchu z projektové dokumentace):

- potrubní radiální ventilátor - 400 m³/h, externí tlaková ztráta 170 Pa
- akustický tlak ventilátoru ve 3 m ve volném poli s připojeným potrubím na sání i výtlaku - $L_{pA} = 48,4$ dB
- akustický výkon ventilátoru při maximálních otáčkách - údaje od výrobce:

f [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_{wA} [dB] strana sání	46	63	68	70	68	63	56	45
L_{wA} [dB] strana výfuku	52	59	66	68	67	63	57	44
L_{wA} [dB] do okolí	15	36	40	52	51	47	42	27

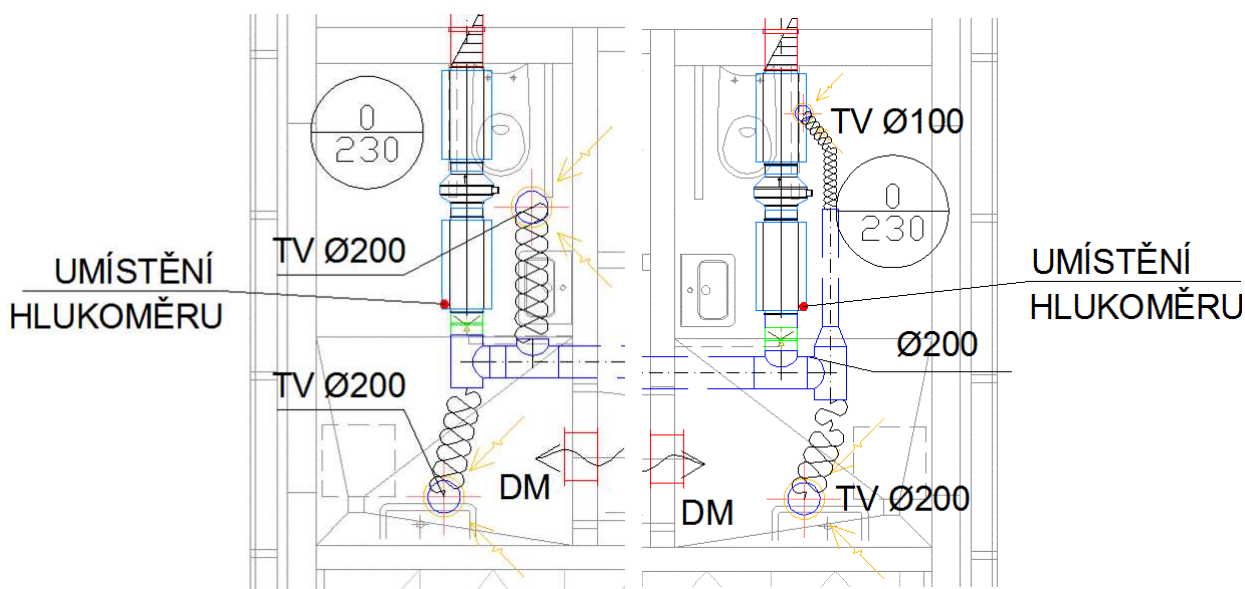
- talířové ventily DN 100 - odvod 50 m³/h
- talířové ventily DN 200 - odvod 115 m³/h
- akustický výkon talířových ventilů - dle technických podkladů od výrobce:

f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
L_{wA} TV 100[dB]	33±3	31±2	32±2	35±2	34±2	27±2
L_{wA} TV 200[dB]	35±3	30±2	36±2	37±2	23±2	7±2

- útlum hluku talířového ventilu - dle technických podkladů od výrobce:

f [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
ΔL TV 100 [dB]	23±6	17±3	13±2	11±2	9±2	9±2	10±2	12±3
ΔL TV 200 [dB]	17±6	13±3	11±2	9±2	8±2	10±2	13±2	11±3

- další vložné útlumy jsou realizovány přes pružné dopojení talířových ventilů



Obr. 11 Půdorysy dvou souměrných prostorů s umístěním VZT zařízení v 1.NP - v půdorysu vpravo je jeden talířový ventil s odlišnou dimenzí

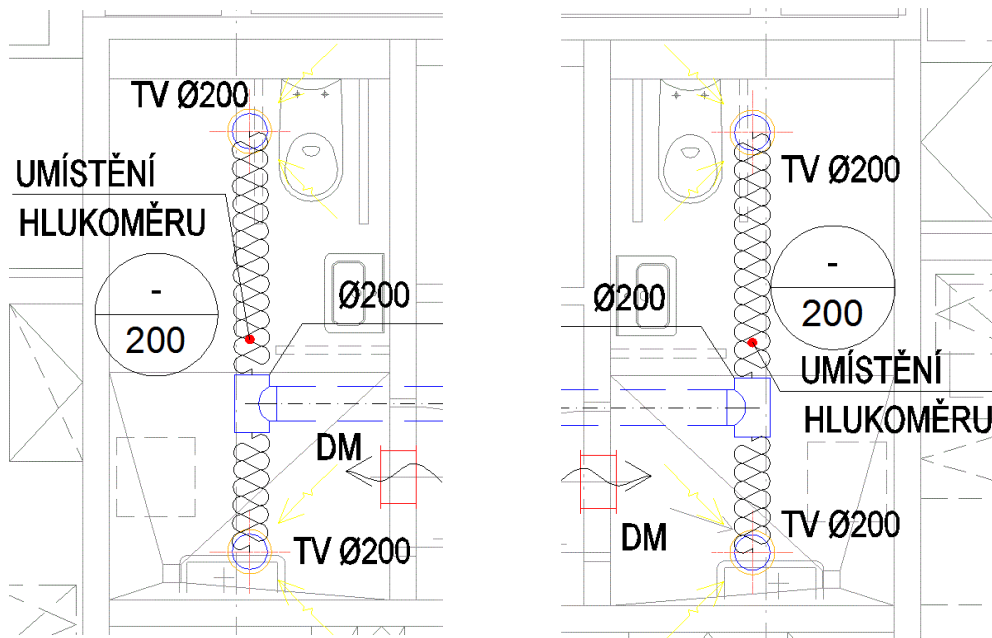
Množství odváděného vzduchu z měřených prostor odpovídá hodnotám, které jsou uvažovány při větrání hygienických místností v bytech, proto můžeme tato měření použít k úvahám o akustickém chování ventilátorů i v prostorech bytů.

Statisticky vyhodnocené naměřené hodnoty (vč. odchylek):

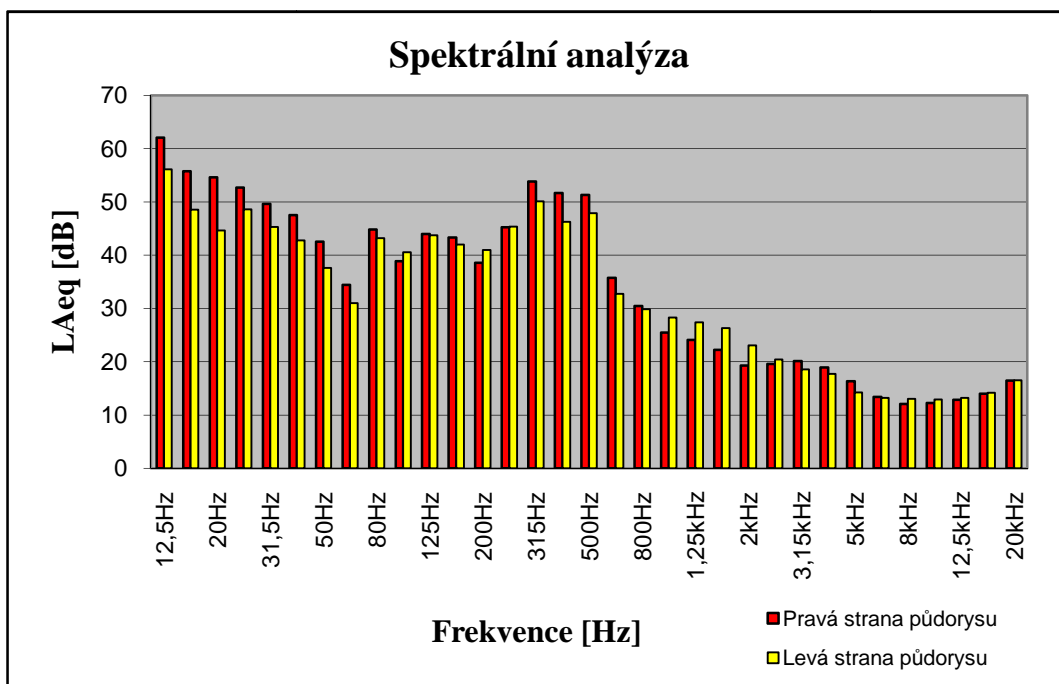
	L_{Aeq} [dB]	L_{AFmax} [dB]	L_{AFmin} [dB]
"levá strana" 1.NP	51,48±1.73	52,96±1.74	50,28±1.73
"pravá strana" 1.NP	50,37±1.85	51,95±1.84	48,96±1.84
"levá strana" 3.NP	48,87±1.73	51,10±1.74	46,80±1.74
"pravá strana" 3.NP	52,50±1.73	55,01±1.74	49,93±1.73

V 1.NP je z půdorysů patrná odlišnost velikosti jednoho z talířových ventilů. Vzhledem k této skutečnosti je pravděpodobné, že není dodrženo požadované množství odváděného vzduchu, ale bude o něco menší. Dále je jistý rozdíl v rozvodné trase, který může mít vliv na akustické parametry většího talířového ventilu (TV 200) umístěného na "pravé straně".

Z naměřených hodnot ve 3.NP je patrné, že i když jsou prostory a ventilátory naprosto shodné, tak nemusí vykazovat stejné akustické hodnoty. Rozdíl téměř 3 dB je nezanedbatelný. Ze spektrální analýzy (viz Graf 3) je zřejmý obdobný průběh přes jednotlivé 1/3 frekvence u obou prostorů. Lze usuzovat, že jde buď o nějakou anomálii ve zdroji (v samotném ventilátoru) nebo trase vzduchovodu. Další možností je i odlišné zaregulování talířových ventilů, které způsobuje větší hluk.



Obr. 12 Půdorys dvou souměrných prostorů s umístěním VZT zařízení ve 3.NP



Graf 3 Srovnání spektrální analýzy obou prostorů ve 3.NP

Ekvivalentní hladiny akustického tlaku s váhovým filtrem A u měření, které bylo provedeno ve 2.NP, jsou vzájemně odlišné o téměř 8 dB, proto zde výsledky tohoto měření nejsou blíže uvedeny. Takovýto rozdíl je způsoben samotným zdrojem hluku, který byl v tomto případě přímo nad měřeními místnosti. Buď je špatně nastaven jeden z ventilátorů, mohlo dojít k jeho poruše, nebo byl nějakým

způsobem narušen akustický pohled, nad kterým je ventilátor umístěn a tím došlo k přímému vyzařování hluku do místnosti.

Oproti předchozím výsledkům uvedeným v kap.5.1.1 jsou naměřené hodnoty blíže očekávané akustické zátěži uvedené v podkladech od výrobce - liší se maximálně o 4 dB, což ale není zanedbatelné. Tyto výsledky lze mj. přisuzovat složitější rozvodné trati, která má vyšší hodnotu útlumu.

5.1.3 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. Podstropní ventilátor je včetně zabudované zpětné klapky. 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. Dále bylo hodnoceno rušení, které může vznikat šířením hluku přes společné stoupací potrubí, na které byly ventilátory připojené. Tímto stoupacím potrubím je tedy umožněn přenos hluku z jedné místnosti do druhé v sousedním patře.

Bylo měřeno celkem 8 různých hygienických místností. Vždy bylo měřeno vlastní zařízení a dále hluk šířený stoupacím potrubím, kdy vlastní zařízení je vypnuto.

Místnosti jsou vybaveny běžným zařízením pro hygienické prostory jako jsou vana, sprchový kout, záchodová mísa, umyvadlo, topný žebřík atd., včetně doplňků (zrcadlo, hygienické prostředky apod.). Stěny místností jsou do výšky 2,1 m opatřeny keramickými obklady, podlahy jsou z keramické dlažby, plně sádkartonové podhledy. Celková výška místností je 2,4 m. Přívod vzduchu je realizován z okolních místností štěrbinou pod dveřmi.



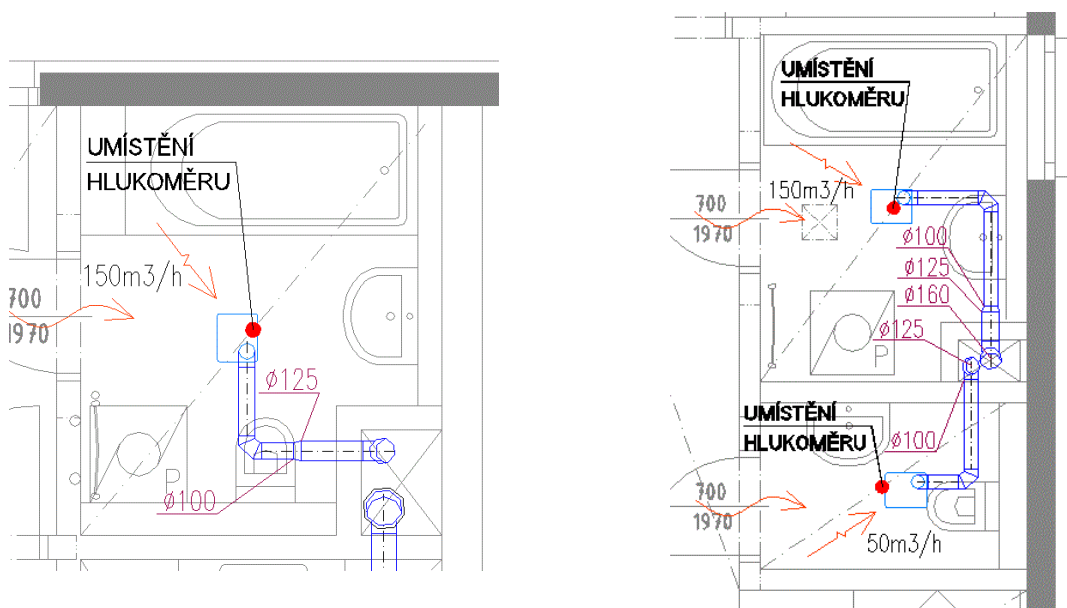
Obr. 13 Ukázka jednoho z měřených prostorů s ventilátorem

Průměrné parametry místností - součinitel zvukové pohltivosti:

f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
α^W - keramický obklad [-]	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
α^W - dveře [-]	0,10	0,11	0,10	0,08	0,08	0,11
α^W - dlažba [-]	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
α^W - neperforovaný sádrokarton [-]	0,15	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05
α^W - 1 osoba v místnosti [-]	0,15	0,30	0,44	0,45	0,46	0,46
α^W - celkové [-]	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05

Parametry VZT zařízení (údaje od výrobce; požadované množství vzduchu z projektové dokumentace):

- 3-rychlostní radiální ventilátor se zabudovanou zpětnou klapkou
- nastavitelný časový doběh
- externí tlaková ztráta při 150 m³/h 130 Pa
- akustický tlak ventilátoru ve 3 m ve volném poli s připojeným potrubím na výtlaku pro jednotlivé rychlosti - $L_{pA} = 55/42/27$ dB
- po zapnutí běží ventilátor na vysoké otáčky, po vypnutí spínače ventilátor odsává vzduch v nízkých otáčkách po dobu nastaveného časového doběhu
- lze nastavit, aby ventilátor větral nepřetržitě v minimálních otáčkách



Obr. 14 Půdorysy hygienických prostorů s umístěním VZT zařízení

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

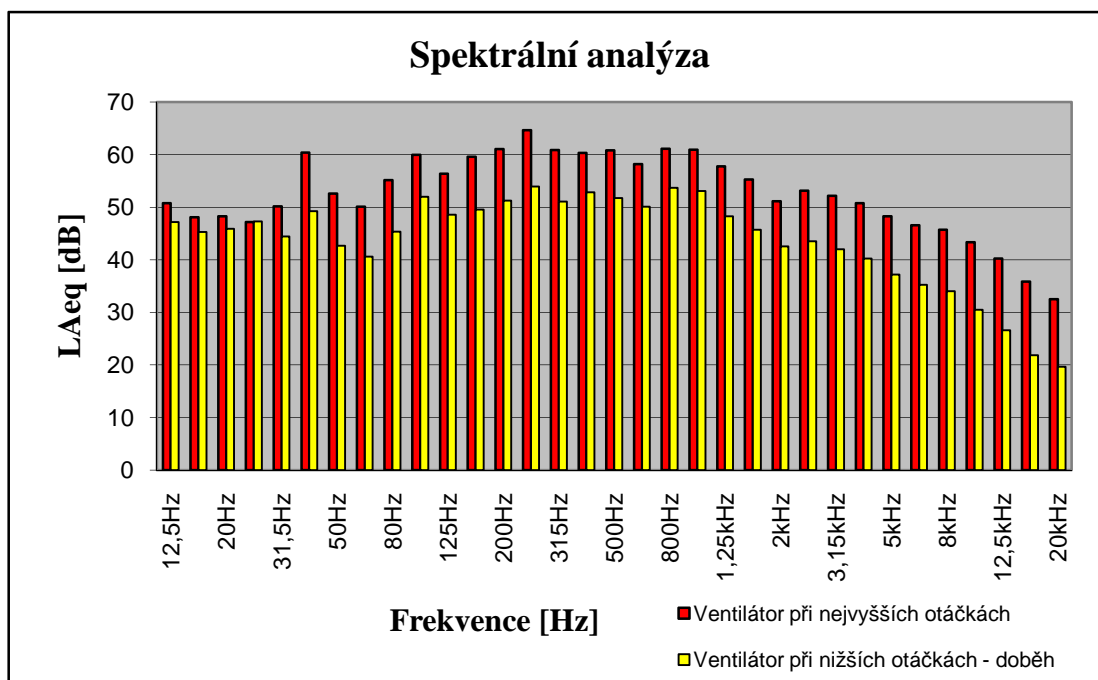
Je zřejmé, že tyto hodnoty jsou vzdáleny výrobcem udávané hodnotě $L_{pA} = 55$ dB, která je naměřena ve volném poli. Hodnoty, které byly naměřeny na samostatných toaletách jsou samozřejmě ještě vyšší:

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

Řešení vlastního hluku ventilátoru pro větrání prostorů toalet by bylo zaregulování ventilátoru na nižší otáčky, které by byly dostačující pro samostatnou místnost s WC. Stejně tak pro větrání prostorů koupelen, které mají krátkou potrubní trasu a z toho vyplývající menší tlakovou ztrátu v potrubní trase, by byl dostačující chod ventilátoru na nižší otáčky s nižší akustickou zátěží. Statisticky vyhodnocené naměřené hodnoty při doběhu ventilátoru (vč. odchylek) - tzn. při nižších otáčkách:

	L_{Aeq} [dB]	L_{AFmax} [dB]	L_{AFmin} [dB]
Koupelna	59,58±1.73	60,64±1.74	58,60±1.73
WC	64,72±1.73	66,28±1.73	63,44±1.74

Graf 4 znázorňuje spektrální analýzu akustického tlaku naměřeného při nejvyšších otáčkách (červeně) a při nižších otáčkách - doběh (znázorněno žlutě).



Graf 4 Srovnání spektrálních analýz akustického tlaku ventilátoru v chodu na nejvyšší a na nižší otáčky

Jak již bylo uvedeno, byl měřen přenos hluku přes stoupací potrubí. Jednotlivé koupelny i WC jsou v tomto případě připojeny na stejné stoupací potrubí - koupelny i WC mají samostatné 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. Jak vyplývá z výsledků, hluk, který se šíří stoupacím potrubím, rozhodně není zanedbatelný. Naměřené hodnoty L_{Aeq} [dB] jednotlivých prostorů se od sebe liší až o 7 dB - v nejhorším případě bylo naměřeno 50,89 dB. Tyto rozdíly jsou zapříčiněny odlišnými potrubními trasami s různými útlumy hluku. 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±1.73	49,70±1.75	45,47±1.73
Přenos mezi toaletami	51,63±1.73	53,54±1.74	49,81±1.73

Pro přenosy hluku mezi byty jsou legislativně stanoveny hygienické limity. Naměřené hodnoty tyto limity překračují, proto rozhodně tyto přenosy musí být řešeny a nelze je zanedbávat.

Ventilátor je stacionární zdroj hluku. Dle NV č. 272/2011 Sb. je limit 40 dB pro denní dobu (6 - 22 hod.) a 30 dB pro noční dobu (22 - 6 hod.). Protože se jedná o hluk ze zdroje uvnitř budovy s limitem se porovnává maximální hladina akustického tlaku $A L_{Amax}$. V případě, že by byl zdroj mimo budovu, pak se hodnotí na ekvivalentní hladině akustického tlaku $A L_{Aeq}$. V případě, že je ve zdroji hluku přítomna tónová složka tak se limit snižuje o 5 dB a je tedy 35 dB pro denní dobu a 25 dB pro noční dobu. Limit platí pro obytné prostory, čili místnosti nad 10 m².

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

5.1.4 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 určené 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 prostupem 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 způsobů osazení jsou uvedena na Obr. 16.

Jednotlivé způsoby osazení byly uvažovány vzhledem ke konstrukci ventilátorů a jejich možnostem připevnění ke stěně. 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 (přibližně 1100 kg/m^3) a tuhým připojením k okolním konstrukcím. Při tloušťce zdiva 100 mm je hodnota kritické frekvence (dle Obr. 6) přibližně 180 Hz. Vlastní frekvence u cihelných stěn bývají v oblasti nejnižší části slyšitelného spektra (neplatí pro stěny s malými dutinami, kde rezonanční kmitočty mohou zahrnovat širokou oblast kmitočtů). Z uvedených dat lze 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. Tento materiál se vyznačuje velmi nízkou tvrdostí, vysokou pružností a poddajností. Nejčastěji se používá pro výrobu konstrukčních prvků k vymezení vůlí, pro výrobu měkkých těsnění, k dotěšňování přírub a jako tlumič vibrací a hluku ve strojírenství a vzduchotechnice. Lze použít tam, kde nejsou zvláštní nároky na chemickou odolnost nebo odolnost povětrnostním vlivům a ozónu. Další specifikace materiálu:

- specifická hmotnost: $0,2 \text{ g/cm}^3$
- tvrdost: 20 ShA
- teplotní odolnost: -40 až $+70^\circ\text{C}$

Vzhledem k danému zaměření výzkumu (tzn. zda má způsob osazení ventilátoru do tuhé konstrukce nějaký vliv na akustický tlak měřený uvnitř místnosti), nebyly ventilátory žádným způsobem regulovány. Nešlo o měření akustických tlaků jednotlivých ventilátorů do prostoru, ale o zjištění vlivu osazení na tento parametr. Cílem bylo provést výzkum na vzorku běžných koupelnových ventilátorů o různých konstrukčních řešeních, různých vzduchových výkonech a odlišných externích tlakových ztrátách. Všechny uvedené ventilátory jsou určeny pro připojení na potrubí o dimenzi 100 mm. Každý z nich byl postupně osazován dle schémat uvedených na Obr. 16.

Použité ventilátory a jejich parametry:

A. Malý radiální ventilátor

- oběžné kolo radiální s dopředu zahnutými lopatkami
- motor asynchronní s kluznými ložisky
- ve výtlaku je umístěna zpětná klapka
- s čelní mřížkou
- příkon 30 W, napětí 230 V
- 2250 otáček/min.
- při vzduchovém výkonu 60 m³/h externí tlaková ztráta přibližně $\Delta p = 72$ Pa
- montáž bez omezení horizontálně nebo vertikálně pomocí šroubů
- akustický tlak v 1,5 m $L_{pA} = 46$ dB

B. Malý axiální ventilátor I.

- motor asynchronní s kuličkovými ložisky
- ve výtlaku je umístěna zpětná klapka
- s čelní mřížkou
- příkon 8 W, napětí 230 V
- 2400 otáček/min.
- při vzduchovém výkonu 60 m³/h externí tlaková ztráta přibližně $\Delta p = 24$ Pa
- montáž bez omezení horizontálně nebo vertikálně pomocí šroubů
- akustický tlak ve 3 m $L_{pA} = 26,5$ dB

C. Malý axiální ventilátor II.

- motor asynchronní s kuličkovými ložisky
- bez zpětné klapky
- s čelní mřížkou
- příkon 20 W, napětí 230 V
- 2400 otáček/min.
- při vzduchovém výkonu 60 m³/h externí tlaková ztráta přibližně $\Delta p = 14$ Pa
- montáž bez omezení horizontálně nebo vertikálně pomocí šroubů
- akustický tlak v 1,5 m $L_{pA} = 41$ dB



Obr. 15 Příklad osazení ventilátorů - vlevo var.1 bez pryže, vpravo var.3 s pryží

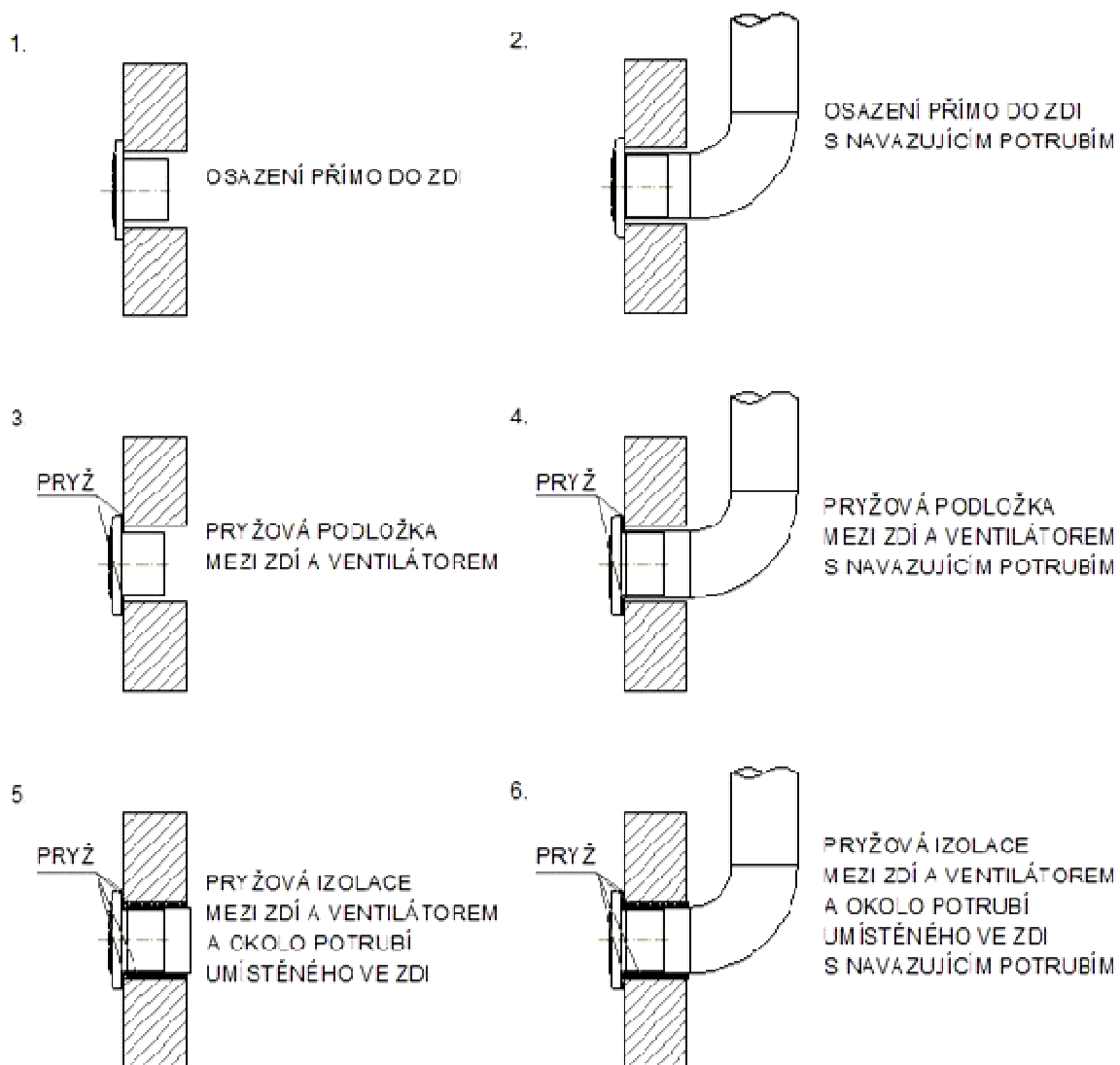
Jak již bylo výše uvedeno, měření probíhalo v experimentální laboratoři, která odpovídá běžné bytové koupelně. Místnost je vybavena běžným zařízením pro hygienické prostory, jako jsou vana se sprchou, záchodová mísa, umyvadlo, topný žebřík. V místnosti během měření nebyly umístěny žádné doplňky (zrcadlo, hygienické prostředky apod.), ani zde nebyly prvky s vysokou pohltivostí (ručníky, koupací pláště, předložky apod.).

Výška experimentální laboratoře je 2,52 m, do výšky 1,52 m je místnost obložena keramickým obkladem. Podlaha je z keramické dlažby, plný sádrokartonový podhled. Přívod vzduchu je realizován z okolních místností štěrbinou pod dveřmi.

Na Obr. 18 je znázorněn půdorys laboratoře. Vpravo od vstupních dveří je ve stěně otvor pro osazování jednotlivých ventilátorů.

Parametry místnosti - součinitel zvukové pohltivosti:

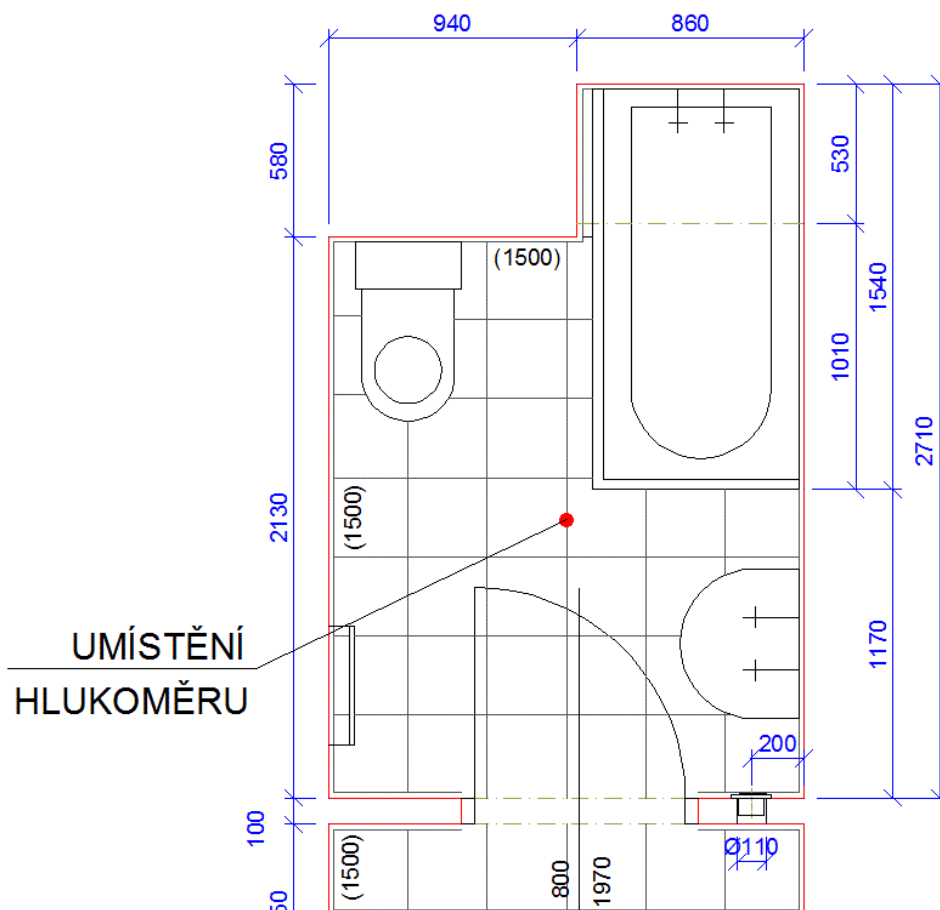
f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
α^w - keramický obklad [-]	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
α^w - dveře [-]	0,10	0,11	0,10	0,08	0,08	0,11
α^w - sádrová omítka na zdi [-]	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
α^w - neperforovaný sádrokarton [-]	0,15	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05
α^w - 1 osoba v místnosti [-]	0,15	0,30	0,44	0,45	0,46	0,46
α^w - celkové [-]	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05



Obr. 16 Schémata jednotlivých způsobů osazení do stěny



Obr. 17 Ukázky z realizace měření - vlevo výfuk do volného prostoru, vpravo navazující výfukové potrubí s pryžovou izolací



Obr. 18 Půdorys experimentální laboratoře - vpravo od dveří znázorněno umístění ventilátoru

Statisticky vyhodnocené veličiny (vč. odchylek) pro jednotlivé způsoby umístění každého ventilátoru:

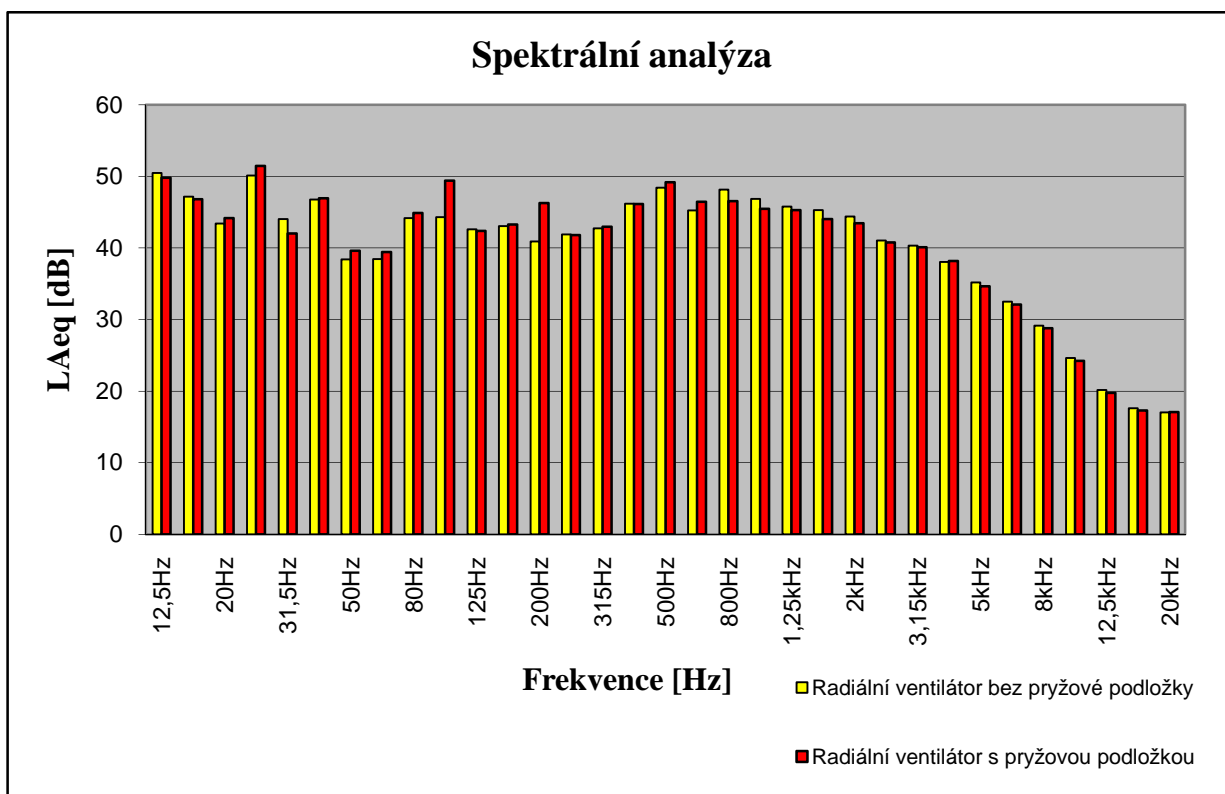
A. Malý radiální ventilátor			
Varianta osazení do stěny	L_{Aeq} [dB]	L_{AFmax} [dB]	L_{AFmin} [dB]
1.	55,44±1.73	56,26±1.74	54,71±1.73
2.	57,10±1.73	57,88±1.74	56,39±1.73
3.	54,84±1.73	55,57±1.73	54,22±1.73
4.	56,33±1.73	57,24±1.73	55,55±1.73
5.	55,53±1.73	56,19±1.73	54,88±1.73
6.	56,76±1.73	57,83±1.74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

B. Malý axiální ventilátor I.			
Varianta osazení do stěny	L_{Aeq} [dB]	L_{AFmax} [dB]	L_{AFmin} [dB]
1.	46,32±1.73	47,19±1.73	45,51±1.73
2.	47,27±1.73	48,21±1.74	46,40±1.74
3.	46,95±1.73	47,74±1.73	46,22±1.73
4.	47,17±1.73	48,29±1.76	46,40±1.73
5.	47,30±1.73	48,07±1.73	46,59±1.73
6.	47,05±1.73	47,87±1.74	46,29±1.73

C. Malý axiální ventilátor II.			
Varianta osazení do stěny	L_{Aeq} [dB]	L_{AFmax} [dB]	L_{AFmin} [dB]
1.	54,93±1.73	55,65±1.74	54,31±1.73
2.	55,35±1.73	56,16±1.73	54,70±1.73

3.	55,55±1.74	56,17±1.75	54,89±1.74
4.	55,35±1.73	56,00±1.73	54,73±1.73
5.	55,73±1.73	56,55±1.73	55,00±1.73
6.	55,73±1.74	56,36±1.74	55,12±1.74

Z uvedených výsledků je patrné, že jediný ventilátor, u kterého má osazení s pryžovou podložkou pozitivní vliv je radiální ventilátor. Tento rozdíl je ovšem vzhledem k ostatním hodnotám a se započítáním odchylky měření zanedbatelný. Níže uvedený Graf 5 znázorňuje srovnání spektrálních analýz radiálního ventilátoru při způsobech osazení č.1 a č.3 - tzn. osazení ventilátoru přímo na stěnu bez pryže a pryž na stěně, v obou případech bez navazujícího potrubí.



Graf 5 Srovnání spektrálních analýz radiálního ventilátoru pro způsoby osazení č.1 a č.3

Je patrné, že při osazení ventilátoru s pryží dojde ke zhoršení v oblasti nízkých kmitočtů až do frekvence 630 Hz. Od této hranice došlo k mírnému snížení akustického tlaku naměřeného uprostřed místnosti.

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. V případě lehké až těžké stěny má odizolování význam pro okolní místnosti, kdy nedochází k šíření akustických vln přes konstrukci (zřejmě nejzřetelnější využití by odizolování mělo u ventilátoru zabudovaného do stěny, kdy je stěna

ztenčena a umožněn tak i lepší přenos do okolních místností). 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 (viz kapitola 2.2.5).

5.1.5 Vliv osazení ventilátoru do podhledu

Ve stejné akustické laboratoři, jako bylo provedeno měření vlivu osazení ventilátoru do stěny (tuhé těžké konstrukce), byl proveden experimentální výzkum vlivu osazení ventilátoru do sádkartonového podhledu 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

Schémata osazení ventilátorů jsou uvedena na Obr. 19.

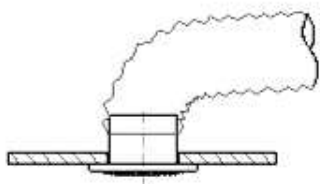
Možné způsoby osazení byly uvažovány vzhledem ke konstrukci ventilátorů a jejich možností připevnění. Podhled v experimentální místnosti je plný sádkartonový o tl. 15 mm. Z pohledu akustiky se jedná o konstrukci s nízkou objemovou hmotností (přibližně 750 kg/m^3), s pevným podložením na svých okrajích. Při tloušťce sádkartonové desky 15 mm je hodnota kritické frekvence (dle Obr. 6) přibližně 1200 Hz. Vlastní frekvence sádkartonové desky jsou značného rozsahu přes celé spektrum frekvencí. Dle uvedených informací lze předpokládat, že osazený ventilátor bude způsobovat rozkmitání desky, která bude mít vliv na akustiku v místnosti.

Použité ventilátory a jejich parametry jsou shodné, jako v kapitole 5.1.4. Výfuk z ventilátorů byl napojen pomocí pružného potrubí.

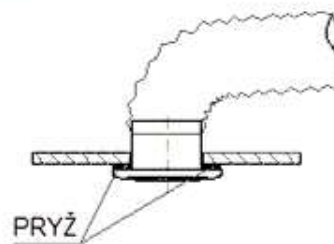
Stejně jako v předchozím případě nešlo o vyhodnocení akustických tlaků ventilátorů v prostoru hygienické místnosti, ale o vyhodnocení vlivu osazení na parametr akustického tlaku. Stejně tak nejsou porovnávány naměřené hladiny akustického tlaku při osazení do stěny a při osazení do podhledu, pouze je srovnáván naměřený rozdíl při shodném osazení.

Jako tlumicí materiál byla použita totožná mikroporézní pryž SBR o tl. 5 mm jako v kapitole 5.1.4.

1. OSAZENÍ PŘÍMO POD PODHLED



2. PRYŽOVÁ PODLOŽKA MEZI PODHLEDEM A VENTILÁTOREM



Obr. 19 Schematické znázornění osazení ventilátorů pod podhled



Obr. 20 Příklad osazení dvou ventilátorů do podhledu s podložkou z pryže

Veškeré parametry místnosti jsou totožné s kap. 5.1.4.

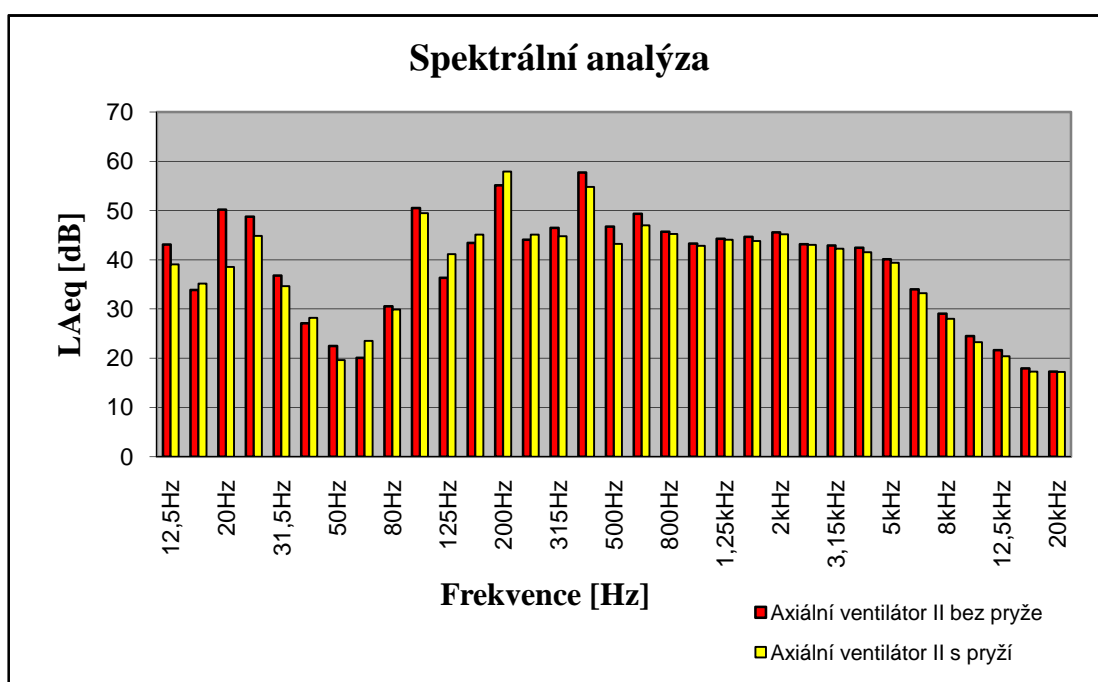
Statisticky vyhodnocené veličiny (vč. odchylek) pro dvě varianty umístění každého ventilátoru:

A. Malý radiální ventilátor			
Varianta osazení do podhledu	L_{Aeq} [dB]	L_{AFmax} [dB]	L_{AFmin} [dB]
1.	$57,45 \pm 1.73$	$58,24 \pm 1.73$	$56,60 \pm 1.73$
2.	$57,36 \pm 1.73$	$58,18 \pm 1.74$	$56,61 \pm 1.74$

B. Malý axiální ventilátor I.			
Varianta osazení do podhledu	L_{Aeq} [dB]	L_{AFmax} [dB]	L_{AFmin} [dB]
1.	$49,04 \pm 1.76$	$51,45 \pm 1.81$	$47,19 \pm 1.74$
2.	$48,95 \pm 1.74$	$50,99 \pm 1.75$	$47,45 \pm 1.74$

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

Z výsledků je patrné, že v žádném z případů nedošlo ke zhoršení akustických parametrů, jako tomu bylo v kap. 5.1.4 při osazení na těžkou konstrukci (nejde o srovnání vzájemných hladin akustického tlaku při osazení do stěny a stropu, ale jde o srovnání schopnosti ztlumení pomocí pryžové podložky při osazení na lehkou a těžkou konstrukci). U hlučnějšího axiálního ventilátoru je patrné zlepšení středních hodnot akustických hladin přibližně o 1 dB - tento poměrně malý výsledek je ovlivněn velikostí sádrokartonové desky, jak je vysvětleno níže. Graf 6 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 sádrokartonové desky pryžovou podložkou.



Graf 6 Srovnání spektrálních analýz akustického tlaku axiálního ventilátoru II

V prostoru laboratoře nebyly naměřeny tak výrazné výsledky vzhledem k možnostem rozměrů sádrokartonové desky, které jsou zde velmi malé (přibližně 0,5 × 2 m). Tímto dochází ke značnému ovlivňování výsledků. V případě větší plochy lze očekávat výraznější vliv vlastního kmitání sádrokartonové desky. Obecně proto lze způsob osazení ventilátorů na lehkou stěnu typu sádrokarton vyhodnotit jako výhodnější s použitím pryže.

5.2 Simulace

Kromě experimentálních metod zkoumání akustického chování místností lze tyto úlohy řešit pomocí vhodných výpočetních a simulačních programů. Společně s měřením reálných prostorů lze nejpřesněji dokumentovat, co se v daném prostoru odehrává.

Teoretické řešení akustiky zahrnuje modelování pomocí vhodného programu. Jedním z nich je software Odeon, který je zaměřený na prostorovou akustiku.

Obecně koupelny řadíme, z hlediska prostorové akustiky, mezi prostory s velkou odrazivostí povrchů, v nichž je v důsledku toho i vysoká doba dozvuku. Tím pádem jsou hladiny akustického tlaku velmi málo tlumeny tzn. že hluk se tzv. rozléhá. Pokud zvýšíme pohltivost prostoru, dojde ke snížení hladin akustického tlaku. Platí základní pravidlo – při každém zdvojnásobení pohltivosti místnosti klesá doba dozvuku na polovinu své původní hodnoty a hladina akustického tlaku se zároveň sníží o 3 dB. Z tohoto důvodu byla každá simulace rozdělena na dva možné stavy samotné místnosti. V prvním je do prostoru umístěn sádkartonový podhled bez jakýchkoli akustických úprav (SDK). Ve druhém případě je uvažován širokopásmový akustický podhled.

5.2.1 Vliv různého umístění talířových ventilů

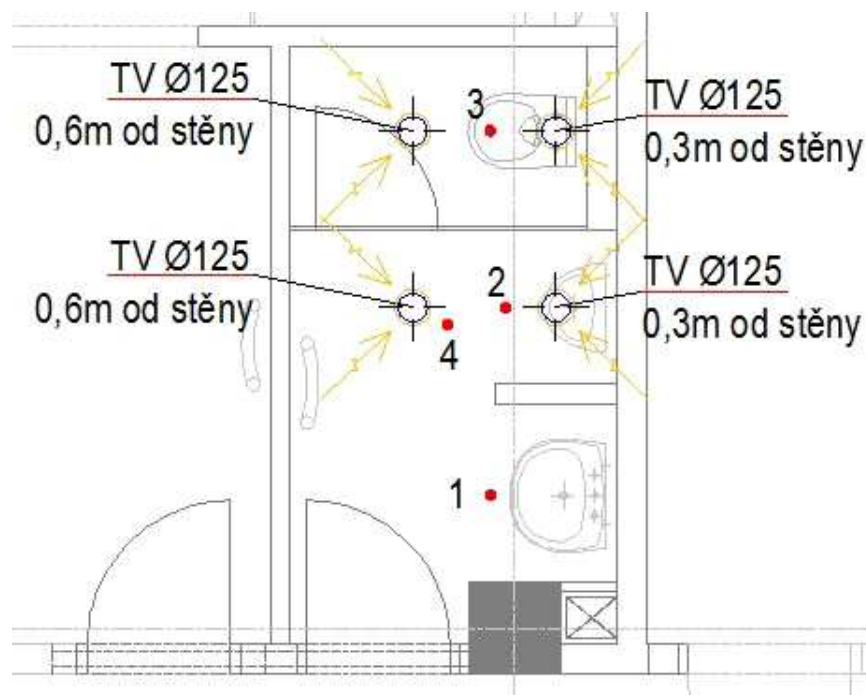
Pomocí software Odeon byl modelován prostor, popsáný v kap. 5.1.1. Jak bylo v této kapitole zmíněno, v jednom z pater byly talířové ventily umístěny v blízkosti svislé stěny a v této místnosti byla naměřena vyšší hladina akustického tlaku než v druhých dvou místnostech. Zda má umístění talířových ventilů vliv na akustické parametry bylo ověřováno simulací tohoto prostoru.

Simulován byl decentrální systém větrání, kdy ventilátor je umístěn nad podhledem a distribuce (odvod) vzduchu je pomocí koncových prvků - v případě hygienických místností jsou to zpravidla talířové ventily, které jsou zabudované do konstrukce podhledu.

Modelovaný prostor byl zjednodušen tak, aby výsledky byly co nejpřesnější. Byly zadány rozměry místnosti s jednotlivými parametry stěn, podlahy a podhledové konstrukce. Samotné vybavení prostoru zařízeními předměty bylo zanedbáno, protože nemá podstatný vliv na celkovou prostorovou akustiku (v prostoru se nevyskytuje vybavení s významně pohltivou plochou).

Byl modelován prostor, jehož půdorys je znázorněn na Obr. 9. Do tohoto prostoru byly umístěny dva zdroje hluku - talířové ventily. Tyto byly uvažovány jako bodové zdroje hluku. V prvním modelu byly umístěny 0,3 m od nejbližší stěny, ve druhém modelu 0,6 m od nejbližší stěny. Akustický tlak byl hodnocen ve čtyřech sledovaných bodech. Tři z nich jsou místa, ve kterých lze předpokládat nejčastější výskyt osob - prostor u umyvadla, u pisoáru a u záchodové mísy. Čtvrtý bod je potom pomyslný střed místnosti, ve kterém byl umístěn měřicí přístroj při experimentálním měření. Obě varianty osazení talířových ventilů do podhledu i sledované body 1- 4 jsou zobrazeny na Obr. 21.

Dále byla simulace rozdělena na dva možné stavy samotné místnosti. V prvním je do prostoru umístěn sádkartonový podhled bez jakýchkoli akustických úprav (SDK). Ve druhém případě je uvažován širokopásmový akustický podhled.



Obr. 21 Znáznornění sledovaných bodů a dvou variant umístění talířových ventilů

Výsledky jsou uvedeny jako jednočíselná hodnota akustického tlaku s váhovým filtrem A v jednotlivých sledovaných místech v pořadí:

1. Talířové ventily umístěné 0,3 m od stěny s SDK pohledem
2. Talířové ventily umístěné 0,6 m od stěny s SDK pohledem
simulace akustických polí se zobrazením akustického tlaku s váhovým filtrem A těchto dvou stavů
3. Talířové ventily umístěné 0,3 m od stěny se širokopásmovým akustickým pohledem
4. Talířové ventily umístěné 0,6 m od stěny se širokopásmovým akustickým pohledem
simulace akustických polí se zobrazením akustického tlaku s váhovým filtrem A těchto dvou stavů

Hodnoty dozvuku dané koupelny (Eyring):

f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Podhled bez akustických úprav (SDK)	1,17	1,27	1,04	0,91	0,8	0,63
Širokopásmový akustický podhled	0,62	0,42	0,31	0,32	0,29	0,29

Pod zobrazenými vypočítanými hodnotami jsou vždy uvedené rozsahy akustických tlaků "SPL(A)", které byly výpočtem dosaženy v každém prostoru.

1. Hodnoty akustického tlaku pro talířové ventily umístěné v SDK pohledu 0,3 m od stěny:

Receiver Number: 1 Umyvadlo	(x,y,z) = (0,80, 0,80, 1,60)
<hr/>	
SPL(A) = 51,2(dB)	
STI = 0,60	(Theoretical based on T30, STI = 0,61)
<hr/>	
Receiver Number: 2 Pisoár	(x,y,z) = (1,00, 1,60, 1,60)
<hr/>	
SPL(A) = 51,9(dB)	
STI = 0,63	(Theoretical based on T30, STI = 0,62)
<hr/>	
Receiver Number: 3 Záchodová mísa	(x,y,z) = (1,00, 2,50, 1,60)
<hr/>	
SPL(A) = 51,9(dB)	
STI = 0,62	(Theoretical based on T30, STI = 0,62)
<hr/>	
Receiver Number: 4 Místo měření	(x,y,z) = (0,80, 1,50, 1,50)
<hr/>	
SPL(A) = 51,7(dB)	
STI = 0,62	(Theoretical based on T30, STI = 0,60)
<hr/>	
SPL(A), minimum = 51,16 dB	
SPL(A), maximum = 51,95 dB	
SPL(A), average = 51,66 dB	

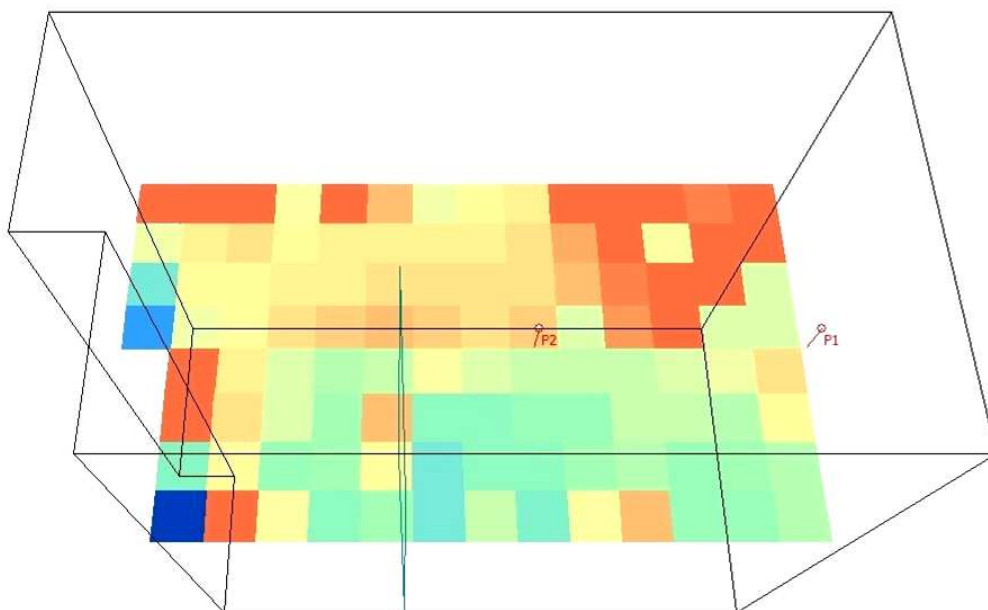
2. Hodnoty akustického tlaku pro talířové ventily umístěné v SDK pohledu 0,6 m od stěny:

Receiver Number: 1 Umyvadlo	(x,y,z) = (0,80, 0,80, 1,60)
<hr/>	
SPL(A) = 51,5(dB)	
STI = 0,60	(Theoretical based on T30, STI = 0,62)
<hr/>	
Receiver Number: 2 Pisoár	(x,y,z) = (1,00, 1,60, 1,60)
<hr/>	
SPL(A) = 51,7(dB)	
STI = 0,62	(Theoretical based on T30, STI = 0,62)
<hr/>	
Receiver Number: 3 Záchodová mísa	(x,y,z) = (1,00, 2,50, 1,60)
<hr/>	
SPL(A) = 51,8(dB)	
STI = 0,62	(Theoretical based on T30, STI = 0,61)
<hr/>	
Receiver Number: 4 Místo měření	(x,y,z) = (0,80, 1,50, 1,50)
<hr/>	
SPL(A) = 51,7(dB)	
STI = 0,62	(Theoretical based on T30, STI = 0,61)
<hr/>	
SPL(A), minimum = 51,55 dB	
SPL(A), maximum = 51,84 dB	
SPL(A), average = 51,69 dB	

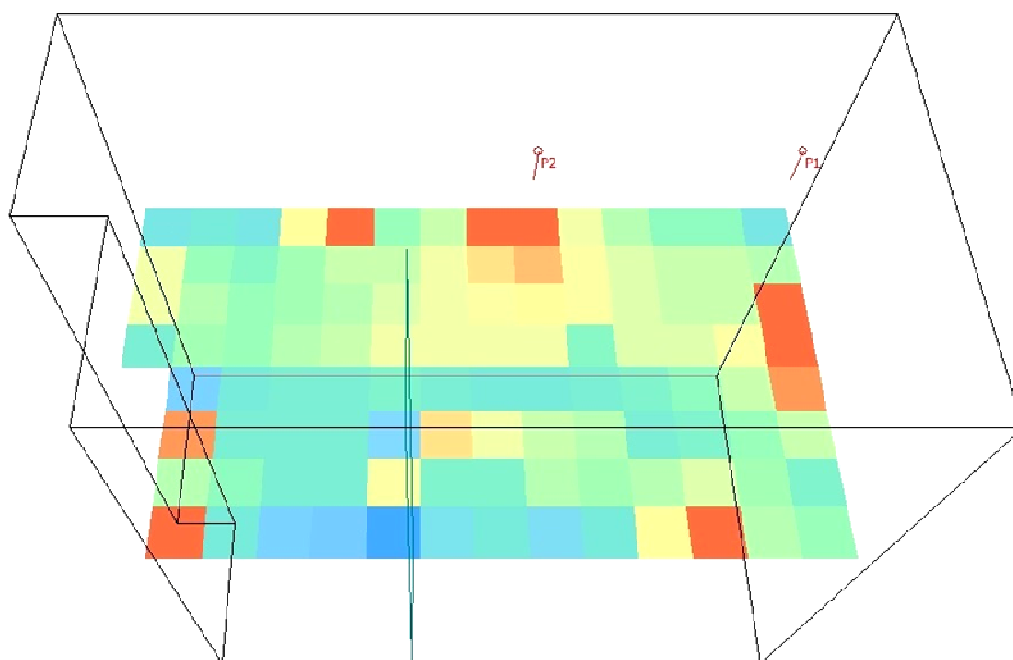
Z uvedených hodnot vyplývá, že umístění talířových ventilů vzhledem ke stěně nemá podstatný vliv na celkové akustické parametry v místnosti - v uvažovaném místě měření je hladina akustického tlaku shodná. Výsledné akustické tlaky vycházejí podobně z důvodu volených sledovaných bodů.

Na simulacích akustických polí na Obr. 22 a Obr. 23 je lépe patrný rozdíl v rozložení akustického tlaku, kdy u talířových ventilů umístěných blíže ke stěně jsou hladiny akustického tlaku v určitých místech prostoru vyšší a rozložení hladin vykazuje větší rozdíly. Při umístění ventilů dále od stěny je rozložení hladin akustického tlaku v prostoru vyrovnanější a mizí místa s kumulací zvukové energie.

Legenda akustických polí je pro Obr. 22 a Obr. 23 stejná, proto je vyobrazena pouze jednou.



Obr. 22 Akustické pole - talířové ventily 0,3 m od stěny, SDK pohled



Obr. 23 Akustické pole - talířové ventily 0,6 m od stěny, SDK pohled

3. Hodnoty akustického tlaku pro talířové ventily umístěné v akustickém pohledu 0,3 m od stěny:

Receiver Number: 1 Umyvadlo (x,y,z) = (0,80, 0,80, 1,60)

SPL(A) = 45,9(dB)
STI = 0,77 (Theoretical based on T30, STI = 0,77)

Receiver Number: 2 Pisoár (x,y,z) = (1,00, 1,60, 1,60)

SPL(A) = 47,6(dB)
STI = 0,79 (Theoretical based on T30, STI = 0,77)

Receiver Number: 3 Záchodová mísa (x,y,z) = (1,00, 2,50, 1,60)

SPL(A) = 47,7(dB)
STI = 0,79 (Theoretical based on T30, STI = 0,77)

Receiver Number: 4 Místo měření (x,y,z) = (0,80, 1,50, 1,50)

SPL(A) = 47,0(dB)
STI = 0,78 (Theoretical based on T30, STI = 0,77)

SPL(A), minimum = 45,92 dB
SPL(A), maximum = 47,67 dB
SPL(A), average = 47,05 dB

4. Hodnoty akustického tlaku pro talířové ventily umístěné v akustickém pohledu 0,6 m od stěny:

Receiver Number: 1 Umyvadlo (x,y,z) = (0,80, 0,80, 1,60)

SPL(A) = 46,5(dB)
STI = 0,76 (Theoretical based on T30, STI = 0,76)

Receiver Number: 2 Pisoár (x,y,z) = (1,00, 1,60, 1,60)

SPL(A) = 47,2(dB)
STI = 0,79 (Theoretical based on T30, STI = 0,77)

Receiver Number: 3 Záchodová mísa (x,y,z) = (1,00, 2,50, 1,60)

SPL(A) = 47,3(dB)
STI = 0,78 (Theoretical based on T30, STI = 0,76)

Receiver Number: 4 Místo měření (x,y,z) = (0,80, 1,50, 1,50)

SPL(A) = 47,1(dB)
STI = 0,78 (Theoretical based on T30, STI = 0,77)

SPL(A), minimum = 46,52 dB
SPL(A), maximum = 47,33 dB
SPL(A), average = 47,05 dB

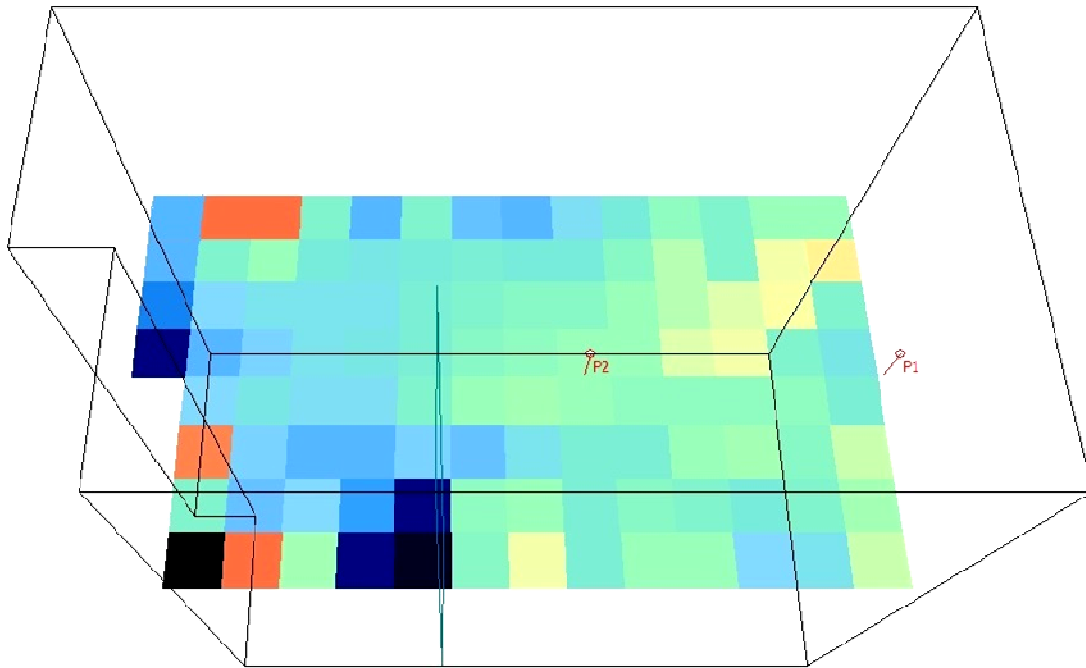
Z uvedených hodnot opět vyplývá, že umístění talířových ventilů vzhledem ke stěně nemá podstatný vliv na celkové akustické parametry v místnosti - v uvažovaném místě měření je hladina akustického tlaku téměř shodná.

Velmi významný je vliv akustického podhledu, kdy oproti stropu bez akustických úprav (SDK) vycházejí hodnoty o více než 4 dB nižší. Tzn. že je zřejmá již uvedená fyzikální zákonitost, kdy zvýšením pohltivosti prostoru, dojde ke snížení hladin akustického tlaku. Při každém zdvojnásobení pohltivosti místnosti klesá doba dozvuku na polovinu své původní hodnoty a hladina akustického tlaku se zároveň sníží o 3 dB - tzn. že umístěním širokopásmového akustického podhledu došlo ke zvýšení pohltivosti o více jak dvojnásobek oproti umístění podhledu bez akustických úprav.

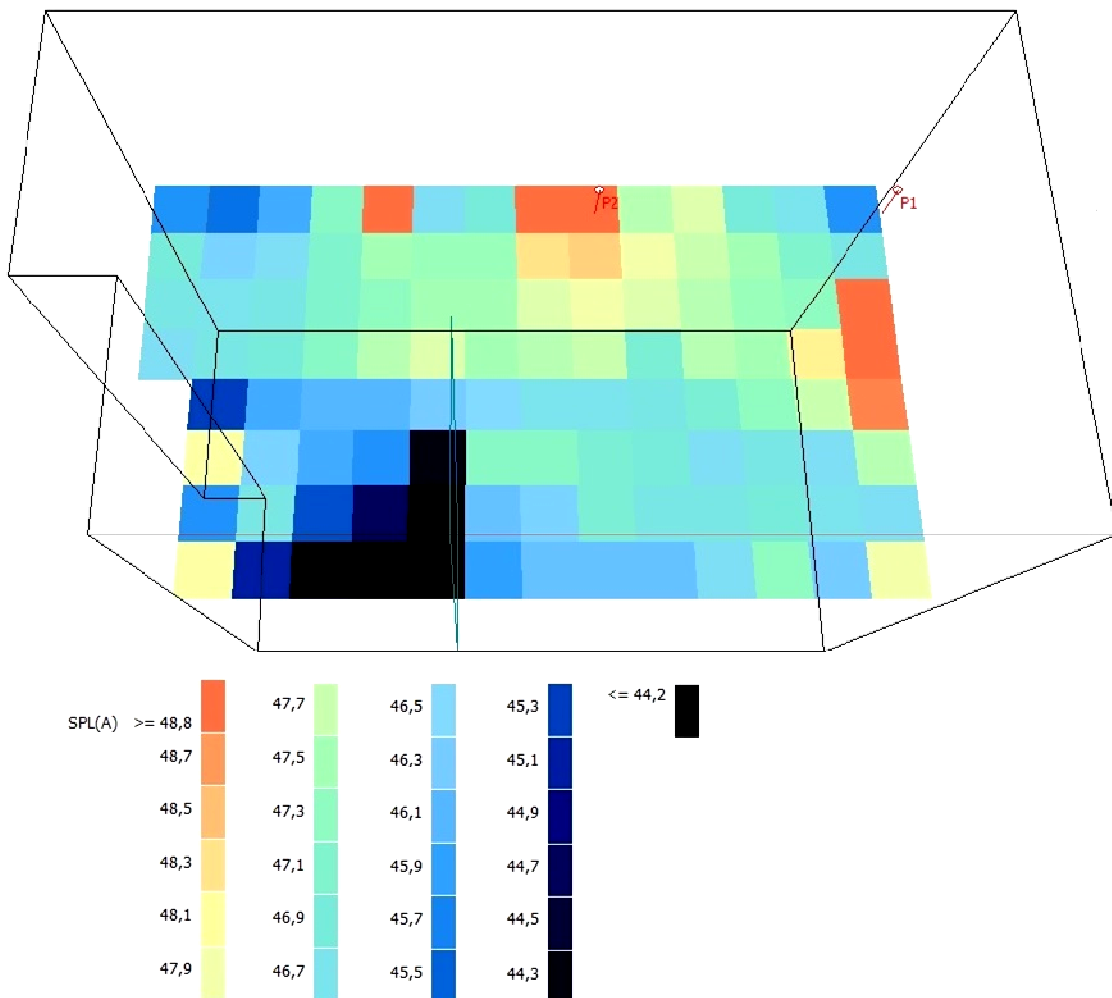
Na simulacích akustických polí na Obr. 24 a Obr. 25 je stejně jako v předchozím případě patrný rozdíl v rozložení akustického tlaku, kdy u talířových ventilů umístěných blíže ke stěně jsou hladiny akustického tlaku v určitých místech prostoru vyšší. Při umístění ventilů dále od stěny je rozložení hladin akustického tlaku v prostoru vyrovnanější. Oproti podhledu bez akustických úprav rozložení hladin nevykazuje tak patrné rozdíly.

Zřetelný vliv na rozložení akustické energie po místnosti má umístění přepážky v místnosti - za přepážkou je v obou případech zřetelný akustický stín. Při instalaci širokopásmového akustického podhledu klesá energie odražených zvukových vln, odraz je tlumen podhledem a z toho vyplývá i větší vliv přepážky při omezení šíření hluku z ventilu. Proto lze na simulaci akustického pole vidět nižší hladiny akustického tlaku za přepážkou, než v případě obyčejného SDK podhledu bez akustických úprav, kde energie odražených vln vlivem absence pohltivé plochy tolik neklesá.

Legenda simulací akustických polí je pro Obr. 24 a Obr. 25 stejná, proto je vyobrazena pouze jednou.



Obr. 24 Akustické pole - talířové ventily 0,3 m od stěny, širokopásmový akustický pohled



Obr. 25 Akustické pole - talířové ventily 0,6 m od stěny, širokopásmový akustický pohled

5.2.2 Vliv umístění talířového ventilu - experimentální laboratoř

V prostoru experimentální laboratoře byla zkoumána podobná problematika, jako ve výše uvedené kapitole 5.2.1. Byl zkoumán vliv osazení talířového ventilu do stropu vzhledem k okolním stěnám. V tomto případě byl uvažován pouze jeden talířový ventil, aby případné rozdíly byly zřetelnější. Jako modelový prostor byla vybrána experimentální laboratoř, vzhledem k její členitosti.

Shodně jako v předešlém případě byl simulován decentrální systém větrání, kdy ventilátor je umístěn nad podhledem a distribuce (odvod) vzduchu je pomocí koncového prvku - talířového ventilu zabudovaného do konstrukce podhledu.

Modelovaný prostor byl zjednodušen tak, aby výsledky byly co nejpřesnější. Byly zadány rozměry místnosti s jednotlivými parametry stěn, podlahy a podhledové konstrukce. Samotné vybavení zařizovacími prvky bylo zanedbáno, protože nemá podstatný vliv na celkovou prostorovou akustiku (v prostoru se nevyskytuje vybavení s významně pohltivou plochou).

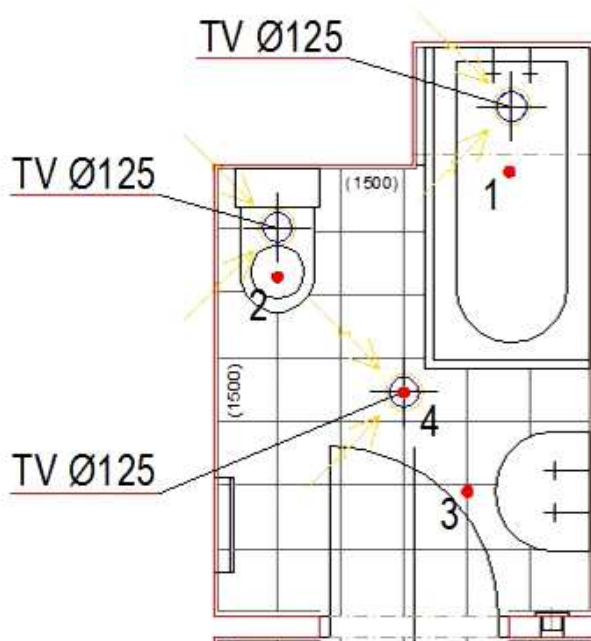
Byly modelovány tři pozice talířového ventilu - nad záchodovou mísou, na pomyslném středu místnosti a nad vanou.

Akustický tlak byl hodnocen ve čtyřech sledovaných bodech. Tři z nich jsou místa, ve kterých lze předpokládat nejčastější výskyt osob, čtvrtý je umístění měřicího přístroje. Sledované body:

1. ve vaně
2. nad záchodovou mísou
3. u umyvadla
4. měřicí místo - pomyslný střed místnosti

Varianty osazení talířových ventilů do podhledu i sledované body 1- 4 jsou zobrazeny na Obr. 26.

Stejně jako v předchozím případě byly uvažovány dvě konstrukce podhledu - bez akustických úprav (SDK) a širokospektrální akustický podhled.



Obr. 26 Znáornění sledovaných bodů a tří variant umístění talířových ventilů

Výsledky jsou uvedeny jako jednočíselná hodnota akustického tlaku s váhovým filtrem A v jednotlivých sledovaných místech v pořadí:

1. Talířový ventil umístěný nad záchodovou mísou s SDK pohledem
2. Talířový ventil umístěný nad středem místnosti s SDK pohledem
3. Talířový ventil umístěný ve výklenku nad vanou s SDK pohledem
simulace akustických polí se zobrazením akustického tlaku s váhovým filtrem A těchto tří stavů
4. Talířový ventil umístěný nad záchodovou mísou se širokopásmovým akustickým pohledem
5. Talířový ventil umístěný nad středem místnosti se širokopásmovým akustickým pohledem
6. Talířový ventil umístěný ve výklenku nad vanou se širokopásmovým akustickým pohledem
simulace akustických polí se zobrazením akustického tlaku s váhovým filtrem A těchto tří stavů

Hodnoty dozvuku dané koupelny (Eyring):

f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Podhled bez akustických úprav (SDK)	1,08	1,35	1,32	1,07	0,89	0,62
Širokopásmový akustický podhled	0,58	0,41	0,32	0,33	0,29	0,27

Pod zobrazenými vypočítanými hodnotami jsou vždy uvedené rozsahy akustických tlaků "SPL(A)", které byly výpočtem dosaženy v každém prostoru.

1. Hodnoty akustického tlaku pro talířový ventil umístěný nad záchodovou mísou v SDK pohledu

Receiver Number: 1 Vana (x,y,z) = (1,40, 2,10, 1,00)

SPL(A) = 49,4(dB)
STI = 0,60 (Theoretical based on T30, STI = 0,61)

Receiver Number: 2 Záchodová mísa (x,y,z) = (0,40, 1,60, 1,30)

SPL(A) = 49,4(dB)
STI = 0,60 (Theoretical based on T30, STI = 0,61)

Receiver Number: 3 Umyvadlo (x,y,z) = (1,20, 0,50, 1,70)

SPL(A) = 49,1(dB)
STI = 0,60 (Theoretical based on T30, STI = 0,60)

Receiver Number: 4 Místo měření (x,y,z) = (0,90, 1,05, 1,50)

SPL(A) = 49,1(dB)
STI = 0,60 (Theoretical based on T30, STI = 0,61)

SPL(A), minimum = 49,09 dB
SPL(A), maximum = 49,42 dB
SPL(A), average = 49,26 dB

2. Hodnoty akustického tlaku pro talířový ventil umístěný nad středem místnosti v SDK pohledu

Receiver Number: 1 Vana (x,y,z) = (1,40, 2,10, 1,00)

SPL(A) = 49,4(dB)
STI = 0,60 (Theoretical based on T30, STI = 0,60)

Receiver Number: 2 Záchodová mísa (x,y,z) = (0,40, 1,60, 1,30)

SPL(A) = 49,3(dB)
STI = 0,60 (Theoretical based on T30, STI = 0,60)

Receiver Number: 3 Umyvadlo (x,y,z) = (1,20, 0,50, 1,70)

SPL(A) = 49,4(dB)
STI = 0,60 (Theoretical based on T30, STI = 0,61)

Receiver Number: 4 Místo měření (x,y,z) = (0,90, 1,05, 1,50)

SPL(A) = 49,3(dB)
STI = 0,60 (Theoretical based on T30, STI = 0,61)

SPL(A), minimum = 49,27 dB
SPL(A), maximum = 49,44 dB
SPL(A), average = 49,34 dB

3. Hodnoty akustického tlaku pro talířový ventil umístěný ve výklenku nad vanou v SDK pohledu

Receiver Number: 1 Vana (x,y,z) = (1,40, 2,10, 1,00)

SPL(A) = 50,0(dB)
STI = 0,61 (Theoretical based on T30, STI = 0,61)

Receiver Number: 2 Záchodová mísa (x,y,z) = (0,40, 1,60, 1,30)

SPL(A) = 48,9(dB)
STI = 0,60 (Theoretical based on T30, STI = 0,61)

Receiver Number: 3 Umyvadlo (x,y,z) = (1,20, 0,50, 1,70)

SPL(A) = 49,1(dB)
STI = 0,60 (Theoretical based on T30, STI = 0,61)

Receiver Number: 4 Místo měření (x,y,z) = (0,90, 1,05, 1,50)

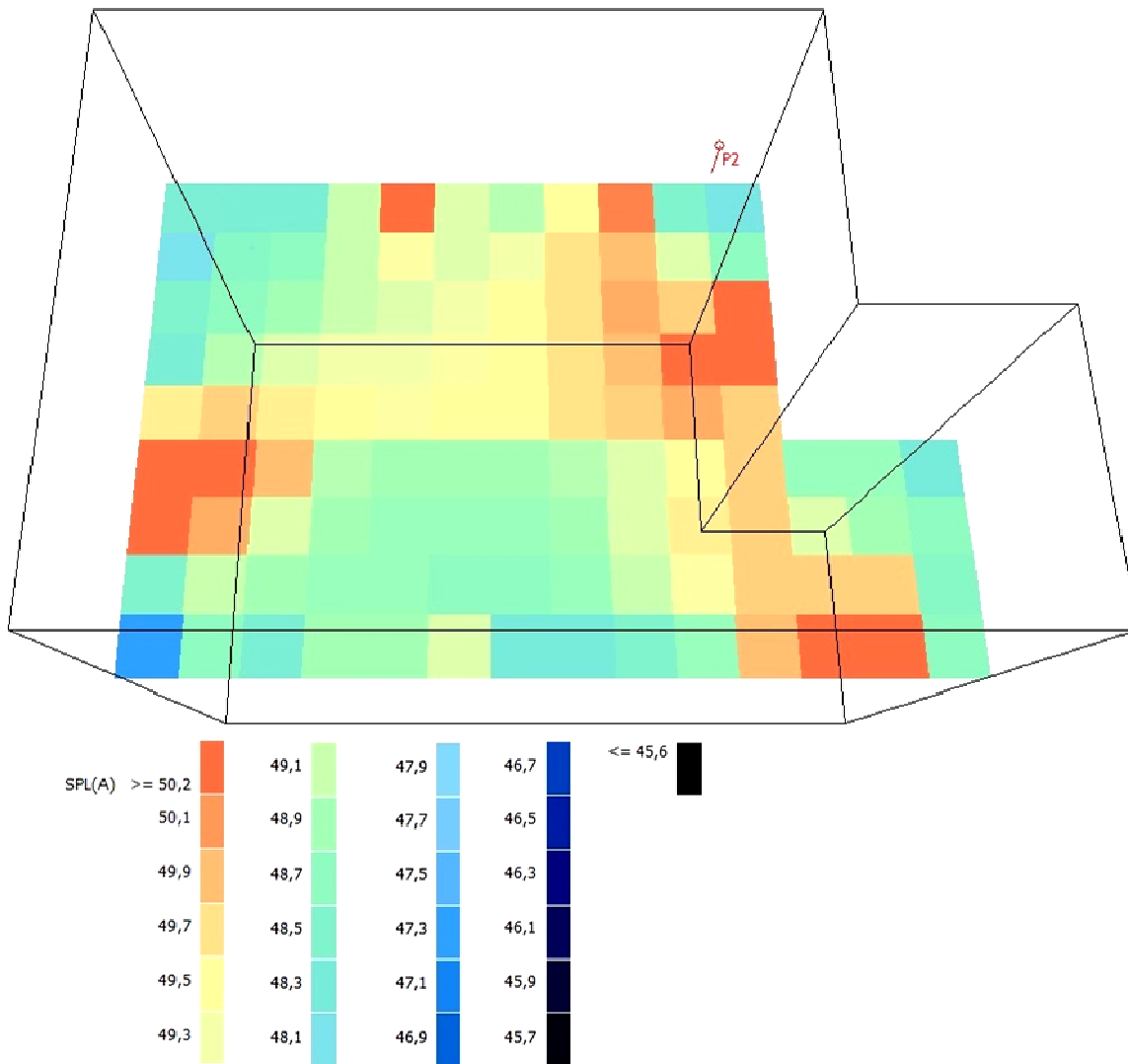
SPL(A) = 48,9(dB)
STI = 0,60 (Theoretical based on T30, STI = 0,61)

SPL(A), minimum = 48,88 dB
SPL(A), maximum = 49,98 dB
SPL(A), average = 49,20 dB

Hodnoty zobrazují jediný výraznější rozdíl, pokud je ventilátor umístěn ve výklenku nad vanou. K prvním odrazům zvukové vlny dochází od stěn výklenku, dále do prostoru koupelny se pak šíří již vlny po počátečních odrazech s nižší energií.

Ve zbylých dvou případech prakticky umístění zdroje hluku vliv nemá - při umístění ventilů ve středu místnosti nebo nad záchodovou mísou se šíří vlny volně od zdroje a hladiny akustického tlaku nejsou v různých částech prostoru rozdílné.

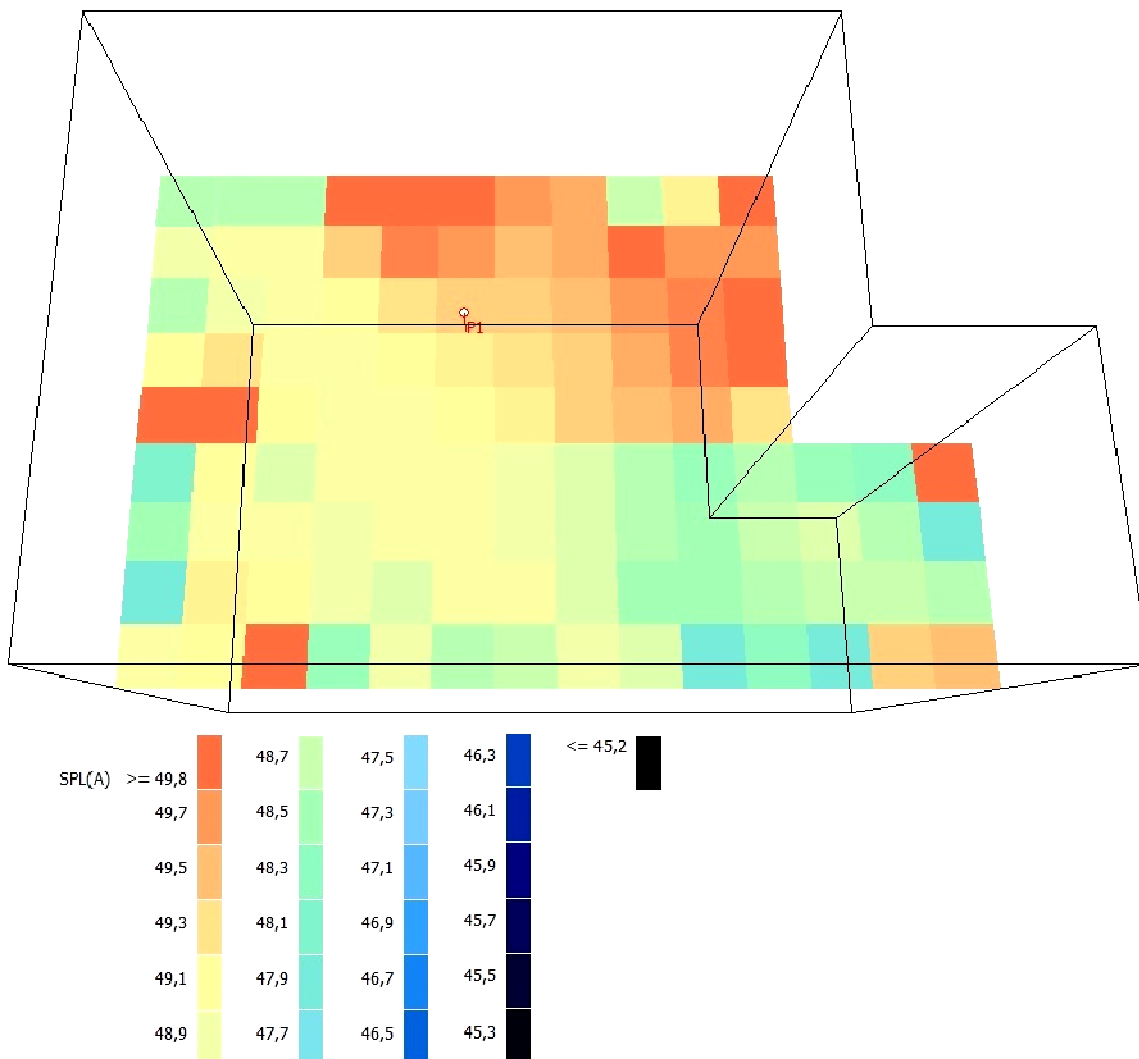
Ve stejném pořadí, jako jsou seřazeny vypočítané hodnoty, jsou seřazeny i simulace akustických polí tohoto prostoru (Obr. 27 až Obr. 29).



Obr. 27 Akustické pole - talířový ventil nad záchodovou mísou, pohled bez akustických úprav

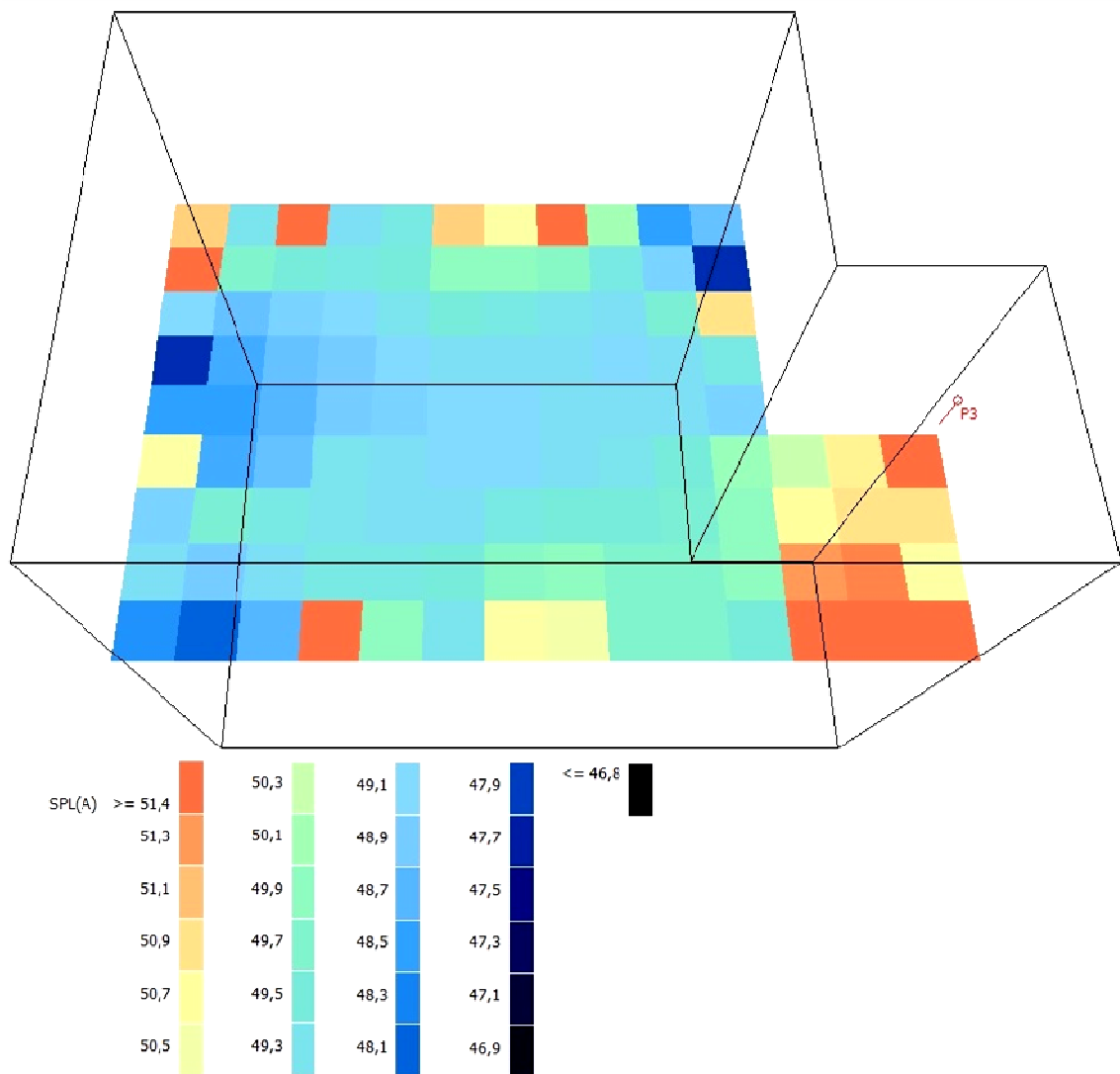
Jak je vidět i u vyčíslených hodnot akustického tlaku SPL(A), každé z umístění má mírně odlišný rozsah. Je patrné, že maximální akustický tlak na zobrazeném akustickém poli se v těchto třech modelovaných případech liší téměř o 2 dB. Proto je v tomto případě každá z legend mírně odlišná.

Je zřejmé, že osazení talířového ventilu má vliv na rozložení akustického tlaku po místnosti. Nejvyšší hodnoty jsou vždy podél stěn v závislosti na umístění zdroje hluku.



Obr. 28 Akustické pole - talířový ventil nad středem místnosti, pohled bez akustických úprav

Dle rozložení barev na simulaci akustického pole zobrazené na Obr. 28 by mohlo být mylně usuzováno, že osazení talířového ventilu (zdroji hluku) do středu místnosti je nejhorší možná varianta. Tento optický klam vzniká posunutím zobrazovaného rozsahu. Z legendy náležící této simulaci akustického pole je zřejmé, že zobrazované maximální hodnoty jsou nejnižší ze všech tří uvažovaných variant.



Obr. 29 Akustické pole - talířový ventil ve výklenku nad vanou, pohled bez akustických úprav

Popis k simulaci akustického pole navazuje na text výše.

Na zobrazení akustického pole na Obr. 29 je patrný nejvyšší akustický tlak ve výklenku s vanou, kde je umístěn talířový ventil - zdroj hluku. Bylo zde dosaženo nejvyšší maximum akustického tlaku z uvedených možností osazení talířového ventilu.

Nejvyšší akustický tlak ve výklenku nad vanou je způsoben odrazy od stěn výklenku - dráha zvukové vlny od zdroje k odrazivé ploše je malá, na zvukovou vlnu nemá vliv pohltivost vzduchu a vlna neztratí tolik zvukové energie. Po odrazu od jedné stěny dojde rychle k odrazu od další stěny a to má za následek, že hustota zvukových vln je ve výklenku největší oproti zbylému prostoru. V důsledku těchto všech faktorů je ve výklenku sice hluk vyšší, ale o to méně se pak šíří do zbytku prostoru.

4. Hodnoty akustického tlaku pro talířový ventil umístěný nad záchodovou mísou v širokopásmovém akustickém pohledu

Receiver Number: 1 Vana (x,y,z) = (1,40, 2,10, 1,00)

SPL(A) = 44,1(dB)

STI = 0,76 (Theoretical based on T30, STI = 0,74)

Receiver Number: 2 Záchodová mísa (x,y,z) = (0,40, 1,60, 1,30)

SPL(A) = 44,6(dB)

STI = 0,77 (Theoretical based on T30, STI = 0,74)

Receiver Number: 3 Umyvadlo (x,y,z) = (1,20, 0,50, 1,70)

SPL(A) = 44,1(dB)

STI = 0,77 (Theoretical based on T30, STI = 0,75)

Receiver Number: 4 Místo měření (x,y,z) = (0,90, 1,05, 1,50)

SPL(A) = 44,2(dB)

STI = 0,77 (Theoretical based on T30, STI = 0,75)

SPL(A), minimum = 44,11 dB

SPL(A), maximum = 44,58 dB

SPL(A), average = 44,26 dB

5. Hodnoty akustického tlaku pro talířový ventil umístěný nad středem místnosti v širokopásmovém akustickém pohledu

Receiver Number: 1 Vana (x,y,z) = (1,40, 2,10, 1,00)

SPL(A) = 45,3(dB)

STI = 0,78 (Theoretical based on T30, STI = 0,75)

Receiver Number: 2 Záchodová mísa (x,y,z) = (0,40, 1,60, 1,30)

SPL(A) = 43,7(dB)

STI = 0,76 (Theoretical based on T30, STI = 0,76)

Receiver Number: 3 Umyvadlo (x,y,z) = (1,20, 0,50, 1,70)

SPL(A) = 43,9(dB)

STI = 0,76 (Theoretical based on T30, STI = 0,75)

Receiver Number: 4 Místo měření (x,y,z) = (0,90, 1,05, 1,50)

SPL(A) = 43,8(dB)

STI = 0,77 (Theoretical based on T30, STI = 0,75)

SPL(A), minimum = 43,74 dB

SPL(A), maximum = 45,33 dB

SPL(A), average = 44,21 dB

6. Hodnoty akustického tlaku pro talířový ventil umístěný ve výklenku nad vanou v širokopásmovém akustickém pohledu

Receiver Number: 1 Vana (x,y,z) = (1,40, 2,10, 1,00)

SPL(A) = 44,3(dB)
STI = 0,77 (Theoretical based on T30, STI = 0,77)

Receiver Number: 2 Záchodová mísa (x,y,z) = (0,40, 1,60, 1,30)

SPL(A) = 44,3(dB)
STI = 0,77 (Theoretical based on T30, STI = 0,77)

Receiver Number: 3 Umyvadlo (x,y,z) = (1,20, 0,50, 1,70)

SPL(A) = 44,6(dB)
STI = 0,77 (Theoretical based on T30, STI = 0,77)

Receiver Number: 4 Místo měření (x,y,z) = (0,90, 1,05, 1,50)

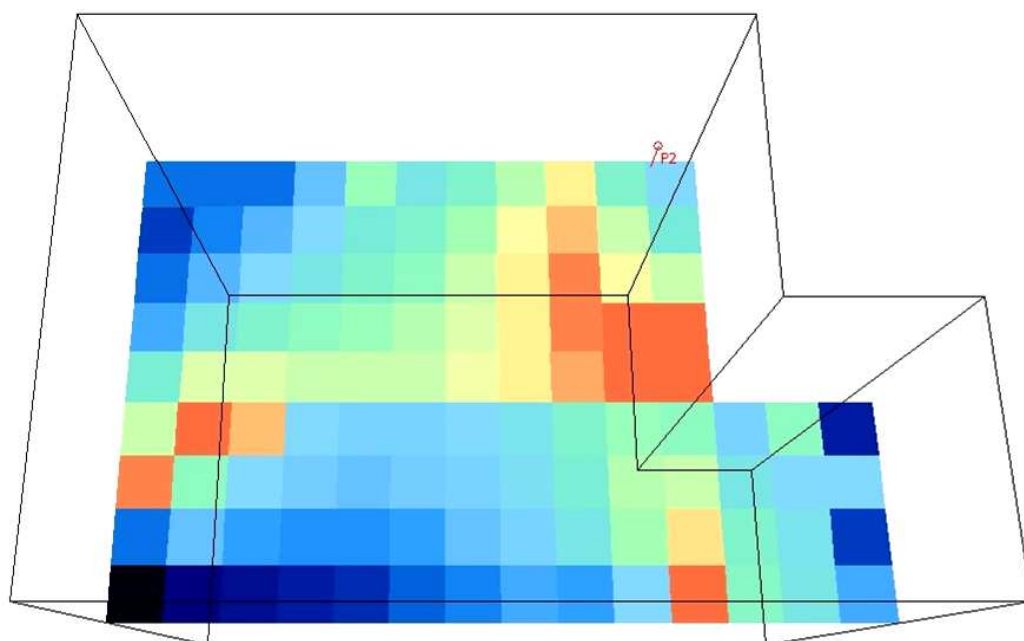
SPL(A) = 44,4(dB)
STI = 0,77 (Theoretical based on T30, STI = 0,77)

SPL(A), minimum = 44,28 dB
SPL(A), maximum = 44,56 dB
SPL(A), average = 44,39 dB

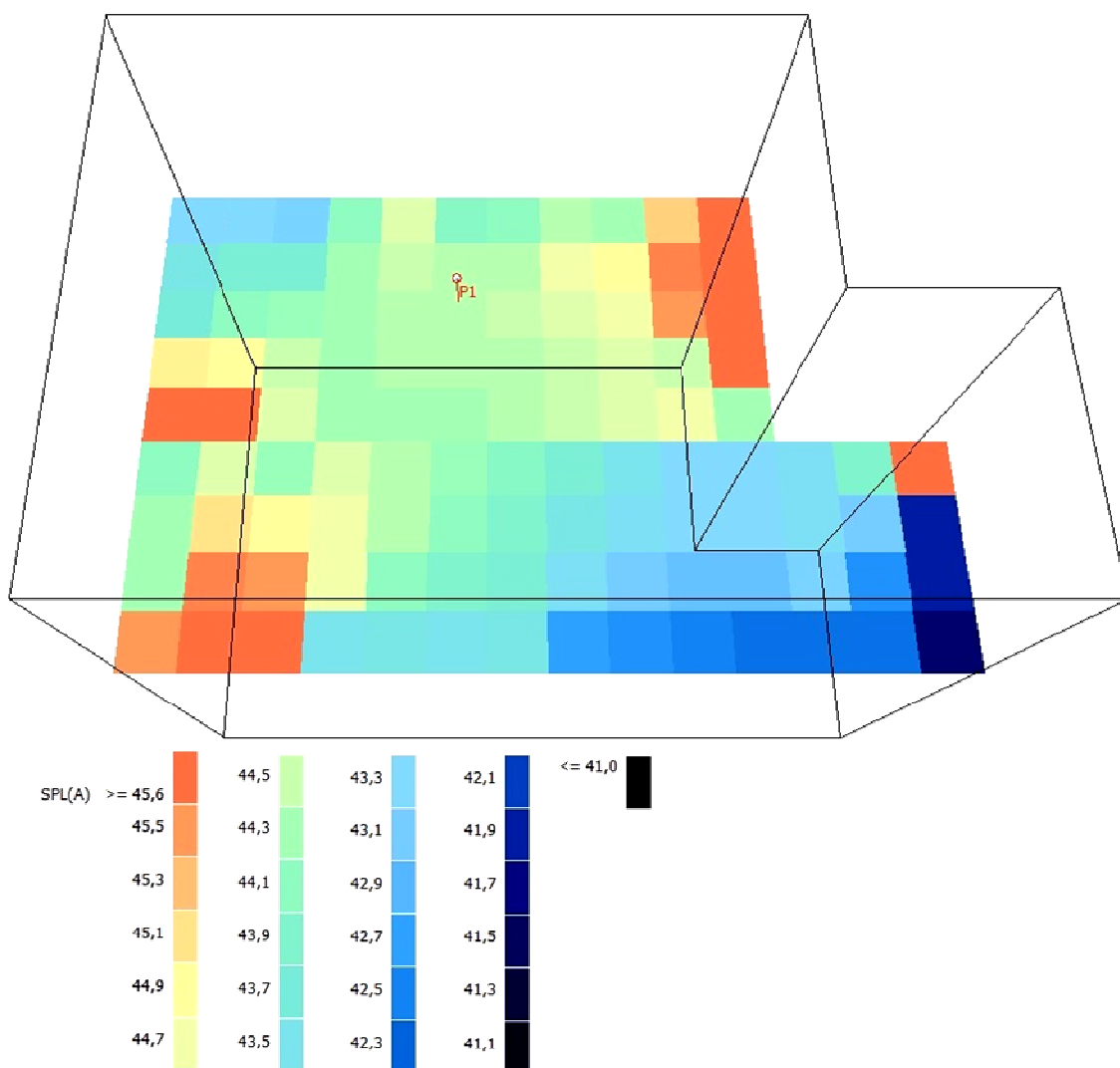
Na jednočíslné vyhodnocení vlivu osazení zdroje hluku má, stejně jako v předchozím případě, největší vliv umístění ve výklenku nad vanou. Toto umístění způsobuje nejvyšší diferenciaci rozložení akustického tlaku v daném prostoru, jak bylo popsáno v předchozím případě, kdy byl použit pohled bez akustických úprav. V samotném místě měření (bod 4) velký rozdíl nevzniká.

Velmi významný je vliv akustického pohledu, kdy oproti stropu bez akustických úprav (SDK) vycházejí hodnoty až o 5 dB nižší. Tzn. že, stejně jako v předchozí kapitole 5.2.1, je zřejmá již uvedená fyzikální zákonitost, kdy při každém zdvojnásobení pohltivosti místnosti klesá doba dozvuku na polovinu své původní hodnoty a hladina akustického tlaku se zároveň sníží o 3 dB - tzn. že umístěním širokopásmového akustického pohledu došlo ke zvýšení pohltivosti o více jak dvojnásobek oproti umístění pohledu bez akustických úprav.

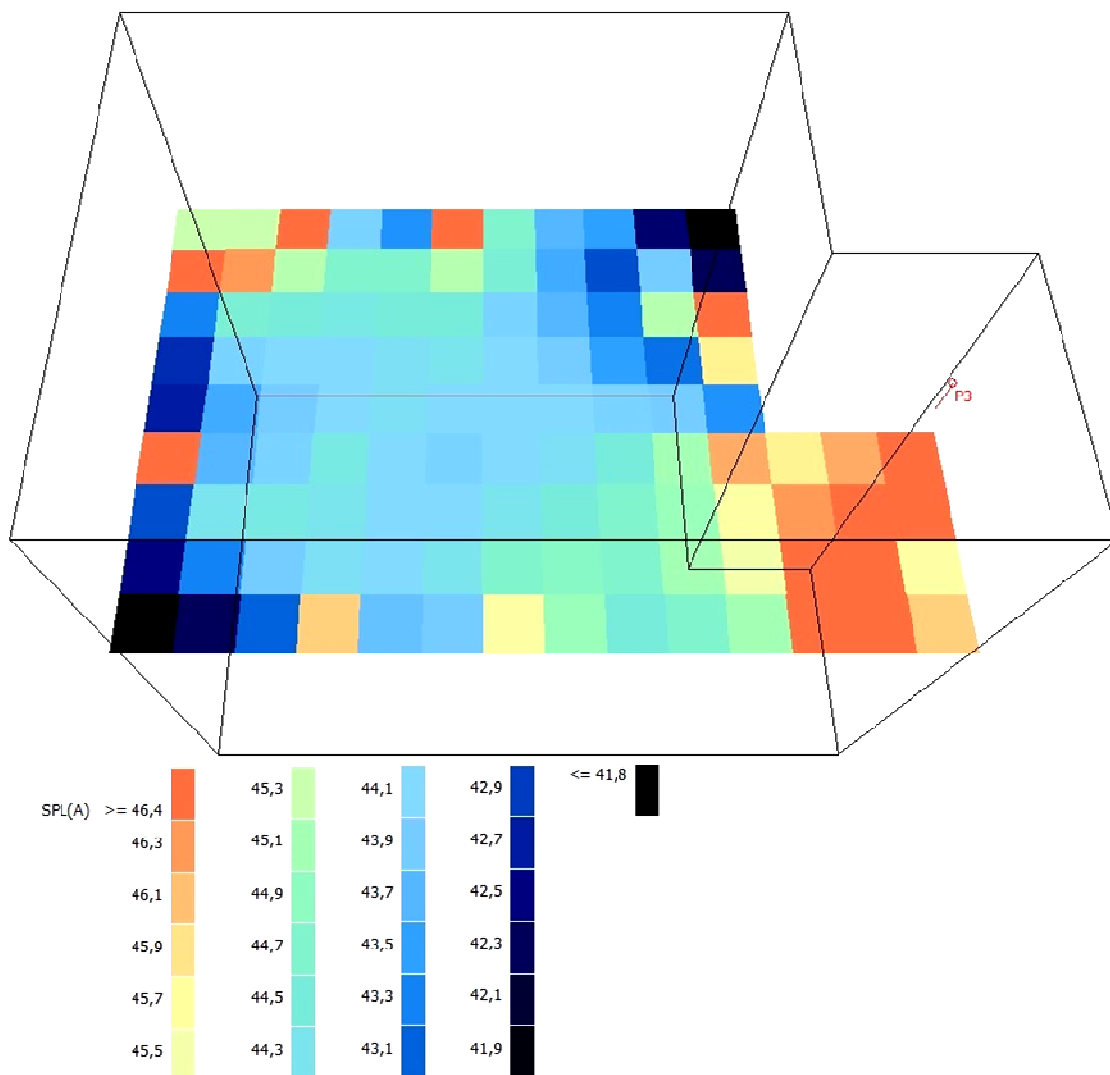
Na simulacích akustických polí zobrazených níže na Obr. 30 až Obr. 32 jsou zřejmé rozdíly v rozložení akustického tlaku po místnosti především oproti umístění zdroje hluku do výklenku nad vanou. Hodnoty, akustická pole i vypočítané rozsahy jsou velmi podobné pro první dvě varianty se širokopásmovým akustickým pohledem (Obr. 30 a Obr. 31), z toho důvodu mají i shodnou legendu zobrazovaných akustických tlaků.



Obr. 30 Akustické pole - talířový ventil nad záchodovou mísou, širokopásmový akustický pohled



Obr. 31 Akustické pole - talířový ventil nad středem místnosti, širokopásmový akustický pohled



Obr. 32 Akustické pole - talířový ventil ve výklenku nad vanou, širokopásmový akustický pohled

Opět je zcela zřejmý vliv umístění zdroje zvuku do výklenku nad vanou a platí již výše uvedené, že nejvyšší akustický tlak v tomto prostoru je způsoben odrazy od stěn výklenku a je zde nejvyšší hustota zvukových vln. Důsledkem je obdobný závěr, jak v případě osazení do podhledu bez akustických úprav - ve výklenku je sice hluk vyšší, ale o to méně se pak šíří do zbytku prostoru.

5.2.3 Vliv umístění talířového ventilu - velký prostor

V prostoru rozměrné koupelny byla zkoumána podobná problematika, jako ve výše uvedených kapitolách 5.2.1 a 5.2.2. Byl zkoumán vliv osazení talířového ventilu do stropu na akustiku v daném prostoru - v tomto případě o rozměrech 4×4 m. V předchozích dvou modelech jsou prostory koupelen poměrně malé, proto bylo zkoumáno, zda u rozměrnější koupelny budou mít větší vliv rozdíly umístění zdroje hluku. Při šíření hluku od zdroje je rozložení v prostoru rovnoměrnější, pokud je zdroj vzdálen od odrazivých ploch. V případě, kdy umístíme zdroj do blízkosti odrazivých ploch, dochází k četným odrazům od nejbližších stěn, do zbytku prostoru se tak část zvukové vlny šíří již po odrazech a s nižší zvukovou energií. Zvukovou energii snižuje i pohltivost vzduchu, i když je její hodnota v těchto prostorech velmi malá, ale i vzhledem k jejímu vlivu na opačné straně místnosti dosahujeme mnohem nižších hladin akustického tlaku.

V případě tohoto modelu byl uvažován pouze jeden zdroj hluku - talířový ventil, aby případné vlivy byly jasně rozpoznatelné.

Shodně jako v předešlém případě byl simulován decentrální systém větrání, kdy ventilátor je umístěn nad podhledem a distribuce (odvod) vzduchu je pomocí koncového prvku - talířového ventilu zabudovaného do konstrukce podhledu.

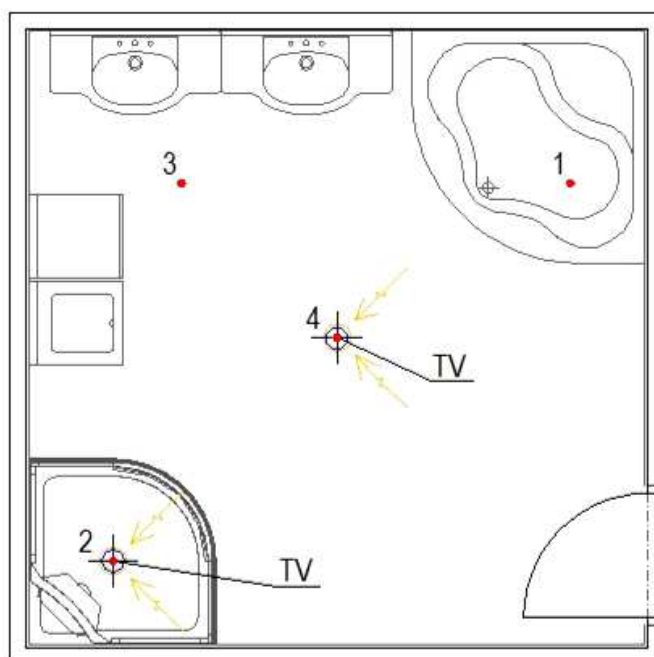
Modelovaný prostor byl zjednodušen tak, aby výsledky byly co nejpřesnější. Byly zadány rozměry místnosti s jednotlivými parametry stěn, podlahy a podhledové konstrukce. V prostoru nebylo uvažováno s umístěním prvků s významnou pohltivostí.

Byly modelovány dvě pozice talířového ventilu - nad sprchovým koutem a nad pomyslným středem místnosti.

Akustický tlak byl hodnocen ve čtyřech sledovaných bodech. Tři z nich jsou místa, ve kterých lze předpokládat nejčastější výskyt osob, čtvrtý je umístění měřicího přístroje. Sledované body:

1. ve vaně
2. nad sprchovým koutem
3. u umyvadla
4. měřicí místo - pomyslný střed místnosti

Varianty osazení talířových ventilů do podhledu i sledované body 1- 4 jsou zobrazeny na Obr. 33.



Obr. 33 Znáznornění sledovaných bodů a dvou variant umístění talířových ventilů

Stejně jako v předchozím případě byly uvažovány dvě konstrukce podhledu - bez akustických úprav (SDK) a širokopásmový akustický podhled.

Výsledky jsou uvedeny jako jednočíselná hodnota akustického tlaku s váhovým filtrem A v jednotlivých sledovaných místech v pořadí:

1. Talířový ventil umístěný nad sprchovým koutem s SDK podhledem
2. Talířový ventil umístěný nad středem místnosti s SDK podhledem
simulace akustických polí se zobrazením akustického tlaku s váhovým filtrem A těchto dvou stavů
3. Talířový ventil umístěný nad sprchovým koutem se širokopásmovým akustickým podhledem
4. Talířový ventil umístěný nad středem místnosti se širokopásmovým akustickým podhledem
simulace akustických polí se zobrazením akustického tlaku s váhovým filtrem A těchto dvou stavů

Hodnoty dozvuku dané koupelny (Eyring):

f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Podhled bez akustických úprav (SDK)	1,48	1,94	1,73	1,47	1,25	0,98
Širokopásmový akustický podhled	0,69	0,45	0,34	0,36	0,32	0,33

Pod zobrazenými vypočítanými hodnotami jsou vždy uvedené rozsahy akustických tlaků "SPL(A)", které byly výpočtem dosaženy v každém prostoru.

1. Hodnoty akustického tlaku pro talířový ventil umístěný nad sprchovým koutem v SDK pohledu

Receiver Number: 1 Vana (x,y,z) = (1,00, 0,50, 1,00)

SPL(A) = 44,5(dB)
STI = 0,53 (Theoretical based on T30, STI = 0,62)

Receiver Number: 2 Sprchový kout (x,y,z) = (3,20, 3,20, 1,70)

SPL(A) = 45,6(dB)
STI = 0,56 (Theoretical based on T30, STI = 0,62)

Receiver Number: 3 Umyvadlo (x,y,z) = (1,00, 3,00, 1,70)

SPL(A) = 44,3(dB)
STI = 0,53 (Theoretical based on T30, STI = 0,62)

Receiver Number: 4 Místo měření (x,y,z) = (2,00, 2,00, 1,50)

SPL(A) = 44,4(dB)
STI = 0,53 (Theoretical based on T30, STI = 0,62)

SPL(A), minimum = 44,33 dB

SPL(A), maximum = 45,58 dB

SPL(A), average = 44,70 dB

2. Hodnoty akustického tlaku pro talířový ventil umístěný nad pomyslným středem místnosti v SDK pohledu

Receiver Number: 1 Vana (x,y,z) = (1,00, 0,50, 1,00)

SPL(A) = 44,5(dB)
STI = 0,53 (Theoretical based on T30, STI = 0,62)

Receiver Number: 2 Sprchový kout (x,y,z) = (3,20, 3,20, 1,70)

SPL(A) = 44,5(dB)
STI = 0,53 (Theoretical based on T30, STI = 0,63)

Receiver Number: 3 Umyvadlo (x,y,z) = (1,00, 3,00, 1,70)

SPL(A) = 44,5(dB)
STI = 0,53 (Theoretical based on T30, STI = 0,62)

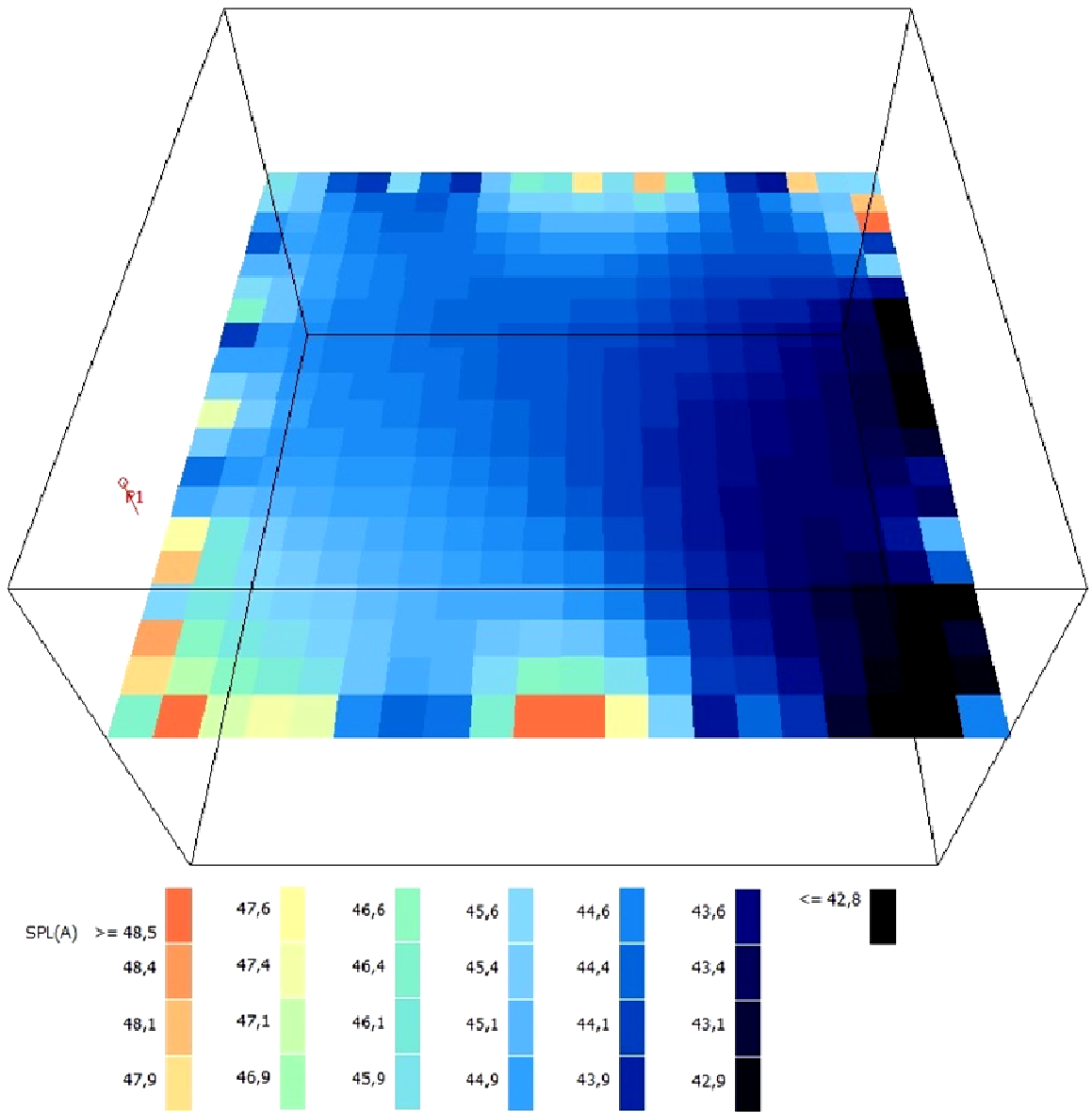
Receiver Number: 4 Místo měření (x,y,z) = (2,00, 2,00, 1,50)

SPL(A) = 44,8(dB)
STI = 0,54 (Theoretical based on T30, STI = 0,63)

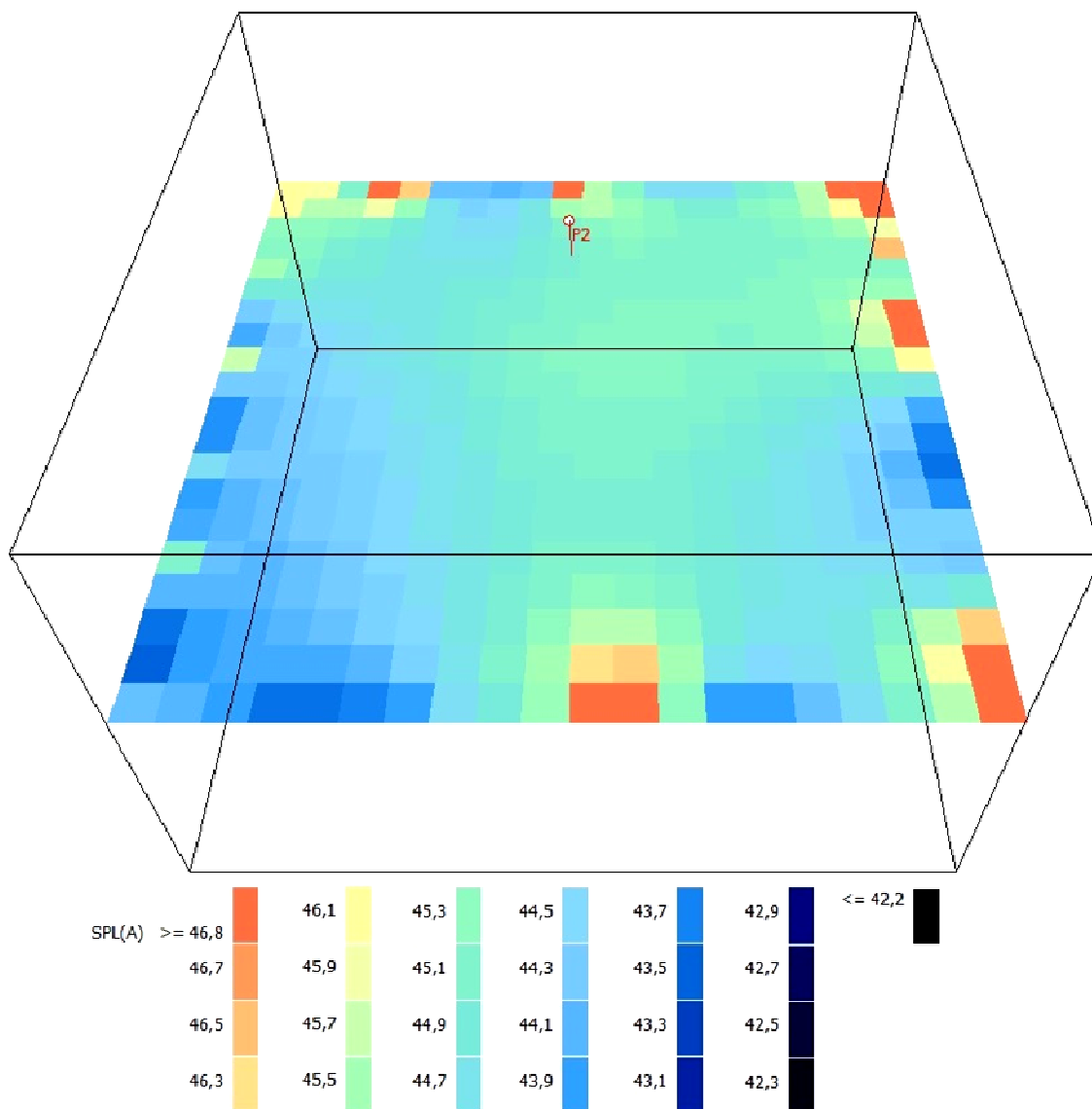
SPL(A), minimum = 44,50 dB

SPL(A), maximum = 44,85 dB

SPL(A), average = 44,61 dB



Obr. 34 Akustické pole - talířový ventil nad sprchovým koutem, pohled bez akustických úprav



Obr. 35 Akustické pole - talířový ventil ve středu místnosti, pohled bez akustických úprav

Ze simulací akustických polí je zřejmé, že umístění talířového ventilu má vliv na rozložení akustického tlaku v prostoru. Při osazení nad střed místnosti je akustický tlak rovnoměrně rozložen a nejsou zde zřejmé velké odchylky. V případě osazení nad sprchový kout je zřetelné, že nejhorším místem z pohledu akustiky bude právě sprchový kout, kdežto zbylý prostor je o 4-6 dB tišší. Vzhledem k účelu sprchového koutu a vlastní emisi hluku lze předpokládat, že vyšší akustický tlak nad tímto prostorem je zanedbatelný a uživateli běžně tolerovaný. Z pohledu vzduchotechniky je toto umístění ventilátoru vhodné vzhledem k nejvyšší emisivitě nežádoucích látek ze sprchy.

3. Hodnoty akustického tlaku pro talířový ventil umístěný nad sprchovým koutem v širokopásmovém akustickém pohledu

Receiver Number: 1 Vana (x,y,z) = (1,00, 0,50, 1,00)

SPL(A) = 38,9(dB)

STI = 0,70 (Theoretical based on T30, STI = 0,63)

Receiver Number: 2 Sprchový kout (x,y,z) = (3,20, 3,20, 1,70)

SPL(A) = 41,2(dB)

STI = 0,74 (Theoretical based on T30, STI = 0,65)

Receiver Number: 3 Umyvadlo (x,y,z) = (1,00, 3,00, 1,70)

SPL(A) = 39,0(dB)

STI = 0,70 (Theoretical based on T30, STI = 0,64)

Receiver Number: 4 Místo měření (x,y,z) = (2,00, 2,00, 1,50)

SPL(A) = 38,9(dB)

STI = 0,71 (Theoretical based on T30, STI = 0,64)

SPL(A), minimum = 38,91 dB

SPL(A), maximum = 41,22 dB

SPL(A), average = 39,52 dB

4. Hodnoty akustického tlaku pro talířový ventil umístěný nad pomyslným středem místnosti v širokopásmovém akustickém pohledu

Receiver Number: 1 Vana (x,y,z) = (1,00, 0,50, 1,00)

SPL(A) = 39,2(dB)

STI = 0,70 (Theoretical based on T30, STI = 0,65)

Receiver Number: 2 Sprchový kout (x,y,z) = (3,20, 3,20, 1,70)

SPL(A) = 39,3(dB)

STI = 0,70 (Theoretical based on T30, STI = 0,63)

Receiver Number: 3 Umyvadlo (x,y,z) = (1,00, 3,00, 1,70)

SPL(A) = 39,3(dB)

STI = 0,71 (Theoretical based on T30, STI = 0,64)

Receiver Number: 4 Místo měření (x,y,z) = (2,00, 2,00, 1,50)

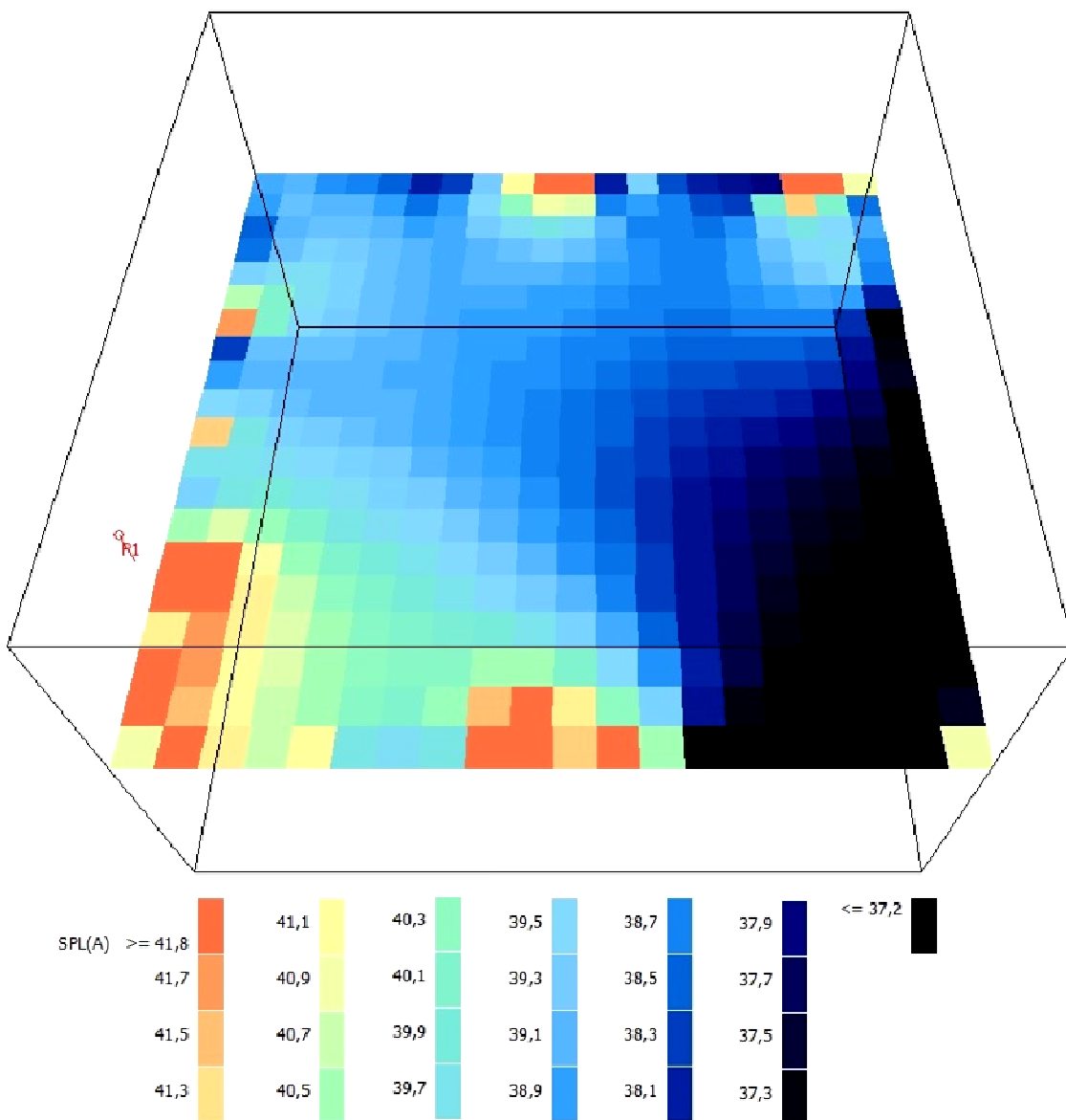
SPL(A) = 39,6(dB)

STI = 0,73 (Theoretical based on T30, STI = 0,66)

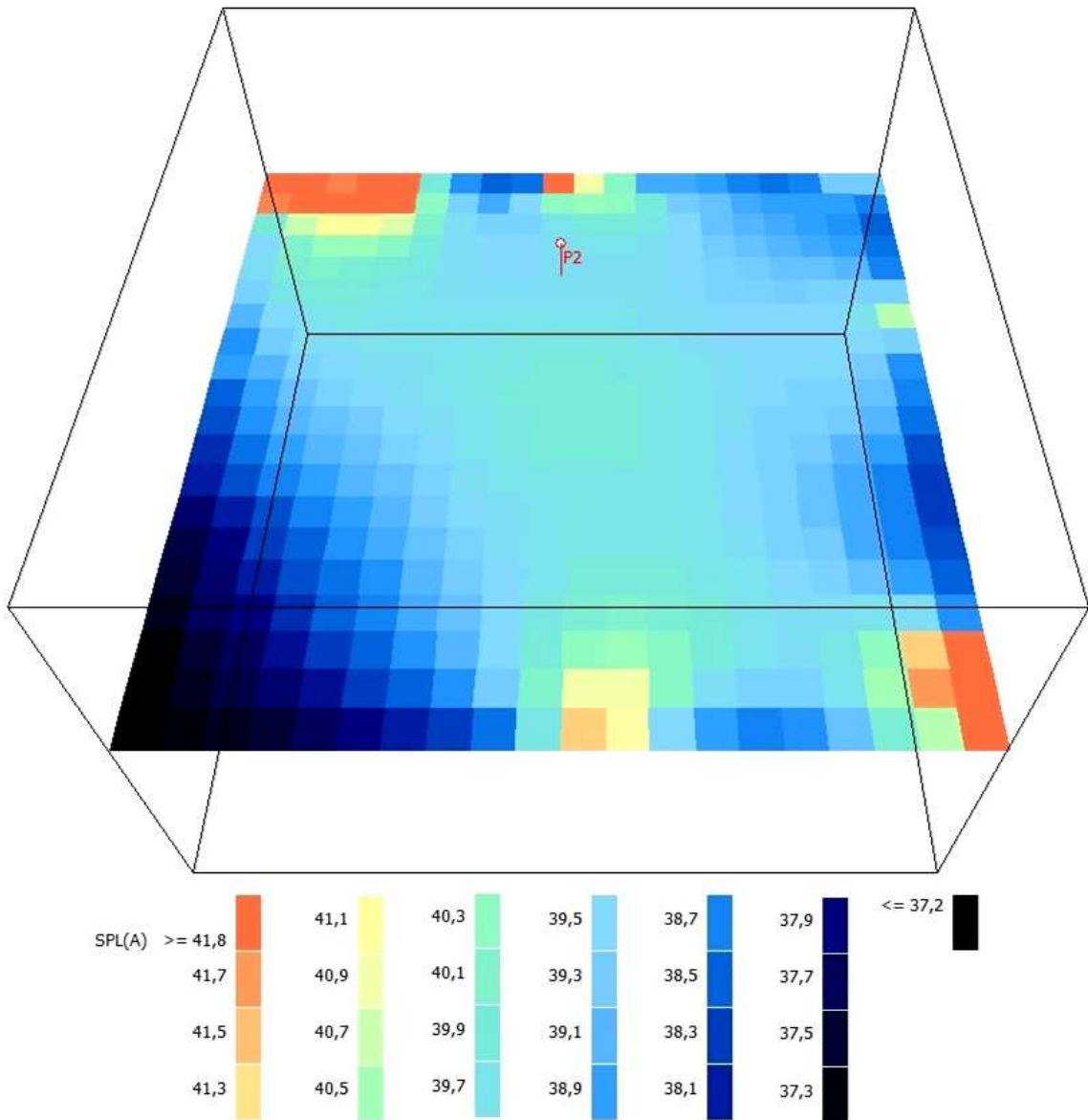
SPL(A), minimum = 39,16 dB

SPL(A), maximum = 39,63 dB

SPL(A), average = 39,34 dB



Obr. 36 Akustické pole - talířový ventil nad sprchovým koutem, širokopásmový akustický pohled



Obr. 37 Akustické pole - talířový ventil ve středu místnosti, širokopásmový akustický pohled

Při osazení talířového ventilu nad sprchový kout do širokopásmového akustického pohledu je způsob rozložení akustického tlaku v místnosti obdobný, jako u pohledu bez akustických úprav. Velký rozdíl ovšem je v dosažených hodnotách, které se liší až o 7 dB. V případě osazení doprostřed dispozice koupelny, jsou v simulacích akustického pole patrné větší rozdíly vznikající různými odrazy instalovaného zařízení koupelny. Obecně lze umístění talířového ventilu na střed, stejně jako v případě bez akustických úprav, vyhodnotit rozložení akustického tlaku jako rovnoměrné po ploše koupelny.

Ve větším prostoru hygienické místnosti je patrné, že umístění zdroje hluku má vliv na rozložení akustického tlaku a vhodnou volbou lze v prostoru docílit nižší akustické zátěže a tím zlepšit akustickou pohodu. Opět se potvrdil velký vliv osazení širokopásmového akustického pohledu, kdy lze docílit snížení akustického tlaku až o 5 dB, v případě umístění zdroje do rohu místnosti (nad sprchový kout) dojde k poklesu téměř o 7 dB.

5.3 Shrnutí dílčích výsledků

Jelikož je tato práce navázáním na výzkum [6], nebudou zde uvedeny shodné závěry již v [6] uvedené, ale pouze závěry vyplývající z výzkumů uvedených v této DP.

5.3.1 Rekapitulace a vyhodnocení experimentálního výzkumu

Z části experimentálního výzkumu, který byl založen na teoretických předpokladech, jehož provedení se konalo jak v experimentálním, tak v reálném prostředí hygienických místností, vplynuly níže uvedené skutečnosti. Nepříznivé účinky hluku v hygienických místnostech lze významně eliminovat:

- vhodnou volbou odváděného množství vzduchu
- správným zaregulováním systému (regulace otáček ventilátoru vzhledem k množství odváděného vzduchu a požadovanému externímu tlaku)
- vhodným zvolením odvodního prvku (jeho velikost vzhledem k množství vzduchu)
- správným zaregulováním odvodního prvku
- použitím tlumících prvků v rozvodech potrubí (akusticky pohltivé ohebné potrubí, tlumiče do potrubí) - na sání i na dopojení distribučních prvků
- kontrola správné instalace ventilátoru - osazení přes pružné prvky
- použitím tlumičů hluku na straně výfuku zařízení - zamezení šíření hluku přes stoupací potrubí
- u šíření hluku do okolních místností pružně odizolovat ventilátor instalovaný na středně těžké konstrukci (např. cihelné zdivo); při ovlivňování hluku v samotném prostoru pružně neizolovat
- ventilátor instalovaný na lehkou konstrukci (např. sádkartonová deska) pružně odizolovat od této konstrukce
- připojení ventilátoru realizovat do volného prostoru šachty, popř. koleno nebo T-kus uvnitř hlukově izolovat proti akustickému odrazu zpět do místnosti

5.3.2 Rekapitulace a vyhodnocení simulací

Z části výzkumu pomocí simulací prostředí hygienických místností, vplynuly níže uvedené skutečnosti. Nepříznivé účinky hluku v hygienických místnostech lze významně eliminovat:

- vhodným umístěním zdroje hluku (distribuční prvek/malý ventilátor) v půdorysně nesymetrické koupelně
- vhodným umístěním zdroje hluku vzhledem k předpokládanému pobytu osob a jinému zdroji hluku vznikajícímu užíváním hygienické místnosti, kdy je předpoklad, že dojde k maskovacímu účinku zvuku, tedy hluk z ventilátoru/distribučního prvku bude překryt jiným zdrojem (např. sprchový kout)
- osazením širokospektrálního akustického podhledu

5.4 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, kterými se legislativa nezabývá, ovlivňuje i okolní chráněné vnitřní prostory staveb, kterými se dle legislativy rozumí "pobytové místnosti ve stavbách zařízení pro výchovu a vzdělávání, pro zdravotní a sociální účely a ve funkčně obdobných, obytné místnosti ve všech stavbách" (citace § 30 zákona č. 258/2000 Sb.).

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. Na druhé straně v bytech lidé tráví podstatnou část svého času a stejně tak je zde podstatná akustická pohoda pro relaxaci a regeneraci.

V normě ČSN 730532 (Akustika - Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních výrobků) 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 mezi místnostmi v budovách a normových požadavků na neprůzvučnost obvodového pláště a jeho části. Pokud není technickou normou stanoveno jinak, prokazuje se dodržení normových požadavků na neprůzvučnost zkouškou a porovnáním jejího výsledku s požadavkem.

Posuzování vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi

Dle legislativního předpisu vážené hodnoty vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi v budovách, nesmí být nižší než požadavky stanovené v tabulce 1 normy. Požadavky platí ve směru přenosu zvuku.

Požadavky na zvukovou izolaci mezi místnostmi v budovách - převzato z ČSN 730532

Chráněný prostor (místnost příjmu zvuku)					
Řádka	Hlučný prostor (místnost zdroje hluku)	Požadavky na zvukovou izolaci			
		Stropy		Stěny	Dveře
		$R'_{w}, D_{nT,W}$ dB	$L'_{n,W}, L'_{nT,W}$ dB	$R'_{w}, D_{nT,W}$ dB	R_w dB
A. Bytové domy, rodinné domy - nejméně jedna obytná místnost bytu					
1	Všechny ostatní obytné místnosti téhož bytu	47	63	42	27
E. Nemocnice, zdravotnická zařízení - lůžkové pokoje, ordinace, operační sály, pokoje lékařů apod.					
13	Lůžkové pokoje, ordinace, ošetřovny, operační sály, komunikační a pomocné prostory (chodby, schodiště, haly)	52	58	47 ⁸⁾	27
14	Hlučné prostory (kuchyňe, technická zařízení budovy) $L_{A,max} \leq 85$ dB	62	48	62	-

Posouzení se provádí pomocí veličin:

- vážená stavební neprůzvučnost R'_{w} , pro místnosti se společnou celou plochou stěny, příčky nebo stropu;
- vážená stavební neprůzvučnost R'_{w} , pro místnosti, které mají společnou jen část dělicí konstrukce, menší než je plocha příslušné stěny, příčky nebo stropu při pohledu z vysílací nebo

přijímací místnosti. Je-li společná plocha S menší než 10 m^2 stanoví se plocha jako maximum z hodnot $(S; V/7,5)$ kde V je objem přijímací místnosti;

- vážená neprůzvučnost R_w (laboratorní), pro vnitřní dveře a jiné výplně otvorů;
- vážený normovaný rozdíl hladin $D_{nT,w}$, pro místnosti, které nemají společnou dělicí konstrukci, (tj. bezprostředně spolu nesousedí), nebo ve speciálních odůvodněných případech, např. když dělicí plochu S nelze jednoznačně stanovit.

Ve fázi návrhu a v projektové přípravě lze při posuzování též použít změřené nebo vypočtené laboratorní hodnoty neprůzvučnosti stavebních konstrukcí R_w a provést přibližný přepočtení na stavební váženou neprůzvučnost R'_w podle vztahu

$$R'_w = R_w - k^l$$

kde

k^l	je korekce, závislá na vedlejších cestách šíření zvuku:
$k^l = 2 \text{ dB}$	základní hodnota platná pro všechny dělicí konstrukce v masivních zděných nebo montovaných panelových stavbách z klasických materiálů (cihly, beton).
$k^l = 2 \text{ až } 5 \text{ dB}$	doporučené hodnoty pro těžké dělicí konstrukce ve skeletových stavbách (např. vyzdívané konstrukce ve skeletu apod).
$k^l = 4 \text{ až } 8 \text{ dB}$	doporučené hodnoty pro lehké dělicí konstrukce ve skeletových, ocelových nebo dřevěných stavbách (deskové dílce, sádkartonové konstrukce, dřevěné stropy apod.).

Pro složitější konstrukce nebo dispozice místností se doporučuje korekci stanovit individuálně. Přesnější odhad vlivu vedlejších cest lze získat výpočtem např. podle ČSN EN 12354-1 nebo jiným způsobem.

Neprůzvučnost mezi jednotlivými pokoji by měla být více než 42 dB u bytů, 47 dB u pokojů nemocnic. Tento požadavek nespĺňují keramické ani porobetonové tvarovky. Je možné použít SDK stěny jednoduché několikrát opláštěné nebo dvojité několikrát opláštěné. Důležité je i založení příček na podlaze a řešení roznášecí vrstvy podlahy.

Pro vedení potrubí platí, že prostupy potrubí stěnou nebo stropem by měly být izolovány, aby nedocházelo ke kontaktu potrubí s konstrukcí a tím k přenosu hluku z potrubí do konstrukce.

Dle poznámek uvedených v ČSN 730532 by hlučné místnosti příslušenství bytu, zejména WC, koupelny a kuchyně neměly být situovány vedle chráněných místností (např. ložnic) jiných bytů. V praxi se však běžně setkáváme s takovým uspořádáním prostorů, kdy toto doporučení není dodrženo. Dále je v normě uvedeno, že zařízení TZB musí splňovat požadavky na nejvyšší povolené emisní hodnoty akustického tlaku a vibrací, pokud jsou stanoveny v technických normách nebo předpisech. Akustický výkon malých ventilátorů o elektrickém příkonu vyšším jak 30 W omezuje až předpis EU 1253/2014 (o ekodesignu) s platností od r.2016. Bohužel všechny výrobky uvedené na trh před rokem 2016 tato omezení splňovat nemusí a podle aktuální nabídky výrobců lze předpokládat, že je trh zásoben velmi dobře. Ventilátorů s elektrickým příkonem do 30 W se toto omezení ani netýká.

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 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. V případě hluku s tónovými složkami, s výjimkou hluku z dopravy na pozemních komunikacích, drahách a z leteckého provozu, se přičte další korekce -5 dB. Za hluk ze zdrojů uvnitř objektu, s výjimkou hluku ze stavební činnosti, se pokládá i hluk ze zdrojů umístěných mimo tento objekt, který do tohoto objektu proniká jiným způsobem než vzduchem, zejména konstrukcemi nebo podložími.

Obytné místnosti

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

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

V případě zjištění výrazné tónové složky ve spektru hluku:

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

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

Nemocniční pokoje

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

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

V případě zjištění výrazné tónové složky ve spektru hluku:

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

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

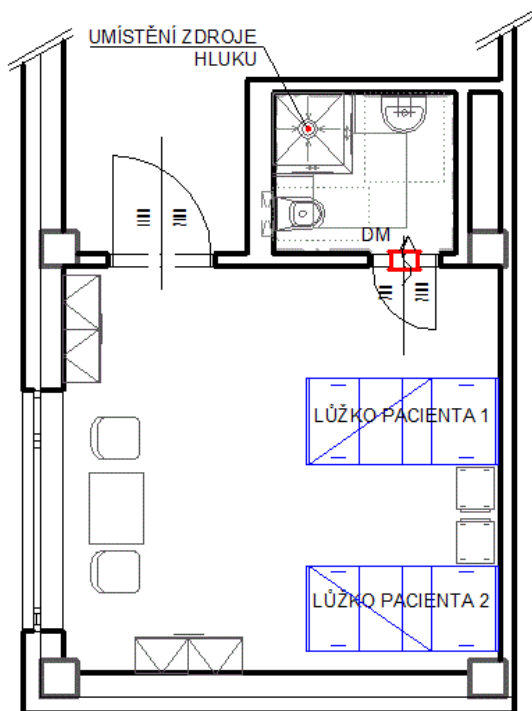
Vzhledem k tomu, že u zkoumaných hygienických místností předpokládáme zdroj uvnitř objektu, hodnotí se maximální hladiny akustického tlaku A v prostorech nemocničních pokojů a obytných místností.

Prostory v nemocnicích mají vysoké hygienické požadavky. Je třeba, aby jejich povrchy byly dobře udržovatelné a čistitelné. Omyvatelné povrchy mají vyšší odrazivost a hluk uvnitř se více „rozléhá“. Vzhledem k velmi nízkým hygienickým limitům pro chráněný vnitřní prostor je to velký problém. Je žádoucí použít na strop širokopásmové akustické podhledy s co nejvyšší pohltivostí, které zvýší pohltivost prostoru a tím pádem dojde ke snížení hladin akustického tlaku v místnosti.

Širokopásmový obklad je dle normy definován jako obklad, jehož vážený činitel zvukové pohltivosti $\alpha_w \geq 0,8$. Vážený činitel zvukové pohltivosti je jednočíselná kmitočtově nezávislá hodnota rovná hodnotě směrné křivky na 500 Hz po jejím posuvu, jak stanoví norma ČSN EN ISO 11 654. V nemocnicích je vhodné používat podhledy s váženým činitelem zvukové pohltivosti $\alpha_w \geq 0,9$, dle mezinárodní klasifikace třídy A.

5.4.1 Posouzení vlivu hluku z hygienické místnosti

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.



Obr. 38 Půdorys modelovaného prostoru - dvoulůžkový pokoj s hygienickým zázemím

V hygienické místnosti byl osazen zdroj hluku (např. ventilátor), který je umístěn v podhledu ve výšce 2,6 m. V hygienickém prostoru je uvažováno s běžným provedením - na podlaze keramická protiskluzová dlažba, na stěnách keramické obklady do výšky 2,2 m, výše malba, na stropě sádkartonový podhled. Pokoj je uvažován o výšce 3,0 m, podlahová krytina z PVC, se dvěma lůžky. Podhled v pokoji je uvažován ve dvou variantách

- sádkartonový podhled bez akustických úprav
- širokopásmový akustický podhled $\alpha_w = 0,85$

Velmi častým a ze vzduchotechnického hlediska logickým uspořádáním je zajištění přívodu čistého vzduchu do pokoje a odvod znehodnoceného vzduchu z prostoru s vysokou emisivitou nežádoucích látek - z hygienické místnosti. Pro umožnění proudění vzduchu mezi těmito prostory je nutné osadit do dveří (nebo stěny) mřížku, popř. umístit dveře bez prahu a zajistit dostatečně velkou štěrbinu pod dveřmi. Z pohledu akustiky jsou tyto dvě varianty srovnatelné - vždy půjde o otvor v konstrukci.

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. Pro přehlednost bylo použité i jiné barevné zobrazení.

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 podhledu $\alpha_w = 0,85$ je splněn limit pro akustický tlak v nemocnicích přes noc ($L_{Amax} = 25$ dB)
- takový akustický výkon zdroje, u kterého při osazení podhledu bez akustických úprav je splněn limit pro akustický tlak v nemocnicích přes noc ($L_{Amax} = 25$ dB)

Hodnoty akustického tlaku pro axiální ventilátor s $L_{WA} = 51,5$ dB , v pokoji SDK podhled

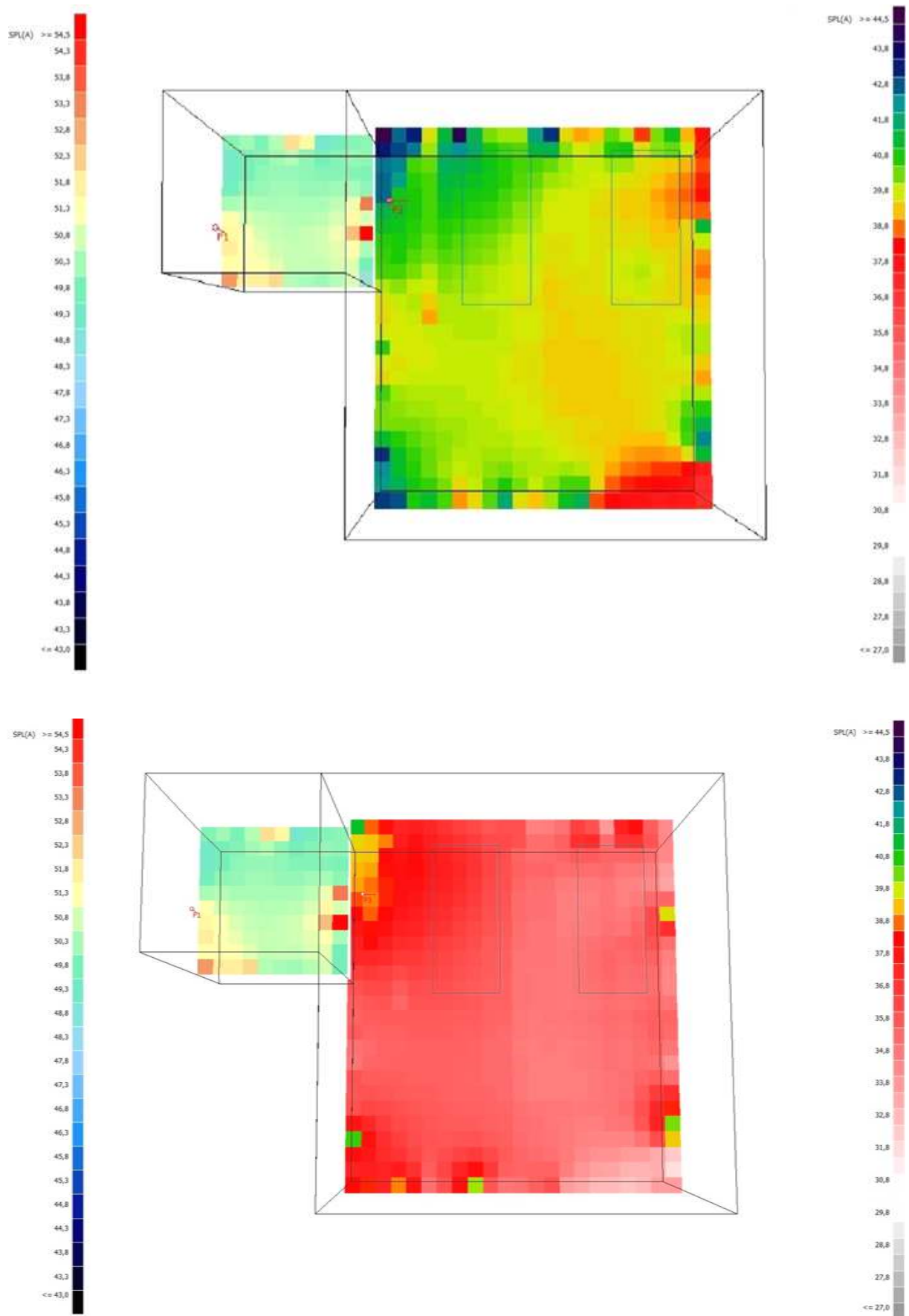
Receiver Number: 2 postel1		(x,y,z) = (4,40, 0,73, 0,60)							
Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
SPL (dB)		33,7	33,9	35,0	35,4	34,7	34,1	32,2	30,1
SPL(A) = 40,5(dB)									
STI = 0,53 (Theoretical based on T30, STI = 0,58)									

Receiver Number: 3 postel2		(x,y,z) = (4,40, 2,80, 0,60)							
Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
SPL (dB)		33,3	33,1	34,3	34,7	34,1	33,5	31,5	29,3
SPL(A) = 39,9(dB)									
STI = 0,52 (Theoretical based on T30, STI = 0,59)									

Hodnoty akustického tlaku pro axiální ventilátor s $L_{WA} = 51,5$ dB , v pokoji širokopásmový akustický podhled

Receiver Number: 2 postel1		(x,y,z) = (4,40, 0,73, 0,60)							
Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
SPL (dB)		31,8	31,9	30,1	29,5	29,5	28,7	27,2	25,8
SPL(A) = 35,4(dB)									
STI = 0,66 (Theoretical based on T30, STI = 0,68)									

Receiver Number: 3 postel2		(x,y,z) = (4,40, 2,80, 0,60)							
Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
SPL (dB)		31,2	30,9	28,8	28,1	28,2	27,3	25,5	24,0
SPL(A) = 33,9(dB)									
STI = 0,66 (Theoretical based on T30, STI = 0,67)									



Obr. 39 Akustické pole - axiální ventilátor $L_{WA}=51,5\text{dB}$, pohled bez akustických úprav - horní obrázek, širokopásmový akustický pohled - spodní obrázek

Z výše uvedených výsledků je zřejmé, že při osazení ventilátoru o $L_{WA} = 51,5$ dB by při daném uspořádání nebyl dodržen ani mírnější požadavek pro noční hodiny v bytech $L_{Amax} = 30$ dB a to ani pro vzdálenější lůžko a v případě osazení akustického podhledu, kdy hladina akustického tlaku dosahuje hodnoty 33,9 dB.

Hodnoty akustického tlaku pro zdroj hluku s $L_{WA} = 45$ dB, v pokoji SDK pohled

Receiver Number: 2 postel1		(x,y,z) = (4,40, 0,73, 0,60)							
Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
SPL (dB)		31,2	31,4	32,5	32,9	32,2	31,6	29,7	27,6
SPL(A) = 38,0(dB)									
STI = 0,53 (Theoretical based on T30, STI = 0,58)									

Receiver Number: 3 postel2		(x,y,z) = (4,40, 2,80, 0,60)							
Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
SPL (dB)		30,8	30,6	31,8	32,2	31,6	31,0	29,0	26,8
SPL(A) = 37,4(dB)									
STI = 0,52 (Theoretical based on T30, STI = 0,59)									

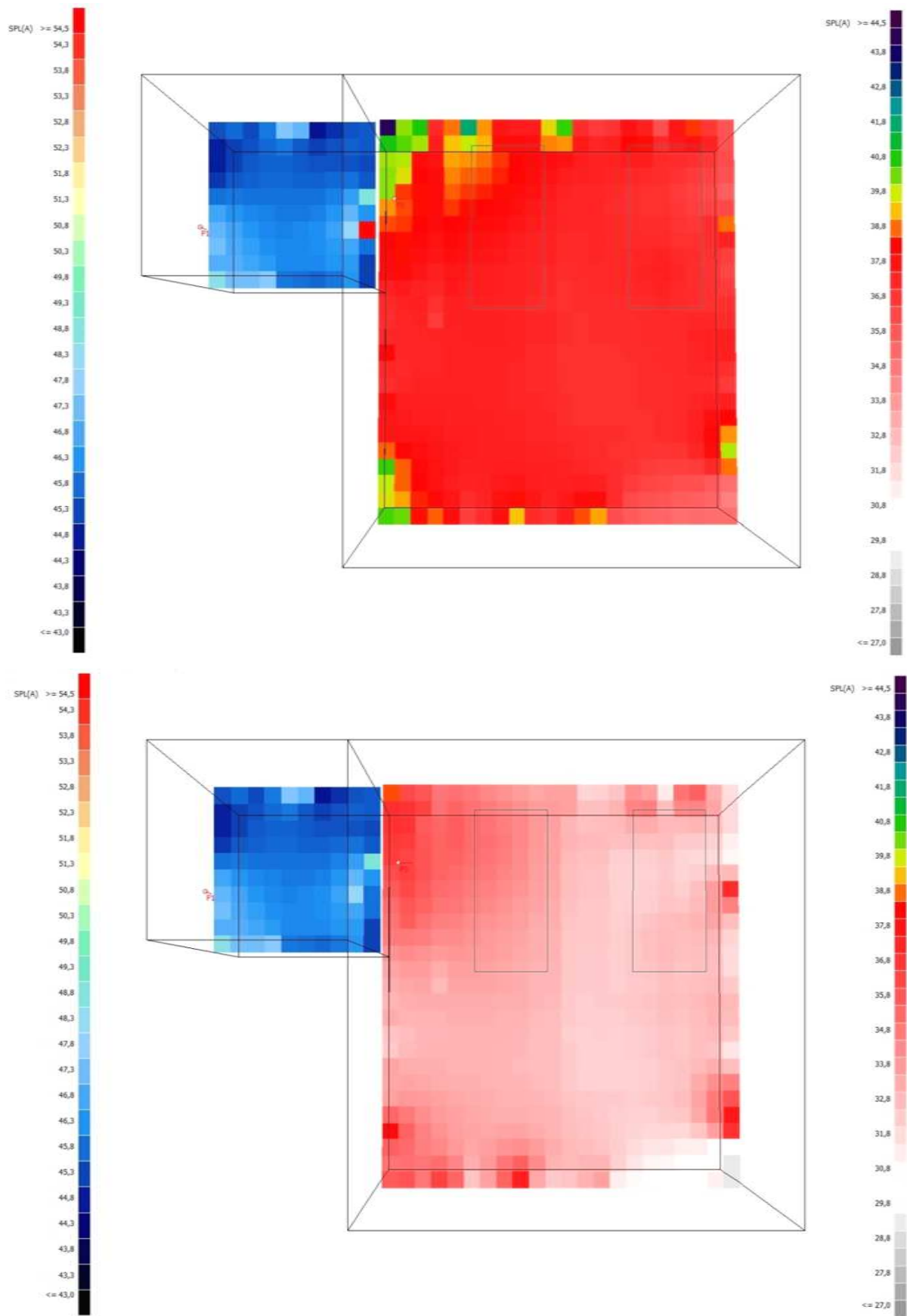
Hodnoty akustického tlaku pro zdroj hluku s $L_{WA} = 45$ dB, v pokoji širokopásmový akustický podhled

Receiver Number: 2 postel1		(x,y,z) = (4,40, 0,73, 0,60)							
Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
SPL (dB)		29,3	29,4	27,6	27,0	27,0	26,2	24,7	23,3
SPL(A) = 32,9(dB)									
STI = 0,66 (Theoretical based on T30, STI = 0,68)									

Receiver Number: 3 postel2		(x,y,z) = (4,40, 2,80, 0,60)							
Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
SPL (dB)		28,7	28,4	26,3	25,6	25,7	24,8	23,0	21,5
SPL(A) = 31,4(dB)									
STI = 0,66 (Theoretical based on T30, STI = 0,67)									

Dle legislativního předpisu EU o ekodesignu od r. 2016 je akustický výkon malých ventilátorů do 250 m³/h omezen na $L_{WA} = 45$ dB. Při uvažovaném uspořádání pokoje je z výše uvedených výsledků zřejmé, že ani s tímto omezením nebyl splněn požadovaný limit pro noční dobu bytů $L_{Amax} = 30$ dB a to ani pro vzdálenější lůžko a v případě osazení akustického podhledu, kdy hladina akustického tlaku dosahuje hodnoty 31,4 dB.

Na simulacích akustického pole je patrné, jak jsou rozloženy hladiny akustického tlaku. Při osazení podhledu bez akustických úprav je rozložení akustického tlaku v pokoji bez výraznějších poklesů. Ani při jiném rozmístění lůžek by nebyly splněny požadované akustické parametry ani pro jeden druh podhledu.



Obr. 40 Akustické pole - zdroj hluku o $L_{WA}=45\text{dB}$, pohled bez akustických úprav - horní obrázek, širokopásmový akustický pohled - spodní obrázek

Hodnoty akustického tlaku pro zdroj hluku s $L_{WA} = 40$ dB, v pokoji SDK pohled

Receiver Number: 2 postel1 (x,y,z) = (4,40, 0,73, 0,60)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
SPL (dB)	26,2	26,4	27,5	27,9	27,2	26,6	24,7	22,6

SPL(A) = 33,0(dB)
STI = 0,53 (Theoretical based on T30, STI = 0,58)

Receiver Number: 3 postel2 (x,y,z) = (4,40, 2,80, 0,60)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
SPL (dB)	25,8	25,6	26,8	27,2	26,6	26,0	24,0	21,8

SPL(A) = 32,4(dB)
STI = 0,52 (Theoretical based on T30, STI = 0,59)

Hodnoty akustického tlaku pro zdroj hluku s $L_{WA} = 40$ dB, v pokoji širokopásmový akustický pohled

Receiver Number: 2 postel1 (x,y,z) = (4,40, 0,73, 0,60)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
SPL (dB)	24,3	24,4	22,6	22,0	22,0	21,2	19,7	18,3

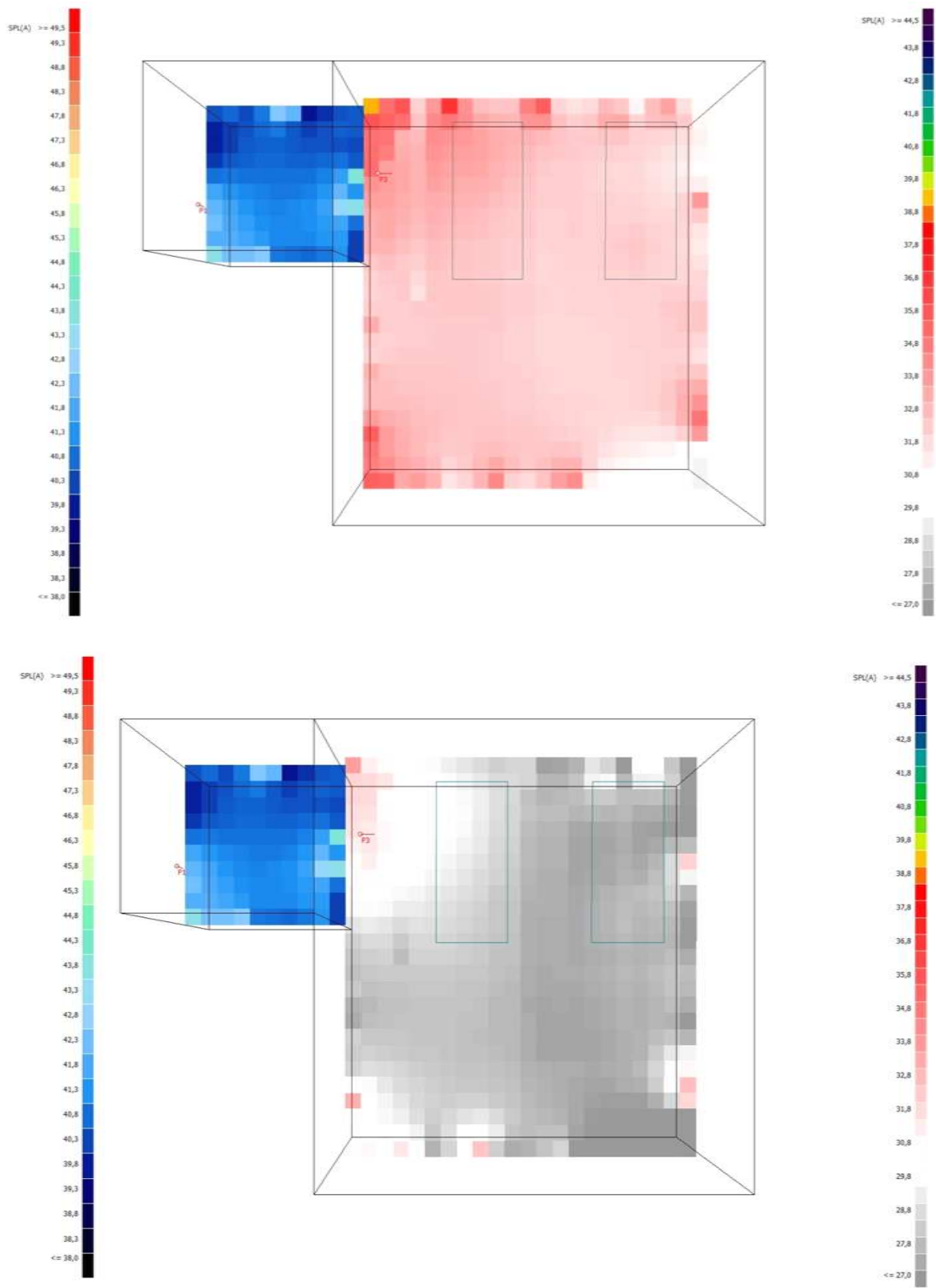
SPL(A) = 27,9(dB)
STI = 0,66 (Theoretical based on T30, STI = 0,68)

Receiver Number: 3 postel2 (x,y,z) = (4,40, 2,80, 0,60)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
SPL (dB)	23,7	23,4	21,3	20,6	20,7	19,8	18,0	16,5

SPL(A) = 26,4(dB)
STI = 0,66 (Theoretical based on T30, STI = 0,67)

Od r. 2018 bude platit přísnější předpis EU o ekodesignu pro akustický výkon malých ventilátorů $L_{WA} = 40$ dB. Při osazení pohledu bez akustických úprav nebude dodržen požadovaný limit ani pro noční dobu bytů $L_{Amax} = 30$ dB a to ani pro vzdálenější lůžko (dle výpočtu $L_{pA} = 32,4$ dB). Při osazení širokopásmového akustického pohledu je splněn noční limit pro byty, ale stále není splněn požadavek na maximální akustický tlak pro nemocniční pokoje $L_{Amax} = 25$ dB.



Obr. 41 Akustické pole - zdroj hluku o $L_{WA}=40\text{dB}$, pohled bez akustických úprav - horní obrázek, širokopásmový akustický pohled - spodní obrázek

Dále byl hledán takový zdroj umístěný v hygienické místnosti, při kterém je dodržen limit požadovaného akustického tlaku v nemocničních pokojích přes noc $L_{Amax} = 25$ dB při osazení širokopásmového akustického podhledu. Při simulaci zdroje o výkonu $L_{WA} = 37$ dB, bylo vyhověno akustickým požadavkům pro obě lůžka.

Hodnoty akustického tlaku pro zdroj hluku s $L_{WA} = 37$ dB, v pokoji SDK pohled

Receiver Number: 2 postel1 (x,y,z) = (4,40, 0,73, 0,60)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
SPL (dB)	23,2	23,4	24,5	24,9	24,2	23,6	21,7	19,6

SPL(A) = 30,0(dB)
 STI = 0,53 (Theoretical based on T30, STI = 0,58)

Receiver Number: 3 postel2 (x,y,z) = (4,40, 2,80, 0,60)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
SPL (dB)	22,8	22,6	23,8	24,2	23,6	23,0	21,0	18,8

SPL(A) = 29,4(dB)
 STI = 0,52 (Theoretical based on T30, STI = 0,59)

Hodnoty akustického tlaku pro zdroj hluku s $L_{WA} = 37$ dB, v pokoji širokopásmový akustický podhled

Receiver Number: 2 postel1 (x,y,z) = (4,40, 0,73, 0,60)

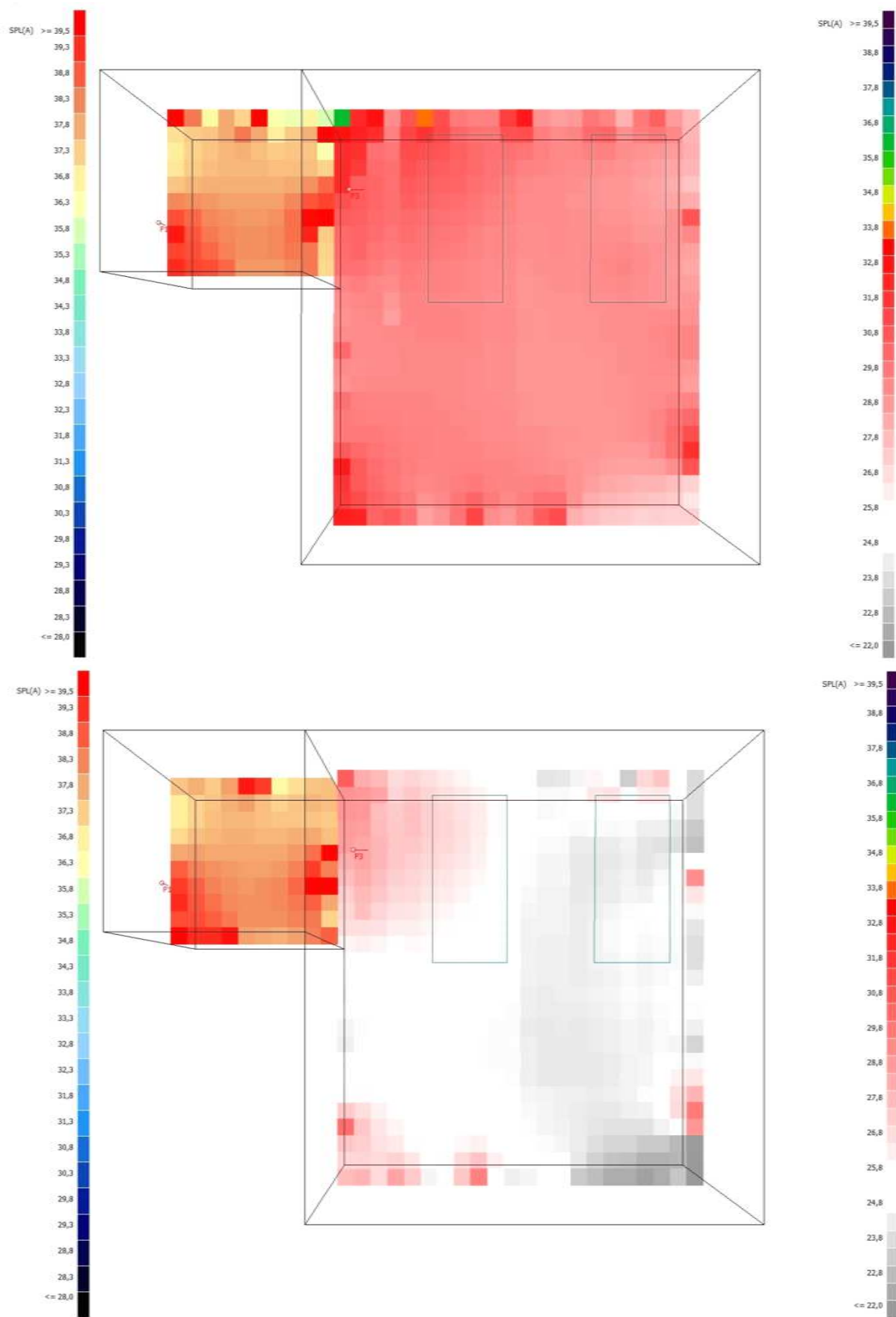
Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
SPL (dB)	21,3	21,4	19,6	19,0	19,0	18,2	16,7	15,3

SPL(A) = 24,9(dB)
 STI = 0,66 (Theoretical based on T30, STI = 0,68)

Receiver Number: 3 postel2 (x,y,z) = (4,40, 2,80, 0,60)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
SPL (dB)	20,7	20,4	18,3	17,6	17,7	16,8	15,0	13,5

SPL(A) = 23,4(dB)
 STI = 0,66 (Theoretical based on T30, STI = 0,67)



Obr. 42 Akustické pole - zdroj hluku o $L_{WA}=37\text{dB}$, pohled bez akustických úprav - horní obrázek, širokopásmový akustický pohled - spodní obrázek

Aby byl dodržen limit požadovaného akustického tlaku v nemocničních pokojích přes noc $L_{Amax} = 25$ dB při osazení podhledu bez akustických úprav, je nutné, aby zdroj hluku v hygienické místnosti měl maximálně $L_{WA} = 31$ dB. Výsledky výpočtu pro obě lůžka uvedeny níže.

Hodnoty akustického tlaku pro zdroj hluku s $L_{WA} = 31$ dB, v pokoji SDK podhled

Receiver Number: 2 postel1		(x,y,z) = (4,40, 0,73, 0,60)							
Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
SPL	(dB)	17,2	17,4	18,5	18,9	18,2	17,6	15,7	13,6
SPL(A) = 24,0(dB)									
STI = 0,53 (Theoretical based on T30, STI = 0,58)									

Receiver Number: 3 postel2		(x,y,z) = (4,40, 2,80, 0,60)							
Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
SPL	(dB)	16,8	16,6	17,8	18,2	17,6	17,0	15,0	12,8
SPL(A) = 23,4(dB)									
STI = 0,52 (Theoretical based on T30, STI = 0,59)									

Shrnutí výsledků simulací akustického tlaku v chráněném prostoru:

- při osazení zdroje o $L_{WA} = 45$ dB (zahrnuje i všechny hlučnější zdroje jako první případ o $L_{WA} = 51,5$ dB) by nebyl dodržen ani požadavek pro noční hodiny v bytech ani pro vzdálenější lůžko při osazení akustického podhledu
- při osazení zdroje o $L_{WA} = 40$ 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 $L_{WA} = 37$ dB, bylo vyhověno akustickým požadavkům v nemocničních pokojích přes noc při osazení širokospektrálního akustického podhledu
- při simulaci zdroje o výkonu $L_{WA} = 31$ dB, bylo vyhověno akustickým požadavkům v nemocničních pokojích přes noc při osazení podhledu bez akustických úprav

Ventilátory s tak nízkým akustickým výkonem jako je $L_{WA} = 37$ dB, popř. $L_{WA} = 31$ dB, je v dnešní době téměř nemožné na trhu najít. V případě, kdy má ventilátor nízký akustický výkon, má i nízký dopravní tlak. To znamená, že ho lze použít pouze na velmi krátké vzdálenosti potrubní trasy s minimálním počtem osazených tvarovek. V případě většiny uspořádání nemocnic a zpravidla i bytových jednotek je ventilátor s malým dopravním tlakem nepoužitelný.

Řešení uvedené problematiky pokojů v nemocnicích má z tohoto důvodu 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. To mj. znamená jiné řešení vzduchotechniky pro pokoj.

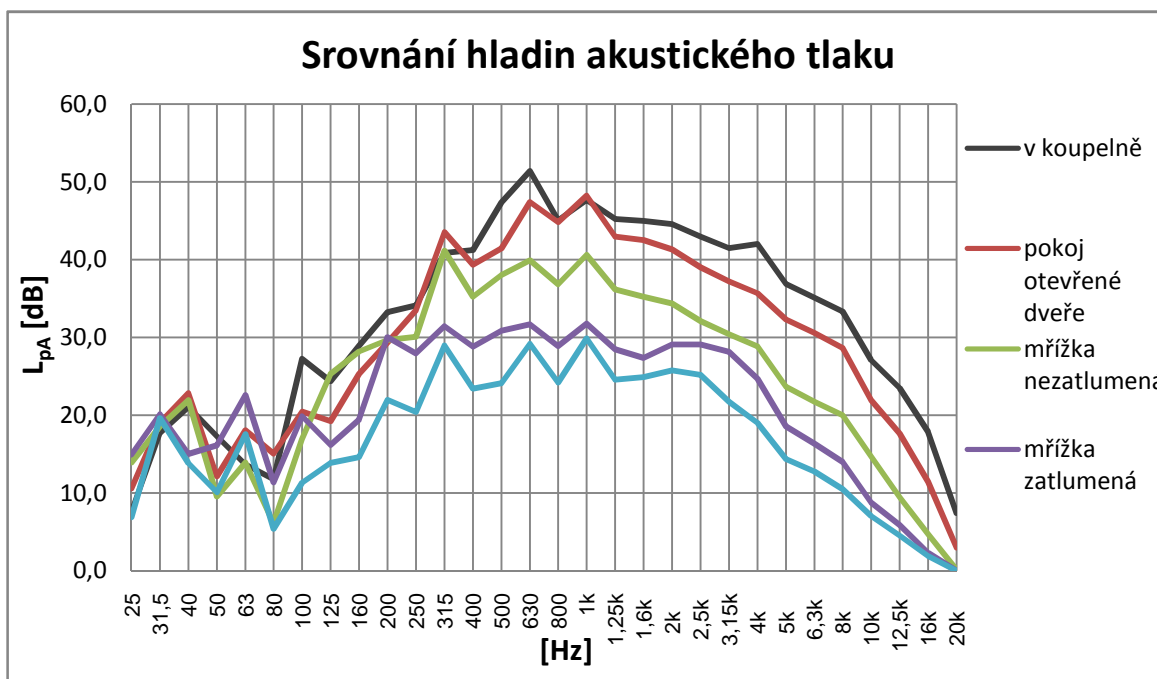
Pokud není možné jiné stavební řešení, je nutné zvolit jiný systém větrání, než decentrální. Tzn. centrální vzduchotechnická jednotka, jako největší zdroj hluku, bude umístěna v dostatečné vzdálenosti od chráněných místností. V trase budou důsledně osazeny tlumiče hluku, potrubní trasy budou realizovány v takové dimenzi, aby prouděním vzduchu nevznikal další hluk, bude správně zvolen koncový prvek atd.

Jiným z částečných řešení je možné osazení zatlumené dveřní mřížky, která by dle podkladů od výrobce měla zvýšit neprůzvučnost přes mřížku až o 8 dB. Toto opatření bude dostačující pouze v případě, kdy je zdroj hluku již dostatečně zatlumen. Pro lepší znázornění byl naměřen Graf 7, který znázorňuje spektrální průběh akustických tlaků L_{pA} pro různé vzdálenosti od zdroje a s použitím různých prvků o rozdílné neprůzvučnosti. Byly měřeny tyto stavy (při zapnutém ventilátoru):

- akustický tlak naměřený v prostoru koupelny
- akustický tlak v sousedním pokoji při plně otevřených dveřích
- akustický tlak za zavřenými dveřmi s osazením nezatlumené mřížky
- akustický tlak za zavřenými dveřmi s osazením zatlumené mřížky
- akustický tlak za plnými zavřenými dveřmi

V pokoji sousedícím s hygienickou místností byl měřicí přístroj umístěn vždy na stejném místě, pouze byly měněny prvky, přes které se šířila akustická energie. Z grafu je patrné, které frekvence jsou zatlumením nejvíce ovlivněny a jakých útlumů lze případně dosáhnout. Také je patrné, že nezatlumená mřížka má srovnatelný průběh s plně otevřenými dveřmi, pouze její průběh je posunutý o několik decibelů níže. Níže jsou uvedeny naměřené hodnoty $L_{A\text{ eq,T}}$ a $L_{pA\text{ max}}$ pro jednotlivé měřené stavy.

Popis místa	$L_{A\text{ eq,T}}$ [dB]	$L_{pA\text{ max}}$ [dB]
v koupelně	55,9	56,8
pokoj - otevřené dveře	53,8	54,8
pokoj - mřížka nezatlumená	47,8	49,0
pokoj - mřížka zatlumená	40,9	44,5
pokoj - zavřené dveře	36,9	39,0



Graf 7 Srovnání hladin akustického tlaku

Uvažujme situaci, kdy bude možné změnit stavební 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:

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

kde je

L_2	akustický tlak v místnosti přijímače [dB]
L_1	akustický tlak místnosti se zdrojem hluku [dB]
R'_w	stavební neprůzvučnost konstrukce [dB]
S	plocha stěny zářiče [m ²]
A	ekvivalentní pohltivá plocha místnosti přijímače [m ²]

Zvýšení o 2 dB je uvažováno vzhledem k bočním přenosům.

Provedeme-li výpočet pro výše uvedenou místnost a jeden z naměřených ventilátorů (kap. 5.1.3) o $L_{pAmax} = 73,8$ dB, dostaneme hodnoty akustického tlaku v chráněném prostoru:

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

Z uvedených výpočtů vyplývá, že v bytě ani v nemocničním pokoji s podhledem bez akustických úprav nebudou dodrženy požadované hodnoty v nočním režimu (30 dB pro byt/ 25 dB pro nemocniční pokoj). Je zřejmé, že vypočítané hodnoty s osazením širokopásmového akustického podhledu jsou těsně pod hranicí, kdy jsou ještě dodrženy požadované limity v prostorech.

Závěry pro neprůzvučnost stěny:

- I když bude hygienická místnost oddělena příčkou, je nutné vždy osadit akustický podhled o minimální zvukové pohltivosti $\alpha = 0,85$, jinak nebudou dodrženy požadované parametry v chráněných prostorech.
- Je nejvýš pravděpodobné, že při reálném měření nikdy nebude jediným zdrojem hluku ventilátor v hygienické místnosti, a proto dojde k sečtení všech vlivů a 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, proto i s ventilátorem o nižším akustickém výkonu, než byl použitý pro výpočet, nelze dosáhnout normových hodnot v chráněných prostorech.
- Stavebně je nutné dodržení požadovaných neprůzvučností konstrukcí. V praxi se často setkáme s opakem. Už při návrhu stavby 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 sádkartonu 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

Předmětem výzkumu byly následující definované cíle (kap.3.1):

Analýza okrajových podmínek – akustika je podstatná složka interního mikroklimatu a má velký vliv na pohodu prostředí. Dle ČSN EN 15665 se změnou Z1 jsou stanoveny hodnoty intenzity větrání v bytových jednotkách. Jedním ze způsobů dodržení této normy je využití ventilátorů osazených v hygienických místnostech, z čehož vyplývá zátěž celodenním hlukem.

Vytvoření modelu zkoumané problematiky a stanovení okrajových podmínek jednotlivých variant – DP se zaměřuje na způsob odvodu vzduchu pomocí decentrálních ventilátorů, vzhledem k jejich časté realizaci v bytových prostorech a největšímu rozsahu akustických problémů (zahrnující stížnosti obyvatel bytů i jejich sousedů). Byly definovány okrajové podmínky umístění v hygienických prostorech, které se vyznačují především vysokou odrazivostí povrchů a malými rozměry prostoru.

V laboratoři byly realizovány experimenty, kdy byla zkoumána problematika způsobu osazování různých 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 instalovaný na této konstrukci pevně s touto konstrukcí spřáhnout, aby mohla případné vibrace ztlumit. Dále bylo prokázáno, že největší vliv na zvýšení hluku v prostoru hygienické místnosti má akusticky nezatluměná 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 oproti doloženým údajům od výrobce. Bylo prokázáno, že naměřené hodnoty uvnitř hygienických prostor jsou vždy vyšší, než dokládané údaje výrobců. V nejhorším z případů tento rozdíl činil až 22 dB (kap. 5.1.3). Hluk, přenášený stoupacím potrubím mezi hygienickými místnostmi, rozhodně není zanedbatelný. 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 byl proveden *Teoretický výzkum akustiky hygienických místností pomocí simulací akustických polí*. Byla zkoumána problematika vhodnosti umístění zdroje hluku ve třech variantních uspořádání hygienických místností. Byl jasně prokázán vliv zvýšení pohltivosti prostoru (pomocí širokopásmového akustického pohledu) a vliv umístění zdroje hluku (ventilátoru, distribučního prvku) 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 přičky nebude dostatečná pro jeho zatlumení a bude překročen legislativní limit v chráněných prostorech.

V průběhu doktorského studia byla realizována spolupráce na výzkumu [6] a některé z dosažených poznatků byly dále prohlubovány a ověřovány. V laboratoři vybudované na FAST VUT v Brně, která představuje typické prostředí hygienické místnosti, byly realizovány experimenty, jejichž výsledky jsou uvedeny v kap.5. Vzhledem k možnostem laboratoře, byl zkoumán vliv osazení jednotlivých typů ventilátorů (axiální, radiální) na stěnu a strop přes pružnou podložku a dopad tohoto osazení na hluk emitovaný do místnosti. Dále byl zkoumán vliv připojení těchto ventilátorů na pevné potrubí a dopad na akustiku v hygienické místnosti.

V reálném prostředí hygienických místností v bytech byly zkoumány skutečné provozní stavy osazeného zařízení a jejich vliv na akustické mikroklima těchto prostorů. Byly vyhodnoceny možné projekční a montážní chyby a popř. navrženo jejich řešení.

Pomocí softwaru Odeon bylo modelováno několik půdorysných variant hygienických místností a byl zkoumán vliv umístění talířového ventilu (zdroje hluku) na akustiku v místnosti vč. vlivu dvou typů podhledů - bez akustických úprav a širokopásmového akustického podhledu.

Dále byla provedena simulace šíření hluku z hygienického prostoru do chráněných místností staveb. Byl jasně prokázána důležitost tématu hluku v hygienických místnostech.

V kap.5.3 bylo provedeno shrnutí dílčích výsledků, vyhodnocení jednotlivých měření a definování závěrů pro zlepšení akustického mikroklimatu v hygienických místnostech, možnosti uplatnění v praxi je věnována další samostatná kapitola.

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. sádkartón) 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 - tzn. vstup do hygienické místnosti přímo z pokoje.
- V případě stávajícího nejčastějšího řešení nemocničních pokojů volit jiný, než decentrální způsob větrání a důsledně dbát na dodržení akustického výkonu zdroje L_{WA} v hygienické místnosti pod 31dB, respektive pod 37 dB.
- 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 bytového 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 objeveno 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

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [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, Ctírad 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] SCHAUER, Pavel: Akustika, Akademické nakladatelství Cerm, s.r.o., Brno 2002, 57 s., ISBN 80-214-2069-3
- [8] MELKA, Alois: Základy experimentální psychoakustiky, Akademie Múzických umění v Praze, 2005, 327 s., ISBN 80-7331-043-0
- [9] JOKL, Miloslav: Teorie vnitřního prostředí budov, České vysoké učení technické, 1991, 261 s., ISBN 80-01-00481-3
- [10] JOKL, Miloslav: Zdravé obytné a pracovní prostředí, Academia, 2002, 261 s., ISBN 80-200-0928-0
- [11] 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

Elektronické zdroje

- [12] <http://www.itinnitus.cz>
- [13] www.greif.cz

Seznam legislativních předpisů

- [14] Zákon 258/2000 Sb. O ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů
- [15] Nařízení vlády č.272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací se změnou č. 217/2016 Sb.
- [16] Metodický návod pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí Č.j. HEM-300-11.12.01-34065, (Ministerstvo zdravotnictví)
- [17] ČSN 01 1600 Akustika – Terminologie
- [18] ČSN EN ISO 3740 Akustika - Určení hladin akustického výkonu zdrojů hluku - Směrnice pro užití základních norem
- [19] ČSN EN ISO 3747 Akustika - Určení hladin akustického výkonu zdrojů hluku pomocí akustického tlaku - Srovnávací metoda in situ
- [20] ČSN ISO 7574-1 Akustika. Statistické metody pro určení a ověření stanovených hodnot. Emise hluku strojů a zařízení. Část 1: Všeobecné zásady a definice
- [21] ČSN EN ISO 12001 Akustika - Hluk vyzařovaný stroji a zařízeními - Pravidla pro tvorbu a prezentaci zkušebních předpisů pro hluk
- [22] ČSN ISO 1996-1 Akustika - Popis, měření a hodnocení hluku prostředí - Část 1: Základní veličiny a postupy pro hodnocení
- [23] ČSN ISO 1996-2 Akustika - Popis, měření a posuzování hluku prostředí - Část 2: Určování hladin hluku prostředí
- [24] ČSN EN ISO 1683 Akustika - Vyvolené referenční hodnoty pro hladiny veličin v akustice a vibracích

- [25] ČSN EN ISO 7029 Akustika - Práh slyšení zvuku vedeného vzduchem, s ohledem na věk a pohlaví otologicky normálně vyvinutých osob
- [26] ČSN EN ISO 1680 Akustika - Zkušební předpis pro měření hluku šířeného vzduchem, vyzařovaného točivými elektrickými stroji
- [27] ČSN EN ISO 7235 Akustika - Laboratorní měřicí postupy pro tlumiče hluku v potrubí a vzduchotechnické koncové jednotky - Vložný útlum, vlastní hluk a celková tlaková ztráta
- [28] ČSN EN ISO 10846-1 Akustika a vibrace - Laboratorní měření vibroakustických přenosových vlastností pružných prvků - Část 1: Principy a směrnice
- [29] ČSN EN ISO 10846-2 Akustika a vibrace - Laboratorní měření vibroakustických přenosových vlastností pružných prvků - Část 2: Přímá metoda pro stanovení dynamické tuhosti pružných podpor pro translační pohyb
- [30] ČSN EN ISO 11688-2 Akustika - Doporučené postupy pro navrhování strojů a zařízení s nízkým hlukem - Část 2: Fyzikální základy navrhování s ohledem na snižování hluku
- [31] ČSN ISO 226 Akustika - Normované křivky stejné hlasitosti
- [32] ČSN EN ISO 5135 Akustika - Určení hladin akustického výkonu hluku koncových prvků, koncových jednotek a regulačních a uzavíracích součástí vzduchotechnických zařízení na základě měření v dozvukové místnosti
- [33] ČSN EN ISO 3744 Akustika - Určování hladin akustického výkonu a hladin akustické energie zdrojů hluku pomocí akustického tlaku
- [34] ČSN EN 61672 Elektroakustika - Zvukoměry
- [35] ČSN EN ISO 3382-2 - Akustika - Měření parametrů prostorové akustiky - Část 2: Doba dozvuku v běžných prostorech
- [36] ČSN 730532 - Akustika - Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních výrobků
- [37] Nařízení evropské komise č. 1253/2014

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Hladiny akustického tlaku v různém prostředí [1].....	12
Obr. 2 Oblasti lidského sluchu.....	14
Obr. 3 Schéma akustických polí v uzavřeném prostoru [5].....	20
Obr. 4 Aerodynamické schéma zatopeného proudu [1].....	25
Obr. 5 Celková hladina akustického výkonu ventilátoru [1].....	33
Obr. 6 Kritické kmitočty pro různé materiály v závislosti na tloušťce desky [1].....	51
Obr. 7 Délky ohybových vln v deskách [1].....	51
Obr. 8 Totožné hygienické prostory s rozdílným umístěním talířových ventilů.....	53
Obr. 9 Půdorys hygienického prostoru s umístěním VZT zařízení.....	55
Obr. 10 Ukázka prostorů, ve kterých probíhalo měření.....	57
Obr. 11 Půdorysy dvou souměrných prostorů s umístěním VZT zařízení v 1.NP - v půdorysu vpravo je jeden talířový ventil s odlišnou dimenzí.....	59
Obr. 12 Půdorysy dvou souměrných prostorů s umístěním VZT zařízení ve 3.NP.....	60
Obr. 13 Ukázka jednoho z měřených prostorů s ventilátorem.....	62
Obr. 14 Půdorysy hygienických prostorů s umístěním VZT zařízení.....	63
Obr. 15 Příklad osazení ventilátorů - vlevo var.1 bez pryže, vpravo var.3 s pryží.....	68
Obr. 16 Schémata jednotlivých způsobů osazení do stěny.....	69
Obr. 17 Ukázky z realizace měření - vlevo výfuk do volného prostoru, vpravo navazující výfukové potrubí s pryžovou izolací.....	70
Obr. 18 Půdorys experimentální laboratoře - vpravo od dveří znázorněno umístění ventilátoru.....	70
Obr. 19 Schematické znázornění osazení ventilátorů pod podhled.....	74
Obr. 20 Příklad osazení dvou ventilátorů do podhledu s podložkou z pryže.....	75
Obr. 21 Znázornění sledovaných bodů a dvou variant umístění talířových ventilů.....	78
Obr. 22 Akustické pole - talířové ventily 0,3 m od stěny, SDK podhled.....	80
Obr. 23 Akustické pole - talířové ventily 0,6 m od stěny, SDK podhled.....	80
Obr. 24 Akustické pole - talířové ventily 0,3 m od stěny, širokopásmový akustický podhled.....	83
Obr. 25 Akustické pole - talířové ventily 0,6 m od stěny, širokopásmový akustický podhled.....	83
Obr. 26 Znázornění sledovaných bodů a tří variant umístění talířových ventilů.....	84
Obr. 27 Akustické pole - talířový ventil nad záchodovou mísou, podhled bez akustických úprav.....	87
Obr. 28 Akustické pole - talířový ventil nad středem místnosti, podhled bez akustických úprav.....	88
Obr. 29 Akustické pole - talířový ventil ve výklenku nad vanou, podhled bez akustických úprav.....	89
Obr. 30 Akustické pole - talířový ventil nad záchodovou mísou, širokopásmový akustický podhled.....	92
Obr. 31 Akustické pole - talířový ventil nad středem místnosti, širokopásmový akustický podhled.....	92
Obr. 32 Akustické pole - talířový ventil ve výklenku nad vanou, širokopásmový akustický podhled.....	93
Obr. 33 Znázornění sledovaných bodů a dvou variant umístění talířových ventilů.....	95
Obr. 34 Akustické pole - talířový ventil nad sprchovým koutem, podhled bez akustických úprav.....	97
Obr. 35 Akustické pole - talířový ventil ve středu místnosti, podhled bez akustických úprav.....	98
Obr. 36 Akustické pole - talířový ventil nad sprchovým koutem, širokopásmový akustický podhled.....	100
Obr. 37 Akustické pole - talířový ventil ve středu místnosti, širokopásmový akustický podhled.....	101
Obr. 38 Půdorys modelovaného prostoru - dvoulůžkový pokoj s hygienickým zázemím.....	106
Obr. 39 Akustické pole - axiální ventilátor $L_{WA}=51,5\text{dB}$, podhled bez akustických úprav - horní obrázek, širokopásmový akustický podhled - spodní obrázek.....	108
Obr. 40 Akustické pole - zdroj hluku o $L_{WA}=45\text{dB}$, podhled bez akustických úprav - horní obrázek, širokopásmový akustický podhled - spodní obrázek.....	110
Obr. 41 Akustické pole - zdroj hluku o $L_{WA}=40\text{dB}$, podhled bez akustických úprav - horní obrázek, širokopásmový akustický podhled - spodní obrázek.....	112

Obr. 42 Akustické pole - zdroj hluku o $L_{WA}=37dB$, pohled bez akustických úprav - horní obrázek, širokopásmový
akustický pohled - spodní obrázek 114

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Křivky stejné hlasitosti [1]	13
Graf 2 Statisticky vyhodnocená spektrální analýza v 1/3 oktávách pro rozdílné umístění talířových ventilů.....	56
Graf 3 Srovnání spektrální analýzy obou prostorů ve 3.NP.....	60
Graf 4 Srovnání spektrálních analýz akustického tlaku ventilátoru v chodu na nejvyšší a na nižší otáčky	64
Graf 5 Srovnání spektrálních analýz radiálního ventilátoru pro způsoby osazení č.1 a č.3.....	72
Graf 6 Srovnání spektrálních analýz akustického tlaku axiálního ventilátoru II.....	76
Graf 7 Srovnání hladin akustického tlaku	116

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Symbol	Popis	Jednotka
L_p	hladina akustického tlaku	[dB]
L_{pA}	hladina akustického tlaku vážená filtrem A	[dB]
$L_{Aeq, T}$	ekvivalentní hladina akustického tlaku vážená filtrem A	[dB]
L_{pAmax}	okamžitá maximální hladina akustického tlaku vážená filtrem A	[dB]
L_{Cpeak}	nejvyšší naměřená hodnota hladiny akust. tlaku vážená filtrem C	[dB]
L_{AFmax}	maximální hladina akust. tlaku průměrná v čase vážená filtrem A	[dB]
L_{AFmin}	minimální hladina akust. tlaku průměrná v čase vážená filtrem A	[dB]
p_0	referenční hodnota akustického tlaku $2 \cdot 10^{-5}$ Pa	[Pa]
p	akustický tlak	[Pa]
p_{ef}	efektivní akustický tlak	[Pa]
f	frekvence	[Hz]
λ	vlnová délka	[m]
T	doba jednoho kmitu	[s]
N	hlasitost	[son]
L_N	hladina hlasitosti	[Ph]
I	intenzita zvuku	[W/m ²]
I_0	referenční hodnota intenzity zvuku 10^{-12} W/m ²	[W/m ²]
c	rychlost šíření vlny	[m/s]
ρ	hustota prostředí	[kg/m ³]
L_I	hladina intenzity zvuku	[dB]
L_w	hladina akustického výkonu	[dB]
W_0	referenční akustický výkon 10^{-12} W	[W]
W	akustický výkon	[W]
Q	činitel směrovosti	[-]
l_x, l_y, l_z	rozměry místnosti	[m]
V	objem místnosti	[m ³]
r	dozvuková vzdálenost	[m]
A	ekvivalentní pohltivá plocha	[m ²]
α	činitel zvukové pohltivosti	[-]
α_m	střední činitel pohltivosti	[-]
w_0	objemová hustota akustické energie	[J/m ³]

ρ	činitel odrazu	[-]
τ	činitel průzvučnosti	[-]
S	plocha povrchu	[m ²]
Ω	prostorový úhel	[sr]
T	doba dozvuku	[s]
K	koeficient; konstanta	[-]
w_0	rychlost výtoku vzduchu v hrdle trysky	[m/s]
D_0	průměr trysky	[m]
D_{1m}	útlum jednoho metru potrubí	[dB/m]
l	délka trasy potrubí s útlumem D_{1m}	[m]
a, b	průřezy vzduchovodu	[m]
d	šířka kolena	[m]
v	rychlost proudění vzduchu v potrubí	[m/s]
L_{rel}	relativní hladina pro přepočet na oktávová pásma	[dB]
ζ	součinitel místní tlakové ztráty	[-]
Δp	tlaková ztráta, dopravní tlak ventilátoru	[Pa]
V	průtok vzduchu ventilátorem	[m ³ /s]
η	účinnost ventilátoru	[-]
u	obvodová rychlost oběžného kola ventilátoru	[m/s]
D	průměr oběžného kola	[m]
L_{sp}	specifická hladina akustického výkonu	[dB]
u_A, u_B, u_C	nejistota měření	[-]
U	rozšířená nejistota měření	[-]
h	tloušťka desky	[m]
c_L	rychlost podélných vln v desce	[m/s]
E	dynamický modul pružnosti v tahu	[N/m ²]
μ	Poissonův poměr	[-]
G	modul pružnosti ve smyku	[N/m ²]
R'_w	stavební neprůzvučnost konstrukce	[dB]