

Záverečná správa o riešení projektu

Názov projektu

Evidenčné číslo projektu

APVV-15-0327**Vyvoj a výskum metodík optimalizácie akustických vlastností 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 **31.12.2020**

ROZBOR RIEŠENIA PROJEKTU (max. 10 strán)

Uvedte podľa nasledujúcej záväznej osnovy:

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

↓↓

1 Postup prác pri riešení projektu za posledný rok/obdobie u príjemcu, ako aj spolupríjemcov podpory APVV vzhľadom na harmonogram riešenia projektu

Táto etapa riešenia projektu plynulo nadväzuje na predchádzajúce etapy riešenia. V rámci tejto etapy boli navrhnuté a verifikované metodiky optimalizácie akustických vlastností domácich spotrebičov. Metodiky boli navrhnuté na základe vykonaných analýz meraní hluku a vibrácií, vizualizácie hluku a psychoakustických parametrov. Boli identifikované kritické miesta viacerých výrobných skupín s hlavným zameraním na automatické práčky, bol vykonaný návrh rámcových možností redukcie hluku, návrh zlepšenia psychoakustických parametrov domácich spotrebičov, bola posúdená realizovateľnosť a efektívnosť navrhnutých opatrení z ekonomickeho, technického, environmentálneho a legislatívneho hľadiska. Následne na konkrétnom modeli automatickej práčky boli vykonané opatrenia na zníženie hlučnosti. Jednotlivé opatrenia boli aplikované na automatickú práčku a následne boli vykonané verifikačné merania na posúdenie účinnosti vykonaných úprav.

2 Rozbor výsledkov za celé obdobie riešenia vzhľadom na stanovené ciele

Riešitelia projektu sa vo svojej práci zamerali na:

- a) Komparáciu zariadení pre vizualizáciu hluku a možnosti ich využitia pri riešení výskumu hluku domácich spotrebičov.**

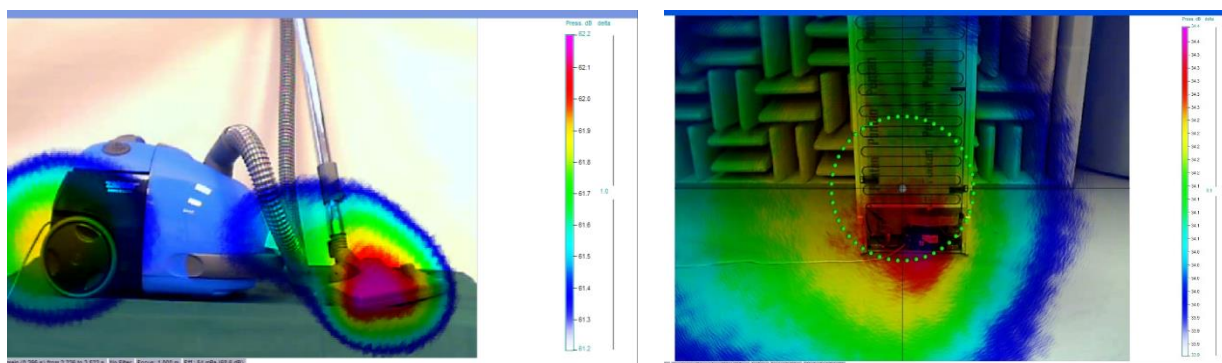
Riešitelia si osvojili prácu so špičkovou technikou zameranou na dynamickú vizualizáciu hluku a určili možnosti jej aplikácie pre potreby presnej identifikácie zdrojov hluku vybraných skupín domácich spotrebičov (práčka, vysávač). Bol zrealizovaný návrh a výroba testovacích prípravkov a prostriedkov pre vybranú skupinu spotrebičov. Bola vykonaná celá rada experimentálnych meraní špičkovým prístrojovým vybavením a to: akustickou kamerou HEAD acoustics (Obr. 1), Nois Inspector a Microflown v laboratórnych podmienkach. Merania boli následne vyhodnotené. Potvrdila sa vhodnosť využitia tohto prístrojového vybavenie pre riešenie daného problému. Tieto zariadenia pracujú na rôznych princípoch a na základe toho poskytujú aj rôzne výstupy: lokalizácia a identifikácia zdrojov hluku formou grafických výstupov, kvalitatívna a kvantitatívna analýza zdrojov hluku, komparačné merania kvality výrobkov, tvorba videí a vizualizácia zvuku v dynamickom režime, frekvenčné analýzy, generovanie spektier a spektrogramov, audio a video nahrávky zdrojov hluku.

b) Porovnanie vizualizačných metód a vhodnosti ich aplikácie pre potreby lokalizácie a identifikácie zdrojov hluku emitovaných domácimi spotrebičmi

Bola vykonaná celá rada experimentálnych meraní v špeciálnych podmienkach (v bezdovukovej komore) metódou Beamforming, metódou Sonar a metódou Microflown. Všetky uvedené použité metódy sa ukazujú ako vhodné pre vizualizáciu zdrojov zvuku domácich spotrebičov, v závislosti od ich veľkosti a charakteru emitovaného zvuku.

c) Návrh, vývoj a verifikácia metodiky identifikácie a lokalizácie dominantných a kritických zdrojov hluku domácich spotrebičov

Riešiteľmi projektu bola navrhnutá a verifikovaná metodika identifikácie a lokalizácie dominantných zdrojov hluku domácich spotrebičov. Navrhnutá metodika využíva možnosť vizualizácie zdrojov hluku. Princípom vizualizácie hluku je ukázať súvislosť medzi počutým a videným a lokalizovať a identifikovať jednotlivé zdroje hluk produktu.



Obr. 1 Vizualizácia zvuku

d) Výskum, vývoj metodiky a verifikácia metodiky pre stanovenie akustických vlastností materiálov aplikovateľných pre potreby redukcie hluku domácich spotrebičov

Na základe dlhoročných skúseností s oblasti akustiky, riešitelia projektu vykonali celý rad experimentálnych meraní zameraných na výskum akustických vlastností materiálov (na báze recyklovaných materiálov) pomocou Impedančnej trubice a tiež PU regulár sondy. Na základe týchto meraní bola navrhnutá a verifikovaná metodika stanovenia akustických vlastností materiálov vhodných pre potreby redukcie nežiadúceho hluku domácich spotrebičov.

e) Vytvorenie databázy materiálov a ich akustických vlastností aplikovateľných v domácich spotrebičoch za účelom zníženia hluku.

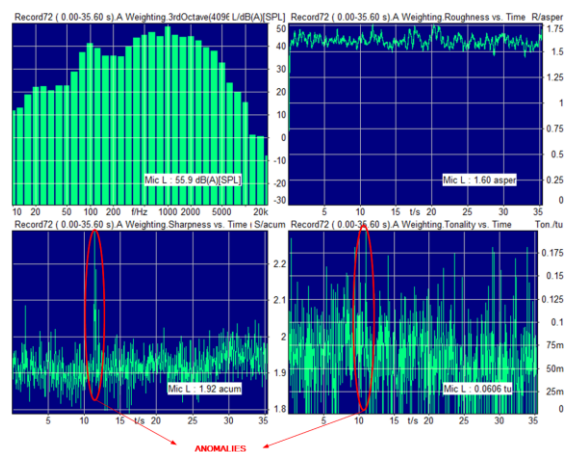
Na základe dlhoročných skúseností riešiteľov projektu z výskumu materiálov, ktoré by bolo možné označiť za akusticky vhodné bola vytvorená databáza akusticky vhodných materiálov.

f) Návrh , vývoj a verifikácia metodiky stanovenia psychoakustických parametrov domácich spotrebičov

Výsledky psychoakustickej analýzy ukazujú charakteristiky podobné ľudskému sluchu a ponúkajú možnosti objektívneho zhodnotenia kvality zvuku. Najefektívnejším nástrojom na psychoakustické meranie a analýzu je binaurálna technika merania - umelá hlava (Obr. 2). Umelá hlava sa používa na meranie a hodnotenie psychoakustických vlastností a kvality zvuku. Klasická technika merania dokáže zhodnotiť väčšinou kvantitatívne parametre zvuku. Technológia binaurálneho merania dokáže zhodnotiť aj kvalitatívne parametre zvuku, ako sú ostrosť, drsnosť, tonalita, kolísanie atď., parametre ktoré sú veľmi špecifické pre ľudské vnímanie (Obr. 3).



Obr. 2 Psychoakustická hlava



Obr. 3 Výstupy z merania psychoakustických parametrov

Aplikačné možnosti využitia výsledkov binaurálnych meraní sú široké a to hlavne: poznanie kvality zvuku produktov, binaurálne merania zvuku pri vývoji produktov a optimalizácia zvuku produktov - zvukový dizajn.

Na základe poznatkov z viacročných štúdií predmetnej problematiky, ale aj získaných skúseností, znalostí a samotných výsledkov z vykonaných psychoakustických experimentov počas riešenia projektu bola riešiteľmi projektu navrhnutá metodika posudzovania kvality zvuku produktov psychoakustickými metódami.

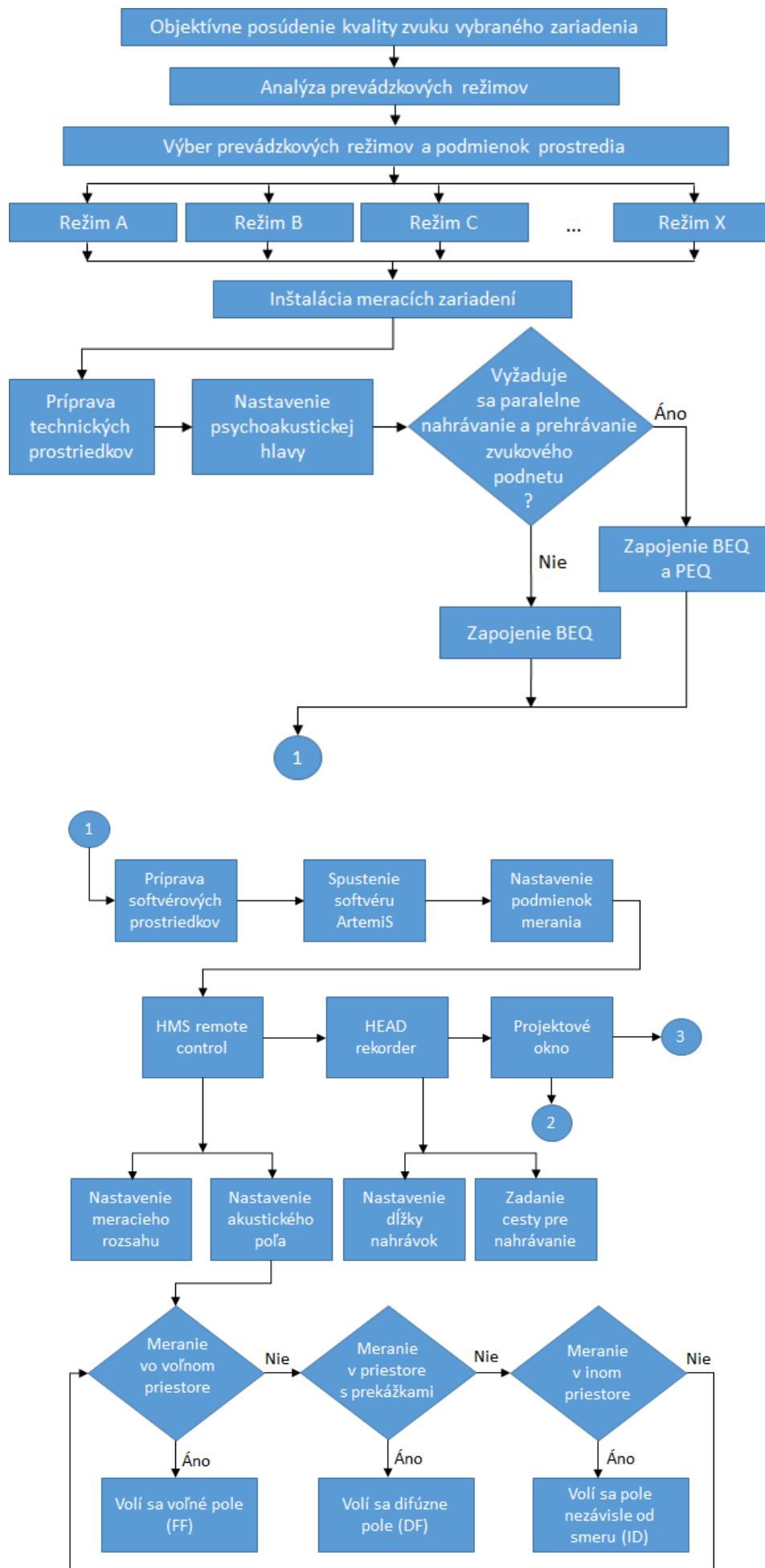
Navrhnutá metodika posudzovania kvality zvuku pozostáva z:

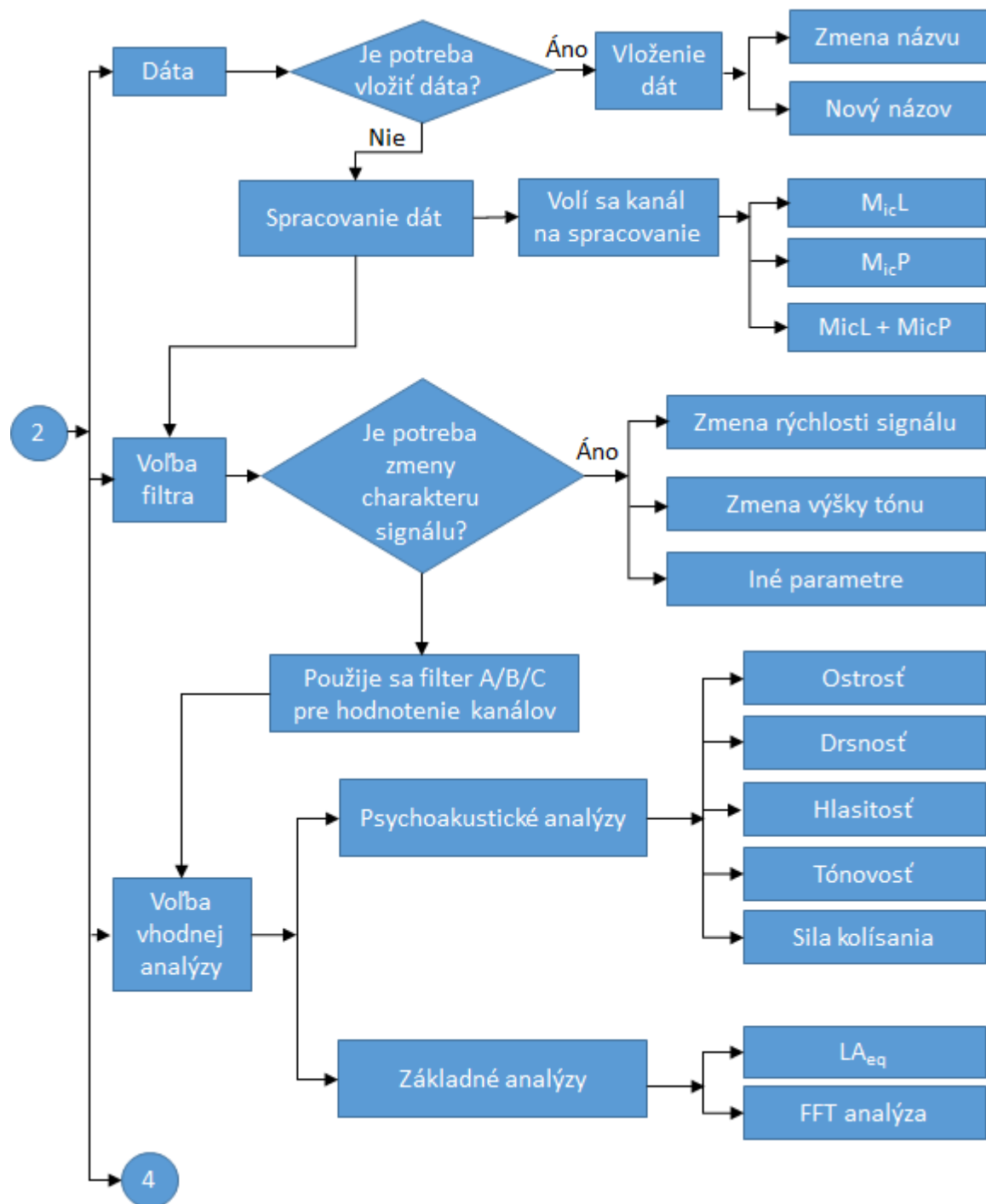
- objektívneho posúdenia kvality zvuku,
- subjektívneho posúdenia kvality zvuku,
- korelácie subjektívneho a objektívneho posúdenia zvuku,
- stanovenia indexu kvality zvuku (IKZ) produktov.

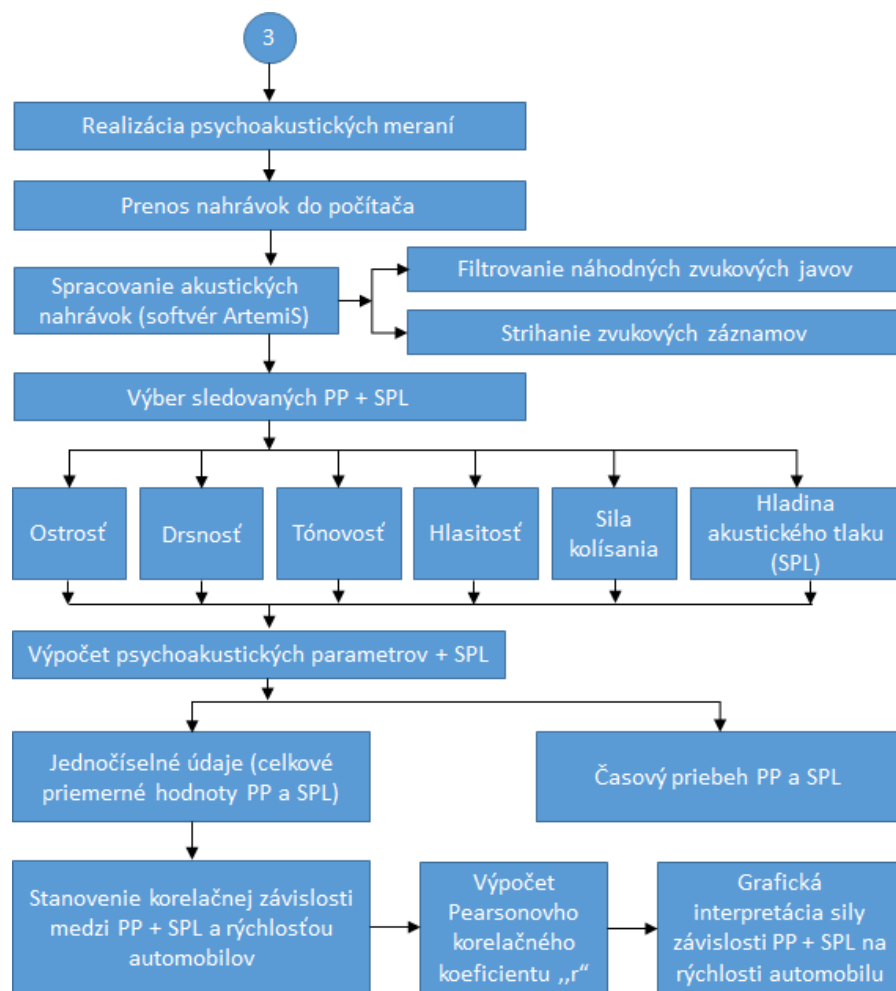
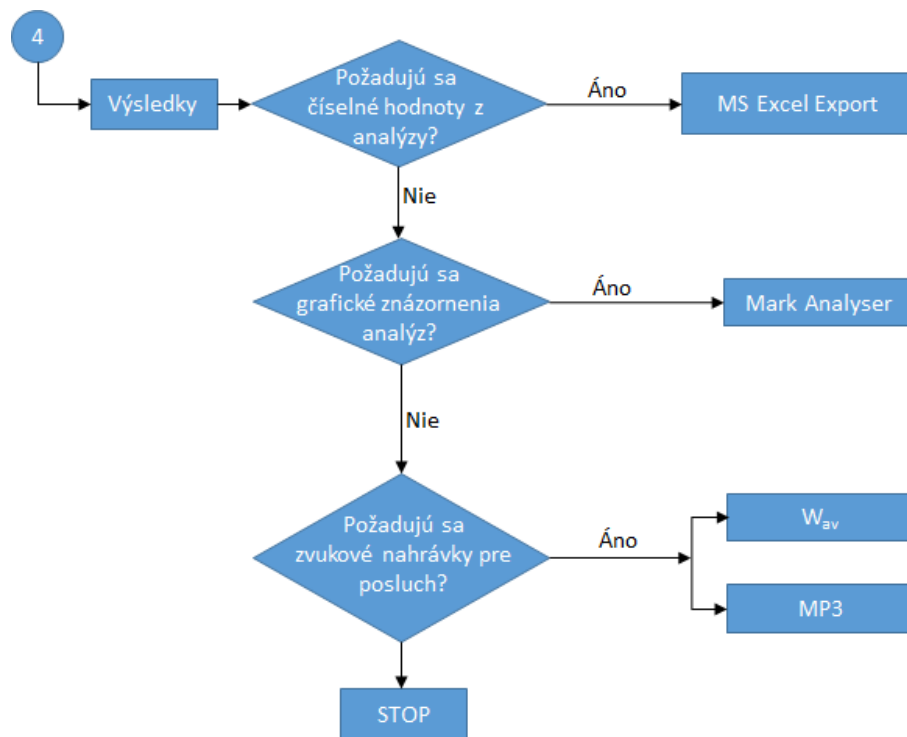
Navrhnutá metodika objektívneho posudzovania kvality zvuku v domácich spotrebičov je prehľadne uvedená na Obr. 4.

g) Vývoj a verifikácia metodiky optimalizácie akustických vlastností domácich spotrebičov

Riešitelia projektu navrhli a verifikovali metodiku optimalizácie akustických vlastností domácich spotrebičov, ktorá pozostáva z identifikácie kritických miest, návrhu rámcových možností redukcie hluku, návrhu možností lepšenia psychoakustických parametrov domácich spotrebičov, poudenia realizovateľnosti a efektívnosti navrhnutých opatrení z ekonomického, technického, environmentálneho a legislatívneho hľadiska.



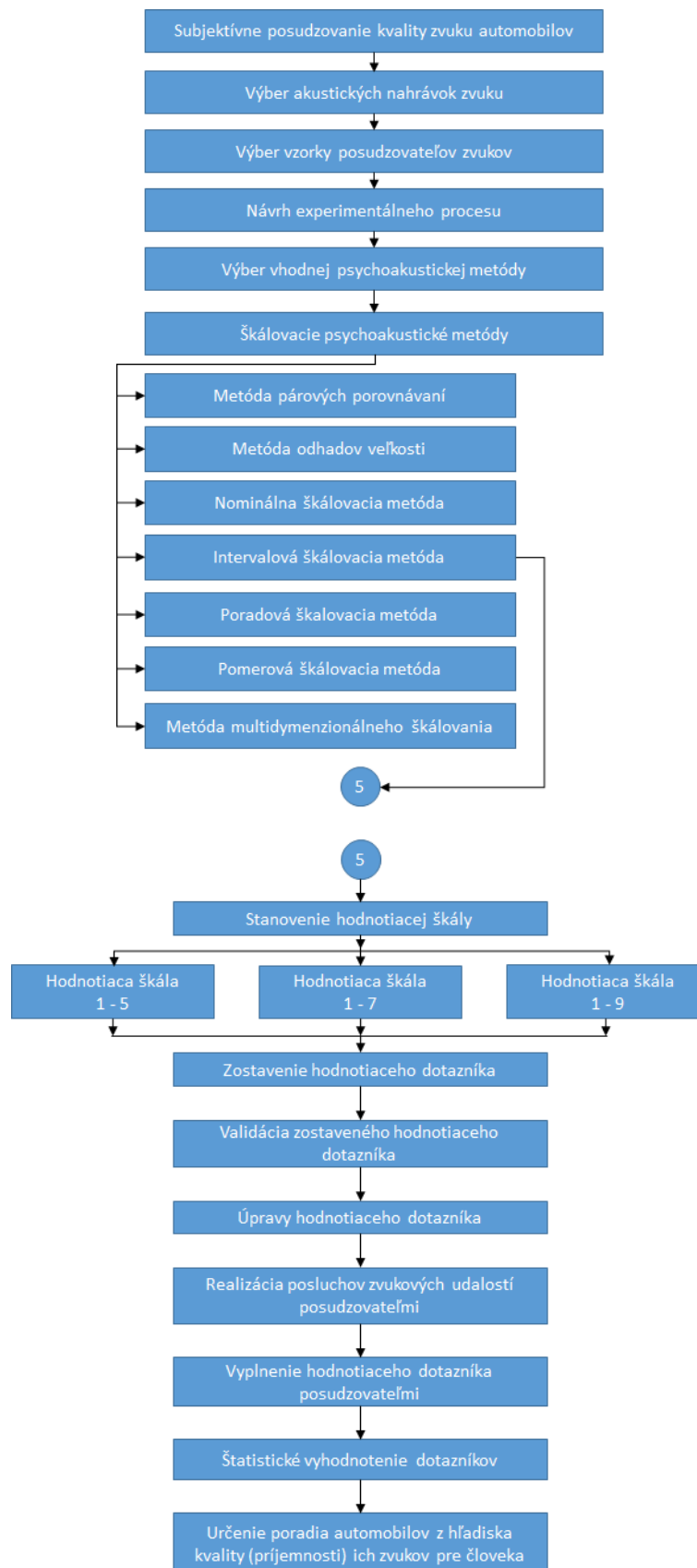




Obr. 4 Metodika objektívneho posudzovania kvality zvuku

Návrh metodiky subjektívneho posudzovania kvality zvuku

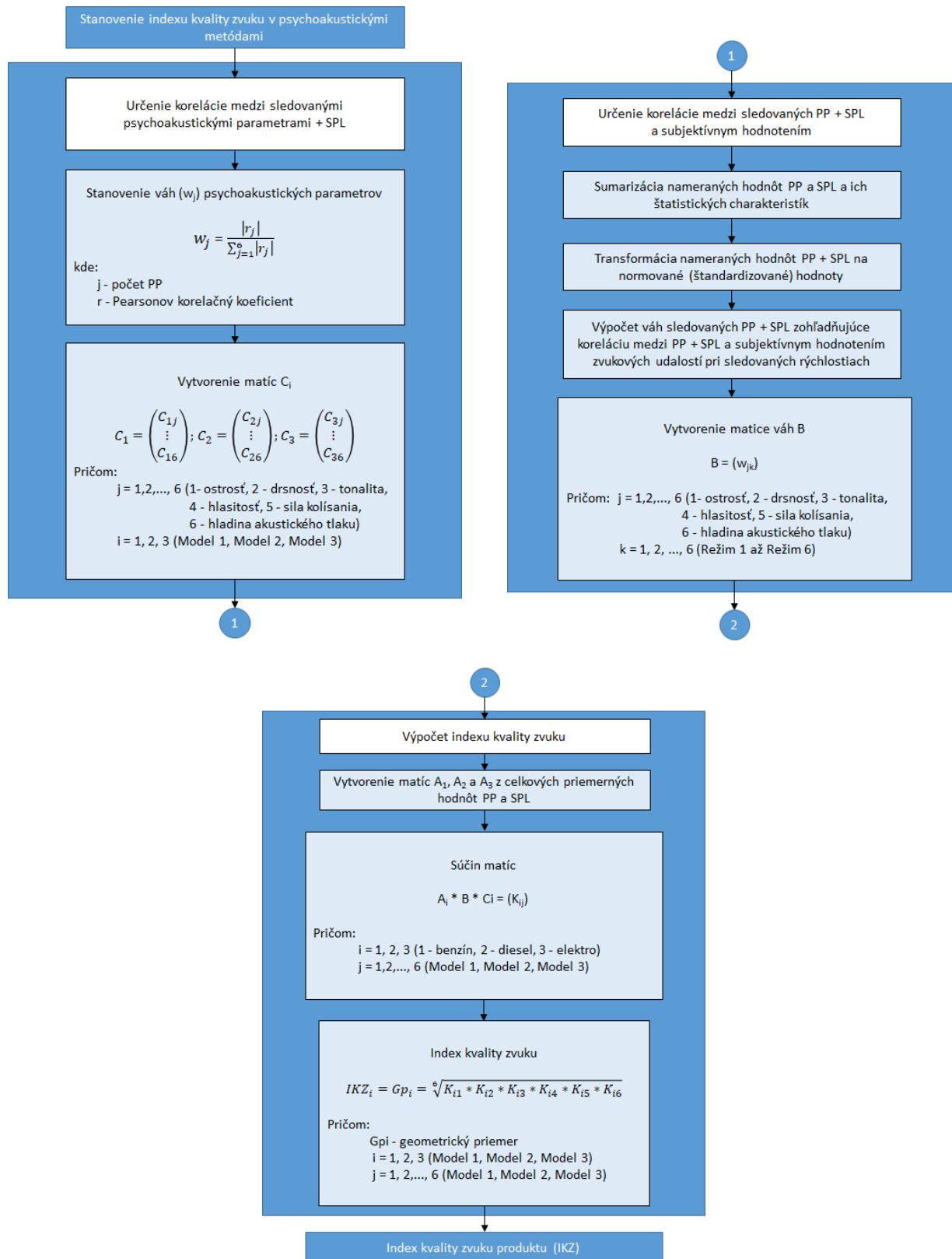
Navrhnutá metodika subjektívneho posudzovania kvality zvuku produktov je prehľadne uvedená na Obr. 5.



Obr. 5 Metodika subjektívneho posudzovania kvality zvuku

Stanovenie indexu kvality zvuku (IKZ)

Pre stanovenie indexu kvality zvuku (IKZ) produktov sa využívajú parciálne výsledky získané z procesu objektívneho a subjektívneho posudzovania kvality zvuku. Metodika stanovenia indexu kvality zvuku (IKZ) je uvedená na Obr. 6.



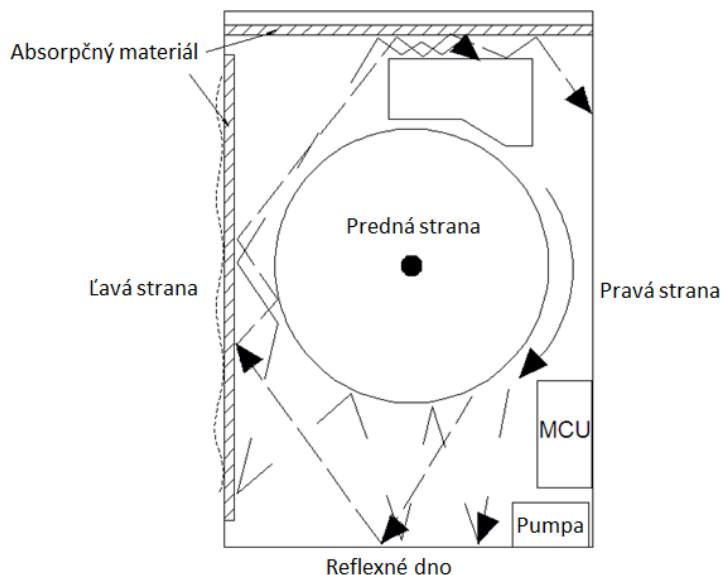
Obr. 6 Stanovenie indexu kvality zvuku produktov

h) Návrh technických riešení smerujúcich k optimalizácii akustických vlastností produktov, aplikácia navrhnutých metodík v praxi

Na základe vykonaných meraní a analýz na konkrétnom modeli automatickej práčky (Obr. 7) boli navrhnuté opatrenia na zníženie emisií hluku tohto zariadenia.

Po vykonaní analýz merania konkrétneho modelu automatickej práčky bol ako kritický prvok identifikovaná ľavá strana práčky, ktorá sa vyznačuje zvýšenými emisiami hlučnosti a vibrácií.

Zníženie hlučnosti vychádzajúce z ľavej strany automatickej práčky



Obr. 7 Prúdenie vzduchu vo vnútri práčky

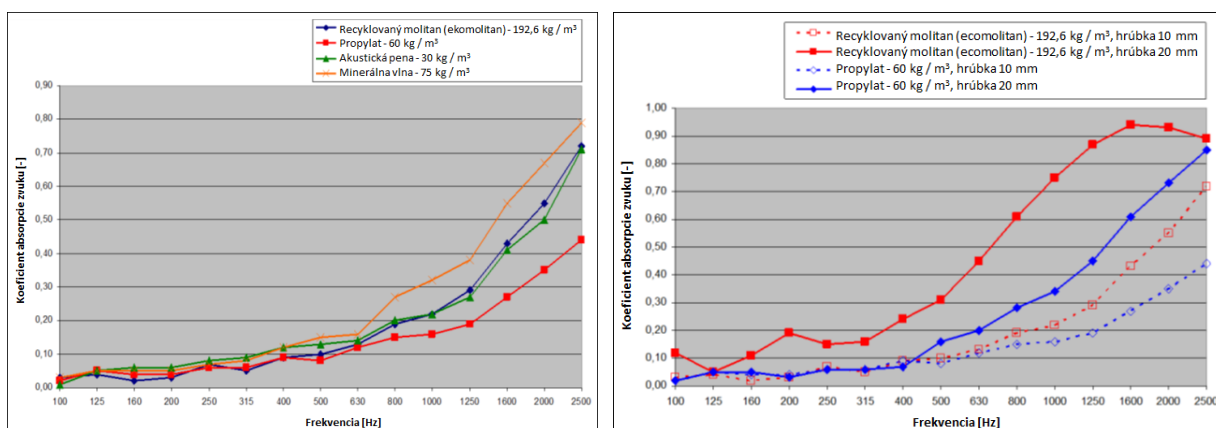
Ako jedna z možných príčin zvýšenej hlučnosti automatickej práčky bolo zistené prúdenie vzduchu vo vnútornom priestore práčky, čo je spôsobené rotáciou bubna v práčke. Zvukové vlny generovaná rotáciou bubna sa odrážajú od odrazivého dna a narážajú na ľavú bočnú stranu práčky.

Druhou z možných príčin zvýšenej hlučnosti je vplyv tlmičov bubna, keďže na pravej strane sú dva tlmiče a na ľavej strane iba jeden. Z tohto dôvodu sa na ľavú stranu práčky prenáša viacej vibrácií, čo bolo aj potvrdené meraniami vibrácií.

Navrhnuté riešenia:

1. Aplikácia akustických pohltivých materiálov na dno práčky.
Bolo zvolených niekoľko materiálov, ktorých vlastností boli posúdené meraniami na impedančnej trubici.

V nasledujúcom grafe sú uvedené akustické vlastnosti materiálov s hrúbkou 10 mm štyroch rôznych vzoriek (Obr. 8). V nasledujúcom grafe sú uvedené akustické vlastnosti materiálov s hrúbkou 10 mm a 20 mm a ich porovnanie.



Obr. 8 Akustické vlastnosti materiálov s hrúbkou 10 a 20 mm štyroch rôznych vzoriek

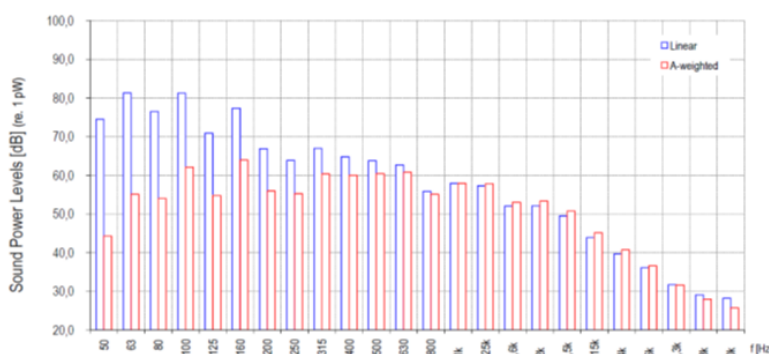
Na základe uvedených meraní a zváženia ekonomickej efektívnosti bol ako tlmiaci materiál zvolený recyklovaný molitan s hrúbkou 10 mm.

2. Výmena tlmičov na ľavej strane práčky.
Na ľavej strane práčky bol vymenený tlmič (Obr. 9) s cieľom znížiť vibrácie prenášané do ľavej časti práčky.



Obr. 9 Tlmič práčky

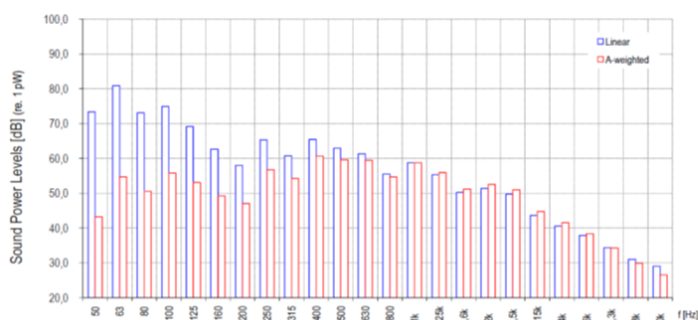
Pre posúdenie účinnosti vykonaných úprav pre zníženie hlučnosti boli vykonané merania akustického výkonu po realizácii úprav na zníženie hlučnosti podľa platných noriem. Tieto merania boli porovnané s meraniami akustického výkonu automatickej práčky pre realizáciou úprav. Výsledky meraní sú uvedené na Obr. 10 a Obr. 11.



Akustický výkon $L_w = 86,3$ dB
A - Vážený akustický výkon $L_w = 70,9$ dB

f [Hz]	$L_{w,f}$	$L_{wA,f}$
50	74,5	44,3
63	81,3	55,1
80	76,5	54,0
100	81,2	62,1
125	70,9	54,8
160	77,4	64,0
200	66,9	56,0
250	63,9	55,3
315	67,0	60,4
400	64,8	60,0
500	63,8	60,5
630	62,7	60,8
800	55,9	55,1
1k	57,9	57,9
1,25k	57,3	57,9
1,6k	52,1	53,1
2k	52,1	53,3
2,5k	49,5	50,8
3,15k	43,9	45,1
4k	39,7	40,7
5k	36,1	36,6
6,3k	31,7	31,6
8k	29,1	28,0
10k	28,2	25,7

Obr. 10 Výsledky merania akustického výkonu práčky - pôvodný stav



Akustický výkon $L_w = 83,5$ dB
A - Vážený akustický výkon $L_w = 68,3$ dB

f [Hz]	$L_{w,f}$	$L_{wA,f}$
50	73,4	43,2
63	80,9	54,7
80	73,1	50,6
100	74,9	55,8
125	69,2	53,1
160	62,7	49,3
200	58,0	47,1
250	65,4	56,8
315	60,8	54,2
400	65,5	60,7
500	63,0	59,7
630	61,3	59,4
800	55,5	54,7
1k	58,8	58,8
1,25k	55,4	56,0
1,6k	50,2	51,2
2k	51,4	52,6
2,5k	49,7	51,0
3,15k	43,7	44,9
4k	40,6	41,6
5k	37,9	38,4
6,3k	34,4	34,3
8k	31,0	29,9
10k	29,1	26,6

Obr. 11 Výsledky merania akustického výkonu práčky - stav po realizácii úprav

Z uvedených meraní je zrejmé, že došlo k zníženiu akustického výkonu riešeného modelu automatickej práčky o 2,8 dB a A - váženého akustického výkonu o 2,6 dB. Toto zníženie vzhľadom na vykonané úpravy pokladáme za primerané z pohľadu technickej aj ekonomickej náročnosti.

3 Zoznam výstupov a prínosy projektu za posledný rok

Výstupy a prínosy riešenia projektu za rok 2020 sú uvedené vo formulári Výstupy a prínosy projektu za rok 2020.