

## Ročná správa o riešení projektu za rok 2017

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-15-0327****Vyvoj a výskum metodík optimalizácie akustických vlastnosti a akustickej kvality zariadení emitujúcich hluk**Zodpovedný riešiteľ **Dr.h.c. prof., Ing. Miroslav Badida, PhD.**Príjemca **Technická univerzita v Košiciach**Začiatok riešenia projektu **01.07.2016**Koniec riešenia projektu **30.06.2020**

### ROZBOR RIEŠENIA PROJEKTU (max. 10 strán)

Uvedte podľa nasledujúcej záväznej osnovy:

- 1. Postup prác pri riešení projektu u príjemcu, ako aj spolupríjemcu podpory APVV vzhľadom na harmonogram riešenia projektu**
- 2. Rozbor výsledkov riešenia vzhľadom na stanovené ciele**
- 3. Zoznam výstupov a prínosov projektu za posledný rok** – uvedte v prílohe – formulár Výstupy a prínosy projektu za rok/obdobie (kópie deklarovaných výstupov sa neprikladajú, je možné uviesť internetové odkazy na uvedené výstupy)
- 4. Upresnenie harmonogramu prác a cieľov na nasledujúci rok**

↓↓

#### **1 Postup prác pri riešení projektu u príjemcu, ako aj spolupríjemcu podpory APVV vzhľadom na harmonogram riešenia projektu**

Druhá etapa riešenia projektu bezprostredne nadväzuje na činnosti vykonané v prvej etape, ktorej cieľom bolo zvládnutie práce so špičkovými meracími nástrojmi a takisto zvládnutie vyhodnocovacích softvérov a porovnanie jednotlivých vizualizačných nástrojov. V druhej etape hlavným cieľom je vykonať porovnanie vizualizačných metód beamforming, SONAH, akustickej holografie – Microflown.

So záverov prvej etapy vyplynulo, že pre ďalšie riešenie je vhodný domáci spotrebič automatická práčka (vysávač). Automatická práčka bolo zvolená z viacerých nasledovných dôvodov:

- vysoká penetrácia týchto spotrebičov v domácnostiach,
- vysoké emisie hluku (jeden z najhlučnejších domácich spotrebičov),
- existencia štandardizovaných metód merania a deklarovania hlučnosti čo umožňuje objektívne porovnanie hlučnosti týchto spotrebičov,
- rôzne prevádzkové režimy činnosti, čo umožní variabilitu meraní s cieľom vykonania podrobných analýz.

- Komplexnosť výrobku z pohľadu prítomnosti viacerých zdrojov hluku

V druhej etape boli vykonané experimentálne merania za účelom vizualizácie zdrojov hluku automatických práčok. Merania boli vykonané nasledovnými metódami:

- Beamforming,
- SONAH,
- Akustická holografia – Microflown.

Všetky merania boli realizované v bezdozvukovej komore, ktorá bola na tento účel prenajatá v technickom skúšobnom ústave v Piešťanoch, š.p., Piešťany a v laboratóriu CEIT Engineering a.s., Žilina.

Pre realizáciu experimentálnych meraní bol zvolený režim odstreďovania, kedy automatické práčky dosahujú najvyššie emisie hluku pri plnej kapacite automatickej práčky. Pracia náplň bola štandardizovaná v súlade technickými normami.

Experimentálne merania boli realizované v nasledovných krokoch:

1. Realizácia meraní akustického výkonu automatickej práčky podľa štandardizovaných metód za účelom deklarácie emisií hluku a poznania akustického výkonu vybranej automatickej práčky.
2. Prvotné kalibračné merania všetkými metódami za účelom nastavenia a kalibrácie jednotlivých meracích zariadení a vykonanie setupov jednotlivých metód.
3. Realizácia meraní vizualizácie hluku automatickej práčky metódou beamformingu.
4. Realizácia meraní vizualizácie hluku automatickej práčky metódou SONAH.
5. Realizácia meraní vizualizácie hluku automatickej práčky metódou Near field Acoustic – Microflown.
6. Spracovanie výsledkov meraní – generovanie frekvenčných spektier a spektrogramov.
7. Vizualizácia hluku – generovanie akustických snímok celých frekvenčných spektier v rozsahu 20 – 20 000 Hz.
8. Analýza dominantných a kritických frekvenčných pásiem.
9. Vizualizácia hluku – generovanie akustických snímok dominantných a kritických frekvenčných spektier.
10. Identifikácia a lokalizácia zdrojov hluku na základe vygenerovaných akustických snímok.
11. Komparácia výsledkov vizualizácie hluku s následnou identifikáciou a lokalizáciou zdrojov hluku jednotlivými vizualizačnými metódami.
12. Analýza výsledkov vizualizácie jednotlivými metódami, analýza zhôd a rozdielov.
13. Prepojenie výsledkov vizualizácie s jednotlivými zdrojmi hluku automatickej práčky a analýza prepojenia týchto kritických miest s možnými cestami šírenia hluku - transfer path analysis.
14. Porovnanie vizualizačných metód a posúdenie ich vhodnosti.
15. Doplnkové merania optickým diagnostickým nástrojom PONTOS pre meranie vibrácií, pričom týmto zariadením boli verifikované identifikované kritické miesta zistené vizualizačnými metódami.

Záverom môžeme konštatovať, že realizované experimentálne merania a proces ich vyhodnotenia boli vykonané v súlade s harmonogramom riešenia projektu, pričom merania akustických výkonov, merania vibrácií unikátnym zariadením PONTOS a niektoré analýzy a závery meraní boli vykonané nad rámec tejto etapy.

## 2 Rozbor výsledkov riešenia vzhľadom na stanovené ciele

Na základe realizovaných meraní v bezdozvukovej komore viacerými vizualizačnými metódami sme analyzovali výsledky meraní automatickej práčky. Vizualizačné metódy vzhľadom na ich princíp majú isté frekvenčné obmedzenia a obmedzenia v meracích vzdialenostiach. Práve tieto parametre vizualizačných metód boli komparované na základe generovaných akustických snímok. Ako prvotný krok merania bol stanovený akustický výkon zvolenej automatickej práčky. Merania boli vykonané štandardným postupom ako merania vykonávajú výrobcovia automatických práčok za účelom deklarácie týchto hodnôt. V Tab. 1 sú uvedené výsledky merania akustického výkonu zvolenej automatickej práčky.

Tab. 1 Výsledky merania akustického výkonu

f [Hz]	$L_{w}$	$L_{max}$	f [Hz]	$L_{w}$	$L_{max}$
50	74.5	44.3	800	55.9	55.1
63	81.3	55.1	1k	57.9	57.9
80	76.5	54.0	1.25k	57.3	57.9
100	81.2	62.1	1.6k	52.1	53.1
125	70.9	54.8	2k	52.1	53.3
160	77.4	64.0	2.5k	49.5	50.8
200	66.9	56.0	3.15k	43.9	45.1
250	63.9	55.3	4k	39.7	40.7
315	67.0	60.4	5k	36.1	36.6
400	64.8	60.0	6.3k	31.7	31.6
500	63.8	60.5	8k	29.1	28.0
630	62.7	60.8	10k	28.2	25.7

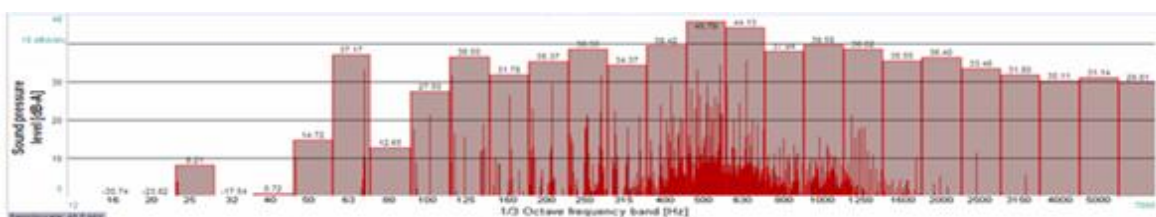
Sound power level  $L_w = 86.3$  dB (re. 1 pW)

eighted sound power level  $L_{wA} = 70.9$  dB (re. 1 pW)

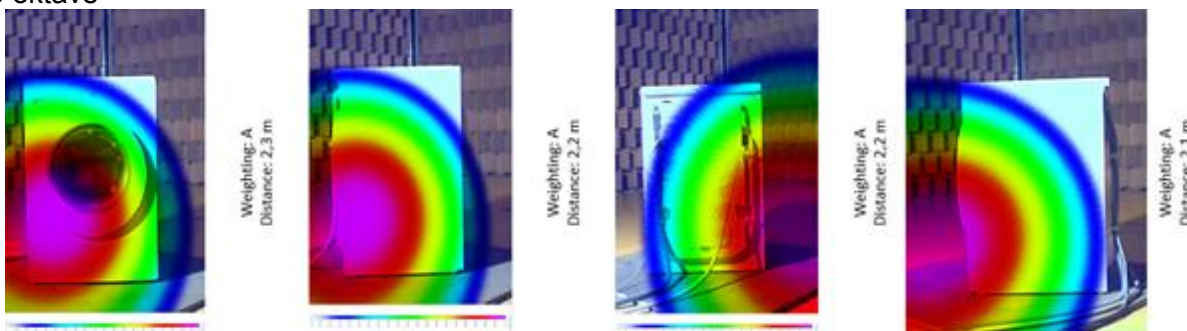
### 1. Experimentálne merania v bezdozvukovej komore metódou Beamforming



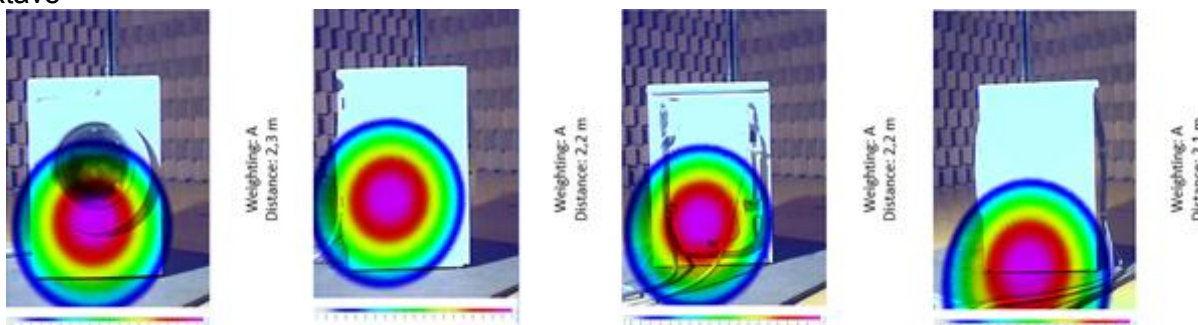
Frekvenčné spektrum



Akustické snímky v rôznych pohľadoch pre frekvenčný rozsah 63 Hz (56,2 Hz – 70,8 Hz) v 1/3 oktáve



Akustické snímky v rôznych pohľadoch pre frekvenčný rozsah 125 Hz (112 Hz – 141 Hz) v 1/3 oktáve



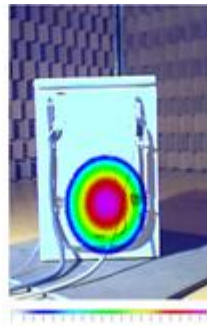
Akustické snímky v rôznych pohľadoch pre frekvenčný rozsah 315 Hz (282 Hz – 355 Hz) v 1/3 oktáve



Weighting: A  
Distance: 2,3 m



Weighting: A  
Distance: 2,2 m



Weighting: A  
Distance: 2,2 m



Weighting: A  
Distance: 2,1 m

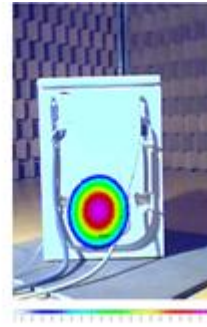
Akustické snímky v rôznych pohľadoch pre frekvenčný rozsah 400 Hz (355 Hz – 447 Hz) v 1/3 oktáve



Weighting: A  
Distance: 2,3 m



Weighting: A  
Distance: 2,2 m



Weighting: A  
Distance: 2,2 m

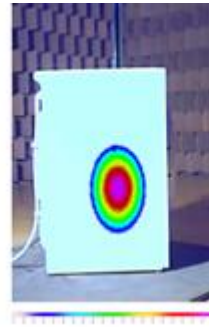


Weighting: A  
Distance: 2,1 m

Akustické snímky v rôznych pohľadoch pre frekvenčný rozsah 500 Hz (447 Hz – 562 Hz) v 1/3 oktáve



Weighting: A  
Distance: 2,3 m



Weighting: A  
Distance: 2,2 m



Weighting: A  
Distance: 2,2 m

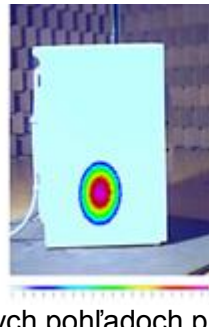


Weighting: A  
Distance: 2,1 m

Akustické snímky v rôznych pohľadoch pre frekvenčný rozsah 630 Hz (562 Hz – 708 Hz) v 1/3 oktáve



Weighting: A  
Distance: 2,3 m



Weighting: A  
Distance: 2,2 m



Weighting: A  
Distance: 2,2 m

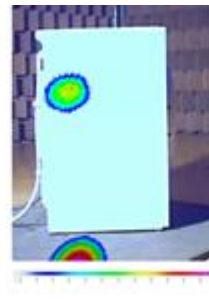


Weighting: A  
Distance: 2,1 m

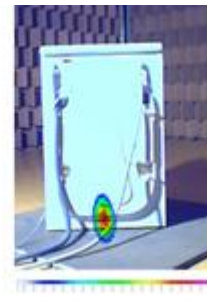
Akustické snímky v rôznych pohľadoch pre frekvenčný rozsah 1000 Hz (891 Hz – 1122 Hz) v 1/3 oktáve



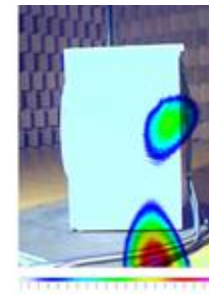
Weighting: A  
Distance: 2,3 m



Weighting: A  
Distance: 2,2 m

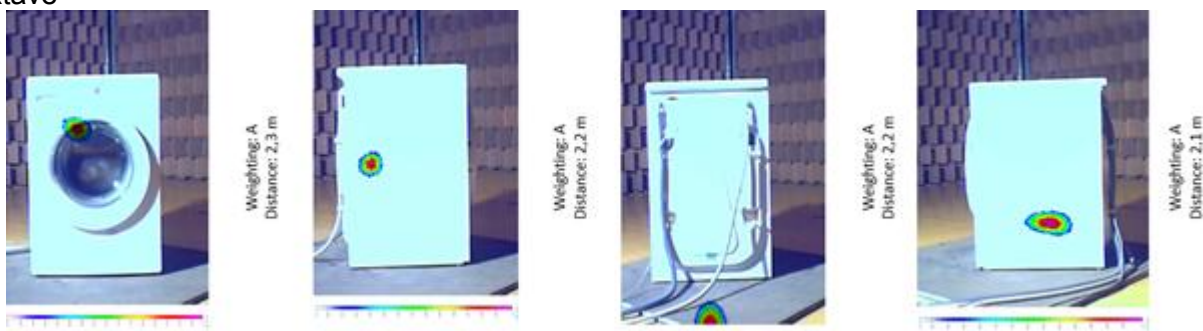


Weighting: A  
Distance: 2,2 m



Weighting: A  
Distance: 2,1 m

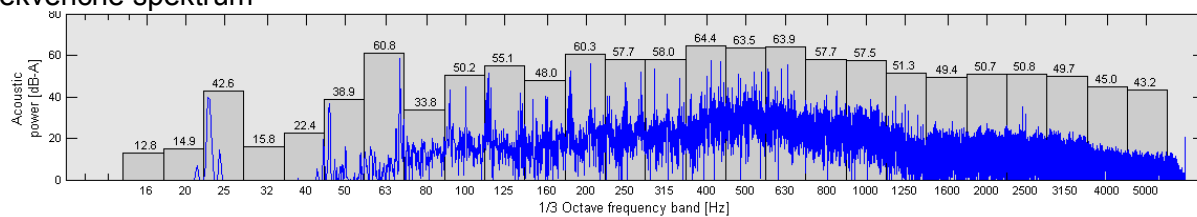
Akustické snímky v rôznych pohľadoch pre frekvenčný rozsah 2500 Hz (2239 Hz – 2818 Hz) v 1/3 oktáve



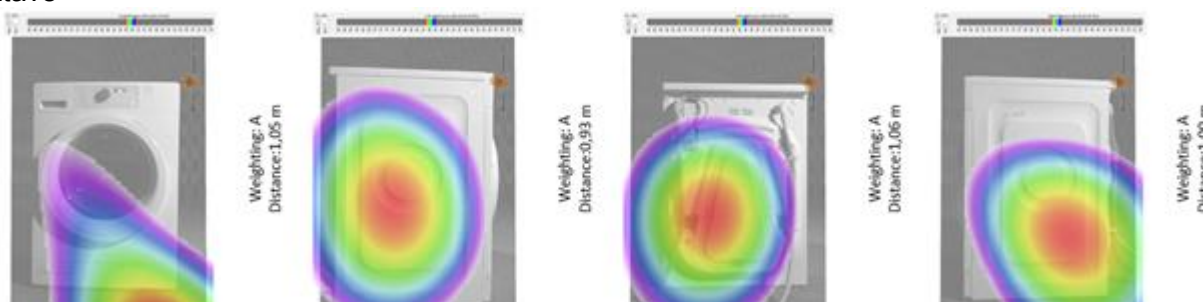
## 2. Experimentálne merania v bezdozvukovej komore metódou SONAH



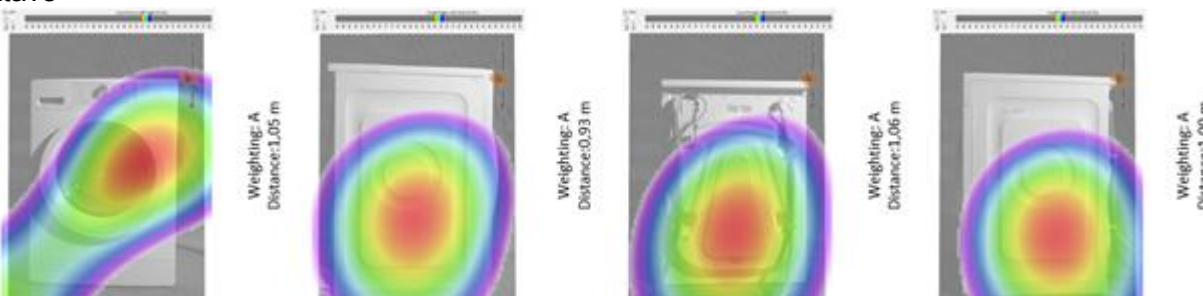
Frekvenčné spektrum



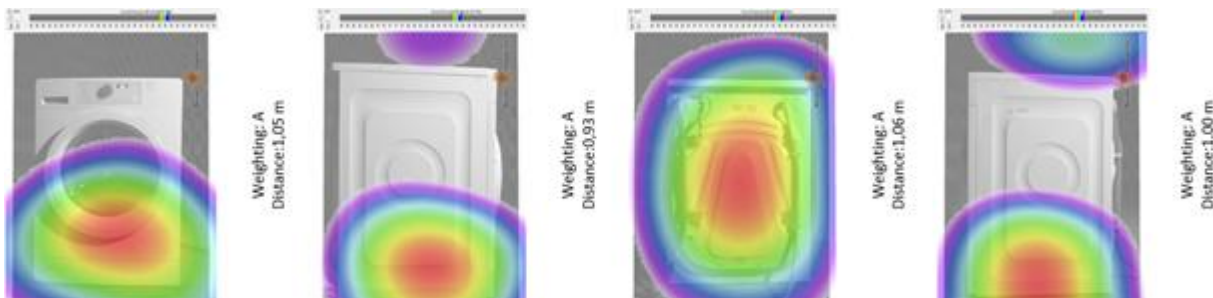
Akustické snímky v rôznych pohľadoch pre frekvenčný rozsah 63 Hz (56,2 Hz – 70,8 Hz) v 1/3 oktáve



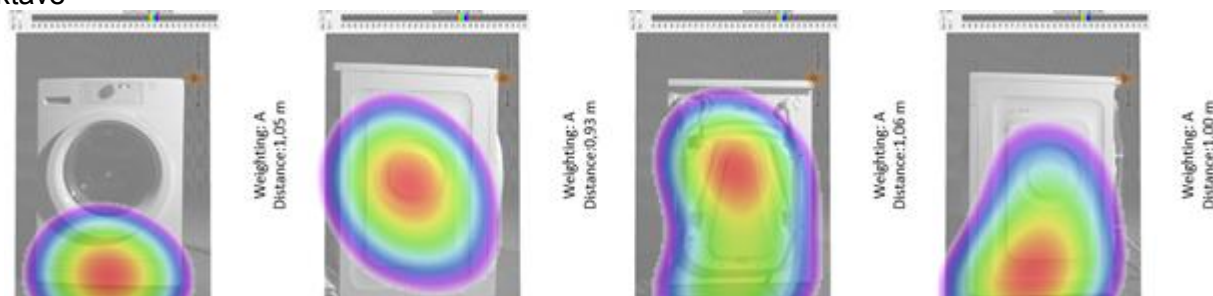
Akustické snímky v rôznych pohľadoch pre frekvenčný rozsah 125 Hz (112 Hz – 141 Hz) v 1/3 oktáve



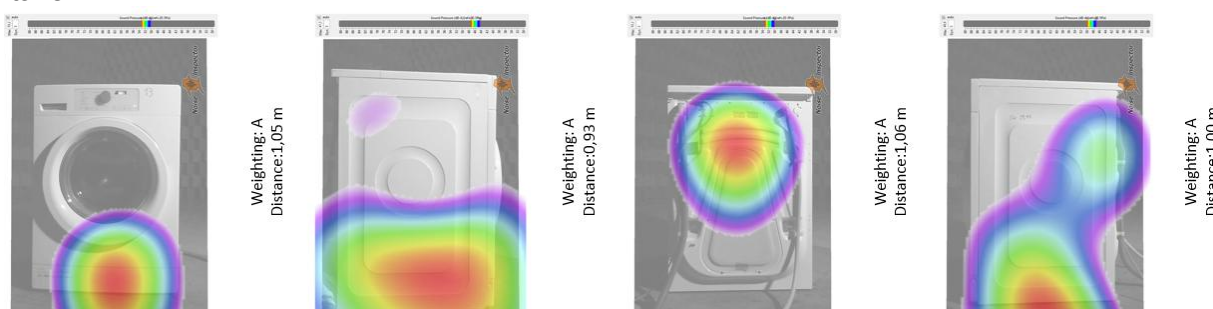
Akustické snímky v rôznych pohľadoch pre frekvenčný rozsah 315 Hz (282 Hz – 355 Hz) v 1/3 oktáve



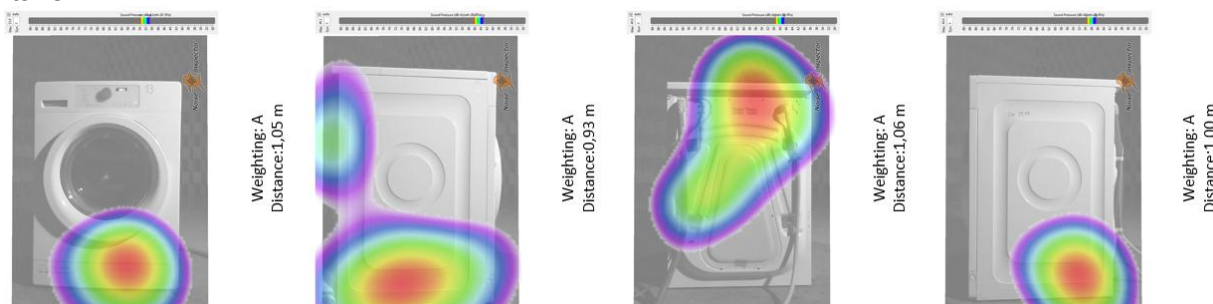
Akustické snímky v rôznych pohľadoch pre frekvenčný rozsah 400 Hz (355 Hz – 447 Hz) v 1/3 oktáve



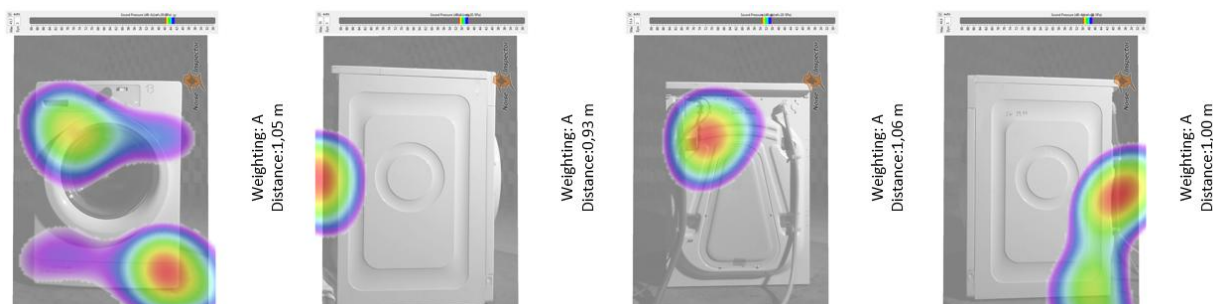
Akustické snímky v rôznych pohľadoch pre frekvenčný rozsah 500 Hz (447 Hz – 562 Hz) v 1/3 oktáve



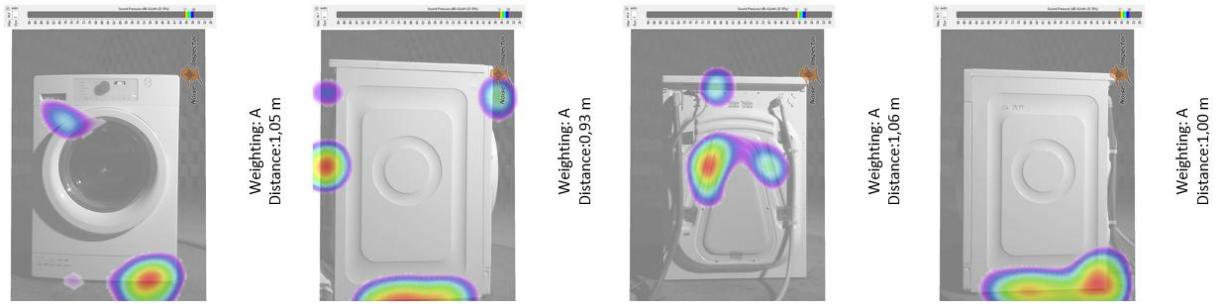
Akustické snímky v rôznych pohľadoch pre frekvenčný rozsah 630 Hz (562 Hz – 708 Hz) v 1/3 oktáve



Akustické snímky v rôznych pohľadoch pre frekvenčný rozsah 1000 Hz (891 Hz – 1122 Hz) v 1/3 oktáve



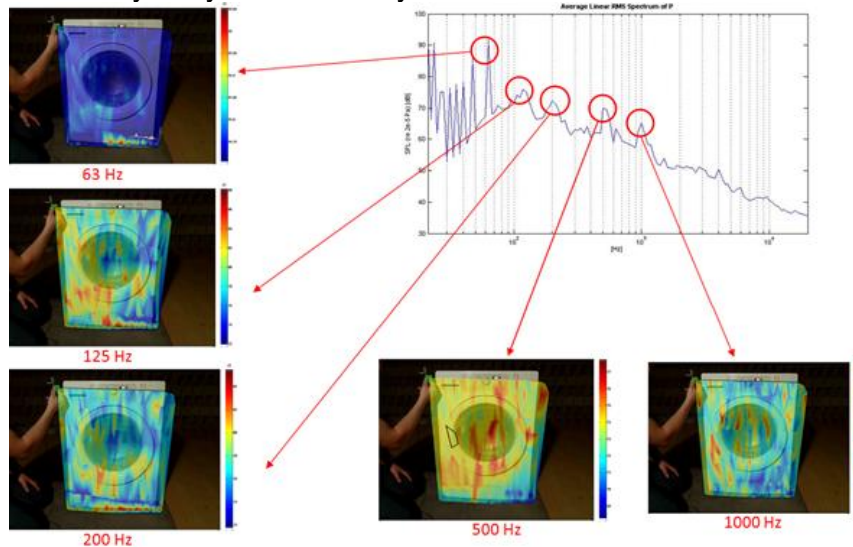
Akustické snímky v rôznych pohľadoch pre frekvenčný rozsah 2500 Hz (2239 Hz – 2818 Hz) v 1/3 oktáve



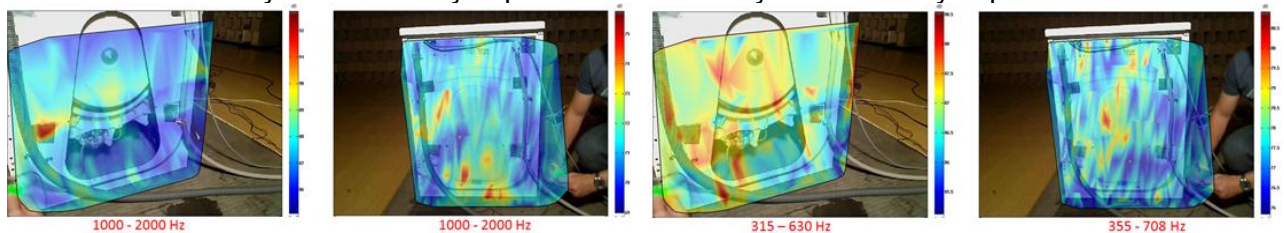
**3. Experimentálne merania v bezdozvukovej komore metódou Microflow – near field acoustic holography**



Frekvenčné spektrum s vybranými dominantnými frekvenciami a vizualizácia intenzity zvuku



Vizualizácia intenzity zvuku v rôznych pohľadoch a v rôznych frekvenčných pásmach



**4. Experimentálne merania vibrácií optickou metódou PONTOS**

Pre potvrdenie kritických miest a verifikáciu vizualizačných meraní bolo použité unikátne zariadenie pre meranie vibrácií PONTOS.



Realizácia meraní zariadením PONTOS

V nasledujúcej Tab. 2 sú uvedené výsledky merania zrýchlenia vibrácií na jednotlivých meracích miestach.

Tab. 2 Výsledky merania zrýchlenia vibrácií

7727	800_00_0	800_05_L	800_05_M	800_05_R	800_09_L	800_09_M	800_09_R	1000_00_0	1000_05_L	1000_05_M	1000_05_R	1000_09_L	1000_09_M	1000_09_R	1100_00_0	1100_05_L	1100_05_M	1100_05_R	1100_09_L	1100_09_M	1100_09_R
le47	0,9	2,1	1,6	1,8	5,2	3,6	3,8	1,0	3,3	2,7	3,4	8,6	7,4	6,6	1,8	15,6	11,8	16,6	24,1	23,1	21,8
le135	0,9	2,2	1,9	2,1	6,5	4,8	4,2	1,2	4,3	3,6	3,8	8,5	7,7	6,5	1,8	16,9	13,5	17,7	25,4	24,4	23,3
ri47	1,1	2,5	1,9	2,3	4,4	3,4	4,1	1,1	2,7	2,4	2,7	5,9	4,1	4,6	1,4	4,2	3,2	4,4	9,4	8,2	9,5
ri135	1,0	2,1	1,9	2,2	4,7	3,1	4,3	1,2	5,1	3,8	3,8	7,1	6,1	6,1	1,3	5,0	3,6	5,6	9,9	10,3	11,4
to39	1,4	2,5	2,3	2,5	4,2	3,8	3,9	1,5	4,3	3,7	3,7	7,1	5,5	5,4	1,8	5,3	4,6	3,7	11,2	11,5	9,8
to71	1,1	1,9	1,8	2,0	3,2	3,0	3,2	1,2	2,7	2,3	2,7	4,7	3,8	3,7	1,4	3,8	4,4	4,0	8,5	9,0	7,1
fr16	3,0	3,3	1,8	3,1	5,2	3,9	5,5	2,6	3,3	3,3	3,4	7,0	5,8	6,4	2,1	5,4	4,4	4,8	10,3	9,3	8,5
fr50	2,4	4,2	2,3	3,6	6,7	4,6	6,0	2,1	3,3	3,5	3,6	7,2	6,3	6,4	2,1	6,8	6,5	6,2	13,8	12,2	13,8
ba0	0,8	2,3	2,4	2,5	4,0	3,4	3,6	0,9	2,9	2,0	2,1	5,6	4,3	4,4	0,9	3,6	3,0	3,1	8,1	7,9	6,9
ba30	1,5	3,4	2,6	3,5	5,9	4,7	4,7	1,6	3,3	2,4	2,6	6,8	5,2	4,8	1,9	4,2	3,6	4,3	9,0	9,7	8,0
e_x	3,8	13,4	11,5	9,6	21,7	19,3	16,8	4,3	21,0	17,9	14,9	34,9	31,0	27,3	4,1	28,9	24,8	20,5	46,2	43,0	37,0
e_z	0,4	0,8	0,6	0,6	1,3	1,1	0,9	0,8	1,4	1,2	1,1	2,1	1,9	1,7	0,5	1,8	1,5	1,2	2,8	2,6	2,2
e_y	6,0	10,3	7,8	9,0	12,4	8,6	9,7	3,9	13,3	4,3	12,7	16,4	5,9	14,6	6,8	17,8	6,3	16,6	21,6	7,7	19,3
v_x	2,0	13,8	11,4	9,0	23,1	20,1	17,1	3,4	22,0	18,1	14,6	36,8	31,9	27,5	3,3	30,2	25,0	20,3	48,8	43,9	37,2
v_y	1,1	8,1	1,8	7,8	9,9	2,6	10,6	1,4	12,8	2,5	12,4	15,4	3,9	16,9	1,5	17,9	3,3	17,1	19,9	5,4	23,1
v_z	1,2	16,1	12,1	9,1	24,7	21,0	16,9	1,7	23,6	19,1	14,5	39,2	33,4	27,2	2,2	32,4	26,3	20,4	61,8	46,1	36,9

### Beamforming

Beamforming využíva obdĺžnikovú zobrazovaciu rovinu za účelom presného výpočtu oneskorení akustických zvukových signálov vyžarovaných z rôznych zdrojov hluku k jednotlivým mikrofónom. Výpočet je vykonaný za predpokladu, že zobrazovacia rovina sa počas merania nepohybuje. Výsledkom rozdelenia zobrazovacej roviny na riadky a stĺpce je konečný počet zobrazovacích bodov a stred tejto oblasti je použitý na výpočet. Umiestnenie mikrofónového poľa od zdroja je vo vzdialenom poli, tzn. že mikrofónové pole sa umiestňuje vo vzdialenosti väčšej ako je veľkosť, resp. priemer použitého mikrofónového poľa. Rozsah frekvenčného pásma tejto metódy je 200 - 10000 Hz. Výhody tejto metódy sú rýchlosť, vhodnosť pre vysoké frekvencie a veľké objekty, z jedného merania je možné vytvorenie celej mapy a rôznych tvarov mikrofónového poľa. Hlavnou nevýhodou je nevhodnosť použitia tejto metódy pre nízke frekvencie.

### Akustická holografia

Táto metóda využíva meranie akustického tlaku mikrofónmi umiestnenými v obdĺžnikovom mikrofónovom poli. Mikrofóny sú umiestnené horizontálne aj vertikálne. Namerané hladiny akustického tlaku sú spätne transformované na skutočný povrch objektu. Pre výpočet sa používa Fourierova transformácia. Táto metóda je určená pre blízke pole teda oblasť, ktorá nie je vzdialená viac ako jednu alebo dve vlnové dĺžky s najvyššou frekvenciou. Vzdialenosť medzi mikrofónmi určuje polovičnú vlnovú dĺžku maximálnej frekvencie a veľkosť poľa určuje polovičnú vlnovú dĺžku minimálnej frekvencie. Rozsah frekvenčného pásma tejto metódy je 50 – 3000 Hz. Výhody tejto metódy sú presnosť, identifikácia malých zdrojov zvuku, nezávislosť rozlíšenia od frekvencie, kvantifikácia zdrojov zvuku. Zdokonalením metódy akustickej holografie blízkeho poľa je metóda štatisticky optimalizovaná holografia blízkeho poľa (SONAH). Táto metóda je odlišná od klasickej holografie blízkeho poľa tým, že nevyužíva priestorovú fourierovu transformáciu, ale spracovania prebieha priamo v priestorovej doméne. Nevýhody metódy sú, že táto metóda nie je použiteľná pre vyššie frekvencie, meraný povrch musí byť rovnobežný s plochou prenášanej roviny, veľkosť plochy meraného povrchu musí byť rovnaká ako plocha prenášanej roviny.

### Microflown

Princíp metódy spočíva v priamom meraní hladiny akustického tlaku a akustickej rýchlosti častíc. Mikrofónové pole sa umiestňuje v blízkosti meraného povrchu a je tvorené snímačmi akustického tlaku a snímačmi akustickej rýchlosti. Jedná sa o novú metódu, ktorej výhodou v porovnaní s predošlými popisovanými metódami je, že nie je potrebné predošlé získavanie informácií o akustickom poli. Rozsah frekvenčného pásma tejto metódy je 20 - 20000 Hz, čiže sa jedná o najširší rozsah v porovnaní s predošlými metódami.



## Zhodnotenie vizualizačných metód a výsledkov vizualizácie

Z uvedených výsledkov vizualizácie hluku je zrejmé, že najväčšie rozdiely sú pri nízkych frekvenciách t. j. 63 Hz a 125 Hz. V ostatných frekvenčných pásmach sú výsledky vizualizácie hluku jednotlivými zariadeniami takmer identické. Rozdiely pri nízkych frekvenciách sú zapríčinené hlavne tým, že metóda beamformingu je vhodná až pre frekvencie od cca 300 Hz.

Porovnaním jednotlivých akustických snímok a získaných frekvenčných spektier môžeme konštatovať:

- tvary frekvenčných spektier sú identické,
- dominantné frekvencie boli potvrdené zo všetkých pohľadov pri frekvenciách 63, 125, 400 – 630, 1000 Hz,
- hluk emitovaný vo frekvenčných pásmach 63, 125 a 315 Hz je generovaný bočným panelom a zadným krytom skrine práčky,
- ako zdroj hluku v oblasti frekvencií 315 Hz bola identifikovaná horná časť zadného krytu a spodná časť bočného panelu,
- v oblasti frekvencií 500 a 630 Hz je zvuk emitovaný zadnou časťou práčky hornej časti,
- pri frekvencii 1000 Hz je hluk emitovaný hlavne rámom dverí a spodnými časťami predného panelu,
- príspevky hluku v oblasti frekvencií nad 2500 Hz boli vyhodnotené ako nepodstatné,
- detailné merania realizované zariadením microflown potvrdzujú kritické miesta zistené meraniami pomocou beamformingu a akustickej holografie.

Zariadenia pre vizualizáciu a identifikáciu zdrojov hluku sú účinnými nástrojmi v oblasti analýzy zdrojov hluku. Výstupy z vizualizácie a identifikácie zdrojov hluku slúžia ako podklad pre vykonávanie opatrení pre zníženie hlučnosti. Azda najdôležitejšími parametrami uvedených zariadení je ich frekvenčný rozsah a meracia vzdialenosť. Kým zariadenia využívajúce beamforming sú vhodné pre vzdialenosti nad 1 m a frekvencie nad 300 Hz, zariadenia využívajúce princípy akustickej holografie blízkeho poľa sú použiteľné pre vzdialenosti niekoľkých cm a frekvencie cca 50 Hz. Aplikácia zariadení pre vizualizáciu hluku v oblasti domácich spotrebičov sa ukazuje ako veľmi efektívna a týmito metódami je možné odhaliť nedostatky a kritické miesta, ktoré zvyšujú celkovú hlučnosť domáceho spotrebiča. Identifikácia týchto kritických prvkov je kľúčovou pri následnom vykonávaní opatrení pre zníženie hlučnosti, čo si však vyžaduje úzku spoluprácu s konštruktérmi domácich spotrebičov.

### 3 Zoznam výstupov a prínosov projektu za posledný rok

Výstupy a prínosy riešenia projektu za rok 2017 sú uvedené vo formulári Výstupy a prínosy projektu za rok 2017.

### 4 Upresnenie harmonogramu prác a cieľov na nasledujúci rok

V roku 2018 riešiteľský kolektív na základe výsledkov a skúseností získaných v predchádzajúcich etapách riešení výskumne projektu sa zamerá na:

- návrh, vývoj a verifikáciu metodiky identifikácie dominantných a kritických zdrojov hluku domácich spotrebičov (01/2018 – 03/2018),
- výskum, vývoj a verifikácia metodiky pre stanovenie akustických vlastností materiálov aplikovateľných pre potreby redukcie hluku domácich spotrebičov:
  - experimentálne merania akustických vlastností vhodných materiálov (na báze recyklovateľných materiálov) pomocou impedančnej trubice, vyhodnotenie meraní,
  - experimentálne merania akustických vlastností vhodných materiálov (na báze recyklovateľných materiálov) pomocou PU regular sondy, vyhodnotenie meraní (04/2018 – 12/2018).

Potvrdzujeme, že údaje uvedené v správe a jej prílohách sú pravdivé a úplné.

**Zodpovedný riešiteľ**

**Štatutárny zástupca príjemcu**

**Dr.h.c. prof., Ing. Miroslav Badida, PhD.**

**prof., Ing. Stanislav Kmet', CSc.**

V        dd. mm. rrrr

V        dd. mm. rrrr

.....  
podpis zodpovedného riešiteľa

.....  
podpis štatutárneho zástupcu príjemcu