

# Textilný odpad z automobilového priemyslu ako východzí materiál pre výrobu zvukovo izolačných produktov

**Miroslav BADIDA, Tibor DZURO, Kristián PÁSTOR, Lýdia SOBOTOVÁ,  
Marek MORAVEC, Miriama PIŇOSOVÁ**

Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra riadenia podniku a inžinierstva prostredia, Park Komenského 5, 042 00 Košice, Slovensko  
e-mail: miroslav.badida@tuke.sk, tibor.dzuro@tuke.sk, kristian.pastor@tuke.sk,, lydia.sobotova@tuke.sk, marek.moravec@tuke.sk, miriama.pinosova@tuke.sk

## Súhrn

Príspevok je zameraný na možnosť využitia materiálov z komponentov z automobilov po ich životnosti. Dôraz je kladený na problémové komponenty z pohľadu ich recyklácie, respektíve materiálového zhodnotenia. Pozornosť sa sústreďuje na textilný odpad z automobilov. Skúmajú sa vybrané akustické deskriptory, ktoré by mohli predpovedať použitie takejto druhotnej suroviny ako vhodného materiálu pre rôzne aplikácie redukcie hluku. Analyzujú sa kompaktné a voľne sypké materiály.

**Kľúčové slová:** textilný odpad, automobilový priemysel, protihlukový panel, impedančná trubica.

## Úvod

Rozvoj automobilového priemyslu v Slovenskej republike a v Európe je kľúčový pre celkový rozvoj a prosperitu spoločnosti<sup>1</sup>. Na Slovensku sa automobilový priemysel vďaka štyrom (v budúcnosti až piatim) finálnym výrobcam prepracoval na prvú priečku v rámci jednotlivých odvetví priemyslu. Na druhej strane sa to však spája aj s negatívami, ktoré sa spájajú s počtom starých vozidiel a konvenčným prístupom (selektívna a úplná demontáž) k nakladaniu s týmito vozidlami po dobe ich životnosti<sup>2</sup>.

Z dôvodu zhodnotenia alebo znovu použitia materiálov, ktoré sa nachádzajú vo vozidlách po dobe ich životnosti boli vyvinuté rôzne spracovateľské a demontážne techniky<sup>3</sup>. Problém predstavujú materiály, pre ktoré neexistujú, alebo existujú iba v obmedzenom množstve technologické prevádzky na ich spracovanie. Je potrebné zamerať sa na ich zhodnocovanie so zreteľom na aplikáciu do nových materiálov a uplatnení vzniknutých recyklátov, napríklad do zvukovo a tepelno izolačných produktov a pod. Tým by sa mohla zlepšiť kvalita životného prostredia a ochrana jeho jednotlivých zložiek<sup>4</sup>.

Riešitelia výskumného projektu sa vo svojej práci zamerali na vytypovanie problémových odpadov z hľadiska ich ďalšieho zhodnocovania z automobilov. Dôraz sa kladie na návrh metodiky merania akustických deskriptorov sypaných materiálov a na výskum vybraných akustických deskriptorov vytypovaných kompaktných a sypaných materiálov. Pozornosť sa sústreďuje na vývoj a výrobu prípravkov a zariadenia pre potreby merania akustických deskriptorov sypaných materiálov. Rozsiahla je aj experimentálna časť zameraná na aplikácie a predikciu využitia vybraných problémových odpadov z hľadiska ich zhodnocovania (v kompaktnej a sypanej forme), ako aj na vyhodnotenie vykonaných experimentov s využitím regresnej a korelačnej analýzy do zvukovo izolačných produktov<sup>3</sup>.

## Potenciálne problémové komponenty (materiály) vozidiel po dobe ich životnosti

Analyzovanie procesov, ktoré vychádzajú z recyklácie vozidiel a hodnotenie stavu zhodnocovania a spracovania odpadov z vozidiel po dobe životnosti je dôležité z hľadiska vytvorenia počiatkovej bázy informácií o materiáloch<sup>1</sup>. Tieto informácie sú nevyhnutné pre ďalšie výskumné aktivity, ktoré sú smerované k hľadaniu nových techník zhodnocovania odpadov a k minimalizácii ich negatívnych dopadov na životné prostredie.

Úroveň spracovania viacerých materiálov sa dosahuje v množstve prípadoch iba zvýšením energetického zhodnotenia<sup>5</sup>. Na obrázku 1 sú prezentované základné materiály z ktorých je vozidlo zložené.



Obrázok 1: Základné komponenty vozidla<sup>10</sup>

Zelenú farbu predstavujú materiály, pre ktoré sú zriadené technologické pracoviská na ich spracovanie a červenou farbou sú označené materiály, ktoré sú problémové z hľadiska ich spracovania (recyklácie, resp. zhodnocovania).

Pre viacvrstvové sklo, koberce, textílie, tapacíry, svietidlá izolačné materiály, molitany, hadice, palubné dosky a plasty nie sú dostupní odberatelia alebo recyklačné spoločnosti, kde by fungovali technologické prevádzky.

Autori príspevku sa vo svojej práci zamerali na výskum možnosti využitia rôznych textílií aplikovaných v automobile za účelom využitia recyklátov týchto textílií pre potreby vývoja akusticky vhodných materiálov so širokou možnosťou uplatnenia.

### Textil použitý na výskum

Textilný materiál, ktorý bol použitý na výskum bol poskytnutý spoločnosť Stered PR Krajné, s.r.o., Krajné vo forme:

- kompaktného panelu z materiálov z automobilov zlepených a zlisovaných (obrázok 2),
- sypaného materiálu, ktorý tvorili homogenizované časti textílií z kobercov a poťahov rozstrihané alebo roztrhnuté na menšie frakcie (obrázok 3).



Obrázok 2: Kompaktný textilný materiál



Obrázok 3: Rozstrihaný textilný materiál

## Návrh metodiky merania akustických deskriptorov sypaných materiálov

Na meranie vybraných akustických deskriptorov (Koeficientu zvukovej pohltivosti a Indexu útlmu)<sup>6, 7</sup> bola použitá impedančná trubica BSWA TECH SW433 (Výrobca: BSWA Technology Co., Ltd., Peking, Čína) pomocou metódy transformačnej funkcie, ktorá je v súlade s normou STN EN ISO 10534-2<sup>8</sup>.

Pracovisko autorov je vybavené takouto špičkovou meracou technikou. Pohľad na meracie zariadenie sa uvádza na obrázku 4.



Obrázok 4: Impedančná trubica<sup>9</sup>

Autori príspevku sa nevenovali návrhu metodiky merania „Koeficientu zvukovej pohltivosti ( $\alpha$ )“ a „Indexu útlmu (R)“ sypkých materiálov pomocou uvádzanej trubice. Bola navrhnutá originálna metodika merania akustických deskriptorov sypaných materiálov rôznych frakcií (voľne sypaných, respektíve pod určitým tlakom). Navrhnutá metodika je detailne prezentovaná v práci<sup>5</sup>.

Pre potreby aplikovania autormi navrhnutej metodiky boli navrhnuté testovacie kazety a zariadenie na merané plnenie testovacích kaziet sypanými materiálmi.

## Vývoj a výroba prípravkov a zariadenia pre potreby merania akustických deskriptorov sypaných materiálov

Na začiatku riešenia tejto problematiky, bolo potrebné vyriešiť, ako merať vybrané akustické deskriptory pre sypané materiály v impedančnej trubici, nakoľko ich nie je možné voľne do zariadenia umiestniť. V nadväznosti na rozšírenie týchto možností boli autormi vyvinuté a vyrobené testovacie kazety na rozšírenie možností merania sypaných materiálov v impedančnej trubici<sup>10</sup>. Testovacie kazety boli vyrobené na obrábacom CNC stroji a to v piatich dĺžkach – 25, 50, 75, 100 a 125 mm (obrázok 5).

Kazety sú zložené z vonkajšieho závitú na jednej strane a z vnútorného závitú na druhej strane. Uzavreté sú perforovaným sitom, ktorý tvorí najdôležitejšiu časť, nakoľko bráni vysypaniu materiálu z kazety<sup>11</sup>.



Obrázok 5: Vyvinuté testovacie kazety<sup>11</sup>



Obrázok 6: Zariadenie na merané plnenie testovacích kaziet<sup>12</sup>

Navrhnutému riešeniu kaziet na rozšírenie možností merania sypkých materiálov v impedančnej trubici bol udelený Úradom priemyselného vlastníctva Slovenskej republiky úžitkový vzor pod číslom dokumentu 9662<sup>11</sup>.

V nadväznosti na testovacie kazety bolo vyvinuté aj zariadenie na merané plnenie testovacích kaziet sypanými materiálmi, ktoré rozšírilo možnosti merania vybraných akustických deskriptorov recyklovaných sypaných materiálov z vozidiel po dobe životnosti. Zariadenie umožňuje vyvinúť rôzne tlaky na sypaný materiál, a tak dosiahnuť rôznu pórovitosť v materiáli. Následne je možné vyhodnotiť vplyv pórovitosti vo vybranom materiáli na jeho akustické vlastnosti – Koefficient zvukovej pohltivosti ( $\alpha$ ) a Index útlmu (R). Na obrázku 6 je znázornené zariadenie na merané plnenie testovacích kaziet sypanými materiálmi.

Vyvinutému zariadeniu na merané plnenie testovacích kaziet sypaným materiálom bol udelený Úradom priemyselného vlastníctva Slovenskej republiky úžitkový vzor pod číslom dokumentu 9665<sup>12</sup>.

Zariadenie je vytvorené z hliníka a kryt tvorí oceľový plech. Má rozmery 410 x 754 x 414 mm a hmotnosť 15 kilogramov. Odporúčaný pracovný cyklus zariadenia je 15 minút za hodinu a hlučnosť nameraná vo vzdialenosti 30 cm od zariadenia je 50 dB. Princíp zariadenia spočíva v tom, že kazeta sa spolu s nasýpaným materiálom vloží do strediaceho krúžku a pomocou lineárneho piestu dochádza k lisovaniu materiálu vo vnútri kazety. Hodnota stlačenia v kilogramoch sa odčítava z ovládacieho prvku, pričom rozsah zariadenia je od 100 g do 200 kg.

## Výskum akustických deskriptorov vybraného problémového materiálu z hľadiska jeho ďalšieho zhodnocovania (v kompaktnej a sypanej forme)

Experiment merania bol vykonávaný v laboratóriu na Katedre riadenia podniku a inžinierstva prostredia, Strojníckej fakulty, Technickej univerzity v Košiciach. Teplota prostredia v laboratóriu počas merania bola 22 °C a hodnota tlaku bola 99 500 Pa. Na meranie vzoriek bola použitá impedančná trubica BSWA TECH.

Experimentálne vzorky boli pripravené z recyklovaného materiálu z vozidiel po dobe životnosti: recyklovaná textília v kompaktnej a sypanej forme (strihaná frakcia).

Vzorky so sypaným recyklovaným textilom (obrázok 7) boli zhotovené v troch hrúbkach 20 mm, 45 mm a 70 mm.



Obrázok 7: Sypaný recyklovaný textil v troch hrúbkach<sup>10</sup>

Každá sypaná vzorka bola zhotovená v 4 prevedeniach, a to: voľne sypaná, stlačená pod tlakom 50 kg, 100 kg a 150 kg.

Po nasypaní materiálu do kazety sa vzorka upevnila na strediaci krúžok a po zapnutí riadiacej jednotky sa elektrickým lineárnym piestom vyvíjal potrebný tlak na zhutnenie tohto materiálu. Po vybratí vzorky zo zariadenia, bola vzorka uzatvorená perforovaným sitom testovacej kazety a znovu odvážená.

Kompaktné vzorky vyrobené a z textilu (Obrázok 8) z vozidiel po dobe životnosti, boli vyrezané taktiež v troch hrúbkach 20 mm, 45 mm a 70 mm, všetky z priemerom 60 mm.



Obrázok 8: Kompaktný materiál z recyklovaného textilu v troch hrúbkach<sup>10</sup>

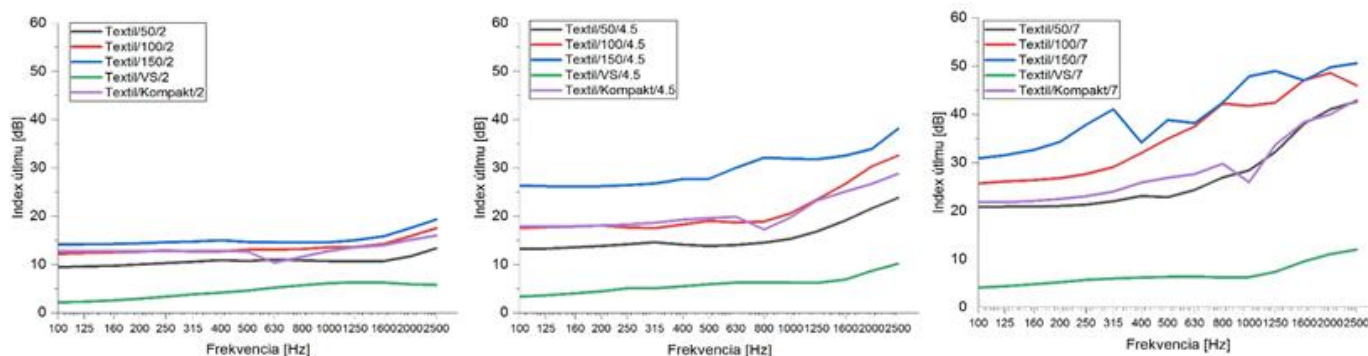
V nasledovnej tabuľke 1 sú uvádzané základné informácie o vzorkách z recyklovaného textilného materiálu z vozidiel po dobe životnosti, ktoré boli použité na meranie vybraných akustických deskriptorov – Koeficientu zvukovej pohltivosti ( $\alpha$ ) a Indexu útlmu (R).

Tabuľka 1: Základné údaje o vzorkách z recyklovaného textilu

Materiál	Frakcia [mm]	Akustický parameter		Tlak [kg]	Hmotnosť [g]	Hrúbka vzorky [cm]	Priemer vzorky [cm]
Vzorka č. 1	-	$\alpha$	R	50	11,6 g	20 mm	6
					18,8 g	45 mm	6
					37,1 g	70 mm	6
				100	13,6 g	20 mm	6
					23,1 g	45 mm	6
					44,5 g	70 mm	6
				150	14,9 g	20 mm	6
					28,8 g	45 mm	6
					51,8 g	70 mm	6
				Voľne sypaná	8,4 g	20 mm	6
9,2 g	45 mm	6					
17,5 g	70 mm	6					
Vzorka č.2 – kompaktný materiál	-	$\alpha$	R	-	10 g	20 mm	6
					18,3 g	45 mm	6
					30 g	70 mm	6

## Vyhodnotenie vykonaných experimentov pomocou regresnej a korelačnej analýzy

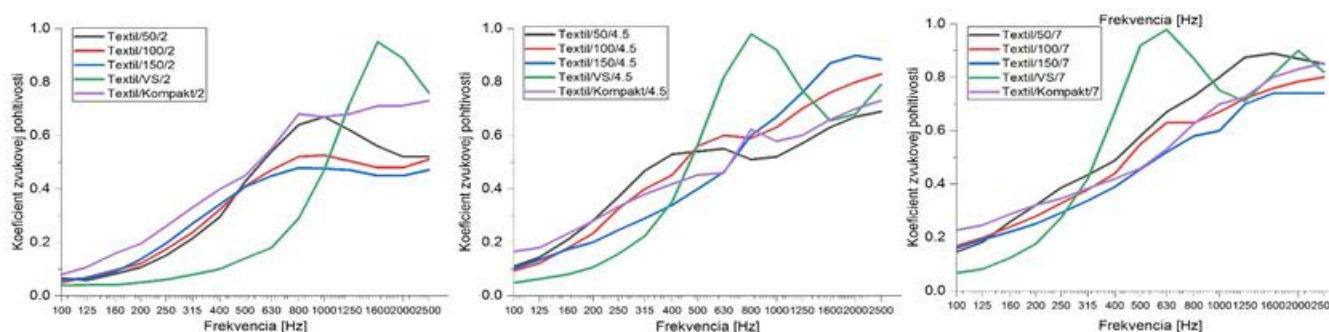
V tejto časti príspevku sú prezentované výsledky vykonaných meraní vybraných akustických deskriptorov „Koeficientu zvukovej pohltivosti ( $\alpha$ )“ a „Indexu útlmu (R)“. V rámci experimentálnej práce bolo vykonaných 5250 meraní, čo možno označiť za významnú experimentálnu vzorku<sup>13</sup>. Grafické znázornenie nameraných hodnôt Indexu útlmu (R) pre vzorky recyklovaného textilu na obrázku 9 a Koeficientu zvukovej pohltivosti ( $\alpha$ ) pre vzorky recyklovaného textilu na obrázku 10.



Legenda: Textil/50/2 – Textil/tlak/hrúbka vzorky

Obrázok 9: Grafické znázornenie nameraných hodnôt Indexu útlmu (R) pre vzorky recyklovaného textilu o hrúbke 20 mm, 45 mm a 70 mm





Legenda: Textil/50/2 – Textil/tlak/hrúbka vzorky

**Obrázok 10: Grafické znázornenie nameraných hodnôt Koeficientu zvukovej pohltivosti ( $\alpha$ ) pre vzorky recyklovaného textilu o hrúbke 20 mm, 45 mm a 70 mm**

## Diskusia

Z obrázku 9 možno usúdiť, že testované vzorky z recyklovaného textilu s rastúcou hrúbkou vykazovali priaznivejšie hodnoty Indexu útlmu (R). Najvyššie hodnoty boli dosiahnuté práve pri vzorke o hmotnosti 51,8 g a tlaku 150 kg. Index útlmu sa pohyboval v intervale od 30 dB do 50 dB. Priaznivé hodnoty boli pri práve pri vyšších frekvenciách (od 800 až 2500 Hz). Vzorky s voľne sypaným materiálom vykazovali najhoršie hodnoty Indexu útlmu. Potvrdil sa fakt, že dôležitú úlohu pre dosiahnutie priaznivých hodnôt Indexu útlmu zohráva aj okrem iného aj špecifická hmotnosť použitého materiálu. Kompaktný materiál, tvorený recyklovaným textilom a pojivom, vykazoval horšie výsledky, ako materiál stlačený pod tlakom 50, 100 a 150 kg. Na základe vykonaných experimentov možno konštatovať, že materiál – voľne sypaný recyklovaný textil nevykazuje priaznivé hodnoty Indexu útlmu a preto takáto aplikácia napr. v protihlukových stenách je problematická. Recyklovaný textilný materiál stlačený pod určitým tlakom je už vhodnejší pre takéto aplikácie. Index útlmu sa pohybuje v intervale od 40 do 50 dB pri frekvenciách od 1000 Hz, čo sú charakteristické práve pre dopravný hluk.

Na základe výsledkov, z meraní uvedených na obrázku 10, možno konštatovať, že Koeficient zvukovej pohltivosti ( $\alpha$ ) má lineárne rastúci charakter pri všetkých testovaných vzorkách. Najlepšie hodnoty boli namerané pri vyšších frekvenciách, od 800 Hz a viac. Výborné hodnoty Koeficientu zvukovej pohltivosti boli namerané pri vzorkách s voľne sypaným recyklovaným textilom. Tieto vzorky vykazovali horšie hodnoty pri nižších frekvenciách. Realizovaný výskum potvrdil skutočnosť, že protihlukové steny využívajúce sypaný recyklovaný textil sú z hľadiska akustiky vhodné na elimináciu dopravného hluku.

## Záver

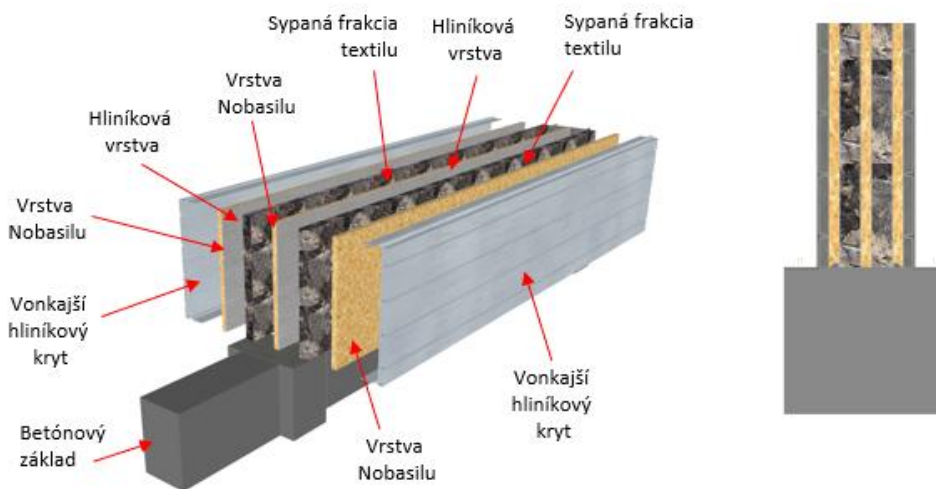
Jednou z možností využitia sypaných materiálov je ich aplikácia do zvukovo izolačných produktov, ako sú napríklad protihlukové steny. Protihlukové steny sa vo všeobecnosti realizujú najviac z dôvodu znižovania hluku z dopravy. V štandardnom type protihlukovej steny je vložený absorpčný materiál tvorený napr. minerálnou vlnou. Základný prvok predstavuje vonkajšia perforovaná platňa a v strede je vložený absorpčný materiál.

Ako problémový komponent z vozidiel po dobe životnosti, si autori vybrali staré strihané a trhané textílie, ktoré sú na základe výsledkov v experimentálnom výskume vhodné na výrobu zvukovo izolačných prvkov. Výroba kompaktných panelov z problémového materiálu z vozidiel po dobe životnosti je z hľadiska dostupnosti technologických procesov problematická a pridávanie dodatočných pojív samotný produkt len finančne predraží. Pričom vzniká aj riziko poškodenia životného prostredia. sypané materiály predstavujú možné riešenie pre ich aplikáciu do zvukovo izolačných produktov bez pridania dodatočných pojív. Z experimentálnej časti vyplýva, že sypané materiály dosiahli lepšie akustické vlastnosti ako kompaktné.

K výhodám týchto sypaných materiálov oproti komerčne vyrábaným recyklovaným panelom patrí nižšia hmotnosť, väčšia ekonomická efektívnosť, vysoká fyzikálna a chemická stabilita a lepšie hodnoty zvukovej pohltivosti.

- Na základe vykonaných meraní môžeme konštatovať že sypané vzorky vykazujú dobrú zvukovú pohltivosť pri vyšších frekvenciách, čo je skutočnosť, ktorá odporúča tieto materiály na aplikáciu do zvukovo izolačných produktov.
- K výhodám týchto sypaných materiálov oproti komerčne vyrábaným recyklovaným panelom patrí nižšia hmotnosť, väčšia ekonomická efektívnosť, vysoká fyzikálna a chemická stabilita a lepšie hodnoty zvukovej pohltivosti.
- Tieto materiály však nie sú samostatne použiteľné a je nutné ich aplikovať spoločne upevnené s nosnou stenou alebo rámom.

Riešiteľmi navrhnutý protihlukový panel je uvedený na obrázku 11.



**Obrázok 11: Navrhnutý protihlukový panel**

## Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol na základe riešenia vedecko-výskumného projektu UNIVNET č. 0201/0082/19, projektu KEGA 013TUKE-4/2022 a projektu VEGA 1-485-2022.

## Literatúra

1. WEI-HONG, T. - ROSMAINI, A. - ZUNAI, N. H. - DAUD, R. - CHENG, E. M.: 2015 Development of an Indigenous Impedance Tube Appl. Mech. Mater. 786 149 – 55 doi:10.4028/www.scientific.net/ AMM.786.149.
2. BADIDA, M. a kol.: Progresívne technológie zhodnocovania odpadov v automobilovom priemysle, Vydavateľstvo SPEKTRUM STU Bratislava, 2021, str. 267, ISBN 978-80-553-3867-5.
3. BADIDA, M. - SOBOTOVÁ, L. - MORAVEC, M. - DZURO, T.: Environmental Engineering. RAM-Verlag, Lüdenscheid, Germany, 346 p., ISSN 978-3-96595-027-6.
4. Inoue, N.; Sakuma, T. Numerical investigation of effect of support conditions of poroelastic materials in impedance tube measurement, Acoust. Sci. Tech., 38 (4) (2017), pp. 213 – 221.
5. PASQUAL, A. M. - LARA, L. T.: 2017 Time-domain simulation of acoustic impedance tubes, J. Braz. Soc. Mech. Sci. Eng. 39 (1) 67 – 79.

6. CORREDOR-BEDOYA, A.C. - ACUÑA, B. - SERPA, A. L. - MASIERO, B.: Effect of the excitation signal type on the absorption coefficient measurement using the impedance tube, *Applied Acoustics*, Volume 171, 2021, 107659, ISSN 0003-682.
7. ĎURIŠ, R. - LABAŠOVÁ, E.: The design of an impedance tube and testing of sound absorption coefficient of selected materials. [online]. [cit. 2024-03-11]. Dostupné na internete: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1050/1/012003/pdf>.
8. STN EN ISO 10534-2 (730537) Acoustics - Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedances tubes - Part 2: Transfer-function method (ISO 10534-2:1998); 2002.
9. ŠOOŠ, L. (Ed.): *Smart Technologies for Waste Processing from the Automotive Industry*. RAM-Verlag, Lüdenscheid, Germany, 2022, pp. 219, ISSN 978-396595-023-8.
10. NOVÁKOVÁ, A.: Možností zhodnocovania problémových odpadov z automobilového priemyslu a spracovania starých vozidiel do zvukovo izolačných produktov. Dizertačná práca, 2023, str. 182.
11. Kolektív: Úžitkový vzor č. 9662: Kazeta na rozšírenie možností merania sypkých materiálov v impedančnej trubici. ÚPV SR Banská Bystrica, 2022.
12. Kolektív: Úžitkový vzor č. 9665: Zariadenie na merané plnenie testovacích kaziet sypkými materiálmi. ÚPV SR Banská Bystrica, 2022.
13. ČIŠKO, V. - VOKÁL, P.: Regresná a korelačná analýza ako kognoskačná metóda základného a aplikovaného výskumu. Vol. 29, No.1, 42 – 44, 1995, [online]. [cit 2024-02-20]. Dostupné na internete: [http://publikacie.uke.sav.sk/sites/default/files/1995\\_1\\_042\\_044\\_cisko.pdf](http://publikacie.uke.sav.sk/sites/default/files/1995_1_042_044_cisko.pdf).

## **Textile waste from the automotive industry as a starting material for the production of sound insulation products**

**Miroslav BADIDA, Tibor DZURO, Kristián PÁSTOR, Lýdia SOBOTOVÁ, Marek MORAVEC, Miriama PIŇOSOVIÁ**

*Technical University of Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Business Management and Environmental Engineering, Park Komenského 5, 042 00 Kosice, Slovakia  
e-mail: miroslav.badida@tuke.sk*

### **Summary**

*The contribution focuses on the possibility of using materials from components from cars after their useful life. Emphasis is placed on problem components from the point of view of their recycling, respectively material recovery. Attention is focused on textile waste from cars. Selected acoustic descriptors that could predict the use of this material as a suitable material for various noise reduction applications are investigated. Compact and free-flowing bulk materials are analyzed.*

**Keywords:** *textile waste, automotive industry, anti-noise panel, impedance tube.*