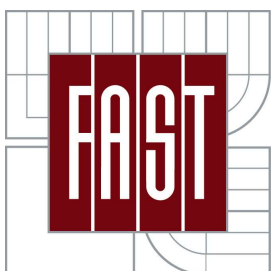




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V
BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

VLIV VZDUCHOTECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ NA AKUSTICKÉ MIKROKLIMA ČISTÝCH PROSTORŮ

THE IMPACT OF HVAC SYSTEMS ON THE ACOUSTIC MICROCLIMATE OF
CLEAN ROOMS

TEZE K DIZERTAČNÍ PRÁCI

DOCTORAL THESIS STATEMENT

AUTOR PRÁCE

ING. ONDŘEJ JELÍNEK

VEDOUCÍ PRÁCE

DOC. ING. ALEŠ RUBINA, PH.D.

STUDIJNÍ OBOR

P3607 STAVEBNÍ INŽENÝRSTVÍ

STUDIJNÍ PROGRAM

3608V001 POZEMNÍ STAVBY

BRNO 2016

OBSAH:

ÚVOD.....	2
1 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY	3
1.1 Metodika měření hluku ve vnitřním prostředí.....	4
1.2 Metodika měření hluku v chráněném venkovním prostoru staveb a v chráněném venkovním prostoru	5
1.3 problematika vyhodnocení získaných údajů	8
2 CÍLE PRÁCE	11
3 METODY ŘEŠENÍ.....	12
4 EXPERIMENT.....	13
4.1 experiment v dozvukové komoře	13
5 ZPRACOVÁNÍ STATISTICKÉHO SOUBORU NAMĚŘENÝCH DAT	15
5.1 matematický popis útlumu zvuku	17
5.2 Charakteristika vlastního hluku.....	18
6 TVORBA VÝPOČTOVÉHO MODELU	20
6.1 validace výpočtového modelu	24
6.2 Měření hladiny akustického tlaku na stavbě	25
6.3 Zadání do výpočtového modelu	25
7 ZÁVĚR.....	30
7.1 Poznatky pro další výzkum a technickou praxi.....	31
8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A SOFTWARE	32
ŽIVOTOPIS	33
SEZNAM PUBLIKACÍ	34
ABSTRAKT	35

ÚVOD

Náplní práce je analýza šíření a útlumu zvuku v systémech vzduchotechniky obsluhující čisté prostory. Tyto místnosti jsou specifické nejen požadavky na aerosolové a mikrobiální mikroklima, ale taktéž na akustické parametry.

Práce se zaměřuje na teoretické a následně praktické metody jak eliminovat šíření akustické energie zvukově izolačními hadicemi a koncovými elementy systémů vzduchotechniky. Zejména je kladen důraz na, v praxi velmi problematické, nízké frekvence celkového spektra.

Součástí nové metodiky přístupu řešení je provedení experimentu, za účelem stanovení útlumu hluku zvukově izolačních hadic pro připojení koncových elementů, jež zajišťují distribuci vzduchu v obsluhovaných místnostech.

Ze získaných poznatků a měření byl vytvořen software pro praktické určení útlumu zvuku zvukově izolačních hadic.

Výstupem této práce je ucelený výpočetní model, prezentovaný zmíněným výpočetním programem, který pro různé průměry, délky, geometrie trasy vzduchovodů a zvukově izolačních hadic umožňuje stanovit hladinu akustického výkonu za těmito hadicemi. Taktéž vyhodnotí, zda bude docházet k překročení limitů stanovených právními a hygienickými požadavky. V závislosti na geometrii obsluhovaného prostoru a akustických vlastnostech konstrukcí tohoto prostoru, bude stanovena hladina akustického tlaku v místě posluchače.

1 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY

Akustické mikroklima je významnou složkou utvářející vnitřní prostředí budov. Vzduchotechnická a klimatizační zařízení slouží k zajištění fyzické a také psychické pohody uživatele. Veškerá technická zařízení budov jsou navrhována tak, aby splňovala tyto požadavky, které jsou stále náročnější. Tato zařízení jsou při svém provozu zdroji hluku, který někdy působí rušivě, ale může také způsobit vážné zdravotní potíže, čímž de facto dochází k narušení pohody uživatele. Výsledný účel těchto zařízení je pak opačný. Pohoda prostředí v pásmu pobytu osob, odvod tepelné zátěže z klimatizovaného prostoru ustupují jako problém do pozadí a praxe ukazuje, že jedním z hlavních parametrů, na které je nutno klást důraz, je nízká hlučnost těchto zařízení. Hygienické limity jsou stanoveny v nařízení vlády č. 272/2011 Sb. a dále metodické návody hlavního hygienika ČR



Obr. 1.1: Fotografie znázorňuje měření akustického mikroklima na operačním sále

Ve většině čistých prostorů jsou požadavky na akustické mikroklima velmi přísné. Ať už se jedná o laboratoře a operační sály nebo nemocniční pokoje a jednotky intenzivní péče. Nutný je zde absolutní klid nezbytný pro rychlou a správnou diagnostiku pacientů, aby při návrhu projektu, realizaci i následném užívání byla dodržována správná opatření zajišťující snížení akustické energie na minimální možnou úroveň. Čisté prostory se dominantně skládají z materiálů definovatelných jako akusticky tvrdé stavební materiály (obr. 1.1). Jedná se o materiály, jejichž schopnost pohlcovat dopadající zvukovou energii je velmi malá. Zvuková energie se v prostoru lépe šíří a může mít nežádoucí akustické projevy jako zvýšenou dobu dozvuku i v relativně malých prostorách.

Akustickou energii, tedy hluk, jenž vzniká provozem VZT zařízení, je nutné snížit ještě před jeho vyzářením do pobytové zóny. K tomu je potřeba ve všech stádiích realizace stavby aplikovat všechna dostupná technická řešení pro zlepšení akustických poměrů.

Dále budou popsány základní poznatky, ze kterých vychází tematika snižování hluku v oblasti vzduchotechnických zařízení.

1.1 METODIKA MĚŘENÍ HLUKU VE VNITŘNÍM PROSTŘEDÍ

Měření akustických veličin ve vnitřním prostoru je nutné rozlišovat na základě druhu užívání jednotlivých místností. Pro místnosti definované jako pracovní prostředí to bývá ekvivalentní hladina akustického tlaku L_{Aeq} [dB], případně maximální naměřená okamžitá hladina L_{Amax} [dB]. Pro prostory hal ať již přednáškových, sportovních, nebo výukových to bývá stanovení doby dozvuku. Ta udává množství odražené akustické energie a výrazně ovlivňuje srozumitelnost. Matematické vyjádření ekvivalentní hladiny akustického tlaku je následující:

$$L_{AeqT} = 10 * \log \left[\frac{1}{T} \int_T p_A^2(t) / p_0^2 dt \right] [dB]$$

$p_{(A)t}$ – hladina okamžitého akustického tlaku A v probíhající čas t

p_0 – referenční akustický tlak (= 20 μ Pa)

Maximální okamžitá naměřená hodnota je nejvyšší změřená hladina akustického tlaku v měřeném intervalu. Nevztahuje se k ekvivalentní hladině akustického tlaku.

Měření v chráněném vnitřním prostoru stavby se provádí v souladu s metodikou stanovenou v normativních předpisech.

Při měření ve vnitřním prostoru se měřicí místa volí tak, aby byly použity alespoň tři různé polohy, které jsou rovnoměrně rozložené v místnosti, kde ovlivňované osoby (pracovníci) převážně tráví čas. Místnosti, u kterých je nutné provést měření akustických parametrů, jsou voleny buď zástupcem hygienické stanice na základě vypracované akustické studie, případně uživatelem objektu na základě provozních podmínek, nebo osobou provádějící měření na základě individuálního stanovení nejméně příznivých prostorů subjektivním poslechem.

Měření zvuku uvnitř budovy se může provádět dvojím způsobem. Skenováním prostoru mikrofonom, nebo lze použít jednotlivé polohy mikrofону. Při měření jednotlivých poloh mikrofону je nutné následně stanovit prostorově průměrnou ekvivalentní hladinu akustického tlaku:

$$L_{eq} = 10 * \log \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{\frac{L_{eq,j}}{10}} [dB]$$

n – počet poloh mikrofonu rovný, nebo větší než 3

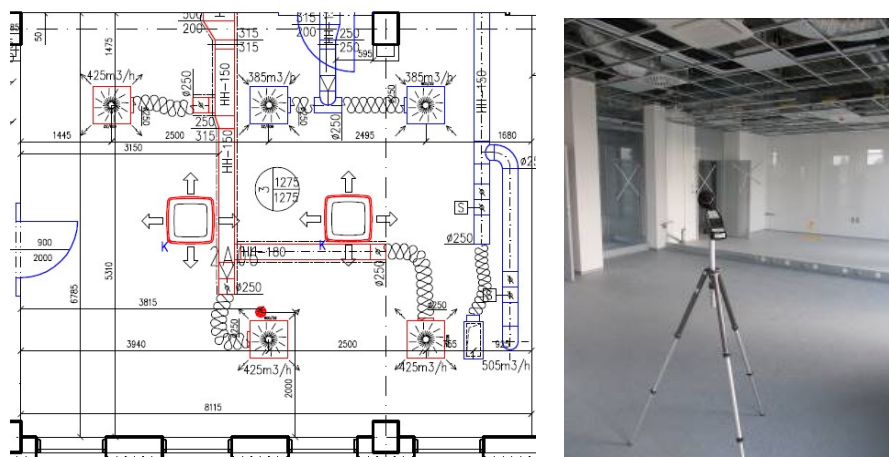
$L_{eq,j}$ – ekvivalentní hladina akustického tlaku v poloze j vyjádřená v dB

Měření akustických veličin může být prováděno před uvedením objektu do provozu. Měřené prostory jsou v tom případě nevybavené, není osazen nábytek, technologická zařízení apod. V případě měření prázdné místnosti, bez akustických úprav, je možné odečíst od změřených hodnot korekci na vybavenost místnosti 3 dB.

Před zahájením měření a jednotlivých sérií měření je nutné kalibrovat zvukoměr. Rozdíl hodnot zjištěných na začátku a na konci každé série měření musí mít maximální rozdíl 0,5 dB. V případě, že je odchylka vyšší, musí se série měření vyřadit. Před měřením je nutné umístit a zaznamenat polohu měření. Optimální poloha mikrofonu se volí tak, aby měla vypovídající hodnotu v pracovním prostředí. Výška mikrofonu se nastavuje ve výšce hlavy posluchače, tedy 1,5 až 1,8 m. Jedna z poloh mikrofonu je pod zdrojem zvuku (například pod vyústkou vzduchotechniky, technologie, apod.). Další polohy mikrofonu se umísťují například na jednotlivá pracoviště, pokud splňují požadavky na odstup mikrofonu od odrazivých ploch.

K samotnému měření je nutné stanovit projevy akustického pozadí. To je obecně hluk od všech zdrojů s výjimkou měřeného zdroje zvuku.

Na obr. 1.2 je vyobrazeno místo měření laboratorních prostorech výroby léčiv.



Obr. 1.2: Měření v laboratoři pro přípravu léčiv. V době měření nebyla místnost vybavena a nebyla ani osazena podhledovou konstrukcí – vliv na šíření zvuku a intenzitu dopadající akustické energie na mikrofon

1.2 METODIKA MĚŘENÍ HLUKU V CHRÁNĚNÉM VENKOVNÍM PROSTORU STAVEB A V CHRÁNĚNÉM VENKOVNÍM PROSTORU

Důležitým faktorem při stanovení úrovně hluku ve venkovním prostředí je sledování, jakým způsobem ovlivňuje tento stav provoz vzduchotechnických zařízení v bezprostředním okolí objektu. Velký důraz na tuto problematiku musí být kladen zvláště v prostředí zdravotnických zařízení, lázní, husté zástavby občanských staveb a dalších staveb obdobného využití. V případě řešení problémů s nadměrným působením zvuku ve venkovním prostředí přichází projektant o významnou složku,

jež by zlepšovala akustické mikroklima uvnitř objektu – akustickou pohltivost materiálů. Ve venkovním prostředí je hlavním činitelem útlumu hluku vzdálenost, kde v případě bodového zdroje zvuku klesá hladina akustického tlaku se čtvercem vzdálenosti. V případě plošného zdroje zvuku klesá hladina akustického tlaku úměrně se vzdáleností.

Měření hladiny akustického tlaku a dalších vybraných akustických parametrů v prostoru řešeného objektu i v bezprostředním okolí je krok nutný k ověření navržených a realizovaných opatření zamezujících šíření nežádoucího zvuku do okolí objektu. Cílem těchto měření je prokázat, že v určitých místech v okolí řešeného objektu nedochází k překračování hygienických limitů vlivem užívání řešeného objektu.

Výběr měřicího místa má zásadní význam. Měřicí místa musí být zvolena s ohledem na oblasti, ve kterých dochází ke generování zvuku (Prostupy sání čerstvého vzduchu a výfuku znehodnoceného vzduchu na fasádu, či střeše objektu, poloha suchých kondenzátorů na střeše objektu, poloha střešních ventilátorů pro provozní větrání prostorů atd.) a s ohledem na hustotu, účel, výšku a způsob využití okolní zástavby a prostoru. Zpravidla se volí taková místa, která se nachází nejbližší potencionálnímu zdroji nežádoucího zvuku. V případě vnějšího chráněného prostoru lůžkových zdravotnických zařízení je vhodné volit místa měření i v areálu nezávisle na okolní zástavbě. Místa měření volíme tak, aby měla vypovídající hodnotu. Místo měření by mělo být vůči zdroji nežádoucího zvuku v jedné přímce a na této přímce by se neměly nacházet žádné překážky bránící šíření zvuku (např. část objektu, vzrostlé stromy, konstrukce trvalého charakteru, apod.) Vhodné umístění měřicích bodů je zobrazeno na následujícím obr. 1.2.



Obr. 1.2: Měřicí místo v areálu nemocnice. Měření intenzity dopadající akustické energie v chráněném venkovním prostoru stravovacím pavilonem pro noční dobu

V případě, že měření nežádoucího zvuku je prováděno na základě osob užívacích okolní objekty, musí být měření provedeno na místě udané stěžovateli (nejčastěji se jedná o okna obytných domů v přilehlé zástavbě) na hranici chráněného venkovního prostoru objektu.

Před samotným zahájením měření je nutné provést kalibraci měřicího přístroje. Kalibrace se provádí z důvodu ověření odchylky měřených hodnot přístroje od skutečné hodnoty udané etalonem. Kalibrace se opakovaně provede i po skončení série měření.

Z důvodu zajištění správné opakovatelnosti měření je nutné před zahájením samotného měření zjistit stav meteorologických podmínek. V případě, že nastanou následující podmínky, není možné provádět měření zvuku:

- V případě deště není možné provádět měření, dopadající kapky vody výrazně zvyšují složku akustického pozadí, které zkresluje měření a v některých případech může dojít až k akustickému překrytí měřeného zdroje zvuku.
- Rychlost větru v době měření nesmí přesáhnout 5 m/s. Při vysoké rychlosti větru dochází ke generování akustické energie na mikrofonu měřicího zařízení, která zkresluje měřené hodnoty. Tento jev nastává i při použití krytu proti větru. (V případě, že se jedná o speciální metodiku měření za účelem zjištění akustických poměrů při zvýšené rychlosti větru – např. akustika větrných elektráren)
- Terén mezi zdrojem zvuku a měřeným místem nesmí být pokryt sněhem, nesmí být zmrzlý ani nasáklý vodou. Tyto jevy mají vliv na fyzikální vlastnosti zemského masivu. Na hranici se vzduchem, kterým se šíří zvuk dochází ke změně pružnosti a tím i jiné míře poměru pohlcených a odražených zvukových vln.

Umístění mikrofonu v měřicím místě musí splňovat požadavky pro přesné měření. Mikrofon se umísťuje při měření hluku v chráněném venkovním prostoru staveb tak, aby se nacházel minimálně 0,5 m až 2 m od svislé konstrukce (zpravidla se jedná o stěnu měřeného objektu) a ve výšce 1,5 až 1,7 m nad podlahou (obr. 1.3). Mikrofon umístěný v této vzdálenosti od odrazivé roviny zaznamenává přesně určitelné množství zvýšené dopadající akustické energie, které lze přesně určit a upravit formou korekce na dražený zvuk. Umístění mikrofonu ve výšce uvedené vzdálenosti je podmínkou pro odečtení korekce reprezentující zvuk dopadající nepřímo na mikrofon odrazem od svislé odrazivé roviny v chráněném venkovním prostoru objektu.



Obr. 1.3: Optimální umístění mikrofonu při měření v chráněném venkovním prostoru stavby.
V horizontální rovině 0,5 až 2,0 m od svislé odrazivé plochy. Ve vertikální rovině 1,5 až 1,7 m nad rovinou měřeného podlaží.

Další možné polohy mikrofону jsou přímo na odrazivé rovině měřeného místa, nebo ve volném poli.

Po umístění mikrofону do správné měřicí polohy se doporučuje měření akustického vlivu zvuku pozadí. Akustické vlivy zvuku pozadí určují, jaký vliv na posluchače má provoz v okolí měření, který není vyvolaný měřeným zdrojem zvuku. Například při měření v areálu nemocnice, jehož cílem je určit vliv nově vybudované strojovny vzduchotechniky na akustické mikroklima v chráněném venkovním prostoru lůžkového oddělení, je za hluk pozadí považován provoz v nemocničním areálu, hluk z dopravy v blízkosti nemocničního areálu apod.

Pro správné měření vlivu hluku pozadí je nutné toto měření provádět s vypnutým primárním zjišťovaným zdrojem zvuku. Vliv zvuku akustického pozadí je nutné zohlednit ve výpočtu. Zvuk pozadí zvyšuje změřenou hodnotu hladiny akustického tlaku primárního zdroje hluku a zahrnuje se korekcí, která je závislá na rozdílu naměřených hodnot se zdrojem zvuku a bez zdroje zvuku. V případě, že je akustická energie měřeného zdroje zvuku příliš vysoká ($L_p \geq 15$ dB), pak dochází k překrytí zvuku pozadí, tudíž se korekce na hluk pozadí nezapočítává.

Dále se přistoupí k samotnému měření řešeného zdroje zvuku. Měření akustických parametrů se provádí v několika na sobě nezávislých měřicích cyklech. Stanovuje se pro denní nebo noční dobu. Čas měření se volí většinou na základě údajů získaných uživateli v lokalitě, způsobu provozování zdroje hluku, nebo na základě požadavku hygienické stanice. Primárně se doba měření volí tak, aby odpovídala standardní situaci provozu zdroje hluku. Při měření akustických parametrů zdroje hluku musí být měření provedeno v takovém intervalu, aby byly zaznamenány všechny běžně se vyskytující akustické jevy. Při řešení technických zařízení budov se zpravidla jedná o ustálený hluk, který se s časem výrazně nemění – odchylka měřené hladiny akustického tlaku není vyšší, než ± 5 dB. V případě ustáleného zvuku je volen časový interval 30 s, ve kterém se projeví všechny složky přispívající k akustice zdroje zvuku. Výsledné hodnoty je pak nutné přepočíst na hodnotu jedné nejhlučnější hodiny – noční doba, nebo na osm nejhlučnějších hodin – denní doba. Počet nezávislých měřicích intervalů musí být alespoň 3 z důvodu získání statistického vzorku, optimální počet s ohledem na časovou náročnost je provedení 5 intervalů měření.

Po skončení měřicího cyklu musí být provedena opětovná kalibrace přístroje a zjištěna odchylka přesnosti měření od poslední provedené kalibrace.

1.3 PROBLEMATIKA VYHODNOCENÍ ZÍSKANÝCH ÚDAJŮ

Data získaná z měření je nutné dále vyhodnotit. Naměřené údaje obsahují ostatní vlivy, které vznikají při měření ve skutečném prostoru. Jsou jimi hluk pozadí, vliv odrazu akustické vlny od blízko umístěné překážky, vliv pozice mikrofону v prostoru, nebo působení atmosférických podmínek na měření. Aby bylo možno správně stanovit přenos měřeného zdroje zvuku, je nutné tyto vlivy určit a vyjádřit jejich podíl na měřeném souboru dat a tím lze získat skutečnou hodnotu přenosu akustické energie měřeného zdroje.

Pro efektivní vyhodnocení změřených datových souborů je vhodné na základě vhodné metodiky vypracovat protokol z měření akustických veličin, ve kterém je obsaženo matematicko-fyzikální vyjádření akustických parametrů. Vypracovaný protokol musí po formální stránce obsahovat identifikační data všech zúčastněných subjektů. Dále musí být uveden přesný popis místa měření a místa měřeného zdroje zvuku, popis objektu, ve kterém je měření prováděno, jeho účel, dispoziční uspořádání, počet podlaží a dále přesné určení místa měření. Identifikace měřené místnosti, jaký je její účel a z jakého důvodu je tam měření prováděno. Jedná se o pracovní prostředí, pobytovou místnost, nebo chráněný vnitřní prostor stavby. Důležitým krokem je jasná identifikace zdroje měřeného zvuku. V nemocnicích a laboratořích jsou to primárně koncové elementy vzduchotechniky, které do prostoru distribuují vzduch nutný pro hygienickou výměnu a zajištění čistoty prostoru. Důležitým faktorem je typ koncového elementu a množství distribuovaného vzduchu. Tyto faktory přímo ovlivňují akustické parametry a tím i akustické mikroklima v řešených místnostech.

Před zahájením měření je nutné určit podmínky, za kterých je měření prováděno. Pokud jsou měřeny akustické parametry ve venkovním prostředí je zcela zásadní pro zajištění správné opakovatelnosti měření stanovit atmosférické podmínky. Teplotu vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, atmosférický tlak, rychlost větru a oblačnost.

Volba měřicího intervalu je daná zvolenou metodikou, ale obecně je zvuk šířící se ze vzduchotechnických zařízení charakterizován jako ustálený. Jeho intenzita se v čase nemění o víc, než ± 5 dB. Z toho vyplývá, že měřicí interval je vhodné volit v rozsahu 10 až 60 s. Kratší interval není vhodné volit z důvodu přesnosti měřicího přístroje. Delší měřicí intervaly nemají žádný přínos k přesnosti měřených údajů a celé měření se stává časově a ekonomicky náročnější. Při měření ve venkovním prostředí je volba měřicích intervalů obdobná.

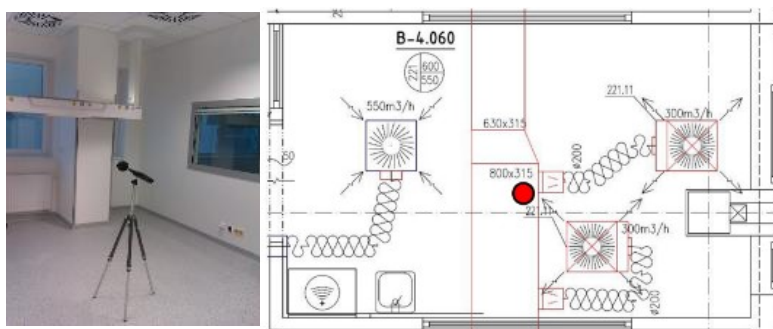
Volba deklarované veličiny probíhá na základě účelu měřeného prostoru. Měříme-li v prostorech laboratoří, lůžkových oddělení, operačních sálů, apod. volí se ekvivalentní hladina akustického tlaku $L_{Aeq,T}$ [dB(A)], případně maximální měřená hladina akustického tlaku L_{Amax} [dB(A)]. Obě hodnoty jsou upravované váhovým filtrem A.

Po určení výše uvedených podmínek a definic se přistoupí k výpočtové části. Cílem výpočtové části je určit vliv měřeného zdroje zvuku na akustické mikroklima včetně nejistoty z měření, kterých může tento zdroj nabývat. V tab. 1.1 jsou seřazena data z měření, u kterých jsou uvedeny informace o čase měření, intervalu měření, získané hodnotě ekvivalentního akustického tlaku z měření za čas T a informace o kalibraci, čas provedení kalibrace odchylka kalibrace od počáteční hodnoty a odchylka poslední hodnoty a citlivost kalibrace.

	Měření			$L_{\text{eq,T}} [\text{dB(A)}]$	Kalibrace přístroje			
	Začátek	Konec	Interval		Citlivost	Odchylka od počáteční	Odchylka od poslední	Čas
Měření hluku pozadí	27.6.2014 20:05	27.6.2014 20:06	0:00:20	19,4	45,4224	-0,4300	0,0000	27.6.2014 17:26
1. měření	27.6.2014 19:24	27.6.2014 19:24	0:00:20	40,0	45,4224	-0,4300	0,0000	27.6.2014 17:26
2. měření	27.6.2014 19:27	27.6.2014 19:27	0:00:20	40,0	45,4224	-0,4300	0,0000	27.6.2014 17:26
3. měření	27.6.2014 19:28	27.6.2014 19:28	0:00:20	40,0	45,4224	-0,4300	0,0000	27.6.2014 17:26
4. měření	27.6.2014 19:28	27.6.2014 19:28	0:00:20	40,1	45,4224	-0,4300	0,0000	27.6.2014 17:26
5. měření	27.6.2014 19:29	27.6.2014 19:29	0:00:20	40,1	45,4224	-0,4300	0,0000	27.6.2014 17:26

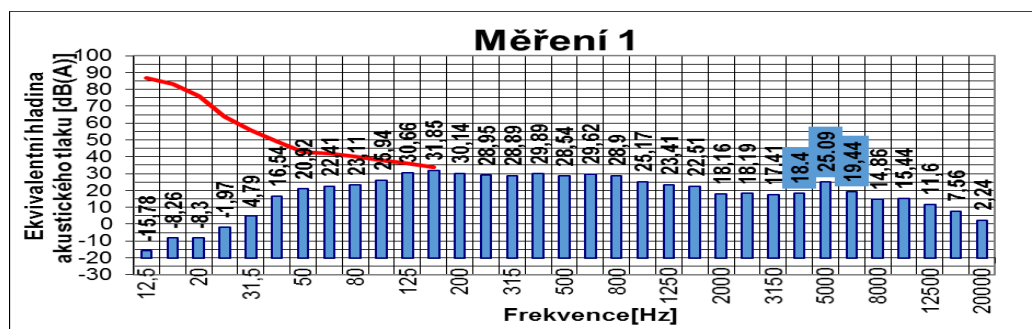
Tab. 1.1 – Souhrnná tabulka dat získaných ze zvukoměru včetně údajů o kalibraci přístroje

Pro přesné opakování měření je povinnou součástí protokolu vyznačení polohy měřicích bodů nejlépe v dané části výkresové dokumentace a spolu s tím i fotodokumentace měřicí aparatury přímo v místě měření. Příklad viz obr. 1.4.



Obr. 1.4: Pozice bodu měření v prostoru lůžkového boxu JIP fotodokumentace a umístění v půdorysu (vyznačeno červeným kolečkem)

Součástí každého vyhodnocení musí být i provedení třetinooktávové analýzy akustického spektra. Tato analýza slouží pro odhalení charakteru a rozložení zaznamenaného zvukového vjemu. Hlavním účelem provádění třetinooktávové analýzy je stanovení výskytu zvuku s tónovými složkami. Tónová složka zvuku je patrná v případě, že v kmitočtovém spektru měřeného zvuku je hladina akustického tlaku v třetinooktávovém pásmu, případně i ve dvou bezprostředně sousedících oktávových pásmech, o více, než 5 dB vyšší, než hladiny akustického tlaku v obou sousedních třetinooktávových pásmech. Nově je ještě definován požadavek na slyšitelnost pro hluk s tónovými složkami v oktávových pásmech od 10 Hz do 160 Hz.



Obr. 1.5: Grafické zobrazení třetinooktávové analýzy. Červená křivka popisuje mez slyšení v nízkých kmitočtech. Modře zvýrazněná oblast ve frekvenčním pásmu 5 kHz zobrazuje změřenou tónovou složku

Názorným způsobem provedení třetinooktávové analýzy je vynesení dat jednotlivých měření do grafu (obr. 1.5), ve kterém lze dohledat oktávová pásma s tónovou složkou, případně analyzovat další vlastnosti měřeného zvuku.

Okolní akustické vlivy vstupují do výpočtu ve dvou podobách. Jednak jsou to korekce a dále nejistoty měření. Pro měření uvnitř objektu v jednotlivých polohách mikrofону je nutné stanovit energeticky průměrnou hladinu akustického tlaku pro celý prostor a dále korekci na hluk pozadí a korekci na prostředí.

2 CÍLE PRÁCE

Cílem práce je analýza šíření a útlumu zvuku v systémech vzduchotechniky obsluhující čisté prostory spolu s následným návrhem metodiky eliminace šíření akustické energie vzduchovody a koncovými elementy systémů vzduchotechniky. Zejména bude kladen důraz na, v praxi velmi problematické, nízké frekvence celkového spektra.

Díličními cíli práce tedy jsou:

- 1, analýza současného stavu poznání, principů útlumu, šíření zvuku ve vzduchotechnickém potrubí a uzavřeném vnitřním prostoru
- 2, experiment ve speciální dozvukové komoře za účelem zjištění statistického souboru dat charakterizující útlum hluku v Evropě vyráběných zvukově izolačních hadic
- 3, matematický popis a analýza zjištěných dat, vytvoření spojitých funkcí útlumu zvuku a vytvoření DLL knihovny jako databáze pro další výpočty
- 4, vytvoření vlastní metodiky řešení útlumu zvuku ve vzduchovodech a šíření akustické energie ve vnitřním uzavřeném prostoru
- 5, vytvoření matematického modelu - software se zadáním vstupních dat, potrubní sítě, geometrie včetně akustických vlastností vyšetřovaného prostoru a výstupem v podobě hladiny akustického tlaku dané místnosti v místě posluchače

3 METODY ŘEŠENÍ

Metody řešení budou použity jako:

- Technická řešení řešeného problému
- Využití matematických regresních metod pro zpracování statistických souborů naměřených dat včetně vytvoření spojitých funkcí
- Experimentální metody zjišťování útlumu zvuku
- Vytvoření souboru výpočetních funkcí v rámci objektového programování, tvorba DLL knihoven
- Objektové programování
- Vytvoření výpočtového modelu
- Porovnání naměřených hodnot s modelem predikovaných dat

4 EXPERIMENT

V rámci experimentální části práce je stanovení útlumu hluku zvukově izolačních hadic, které jsou používány pro připojení koncových elementů systémů VZT (čistě nástavce, anemostaty, talířové ventily, atd.) k distribučnímu systému VZT.

Stanovení útlumu hluku probíhalo formou odborného experimentu v prostoru dozvukové komory v areálu výrobního závodu fy. Soller a Palau ve Španělsku.

Cílem měření bylo získání komplexních charakteristik akustických vlastností těchto prvků. Byly použity následující prvky:

- Hadice průměru Ø125 mm, 160 mm, 200 mm a 250 mm
- Každý měřený průměr s délkou 1 m a 2 m
- Každý samostatně měřený průměr hadice a délka byla dále měřena v přímé trase, v trase s kolenem 45° a v trase s kolenem 90°

Akustickým zdrojem hluku pro účely experimentu byl zvolen generátor růžového šumu

Experiment byl proveden pro všechny kombinace výše uvedených prvků. Výpočtový software bude naprogramován jako DLL knihovna v programovacím jazyku DELPHI.

Software umožní stanovení útlumu hluku hadice s konkrétním průměrem v průřezu s možností zadání geometrie a délek.

Zadání zdroje hluku hodnotami akustického výkonu v uživatelem definovaných oktavových pásmech.

Výstupem jsou hladiny akustického výkonu v zadáných oktavových pásmech a výsledná součtová hladina akustického výkonu, která může sloužit pro porovnání s požadavky nařízení vlády ^[1].

Při řešení problematiky útlumu hluku je nutné rozdělit výpočet do jednotlivých na sebe navazujících kroků. Tyto jsou:

- Příprava a průběh experimentu v dozvukové komoře
- Zpracování získaných dat stanovení matematického popisu pro jednotlivé řešené prvky
- Vytvoření DLL knihovny – výpočetní modul pro stanovení útlumu hluku zvukově izolačních hadic

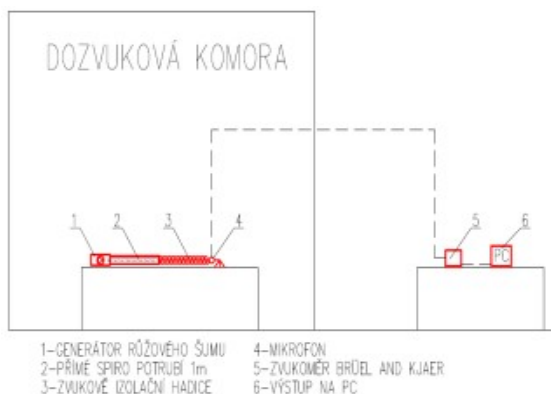
4.1 EXPERIMENT V DOZVUKOVÉ KOMOŘE

V rámci experimentu byla stanovena měřicí sestava, která se skládala z prvků na obrázku níže. Zdrojem zvuku je generátor růžového šumu, který v rámci měření pracuje ve dvou režimech a to:

Provozní režim 1 V: 92,7 dB(L)

Provozní režim 0,5 V: 86,9 dB(L)

Ke generátoru růžového šumu bylo připojeno plechové potrubí kruhového průřezu délky 1m. Na toto potrubí byly postupně připojovány měřené zvukově izolační hadice. Na konci hadice byl osazen mikrofón pro záznam dat (obr. 4.1).



Obr. 4.1: Skladba měřicí soustavy – vlevo schéma, vpravo měřicí soustava v dozvukové komoře

V rámci experimentu bylo nutné nejdříve stanovit základní akustické parametry zdroje hluku. Měření bylo provedeno tak, že v měřicí sestavě nebyla zapojena žádná zvukově izolační hadice a snímaná data byla uvažována jako parametr, od kterého se odečítaly změřené hodnoty při zapojení hadice. Každé měření bylo opakováno třikrát nezávisle na sobě. Tak, aby byl získán statisticky významný vzorek. Z časových důvodů nebylo možné zpracovat větší množství opakovaných měření. Měření probíhalo v délce 30 sekund, pro zajištění správného měření. Měřený zvuk lze definovat jako ustálený. Získaná data měření jsou v 1/24 oktávovém spektru. To znamená, že spektrum je získáno s mnohem větší přesností, než při měření např. 1/3 oktávovém pásmu, které je v České republice běžné při praktickém měření v budovách před uvedením do provozu. Na obr. 4.2 je zobrazena dozvuková komora.

Dozvuková komora – místnost přesně definovaných rozměrů, která se používá ke stanovení akustických parametrů materiálů (součinitel zvukové pohltivosti – α), pro stanovení akustických parametrů výrobků. V tomto případě se komora fyzikálně přibližuje k otevřenému poloprostoru. Stěny a strop jsou obloženy vysoce absorpčním materiálem a podlaha je naopak materiál akusticky reflektivní.

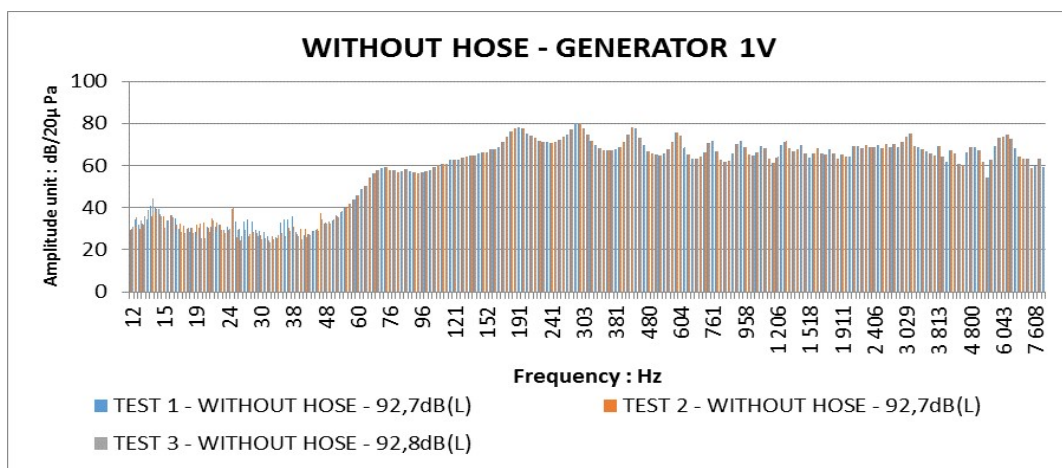
Růžový šum – signál, jehož výkonová frekvenční hustota je přímo úměrná převrácené hodnotě frekvence. Tento signál odpovídá logaritmickému charakteru slyšení lidského ucha. Používá se také často k testování zvukových systémů.



Obr. 4.2: Pohled na vstupní dveře dozvukové komory s aparaturou pro připojení ventilátorů

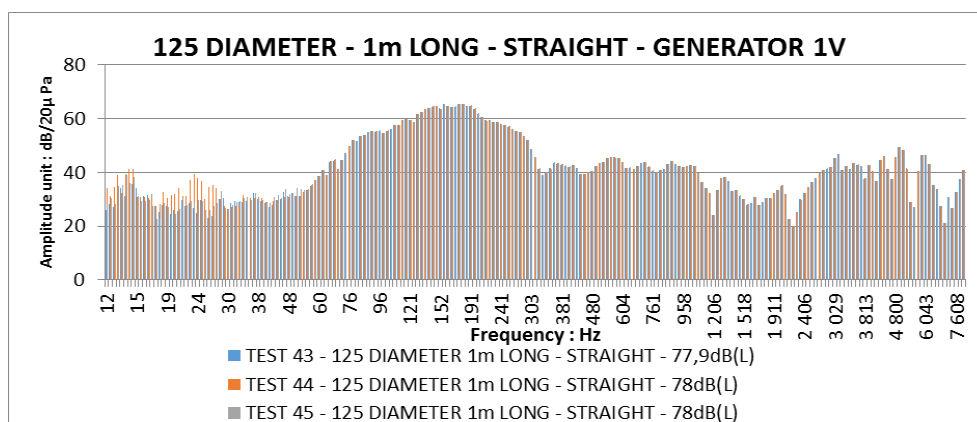
5 ZPRACOVÁNÍ STATISTICKÉHO SOUBORU NAMĚŘENÝCH DAT

Z dat získaných měření v akustické laboratoři v Ripoll bylo dále potřeba získat relevantní informace. Každé měření zaznamenává výsledky v 227 oktávových pásmech v rozsahu od 12 Hz do 8000 Hz. Tak velké množství dat bylo nutné zpracovat a zjednodušit pro srozumitelný výstup. Forma nezpracovaného výstupu z měřicího intervalu bez osazené zvukově izolační hadice obr. 5.1.

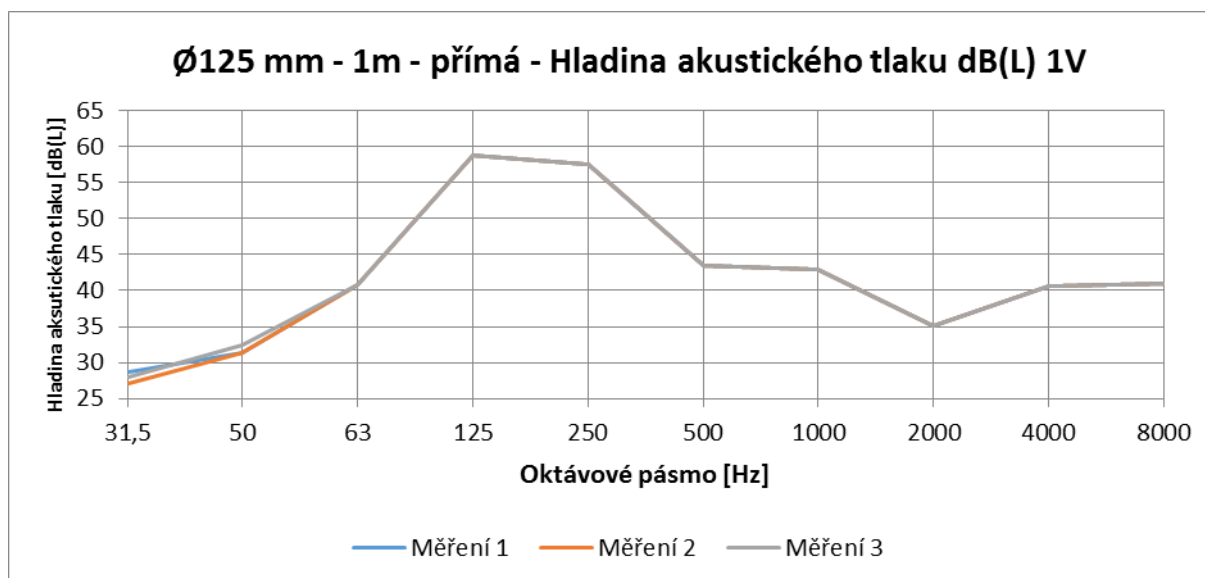


Obr. 5.1: Výstup z původního měření. Jedná se o měření hladiny akustického tlaku bez použití zvukově izolačních hadic k získání akustických parametrů zdroje zvuku

Po konzultacích byla vybrána data reprezentující nejčastěji používaná oktávová pásma ve stavební akustice v rozsahu 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2kHz, 4 kHz a 8 kHz. Ale praktickým pozorováním v praxi víme, že akustické zdroje ve vzduchotechnice produkují významný podíl akustické energie na velmi nízkých oktávových pásmech v okolí 31,5 Hz a 50 Hz. Tyto dvě hodnoty byly v rámci zpracování dat zahrnuty do množiny řešených oktávových pásem za účelem zjištění schopnosti zvukově izolačních hadic v těchto frekvencích tlumit hluk.



Obr. 5.2: Nezpracovaný výstup z naměřených dat (nahore) a hodnoty pro zvolená frekvenční pásma zvukově izolační hadici Ø125 délky 1 m měřené v přímém směru bez zalomení



Obr. 5.3: Hodnoty pro zvolená frekvenční pásma pro zvukově izolační hadici Ø125 délky 1 m měřené v přímém směru bez zalomení

Z obr. 5.2 a 5.3 je patrné, že tři nezávislá měření se v naměřených hodnotách zásadně neliší, díky tomu bylo ověřeno, že akustický zdroj růžového šumu pracuje stabilně a konzistentně.

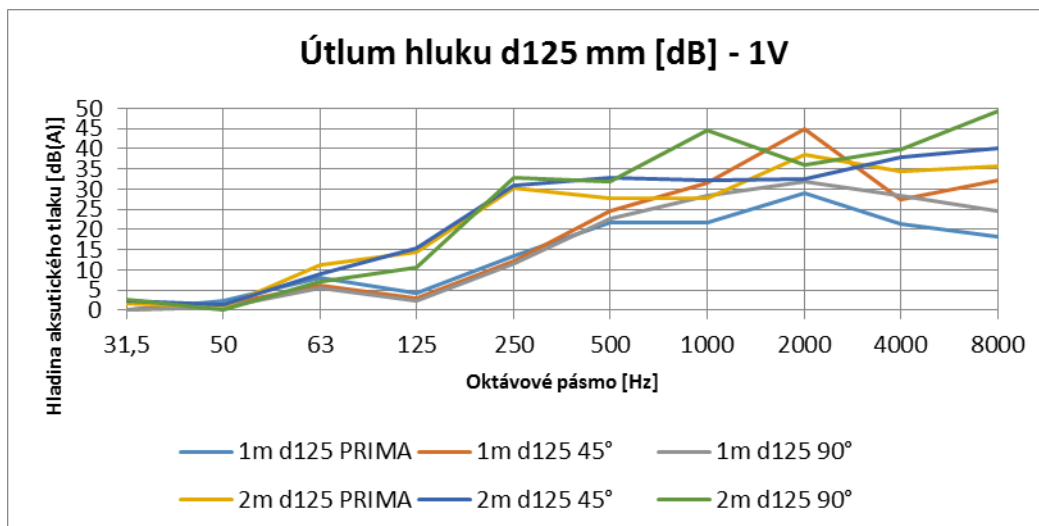
Po získání vstupních dat bez zvukově izolační hadice proběhlo obdobné zpracování dat pro jednotlivé hadice a jejich variantní polohy a délky.

V této fázi máme k dispozici hladiny akustického tlaku změřené bez zvukově izolační hadice v měřicí soustavě a dále hladiny akustického tlaku změřené s hadicí. Nyní musíme stanovit útlum hluku v jednotlivých oktávových pásmech a to odečtením změřených hodnot bez hadice a s hadicí. Výsledný rozdíl určí hodnotu útlumu.

Stanovení útlumu hluku bylo postupně provedeno pro všechny měřené hadice. V tab. 5.1 a obr. 5.4 je zobrazen útlum hluku pro hadici průměru 125 mm

Hadice d125 mm, Generátor růžového šumu - 1V						
Oktávové pásmo	Délka 1 m			Délka 2 m		
	1m d125 PRIMA	1m d125 45°	1m d125 90°	2m d125 PRIMA	2m d125 45°	2m d125 90°
31,5	0	0	0	2	2	3
50	2	2	1	1	1	0
63	8	6	5	11	9	7
125	4	3	2	14	15	11
250	14	12	12	30	31	33
500	22	24	23	28	33	32
1000	22	32	28	28	32	45
2000	29	45	32	39	32	36
4000	21	27	28	35	38	40
8000	18	32	25	36	40	49

Tab. 5.1: Hodnoty útlumu hadic v jednotlivých oktávových pásmech pro hadici Ø125 mm, jednotlivých délek vzorků a geometrie měření



Obr. 5.4: Grafické vyjádření útlumu hluku v oktávních pásmech; hadice průměru 125 mm

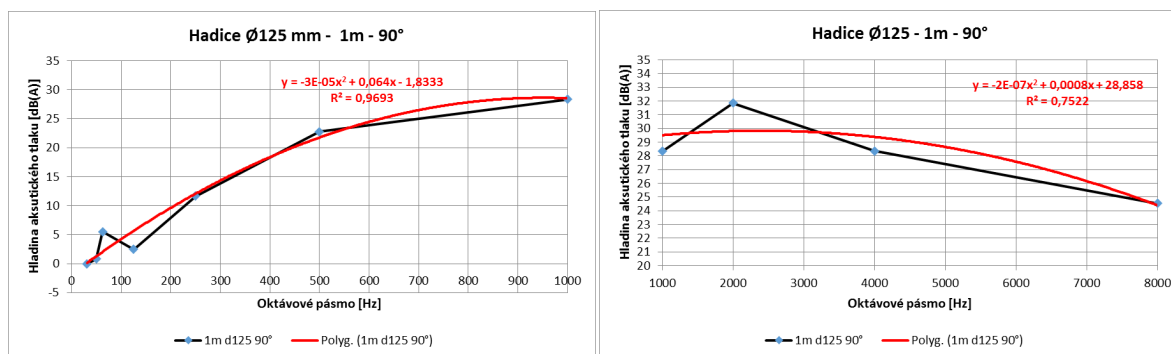
5.1 MATEMATICKÝ POPIS ÚTLUMU ZVUKU

Následujícím krokem je stanovení matematického popisu průběhu útlumu hluku ΔL_p [dB] zvukově izolačních hadic různých délek, tvaru a průměru, který byl zjištěn experimentální metodou. V každém grafu je popsán útlum hluku v jednotlivých oktávních pásmech od 31,5 Hz do 8000 Hz včetně útlumu hluku ve frekvenčním pásmu 50 Hz, který je často kritický u velkého množství ventilátorů.

Protože průběh grafu od výše zmíněné hodnoty 31,5 Hz do 8000 Hz nelze nahradit jednou spojitou funkcí, bylo nutné křivky rozdělit na dva různé samostatné celky, které popisují příslušné matematické funkce. Tyto celky jsou definovány od 31,5 Hz do 1000 Hz a od 1000 Hz do 8000 Hz. Pro ilustraci jsou uvedeny matematická vyjádření pro hadice $\varnothing 125$ mm a $\varnothing 250$ mm a to jak v grafické (obr. 5.5), tak i numerické podobě (tab. 5.2).

Průměr hadice DN	Délka [m]	Geometrie oblouku [°]	Matematický popis 31,5Hz – 1000Hz	Matematický popis 1kHz – 8kHz
125	1	rovná	$y = 6,6937 \ln(x) - 23,209$	$y = -2E-07x^2 + 0,0006x + 23,923$
	1	45	$y = 1,0917x^2 - 3,4919x + 3,4005$	$y = 8,835x^3 - 68,341x^2 + 156,37x - 65,217$
	1	90	$y = -3E-05x^2 + 0,064x - 1,8333$	$y = -2E-07x^2 + 0,0008x + 28,858$
125	2	rovná	$y = 0,0646x^3 - 1,2323x^4 + 8,0696x^3 - 20,869x^2 + 23,311x - 7,9156$	$y = 3,3562x^3 - 27,57x^2 + 69,996x - 17,946$
	2	45	$y = 0,0553x^3 - 1,1236x^4 + 7,8413x^3 - 21,529x^2 + 24,912x - 7,976$	$y = -1,4866x^3 + 11,585x^2 - 24,07x + 46,099$
	2	90	$y = 13,255 \ln(x) - 47,693$	$y = 26,367x^{0,0592}$
250	1	rovná	$y = -2E-05x^2 + 0,0488x - 1,1343$	$y = 8E-07x^2 - 0,0093x + 34,801$
	1	45	$y = 0,6064x^2 - 0,7968x - 0,6274$	$y = 9,0474x^3 - 67,458x^2 + 146,59x - 65,243$
	1	90	$y = 0,1328x^4 - 1,9618x^3 + 10,687x^2 - 21,474x + 12,672$	$y = 9,1529x^3 - 68,02x^2 + 143,14x - 52,026$
250	2	rovná	$y = 0,2352x^4 - 4,0368x^3 + 23,119x^2 - 44,28x + 25,654$	$y = 6,4187x^3 - 49,595x^2 + 108,46x - 36,477$
	2	45	$y = 0,1574x^5 - 2,7826x^4 + 17,25x^3 - 44,131x^2 + 47,717x - 18,098$	
	2	90	$y = 6,6855x^3 - 52,007x^2 + 116,43x - 36,956$	$y = 3,0431x^3 - 22,841x^2 + 43,082x + 18,861$

Tab. 5.2: Matematický popis útlumu hluku zvukově izolačních hadic průměru $\varnothing 125$ mm a $\varnothing 250$ mm



Obr. 5.5: Matematický popis útlumu hluku zvukově izolačních hadic průměru Ø125 mm. Rozdělený na 2 části. Od 25 Hz do 1 kHz v grafu nahoře. Od 1 kHz do 8 kHz v grafu dole.

5.2 CHARAKTERISTIKA VLASTNÍHO HLUKU

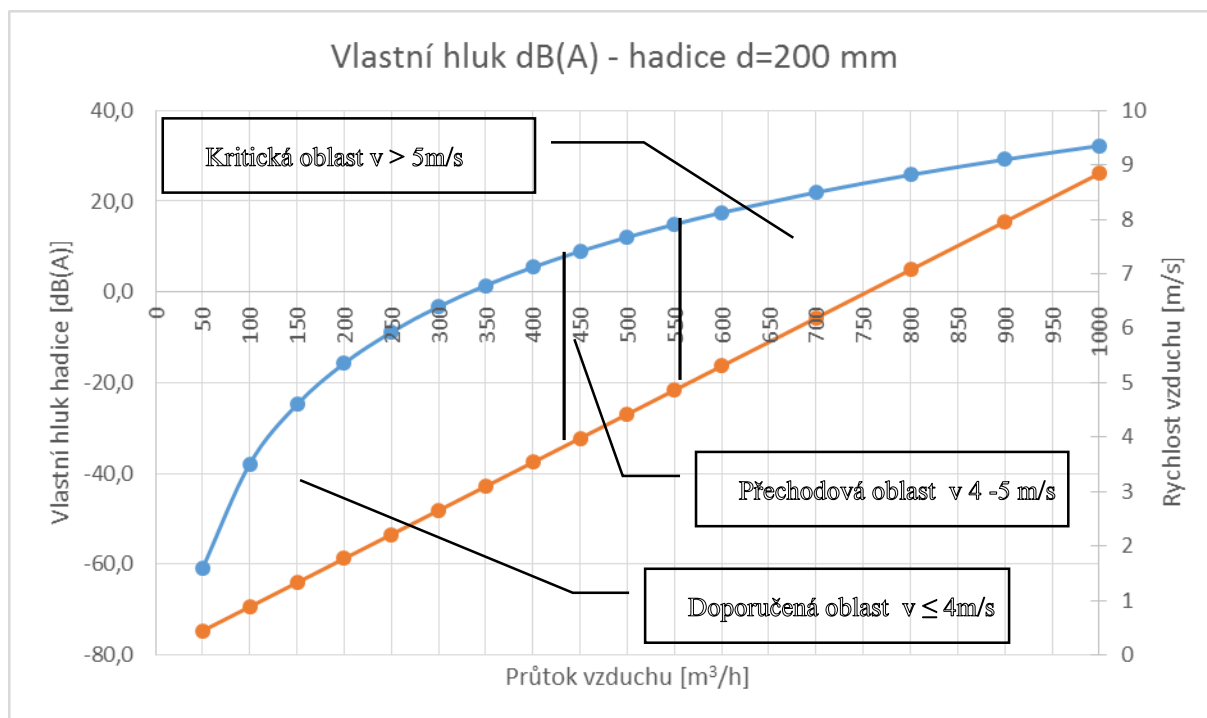
Každý prvek umístěný v rozvodech vzduchotechnického potrubí akusticky ovlivňuje více, či méně výslednou hodnotu v řešeném prostoru. Stejně tak lze matematicky stanovit a vyjádřit vlastní akustické projevy zvukově izolačních hadic.

$$L_{w\text{ oct}} = B + \left[10 * \log \left(p * c * \frac{S}{W_0} \right) + 60 * \log(Ma) + 10 * \log \left(1 + \left(\frac{c}{2 * f * H} \right)^2 \right) - 10 * \log \left(1 + \left(\frac{f * \Delta}{W_0} \right)^2 \right) \right]$$

- B – Konstanta hladiny akustického výkonu tlumiče [dB]
- p – Statický tlak ve vzduchotechnickém potrubí [Pa]
- c – Rychlost zvuku ve vzduchu (uvažována hodnota vztažená pro teplotu vzduchu 20°C) [m/s]
- S – Plocha nejmenšího průřezu v místě zvukově izolační hadice [m²]
- w_i – Rychlost proudění vzduchu v průřezu zvukově izolační hadice [m/s]
- W_0 – Referenční akustický výkon [W]
- Ma – Machovo podobnostní číslo [-]
- f – Oktávové pásmo, pro které je určována hodnota vlastního hluku [Hz]
- H – Největší příčný rozměr zvukově izolační hadice – průměr [m]
- Δ – Spektrální rozsah vysokých kmitočtů [-]

Pro výpočet je nutné znát geometrické vlastnosti tlumiče, potažmo hadice. V případě vzniku prostorové deformace, která má vliv na průřezovou plochu hadice například vlivem lokálního zmáčknutí hadice v nedostatečném prostoru, nebo špatně provedené ohnutí hadice s malým průměrem dojde k lokálnímu zvýšení rychlosti proudění vzduchu a následně i zvýšením akustických parametrů. U běžných kulisových, nebo buňkových tlumičů je zvýšení rychlosti ve volném průřezu tlumiče hlavní příčinou vysoké vlastní hladiny akustického výkonu prvku a tím i špatnými zvukově izolačními vlastnostmi.

akustického výkonu. Na obr. 5.6 jsou zobrazeny meze vhodného návrhu průtoku vzduchu pro zvukově izolační hadici průměru 200 mm.



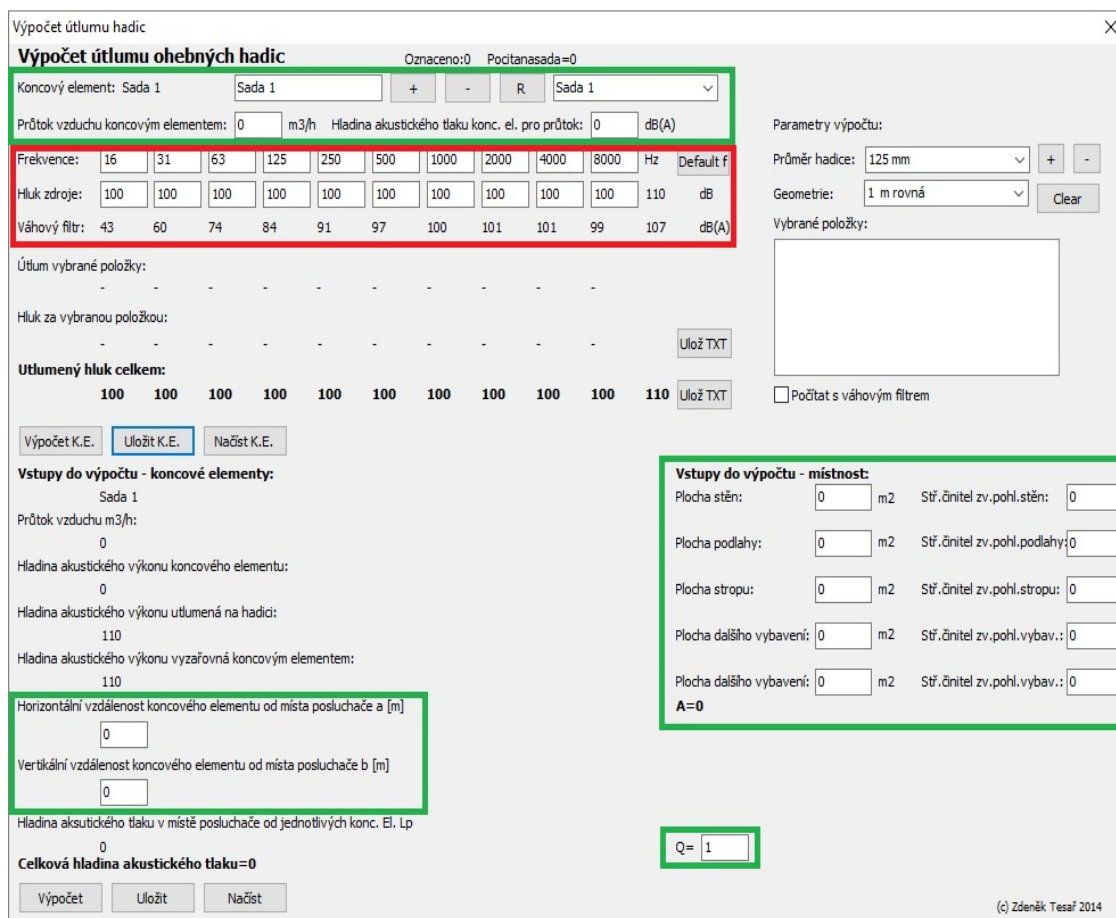
Obr. 5.6: Vlastní hladina akustického výkonu hadice d= 200 mm

Graf je rozdělený na tři části. Doporučená oblast s rychlostí dopravovaného vzduchu menší, než 4 m/s. Tato byla zvolena na základě množství vzduchu. Vlastní hluk generovaný hadicí na hranici 4 m/s je velmi nízký, dosahuje hodnot 10 dB(A) v součtové hladině. Tyto průtoky vzduchu je vhodné volit při distribuci vzduchu do pobytových zón pracovního prostředí, do místností s vyššími nároky na standard větrání a se specializovaným využitím (operační sály, laboratoře, specializované vyšetřovny). Rychlost vzduchu v doporučené oblasti obecně reflektuje akustické nároky běžně používaných koncových elementů tak, aby akustická energie utlumená ve zvukově izolační hadici nebyla navyšována při průchodu koncovým elementem.

V přechodové oblasti jsou voleny rychlosti proudění vzduchu mezi 4 a 5 m/s. Průtoky vzduchu odpovídající této rychlosti je vhodné volit do prostorů s menším komfortem. V případě čistých prostorů je vhodné je využít například pro požární větrání chráněných únikových cest, kde jsou z důvodu zachování čistoty prostoru požadovány čisté nástavce. Zachování rychlostí z doporučené oblasti by vedlo k nežádoucímu navyšování počtu koncových elementů a vyšším investičním nákladům. Navíc v běžném čistém prostoru se často stává, že umístění rozvodů vzduchotechniky a koncových elementů je z hlediska požadovaných prostorových nároků obtížné – zvýšení rychlosti proudění vzduchu vede ke zmenšení celkového počtu koncových elementů.

6 TVORBA VÝPOČTOVÉHO MODELU

Získaná data, matematický popis křivek útlumu zvuku jsou následně použity jako DLL knihovna pro programový modul Útlum hluku software Teruna. DLL knihovna je ve své podstatě soubor výpočetních funkcí, které je možné pomocí příslušné operace volat z nadřazeného programového prostředí. Každá funkce v DLL knihovně má vlastní specifické označení. A před voláním funkce pro zjištění výsledného útlumu hluku je nejdříve nutné stanovit proměnnou, která představuje vstupní hodnoty pro uvedenou funkci. Program je tvořen ve spolupráci s Ing. Zdeňkem Tesařem, Ph.D.



Obr. 6.1: Uživatelské rozhraní modulu Útlum hluku. Červeně jsou vyznačeny vstupní údaje, které volí uživatel. Frekvenční pásmo a akustické parametry zdroje (v poli hluk zdroje). Dle volby uživatele software počítá, nebo nepočítá s váhovým filtrem A.

Program tvoří soustavu navzájem propojených modulů. Každý modul obsahuje specifické matematické funkce, které popisují daný fyzikální jev. Modul Útlum hluku je část programu, určená pro výpočet útlumu hluku zvukově izolačních hadic. Po stanovení útlumu prvků ZI hadice je možné aplikovat zjištěné hodnoty na prostor a stanovit přesnou hodnotu hladiny akustického tlaku v místě posluchače. Prvním krokem je stanovení vstupních údajů, kterými jsou akustické vlastnosti zamýšleného zdroje nežádoucího zvuku (na obrázku 6.1 vyznačeny červenou barvou) a dle požadavku uživatele zvolit, o které frekvence se jedná (obráz. 6.1 – standardní

zobrazení při spuštění programu). Dále má možnost uživatel zvolit, zda chce uvažovat při výpočtu váhový filtr A, nebo zda už je tento váhový filtr započtený v jím zadaných hodnotách.

Uživatel dále vybere dle vlastní potřeby průměr prvku, se kterým uvažuje a jeho délku, případně úhel kolene – tedy geometrii řešené trasy hadice. Program umožňuje volbu i více různých průřezů zvukově izolačních hadic. Účelem programu je výpočet hladiny akustického tlaku v reálné místnosti analytickou metodou. V programu lze definovat koncové elementy, které jsou uvažovány jako zdroje zvuku. (na obr. 6.1 vyznačeno zelenou barvou). Tyto jsou určeny základními fyzikálními vlastnostmi:

a) Charakteristika koncového elementu:

Pole Sada 1 – Název koncového elementu pro snazší identifikaci a orientaci v prostoru místnosti. Například Odvod vstup do místnosti, apod.

Průtok vzduchu koncovým elementem – Hodnota definující vlastní akustické parametry koncového elementu, ale také připojovací ZI hadice. V programu lze definovat až 8 koncových elementů, každý s vlastními hodnotami průtoku vzduchu a tím i vlastními akustickými parametry.

b) Hladina akustického výkonu konc. el. pro průtok – Akustický výkon koncového elementu. Stanovený na základě podkladů výrobce. Spolu s hodnotou hladiny akustického výkonu vstupující do koncového elementu má významný vliv na výslednou podobu akustického mikroklima v obsluhované místnosti.

c) Horizontální/vertikální vzdálenost koncového elementu od místa posluchače a [m] – vzdálenost zdroje zvuku určuje hodnotu útlumu zvuku v poli přímých vln.

Modul Vstupy do výpočtu - místnost

Parametry, které určují schopnost povrchů konstrukcí v řešeném prostoru pohlcovat, nebo odrážet dopadající akustickou energii. Tato hodnota ovlivňuje pole odražených vln a spolu se vzdáleností posluchače od zdroje zvuku má rozhodující vliv na výslednou podobu akustického mikroklima v prostoru. Místnost je v základu programu definována obvodovými konstrukcemi, stěnami, podlahou a stropem s tím, že je možné nadefinovat ještě další dva prvky a jejich akustické vlastnosti – plocha dalšího vybavení.

a) Střední činitel zvukové pohltivosti

Vzhledem k tomu, že hodnota činitele zvukové pohltivosti α nabývá pro každý materiál různých hodnot v závislosti na zvoleném frekvenčním pásmu, byla zvolena zjednodušující varianta stanovení středního činitele zvukové pohltivosti, který vyjadřuje střední hodnotu přes relevantní oktávová pásma.

Vzhledem k charakteru materiálů běžně užívaných v čistých prostorech se pohybuje činitel zvukové pohltivosti ve velmi nízkých hodnotách. To v praxi znamená, že

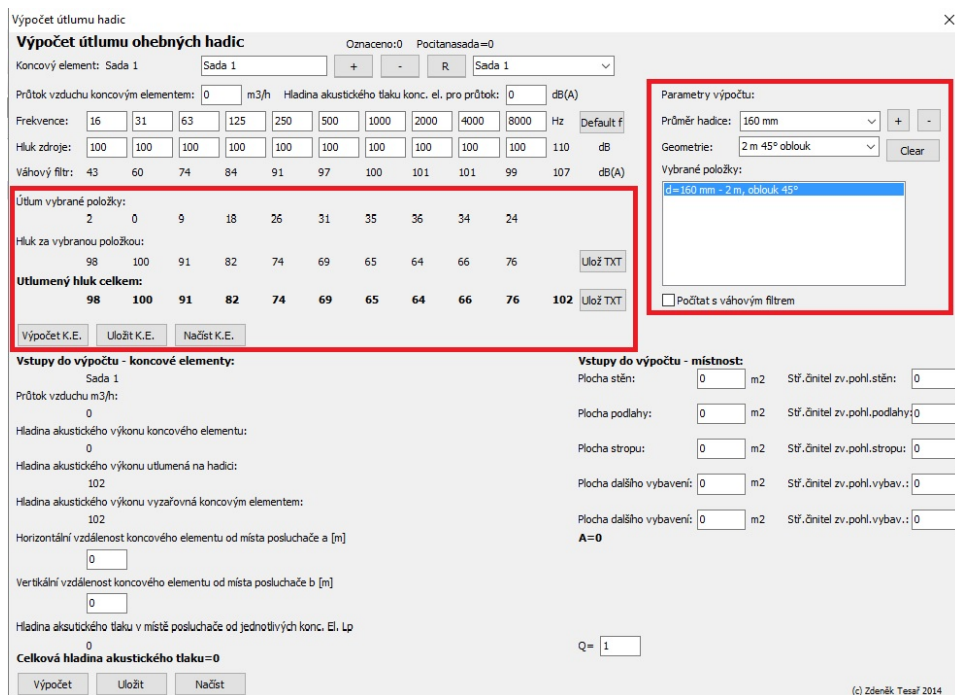
hodnota útlumu akustické energie dopadající na plochu materiálu je velmi nízká a většina dopadající energie se odrazí zpět.

Čisté prostory vybavení laboratoří, operačních sálů a dalších místností musí být snadno omyvatelné s minimální porézností povrchu ploch. Tato vlastnost materiálů způsobuje jejich nízkou schopnost absorpce dopadající akustické energie. V případě čistých prostor nabývá součinitel zvukové pohltivosti hodnot 0,01 až 0,1. Dle ČSN EN ISO 11654 tak spadají běžně užívané materiály do třídy bez klasifikace, tedy vysoce odrazivých materiálů. Což znamená, že z celkového množství dopadající akustické energie na plochu dokáže pohltit 3% a 97% je odraženo zpět do místnosti. Proto vliv pole odražených vln na útlum v místnosti je minimální a musí být proveden podrobný návrh a opatření v rámci pole přímých vln.

b) Směrový činitel Q

Směrový činitel definuje polohu zdroje zvuku vůči posluchači a definuje možnosti šíření zvuku v prostoru. Směrový činitel určuje intenzitu vyzařovaného zvuku směrem k posluchači. Vychází z teorie vlnění, kde je definováno, že akustická energie se šíří v kulových vlnoplochách. Směrový činitel s hodnotou 1 definuje šířený zvuk do 360° ze zdroje (např. letadlo, nebo jiné letící těleso, které je zdrojem zvuku) – tedy rovnoměrně do svého okolí.

Při výběru konkrétní položky v poli *Vybrané položky* software zobrazí hodnotu útlumu vybraného prvku ve zvolených oktávových pásmech a také hodnotu akustického výkonu za vybraným prvkem.



Obr. 6.2: Uživatelské rozhraní modulu Útlum hluku. Červeně jsou vyznačeny výstupní údaje, jsou vypočteny na základě vstupních údajů

c) Útlum vybrané položky

Zobrazí hodnoty útlumu akustické energie ve vybraných oktavových pásmech při zvýraznění položky v panelu Vybrané položky v pravé části okna

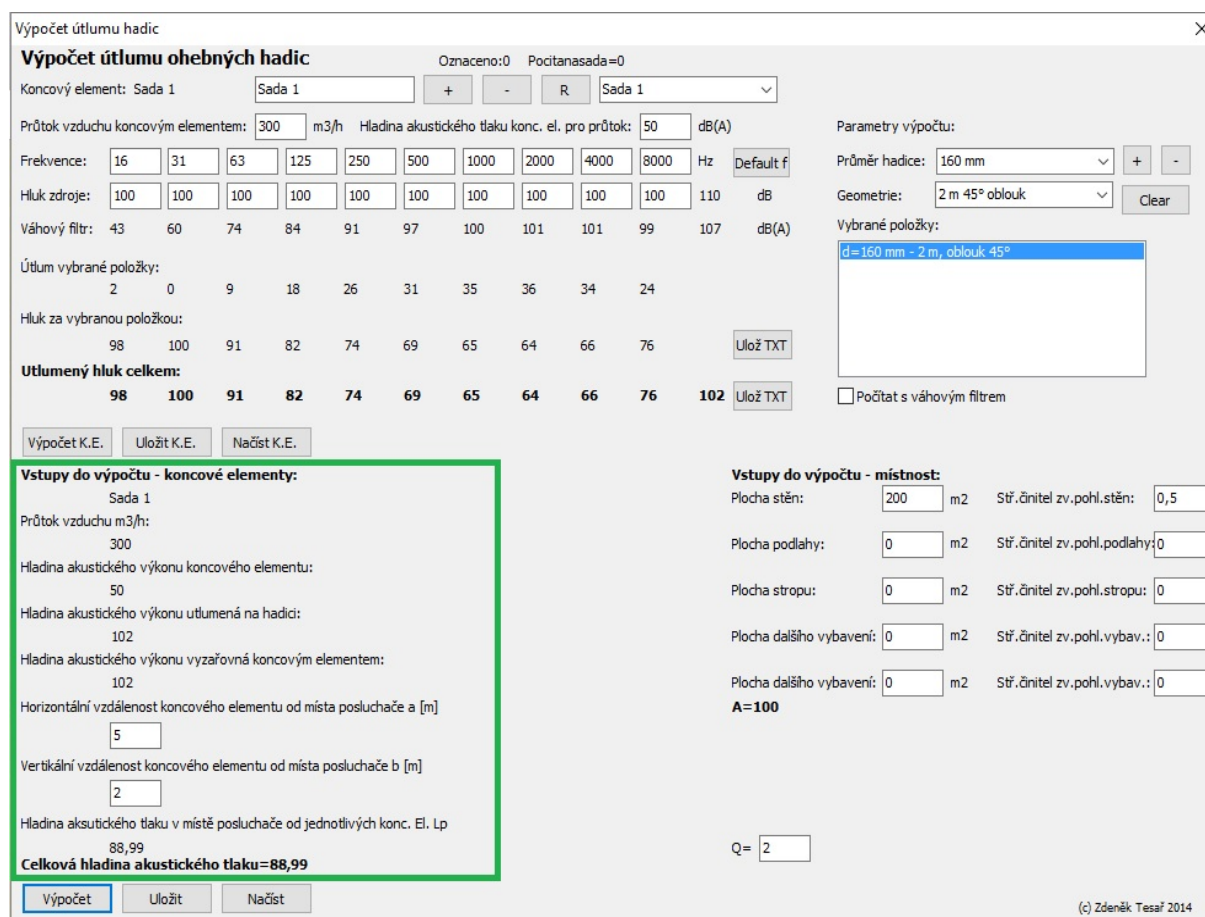
d) Zvuk za vybranou položkou

Slouží k rychlému přehledu utlumené akustické energie za vybranou zvukově izolační hadicí včetně započítání vlivu vlastního hluku ZI hadice

e) Utlumený zvuk celkem

Zobrazí hodnotu hladiny akustického výkonu v jednotlivých oktavových pásmech a součtové hladiny akustického výkonu vstupující do koncového elementu.

Při zadání vstupních parametrů vzduchotechnického zařízení, zvukově izolačních hadic a následně i charakteristiky koncového elementu a vlastnosti řešené místnosti, můžeme spočítat výslednou hladinu akustického tlaku v místě posluchače, která je relevantní při stanovení hygienického limitu daného platnou legislativou.



Obr. 6.3: Uživatelské rozhraní modulu Útlum hluku. Červeně jsou vyznačeny výstupní údaje, jsou vypočteny na základě vstupních údajů

Na obr. 6.3 je zobrazen výsledný postup po zadání vstupních údajů.

Vstupy do výpočtu – koncové elementy –

Přehled zadaných koncových elementů dle názvu uživatele (nastavení při spuštění jsou názvy Sada 1) V případě, že uživatel zadá více koncových elementů, jejich výčet se ukáže v tomto řádku

f) Průtok vzduchu [m^3/h]

Rekapituluje průtok vzduchu definovaným koncovým elementem

g) Hladina akustického výkonu koncového elementu [dB(A)]

Rekapituluje vlastní hladinu akustického výkonu koncového elementu v zadání

h) Hladina akustického výkonu utlumená na ZI hadici [dB(A)]

Jedná se o součtovou hladinu akustického výkonu vstupující do koncového elementu. Hodnota je převzata z parametru Utlumený hluk celkem zjištěným při zadání

i) Hladina akustického výkonu vyzařovaná koncovým elementem [dB(A)]

Definuje celkovou hladinu akustického výkonu určeného koncového elementu, která vstupuje do obsluhované místnosti a ovlivňuje akustické mikroklima. Tato hodnota je získána logaritmickým součtem vlastního akustického výkonu koncového elementu a hodnoty utlumené zvukově izolační hadicí.

j) Hladina akustického tlaku v místě posluchače od jednotlivých koncových elementů L_p [dB(A)] –

Vypočtená hladina akustického tlaku na základě zadaných okrajových podmínek na straně vzduchotechniky a na straně řešené místnosti. Tyto hodnoty jsou definovány zvlášť pro každý ze zadaných koncových elementů.

k) Celková hladina akustického tlaku L_{pc} [dB(A)] –

Součtová hladina akustického tlaku spolupůsobících zdrojů zvuku. Tato hodnota je určena k porovnání s platnými hygienickými a legislativními požadavky a v případě, že tyto požadavky nebudou splněny, je nutné učinit vhodná opatření a řešený prostor předefinovat (po stránce VZT, nebo stavební)

6.1 VALIDACE VÝPOČTOVÉHO MODELU

K ověření přesnosti výpočtového modelu byla provedena jeho validace podle skutečného stavu. Při realizaci stavby, jejíž součástí je i šest centrálních superseptckých operačních sálů byla zjištěna závada v projektové dokumentaci, která měla za následek situaci, kdy hladina akustického tlaku v prostoru operačního sálu nebyla slučitelná s požadavky NV 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Po provedení měření akustických parametrů byla navržena a realizována změna, která vedla ke zlepšení akustických parametrů.

Tyto parametry byly dále změřeny. Cílem validace je ověřit jak se liší teoretický model výpočtu od hodnot získaných reálným měřením na stavbě.

6.2 MĚŘENÍ HLADINY AKUSTICKÉHO TLAKU NA STAVBĚ

V tabulce 6.1 jsou uvedeny hodnoty hladiny akustického tlaku měřeného v operačním poli v místě posluchače. Hodnoty jsou uvedeny před provedením technických úprav pro zlepšení akustických poměrů (skutečný stav) a po provedení úprav – napojení odvodních kanálů přes zvukově izolační hadice, provedení dalších koncových elementů ve stropní konstrukci OS (nový stav) Provádění stavebních úprav pro zlepšení akustických poměrů v prostorech operačních sálů je na obr. 6.1

Ekvivalentní hladina akustického tlaku v místě posluchače L_{pA} dB(A)		
Místnost číslo	SKUTEČNÝ STAV	NOVÝ STAV
4.029	48 dB(A)	41 dB(A)

Tab. 6.1 – Hladiny akustického tlaku změřené v operačních sálech

6.3 ZADÁNÍ DO VÝPOČTOVÉHO MODELU

V kapitole 6.2 byl řešen problém s utlumením akustické energie v operačních sálech. Pro účely validace vypočítaných hodnot bude stejný problém řešen, ale analyticky teoretickou metodou simulace řešených stavů a zjišťování odchylky získané výpočetním programem, oproti skutečným údajům získaných na stavbě měření.

1) Skutečný stav – Stav po realizaci stavby neslučitelný s hygienickými požadavky

2) Nový stav – Stav po provedení úprav na systémech VZT

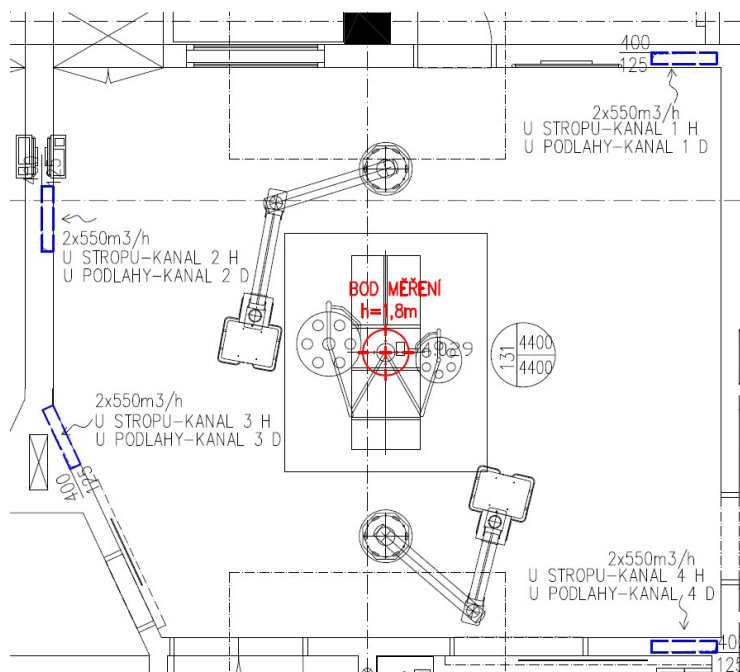
Zjednodušení okrajových podmínek pro zadání do matematického modelu:

- Vliv akustiky laminárního stropu pro přívod vzduchu bude zanedbán. Měřený akustický tlak laminárního stropu při průtoku vzduchu definovaném v PD dosahoval hodnoty 30 dB(A). Tato hodnota ovlivňuje výslednou hladinu akustického tlaku v místě posluchače v odchylce menší, než 1 dB.
- Zanedbání vlivu teploty a vlhkosti vzduchu na šíření akustické energie ve vnitřním prostředí. Jedná se o místnosti s malým až středně velkým objemem a měření byla provedena za běžného tepelně-vlhkostního stavu pro letní období. Teplota vzduchu 21°C a relativní vlhkost 42% při měření v novém stavu. Tyto hodnoty nemají zásadní vliv na výslednou hladinu akustického tlaku v místě posluchače.
- Výpočet pro Skutečný stav zanedbává vliv akustické energie vstupující do odvodních kanálů od vzduchotechnické jednotky. Osazené tlumiče hluku na sání znehodnoceného vzduchu z interiéru snižují hladinu akustického výkonu tak, že v tomto stavu nemá tato hladina akustického výkonu vliv na parametry akustického mikroklima.

Pro účely ověření výpočtového programu byly vybrány dva operační sály. Jedná se o operační sály m. č. 4.029 a m. č. 4.054. V těchto sálech byla zjištěna nejvyšší hodnota hladiny akustického tlaku v bodě měření (obr. 6. a 6.10) dle výsledků měření z tabulky 6.. Při měření ve skutečném stavu byla zjištěna hladina akustického tlaku $L_{pA} = 48 \text{ dB(A)}$. Po provedení úprav v rámci systému VZT byla opětovným měření zjištěna hladina akustického tlaku v bodě měření $L_{pA} = 41 \text{ dB(A)}$. Bylo tedy dosaženo útlumu 7 dB.

Skutečný stav

Vstupní hodnoty hladiny akustického výkonu byly stanoveny teoretickým výpočtem, ve výpočtovém software jsou definovány jako Hluk zdroje. Vlastní hluk koncového elementu tedy není započítán, protože je již uvažován v hluku zdroje. Na obr. 6.4 je místnost operačního sálu 4.029. V popisech u jednotlivých odvodních prvků je vždy definováno umístění jednotlivých kanálů a to jak spodní, tak i horní části. Bod měření je definované místo uprostřed laminárního pole – červený bod - ve výškové poloze hlavy operátora, případně jiného pracovníka v prostoru operačního sálu – $h=1,8 \text{ m}$.

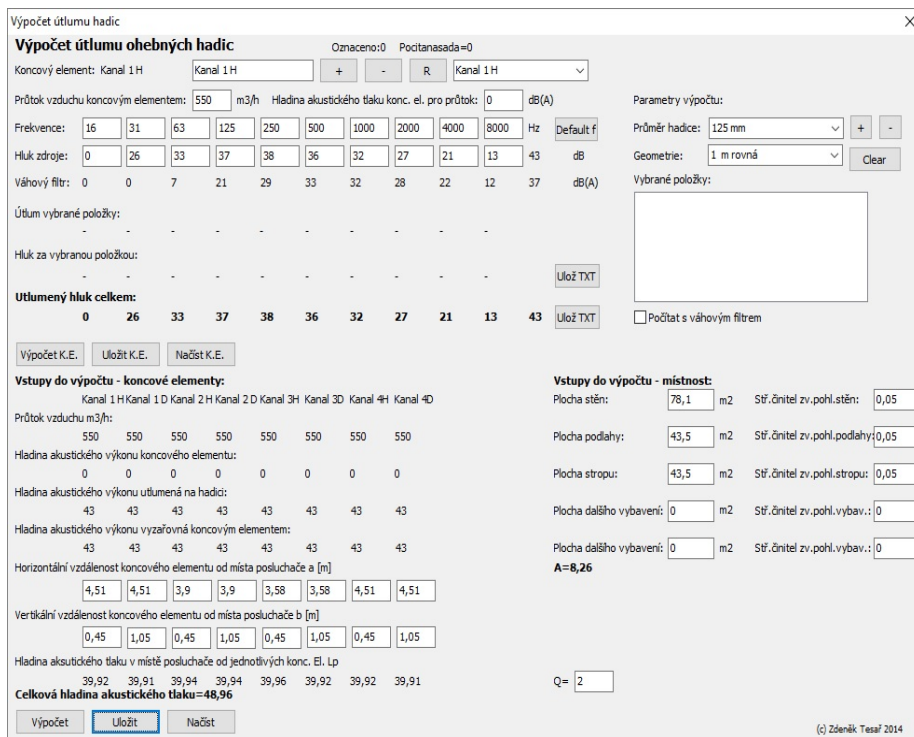


Obr. 6.4: Superaseptický OS 4.029. Modře vyznačeny odvodní VZT kanály. Červeně vyznačen bod měření uprostřed laminárního pole

Akustické parametry prostoru jsou definovány středním činitel zvukové pohltivosti. Pro zjednodušení jsou hodnoty konstantní pro celou plochu stěn, podlahy i stropu. Ve skutečnosti jsou však ve stěnách osazeny informační panely a obrazovky, ze stropu jsou zavěšeny stativy a laminární pole s laminarizátorem, který má též odlišné akustické vlastnosti. Tyto prvky jsou zanedbány, jejich vliv na

výslednou hodnotu hladiny akustického tlaku je vzhledem k poměru jejich plochy menší, než 0,5 dB. Výpočet je vždy vztažen k jednomu bodu měření. Plochy, na které dopadá akustická energie, jsou odečteny z PD. Hodnota středního činitele akustické pohltivosti je určena na základě použitých materiálů.

Výsledný výstup z programu útlum hluku ZI hadic pro ověření původního stavu je na obr. 6.5 pro místnost 4.029. V tab. 6.2 jsou uvedeny hodnoty hladin akustického výkonu generovaných jednotlivými koncovými elementy a výsledná hladina akustického tlaku v místě posluchače.



Obr. 6.5: Superaseptický OS 4.029. Výpočet hladiny akustického tlaku v místě posluchače. Ověření s hodnotou měřenou in situ

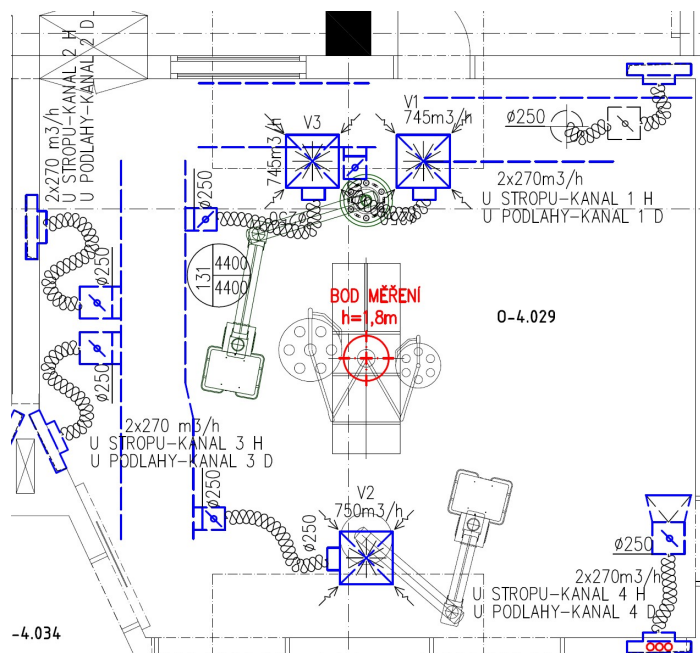
	Prvek	L_p konc. el [dB(A)]	L_{pc} [dB(A)]
Ovzdušňovací VZT kanály	Kanál 1H	39,92	48,96
	Kanál 1D	39,91	
	Kanál 2H	39,94	
	Kanál 2D	39,94	
	Kanál 3H	39,96	
	Kanál 3D	39,92	
	Kanál 4H	39,92	
	Kanál 4D	39,91	

Tab. 6.2 - Výpočet celkové hladiny akustického tlaku v místě posluchače pro místnost superaseptického OS 4.029 v původním stavu

Při měření na stavbě po realizaci byla hodnota akustického tlaku v místě posluchače změřena hodnotou $L_{pA} = 48 \text{ dB(A)}$. Teoreticky vypočtená hodnota činí $L_{pA} = 49 \text{ dB(A)}$.

Nový stav

V místnosti 4.029 jsou nyní osazeny kromě 4 odvodních kanálů s 8 odvodními vyústkami i 3 nové koncové elementy pro odvod vzduchu z prostoru podhledu. Schéma rozmístění koncových elementů po provedené úpravě včetně vyznačení měřicího bodu na obr. 6.6.



Obr. 6.6: Superaseptický OS 4.029 – po provedení úprav systému VZT. Modře vyznačeny odvodní VZT kanály a vyústky. Červeně vyznačen bod měření uprostřed laminárního pole

Výsledné hodnoty vypočítané programem pro stanovení útlumu hluku jsou seřazeny na obr. 6.7. Vzhledem k počtu vstupních prvků je výpočet rozdělen na dvě části.

Výpočet útlumu hadic

Výpočet útlumu ohebných hadic

Koncový element: V3

Průtok vzduchu koncovým elementem: 750 m³/h

Hladina akustického tlaku konc. el. pro průtok: 25 dB(A)

Parametry výpočtu:

Průměr hadice: 250 mm

Geometrie: 1 m 90° oblouk

Vybrané položky:

$d=250 \text{ mm} - 1 \text{ m, oblouk } 90^\circ$

Útlum vybrané položky:

16	31	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
0	0	27	36	26	24	21	17	25	34	39

Hluk za vybranou položkou:

0	0	25	30	16	7	-11	-18	13	16
---	---	----	----	----	---	-----	-----	----	----

Útlumový filtr:

0	0	1	20	17	21	21	18	26	33	34
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----

Útlum vybrané položky:

2	0	2	6	10	17	32	35	12	18
---	---	---	---	----	----	----	----	----	----

Hluk za vybranou položkou:

-2	0	25	30	16	7	-11	-18	13	16
----	---	----	----	----	---	-----	-----	----	----

Útlumový filtr:

0	0	25	30	16	7	0	0	13	16	31
---	---	----	----	----	---	---	---	----	----	----

Útlumový filtr:

0	0	25	30	16	7	0	0	13	16	31
---	---	----	----	----	---	---	---	----	----	----

Výpočet K.E. Ulož K.E. Načít K.E.

Vstupy do výpočtu - koncové elementy:

V3

Průtok vzduchu m³/h:

750

Hladina akustického výkonu koncového elementu:

25

Hladina akustického výkonu utlumená na hadici:

31

Hladina akustického výkonu vyzářená koncovým elementem:

32

Horizontální vzdálenost koncového elementu od místa posluchače a [m]

2,27

Vertikální vzdálenost koncového elementu od místa posluchače b [m]

1,2

Hladina akustického tlaku v místě posluchače od jednotlivých konc. El. L_p

29,2

Celková hladina akustického tlaku=39,2

Výpočet Ulož Načít

Vstupy do výpočtu - místnost:

Plocha stěn:

78,1 m²

Plocha podlahy:

43,5 m²

Plocha stropu:

43,5 m²

Plocha dalšího vybavení:

0 m²

Plocha dalšího vybavení:

0 m²

A=8,26

Q=1

(c) Zdeněk Tesal 2014

Výpočet útlumu hadic

Výpočet útlumu ohebných hadic Označeno: 9 Počítanásada=9

Koncový element: V2

Průtok vzduchu koncovým elementem: 745 m³/h Hladina akustického tlaku konc. el. pro průtok: 25 dB(A)

Frekvence: 16 31 63 125 250 500 1000 2000 4000 8000 Hz Default f

Hluk zdroje: 0 0 27 36 26 24 21 17 25 34 39 dB

Váhový filtr: 0 0 1 20 17 21 21 18 26 33 34 dB(A)

Útlum vybrané položky:

Hluk za vybranou položkou:

Utlučený hluk celkem:

0 0 25 30 16 7 0 0 13 16 31

Výpočet K.E. Uložit K.E. Načíst K.E.

Vstupy do výpočtu - koncové elementy:

Kanal 1H	Kanal 1D	Kanal 2H	Kanal 2D	Kanal 3H	Kanal 3D	Kanal 4H	Kanal 4D	V1	V2
Průtok vzduchu m ³ /h:	270	270	270	270	270	270	270	745	745
Hladina akustického výkonu koncového elementu:	32	32	32	32	32	32	32	25	25
Hladina akustického výkonu utlučená na hadici:	31	31	31	31	31	31	31	31	31
Hladina akustického výkonu vyzářovaná koncovým elementem:	35	35	35	35	35	35	35	32	32
Horizontální vzdálenost koncového elementu od místa posluchače a [m]	4,51	4,51	3,9	3,9	3,58	3,58	4,51	4,51	2,27
Vertikální vzdálenost koncového elementu od místa posluchače b [m]	0,45	1,05	0,45	1,05	0,45	1,05	0,45	1,05	1,2
Hladina akustického tlaku v místě posluchače od jednotlivých konc. El. Lp	31,58	31,57	31,59	31,59	31,6	31,59	31,58	31,57	29,2

Celková hladina akustického tlaku=41,2

Výpočet Uložit Načíst

Vstupy do výpočtu - místnost:

Plocha stěn: 78,1 m² Stř.činitel zv.pohl.stěn: 0,05

Plocha podlahy: 43,5 m² Stř.činitel zv.pohl.podlahy: 0,05

Plocha stropu: 43,5 m² Stř.činitel zv.pohl.stropu: 0,05

Plocha dalšího vybavení: 0 m² Stř.činitel zv.pohl.vybav.: 0

Plocha dalšího vybavení: 0 m² Stř.činitel zv.pohl.vybav.: 0

A=8,26

Q= 1

(c) Zdeněk Tesař 2014

Obr. 6.7: Superaseptický OS 4.029. Výpočet hladiny akustického tlaku v místě posluchače.
Ověření s hodnotou měřenou in situ

Rozdělení výpočtu na dvě části je uvedeno v tab. 6.3 - Výpočet celkové hladiny akustického tlaku L_p [dB(A)], ze všech hladin akustického tlaku v místě posluchače pro jednotlivé koncové elementy.

	Prvek	L_p konc. el [dB(A)]	L_{pc} [dB(A)]
Odvodní VZT kanály	Kanál 1H	31,58	41,56
	Kanál 1D	31,57	
	Kanál 2H	31,59	
	Kanál 2D	31,59	
	Kanál 3H	31,6	
	Kanál 3D	31,59	
	Kanál 4H	31,58	
	Kanál 4D	31,57	
Vyústky	V1	29,2	41,56
	V2	29,2	
	V3	29,2	

Tab. 6.3: Výpočet celkové hladiny akustického tlaku v místě posluchače pro místnost superaseptického OS 4.029

V tab. 6.4 jsou uvedeny hodnoty hladiny akustického tlaku v místě posluchače. Uvedené hodnoty jsou pro stav měřený na stavbě ve sloupci Měření stavba. Ve sloupci Ověření jsou hodnoty vypočítané teoretickým výpočtem v programu Útlum hluku.

Ekvivalentní hladina akustického tlaku v místě posluchače L_{pA} dB(A)				
M.č.	SKUTEČNÝ STAV		NOVÝ STAV	
	Měření stavba	Ověření	Měření stavba	Ověření
4.029	48 dB(A)	49 dB(A)	41 dB(A)	42 dB(A)

Tab. 6.4: Porovnání hodnot hladiny akustického tlaku měřené na stavbě a získané teoretickým výpočtem v programu Útlum hluku pro operační sály 4.029 a 4.054

7 ZÁVĚR

Práce poukazuje na složitost fyzikálního problému zkoumajícího tvorbu akustického mikroklimatu v čistých prostorech. Řešení pro dosažení vhodných limitů v čistých prostorech závisí na výpočtech specifických pro vyšetřovaný prostor.

Pro tvorbu optimálního akustického mikroklimatu je nejdůležitější správně navržená rychlost proudění dopravovaného množství vzduchu (optimalizace průtoku vzduchu na základě rychlosti proudění) a to nejen v samotné VZT jednotce, ale taktéž v distribuční síti. Do této patří taktéž napojení koncových elementů na vzduchovody.

V praxi jsou známi mechanismy snižování (útlumu) akustické energie v potrubních vzduchotechnických rozvodech, bohužel není dbán důraz na energii vznikající prouděním vzduchu v koncových elementech a jejich připojení na potrubní síť. Čisté prostory svojí primární funkcí a nutností časté omyvatelnosti a desinfekce tvoří po stránce akustiky vnitřního prostoru velmi specifickou skupinu. Obecně lze charakterizovat, že v místnostech s požadovanou čistotou nelze, vzhledem k jejich účelu uvažovat s velkou akustickou pohltivostí. Je běžné, že z celého množství dopadající akustické energie je pohlceno maximálně 10 až 15 %. Zbývající energie je odražena zpět do prostoru místnosti a zde může docházet ke vzniku dalších negativně působících akustických jevů (např. interference – sčítání vln akustické energie a následně vznik stojatého vlnění, tedy míst, ve kterých dojde ke spolupůsobení přímé vlny a odražené vlny).

Samotný návrh systému větrání a klimatizace by neměl skončit ověřením hladiny akustického výkonu za tlumiči zvuku ze vzduchotechnické jednotky, ale měl by se věnovat i problematice řešení vzduchotechnické sítě bezprostředně před obsluhovaným prostorem, jak je popsáno v části věnující se ověření výpočtového modelu na praktickém příkladu.

Práce řeší zkoumáním akustických vlastností, nejčastěji v praxi používaného materiálu a následným matematickým modelováním, analytický přístup pro obecný

návrh připojení různých druhů koncových elementů na potrubní síť tak, aby připojení a samotný koncový element nebyly zdrojem aerodynamického zvuku, ale vytvářeli akustický tlumič zvuku. Tento přístup v praxi umožňuje již v době návrhu vzduchotechnického systému predikovat parametry vnitřního akustického mikroklima a tím eliminovat časté problémy, které jsou zjištěné až měřením po montáži a spuštění VZT systému.

Pružné zvukově izolační hadice (ZI) fungují jako lokální tlumič hluku a účinně snižují úroveň akustické energie, která jimi prochází.

Výsledkem práce je nezávislý a ověřený software pro využití v praxi.

7.1 POZNATKY PRO DALŠÍ VÝZKUM A TECHNICKOU PRAXI

Správný návrh systému větrání a klimatizace pro čisté prostory je zcela zásadní pro jejich správné užívání. Systémy vzduchotechniky zajišťují v tomto případě nejen požadované množství vzduchu pro osoby pohybující se v obsluhovaném prostoru, pokrytí tepelné zátěže, případně i ztrát, ale hlavně čistotu prostředí.

Koncepce distribuce vzduchu musí být řešena tak, aby zajišťovala co nejlepší vnitřní mikroklima a docházelo k ředění a odvádění částic obsažených ve vzduchu. Součástí celkového mikroklima je i akustické mikroklima, které výrazně ovlivňuje osoby pracující v tomto prostředí a v případě zdravotnických provozů mnohdy i schopnost personálu řešit akutně vznikající komplikace pacienta včetně rychlého vyšetření poslechem apod.

Pro uvedené prostory (a nejen tyto) byl v rámci disertační práce vyvinut software, který slouží ke stanovení skutečné hladiny akustického tlaku v místě posluchače. Na základě této validní hodnoty lze pomocí software v reálném čase řešit návrh způsobu distribuce vzduchu v místnosti s ohledem na druh koncových elementů, jejich počet a množství distribuovaného vzduchu. Zásadním přínosem je pomocí programu možnost definice akustického chování distribuční sítě včetně připojení koncových elementů s ohledem na způsob napojení. Tím lze dosáhnout optimalizovaného systému distribuce vzduchu současně se zajištěním vhodného akustického mikroklimatu ve sledovaném vnitřním prostoru stavby.

V rámci validace programu byla řešena problematika nepříznivého akustického mikroklimatu v reálných provozech operačních sálů, kdy na základě fyzických výsledků z programu došlo k úpravě vzduchotechnických systémů. Po této úpravě mohla být stavba kolaudována.

V případě dalšího výzkumu je možné rozvinout téma z analytického vyjádření hladiny akustického tlaku v určitém hledaném bodě na popis intenzity akustické energie v celém řešeném prostoru v rámci aplikace prostorové akustiky a zlepšení akustických podmínek vnitřního prostoru dispozičními úpravami, případně využitím materiálů s lepšími akustickými vlastnostmi. Taktéž je možné vytvořený modulární software dále rozšiřovat o další charakteristiky (moduly) tvořící vzduchotechnický systém (vlastní VZT jednotky, absorpční tlumiče hluku apod.).

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A SOFTWARE

Knihy a akademické práce

1. SZÉKYOVÁ, M., FERSTL, K. a NOVÝ, R. Větrání a klimatizace. 1. české vyd. Bratislava: JAGA, 2006. 359 s. ISBN 80-8076-037-3.
2. GEBAUER, Günter – HORKÁ, Helena – RUBINOVÁ, Olga. Vzduchotechnika. První české vydání. Brno: Era, 2005. ISBN: 80-7366-027-X.
3. CHYSKÝ, J., HEMZAL, K. a kol. Technický průvodce větrání a klimatizace. 3. vyd. Praha: ČESKÁ MATICE TECHNICKÁ, 1993. 490 s. ISBN 80-901574-0-8.
4. Rubina A.; Uher P.; Blasinski P.: Vzduchotechnické systémy a čistota vzduchu na operačním sále, článek v Medicínská technika, ISSN 2336-3746, Business media CZ, s.r.o., Praha, 2014
5. RUBINA, A., Vzduchotechnické systémy pro čisté prostory operačních sálů, spec. publikace, ISBN 978-80-02-02065-3, STP - územní centrum Brno, Praha 2008, 2008
6. JELÍNEK, O. Akustické mikroklima nevýrobních objektů. Brno, 2013. 135 s., 3 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D

Normy, vyhlášky

1. Nařízení vlády 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky
2. Vyhláška 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby
3. ČSN 730525 Akustika – projektování v oboru prostorové akustiky – všeobecné zásady, Únor 1998
4. ČSN EN ISO 11202 Akustika - Hluk vyzařovaný stroji a zařízeními - Měření hladin emisního akustického tlaku na stanovišti obsluhy a dalších stanovených místech - Provozní metoda in situ, duben 2010
5. ČSN ISO 1996-1 Akustika - Popis, měření a hodnocení hluku prostředí - Část 1: Základní veličiny a postupy pro hodnocení, srpen 2004
6. ČSN ISO 1996-2 Akustika - Popis, měření a posuzování hluku prostředí - Část 2: Určování hladin hluku prostředí

Elektronické zdroje

1. Metodické návod pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí – Metodický návod hlavního hygienika ČR [online] 4. 1. 2015,

dostupné online z: <http://www.szu.cz/autorizace/metodicke-navody-hlav-hygienika-cr>

2. Metodický návod pro měření a hodnocení hluku a vibrací na pracovištích a v chráněných vnitřních prostorech staveb – Metodický návod hlavního hygienika ČR [online] 4. 1. 2015, dostupné online z: <http://www.szu.cz/autorizace/metodicke-navody-hlav-hygienika-cr>

Software

1. TERUNA, Technika budov, s.r.o. [počítačový program]. Ver. 1.5b. [cit. 2013-06-22]. Dostupný z: <http://www.technikabudov.cz/ASP/Downloads/setup.zip>

ŽIVOTOPIS

OSOBNÍ INFORMACE

Jméno: Ing. Ondřej Jelínek
Adresa: Za Mostem 18, Brno, Česká republika
Mobil: 739618306
E-mail: jelinek.o@fce.vutbr.cz
Národnost: česká
Datum narození: 2. 12. 1987

PRACOVNÍ ZKUŠENOSTI

Období (od - do): 1/2012 - Dosud
Zaměstnavatel: Technika budov, s.r.o.
Pracovní pozice: Projektant vzduchotechniky a klimatizace
Náplň práce: Projektování vzduchotechniky a klimatizace pro firmu Technika budov, s.r.o.

VZDĚLÁNÍ

Dosažené vzdělání: absolvent vysoké školy
Období (od - do): 2013 - dosud
Škola/fakulta: VUT Fakulta stavební, Brno
Obor/specializace: Postgraduální studium oboru TZB – akustické mikroklima ve vztahu k systémům VZT
Období (od - do): 2007 – 2013
Škola/fakulta: VUT Fakulta stavební, Brno
Obor/specializace: Pozemní stavby
Období (od - do): 2003 – 2007
Škola: SPŠ stavební, Brno
Obor/specializace: Pozemní stavitelství

OSOBNÍ SCHOPNOSTI A DOVEDNOSTI

Mateřský jazyk:	Čeština
Jazyk:	Angličtina
Úroveň ovládnutí:	Středně pokročilý
Práce na PC:	Odborná
Držitel ocenění:	Signum prosperitatis

SEZNAM PUBLIKACÍ

- [1] BERNARD, J.; FRIČ, L.; RUBINOVÁ, O.; POČINKOVÁ, M.; RUBINA, A.; JELÍNEK, O., Microbiological Aspects of Energy-Efficient HVAC (Ventilation) Systems Houses, v rámci: AMR - Advanced Materials Research, ISSN 1662-8985, Switzerland, 2014
- [2] BERNARD, J.; FRIČ, L.; RUBINOVÁ, O.; POČINKOVÁ, M.; RUBINA, A.; JELÍNEK, O., Microbiological aspects of energy-efficient HVAC (ventilation) systems houses, příspěvek na konferenci enviBUILD 2014, v rámci Buildings and Environment, International Conference proceedings, ISBN 978-80-214-5003-5, Brno, 2014
- [3] JELÍNEK, O.; RUBINA, A.; TESAŘ, Z., Průkaz energetické náročnosti budov, článek v Český instalatér, ISSN 1210-685X, ČNTL, Praha, 2014
- [4] JELÍNEK, O.; FRYČ, L.; RUBINA, A., Akustika budov s téměř nulovou spotřebou energie, v rámci: Sborník přednášek konference Technická zařízení a kvalita vnitřního prostředí v budovách s téměř nulovou spotřebou energie, ISBN 978-80-02-02526-9, Praha, 2014
- [5] JELÍNEK, O., Teplovzdušné vytápění atypického cvičného polygonu, příspěvek na konferenci Vykurovanie 2014, konference s mezinárodní účastí, ISBN 978-80-89216-61-1, Bratislava, 2014
- [6] JELÍNEK, O.; VENDLOVÁ, L.; BLASINSKI, P.; RUBINA, A., Ekvivalentní hladina akustického tlaku venkovních prostorů v praxi – část 2 – výsledky, článek v TZB-info, ISSN 1801-4399, Topinfo s.r.o., Praha, 2013
- [7] JELÍNEK, O.; RUBINA, A.; BLASINSKI, P., Akustika a protihluková opatření ve vzduchotechnice, článek v TZB-info, ISSN 1801-4399, Praha, 2013
- [8] JELÍNEK, O.; RUBINA, A.; BLASINSKI, P., Akustika a protihluková opatření ve vzduchotechnice, článek v Český instalatér, ISSN 1210-695X, ČNTL, Praha, 2013
- [9] RUBINA, A.; BLASINSKI, P.; JELÍNEK, O., Vliv zateplení systému ETICS na vnitřní tepelné mikroklima, článek v Český instalatér, ISSN 1210-695X, ČNTL, Praha, 2013
- [10] JELÍNEK, O.; RUBINA, A.; BLASINSKI, P., Ekvivalentní hladina akustického tlaku vnitřních prostorů v praxi, článek v TZB-info, ISSN 1801-4399, Topinfo s.r.o., Praha, 2013

ABSTRAKT

Náplní práce je vytvoření systémového opatření pro zabránění šíření a následnému útlumu zvuku v systémech vzduchotechniky obsluhující čisté prostory. Práce prezentuje řešení útlumu hluku jak ve vyšetřovaném prostoru, tak v potrubních rozvodech vzduchotechniky, které využívá na trhu dostupného materiálu ve formě zvukově izolačních hadic. V rámci systémového řešení je část práce zaměřena na optimální návrh koncových elementů pro distribuci vzduchu v čistém prostoru. Metody zpracování využívají teoretického a experimentálního přístupu. Vlastní experiment, tvoří jedinečnou analýzu zvukově izolačních vlastností vybraného výrobku za specifických podmínek. Získaná data jsou analyzována a následně zpracována do v rámci této práce vytvořeného programového modulu pro stanovení útlumu a šíření hluku v uzavřeném prostoru. Matematické výpočty a fyzikální závislosti jsou naprogramovány do vlastní DLL knihovny v programovacím jazyku DELPHI.