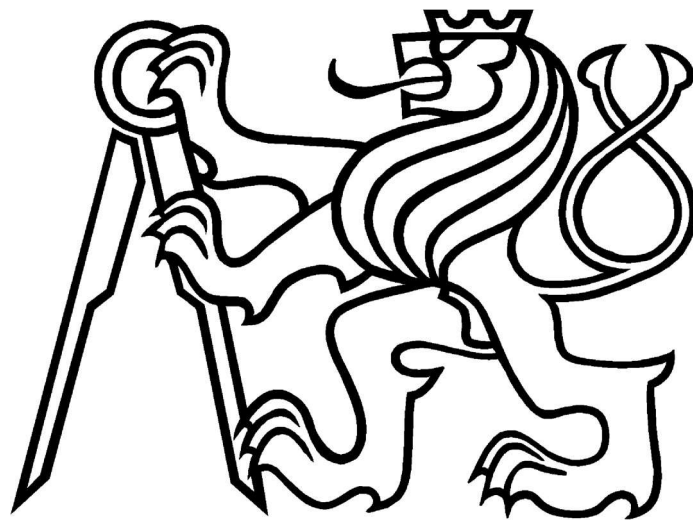


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA STAVEBNÍ**

**KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV**



**VLIV ŘEŠENÍ VĚTRACÍHO SYSTÉMU V BYTOVÉM  
DOMĚ NA AKUSTICKÉ MIKROKLIMA**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Vypracoval: Bc. Lukáš Kloc**

**Vedoucí diplomové práce: Ing. Zuzana Veverková, Ph.D.**



**2023/2024**

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

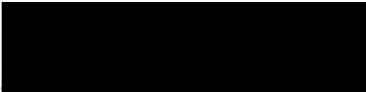
### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Kloc	Jméno: Lukáš	Osobní číslo: 486178
Zadávací katedra: Katedra technických zařízení budov		
Studijní program: Budovy a prostředí		
Studijní obor/specializace: Budovy a prostředí		

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Vliv řešení větracího systému v bytovém domě na akustické mikroklima	
Název diplomové práce anglicky: Influence of the ventilation system design in a residential building on the acoustic microclimate	
Pokyny pro vypracování:	
1) Zpracujte rešerši problematiky vlivu větracích systémů na akustické mikroklima obytných budov. Ve formě konceptu navrhnete varianty řešení větracích systémů zvoleného bytového domu a tyto porovnejte s ohledem na jejich vliv na akustické mikroklima v bytech. Pro toto porovnání využijte výstupy z experimentální části.	
2) Praktická část je zaměřena na sestavení experimentálního modelu vybraných variant části větracího systému v bytě a jejich následné analýzy vlivu provozu na akustické mikroklima. Na základě analýzy tyto varianty vyhodnoťte.	
Seznam doporučené literatury: odborné články, odborné časopisy, příspěvky z konferencí, výzkumné zprávy apod. Gebauer G., Horká H., Rubinová O. - Vzduchotechnika, Era-vydavatelství, ISBN:80-7366-027-X, 262 s., 2005 Santamouris M., Wouters P. - Building ventilation: the state of the art, Earthscan, ISBN: 9781844071302.313s., 2006 Příslušné normy a vyhlášky	
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Zuzana Veverková, Ph.D.	
Datum zadání diplomové práce: 4. 10. 2023	Termín odevzdání DP v IS KOS: 8. 1. 2024 <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
 Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.</i>	
<u>6.10.2023</u> Datum převzetí zadání	 Podpis studenta(ky)

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací a uvedl v ní veškerou použitou literaturu a jiné prameny.

V Kolíně dne 8.1.2024

---

Bc. Lukáš Kloc

## Poděkování

Rád bych poděkoval své vedoucí diplomové práce Ing. Zuzaně Veverkové, Ph.D. za vstřícné a odborné vedení, cenné rady, ochotu, věnovaný čas a přátelskou atmosféru v našich konzultacích.

Rád bych poděkoval také svým rodičům a nejbližším rodině za nekončící podporu a vlídné podmínky nejen v průběhu psaní této diplomové práce, ale také celého vysokoškolského studia.

V neposlední řadě bych rád poděkoval také svým přátelům za příjemně strávený čas a pomoc při studiu.



## Anotace

Tato diplomová práce se zabývá vlivem řešení větracího systému v bytovém domě na akustické mikroklima. Teoretická část se věnuje problematice vlivu větracího systému na akustické mikroklima obytných budov a koncepčním návrhům variant větracích systémů bytového domu. Předmětem praktické části je sestavení experimentálního modelu části větracího systému v bytě a následná analýza vlivu provozu na akustické mikroklima.

### Klíčová slova:

Akustické mikroklima, hluk, útlum, experiment, experimentální model, měření akustického tlaku, diferenční tlak

## Annotation

This diploma thesis explores the impact of the ventilation system solution in a residential building on the acoustic microclimate. The theoretical part addresses the influence of the ventilation system on the acoustic microclimate of residential buildings and conceptual designs of ventilation system options for apartment buildings. The practical part involves assembling an experimental model of a portion of the ventilation system in an apartment and subsequently analyzing the operational impact on the acoustic microclimate.

### Key words:

Acoustic microclimate, noise, attenuation, experiment, experimental model, measurement of acoustic pressure, differential pressure

## Obsah

1	Úvod .....	8
2	Akustické mikroklima .....	8
2.1	Vliv stavebních konstrukcí.....	9
2.1.1	Fasády a výplně prostupů .....	9
2.1.2	Svislé konstrukce .....	9
2.1.3	Vodorovné konstrukce.....	10
2.2	Hluk ve vzduchotechnice .....	10
2.2.1	Zdroje hluku ve vzduchotechnice .....	10
2.2.2	Útlum hluku ve vzduchotechnice .....	11
3	Experimentální část .....	13
3.1	Příprava variant modelů části větracího systému.....	14
3.1.1	Varianty řešení ukončení jednotlivých modelů .....	15
3.1.2	Model se Spiro potrubím .....	17
3.1.3	Model s plastovým potrubím .....	18
3.1.4	Model s potrubím Sonoflex .....	19
3.1.5	Model s tlumičem hluku .....	21
3.1.6	Model VAV .....	22
3.2	Použité přístroje a softwary.....	23
3.2.1	Ventilátor .....	23
3.2.2	Kruhový regulátor průtoku vzduchu VRU .....	24
3.2.3	Testo 400.....	26
3.2.4	Voltcraft SL-400 .....	26
3.3	Vstupní podmínky a omezení experimentu.....	28
4	První experiment .....	29
4.1	Průběh prvního experimentu .....	29
4.2	Vyhodnocení experimentu .....	30

5	Druhý experiment.....	30
5.1	Okrajové podmínky.....	31
5.2	Průběh .....	31
5.3	Vyhodnocení experimentu .....	33
5.4	Závěrečné shrnutí .....	41
6	Třetí experiment .....	42
6.1	Okrajové podmínky.....	43
6.2	Průběh .....	43
6.3	Vyhodnocení experimentu .....	45
6.3.1	Predikce pro ideální průtoky.....	52
6.3.2	Tlaková ztráta .....	54
6.4	Výsledek experimentu.....	56
7	Koncepty variant řešení větracího systému.....	58
7.1.1	Bytový dům.....	58
7.1.2	Koncepce větrání bytového domu .....	59
7.2	Koncept řešení bytových rozvodů ve dvou variantách .....	61
7.2.1	Porovnání obou variant.....	63
7.2.2	Porovnání naměřených hodnot akustického tlaku obou variant s výpočtem hladiny akustického tlaku A .....	66
8	Závěr.....	68
9	Použitá literatura a jiné zdroje.....	70
10	Seznam obrázků.....	73
11	Seznam grafů.....	76
12	Seznam tabulek.....	78

# 1 Úvod

Tato diplomová práce se zabývá vlivem řešení větracího systému bytového domu na akustické mikroklima. Je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část práce se zabývá přiblížením dané problematiky akustického mikroklimatu v bytech, návrhem koncepčních řešení variant větracích systémů bytového domu a jejich analýz. V praktické části bude sestaven experimentální model části větracího systému ve vybraných materiálových variantách, na kterém budou následně provedena měření akustického tlaku. Výstupy z těchto měření budou následně zpracovány, analyzovány a vyhodnoceny.

## 2 Akustické mikroklima

Akustické mikroklima má výrazný vliv na koncové uživatele bytových domů. Narušení mikroklimatu nežádoucím hlukem či vibracemi má negativní vliv na akustickou pohodu uživatele.

Zvuk je mechanické vlnění v látkovém prostředí, které je schopno vyvolat sluchový vjem, člověkem slyšitelné frekvence leží v intervalu cca 16 Hz až 20 kHz. Hluk je každý nežádoucí zvuk, který nepříznivě ovlivňuje pohodu člověka, vyvolává nepříjemný až rušivý pocit nebo ohrožuje jeho zdraví. Dopadem dlouhodobého působení hluku na koncového uživatele mohou být mimo jiné také krátkodobé i dlouhodobé zdravotní potíže, kardiovaskulární problémy, poruchy spánku či zhoršení pracovní výkonnosti.

Hluk může do interiéru bytových domů pronikat z exteriéru skrze obvodový plášť budovy, nebo je hluk vytvářen přímo ve vnitřním prostředí budovy. Vnitřním zdrojem či nositelem hluku může být topný zdroj, otopný systém nebo vzduchotechnické zařízení.

Limity naměřené hodnoty hluku ošetřuje platná legislativa. Pro hodnocení akustických poměrů slouží nařízení vlády č. 148/2006 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.

Budova	Typ prostoru	Hladina akustického tlaku [dB]	
		Typický rozsah	Standardní návrhová hodnota
Obytná budova	Obývací pokoj	25 až 40	40
	Ložnice	20 až 35	32

Tab. 1) Příklady návrhových hodnot hladiny akustického tlaku [1]

## 2.1 Vliv stavebních konstrukcí

Zásadní vliv na akustické mikroklima bytové jednotky mají jejich stavební konstrukce, které tlumí především hluk vnějších vlivů mimo prostor mikroklimatu. Výběrem vhodného materiálu lze výrazně omezit přenos tohoto venkovního hluku do vnitřního prostoru.

Zvuková izolace představuje snížení přenosu zvuku mezi dvěma oddělenými prostory. Nejvyšší účinnost má zvuková izolace, která je vytvořena použitím těžkých stavebních materiálů (beton, pálená cihla). V méně náročných případech se používá zvuková izolace vytvořena i z lehkých nebo porézních materiálů (lehké příčky, sádkokarton, pohltivé podhledy).

### 2.1.1 Fasády a výplně prostupů

Rozhodujícím faktorem při návrhu těchto konstrukcí je z hlediska akustiky hodnota vzduchové neprůzvučnosti  $R_w$ , vyšší hodnota znamená lepší zvukově izolační vlastnosti. V případě oken je z hlediska útlumu vnějšího hluku vhodné věnovat pozornost také třídě zvukové izolace TZI. Zateplení fasády je často řešeno pomocí desek z pěnového polystyrenu. Tato varianta nezlepšuje zvukovou izolaci fasády, naopak při některých frekvencích vzduchovou neprůzvučnost zhoršuje. Přesto neprůzvučnost obvodových konstrukcí bývá zpravidla vyšší než výplní otvorů, na konstrukci jako celek tak mají největší vliv právě hodnoty neprůzvučnosti výplní otvorů. Z hlediska hluku je pro zateplení vhodnější minerální vlna.

### 2.1.2 Svislé konstrukce

Tlumící efekt svislé konstrukce dělící bytové jednotky závisí především na její plošné hmotnosti (tloušťce). Pokud není dostatečná, dojde k přenosu hluku od vnějších vlivů. V takovém případě je vhodným řešením instalace zvukově izolační předstěny, jejíž efekt spočívá v tom, že není pevně spojena se zesilovanou konstrukcí.

### 2.1.3 Vodorovné konstrukce

Tyto konstrukce jsou prověřovány ze dvou hledisek, vzduchové a kročejové neprůzvučnosti. Vzduchová neprůzvučnost rovněž souvisí s plošnou hmotností konstrukce a u novodobých technologií používaných na stropní konstrukce ve většině případů splňuje akustické požadavky, které jsou na ni kladeny. Kročejová neprůzvučnost konstrukcí bývá zpravidla zajištěna použitím kročejové izolace ve skladbě konstrukce.

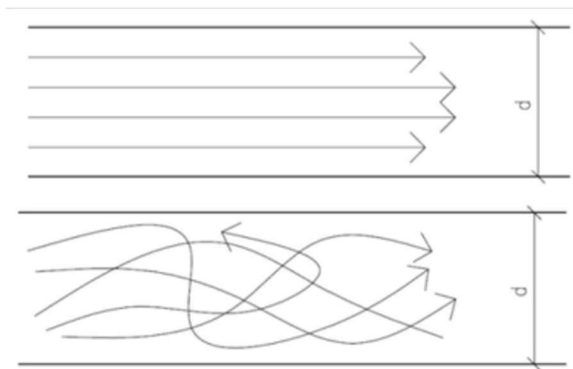
## 2.2 Hluk ve vzduchotechnice

### 2.2.1 Zdroje hluku ve vzduchotechnice

Hlavní příčinou hluku ventilátorů je vysoce turbulentní proudění vzduchu ventilátorovým kolem a spirální skříní. Tento hluk je charakterizován spojitým širokopásmovým spektrem, jehož akustický výkon roste s vyšší mocninou rychlosti proudění vzduchu. Průtok vzduchu je závislý na první mocnině otáček. Dopravní tlak ventilátoru narůstá s druhou mocninou otáček a aerodynamický hluk ventilátoru roste s pátou mocninou otáček. Všechny ventilátory charakterizuje vlastnost, kdy jejich dopravované množství narůstá lineárně se zvyšováním otáček a dopravní tlak je funkcí druhé mocniny otáček. Zvýšíme-li otáčky ventilátoru na dvojnásobek, celková hladina akustického výkonu ventilátoru vzroste o 15 dB. Hluk z ventilátoru je šířen do okolí, do potrubí na sání a do potrubí na výtlačku. Hodnoty akustického výkonu ventilátoru obvykle výrobce udává v oktávových pásmech 63 Hz až 8 kHz. [2]

Hluk generují i další elementy potrubní sítě. Vzduch proudící přes tvarovky, náhlá zúžení průtočného průřezu či distribuční prvky způsobují vznik aerodynamického hluku. Z hlediska výpočtu je tento hluk nazýván vlastním hlukem elementu. Aerodynamický hluk v potrubí je generován turbulencemi v proudícím vzduchu a roste přibližně s šestou mocninou rychlosti proudění v téměř celém oktávovém pásmu. Nejvýraznější tónová složka je na frekvenci  $f=0,2v/d$  (kde  $v$  – výška průřezu,  $d$  – ekvivalentní průměr).

Aerodynamický hluk je zapříčiněn turbulentním prouděním. Turbulentní proudění vzduchu v přímém potrubí teoreticky nastává, pokud je hodnota Reynoldsova čísla  $Re > 2300$ . Prakticky však k přechodu z laminárního na turbulentní proudění dochází již dříve.



Obr. 1) Laminární (nahore) a turbulentní (dole) proudění vzduchu v ohraničeném prostoru [2]

### 2.2.2 Útlum hluku ve vzduchotechnice

Při provozu vzduchotechnických zařízení vzniká hluk, který se šíří vzduchotechnickým zařízením a konstrukcemi budov. Problematiku útlumu hluku je třeba řešit komplexně a sledovat všechny cesty, kterými se může akustická energie šířit od zdrojů k posluchači v interiéru i v exteriéru. Vzduchotechnické zařízení vykazuje vlivem svých fyzikálních vlastností tzv. přirozený útlum  $D_p$ , jenž vzniká vyzařováním akustické energie jednotlivými prvky VZT systému do okolí. Přirozený útlum tvoří dílčí útlumy v potrubí, kolenech, odbočkách a rozbočkách, koncových elementech (vyústkách atd.), žaluziích, klapkách. Hodnoty výše uvedených složek útlumu se zjišťují zpravidla teoreticko-experimentálními metodami a jsou tabelovány či přibližně stanoveny matematicko-fyzikálními rovnicemi. V případě kratších úseků vzduchotechnických rozvodů je žádoucí nepočítat s přirozeným útlumem potrubí. Tento útlum se pohybuje v řádu jednotek dB a je závislý na geometrii a oktávovém pásmu. [2]

Primárními prvky útlumu hluku ve vzduchotechnických systémech jsou tlumiče hluku. Výchozí hodnota jejich návrhu je požadovaný útlum. Materiály tlumičů pohlcující zvuk jsou pórovité, vláknité či houbovité s malou objemovou hmotností. Podle konstrukce lze tlumiče dělit na: vložkové (kulisové) tlumiče, buňkové tlumiče, kruhové tlumiče a kruhové ohebné tlumiče. K útlumu hluku dochází v menším měřítku i na dalších elementech potrubní sítě.

Úroveň hluku lze ovlivnit také pasivními metodami čtyř kategorií: metoda redukce zdroje, metoda dispozice, metoda zvukové izolace a metoda zvukové pohltivosti.

Metoda redukce zdroje spočívá buď v úplném odstranění hluku, nebo ve snížení jeho hlučnosti. Metoda dispozice je založena na situování hlučných zařízení a hlučných prostorů, které nejsou dostatečně izolovány od míst, kde hluk může ovlivnit akustickou pohodu v chráněných prostorech. Například se zdvojnásobením vzdálenosti  $r$  od zdroje klesne hladina hluku o 6 dB. Metodu lze aplikovat užitím zástěn coby dělicího prvku mezi zdrojem hluku a subjektem. Metoda zvukové izolace spočívá ve zvukovém odizolování hlučného zařízení nebo celého hlučného prostoru. Metoda zvukové pohltivosti využívá vlastností některých materiálů měnit zvukovou energii v jinou energii. Vychází z pohlcování hluku v uzavřených prostorech aplikací obkladů z absorpčních materiálů, použití antivibračních nátěrů k tlumení chvění tenkých plechů.

Výpočet útlumu hluku v praxi nejčastěji provádíme ve dvou případech, prvním je kontrola zadané potrubní sítě a druhým je návrh tlumiče do zadané potrubní sítě. Při výpočtu (kontrolě) zadané potrubní sítě se postupuje směrem do ventilátoru prvek po prvku až po koncovou místnost. Od hladin akustického vždy odečteme útlum prvku a následně přičteme jeho vlastní hluk. Pro sčítání dvou hladin hluku  $L_1$  a  $L_2$  postupujeme dle vztahu (1).

$$L = 10 \log(10^{0,1L_1} + \sum 10^{0,1L_2}) \quad (1)$$

Pro vyhodnocení hlučnosti se podle rovnice (2) stanoví výsledná (jednočíselná) hodnota hladiny akustického tlaku  $A$ .

$$L_A = 10 \log[\sum 10^{0,1(L_i+K_i)}] \quad (2)$$

Kde:

$K_i$  korekce v příslušném oktávovém pásmu [dB] (viz. Tab. 3)

Při návrhu tlumiče do potrubní sítě se postupuje od ventilátoru až po místo předpokládaného umístění tlumiče stejným způsobem.

Od umístění tlumiče se už počítá pouze s útlumy prvků na trase, vlastní hluk nelze v dané chvíli přičíst, neboť není známý útlum tlumiče. Je tedy zatím předpokládáno, že vlastní hluk dalších elementů nebude zvyšovat celkovou hladinu hluku. Tlumič se navrhuje až podle skutečných potřeb sítě podle toho, v kterých frekvencích je třeba nejvíce tlumit.



### 3 Experimentální část

Cílem experimentu bylo sestavit experimentální model části větracího systému v jednotlivých materiálových variantách a jejich následné porovnání z hlediska vlivu na akustické mikroklima. Veškerá měření byla prováděna v místnosti A-s114 na Katedře technických zařízení budov Fakulty stavební ČVUT v Praze. Místnost je z hlediska experimentu rozdělena do dvou částí, v první části je umístěn zdroj hluku vzduchotechnického modelu (tj. ventilátor; Obr. 2), ve druhé části byla za výústkou měřena hladina akustického tlaku (Obr. 3). Druhá část místnosti A-s114 disponuje na stěnách umístěnými hranoly tlumícími hluk (Obr. 3). Obě části jsou od sebe odděleny dveřmi s prostupem pro potrubí vzduchotechnického modelu. Dveře i prostup byly během měření zakryty akustickým molitanem (Obr. 2).



Obr. 2) První část místnosti A-s114 s prostupem izolovaným akustickým molitanem



Obr. 3) Druhá část místnosti A-s114 s hlukem tlumícími prvky a akustickým molitanem

### 3.1 Příprava variant modelů části větracího systému

Před sestavením experimentálního modelu části vzduchotechniky bylo nejprve potřeba připravit prostor pro model samotný. Druhá část místnosti byla pro tyto účely kompletně vyklizena, v první části byl vytvořen prostor pro umístění sestavy VAV a potrubí samotného. V rámci příprav experimentu bylo také nutné rozšířit vstup dveřmi oddělujícími obě části místnosti. Následovalo shromáždění potřebného materiálu pro jednotlivé varianty, příprava pro umístění sestavy VAV a příprava podpůrného systému potrubí (Obr. 4, Obr. 5).



Obr. 4) Příprava umístění sestavy VAV



Obr. 5) Příprava podpory potrubí

### 3.1.1 Varianty řešení ukončení jednotlivých modelů

V průběhu celého experimentu bylo využíváno čtyř variant ukončení potrubí. Ve variantě 1 byla na konec potrubí osazena vyústka včetně mřížky s nastavitelnými lamelami. Hlukoměr byl při měření hluku v této variantě umístěn mikrofonem s ochranným krytem do těsné blízkosti koncové hrany mřížky s lamelami (Obr. 6). Ve variantě 2 byla vyústka na konci potrubí umístěna bez mřížky s lamelami. Hlukoměr byl během měření hluku přiložen mikrofonem s ochranným krytem do těsné blízkosti koncové hrany vyústky (Obr. 7). Varianta 3 vyústku zcela postrádala, měření hluku probíhalo v těsné blízkosti koncové hrany potrubí (Obr. 8). Tato varianta byla využívána pouze v průběhu prvního experimentu. Varianta 4 byla pro účel experimentu aplikována jen na model VAV, měření hluku v tomto případě probíhalo v těsné blízkosti za koncovou hranou osového přechodu z dimenze 200 na 125 (Obr. 9).

Před zahájením třetího experimentu byl za osovým přechodem 200/125 do každého typu potrubí vyvrtán otvor pro tlakové hadice měřící diferenční tlak. Stejný otvor byl vyvrtán i do vyústky, která byla druhým bodem měření diferenčního tlaku.



Obr. 6) Měření hodnot hluku ve variantě 1



Obr. 7) Měření hodnot hluku ve variantě 2



Obr. 8) Měření hodnot hluku ve variantě 3



Obr. 9) Měření hodnot hluku ve variantě 4



### 3.1.2 Model se Spiro potrubím

Model se skládal ze sestavy VAV a dvou 1,5metrových částí falcovaného potrubí DN 125, vyrobeného z pozinkovaného plechu, spojených vnitřní spojkou shodné dimenze. Potrubí bylo rozděleno na dvě stejně dlouhé části z důvodu přepravy. Vyústka byla osazená přímo na konec potrubí. Součástí třetího experimentu bylo měření diferenčního tlaku  $\Delta P$ . Místa vsunutí tlakové hadice pro tyto účely byla za osovým přechodem (začátek soustavy, Obr. 13) a na vyústce (konec soustavy, Obr. 14).



Obr. 10) Schéma modelu se Spiro potrubím ve variantě 1 – vyústka s mřížkou s lamelami



Obr. 11) Schéma modelu se Spiro potrubím ve variantě 2 – vyústka bez mřížky



Obr. 12) Část modelu se Spiro potrubím umístěná v první části místnosti A-s114



Obr. 13) Měření diferenčního tlaku za osovým přechodem    Obr. 14) Měření diferenčního tlaku na vyústce

### 3.1.3 Model s plastovým potrubím

Model se skládal ze sestavy VAV a dvou 1,5metrových částí kruhového plastového potrubí DN 125, spojených vnitřní spojkou shodné dimenze. Potrubí bylo rozděleno na dvě stejně dlouhé části z důvodu přepravy. Vyústka byla osazena přímo na konec potrubí. Součástí třetího experimentu bylo měření diferenčního tlaku  $\Delta P$ . Místa vsunutí tlakové hadice pro tyto účely byla za osovým přechodem (začátek soustavy, Obr. 18) a na vyústce (konec soustavy, Obr. 19).



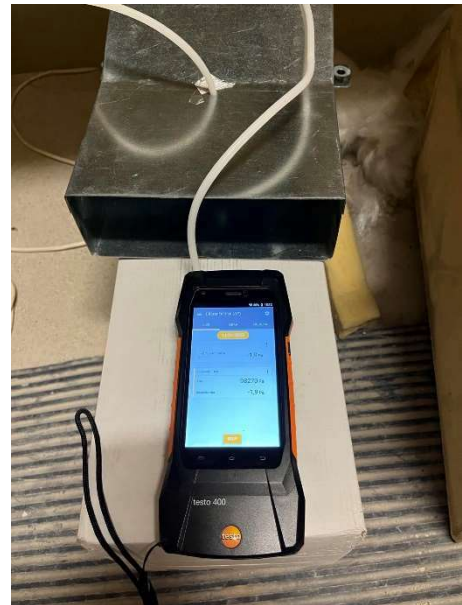
Obr. 15) Schéma modelu s plastovým potrubím ve variantě 1 – vyústka s mřížkou s lamelami



Obr. 16) Schéma modelu s plastovým potrubím ve variantě 2 – vyústka bez mřížky



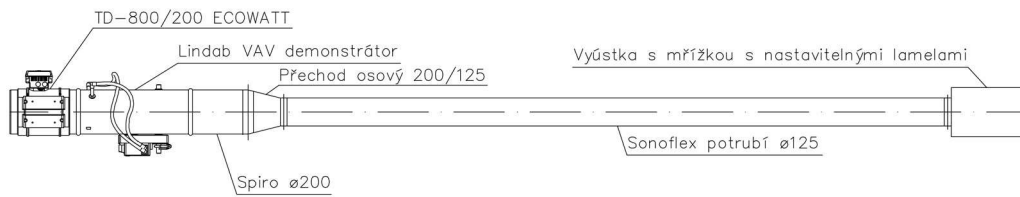
Obr. 17) Část modelu s plastovým potrubím umístěná v první části místnosti A-s114



Obr. 18) Měření diferenčního tlaku za osovým přechodem    Obr. 19) Měření diferenčního tlaku na výústce

### 3.1.4 Model s potrubím Sonoflex

Model se skládal ze sestavy VAV a 3metrového potrubí Sonoflex DN 125. Potrubí je na obou koncích napojeno na vnější Spiro spojku DN 125 pro umožnění manipulace v průběhu experimentu. Na konci potrubí byla na tuto vnější spojku osazena vyústka. Součástí třetího experimentu bylo měření diferenčního tlaku  $\Delta P$ . Místa vsunutí tlakové hadice pro tyto účely byla za osovým přechodem (začátek soustavy, Obr. 22) a na vyústce (konec soustavy, Obr. 23).



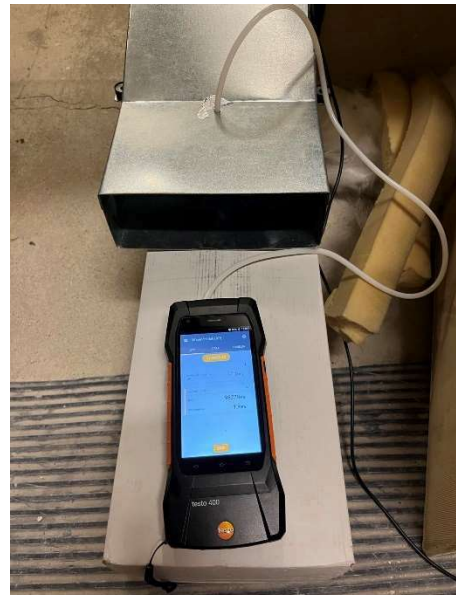
Obr. 20) Schéma modelu s potrubím Sonoflex ve variantě 1 – vyústka s mřížkou s lamelami



Obr. 21) Část modelu se Sonoflex potrubím umístěná v první části místnosti A-s1 14

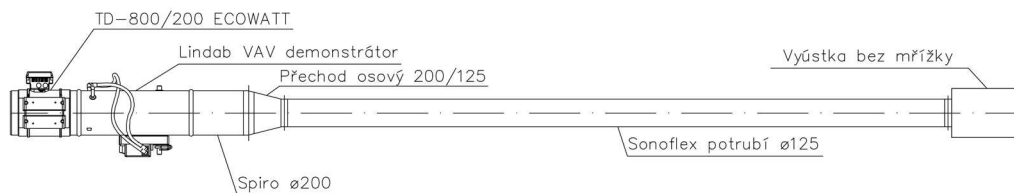


Obr. 22) Měření diferenčního tlaku za osovým přechodem



Obr. 23) Měření diferenčního tlaku na vyústce

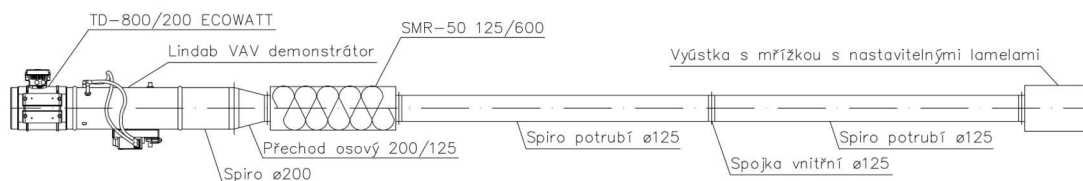




Obr. 24) Schéma modelu s potrubím Sonoflex ve variantě 2 – vyústka bez mřížky

### 3.1.5 Model s tlumičem hluku

Model se skládal ze sestavy VAV, tlumiče hluku a dvou 1,5metrových částí falcovaného potrubí DN 125, vyrobeného z pozinkovaného plechu, spojených vnitřní spojkou shodné dimenze. Na konec tlumiče umístěného blíž k VAV soustavě byla připojena vnější Spiro spojka pro napojení na osový přechod, opačný konec tlumiče byl zasunut do Spiro potrubí. Vyústka byla osazená přímo na konec potrubí. Součástí třetího experimentu bylo měření diferenčního tlaku  $\Delta P$ . Místa vsunutí tlakové hadice pro tyto účely byla za osovým přechodem (začátek soustavy, Obr. 27) a na vyústce (konec soustavy, Obr. 28).



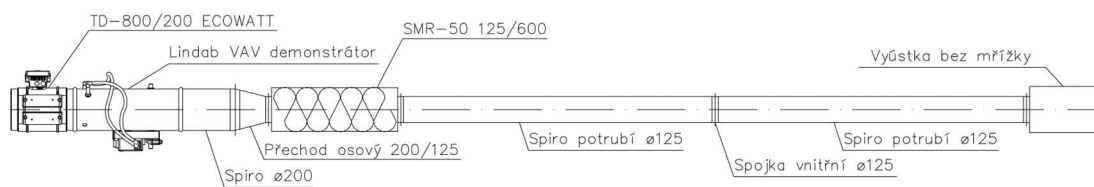
Obr. 25) Schéma modelu s tlumičem hluku ve variantě 1 – vyústka s mřížkou s lamelami



Obr. 26) Část modelu se Spiro potrubím umístěná v první části místnosti A-s114



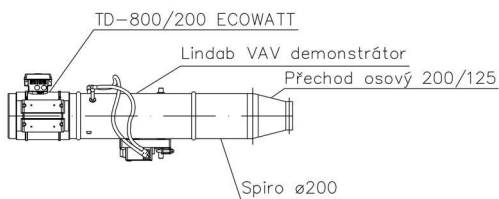
Obr. 27) Měření diferenčního tlaku za osovým přechodem    Obr. 28) Měření diferenčního tlaku na vyústce



Obr. 29) Schéma modelu s tlumičem hluku ve variantě 2 – vyústka bez mřížky

### 3.1.6 Model VAV

Model se skládal pouze ze sestavy VAV. Měření hluku probíhalo přímo za koncovou hranou osového přechodu, vyústka nebyla osazena. Měření diferenčního tlaku  $\Delta P$  na tomto modelu neprobíhalo.



Obr. 30) Schéma modelu VAV ve variantě 4 – bez vyústky

Obr. 31) Modelu VAV

## 3.2 Použité přístroje a softwary

Přístroje použité při měření, stejně jako jejich řídicí softwary, byly vypůjčeny z Katedry technických zařízení budov.

### 3.2.1 Ventilátor

Ventilátor Soler&Palau TD 800/200 Ecowatt je součástí sestavy VAV demonstrátoru (Obr. 31). Je regulovaný pomocí regulátoru otáček REB Ecowatt, který je také součástí sestavy VAV demonstrátoru. Vstupní signál regulace je v rozmezí 0-10 V, elektrické napětí ventilátoru 230 V. Při nastavení vstupního signálu regulace na 10 V má ventilátor výkon 101 W, odběr elektrického proudu je 0,36 A a průtoku 960 m<sup>3</sup>/h (tlaková ztráta 0 Pa) dosáhne při 2450 otáčkách za minutu. Otáčky lze snižovat až do vstupního signálu regulace 3,5 V, při nižších hodnotách se ventilátor zastaví.

Sestava VAV, kterou je ventilátor součástí, obsahuje také elektroinstalační skříň, spínač stroje, regulátor otáček, připojovací konzoly a regulátor průtoku VRU (Obr. 33).

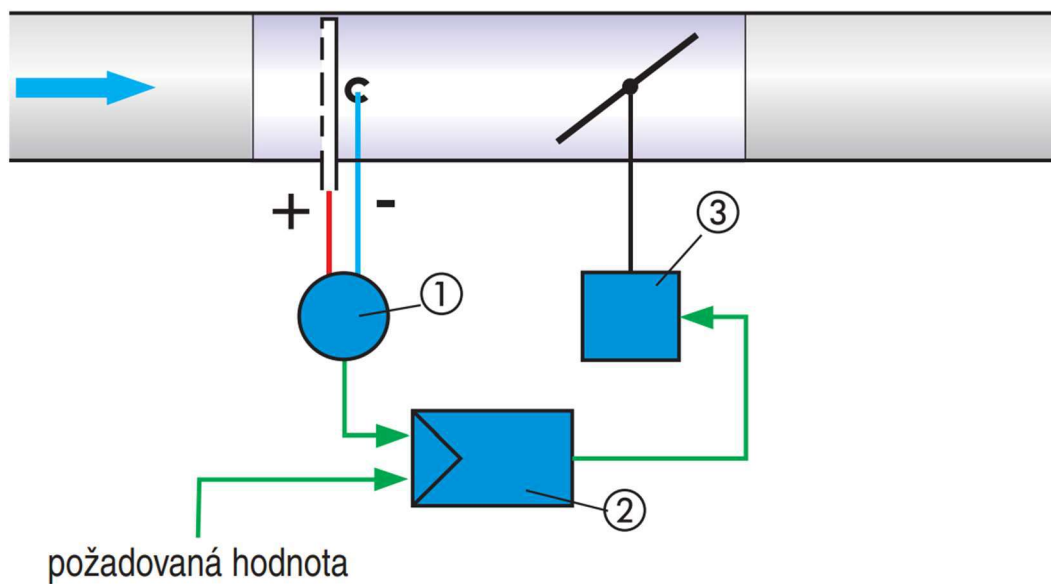


Obr. 32) Sestava VAV demonstrátoru

### 3.2.2 Kruhový regulátor průtoku vzduchu VRU

VRU je kruhový regulátor proměnného průtoku vzduchu. Regulátor funguje na principu tlakové diference, která je měřitelná díky průtoku vzduchu přes dvě Prandtlovy trubice, umístěné před listem klapky, kolmo na sebe a kolmo ke směru proudu vzduchu (Obr. 34). Přední trubice má otvory na straně nátoky proudu vzduchu a snímá hodnoty dynamického tlaku. Trubice s otvory na straně úplavu naopak snímá hodnoty tlaku statického. Rozdílem hodnot tlaku dynamického a statického je tlak účinný.

Regulace průtoku vzduchu se uskutečňuje v uzavřeném regulačním okruhu tří prvků: převodník tlaku, regulátor průtoku a pohon klapky. Převodník tlaku z měření Prandtlovými trubicemi stanoví hodnotu účinného tlaku, kterou následně regulátor průtoku porovná s požadovanou hodnotou a při odchylce změní signál pohonu klapky regulátoru (Obr. 34).



① převodník tlaku    ② regulátor průtoku    ③ pohon klapky

Obr. 33) Schéma uzavřeného regulačního okruhu [3]

Přesnost měření průtoku vzduchu regulátorem závisí na podmínkách proudění vzduchu před měřicím křížem. V tomto místě je vhodné osadit dostatečně dlouhý kus přímého (tzv. uklidňovacího) potrubí.



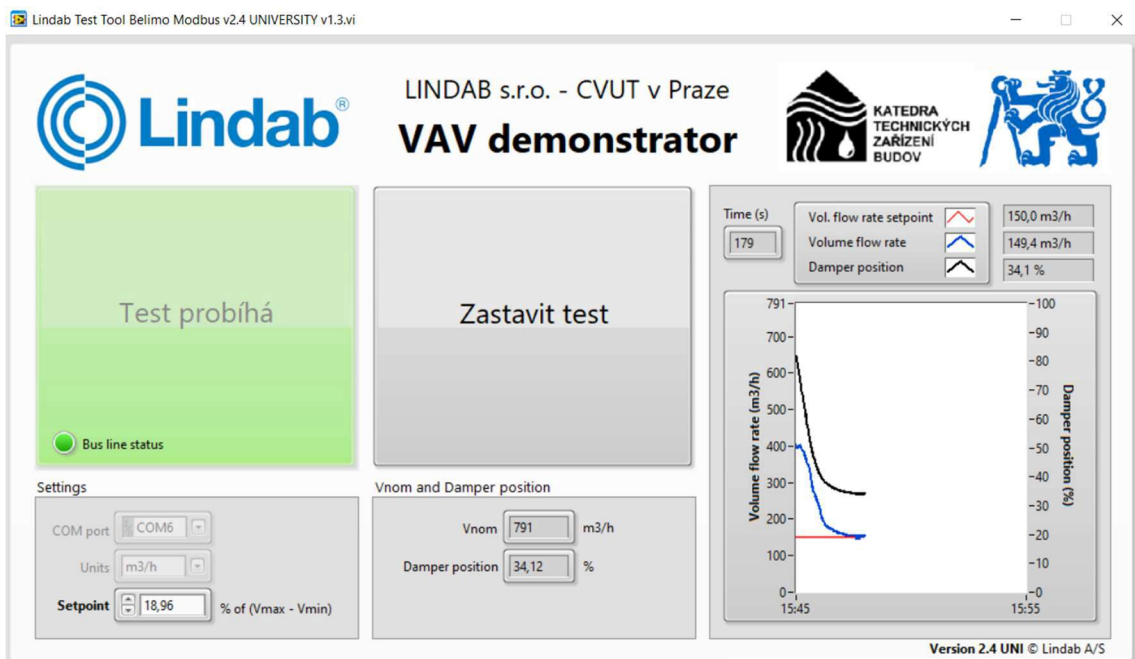


Obr. 34) Pohled shora na regulátor VRU



Obr. 35) Příčný řez regulátorem VRU

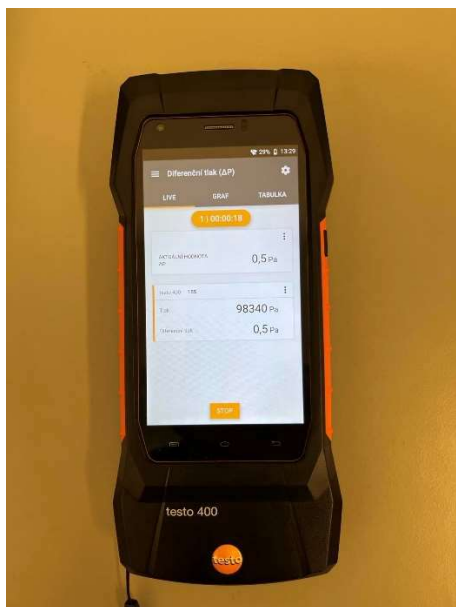
Řídící software Lindab Test Tool Belimo Modbus v2.4 (Obr. 36) ovládá pohon klapky regulátoru VRU, pro komunikaci s počítačem slouží převodník RS485-USB. Před zahájením testu je nutné nastavit odpovídající COM, požadovaný průtok vzduchu pomocí setpointu a jeho jednotky. Nastavení setpointu je viditelné vlevo dole na Obr. 36, hodnota setpointu 100 představuje požadovaný průtok vzduchu 791 m<sup>3</sup>/h. Po spuštění testu je možné sledovat aktuální hodnotu průtoku vzduchu a polohu klapky regulátoru. Ta je udána v procentech, kdy 100 % představuje klapku v plně otevřeném stavu.



Obr. 36) Rozhraní řídicího softwaru regulátoru průtoku vzduchu

### 3.2.3 Testo 400

Jedná se o univerzální přístroj měření klimatických veličin. Pro účely experimentu byl využíván k měření diferenčního tlaku  $\Delta P$  pomocí integrovaných senzorů absolutního a diferenčního tlaku.



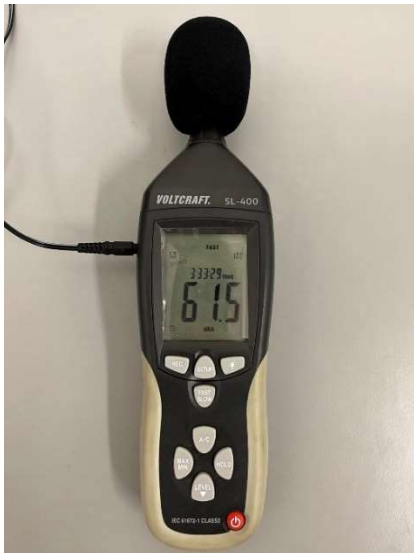
Obr. 37) Testo 400 – přední pohled



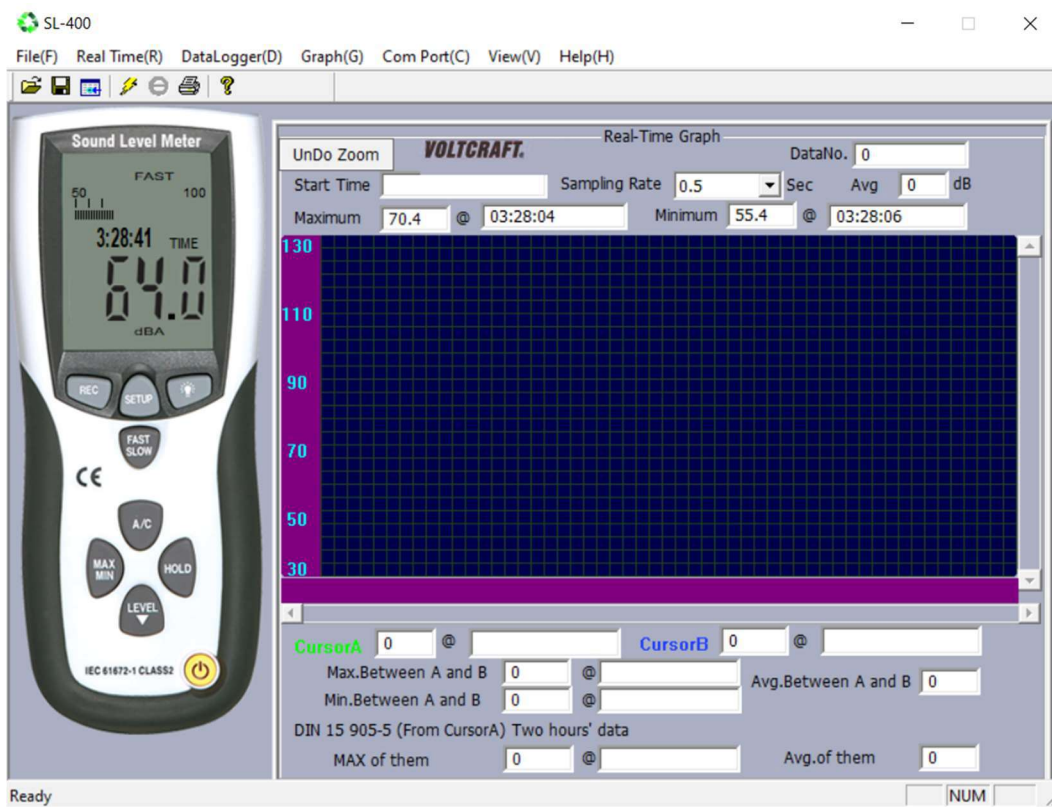
Obr. 38) Testo 400 – zadní pohled

### 3.2.4 Voltcraft SL-400

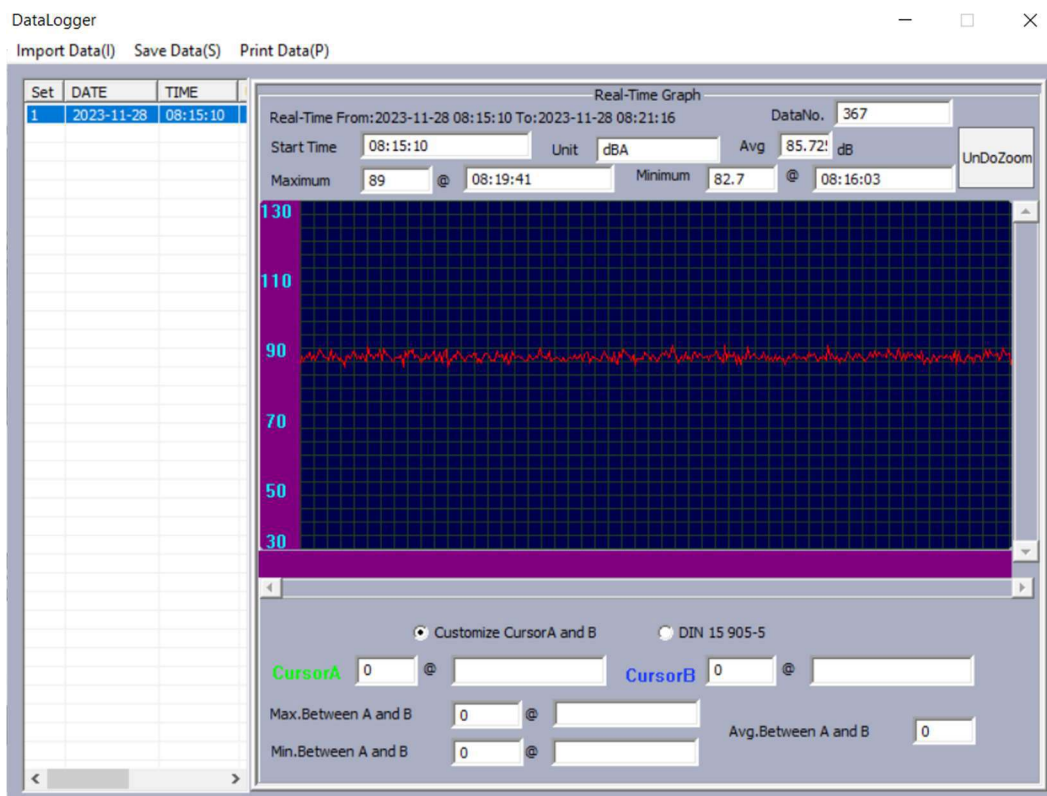
Digitální hlukoměr SL-400 s měřicím mikrofonom chráněným krytem proti větru umožnil měření hladiny akustického tlaku za vyústkou. Během měření bylo použito následující nastavení přístroje: střední oblast měření v rozsahu 50 až 100 dB, hodnocení času fast, při kterém je hodnota zaznamenána každých 125 ms, interval ukládání dat jedna sekunda. Rozsah frekvence přístroje je 31,5 Hz až 8 kHz. Přenos dat do počítače umožňuje z pohledu hardwaru rozhraní USB, z pohledu softwaru Sound Level Meter (Obr. 39). Samotný Sound Level Meter slouží spíše pro aktivní práci s hlukoměrem, pro stahování již naměřených dat bylo využíváno záložky DataLogger (Obr. 40).



Obr. 39) Volcraft SL-400



Obr. 40) Rozhraní softwaru hlukoměru



Obr. 41) Okno DataLogger

### 3.3 Vstupní podmínky a omezení experimentu

Původní myšlenkou experimentu bylo co nejméně simulovat prostředí bytových rozvodů. Z toho vyplývala ideální množství průtoku vzduchu 25, 50 a 75 m<sup>3</sup>/h a ideální dimenze potrubí DN 80 či DN 100. Úvodní zkoušky modelu části vzduchotechnického systému provedeny na plastovém potrubí dimenze DN 80 ukázaly, že vzniklou tlakovou ztrátou není ventilátor schopný pokrýt. Bylo tak upuštěno od původních ideálních dimenzí a pro experiment byla zvolena jednotná dimenze DN 125, u které byla tlaková ztráta dostatečně nízká pro většinu variant. Ventilátor nebyl schopný pokrýt pouze tlakovou ztrátu modelu se Sonoflex potrubím pro požadovaný průtok 300 m<sup>3</sup>/h pro varianty 1 a 2, a pro požadovaný průtok 275 m<sup>3</sup>/h pro variantu 1. Následné zkoušky modelu, provedeny s potrubím z pozinkovaného plechu v této dimenzi, odhalily omezení regulátoru průtoku vzduchu. Minimální nastavitelná a následně měřitelná hodnota průtoku vzduchu byla v těchto podmínkách stanovena na 90 m<sup>3</sup>/h. Hodnoty průtoku vzduchu, při kterých byla měřena hladina akustického tlaku, tak byly stanoveny v rozmezí 90 až 300 m<sup>3</sup>/h v krocích po 25. Z těchto dat bylo možné stanovit křivku závislosti akustického tlaku na množství průtoku vzduchu a pomocí matematické



predikce stanovit odpovídající hodnoty akustického tlaku pro ideální množství průtoku vzduchu 25, 50 a 75 m<sup>3</sup>/h.

## 4 První experiment

Plán měření prvního experimentu spočíval v naměření minutového intervalu ve třech variantách. Minutový interval byl stanoven jako dostatečný pro zachycení kolísání hodnot akustického tlaku. Ve variantě 1 byla na vyústce osazena mřížka s lamelami, ve variantě 2 byla vyústka bez mřížky a ve variantě 3 byla vyústka z potrubí zcela odejmuta. Hladina akustického tlaku byla pro všechny varianty měřena v již zmíněném intervalu pro průtoky 90, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 275 a 300 m<sup>3</sup>/h. Celý tento proces byl pro variabilitu výsledků zopakován třikrát na každém z modelů části vzduchotechnického systému.

### 4.1 Průběh prvního experimentu

První den měření byl zahájen s modelem plastového potrubí s variantou 2. Příprava v první části místnosti A-s114 před zahájením měření spočívala v zapojení sestavy VAV demonstrátoru do elektrické sítě, přepnutí spínače do polohy „I“ a nastavení regulátoru otáček na hodnotu 10 V (tzn. maximální výkon). Toto nastavení bylo konstantní po celou dobu průběhu prvního experimentu.

Další průběh experimentu byl následně řízen v uzavřené druhé části místnosti. Po spuštění ovládacího rozhraní regulátoru průtoku vzduchu byl připojen převodník RS485-USB, nastaven COM 6 odpovídající připojenému převodníku, změněny jednotky na m<sup>3</sup>/h a nastaven setpoint 11,38, který odpovídá hodnotě průtoku vzduchu 90 m<sup>3</sup>/h. Následovalo spuštění testu. Před zahájením měření hladiny hluku bylo vždy nutné počkat na ustálení klapky regulátoru v pozici odpovídající požadovanému průtoku. K ustálení obvykle došlo po 3 až 5 minutách (v závislosti na velikosti požadovaného průtoku, při vyšších hodnotách trvalo ustálení déle). Dosažením ustáleného stavu bylo možné zahájit samotné měření. Hlukoměr byl mikrofonom s ochranným krytem v těsné blízkosti přiložen ke koncové hraně vyústky a stisknutím tlačítka „REC“ začalo zaznamenávání hodnot. Po uplynutí časového intervalu 1 minuty bylo zaznamenávání ukončeno opětovným zmáčknutím tlačítka „REC“. V dalším kroku byla vyústka uvedena do varianty 1

osazením mřížky a byl zaznamenán minutový interval. Poté byla vyústka odstraněna a proces se zopakoval i pro variantu 3.

Po zaznamenání hodnot všech tří variant byl nastaven nový setpoint 12,64, ostatní nastavení v řídicím softwaru regulátoru zůstalo beze změny. Po ustálení průtoku vzduchu na požadované hodnotě 100 m<sup>3</sup>/h následoval stejný postup, jako u předchozího setpointu, včetně zachování pořadí jednotlivých variant. Tento proces byl zopakován pro setpointy 15,8 (požadovaný průtok 125 m<sup>3</sup>/h) a 18,96 (požadovaný průtok 150 m<sup>3</sup>/h).

## 4.2 Vyhodnocení experimentu

V průběhu experimentu vyšlo najevo, že již při hodnotě průtoku vzduchu 150 m<sup>3</sup>/h docházelo během změn variant (osazování mřížky, odstranění celé vyústky) k ovlivnění tlakových poměrů modelu natolik výrazným, že byla měněna poloha klapky. Tato skutečnost znamenala, že by bylo nutné mezi jednotlivými variantami počkat na ustálení požadovaného průtoku vzduchu, což by z hlediska rozsahu celého experimentu zapříčinilo jeho markantní prodloužení. Zároveň by také došlo k ovlivnění naměřených dat. Od tohoto plánu měření tak bylo upuštěno.

# 5 Druhý experiment

Po vyhodnocení prvního experimentu byl plán měření modifikován. Hladina akustického tlaku byla měřena v 6minutovém intervalu. Tento interval byl následně při zpracování dat rozdělen na tři 2minutové intervaly, čímž byl nahrazen původní záměr provést kompletní měření třikrát v řadě. Trojnásobné provedení experimentu by odhalilo případné chyby či odchylky v naměřených datech, proto bylo nutné v průběhu měření dbát zvýšené pozornosti a tyto případné chyby a odchylky měření eliminovat. Minutový interval z experimentu předchozího byl vlivem jednoho opakování experimentu (6 minut rozdělených na tři části) rozšířen na 2 minuty pro spolehlivější zachycení kolísání hodnot akustického tlaku.

Další změnou bylo vynechání varianty 3, kdy byla hladina akustického tlaku měřena ve volném potrubí bez vyústky. Tato varianta nebyla s ohledem k myšlence experimentu stanovit vliv jednotlivých modelů na akustické mikroklima bytového prostoru zásadní.

Hladina akustického tlaku tak byla měřená pro stejné průtoky jako v prvním experimentu pouze pro variantu 1 a 2, a to na každém z modelů části vzduchotechnického systému.

## 5.1 Okrajové podmínky

Otáčky ventilátoru byly během experimentu nastaveny konstantně na maximum, tedy na 10 V. Konstantně byl také v jednotlivých intervalech nastaven požadovaný průtok 90, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 275 a 300 m<sup>3</sup>/h. V ustáleném stavu (3 až 5 minut od zahájení testu) hodnota skutečného průtoku vzduchu, viditelná v rozhraní řídicího softwaru regulátoru, kolísala o  $\pm 3$  m<sup>3</sup>/h od požadované hodnoty. Poloha klapky v tomto stavu kolísala o  $\pm 0,05$  %. Hlukoměr měřící hladinu akustického tlaku byl mikrofonem s ochranným krytem vždy umístěn v těsné blízkosti koncové hrany vyústky, a to v obou variantách.

## 5.2 Průběh

První den měření byl zahájen s modelem plastového potrubí ve variantě 2. Příprava v první části místnosti A-s114 před zahájením měření spočívala v zapojení sestavy VAV demonstrátoru do elektrické sítě, přepnutí spínače do polohy „I“ a nastavení regulátoru otáček na hodnotu 10 V (tzn. maximální výkon). Další průběh experimentu byl následně řízen v uzavřené druhé části místnosti. Po spuštění ovládacího rozhraní regulátoru průtoku vzduchu byl připojen převodník RS485-USB, COM port nastaven na COM 6 odpovídající připojenému převodníku, změněny jednotky na m<sup>3</sup>/h a nastaven setpoint 11,38, který odpovídá hodnotě požadovaného průtoku vzduchu 90 m<sup>3</sup>/h.

Následovalo spuštění testu. Po dosažení ustáleného stavu bylo možné zahájit samotné měření. Po zaznamenání časového intervalu 6 minut byla vyústka uvedena do varianty 1 osazením mřížky s lamelami na vyústku a byl znovu zaznamenán 6minutový interval. Následovalo ukončení testu a byl nastaven nový setpoint 12,64 odpovídající hodnotě požadovaného průtoku 100 m<sup>3</sup>/h. Model byl ponechán ve variantě 1 z předchozího měření. Dosažení ustáleného stavu umožnilo naměření hodnot hluku v daném intervalu. Následně byl model uveden do varianty 2 odejmutím mřížky s lamelami a byly zaznamenány hodnoty hluku pro celý interval. Tento proces byl opakován pro setpointy 15,8 (požadovaný průtok 125 m<sup>3</sup>/h), 18,96 (požadovaný průtok 150 m<sup>3</sup>/h), 22,12 (požadovaný průtok 175 m<sup>3</sup>/h), 25,28 (požadovaný průtok 200 m<sup>3</sup>/h),

28,44 (požadovaný průtok 225 m<sup>3</sup>/h), 31,6 (požadovaný průtok 250 m<sup>3</sup>/h), 34,77 (požadovaný průtok 275 m<sup>3</sup>/h) a 37,93 (požadovaný průtok 300 m<sup>3</sup>/h). V průběhu těchto průtoků byl zachován i postup přechodu z jedné varianty na druhou. Při nastavení nového, vyššího setpointu se vždy začínalo měřit s tou variantou, se kterou končilo měření setpointu předchozího. Tento princip byl zachován do průtoků 225 m<sup>3</sup>/h. V tomto bodě nastaly krátké komplikace v měření hodnot hluku v podobě chybného zaznamenávání hodnot. Pro průtoky 250 až 300 m<sup>3</sup>/h tak byly hodnoty hluku naměřeny nejdříve na variantě bez mřížky s lamelami, a až poté byla varianta změněna osazením mřížky a zaznamenáním hodnot hluku pro stejné rozmezí požadovaných objemových průtoků vzduchu. Měření na modelu s plastovým potrubím započalo prvního dne experimentu v 13:30 na variantě 2 a skončilo v 17:28 stejného dne na variantě 1.

Po dokončení celého cyklu měření modelu s plastovým potrubím následovala změna na model se Spiro potrubím. Model byl podle stejného principu jako předchozí model připraven k zahájení měření. Samotné měření pak probíhalo v opačném pořadí než u modelu s plastovým potrubím. Měření bylo zahájeno za největšího požadovaného průtoků (300 m<sup>3</sup>/h) na variantě 1, průtok byl následně snižován až do nejmenší hodnoty (90 m<sup>3</sup>/h). Postup přechodu obou variant byl však zachován a byl držen po celou dobu cyklu měření na tomto modelu. Měření na modelu se Spiro potrubím započalo prvního dne experimentu v 18:11 na variantě 1 a skončilo druhého dne experimentu v 10:03 na variantě 1.

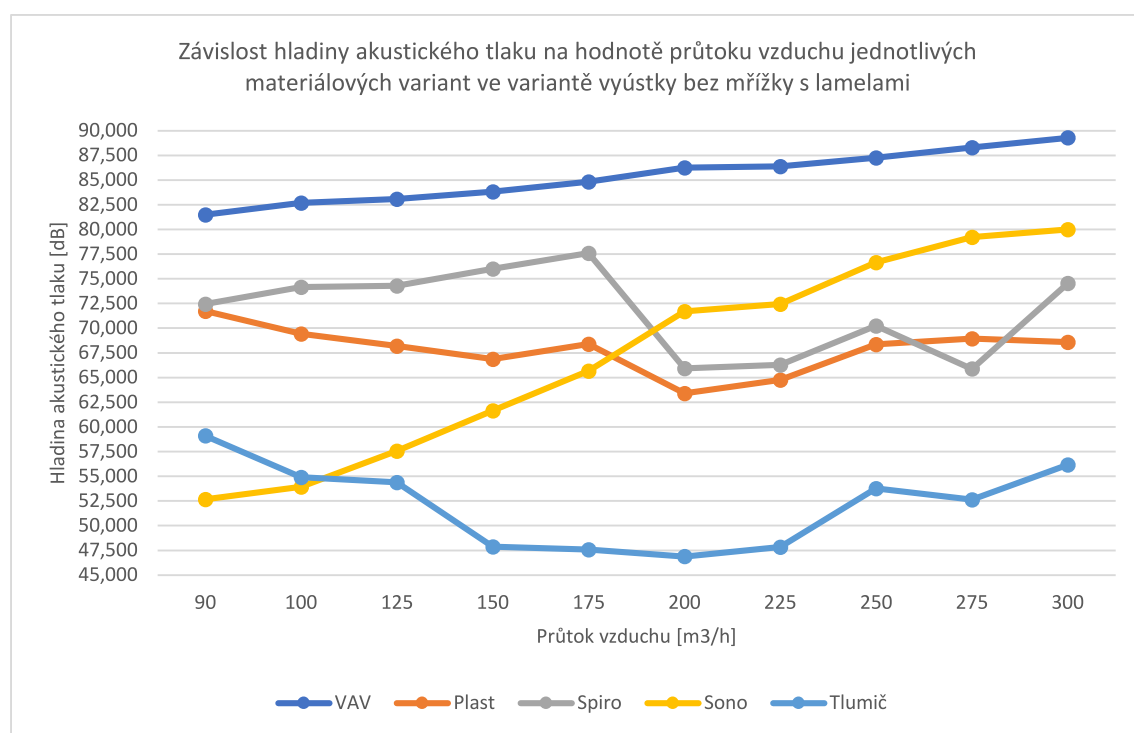
Následovala změna modelu na model s tlumičem hluku a zopakování celého cyklu. Měření bylo zahájeno za nejmenšího požadovaného průtoků (90 m<sup>3</sup>/h) na variantě 2, průtok byl následně zvyšován až do největší hodnoty (300 m<sup>3</sup>/h). Postup přechodu obou variant byl znovu zachován, a byl držen po celou dobu cyklu měření na tomto modelu. Měření na modelu s tlumičem započalo druhého dne experimentu v 12:11 na variantě 2 a skončilo druhého dne experimentu v 18:22 na variantě 2.

Vzhledem k omezení výkonnosti ventilátoru bylo měření na modelu se Sonoflex potrubím zahájeno za požadovaného průtoků 275 m<sup>3</sup>/h na variantě 2. Po naměření intervalu byl nastaven požadovaný průtok 250 m<sup>3</sup>/h na stejné variantě a od tohoto bodu byl postup měření totožný s postupem měření na modelu se Spiro potrubím (od největší hodnoty požadovaného průtoků po nejmenší, přechod z jedné varianty na druhou). Měření na modelu se Sonoflex potrubím započalo třetího dne experimentu v 9:08 na variantě 2 a skončilo v 11:56 stejného dne na variantě 2.

Příprava modelu bez potrubí (pouze sestava VAV) spočívala v přesunutí sestavy v první části místnosti až k prostupu do části druhé. Samotný postup měření pak byl totožný s postupy měření modelů s plastovým potrubím a modelu s tlumičem (hodnota požadovaného průtoku byla vzestupná). Hladina akustického tlaku byla v tomto případě měřena v těsné blízkosti koncové hrany osového přechodu 200/125 (varianta 4). Vyústka tak nebyla na tomto modelu vůbec osazena. Měření na modelu VAV započalo třetího dne experimentu v 13:54 a skončilo v 15:18 stejného dne.

### 5.3 Vyhodnocení experimentu

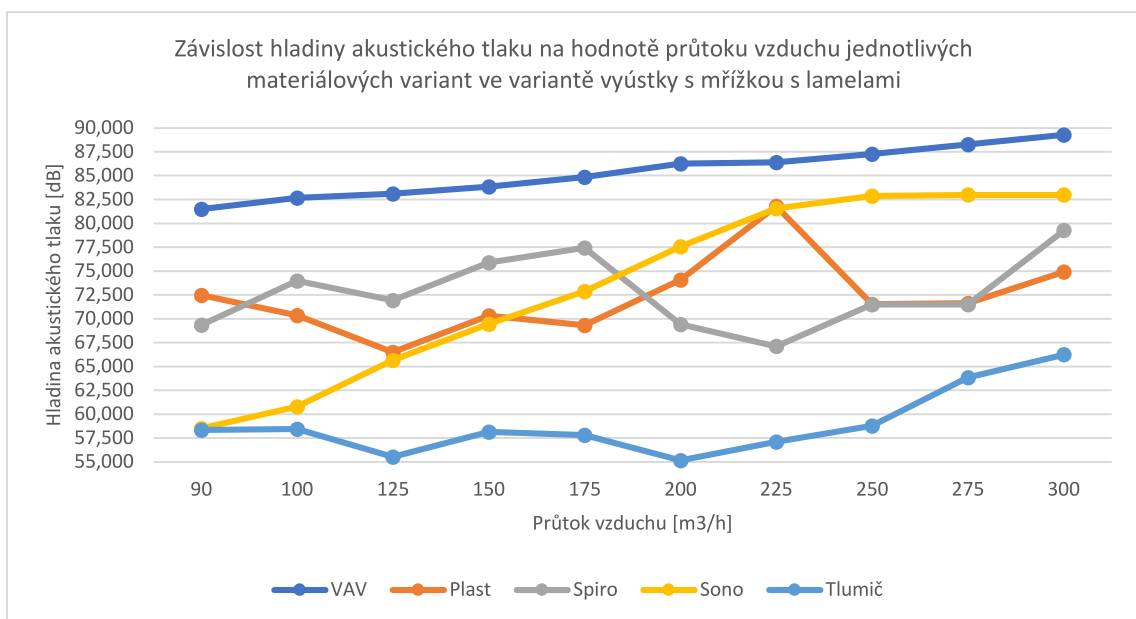
Naměřené hodnoty hladiny akustického tlaku ve vteřinových krocích byly převedeny do Excelu. Pro každý průtok byly stanoveny průměrné hodnoty z každých 2 minut měření (tzn. průměr z prvních 2 minut, druhých 2 minut a třetích 2 minut) a průměrné hodnoty z celého 6minutového intervalu. Veškeré tyto hodnoty byly následně zpracovány do grafických výstupů. Křivky v grafech jsou pojmenovány buď podle materiálu jednotlivých modelů (Graf 1 a Graf 2), nebo podle hodnoty průtoku vzduchu (Graf 3 až Graf 10). Křivky modelů jsou pojmenovány VAV (Obr. 31), Plast (Obr. 17), Spiro (Obr.12), Sono (Obr. 21) a Tlumič (Obr. 26). Názvy křivek průtoku vzduchu korespondují s požadovanými hodnotami objemových průtoků vzduchu.



Graf 1) Závislost hladiny akustického tlaku na hodnotě průtoku vzduchu jednotlivých materiálových variant ve variantě vyústky bez mřížky s lamelami – var 2

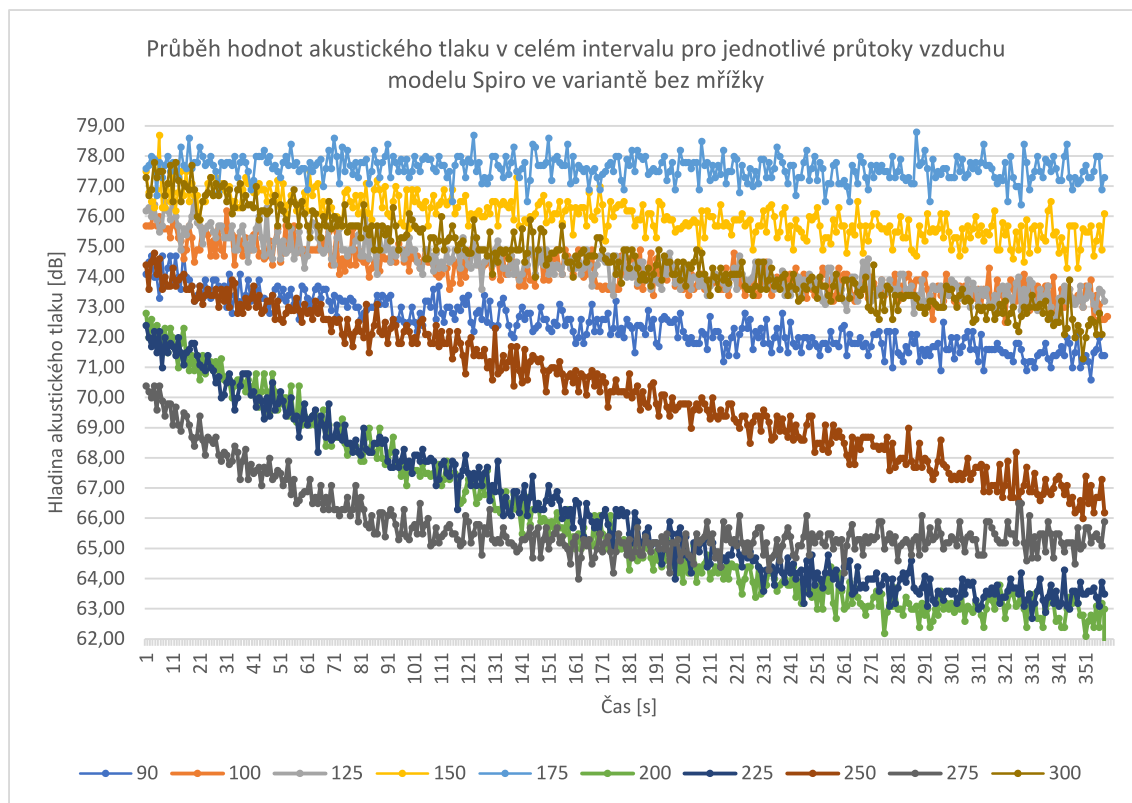
Graf 1 představuje závislost průměrných hodnot akustického tlaku z 6minutového intervalu na hodnotě průtoku vzduchu. Nejvyšších hodnot akustického tlaku dosahuje křivka modelu VAV, kde hluk ventilátoru ovlivňuje pouze regulátor průtoku vzduchu a není tak ničím tlumen. Průběh této křivky odpovídá předpokladům, že s rostoucí rychlostí proudění vzduchu budou mít hodnoty akustického tlaku vzestupnou tendenci. Křivka modelu VAV v grafu prezentuje maxima jednotlivých průtoků a tvarem se blíží lineárnímu průběhu. Předpověď hodnot ideálních průtoků pomocí lineární regrese by tak v tomto případě byla pravděpodobně relativně přesná. Podobný průběh představuje i křivka modelu Sono, dá se však předpokládat, že stejný způsob předpovědi by zde znamenal výraznější odchylku. Z grafu je také patrné, že křivka Sono pro průtoky 90 a 100 m<sup>3</sup>/h dosáhla nejnižších hodnot akustického tlaku ze všech modelů. Minimum pro zbylé průtoky dosáhla křivka modelu s tlumičem, absolutní minimum nastalo při průtoku 200 m<sup>3</sup>/h.

Předpoklad nenaplnily křivky Spiro, Plast a Tlumič, jejichž průběh byl vesměs nahodilý a z predikce ideálních průtoků zde nevycházely žádné solidní výsledky. Zajímavý je pokles hodnot akustického tlaku na křivky tlumiče. Hodnoty zde mírně klesají do hodnoty průtoku 125 m<sup>3</sup>/h, kdy se rychlost vzduchu pohybuje pod 3 m/s. Následuje významný pokles při přechodu na průtok 150 m<sup>3</sup>/h a do hodnoty průtoku 200 m<sup>3</sup>/h akustický tlak dál mírně klesá, navzdory tomu, že rychlost proudění vzduchu v potrubí roste.



Graf 2) Závislost hladiny akustického tlaku na hodnotě průtoku vzduchu jednotlivých materiálových variant ve variantě výústky s mřížkou s lamelami – var 1

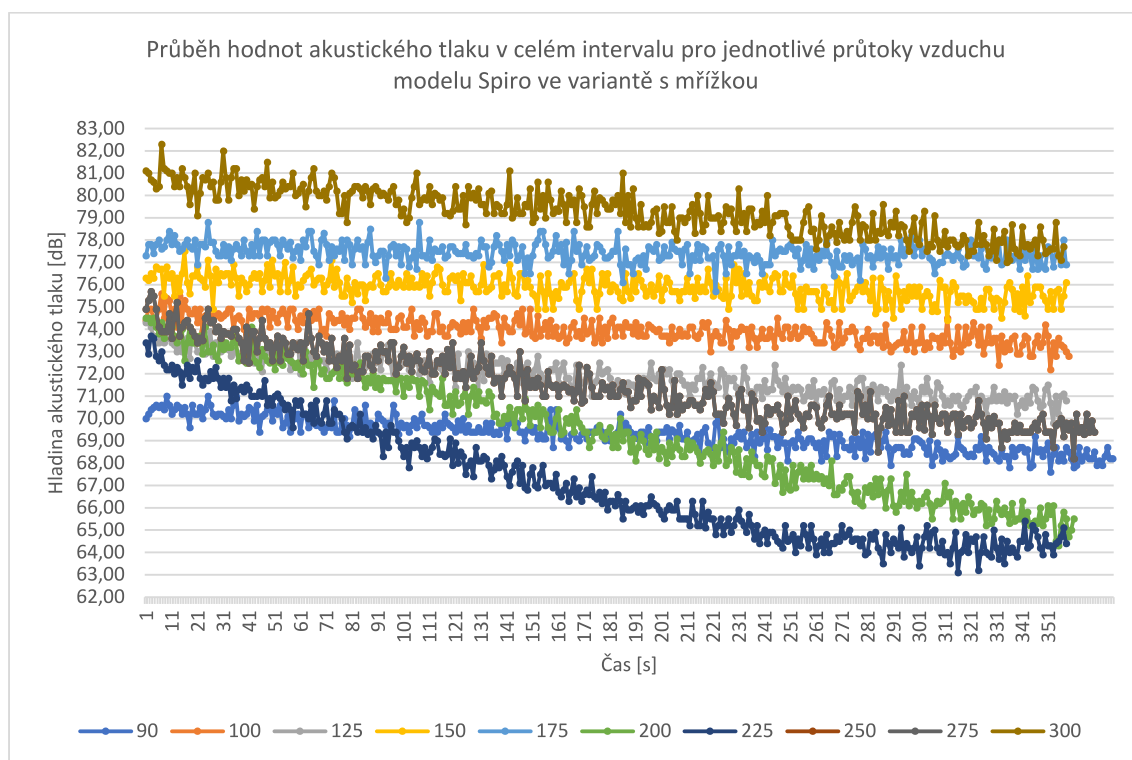
Graf 2 představuje stejnou závislost jako graf předchozí s tím rozdílem, že jde o variantu 1 s mřížkou osazenou na vyústce. Výsledky varianty s mřížkou ukazují na obdobné průběhy křivek s tím rozdílem, že hodnoty akustického tlaku jsou v jednotlivých bodech zpravidla větší než v předchozím grafu. Nejvýraznějším rozdílem je pozvolnější průběh křivky tlumiče, a naopak skokové rozdíly křivky modelu plastového potrubí. Ze srovnání obou grafů bychom tak mohli usoudit, že mřížka ve vyústce nepřispívá k útlumu akustického tlaku ventilátoru, naopak má opačný efekt.



Graf 3) Průběh hodnot akustického tlaku v celém intervalu pro jednotlivé průtoky vzduchu modelu Spiro ve variantě bez mřížky – var 2 (průtoky 90 až 300 m<sup>3</sup>/h)

V Grafu 3 jsou vykresleny hodnoty akustického tlaku v sekundovém intervalu po dobu celého intervalu 6 minut pro jednotlivé požadované průtoky modelu se Spiro potrubím ve variantě vyústky bez mřížky. Jak již bylo dříve zmíněno, veškerá měření byla zaznamenávána až od momentu ustálení stavu, tedy od chvíle, kdy kolísání hodnot skutečného průtoku vzduchu a polohy klapky nevybočovaly z dané odchylky. Přesto je z grafu u některých křivek patrná výrazná změna hodnot v čase. Nejvýrazněji je tento jev pozorovatelný u křivek průtoků 200, 225 a 250 m<sup>3</sup>/h. Rozdíl počátečních a koncových hodnot akustického tlaku těchto křivek je ve vyšších jednotkách dB.

Úrovně jednotlivých křivek korespondují s grafem průměrných hodnot (Graf 1). Křivky mají v rozmezí průtoků 90 až 175 m<sup>3</sup>/h vzestupnou tendenci hodnot akustického tlaku, od křivky průtoků 200 výše následuje prudký pád hodnot akustického tlaku. Lze konstatovat, že do průtoků 175 m<sup>3</sup>/h naměřené hodnoty plnily vstupní předpoklad, kterým bylo, že s rostoucí rychlostí proudění vzduchu budou mít křivky jednotlivých průtoků vzestupnou tendenci hodnot akustického tlaku.



Graf 4) Průběh hodnot akustického tlaku v celém intervalu pro jednotlivé průtoky vzduchu modelu Spiro ve variantě s mřížkou – var 1 (průtoky 90 až 300 m<sup>3</sup>/h)

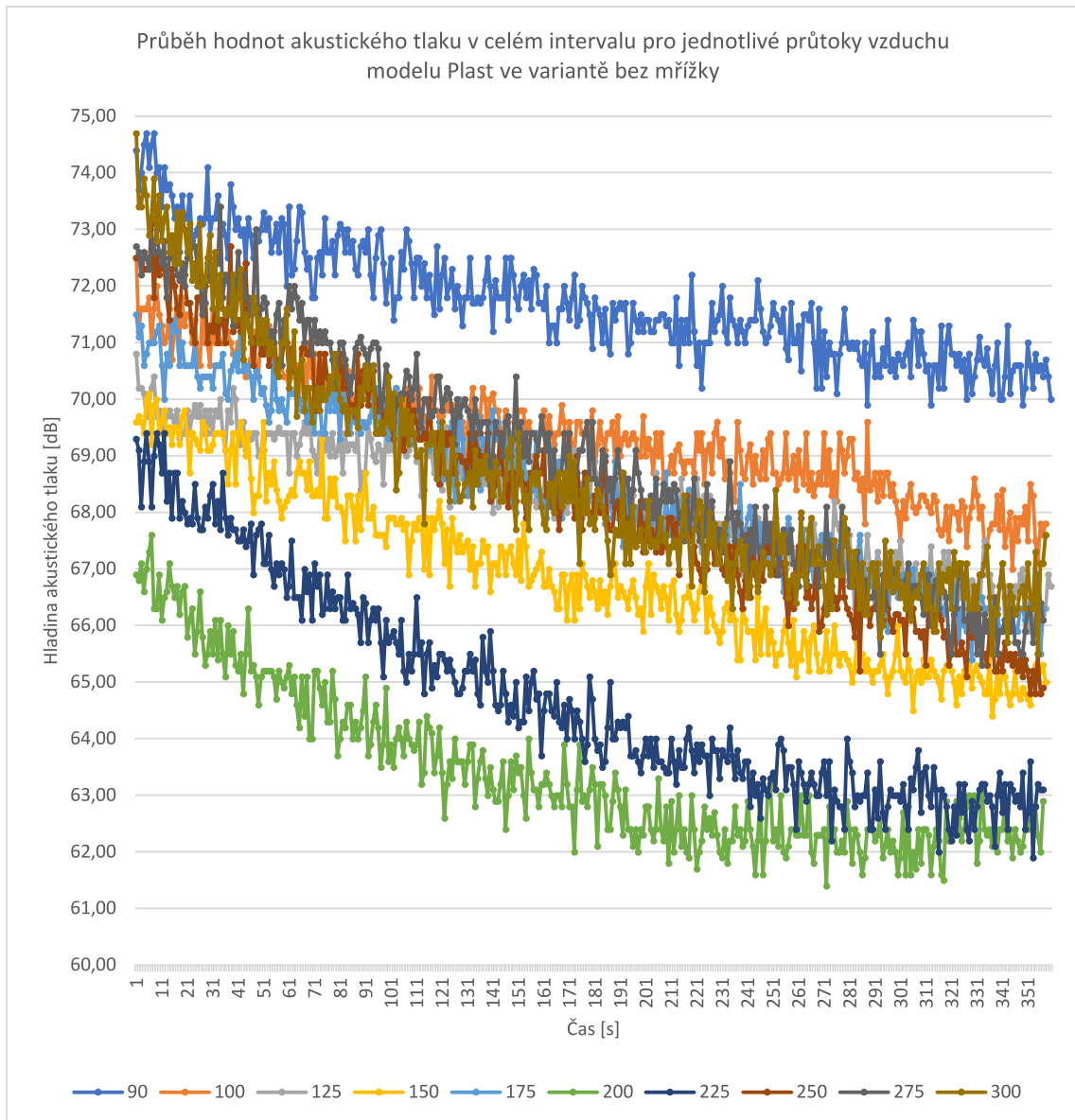
Graf 4 představuje stejnou závislost jako graf předchozí s tím rozdílem, že jde o variantu s mřížkou osazenou na vyústce. Výrazná změna hodnot akustického tlaku v čase je pozorovatelná i v tomto grafu, v tomto případě se však jedná pouze o křivky 200 a 225. Nejvýrazněji se projevil ve druhé jmenované.

I v tomto případě graf koresponduje s průměrnými hodnotami Grafu 2. Předpokládaná rostoucí tendence však v tomto případě není pozorovatelná ani lokálně a úrovně křivek jsou vůči sobě nahodilé a bez závislosti.

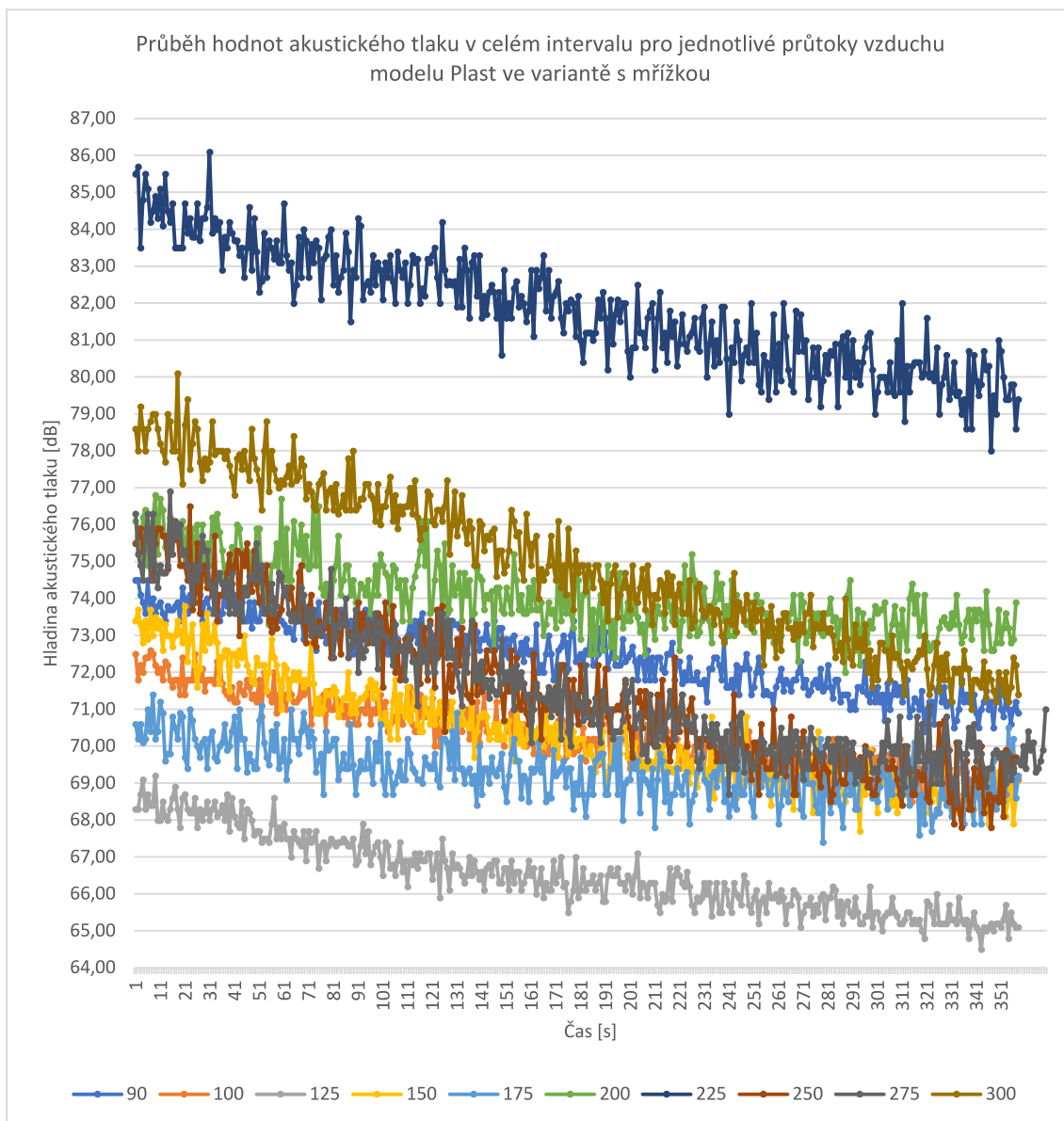
Graf 5 zobrazuje průběh hodnot celého intervalu modelu plastového potrubí s vyústkou bez mřížky. Klesání hodnot v čase se v tomto grafu projevilo nejvíce na křivkách 250, 275 a 300, u těchto křivek bylo klesání hodnot pozvolné a kopírovalo



lineární průběh. Naopak pokles hodnot křivek 200 a 225 byl průběhem spíše logaritmický. Zajímavým faktorem tohoto grafu je oproti předpokladu přesně obrácený vývoj křivek. Úroveň křivek má od 90 do 225 sestupnou tendenci, která je na tomto intervalu přerušena jen drobným skokem křivky 175. Křivka 90 zároveň představuje maximální hodnoty akustického tlaku. Z grafu tak v podstatě vyplývá, že s rostoucí rychlostí proudění vzduchu klesá hladina akustického tlaku (tato myšlenka je dále rozvedena v kapitole 3.4).

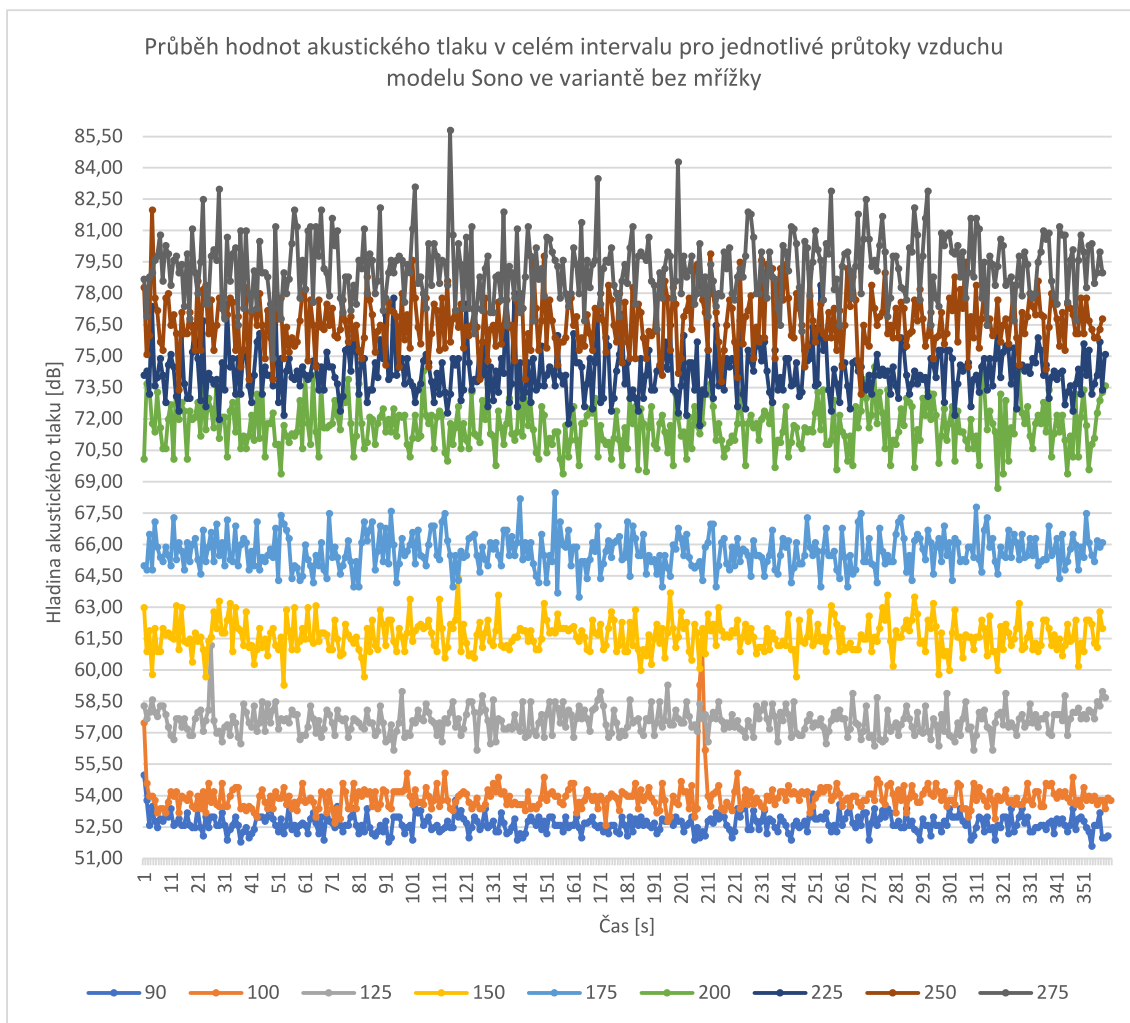


Graf 5) Průběh hodnot akustického tlaku v celém intervalu pro jednotlivé průtoky vzduchu modelu Plast ve variantě bez mřížky – var 2 (průtoky 90 až 300 m<sup>3</sup>/h)



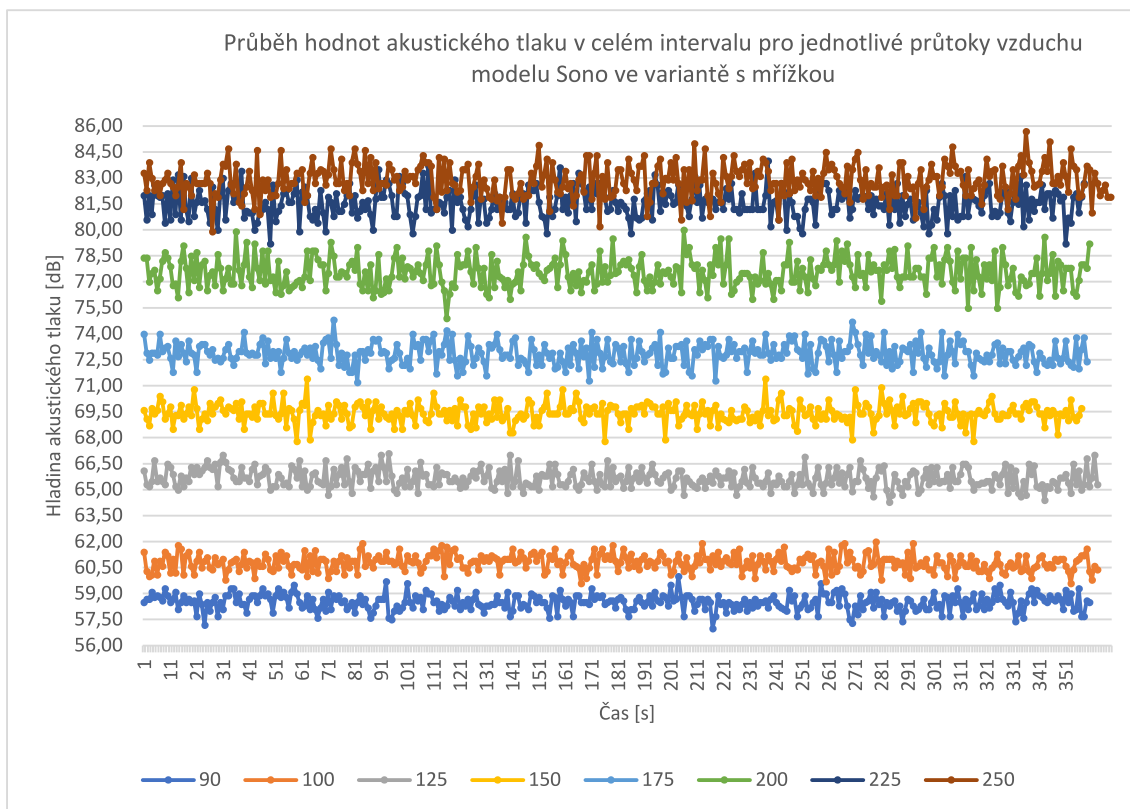
Graf 6) Průběh hodnot akustického tlaku v celém intervalu pro jednotlivé průtoky vzduchu modelu Plast ve variantě s mřížkou – var 1 (průtoky 90 až 300 m<sup>3</sup>/h)

Graf 6 zobrazuje průběh hodnot celého intervalu modelu plastového potrubí s vyústkou včetně mřížky. Klesání hodnot v čase se zde projevilo zdaleka nejméně ze všech předchozích případů. Rozdíl počátečních a koncových hodnot zde nepřesahuje nižší jednotky dB. Úrovně křivek jsou zde vesměs nahodilé, mezi jednotlivými křivkami jsou však jen velmi malé rozdíly. Nejvíce z této skupiny vyčnívají pouze dvě křivky, křivka 125 tvoří globální minimum, křivka 225 naopak globální maximum. Zajímavý je výrazný rozdíl úrovní maximální a druhé nejvýše postavené křivky (300).

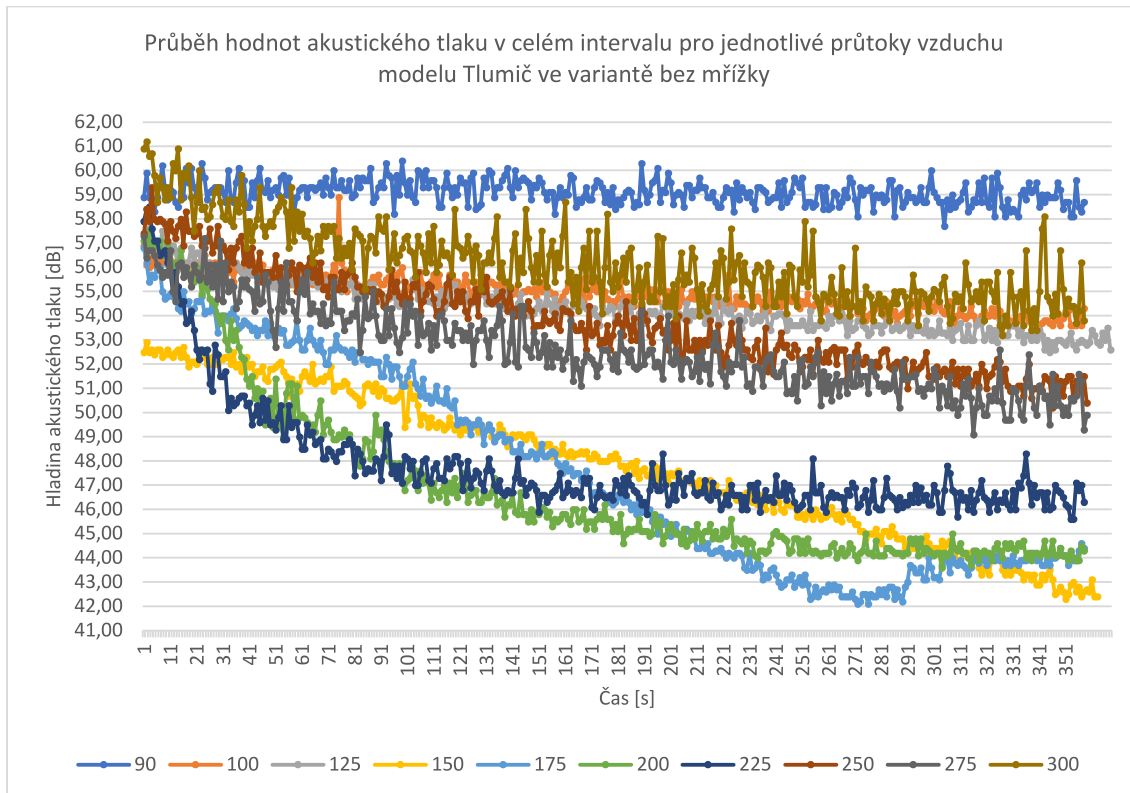


Graf 7) Průběh hodnot akustického tlaku v celém intervalu pro jednotlivé průtoky vzduchu modelu Sono ve variantě bez mřížky – var 2 (průtoky 90 až 300 m<sup>3</sup>/h)

Průběh hodnot celého intervalu modelu se Sonoflex potrubím je zobrazen ve dvou grafech. Graf 7 je ve variantě bez mřížky na vyústce a Graf 8 ve variantě včetně mřížky. V případě tohoto modelu nedocházelo k výraznější změně hodnot v čase, jako tomu bylo u předchozích modelů. Ve variantě bez mřížky docházelo pouze k lokálním krátkodobým výkyvům, nejvýraznější je krátkodobý významný nárůst hladiny akustického tlaku na křivce 100. Ten byl nejspíše zapříčiněn vnějším vlivem mimo prostor prováděného experimentu. Oba grafy mají společnou rostoucí tendenci úrovně křivek s rostoucími průtoky, a to v celém rozsahu 90 až 300. Tyto grafy názorně demonstrují předpoklad úměrného růstu hladiny akustického tlaku s rostoucí rychlostí proudění vzduchu v potrubí.

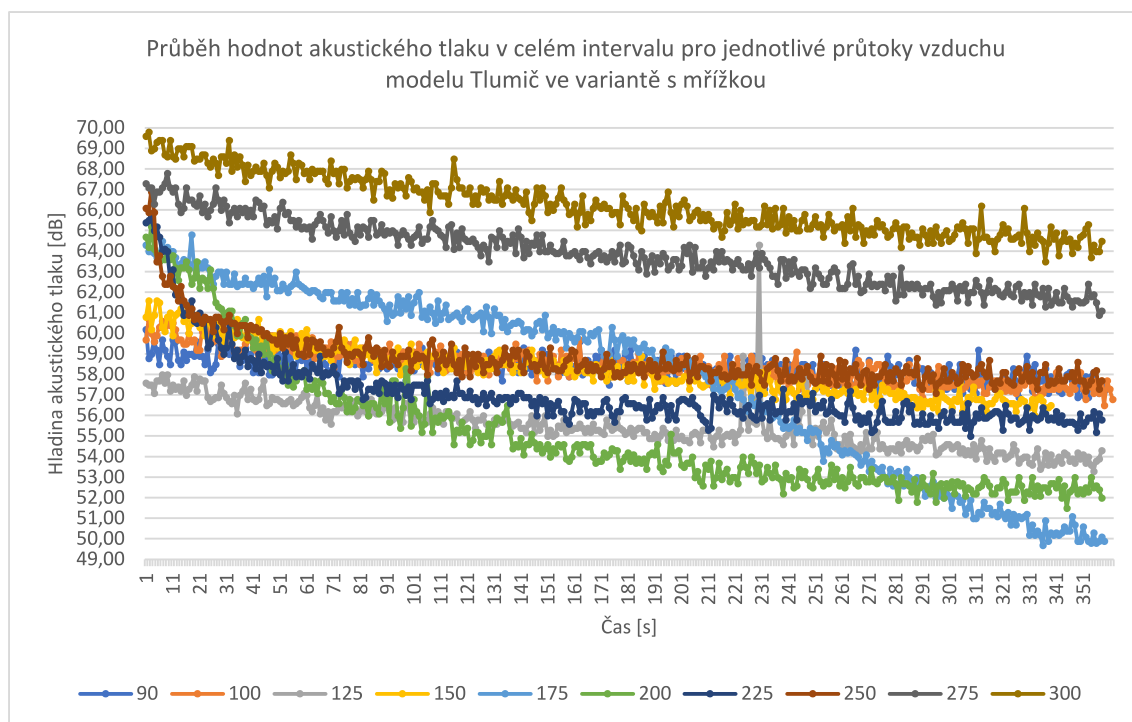


Graf 8) Průběh hodnot akustického tlaku v celém intervalu pro jednotlivé průtoky vzduchu modelu Sono ve variantě s mřížkou – var 1 (průtoky 90 až 300 m<sup>3</sup>/h)



Graf 9) Průběh hodnot akustického tlaku v celém intervalu pro jednotlivé průtoky vzduchu modelu Tlumič ve variantě bez mřížky – var 2 (průtoky 90 až 300 m<sup>3</sup>/h)

Zdaleka nejvýrazněji se změna hodnot akustického tlaku v čase projevila u varianty modelu s tlumičem hluku, jak je patrné z Grafu 9 a Grafu 10. V obou případech se jedná konkrétně o křivku 175, rozdíl počátečních a koncových hodnot zde přesahuje 10 dB. Dalším společným znakem obou grafů jsou větší výkyvy křivek s rostoucím průtokem vzduchu, z obou grafů však výrazně větší výkyvy zaznamenala varianta bez mřížky (Graf 9). Na křivce 125 varianty s mřížkou je viditelný krátkodobý významný nárůst hladiny akustického tlaku, který byl podobně jako v Grafu 7 nejspíše zapříčiněn vnějším vlivem.



Graf 10) Průběh hodnot akustického tlaku v celém intervalu pro jednotlivé průtoky vzduchu modelu Sono ve variantě s mřížkou – var 1 (průtoky 90 až 300 m<sup>3</sup>/h)

## 5.4 Závěrečné shrnutí

Již z grafických výstupů kapitoly 3.3 bylo patrné, že užití lineární regrese pro matematickou předpověď ideálních množství průtoků vzduchu 25, 50 a 75 m<sup>3</sup>/h by v případě křivek modelů Plast, Spiro a Tlumič neposkytla věrohodnou predikci. Pro použití této metody by křivky měly ideálně plnit předpokládaný průběh rostoucí tendence hodnot akustického tlaku v závislosti na rostoucí rychlosti proudění vzduchu v potrubí nanejvýše s minimální odchylkou. Nahodilé průběhy křivek v Grafech 1 a 2 tak použití této metody vyloučily.

Postup měření druhého experimentu se navíc ukázal být ne zcela ideálním. Jak později dokázal třetí experiment, klapka v regulátoru průtoku vzduchu se při stejném

setpointu pro konkrétní průtok ustálí na jiné procentuální hodnotě, pokud na daný setpoint klesá, než pokud na daný setpoint roste. To znamená, že pokud by byl například pro model se Spiro potrubím zadán nový setpoint 18,96 (požadovaný průtok 150 m<sup>3</sup>/h) z předchozího setpointu 37,92 (požadovaný průtok 300 m<sup>3</sup>/h), k ustálení klapky by došlo v jiné pozici, než pokud by byl totožný nový setpoint (18,96) zadán z předchozího setpointu 11,37 (požadovaný průtok 90 m<sup>3</sup>/h). Toto zjištění mělo zásadní vliv na drtivou většinu vyhodnocených výsledků z kapitoly 3.3. Učiněné závěry (např. poslední věta odstavce popisující Graf 5) se tak prokázaly jako nepodložené.

## 6 Třetí experiment

Z vyhodnocení druhého experimentu bylo patrné, že pro další experiment byly potřeba další modifikace. První z nich bylo sjednocení postupu při měření dat na jednotlivých modelech. V tomto experimentu bylo coby jednotný postup zvoleno měření hodnot od nejmenšího (90 m<sup>3</sup>/h) požadovaného průtoku vzduchu po největší (300 m<sup>3</sup>/h). Tento jednotný postup měl zajistit co nejvěrohodnější výsledky měření pro následné porovnání jednotlivých variant, což byl hlavní předpoklad také pro zapojení další měřené veličiny, a to měření diferenčního tlaku  $\Delta P$ . Hodnota diferenčního tlaku  $\Delta P$  byla měřena vždy na dvou místech (začátek a konec trasy modelu) a výsledná hodnota tlakové difference byla určena z rozdílu těchto hodnot. Měření akustického tlaku v 6minutovém intervalu zůstalo zachováno. Pro měření diferenčního tlaku byl zvolen interval 30 sekund, který byl dostatečně dlouhý pro ustálení hodnot. Výstupem měření diferenčního tlaku byla jedna hodnota reprezentující průměr z tohoto intervalu. Průměrná hodnota byla po ukončení měření zobrazena na měřicím přístroji Testo 400.

Významnou změnou bylo nově také měření hluku pouze ve variantě 2, tedy s vyústkou bez mřížky s lamelami. Hlavním důvodem vyřazení varianty 1 byla simplifikace celého cyklu měření a eliminace nepřesností a odchylek při měření hodnot akustického tlaku. Vedlejším benefitem této změny bylo také změřením hodnot akustického tlaku modelu se Sonoflex potrubím pro průtok 275 m<sup>3</sup>/h (omezením ventilátoru byly hodnoty měřitelné jen v této variantě).

Další modifikací bylo nově zaznamenávání polohy klapky regulátoru průtoku vzduchu při daných objemových průtocích vzduchu pro případnou pomoc v odhalení

chyb či odchylek měření. Poloha klapky byla zaznamenávána po dosažení ustáleného stavu při požadovaném průtoku.

## 6.1 Okrajové podmínky

Otáčky ventilátoru byly během experimentu nastaveny konstantně na maximum, tedy na 10 V. Konstantně byl také v jednotlivých intervalech nastaven požadovaný průtok 90, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 275 a 300 m<sup>3</sup>/h. V ustáleném stavu (3 až 5 minut od zahájení testu) hodnota skutečného průtoku vzduchu, viditelná v rozhraní řídicího softwaru regulátoru, kolísala o  $\pm 3$  m<sup>3</sup>/h od požadované hodnoty. Poloha klapky v tomto stavu kolísala o  $\pm 0,05$  %. Tlaková hadice byla při měření diferenčního tlaku připojena na kladnou přípojku (levá při pohledu na zadní stranu přístroje), hodnota diferenčního tlaku vycházela z porovnání s atmosférickým tlakem vzduchu v místě měření.

## 6.2 Průběh

První den měření byl zahájen s modelem VAV ve variantě 4 (jediný model v jiné variantě v tomto experimentu). Příprava v první části místnosti A-s114 před zahájením měření spočívala v přesunutí modelu VAV osovým přechodem přímo k prostupu do druhé části místnosti, zapojení sestavy VAV demonstrátoru do elektrické sítě, přepnutí spínače do polohy „I“ a nastavení regulátoru otáček na hodnotu 10 V (tzn. maximální výkon). Další průběh experimentu byl následně řízen v uzavřené druhé části místnosti. Po spuštění ovládacího rozhraní regulátoru průtoku vzduchu byl připojen převodník RS485-USB, nastaven COM 6 odpovídající připojenému převodníku, změněny jednotky na m<sup>3</sup>/h a nastaven setpoint 11,38, který odpovídá hodnotě požadovaného průtoku vzduchu 90 m<sup>3</sup>/h.

Následovalo spuštění testu. Po dosažení ustáleného stavu byla zaznamenána hodnota polohy klapky v procentech (třetí řádek v pravé části rozhraní řídicího softwaru regulátoru průtoku vzduchu na Obr. 36) a zahájeno měření hodnot akustického tlaku. Po zaznamenání časového intervalu 6 minut následovalo ukončení testu a byl nastaven nový setpoint 12,64 odpovídající hodnotě požadovaného průtoku 100 m<sup>3</sup>/h. Dosažení ustáleného stavu umožnilo zaznamenání hodnoty polohy klapky regulátoru a naměření hodnot akustického tlaku v daném intervalu. Tento proces byl postupně opakován pro setpointy 15,8 (požadovaný průtok 125 m<sup>3</sup>/h), 18,96 (požadovaný průtok 150 m<sup>3</sup>/h),



22,12 (požadovaný průtok 175 m<sup>3</sup>/h), 25,28 (požadovaný průtok 200 m<sup>3</sup>/h), 28,44 (požadovaný průtok 225 m<sup>3</sup>/h), 31,6 (požadovaný průtok 250 m<sup>3</sup>/h), 34,77 (požadovaný průtok 275 m<sup>3</sup>/h) a 37,93 (požadovaný průtok 300 m<sup>3</sup>/h). Měření na modelu VAV začalo prvního dne experimentu v 9:28 a skončilo stejného dne v 10:27.

Po dokončení celého cyklu měření na modelu VAV následovala změna na model se Spiro potrubím. Sestava VAV byla přesunuta do své obvyklé pozice, model se Spiro potrubím byl připraven ve variantě 2 a stejným způsobem jako předchozí model připraven k zahájení měření. Před nastavením prvního setpointu byl nejprve spuštěn test s požadovaným průtokem 80 m<sup>3</sup>/h (setpoint 10,11), což zajistilo úplné otevření klapky regulátoru. Tímto krokem bylo zamezeno nastavení prvního setpointu 11,38 z předešlého 37,93 (konečný setpoint předchozího modelu). Klapka se tak po nastavení prvního setpointu měření musela uzavírat, nikoli otvírat. V tomto bodě už bylo vše připravené pro spuštění testu s nastaveným setpointem 11,38 (požadovaný průtok 90 m<sup>3</sup>/h) a po dosažení ustáleného stavu zahájení měření akustického tlaku. Měření bylo ukončeno uplynutím 6 minut dlouhého intervalu.

Dalším krokem bylo měření diferenčního tlaku. Z vyústky byla sejmuta hliníková těsnící páska, která překrývala vyvrtaný otvor a do otvoru byl zasunut konec tlakové hadice do hloubky 20 mm (druhý konec hadice byl na přípojce měřicího přístroje). Následovalo měření diferenčního tlaku. Po uplynutí měření v příslušném intervalu 30 sekund byla zaznamenána průměrná hodnota tlaku v kPa a tlakové difference v Pa. Tlaková hadice byla vysunuta z otvoru a ten byl utěsněn hliníkovou těsnící páskou. Shodný proces byl následně proveden i u otvoru na začátku modelu (za osovým přechodem). Se skončením měření diferenčního tlaku byl znovu utěsněn prostup mezi oběma částmi místnosti a nastaven nový setpoint.

Celý tento měřicí proces byl postupně opakován pro setpointy 12,64 (požadovaný průtok 100 m<sup>3</sup>/h), 15,8 (požadovaný průtok 125 m<sup>3</sup>/h), 18,96 (požadovaný průtok 150 m<sup>3</sup>/h), 22,12 (požadovaný průtok 175 m<sup>3</sup>/h), 25,28 (požadovaný průtok 200 m<sup>3</sup>/h), 28,44 (požadovaný průtok 225 m<sup>3</sup>/h), 31,6 (požadovaný průtok 250 m<sup>3</sup>/h), 34,77 (požadovaný průtok 275 m<sup>3</sup>/h) a 37,93 (požadovaný průtok 300 m<sup>3</sup>/h). Měření na modelu se Spiro potrubím začalo druhého dne experimentu v 8:50 a skončilo stejného dne v 10:51.



Následovala změna modelu na model s tlumičem hluku a zopakování totožného měřicího cyklu jako u modelu se Spiro potrubím. Měření na modelu s tlumičem započalo druhého dne experimentu v 12:05 a skončilo stejného dne v 13:54.

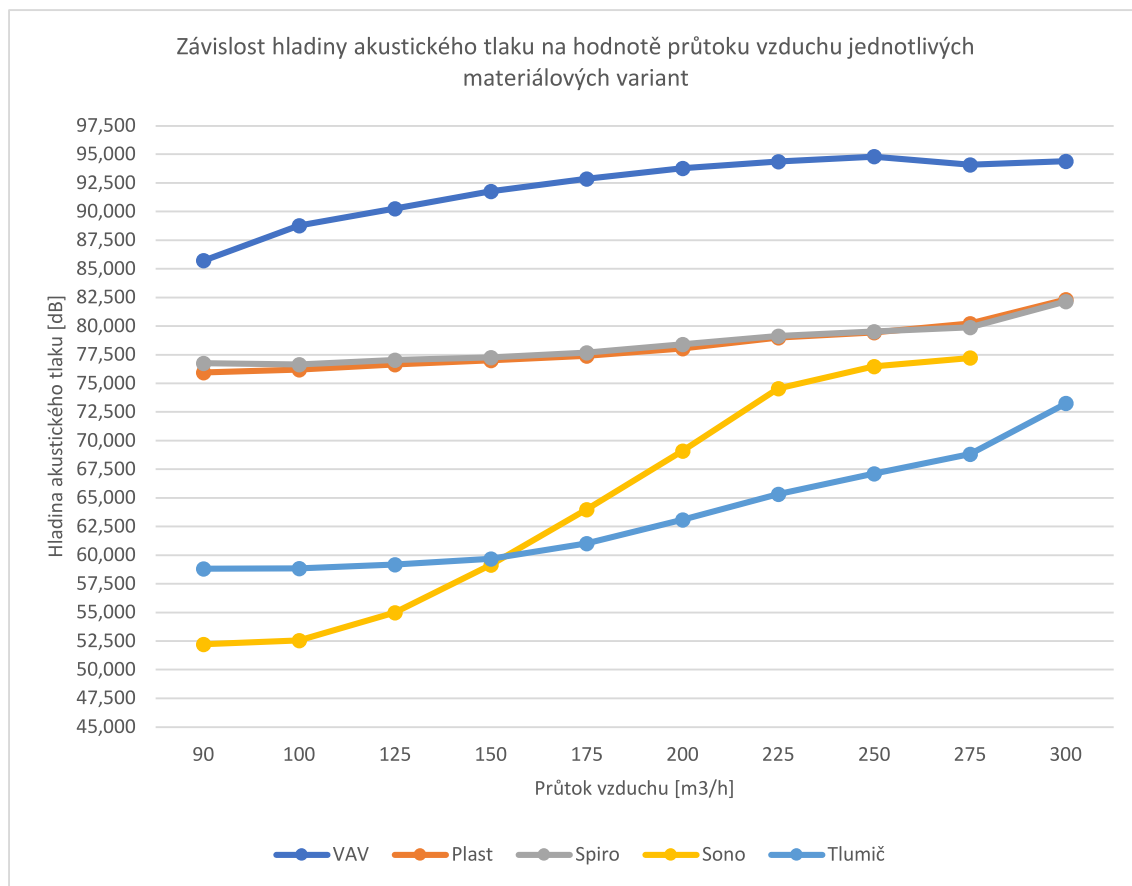
Totožný měřicí cyklus byl aplikován také na modely s plastovým potrubím a se Sonoflex potrubím. Měření na obou modelech proběhlo druhý den experimentu. Měření na modelu s plastovým potrubím proběhlo v čase od 15:28 do 17:23, na modelu se Sonoflex potrubím v čase od 17:47 do 19:27. Žádné další modifikace ve sjednoceném postupu měření nenastaly.

### 6.3 Vyhodnocení experimentu

Naměřené hodnoty hladiny akustického tlaku ve vteřinových krocích byly převedeny do Excelu. Pro každý objemový průtok všech variant modelů byly stanoveny průměrné hodnoty z každých 2 minut měření (tzn. průměr z prvních 2 minut, druhých 2 minut a třetích 2 minut) a průměrné hodnoty z celého 6minutového intervalu. Veškeré tyto hodnoty byly následně zpracovány do grafických výstupů. Křivky v grafech jsou pojmenovány buď podle materiálu jednotlivých modelů (Graf 11), nebo podle hodnoty průtoku vzduchu (Graf 13 až Graf 17). Křivky modelů jsou pojmenovány VAV (Obr. 31), Plast (Obr. 17), Spiro (Obr. 12), Sono (Obr. 21) a Tlumič (Obr. 26). Názvy křivek průtoku vzduchu korespondují s požadovanými hodnotami objemových průtoků vzduchu. Do grafických výstupů byly zpracovány také zaznamenané hodnoty poloh klapky (Graf 12) a tlakových ztrát (Graf 21) jednotlivých modelů při daných objemových průtocích. Křivky jsou v obou těchto grafech pojmenovány podle materiálu jednotlivých modelů (obdobně jako v Grafu 11).

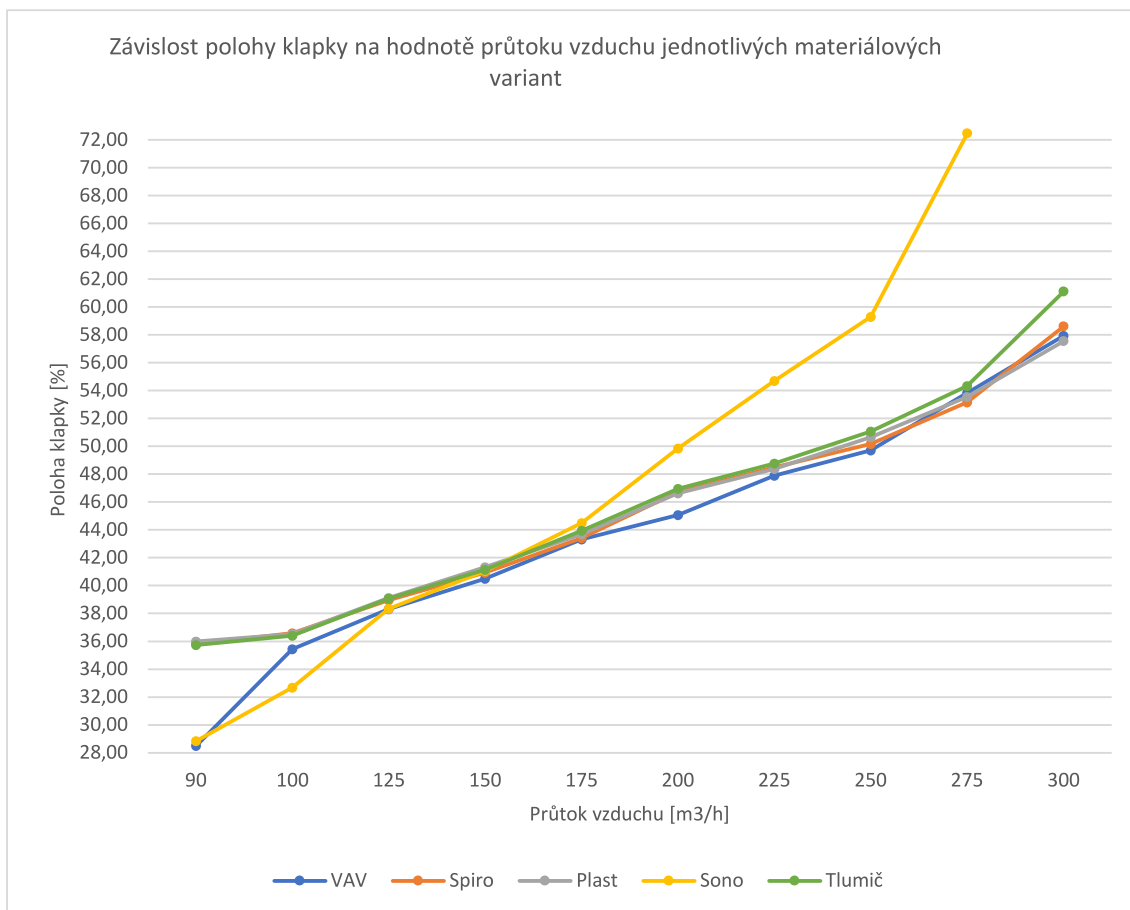
Graf 11 představuje závislost průměrných hodnot akustického tlaku z 6minutového intervalu na hodnotě průtoku vzduchu. Křivky všech modelů splnily předpoklad, že s rostoucí rychlostí proudění vzduchu budou mít hodnoty akustického tlaku vzestupnou tendenci. Jedinou mírnou odchylkou z této rostoucí tendence byla křivka VAV v rozmezí průtoků 250 až 300 m<sup>3</sup>/h. Predikce hodnot akustického tlaku pro ideální průtoky vzduchu na tyto křivky bylo možné použít (výsledky zobrazil Graf 18). Nejvyšších hodnot akustického tlaku v Grafu 11 dosahuje křivka modelu VAV, kde hluk ventilátoru ovlivňuje pouze regulátor průtoku vzduchu a není tak ničím tlumen. Nejnižších hodnot dosáhla křivka Sono pro rozmezí průtoků vzduchu 90 až 150 m<sup>3</sup>/h, pro zbývající průtoky od 175 do 300 m<sup>3</sup>/h představovala minimální hodnoty křivka Tlumiče. Velmi podobného

průběhu, tvarem i hodnotami, dosáhly křivky Plast a Spiro. V převažující většině průtoků vzduchu (90 až 250) dosahovala křivka Spiro mírně větších hodnot akustického tlaku.

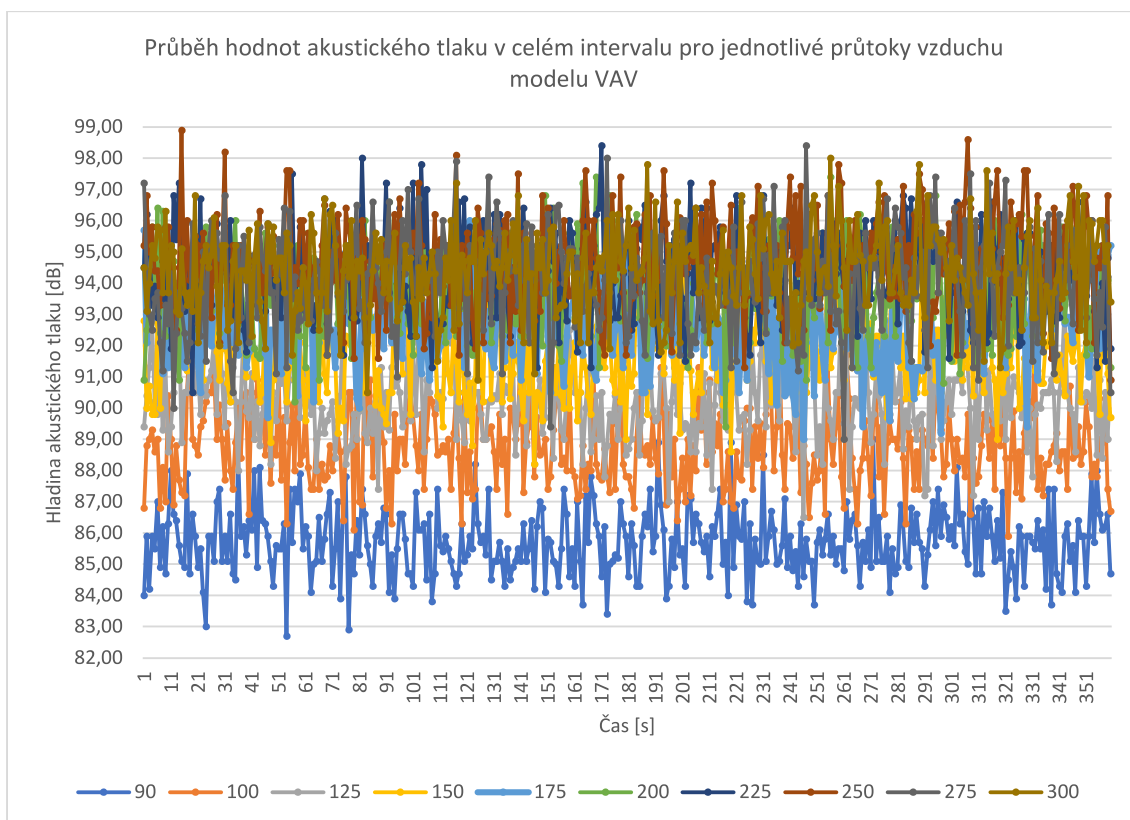


Graf 11) Závislost hladiny akustického tlaku na hodnotě průtoku vzduchu jednotlivých materiálových variant

Graf 12 znázorňuje, jakou měla klapka regulátoru polohu při jednotlivých požadovaných průtocích všech modelů. Z grafu je patrné, že křivky Tlumič, Spiro a Plast zde dosáhly velice podobných hodnot. Kromě rozmezí od 90 do 100 m<sup>3</sup>/h těchto hodnot dosáhla i křivka VAV. V rozmezí průtoků vzduchu od 125 do 175 m<sup>3</sup>/h podobných hodnot dosahovaly dokonce křivky všech modelů. Výrazně největší otevření klapky pro dosažení požadovaného průtoku dosahovala křivka Sono, ale pouze od průtoku vzduchu 175 m<sup>3</sup>/h a více. Z této skutečnosti je tak patrné, že tato materiálová varianta dosahovala největší tlakové ztráty. Zajímavého průběhu však tato křivka dosáhla v intervalu od 90 do 125 m<sup>3</sup>/h, kdy naopak tento model spolu s modelem VAV vyžadovaly pro dosažení požadovaného průtoku největší škrcení klapkou.

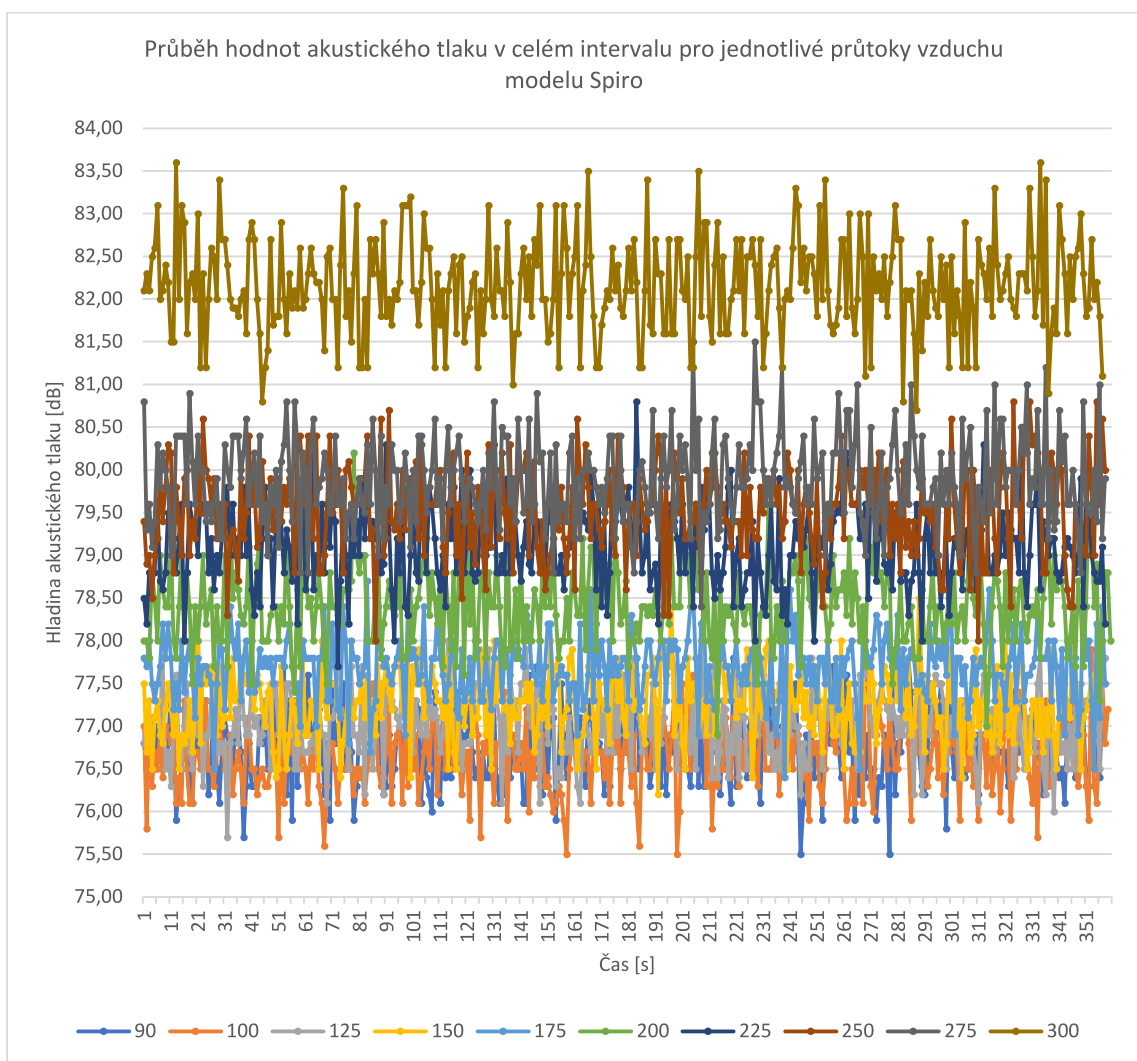


Graf 12) Závislost polohy klapky na hodnotě průtoku vzduchu jednotlivých materiálových variant



Graf 13) Průběh hodnot akustického tlaku v celém intervalu pro jednotlivé průtoky vzduchu modelu VAV

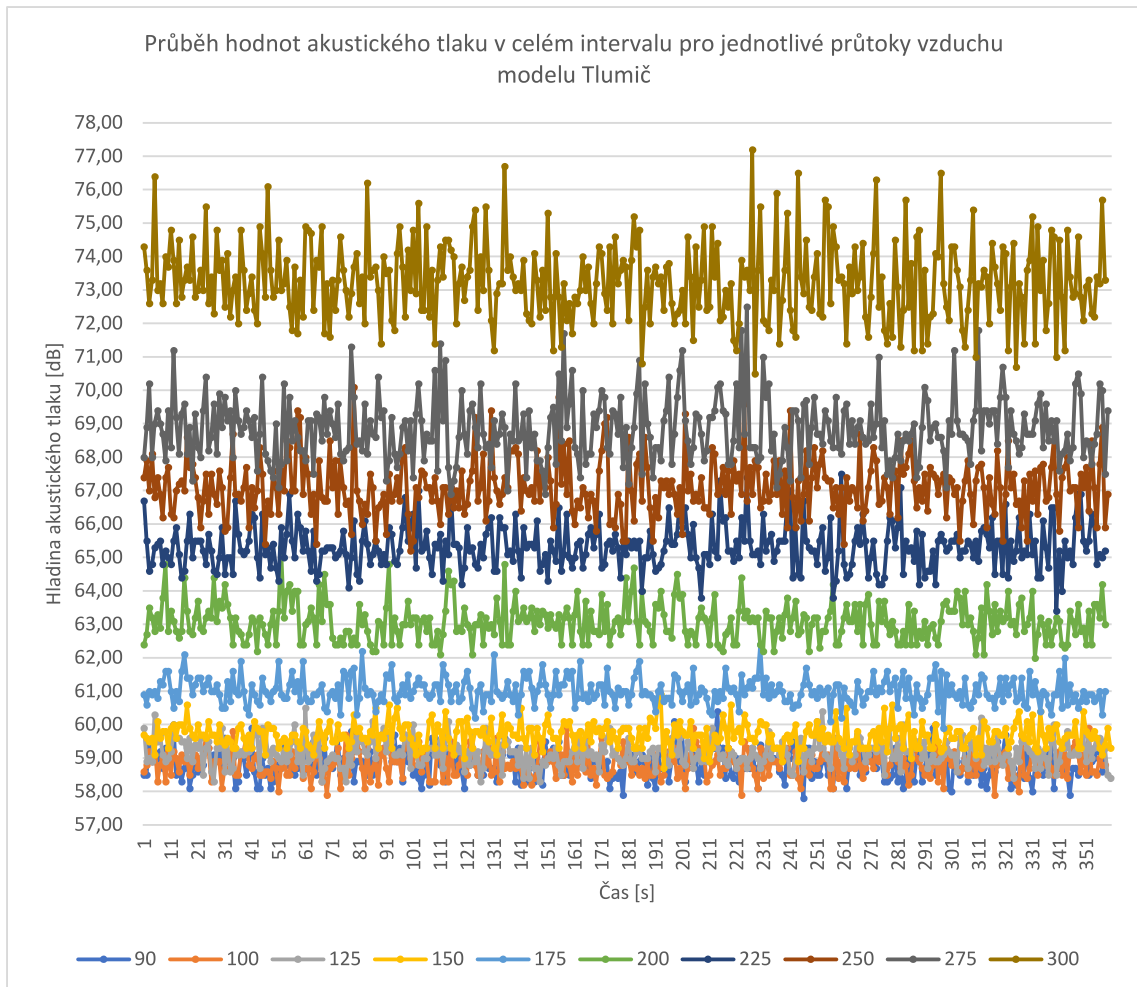
Graf 13 zobrazuje průběh hodnot akustického tlaku celého intervalu modelu VAV ve variantě 2. Průběh křivek naplnil původní předpoklad, kterým bylo, že s rostoucí rychlostí proudění vzduchu budou mít křivky jednotlivých průtoků vzestupnou tendenci hodnot akustického tlaku. Zajímavé je zde rozložení jednotlivých křivek. Křivky všech průtoků jsou rozloženy v rozmezí pouhých 16 dB, a to i přes fakt, že jednotlivé křivky oscilují v rozmezí 5 dB. Rozložení desíti křivek s takovou oscilací v tak malém rozmezí činí tento graf hůře čitelným. Co je v grafu dobře čitelné je fakt, že u křivek průtoků tohoto modelu v čase nedocházelo k poklesu hodnot akustického tlaku, zmíněná oscilace křivek probíhala ve stálých rozmezích.



Graf 14) Průběh hodnot akustického tlaku v celém intervalu pro jednotlivé průtoky vzduchu modelu Spiro

Graf 14 zobrazuje průběh hodnot akustického tlaku celého intervalu modelu Spiro ve variantě 2. Průběh křivek, obdobně jako v případě předchozího modelu, naplnil původní předpoklad rostoucí tendence hodnot akustického tlaku. Lokálně v rámci oscilace křivek sice docházelo k poklesu pod úroveň křivky s menší hodnotou požadovaného průtoků,

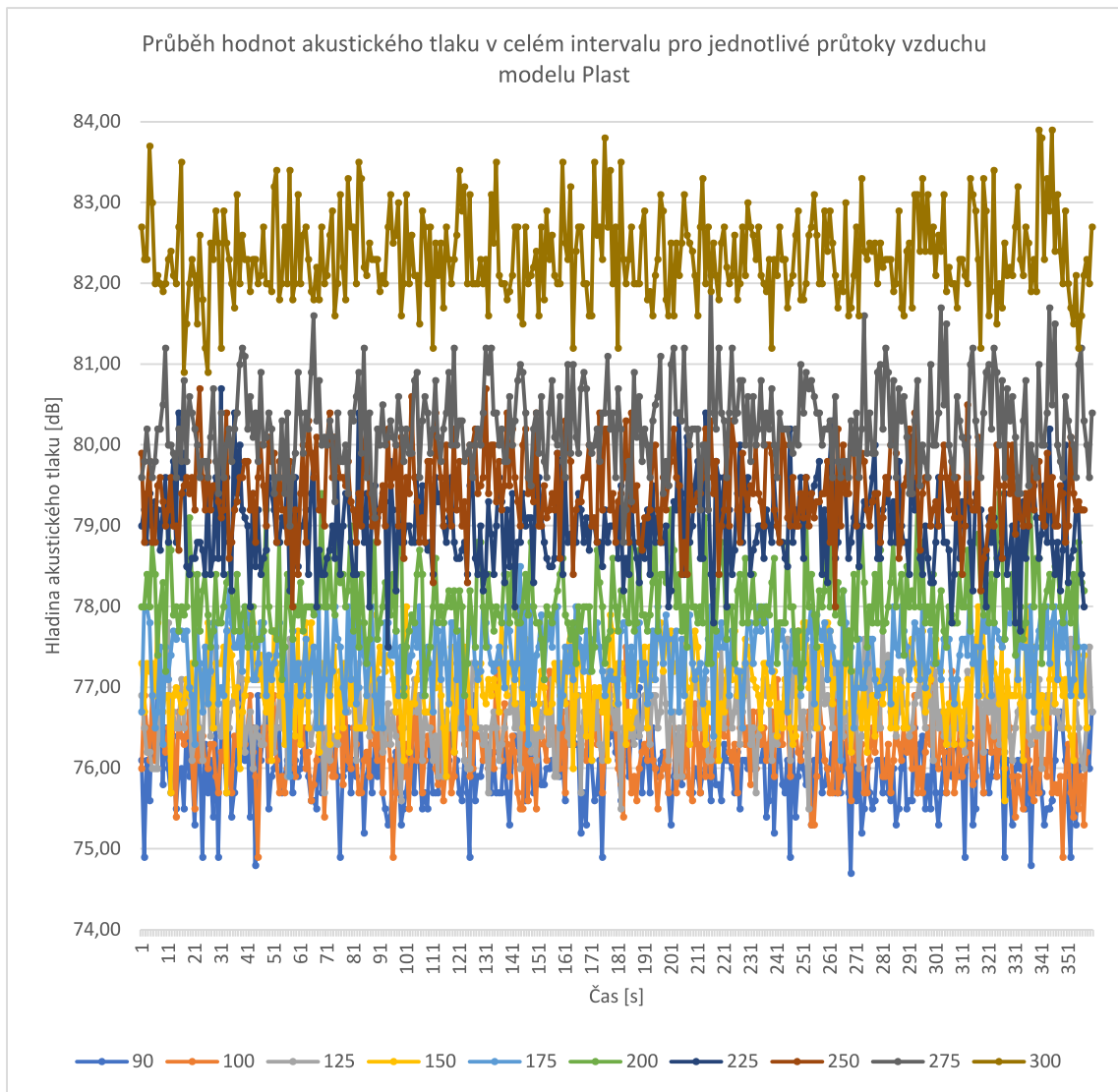
ale pouze zřídka a na průměrné hodnoty to nemělo vliv. K oscilaci křivek docházelo i v případě tohoto modelu, bylo to však v rozmezí maximálně 3 dB. V rozmezí průtoků 90 až 175 m<sup>3</sup>/h docházelo na křivkách průtoků k pomalému nárůstu hodnot akustického tlaku, všechny tyto křivky se tak vměstnaly do rozmezí 3 dB. Od hodnoty průtoku 200 m<sup>3</sup>/h výše už byl nárůst hodnot patrnější a v grafu lépe viditelný. Ani v případě tohoto grafu se neprojevila změna hodnot akustického tlaku v čase natolik výrazně, aby vybočovala z uvedeného rozmezí 3 dB.



Graf 15) Průběh hodnot akustického tlaku v celém intervalu pro jednotlivé průtoky vzduchu modelu Tlumič

Průběhy hodnot akustického tlaku jednotlivých křivek průtoků vzduchu modelu Tlumič z celého měřicího intervalu jsou vykresleny v Grafu 15. Původní předpoklad rostoucí tendence byl naplněn a z grafického znázornění křivek průtoků je dobře viditelný. Rozmezí oscilace křivek zde není jednotná, ale roste v závislosti na hodnotě požadovaného průtoku. Pro křivky 90 až 175 je rozmezí oscilace rovno 2 dB, od křivky 200 roste a na křivce 300 dosahuje toto rozmezí až 6 dB. Výraznější změna hodnot akustického tlaku v čase se neprojevila. Růst hodnot akustického tlaku sousedních křivek

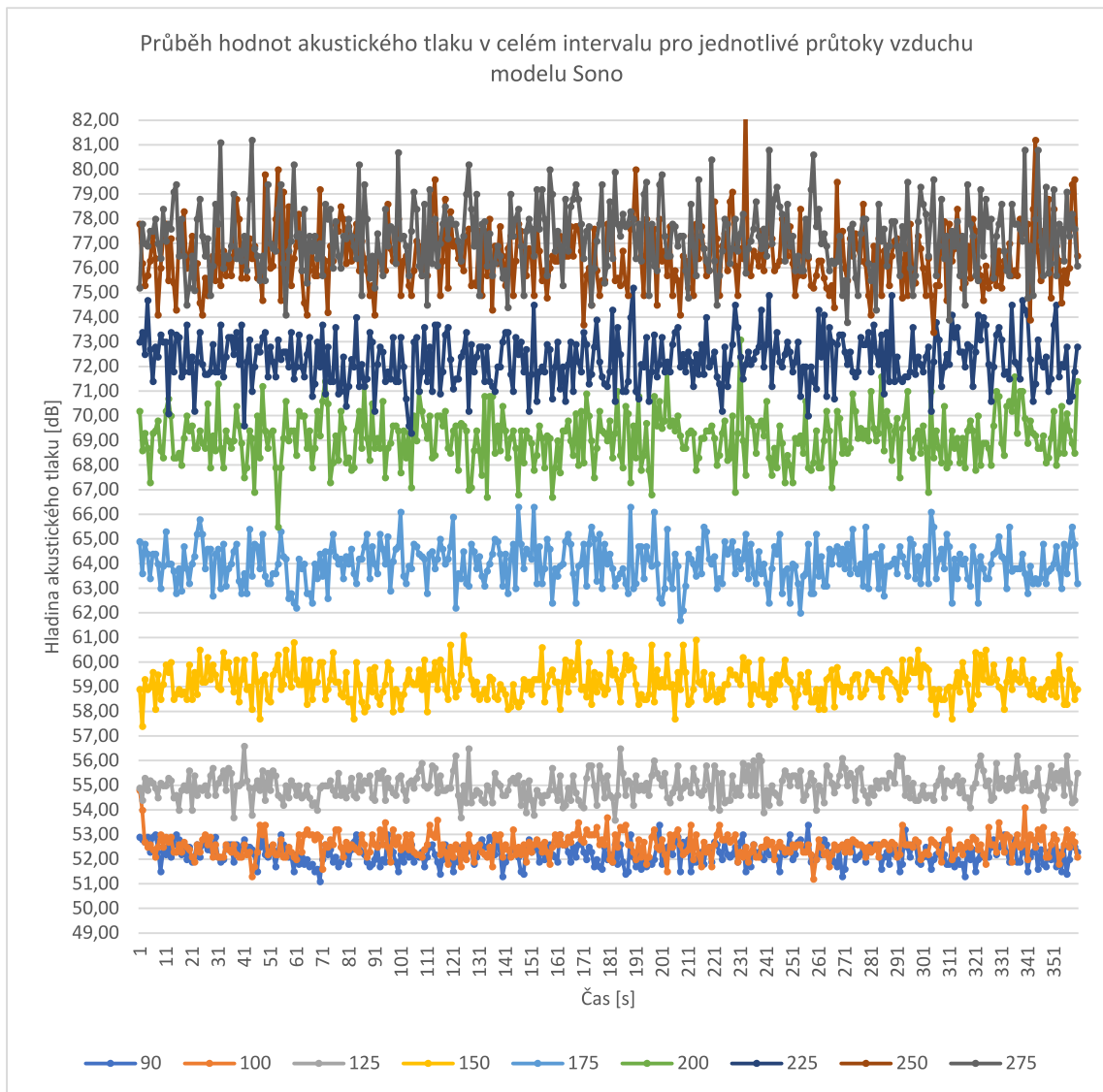
byl pozvolný v rozsahu celého grafu, až na případ křivky 300, kde byl nárůst těchto hodnot v daném kontextu skokový.



Graf 16) Průběh hodnot akustického tlaku v celém intervalu pro jednotlivé průtoky vzduchu modelu Plast

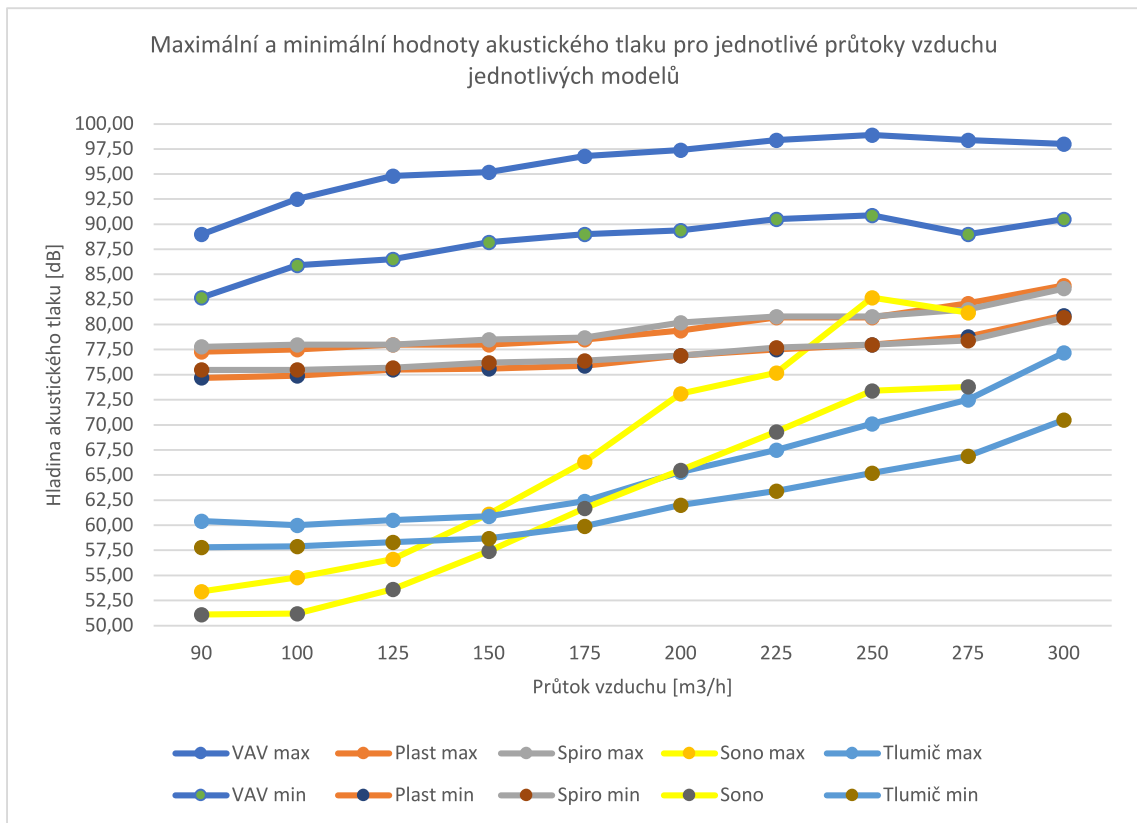
Graf 16 zobrazuje průběh hodnot akustického tlaku celého intervalu modelu Plast ve variantě 2. Průběh křivek naplnil původní předpoklad rostoucí tendence hodnot akustického tlaku. Lokálně v rámci oscilace křivek sice docházelo k poklesu pod úroveň křivky s menší hodnotou požadovaného průtoku, ale pouze zřídka a na průměrné hodnoty to nemělo vliv. Křivky průtoků oscilovaly v rozmezí 2 až 3 dB. Křivky v grafu jsou od sebe poměrně rozeznatelné i přes fakt, že se všechny křivky nacházejí v rozmezí 9 dB a jejich růst je pozvolný. Ke skokovému nárůstu mezi sousedními křivkami došlo pouze v případě křivky 300. Změna hodnot akustického tlaku v čase nenastala u žádné křivky.





Graf 17) Průběh hodnot akustického tlaku v celém intervalu pro jednotlivé průtoky vzduchu modelu Sono

Průběh hodnot akustického tlaku jednotlivých křivek průtoků vzduchu modelu Sono z celého měřicího intervalu jsou vykresleny v Grafu 17. Původní předpoklad rostoucí tendence byl naplněn a z grafického znázornění křivek průtoků je dobře viditelný. Rozmezí oscilace křivek zde není jednotná, ale roste v závislosti na hodnotě požadovaného průtoku. Nejvyššího rozmezí až 7 dB dosáhly křivky největších průtoků 250 a 275. Rozestup sousedních křivek byl v celém rozsahu podobný, až na dvě výjimky, a to křivky nejmenších průtoků 90 a 100 a největších průtoků 250 a 275. Tyto dvojice křivek se vzájemně prolínají a dosáhly velice podobných průběhů i hodnot. Přesto se rostoucí tendence z hlediska průměrných hodnot akustického tlaku potvrdila. Výraznější změna hodnot akustického tlaku v čase se neprojevila.

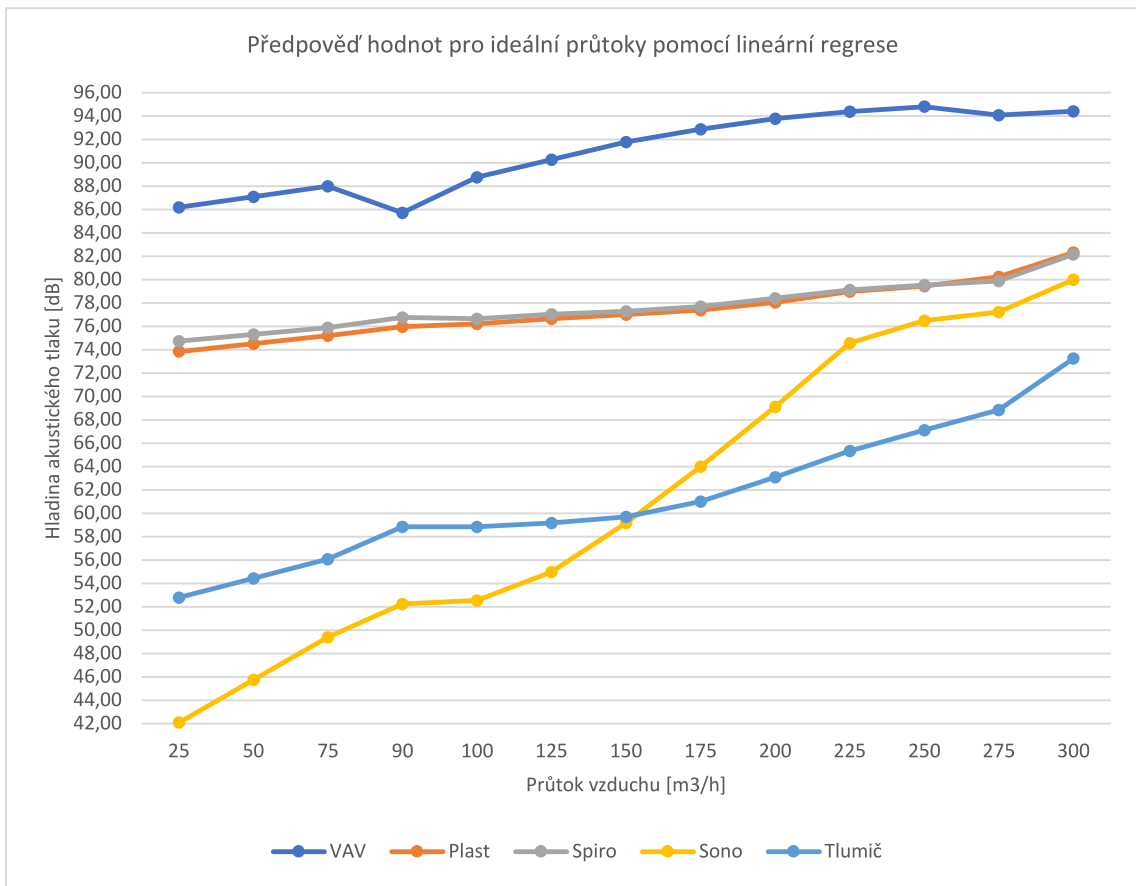


Graf 18) Maximální a minimální hodnoty akustického tlaku pro jednotlivé průtoky vzduchu jednotlivých modelů

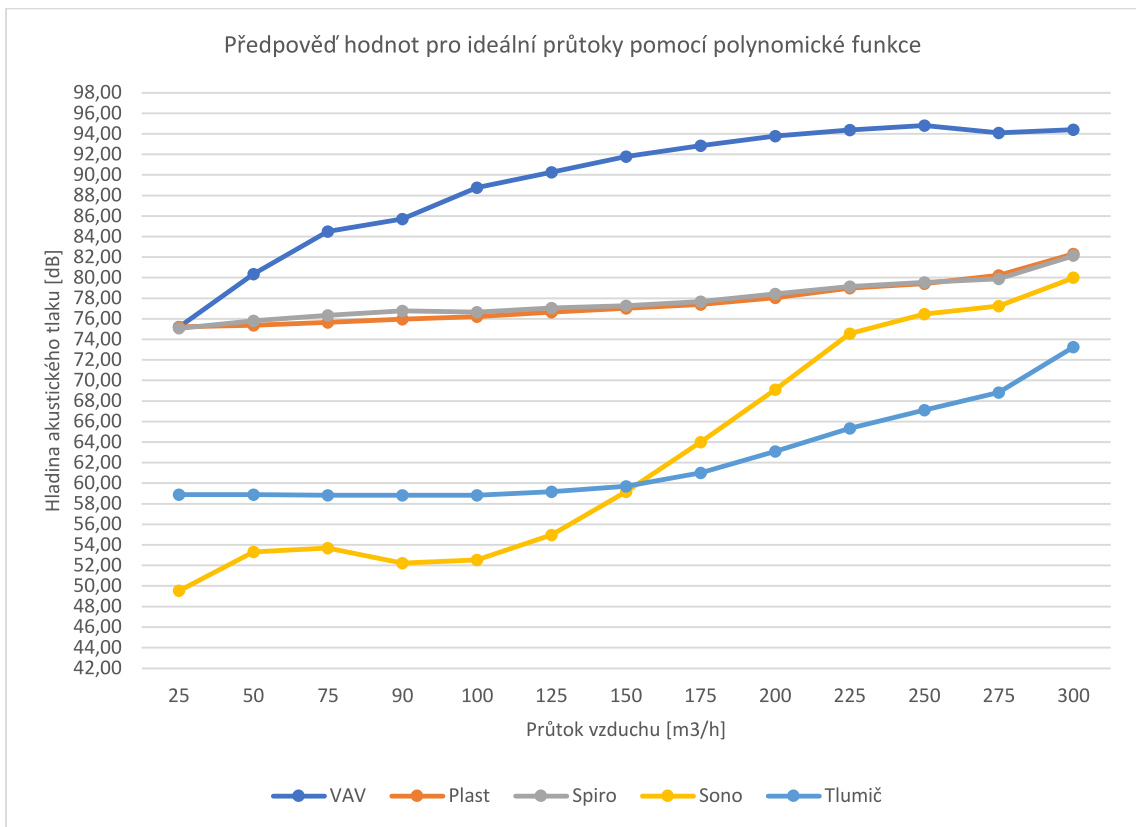
V Grafu 18 jsou zobrazené křivky maximálních a minimálních hodnot akustického tlaku z celého intervalu 6 minut při daných průtocích. Tento graf dobře prezentuje oscilace křivek z Grafů 13 až 17. U většiny modelů rozdíl maximální a minimální hodnoty rostl s hodnotou požadovaného průtoku vzduchu. Průběhy se křivky maxim a minim jednotlivých modelů podobají, což potvrzuje skutečnost, že při tomto experimentu nedocházelo na křivkách průtoků v Grafech 13 až 17 k poklesu hodnot akustického tlaku v čase.

### 6.3.1 Predikce pro ideální průtoky

K predikci hodnot akustického tlaku ideálních průtoků byly pro porovnání použity dvě výpočetní metody, lineární regrese (Graf 19) a spojnice trendů polynomické funkce 3. stupně (Graf 20). Je třeba uvést, že výsledky uvedené v této kapitole jsou pouhým odhadem, který se sice zakládá na reálně naměřených datech, ale vzhledem k omezení experimentu nebylo nijak možné jejich pravdivost ověřit. Části křivek v rozmezí průtoků 25 až 75 m<sup>3</sup>/h byly získány pomocí dvou výpočetních metod, zbylé části křivek jsou shodné s Grafem 11.



Graf 19) Předpověď hodnot pro ideální průtoky pomocí lineární regrese

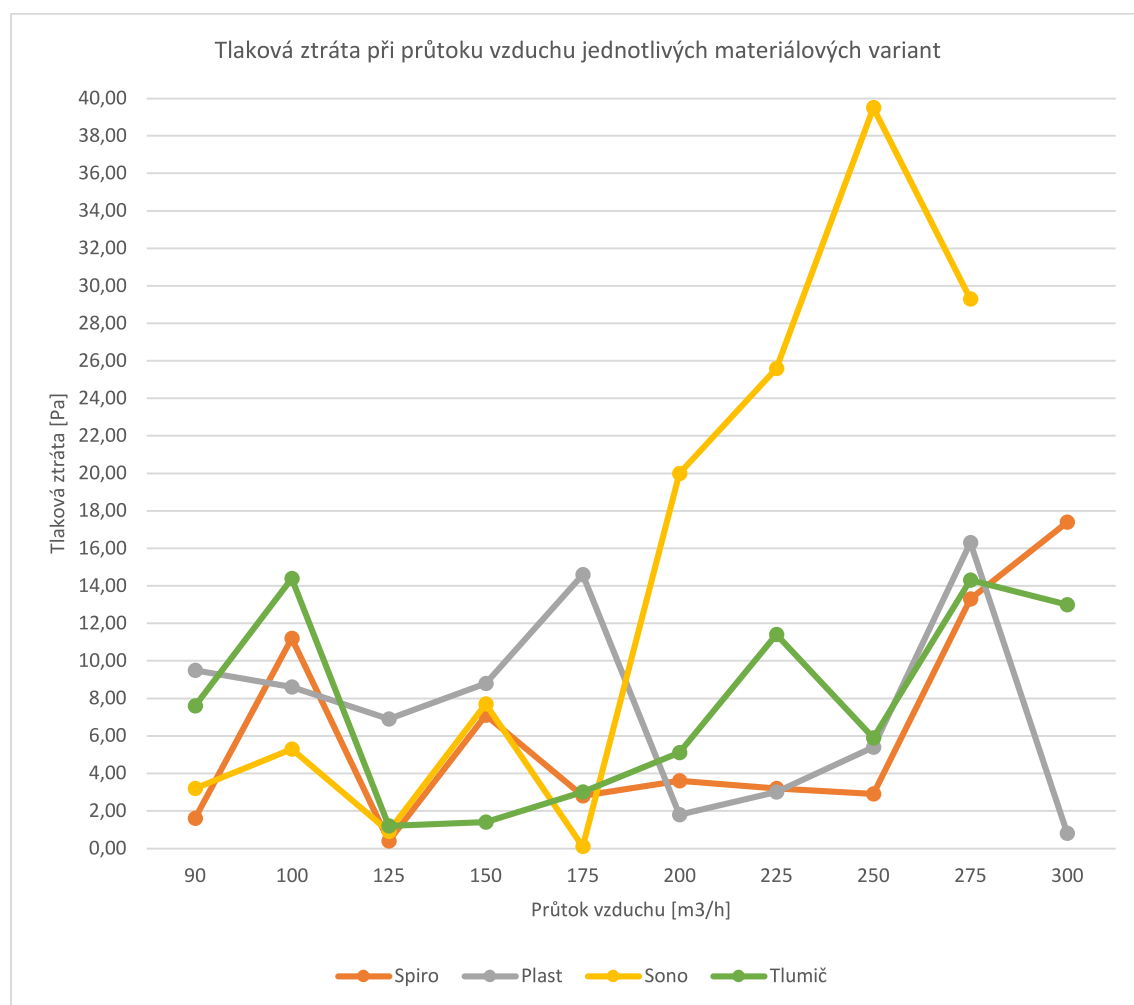


Graf 20) Předpověď hodnot pro ideální průtoky pomocí polynomické funkce

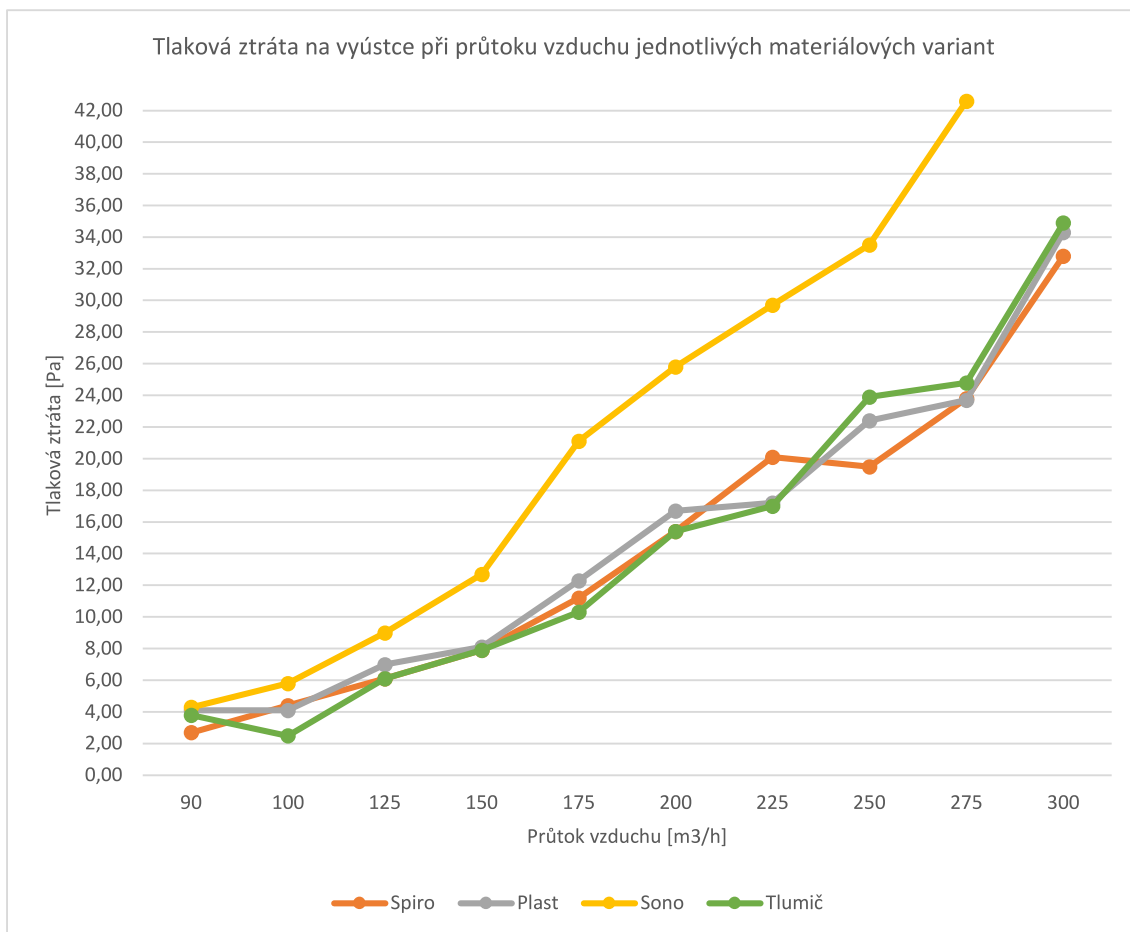
Vycházejme z původního předpokladu, že s klesající hodnotou požadovaného průtoku vzduchu očekáváme klesající tendenci hodnot akustického tlaku. Lineární regrese tak poskytla poměrně věrohodné výsledky u všech křivek s výjimkou křivky VAV. Daleko lepší výsledky pro tuto křivku poskytla výpočetní metoda pomocí spojnice trendů v Grafu 20. V tomto grafu naopak nejméně pravděpodobně dopadla křivka Sono.

### 6.3.2 Tlaková ztráta

Průběh tlakové ztráty jednotlivých modelů v závislosti na průtoku je zobrazen v Grafu 21. Hodnoty naměřené v průběhu experimentu jsou zaznamenány v Tabulce 1. Vstupní předpoklad do této části měření byl obdobný předpokladu pro hodnoty akustického tlaku, tedy že s rostoucím množstvím objemového průtoku vzduchu poroste naměřená tlaková ztráta modelu. Hodnoty tlakové ztráty uvedené v grafu vzešly z rozdílu dvou naměřených hodnot diferenčního tlaku, za VAV a na vyústce (Tabulka 1). Záporné hodnoty byly pro výpočet brány v absolutní hodnotě (doplněno v kapitole 4.4).



Graf 21) Tlaková ztráta při průtoku vzduchu jednotlivých materiálových variant



Graf 22) Tlaková ztráta na výústce při průtoku vzduchu jednotlivých materiálových variant

Průtok [m3/h]	Spiro bez mřížky [dB]					Tlumič bez mřížky [dB]				
	Měřeno na výústce		Měřeno za VAV		Tlaková ztráta [Pa]	Měřeno na výústce		Měřeno za VAV		Tlaková ztráta [Pa]
	Tlak [kPa]	Diferenční tlak [Pa]	Tlak [kPa]	Diferenční tlak [Pa]		Tlak [kPa]	Diferenční tlak [Pa]	Tlak [kPa]	Diferenční tlak [Pa]	
90	98,00	2,70	98,01	14,3	1,60	97,98	3,8	97,98	11,4	7,60
100	97,92	4,40	97,91	5,6	11,20	97,98	2,5	97,97	6,9	14,40
125	97,92	6,10	97,92	6,5	0,40	97,98	6,1	97,98	7,3	1,20
150	98,00	7,90	98,01	9,2	7,10	97,95	7,9	97,95	6,5	1,40
175	97,97	11,20	97,97	14,0	2,80	97,94	10,3	97,94	7,3	3,00
200	97,98	15,40	97,98	19,0	3,60	97,93	15,4	97,92	0,3	5,10
225	98,00	20,10	97,99	13,3	3,20	97,92	17,0	97,92	5,6	11,40
250	98,00	19,50	98,00	-16,6	2,90	97,93	23,9	97,92	8,0	5,90
275	98,02	23,80	98,00	17,1	13,30	97,91	24,8	97,90	-0,5	14,30
300	98,02	32,80	98,01	-5,4	17,40	97,91	34,9	97,89	1,9	13,00
Průtok [m3/h]	Plast bez mřížky [dB]					Sono bez mřížky [dB]				
	Měřeno na výústce		Měřeno za VAV		Tlaková ztráta [Pa]	Měřeno na výústce		Měřeno za VAV		Tlaková ztráta [Pa]
	Tlak [kPa]	Diferenční tlak [Pa]	Tlak [kPa]	Diferenční tlak [Pa]		Tlak [kPa]	Diferenční tlak [Pa]	Tlak [kPa]	Diferenční tlak [Pa]	
90	97,84	4,1	97,84	13,6	9,50	97,79	4,3	97,79	-1,1	3,20
100	97,83	4,1	97,83	12,7	8,60	97,80	5,8	97,80	-0,5	5,30
125	97,82	7,0	97,82	13,9	6,90	97,80	9,0	97,80	-8,1	0,90
150	97,81	8,1	97,80	6,9	8,80	97,81	12,7	97,81	-20,4	7,70
175	97,80	12,3	97,79	16,9	14,60	97,82	21,1	97,82	-21,2	0,10
200	97,80	16,7	97,79	8,5	1,80	97,84	25,8	97,83	-35,8	20,00
225	97,79	17,2	97,79	14,2	3,00	97,85	29,7	97,84	-45,3	25,60
250	97,79	22,4	97,78	17,8	5,40	97,87	33,5	97,86	-63,0	39,50
275	97,80	23,7	97,78	20,0	16,31	97,85	42,6	97,85	-71,9	29,30
300	97,79	34,3	97,78	23,5	0,80					

Tab. 2) Naměřené hodnoty diferenčního tlaku

## 6.4 Výsledek experimentu

Modifikace stanovené pro tento experiment znamenaly pozitivní vliv na jeho výsledky. Bylo dosaženo ustáleného průběhu křivek průtoků v čase a tyto křivky v drtivé většině případů zaznamenaly rostoucí tendenci v závislosti na rostoucí hodnotě průtoku vzduchu. Původní předpoklad tak byl naplněn. Polohy křivek modelů v Grafu 11 rovněž dosáhly předpokládaného vzájemného rozložení. Maximálních hodnot akustického tlaku dosáhl model VAV, kde docházelo k měření přímo za osovým přechodem navazujícím na regulátor průtoku vzduchu. Díky této skutečnosti nebyl hluk ničím tlumen. Středních hodnot v grafu dosáhly křivky modelů se Spiro potrubím a s plastovým potrubím. Hluk u těchto modelů byl tlumen materiálem třímetrového potrubí. Z měření je patrné, že tlumicí účinek těchto dvou materiálů dosáhl velice podobné efektivity. Podobnost obou modelů je dobře patrná i z porovnání Grafu 14 a 16, křivky průtoků dosáhly srovnatelných průběhů (oscilací) i úrovní (z hlediska hodnot akustického tlaku). Nejnížší hodnoty akustického tlaku v Grafu 11 si připsaly křivky modelů s potrubím Sonoflex a s tlumičem hluku. Není překvapením, že největší tlumicí efekt zaznamenaly právě tyto dvě materiálové varianty, co je ale zajímavé, je vzájemná poloha těchto dvou křivek. Obě křivky se vzájemně protnuly za hranicí požadovaného průtoku  $150 \text{ m}^3/\text{h}$ , tato hodnota byla zlomová. Při menších průtocích byl hluk výrazně lépe tlumen modelem se Sonoflex potrubím, tlumicí efekt této varianty se však s rostoucí hodnotou průtoku vzduchu skokově snižoval. Při průtoku vzduchu  $250$  až  $275 \text{ m}^3/\text{h}$  se dokonce blížil útlumu hluku, kterým disponovaly modely s plastovým a Spiro potrubím. Oproti této skutečnosti byl růst hodnot akustického tlaku křivky Tlumič výrazně pozvolnější. Nejdůležitějšími výstupy tohoto měření jsou však hodnoty akustického tlaku v oblasti menšího množství objemového průtoku ( $90$  až  $125 \text{ m}^3/\text{h}$ ), zde nejlepšího efektu dosáhl model se Sonoflex potrubím.

Polohy klapky regulátoru průtoku vzduchu při jednotlivých požadovaných průtocích u jednotlivých modelů vykreslily křivky Grafu 12. V  $90 \%$  průtoku ( $100$  až  $300 \text{ m}^3/\text{h}$ ) dosáhly křivky všech modelů s výjimkou modelu Sono velice podobného průběhu, což byl vzhledem k podobnosti těchto modelů očekávaný výsledek. Podobností modelů bylo v tomto případě myšleno tlakový odpor materiálů (struktura povrchu) a celkové tlakové ztráty těchto modelů. Nejnižší položenou křivkou byla očekávána křivka VAV, kde díky absenci potrubí nedochází k tlakové ztrátě jako v ostatních modelech. V  $80 \%$  průběhu křivky tomu tak doopravdy bylo, pouze v rozmezí průtoků  $275$  až  $300 \text{ m}^3/\text{h}$  tato křivka



stoupala nad křivky Plast a Spiro. Křivka Sono měla dle očekávání dosahovat největších hodnot v tomto grafu právě díky drsnější struktuře potrubí a větší tlakové ztrátě tohoto modelu. Tato očekávání se naplnila pouze v 60 % rozmezí grafu (175 až 300 m<sup>3</sup>/h). Pro hodnotu průtoku 100 m<sup>3</sup>/h dokonce dosáhla křivka Sono nejmenší hodnoty polohy klapky ze všech, což byl překvapivý výsledek.

Kapitola 4.3.1 obsahuje grafy vykreslující křivky průtoků vzduchu včetně predikovaných hodnot akustického tlaku pro ideální průtoky 25, 50 a 75 m<sup>3</sup>/h. Lepší průběhy křivek z hlediska předpokladu přinesl Graf 19, který využil predikce hodnot pomocí lineární regrese. Tato metoda přinesla věrohodné predikce u všech modelů s výjimkou modelu VAV. U tohoto modelu tato metoda předpověděla větší hodnoty akustického tlaku při menším objemovém průtoku vzduchu, což bylo v rozporu s původním předpokladem (hodnoty akustického tlaku rostou při větší hodnotě požadovaného průtoku vzduchu). Nejvěrohodnějších průběhů dosáhly křivky Plast a Spiro, kde hodnoty akustického tlaku v rozmezí ideálních průtoků klesaly mírně a věrohodně navázaly na předchozí průběh těchto křivek (průběh z naměřených dat). Méně přesvědčivých průběhů dosáhly v rozmezí ideálních průtoků křivky Tlumič a Sono. U těchto křivek byl pokles hodnot poměrně strmý. Obě tyto křivky měly při nízkých průtocích (90 až 125) ve srovnání se zbývajících částmi křivek velice mírný průběh. Strmý průběh v rozmezí ideálních průtoků tak nedokresloval křivky zcela věrohodně. Odchylna ve věrohodnosti předpovědí byla již s ohledem na povahu metodiky, která je založena na lineárním vztahu mezi veličinami, očekávatelná. Za daných okolností tato metoda poskytla u většiny modelů (s výjimkou modelu VAV) spolehlivé výsledky.

Graf 20 k predikci využil metody spojnice trendů, konkrétně pomocí možnosti polynomické funkce třetího stupně. Nejvíce věrohodný průběh z této metody vzešel pro křivky modelu VAV a Plast. Převážně dokreslení části ideálních průtoků (25 až 75) křivky VAV je ve srovnání se zbývajících částí křivky (90 až 300) velice věrohodné a pro tuto křivku může být považováno za spolehlivý výsledek. U ostatních křivek v tomto grafu docházelo u predikce hodnot akustického tlaku k rozporu s původním předpokladem a výsledky této metody nemohly být brány jako spolehlivé.

Shrnutí měření tlakové ztráty přinesly Graf 21 a Tabulka 1 v kapitole 4.3.2. Tlaková ztráta byla vypočítána z rozdílu naměřených hodnot diferenčního tlaku na dvou místech modelu, na začátku potrubí a na vyústce. Všechny modely simulovaly část větracího

systemu pro přívod vzduchu, za regulátorem tak bylo očekáváno naměření kladných hodnot diferenčního tlaku představujících přetlak v modelu.

Z dat uvedených v Tabulce 1 je patrné, že u modelů se Spiro potrubím a s tlumičem došlo ojediněle k naměření záporné hodnoty diferenčního tlaku za regulátorem průtoku vzduchu, u modelů se Sonoflex potrubím tento jev nastal dokonce v 100 % případů měření diferenčního tlaku za regulátorem průtoku vzduchu. Za regulátorem by tak v těchto případech vzhledem k záporné hodnotě měl nastat podtlak, což je v rozporu s faktem, že regulátor a zbytek modelu je na straně výtlaku ventilátoru. Příčinou naměření záporných hodnot mohla být nedostatečná zklidňovací délka potrubí před měřicím místem. Zvolená metoda výpočtu tlakové ztráty z rozdílu absolutních hodnot diferenčních tlaku ze dvou měřicích míst neposkytla věrohodné výsledky, jak je ostatně patrné z Grafu 21. Věrohodnější výsledky vzhledem k předpokladu, že s rostoucím množstvím objemového průtoku vzduchu poroste naměřená tlaková ztráta modelu, přinesl Graf 22. Tento graf byl vytvořen čistě z hodnot diferenčního tlaku naměřených na vyústce. Největší tlakové ztráty dosáhla dle očekávání křivka Sono. Předpokladem také bylo, že křivka Tlumič bude dosahovat větších hodnot tlakové ztráty, než křivky Spiro a Plast, což se nepotvrdilo. Tyto křivky dosáhly podobných průběhů. Pokud bychom zanedbali rozdílné hodnoty tlaků, při kterých byly tyto hodnoty diferenčních tlaků naměřeny (okrajové podmínky všech modelů při všech průtocích byly neměnné), můžeme tento grafický výstup brát jako spolehlivý výsledek měření tlakové ztráty.

## 7 Koncepty variant řešení větracího systému

Pro řešení větracího systému bytového domu byly zvoleny dvě varianty bytových rozvodů. Volba vycházela z výsledků experimentu, kde byly vybrány varianty s nejlepším útlumem hluku, tedy varianty s tlumičem hluku a se Sonoflex potrubím. Pro tyto dvě varianty byl zpracován koncept řešení.

### 7.1.1 Bytový dům

Jedná se o bytový dům s 1 podzemním podlažím a 4 nadzemními podlažními. V prvním až třetím nadzemním podlaží je 5 bytových jednotek o dispozicích 2x 1+kk, 2x 3+kk a 1x 4+kk, ke každé bytové jednotce náleží sklad a jedno parkovací místo. Ve čtvrtém nadzemním podlaží jsou 3 bytové jednotky o dispozicích 2x 3+kk a 1x 4+kk,

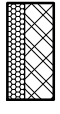
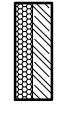
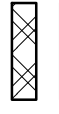

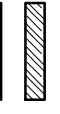
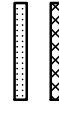

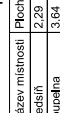
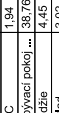
každá bytová jednotka obsahuje sklad a náleží jí jedno parkovací stání. V podzemním podlaží se nachází garáže, technická místnost a kočárkárna. Vertikální komunikace mezi jednotlivými podlažími je zajištěna tří-ramenným schodištěm a výtahem. Konstrukční výška je 3,15 m. Konstrukční systém je 1.PP-3.NP kombinovaný stěna + sloupy (průvlaky), ve 4.NP je konstrukční systém kombinovaný stěna + sloupy (LPD), ztužující stěny v objektu, jedno ztužující schodišťové jádro a stěnový nosník. Obvodové a vnitřní nosné zdivo tvoří keramické tvarovky POROTHERM, stropy tvoří monolitická deska. Základy sestávají ze základových pasů a patek pod obvodovými stěnami, sloupy a schodištěm. Půdorys typického podlaží je přiložen na další straně.

### 7.1.2 Koncepce větrání bytového domu

Větrání je řešeno centrálním rovnotlakým systémem. Dopravu čerstvého, odvod znehodnoceného a rekuperaci z odvedeného vzduchu zajišťuje centrální vzduchotechnická jednotka, konkrétně ventilátor (zdroj hluku). Rozvod vzduchu zajistí vzduchotechnické potrubí. Vertikální stoupací potrubí je umístěno v instalačních šachtách, horizontální patrové a bytové rozvody jsou umístěny v podhledech společných prostor a bytových vstupních chodeb. Rychlost proudění v potrubí nepřekročí  $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  v ležatých rozvodech v každém patře,  $4,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  u přechodu svislého na ležaté potrubí a  $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  v hlavním svislém stoupacím potrubí. Vzduch bude přiveden ke koncovým prvkům umístěným v místnostech s požadavkem na přívod vzduchu a odveden z místností s koncovými prvky pro odvod. Pro transfer vzduchu mezi místnostmi s přívodem čerstvého vzduchu a bez něj slouží dveře bez prahu či dveře s větrací mřížkou. Celý systém je navržený ve dvou provozních režimech. Běžný provozní režim dle normy respektuje vyšší z hodnot průtoku vzduchu podle intenzity větrání a počtu osob. Nárazový provozní režim respektuje minimální množství průtoku vzduchu při nárazovém větrání. Pro přechod systému z jednoho provozního režimu do druhého slouží boostovací tlačítkové ovladače umístěné v místnostech s možným vznikem škodlivin (tzn. v místnostech s odvodem vzduchu). Přechod systému mezi provozními režimy lze řídit i na základě čidel citlivých na koncentrace škodlivin (vlhkosti, CO<sub>2</sub>).

Ideálním řešením by bylo umístit místní zdroj hluku (regulátor) do podhledu společných prostor. V konceptech variant bytových rozvodů jsou regulátory průtoku vzduchu umístěny v bytových podhledech, což simuluje řešení s nedostatkem prostoru v podhledu společných prostor. V takovém případě jsou kladeny požadavky na akustické vlastnosti podhledu v bytových chodbách.

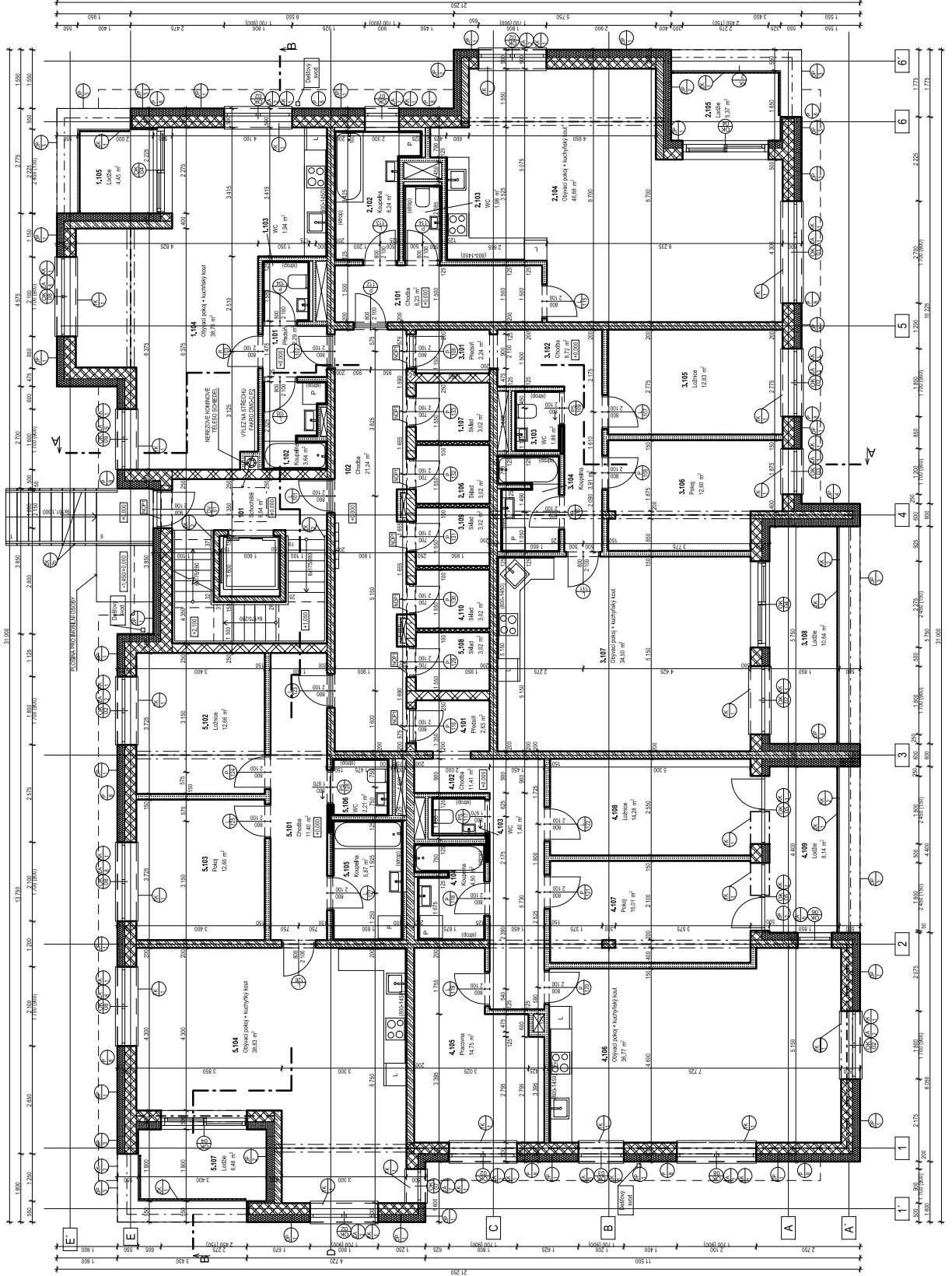
# TABULKA MATERIÁLŮ

-  Porohem Profi Dřevík, P15 TL, 300 MM + Isover TF PROFÍ 180 MM + OMITKA NA LEPIDLO A SÍŤ
-  ZELEZOBETON TL, 200 MM + Isover TF PROFÍ 180 MM + OMITKA NA LEPIDLO A SÍŤ
-  Porohem 2S AKU Z Profí P15 TL, 250 MM
-  Porohem 2S Profí Dřevík, P15 TL, 250 MM
-  ZELEZOBETON TL, 200 MM BETON C30/37 XC1, CL 0,2
-  ZB SLOUP S2 TL, 200 MM BETON C30/37 XC1, CL 0,2
-  SDK PŘÍČKA TL, 125/100, 75 MM (PŘEDSTĚNA)
-  BETONOVÉ TVAROVKY TL, 100 MM
-  DOPLNKOVÁ MINERÁLNÍ VATA TL, 50 MM

Tabulka místností 1 NP			
Č.	Název místnosti	Plocha (m <sup>2</sup> )	Počet
1.101	Předstřín	2,29	Dřevo
1.102	Koupelna	3,64	Keramická dlažba
1.103	WC	1,94	Keramická dlažba
1.104	Obyvatel pokoj ...	38,76	Dřevo
1.105	Ložnice	4,45	Dřevo
1.107	Škád	3,02	Keramická dlažba
2.101	Chodba	8,23	Dřevo
2.103	Koupelna	6,24	Keramická dlažba
2.103	WC	1,98	Keramická dlažba
2.104	Obyvatel pokoj ...	46,68	Dřevo
2.105	Ložnice	5,37	Dřevo
2.106	Škád	3,02	Keramická dlažba

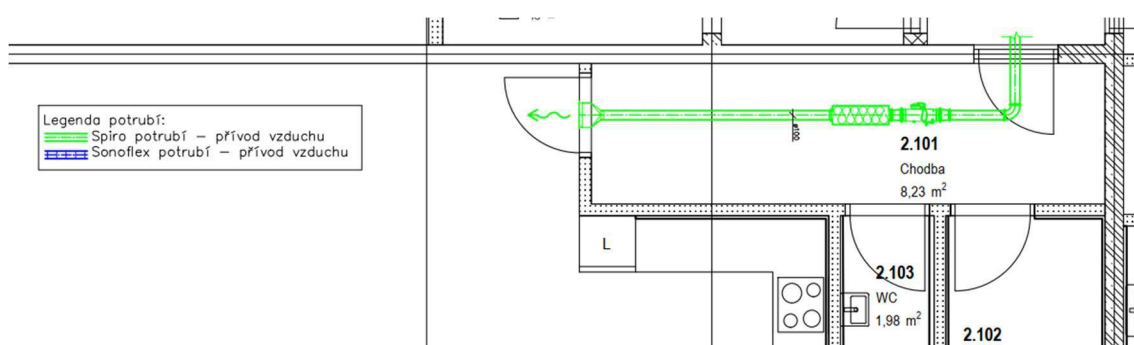
Tabulka místností 1 NP			
Č.	Název místnosti	Plocha (m <sup>2</sup> )	Počet
3.101	Předstřín	2,24	Dřevo
3.102	Chodba	8,72	Dřevo
3.103	WC	1,86	Keramická dlažba
3.104	Koupelna	3,91	Keramická dlažba
3.105	Ložnice	12,83	Dřevo
3.106	Pokoj	12,60	Dřevo
3.107	Obyvatel pokoj ...	34,50	Dřevo
3.108	Ložnice	10,64	Dřevo
3.109	Škád	3,02	Keramická dlažba
4.101	Předstřín	2,83	Dřevo
4.102	Chodba	11,41	Dřevo
4.103	WC	1,40	Keramická dlažba

Tabulka místností 1 NP			
Č.	Název místnosti	Plocha (m <sup>2</sup> )	Počet
4.104	Koupelna	4,50	Keramická dlažba
4.106	Pracovna	14,75	Dřevo
4.106	Obyvatel pokoj ...	36,77	Dřevo
4.107	Pokoj	15,01	Dřevo
4.108	Ložnice	14,28	Dřevo
4.109	Ložnice	8,14	Dřevo
4.110	Škád	3,02	Keramická dlažba
5.101	Chodba	11,40	Dřevo
5.102	Ložnice	12,66	Dřevo
5.103	Pokoj	12,66	Dřevo
5.104	Obyvatel pokoj ...	38,83	Dřevo
5.105	Koupelna	5,87	Keramická dlažba

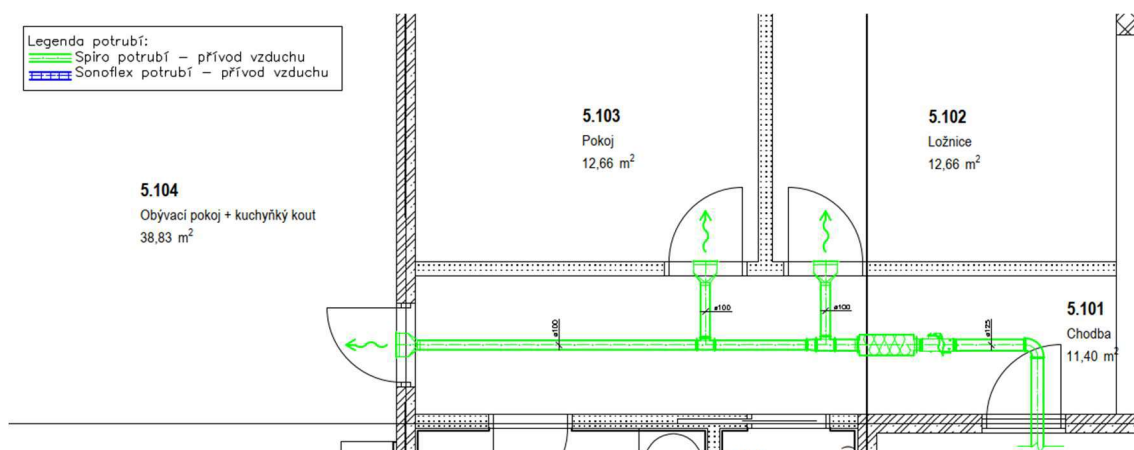


## 7.2 Koncept řešení bytových rozvodů ve dvou variantách

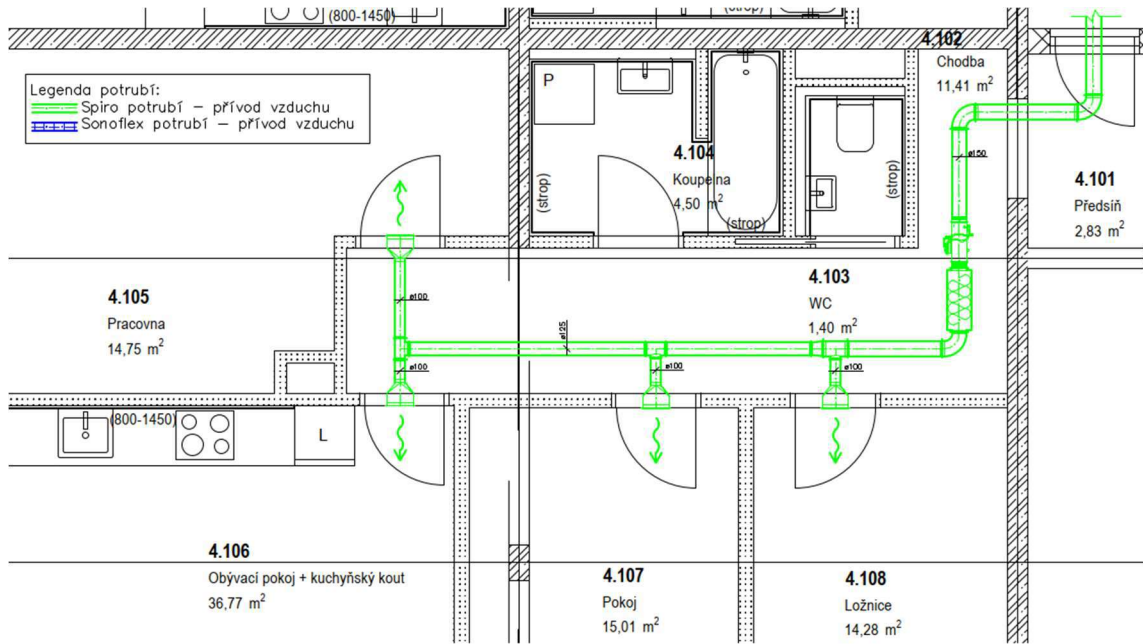
Koncepční návrhy byly vytvořeny s ohledem na výstup z experimentální části. Z tohoto důvodu obsahují koncepty jednotlivých bytových řešení pouze část přívodu vzduchu a vytvořené koncepty jsou ukončeny na hranici bytu. Koncepty představují řešení bytového větrání ve dvou variantách pro všechny dispoziční varianty bytových jednotek (1+kk, 3+kk a 4+kk). Dimenze potrubí v bytových jednotkách byly stanoveny na základě požadované rychlosti proudění vzduchu (do 3 m/s). Pro přívod k vyústkám vyšla dimenze DN 100, pro společný přívod do bytu s dispozicí 3+kk vyšla dimenze DN 125 a pro společný přívod do bytu s dispozicí 4+kk vyšla dimenze DN 150.



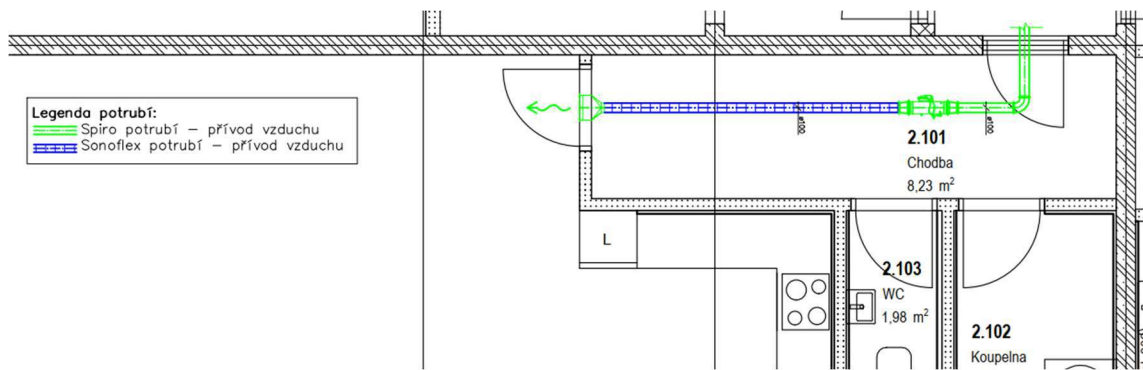
Obr. 42) Dispozice 1+kk ve variantě s tlumičem hluku



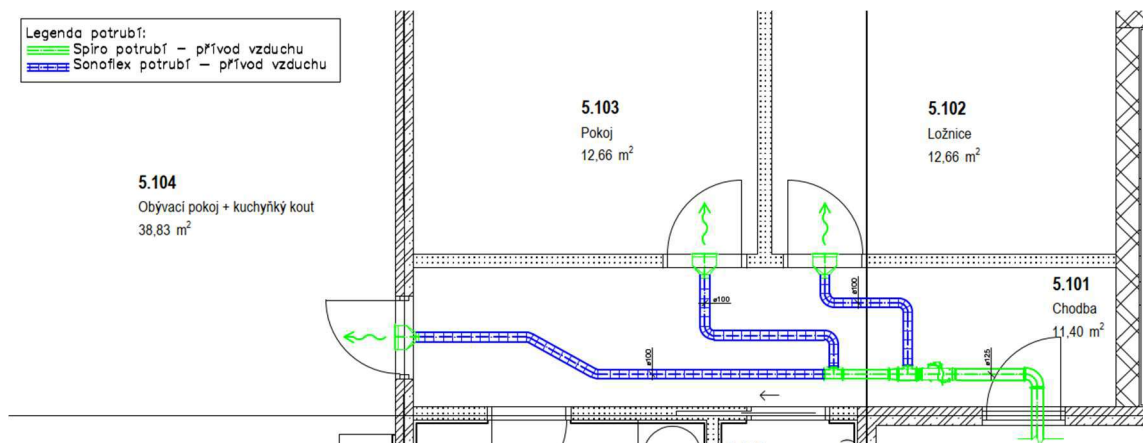
Obr. 43) Dispozice 3+kk ve variantě s tlumičem hluku



Obr. 44) Dispozice 4+kk ve variantě s tlumičem hluku

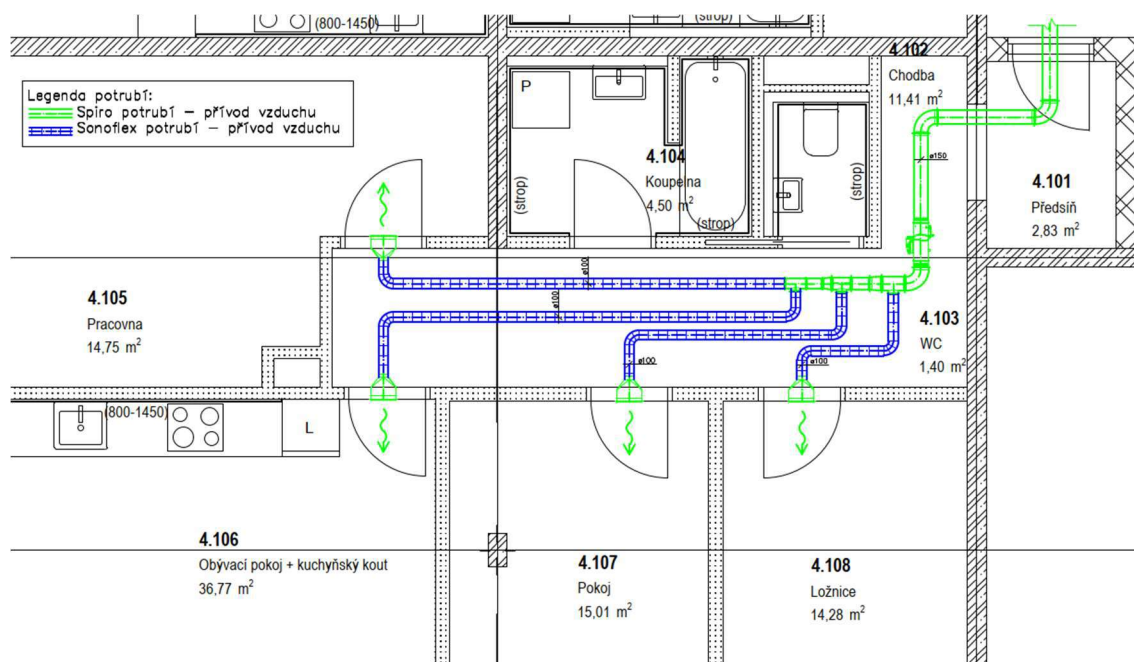


Obr. 45) Dispozice 1+kk ve variantě se Sonoflex potrubím



Obr. 46) Dispozice 3+kk ve variantě se Sonoflex potrubím





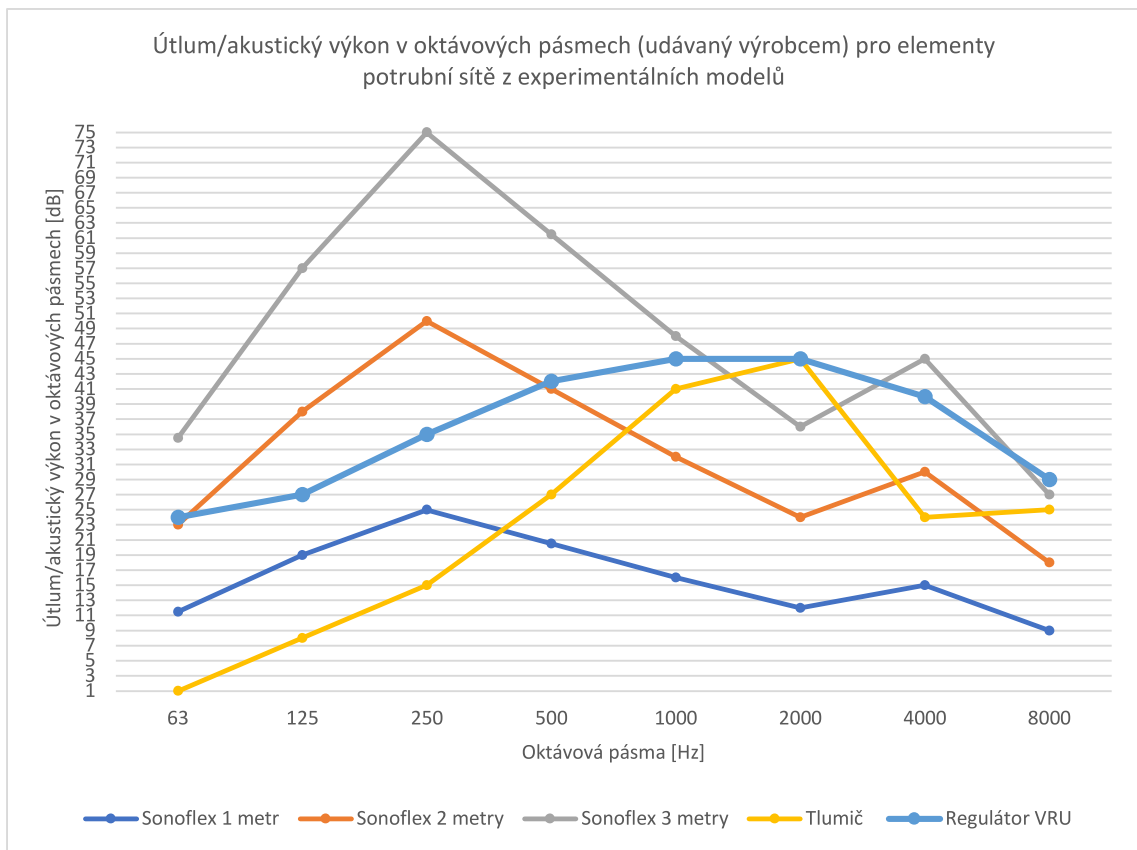
Obr. 47) Dispozice 4+kk ve variantě se Sonoflex potrubím

Ve variantě se Sonoflex potrubím je použité potrubí Spiro na začátku potrubní sítě (směrem ze společných prostor) pro zajištění dostatečné zklidňovací délky potrubí, která zajistí správné fungování regulátoru průtoku vzduchu. Od T kusů a osových přechodů je Spiro potrubí nahrazeno Sonoflex potrubím s efektem útlumu hluku. Regulátor průtoku vzduchu (coby místní zdroj hluku) je v tomto případě vždy umístěn v podhledu bytové chodby. Ve variantě s tlumičem je rovněž použité potrubí Spiro na začátku potrubní sítě (směrem ze společných prostor) pro zajištění dostatečné zklidňovací délky potrubí. Regulátor průtoku vzduchu (coby místní zdroj hluku) je v tomto případě vždy umístěn v podhledu bytové chodby.

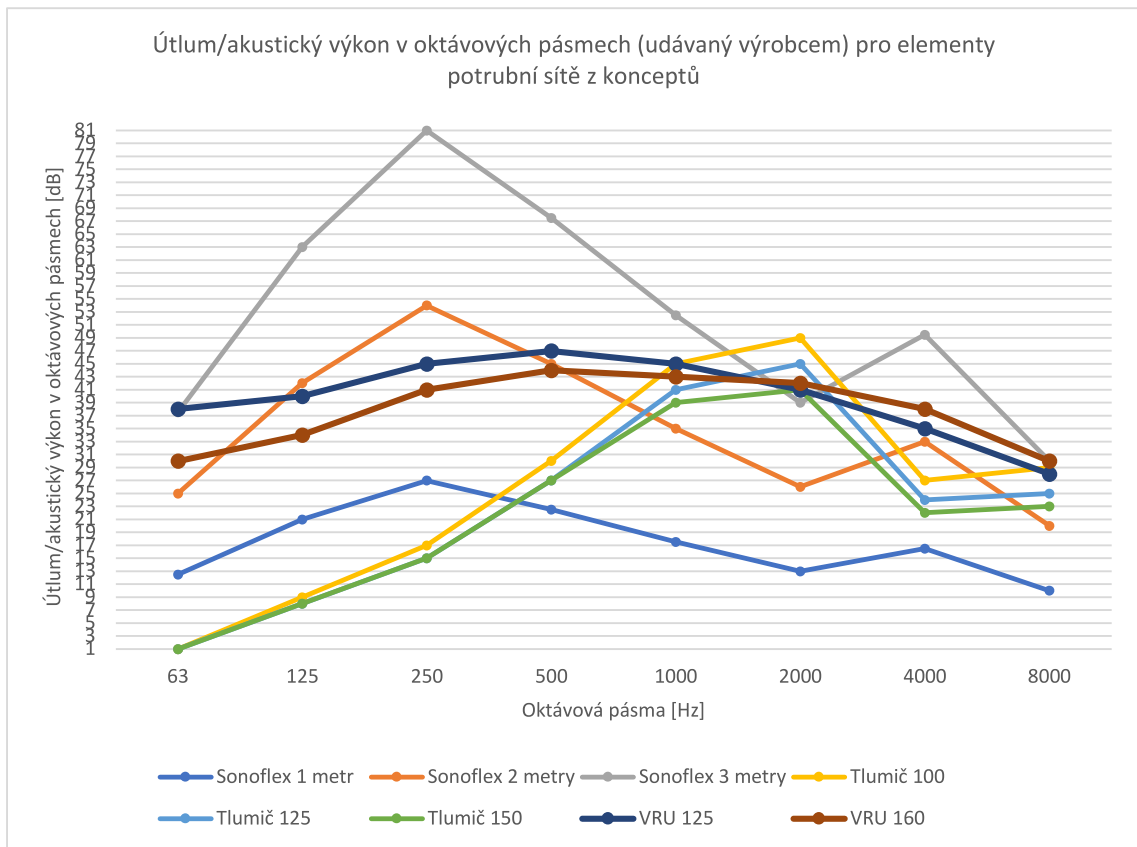
### 7.2.1 Porovnání obou variant

Zvolené varianty vyšly z výsledků experimentu, které prokázaly tlumící efekt modelů Sono a Tlumič. Porovnání útlumů těchto dvou elementů potrubní sítě je znázorněné v Grafu 23. Pro grafické znázornění byly vybrány 3 možnosti délky potrubí Sonoflex ( $\varnothing$  127 mm), tlumič hluku použitý na modelu Tlumič a pro srovnání útlumu s akustickým výkonem také regulátor průtoku vzduchu používaný v průběhu experimentu. Křivka regulátoru VRU je v grafu vyznačena tučně, jelikož značí hodnoty akustického výkonu, nikoli útlumu jako ostatní křivky grafu. V modelu Sono bylo měřeno se 3 metry potrubí Sonoflex, v grafu jsou pro porovnání znázorněny také útlumy dvou a

jednoho metru tohoto elementu. Porovnání s akustickým výkonem regulátoru bylo zvoleno z důvodu úzké souvislosti s koncepčním řešením bytových rozvodů. Z grafu je patrné, že potrubí Sonoflex již při dvou metrech délky tlumí s dostatečnou rezervou nižší oblast oktávových pásem. Konkrétně jde při dvou metrech potrubí Sonoflex o frekvenci 500 Hz, při třech metrech dokonce 1000 Hz. Při hodnotě 1000 Hz dosahoval regulátor průtoku vzduchu maximálního akustického výkonu. Útlum tlumiče hluku v nižší oblasti oktávových pásem dosahoval minimálních hodnot dB, daleko větších hodnot útlumu dosahoval při frekvencích 1000 a 2000 Hz. Z grafu vyplývá, že v daných podmínkách experimentu byl tlumič poddimenzovaný a k útlumu tímto elementem došlo pouze při frekvenci 2000 Hz. Tři metry Sonoflex potrubí, kterými model Sono během experimentu disponoval, zvládly utlumit téměř celou oblast oktávových pásem, výjimkou zůstala frekvence 2000 Hz.



Graf 23) Útlum/akustický výkon v oktávových pásmech (udávaný výrobcem) pro elementy potrubní sítě z experimentálních modelů



Graf 24) Útlum/akustický výkon v oktávných pásmech (udávaný výrobcem) pro elementy potrubní sítě z konceptů

Na podobném principu byly porovnány útlumy a akustické výkony elementů potrubní sítě z koncepčních návrhů v Grafu 24. Obdobně jako v předchozím případě zde byly znázorněny hodnoty útlumu 3 možností délek potrubí Sonoflex ( $\varnothing$  102 mm), 3 možností tlumičů hluku ( $\varnothing$  100, 125 a 150 mm) a 2 možností regulátorů VRU ( $\varnothing$  125 a 160 mm). Koncepční návrh se na základě výstupu z experimentální části zaměřil na část bytových rozvodů a neuvažoval tak s návrhem konkrétní vzduchotechnické jednotky s ventilátorem, jako by tomu bylo při běžném projektování VZT systému v obytné budově. Pro účel srovnání byl z tohoto důvodu jako zdroj hluku použit regulátor průtoku vzduchu (místní zdroj hluku).

I v Grafu 24 jsou křivky regulátorů vyznačeny tučnější spojnici, jelikož prezentují hodnoty akustického výkonu. Ze zvolených tlumičů pokrývá pouze tlumič  $\varnothing$  100 mm oblast frekvencí 1000 až 2000 Hz. Zbylé dva tlumiče dosáhly útlumu pouze v případě frekvence 2000 Hz. Tyto 3 možnosti tlumiče byly zvoleny pro komparaci s předchozím grafem a se stavem modelů z experimentální části a je patrné, že jsou poddimenzované.

Ve všech případech se jedná o model SMR-50 (tloušťka izolace 50 mm) délky 600 mm. Pro útlum akustického výkonu regulátoru by bylo nutné zvolit větší délku tlumiče, větší tloušťku izolace tlumiče či zcela odlišný model tlumiče. Podobně jako v předchozím grafu i v tomto případě dosáhlo největších hodnot útlumu tři metry dlouhé potrubí Sonoflex, které pokrylo akustický výkon obou regulátorů v celé oblasti oktávových pásem s výjimkou frekvence 2000 Hz. Omezením z hlediska realizace vzduchotechnických systémů je možná délka tohoto potrubí. Sonoflex potrubí je v konceptu napojeno na T kusy ze Spiro potrubí a od tohoto bodu napojení ke koncové vyústce v drtivé většině případů není třeba tří metrů potrubí. Reálná délka tohoto napojení je nejčastěji jeden až dva metry v závislosti na rozloze bytu a jeho dispozičnímu řešení. Potrubí Sonoflex těchto délek však požadovaných hodnot útlumu pro pokrytí akustického tlaku regulátorů nedosahuje. Potrubí Sonoflex i v délce jednoho až dvou metrů tlumí oblast frekvencí 63 až 500 Hz lépe než (v grafu uvedené) tlumiče. Ty naopak dosahují lepšího útlumu v oblast frekvencí 1 až 4 kHz.

### 7.2.2 Porovnání naměřených hodnot akustického tlaku obou variant s výpočtem hladiny akustického tlaku A

Porovnání naměřených hodnot akustického tlaku ze třetího experimentu s hladinou akustického tlaku A bylo provedeno pro 2 varianty modelů s největším útlumem hluku (Sono a Tlumič). Hladina akustického tlaku frekvenčně vázaného filtrem A, tedy hodnota hluku, kterou ukáže zvukoměr při použití váhového filtru, byla (pro model Sono a Tlumič) vypočítána z následujících rovnic (1) až (3).

Nejprve byla stanovena hladina akustického výkonu v oktávových pásmech na konci potrubní sítě. Útlum hluku tlumiče a Sonoflex potrubí byl dosazen podle technických listů výrobců.

$$L_{w,D} = L_{w,vent} - \sum D_i \quad (3)$$

Kde:

$L_{w,vent}$  hladina akustického výkonu ventilátoru v oktávovém pásmu [dB]

$D_i$  útlum hluku jednotlivých elementů potrubní sítě [dB]

V dalším kroku byl ve výpočtu obou modelů přidán coby vlastní hluk regulátoru jeho akustický výkon. Hodnoty akustického výkonu byly dosazeny z technického listu výrobce regulátoru VRU.

$$L_w = 10 \log(10^{0,1L_{w,D}} + \sum 10^{0,1L_{w,vh}}) \quad (4)$$

Kde:

$L_{w,vh}$  jsou hladiny akustického výkonu jednotlivých elementů (vlastní hluk) v oktávních pásmech [dB]

Hodnoty z předchozího kroku výpočtu následně stačilo dosadit do rovnice výsledného (jednočíselného) akustického tlaku A (3).

$$L_{p,A} = 10 \log[\sum 10^{0,1(L_i + K_{Ai})}] \quad (5)$$

Kde:

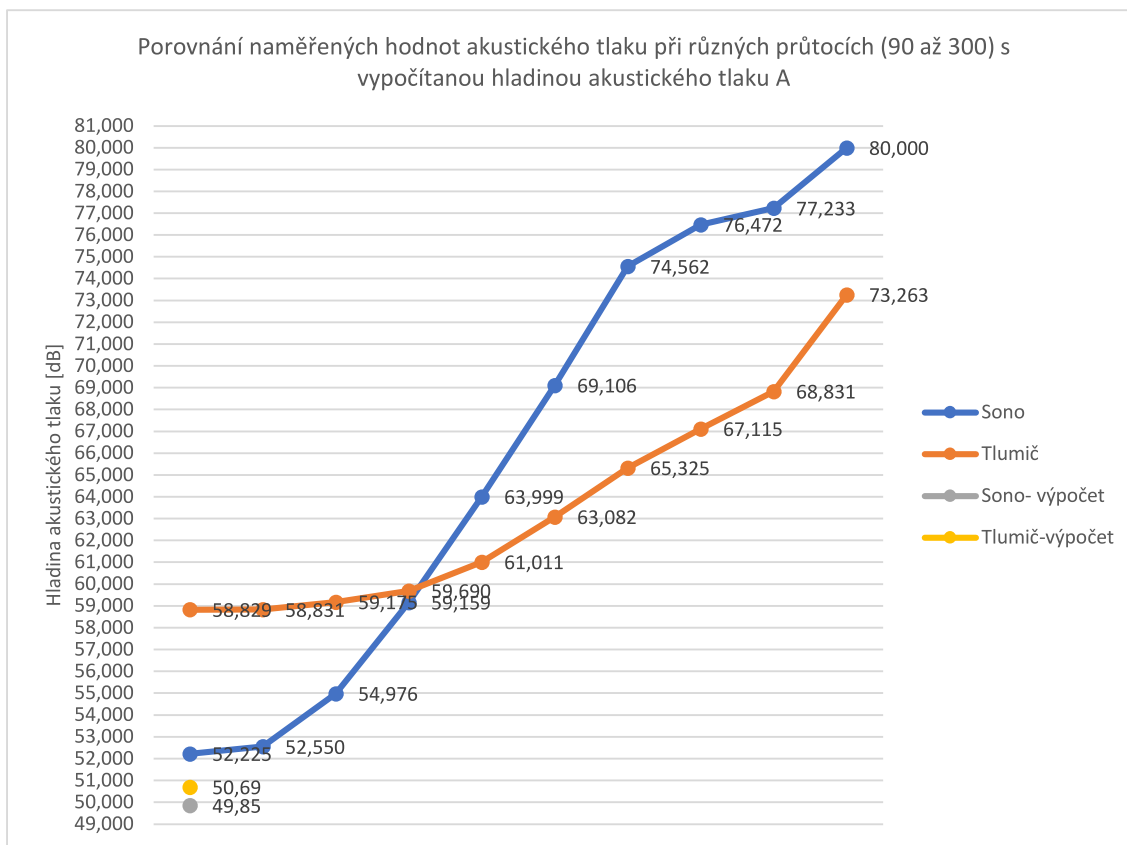
$L_i$  hladina akustického tlaku v i-tém oktávním pásmu [dB]

$K_{Ai}$  korekce v příslušném oktávním pásmu [dB]

f[Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$K_{A,i}$	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1

Tab. 3) Hodnoty korekce  $K_{Ai}$  v příslušném oktávním pásmu v dB [4]

Výsledné hodnoty hladiny akustického tlaku A byly zaneseny do Grafu 25 pro srovnání s naměřenými hodnotami z experimentální části. Vypočtené hodnoty jsou v grafu vyznačeny bodově. Z grafu je patrné, že hodnoty získané z výpočtu dosáhly výrazně nižších hodnot než nejmenší hodnoty z příslušných křivek. V případě modelu Sono je odchylka výpočtu od minima z naměřených hodnot pouze 2,4 dB, což je výrazně méně než v případě modelu Tlumič, kde je tato odchylka rovna 8,1 dB. Výsledky výpočtu se s měřeními shodly z pohledu polohy, kdy v obou případech (výpočet i měření) dosáhl nejnižších hodnot hladiny akustického tlaku (A) model se Sonoflex potrubím. Výpočet byl pouze orientační a nebyly v něm zahrnuty všechny elementy potrubní sítě modelu (část Spiro potrubí  $\varnothing 200$  mm, osový přechod, vyústka, Spiro potrubí, vnitřní a vnější spojky), což pravděpodobně zapříčinilo danou odchylku.



Graf 25) Porovnání naměřených hodnot akustického tlaku při různých průtocích (90 až 300) s vypočítanou hladinou akustického tlaku A

## 8 Závěr

Tato práce se zabývala vlivem řešení větracího systému v bytové jednotce na akustické mikroklima. V úvodu práce byla podrobně popsána část rozsáhlé problematiky mikroklimatu bytových prostor v oblasti akustiky.

Praktická část byla zaměřena na sestavení experimentálního modelu vybraných variant části větracího systému v bytové jednotce a jejich následného porovnání z hlediska vlivu na akustické mikroklima. Modely, na kterých byla prováděna měření, byly: model se sestavou VAV, model se Spiro potrubím, model s plastovým potrubím, model se Sonoflex potrubím a model s tlumičem hluku. Na těchto modelech byla provedena řada experimentů, z nichž každý byl samostatně vyhodnocen. Největším přínosem z hlediska spolehlivosti naměřených dat byl třetí experiment. V jeho průběhu byly krom hodnot akustického tlaku měřeny také hodnoty tlakové ztráty jednotlivých modelů. Naměřené a zaznamenané hodnoty z průběhu experimentu byly analyzovány, graficky zpracovány a následně z mnoha hledisek vyhodnoceny. Nejlepších výsledků

z hlediska vlivu na akustické mikroklima dosáhly dle očekávání dvě varianty s největším útlumem akustického výkonu, modely s tlumičem a se Sonoflex potrubím. Měření však z hlediska vlivu na akustické mikroklima potvrdilo také nezanedbatelný pozitivní vliv (útlum) modelů se Spiro a plastovým potrubím.

Průběh experimentu poukázal také na proměnný vliv některých elementů potrubní sítě na akustické mikroklima na konci sítě. Dopad nesprávného fungování regulátoru průtoku vzduchu na výslednou hodnotu akustického tlaku se nejvíce projevil v druhém experimentu, kdy tento prvek výrazně ovlivnil jak průběh, tak samotné výsledky celého měření v této části. I zde je však nutné podotknout, že vlivem okrajových podmínek byl postup a provedení experimentu ne vždy zcela ideální. Odchylka od projektového řešení v praxi byla nevyhnutelná.

Dalším krokem této práce bylo zpracování vybraných variant řešení větracího systému do koncepčních návrhů bytových rozvodů. Za tímto účelem byly vybrány již zmíněné dvě varianty s nejlepším vlivem na akustické mikroklima. Koncepční návrhy byly zhotoveny pro všechny typové dispozice. Elementy použité v koncepčních návrzích sloužili převážně ke komparaci s elementy z praktické části. Dalo se tak očekávat, že po konečném vyhodnocení byly některé elementy poddimenzované. Tato skutečnost samozřejmě přímo souvisí s odchylkou zmíněnou v předchozím odstavci.

Součástí konečné kapitoly byl také krátký zjednodušený výpočet hladiny akustického tlaku  $A$ , pro porovnání s naměřenými hodnotami akustického tlaku z praktické části. Srovnání pro model se Sonoflex potrubím potvrdilo dosažení nejmenších hodnot akustického tlaku ( $A$ ). V praxi do výpočtu útlumu hluku zasahuje velké množství proměnných a jedná se o komplexní úlohu. Jedním z důležitých faktorů při řešení útlumu hluku jsou třídy hluku  $N$ , které stanovují maximální hladiny pro jednotlivá frekvenční pásma. Důležité je tlumit především frekvence způsobující zvýšení třídy hluku.



## 9 Použitá literatura a jiné zdroje

- [1] JELÍNEK, doc. Ing. Vladimír Jelínek, CSc. a Ing. Vladimíra LINHARTOVÁ. Interní mikroklima v bytových domech [online]. 2014, 27.10.2014 [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/11888-interni-mikroklima-v-bytovych-domech>
- [2] JELÍNEK, Ing. Ondřej a doc. Ing. Aleš, Ph.D RUBINA. Akustika a protihluková opatření ve vzduchotechnice [online]. 2013, 9.9.2013 [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/10319-akustika-a-protihlukova-opatreni-ve-vzduchotechnice>
- [3] Regulace průtoku vzduchu [online]. [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: [https://cdn.trox.de/54326652aef38d0a/fc2e9130a302/S\\_Airflowcontrol\\_CZ\\_2\\_web.pdf](https://cdn.trox.de/54326652aef38d0a/fc2e9130a302/S_Airflowcontrol_CZ_2_web.pdf)
- [4] ZMRHAL, Ing. Vladimír, Ph.D. a Ing. Miroslav, Ph.D. KUČERA. Šíření hluku potrubní sítí [online]. [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: [https://www.users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/Projekt3/Podklady/05\\_Sireni%20hluku%20potrubni%20siti.pdf](https://www.users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/Projekt3/Podklady/05_Sireni%20hluku%20potrubni%20siti.pdf)
- [5] Tvorba krátkodobých předpovědí a prodloužení lineárního trendu sledované veličiny [online]. 2018, 13.4.2018 [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://www.financevpraxi.cz/excel-funkce-forecast-linear>
- [6] Lineární funkce [online]. [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://support.microsoft.com/cs-cz/office/forecast-a-forecast-line%C3%A1rn%C3%AD-funkce-50ca49c9-7b40-4892-94e4-7ad38bbeda99>
- [7] Měření diferenčního tlaku ve vzduchotechnice [online]. 2022, 29.8.2022 [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/provoz-a-udrzba-vetrani-klimatizace/24240-mereni-diferencniho-tlaku-ve-vzduchotechnice>
- [8] DVOŘÁK, Ing. Josef. Hluk ve vzduchotechnice (III) - výpočty hluku šířeného potrubím do místnosti [online]. 2002, 11.4.2002 [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/teorie-a-vypocty-vetrani-klimatizace/948-hluk-ve-vzduchotechnice-iii-vypocty-hluku-sireneho-potrubim-do-mistnosti>

- [9] Hluk v bytech a rodinných domech [online]. [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: [https://greif.cz/wp-content/uploads/2020/07/ITS072-01\\_Hluk\\_v\\_bytech\\_a\\_rodinnych\\_domech.pdf](https://greif.cz/wp-content/uploads/2020/07/ITS072-01_Hluk_v_bytech_a_rodinnych_domech.pdf)
- [10] ADAMOVSKEÝ, Ing. Daniel, Ph.D. Hluk ve vzduchotechnice [online]. [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125vkb/prednasky/125vkb-07.pdf?dt=1620387247>
- [11] Základy akustiky [online]. [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://greif.cz/wp-content/uploads/2021/02/ITS075-01-Zaklady-akustiky-prirucka-pro-zacatecniky.pdf>
- [12] LindabVRU [online]. [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: [https://www.lindab.cz/globalassets/commerce/lindabwebproductsdoc/assets/production/otm5mme2yzgtzjvlmy00zgztjtk1njctnmq2ndu2ytzlnjk0/5249879207535990437/vru\\_global.pdf?v=1702771147](https://www.lindab.cz/globalassets/commerce/lindabwebproductsdoc/assets/production/otm5mme2yzgtzjvlmy00zgztjtk1njctnmq2ndu2ytzlnjk0/5249879207535990437/vru_global.pdf?v=1702771147)
- [13] VOLTCRAFT [online]. [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://www.suntech.cz/data/navody/sl-400.pdf>
- [14] Lindab [online]. [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://www.lindab.cz/catalog/vzduchotechnika/regulace-prtoku-vzduchu/regulatory-konstantniho-a-variabilniho-prtoku/vrufu/?sort=popularity&display=16&page=1>
- [15] Zvukově izolované ventilátory pro kuchyně IP55 [online]. [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: [https://www.elektrodesign.cz/upload/Downloads/files/table/20/item/473/column/0/14366/CHVB\\_T-355.pdf](https://www.elektrodesign.cz/upload/Downloads/files/table/20/item/473/column/0/14366/CHVB_T-355.pdf)
- [16] Ohebné hadice [online]. [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: [https://www.elektrodesign.cz/upload/Downloads/files/table/20/item/52576/column/0/26862/SONO\\_METAL-FLEX.pdf](https://www.elektrodesign.cz/upload/Downloads/files/table/20/item/52576/column/0/26862/SONO_METAL-FLEX.pdf)
- [17] Tlumič hluku SMR [online]. [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: [https://www.mandik.cz/getattachment/e0cc9a60-396c-477a-9764-27007d64f219/112\\_15\\_cz\\_SMR.aspx](https://www.mandik.cz/getattachment/e0cc9a60-396c-477a-9764-27007d64f219/112_15_cz_SMR.aspx)

- [18] Diagonální ventilátory do kruhového potrubí MIXVENT-TD Ecowatt [online]. [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://www.elektrodesign.cz/upload/Downloads/files/table/20/item/2780/column/0/26452/TD-Ecowatt.pdf>
- [19] Elektrodesign [online]. [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://www.elektrodesign.cz/>
- [20] Vzduchovody a tvarovky Spiro potrubí [online]. [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://www.elektrodesign.cz/upload/Downloads/files/table/20/item/140/column/0/15580/SPIRO.pdf>
- [21] DVOŘÁK, Ing. Josef. Hluk ve vzduchotechnice (I) - Základní pojmy a praktické vztahy [online]. 2001, 10.8.2001 [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/teorie-a-vypocty-vetrani-klimatizace/626-hluk-ve-vzduchotechnice-i-zakladni-pojmy-a-prakticke-vztahy>
- [22] Tlumení hluku ve vzduchotechnice [online]. 2001, 10.8.2001 [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://tzb.fsv.cvut.cz/vyucujici/46/uloha-3-podklady.pdf>

## 10 Seznam obrázků

Obrázek 1) Laminární (nahore) a turbulentní (dole) proudění tekutin v ohraničeném prostoru [2].....	11
Obrázek 2) První část místnosti A-s114 s prostupem izolovaným akustickým molitanem .....	13
Obrázek 3) Druhá část místnosti A-s114 s hlukem tlumícími prvky a akustickým molitanem.....	14
Obrázek 4) Příprava umístění sestavy VAV.....	15
Obrázek 5) Příprava podpory potrubí.....	15
Obrázek 6) Měření hodnot hluku ve variantě 1.....	16
Obrázek 7) Měření hodnot hluku ve variantě 2.....	16
Obrázek 8) Měření hodnot hluku ve variantě 3.....	16
Obrázek 9) Měření hodnot hluku ve variantě 4.....	16
Obrázek 10) Schéma modelu se Spiro potrubím ve variantě 1 – vyústka s mřížkou s lamelami.....	17
Obrázek 11) Schéma modelu se Spiro potrubím ve variantě 2 – vyústka bez mřížky.....	17
Obrázek 12) Část modelu se Spiro potrubím umístěná v první části místnosti A-s114....	17
Obrázek 13) Měření diferenčního tlaku za osovým přechodem.....	18
Obr. 14) Měření diferenčního tlaku na vyústce.....	18
Obrázek 15) Schéma modelu s plastovým potrubím ve variantě 1 – vyústka s mřížkou s lamelami.....	18
Obrázek 16) Schéma modelu s plastovým potrubím ve variantě 2 – vyústka bez mřížky .....	18
Obrázek 17) Část modelu s plastovým potrubím umístěná v první části místnosti A-s114 .....	19
Obrázek 18) Měření diferenčního tlaku za osovým přechodem.....	19

Obrázek 19) Měření diferenčního tlaku na vyústce.....	19
Obrázek 20) Schéma modelu s potrubím Sonoflex ve variantě 1 – vyústka s mřížkou s lamelami.....	20
Obrázek 21) Část modelu se Sonoflex potrubím umístěná v první části místnosti A-s114 .....	20
Obrázek 22) Měření diferenčního tlaku za osovým přechodem.....	20
Obrázek 23) Měření diferenčního tlaku na vyústce.....	20
Obrázek 24) Schéma modelu s potrubím Sonoflex ve variantě 2 – vyústka bez mřížky...21	
Obrázek 25) Schéma modelu s tlumičem hluku ve variantě 1 – vyústka s mřížkou s lamelami.....	21
Obrázek 26) Část modelu se Spiro potrubím umístěná v první části místnosti A-s114....21	
Obrázek 27) Měření diferenčního tlaku za osovým přechodem.....	22
Obrázek 28) Měření diferenčního tlaku na vyústce.....	22
Obrázek 29) Schéma modelu s tlumičem hluku ve variantě 2 – vyústka bez mřížky.....	22
Obrázek 30) Schéma modelu VAV ve variantě 4 – bez vyústky.....	22
Obrázek 31) Modelu VAV.....	22
Obrázek 32) Sestava VAV demonstrátoru.....	23
Obrázek 33) Schéma uzavřeného regulačního okruhu [3].....	24
Obrázek 34) Pohled shora na regulátor VRU.....	25
Obrázek 35) Příčný řez regulátorem VRU .....	25
Obrázek 36) Rozhraní řídicího softwaru regulátoru průtoku vzduchu.....	25
Obrázek 37) Testo 400 – přední pohled.....	26
Obrázek 38) Testo 400 – zadní pohled.....	26
Obrázek 39) Volcraft SL-400.....	27
Obrázek 40) Rozhraní softwaru hlukoměru.....	27

Obrázek 41) Okno DataLogger.....	28
Obrázek 42) Dispozice 1+kk ve variantě s tlumičem hluku.....	61
Obrázek 43) Dispozice 3+kk ve variantě s tlumičem hluku.....	61
Obrázek 44) Dispozice 4+kk ve variantě s tlumičem hluku.....	62
Obrázek 45) Dispozice 1+kk ve variantě se Sonoflex potrubím.....	62
Obrázek 46) Dispozice 3+kk ve variantě se Sonoflex potrubím.....	62
Obrázek 47) Dispozice 4+kk ve variantě se Sonoflex potrubím.....	63

# 11 Seznam grafů

Graf 1) Závislost hladiny akustického tlaku na hodnotě průtoku vzduchu jednotlivých materiálových variant ve variantě vyústky bez mřížky s lamelami – var 2.....	33
Graf 2) Závislost hladiny akustického tlaku na hodnotě průtoku vzduchu jednotlivých materiálových variant ve variantě vyústky s mřížkou s lamelami – var 1.....	34
Graf 3) Průběh hodnot akustického tlaku v celém intervalu pro jednotlivé průtoky vzduchu modelu Spiro ve variantě bez mřížky – var 2 (průtoky 90 až 300 m <sup>3</sup> /h).....	35
Graf 4) Průběh hodnot akustického tlaku v celém intervalu pro jednotlivé průtoky vzduchu modelu Spiro ve variantě s mřížkou – var 1 (průtoky 90 až 300 m <sup>3</sup> /h).....	36
Graf 5) Průběh hodnot akustického tlaku v celém intervalu pro jednotlivé průtoky vzduchu modelu Plast ve variantě bez mřížky – var 2 (průtoky 90 až 300 m <sup>3</sup> /h).....	37
Graf 6) Průběh hodnot akustického tlaku v celém intervalu pro jednotlivé průtoky vzduchu modelu Plast ve variantě s mřížkou – var 1 (průtoky 90 až 300 m <sup>3</sup> /h).....	38
Graf 7) Průběh hodnot akustického tlaku v celém intervalu pro jednotlivé průtoky vzduchu modelu Sono ve variantě bez mřížky – var 2 (průtoky 90 až 300 m <sup>3</sup> /h).....	39
Graf 8) Průběh hodnot akustického tlaku v celém intervalu pro jednotlivé průtoky vzduchu modelu Sono ve variantě s mřížkou – var 1 (průtoky 90 až 300 m <sup>3</sup> /h).....	40
Graf 9) Průběh hodnot akustického tlaku v celém intervalu pro jednotlivé průtoky vzduchu modelu Tlumič ve variantě bez mřížky – var 2 (průtoky 90 až 300 m <sup>3</sup> /h).....	40
Graf 10) Průběh hodnot akustického tlaku v celém intervalu pro jednotlivé průtoky vzduchu modelu Sono ve variantě s mřížkou – var 1 (průtoky 90 až 300 m <sup>3</sup> /h).....	41
Graf 11) Závislost hladiny akustického tlaku na hodnotě průtoku vzduchu jednotlivých materiálových variant.....	46
Graf 12) Závislost polohy klapky na hodnotě průtoku vzduchu jednotlivých materiálových variant.....	47
Graf 13) Průběh hodnot akustického tlaku v celém intervalu pro jednotlivé průtoky vzduchu modelu VAV.....	47



Graf 14) Průběh hodnot akustického tlaku v celém intervalu pro jednotlivé průtoky vzduchu modelu Spiro.....	48
Graf 15) Průběh hodnot akustického tlaku v celém intervalu pro jednotlivé průtoky vzduchu modelu Tlumič.....	49
Graf 16) Průběh hodnot akustického tlaku v celém intervalu pro jednotlivé průtoky vzduchu modelu Plast.....	50
Graf 17) Průběh hodnot akustického tlaku v celém intervalu pro jednotlivé průtoky vzduchu modelu Sono.....	51
Graf 18) Maximální a minimální hodnoty akustického tlaku pro jednotlivé průtoky vzduchu jednotlivých modelů.....	52
Graf 19) Předpověď hodnot pro ideální průtoky pomocí lineární regrese.....	53
Graf 20) Předpověď hodnot pro ideální průtoky pomocí polynomické funkce.....	53
Graf 21) Tlaková ztráta při průtoku vzduchu jednotlivých materiálových variant.....	54
Graf 22) Tlaková ztráta na vyústce při průtoku vzduchu jednotlivých materiálových variant .....	55
Graf 23) Útlum/akustický výkon v oktávových pásmech (udávaný výrobcem) pro elementy potrubní sítě z experimentálních modelů.....	64
Graf 24) Útlum/akustický výkon v oktávových pásmech (udávaný výrobcem) pro elementy potrubní sítě z konceptů.....	65
Graf 25) Porovnání naměřených hodnot akustického tlaku při různých průtocích (90 až 300) s vypočítanou hladinou akustického tlaku A.....	68

## 12 Seznam tabulek

Tabulka 1) Příklady návrhových hodnot hladiny akustického tlaku [1].....	9
Tabulka 2) Naměřené hodnoty diferenčního tlaku.....	55
Tabulka 3) Hodnoty korekce $K_{Ai}$ v příslušném oktávovém pásmu v dB [4].....	67