

# Recyklácia textilu z automobilov po dobe ich životnosti a jeho možnosť využitia v praxi

**Lýdia SOBOTOVÁ, Miroslav BADIDA, Marek MORAVEC, Miroslava BADIDOVÁ, Tibor DZURO**

*Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Letná 9, 042 00 Košice*

*e-mail: lydia.sobotova@tuke.sk, miroslav.badida@tuke.sk,  
marek.moravec@tuke.sk, miroslava.badidova@student.tuke.sk,  
tibor.dzuro@tuke.sk*

## Súhrn

*Rozvoj automobilového priemyslu vo svete, ako aj v Slovenskej republike, je kľúčový pre prosperitu a celkový rozvoj spoločnosti. Na Slovensku sa automobilový priemysel vypracoval na popredné miesto medzi jednotlivými odvetvami priemyslu vďaka štyrom (v budúcnosti už piatim) finálnym výrobcam. V príspevku sa autori zamerali na klasifikáciu problematického odpadu z automobilov po skončení ich životnosti z pohľadu jeho ďalšieho zhodnotenia, konkrétne na recykláciu textilných materiálov. Experimentálna časť v príspevku je zameraná na aplikácie a predikciu využitia vybraných problematických textilných odpadov z pohľadu ich zhodnotenia (v kompaktnom a sypkom stave), na vyhodnotenie vykonaných experimentov s využitím regresnej a korelačnej analýzy pri produktoch na zvukovú a tepelnú izoláciu. Autori príspevku sa vo svojej práci zamerali na výskum možností využitia rôznych textílií aplikovaných v automobiloch s cieľom využitia recyklovaných materiálov týchto textílií na vývoj zvukovo a tepelnoizolačných materiálov so širokým spektrom aplikácií. Závery výskumu preukázali vhodnosť daného materiálu pre uvádzané aplikácie.*

**Kľúčové slová:** Automobilový priemysel, recyklácia textílií, koeficient zvukovej pohltivosti materiálu, index útlmu materiálu, tepelne izolačné vlastnosti materiálu

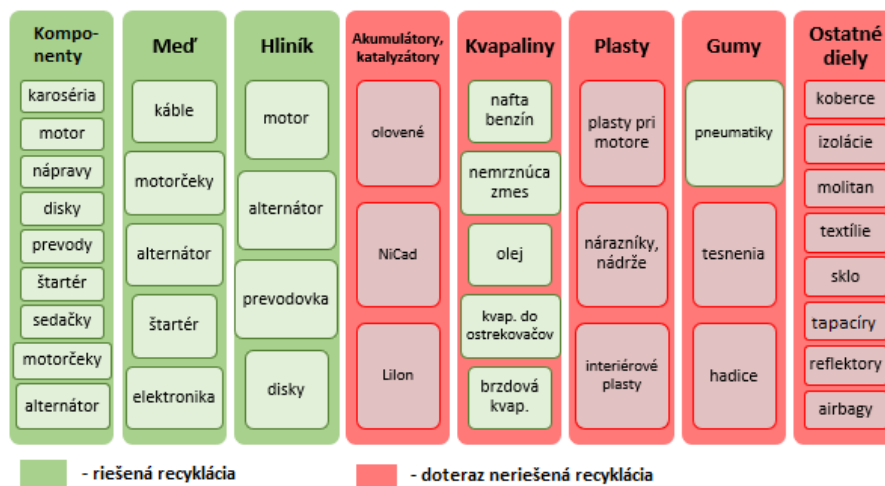
## Úvod

Vozidlá po skončení životnosti obsahujú celý rad komponentov (odpadov) rôzneho materiálového zloženia, ktoré by mali byť ďalej zhodnotené. Od 1. januára 2015 nadobudla účinnosť EU smernica 2018/849 a 2019/1020, ktoré menia smernice 2000/53/ES a 2005/64/ES. EU smernica 2018/849 stanovuje podrobné kvantifikované ciele pre výrobcov vozidiel a vybavenie automobilov, pričom musia pri navrhovaní a výrobe výrobkov prihliadať na demontáž, opätovné využitie a spätné získavanie vozidiel. Výrobcovia musia zabezpečiť, aby boli nové vozidlá opätovne použiteľné a/alebo recyklovateľné na najmenej 85 % podľa hmotnosti vozidla a opätovne použiteľné a/alebo spätne získateľné na najmenej 95 % podľa hmotnosti vozidla.

V smernici sa vymedzujú opatrenia, ktorých cieľom je prevencia a obmedzenie odpadu z vozidiel po dobe životnosti a z ich súčiastok cez opätovné využívanie, recykláciu a spätné získavanie. Rovnako sa ňou stanovuje cieľ prispieť k udržateľnosti životného prostredia všetkými kooperujúcimi firmami zapojenými do životného cyklu vozidiel.<sup>1, 2, 3</sup>

Tieto požiadavky prinútili výrobcov automobilov zohľadniť použitie udržateľných materiálov vo výrobe. Na obrázku 1 je uvedený prehľad najpoužívanejších materiálov v automobiloch. ako sú napríklad prírodné vlákna, najmä na zvukovú a tepelnú izoláciu. Autori príspevku sa v nasledujúcich častiach zamerali na recykláciu textilu z automobilov. Schopnosť textilného materiálu izolovať mechanický hluk, vibrácie a udržiavať tepelné izolačné vlastnosti interiéru vozidla prispieva ku komfortu pri jazde a k výrazným energetickým úsporám z hľadiska využívania klimatizácie. Textil sa používa na podlahové krytiny, pod sedacie poťahy, na obloženie dverí, palubné panely, v motorovom priestore a na strop a pod. Vnútorne časti automobilov využívajú netkané textílie, ktoré sa ľahko vyrábajú v rôznej hustote,

hrúbke a tvaroch, a to vďaka ich nízkej hmotnosti, jednoduchému spracovaniu, flexibilita a pórovitosti<sup>4, 5</sup>.  
<sup>6</sup>. V interiéri automobilov sa zvukovo absorpčné netkané materiály používajú na pripevnenie k rôznym komponentom, ako sú napríklad podlahový koberec, stropné obloženie, bočné časti batožinového priestoru, zadný kryt, výplne dverí, podlaha batožinového priestoru, ochrana kolies, prídavná rohož, izolácia palubnej dosky a podložky, obrázok 2<sup>7</sup>.

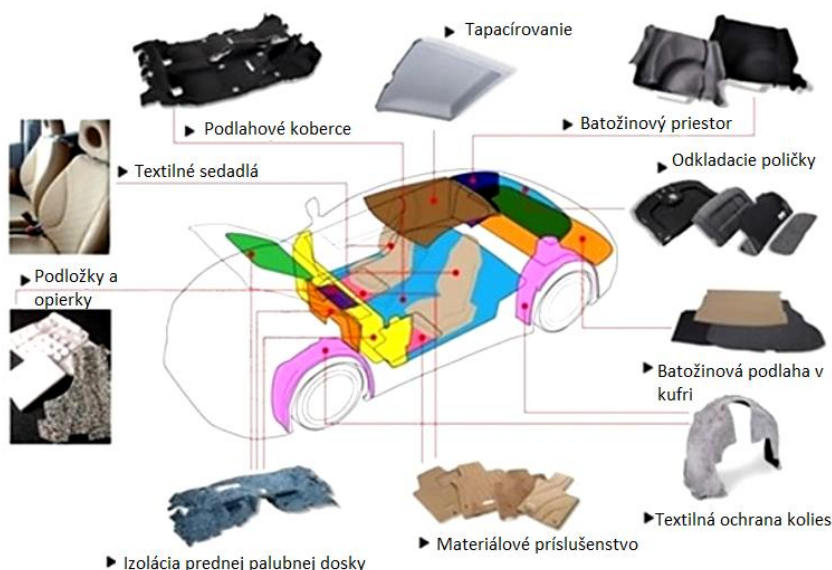


**Obrázok 1: Prehľad najpoužívanejších materiálov v automobiloch**

Netkané textílie používané v automobilových interiéroch majú vynikajúce vlastnosti v porovnaní s klasickými textíliami, ako sú nákladová efektívnosť, jednoduché tvarovanie, recyklovateľnosť a atraktívny pomer cena/výkon. Navyše je možné navrhnuť netkané textílie s konkrétnymi vlastnosťami, ako sú hrúbka, hmotnosť a objem<sup>5</sup>.

Vďaka pórovitej štruktúre a veľkej povrchovej ploche sú netkané textílie vhodné pre technické textilné aplikácie, kde je potrebná absorpcia zvuku<sup>4, 6</sup>.

Autori sa zamerali predovšetkým na problematické materiály z komponentov, ako sú pneumatiky, materiály z autosedačiek, kobercov, čalúnenia, airbagov a na vývoj technológií a postupov na zhodnocovanie odpadu do produktov pre akustickú a tepelnú izoláciu a iné využiteľné produkty<sup>4, 6, 7, 8</sup>.



**Obrázok 2: Vzorky textilných komponentov vo vozidle<sup>4</sup>**

## **Technológie výroby zvukovo absorpčných materiálov a tepelne izolačných materiálov**

Produkty z recyklovaných automobilových komponentov, ktoré je možné použiť na výrobu zvukovo absorpčných prvkov, zahŕňajú výrobky z recyklovaných pneumatík, autosedačiek, sedacích potahov, kobercov a airbagov. Technológia recyklácie automobilových textílií alebo autosedačiek je špeciálny proces, ktorý je v podstate univerzálny pre následné zhodnotenie recyklovaných produktov spevňovaním, spájaním pod vplyvom tepla a tlaku<sup>7,9</sup>.

Environmentálnym prínosom recyklovaných produktov je ich použitie ako izolačných materiálov na báze recyklovaných textílií vďaka ich vysokej tepelnej kapacite, čo znižuje požiadavky na vykurovanie a chladenie budov, zároveň znižuje množstvo textilného odpadu po zbere a môže čiastočne nahradiť výrobu izolácií z neobnoviteľných zdrojov. Vďaka nižším energetickým nárokom v porovnaní s klasickými minerálnymi izoláciami tiež znižuje uhlíkovú stopu výroby izolácií<sup>9-16</sup>.

V ďalšej časti sa autori zamerali na využitie a spracovanie sekaných, strihaných textílií zmiešaných s plastami a gumou, drvenými textilnými kordami a drvenými materiálmi z autosedačiek a sedacích potahov, t.j. na suroviny používané pri výrobe zvukovo a tepelnoizolačných prvkov<sup>8</sup>. Technológie na spracovanie a drvenie nových recyklovaných materiálov možno rozdeliť podľa použitých metód na :

- technológiu výroby lisovaním,
- technológiu výroby mikrovlnným ohrevom,
- technológiu výroby zvukovo absorpčných prvkov z mäkkej peny (polyuretánových pien),
- technológiu výroby a návrh produktov na báze sypaných granulátov<sup>5,6,7</sup>.

**Technológia výroby lisovaním** využíva veľkoobjemové lisy – hydraulické alebo parné. Lisovanie sa vykonáva pod vysokým tlakom – minimálne 20,265 bar s ohriatymi lisovacími nástrojmi. Spodná časť je vyhrievaná na 120 °C, zatiaľ čo horná časť je zohrievaná na teplotu 90 °C. Lisovacia forma musí mať dobrý prestup tepla, t.j. zohrievanie formy a čas lisovaného materiálu musí byť čo najkratší. Zmes rozdrvených recyklovaných materiálov a spojiva sa pripravuje v mixéroch. Dávka surovín (drvená guma, textilné kordy, textílie, drvené autosedačky, sedacie potahy alebo koberce) sa určuje na základe hrúbky jednotlivých vrstiev. Koncentrácia spojiva sa pohybuje medzi 12 – 16 % hmotnosti. Koncentrácia spojiva je určená podľa nasiakavosti materiálu a požadovanej tvrdosti produktu. Na urýchlenie chemickej reakcie viazania a spevnenia sa do spojiva pridáva katalyzátor v maximálnej koncentrácii 0,2 % hmotnosti. Ak je potrebná nehorľavá úprava, zmes sa obohacuje o 6 – 8 % spomaľovača horenia. Spojivo je založené na báze polyuretánu/polybutadiénu, zatiaľ čo spomaľovač horenia je na báze brómovej arómy a oxidu antimónu. Zmes textilných materiálov sa lisuje za horúca pod tlakom 12 – 15 minút v závislosti od hrúbky sendviča.

Nevýhodou tejto technológie je vysoká energetická náročnosť a pomerne dlhý technologický pracovný cyklus. Výroba jedného produktu trvá minimálne 25 – 30 minút, čo má vplyv na jeho cenu. Cena formy je tiež pomerne vysoká<sup>6</sup>.

**Technológia výroby sendvičov mikrovlnným ohrevom**, nie je tak náročná ako lisovaním za tepla. Výhodou je podstatné skrátenie technologického cyklu z 12 – 15 minút na 4 – 5 minút. Nie je potrebné ohrievať formy na vysoké teploty ani aplikovať vysoký lisovací tlak či používať drahé formy. Podstata technologického procesu spočíva v príprave potrebnej zmesi v mixéri. Formy sú jednoduché a po uzatvorení sa pomocou dopravníka presúvajú do mikrovlnného tunela, kde dochádza k spojeniu vrstiev. Rýchlosť priechodu tunelom zabezpečuje, aby forma zotrvala v tuneli približne 4 – 5 minút. Napätie generujúce mikrovlny má približne 5 kV. Používa sa rovnaké spojivo, katalyzátor a spomaľovač horenia ako pri klasickom lisovaní. Pokusy nahradiť spojivo iným spojivom, napríklad na báze akrylátu, neboli úspešné. Hoci cena klesla (akrylátové spojivo je podstatne lacnejšie ako polyuretán/polybutadién), došlo k výraznému zhoršeniu tvrdosti produktov. Zvuková absorpcia sa mierne zvýšila, no produkty sa pri aplikácii rozpadali. Táto technológia umožňuje výrobu aj kombinovaných produktov, kde jedna z vonkajších vrstiev (zvyčajne spodná) môže byť z tvrdého materiálu, napríklad z pogumovaného betónu, Cetrisu alebo betónu. Vďaka jednoduchej konštrukcii foriem je technológia mikrovlnného ohrevu vhodná aj pre zložitejšie produkty z hľadiska tvaru, ako aj pre reliéfne povrchy. Produkty a technológia podliehajú autorským právam autorov projektu (úžitkový vzor č. 5721 „Kompaktné prvky z recyklovanej gumy vyrábané pomocou technológie mikrovlnného ohrevu“)<sup>5</sup>.

**Technológia výroby zvukovo absorpčných prvkov z mäkkej peny (polyuretánových pien)** sú vyrobené prevažne z mäkkých, „pevnejších“ materiálov z autosedačiek a sedacích poťahov. Vďaka vysoko pórovitej štruktúre má rozdrvený materiál vynikajúce predpoklady na výrobu zvukovo absorpčných prvkov. Vysoká pórovitosť materiálu vedie k vyššej spotrebe spojiva než v prípade spracovania drvenej gumy. Vysoká spotreba drahého spojiva je komerčne nezaujímavá. Dobrú zvukovú absorpciu bolo možné dosiahnuť pri hrúbke 20 mm. Nevýhodou produktov vyrobených touto technológiou je, že ich pevnosť klesá s ich klesajúcou hrúbkou. Proces spevňovania prebieha účinkom horúcej pary bez potreby vysokého tlaku ako je tomu v prípade lisovania. Táto technológia pozostáva z troch základných fáz: miešanie, naparovanie a tvrdnutie (dozrievanie). V procese "miešania" sa rozdrvené autosedačky a poťahy miešajú s lepidlom. Miešací cyklus trvá približne 10 minút a pripravená zmes sa vloží do formy. Po jej uzavretí nasleduje proces "naparovania". Pri "naparovaní" sa zmes spojí účinkom horúcej pary s teplotou 160 °C. Tento proces trvá približne 10 minút a počas neho sa zmes spevňuje. Naparovaná zmes sa nechá vytvrdnúť ďalších 10 minút a potom sa hotový produkt vyberie z formy. Najčastejšie sa vyrábajú bloky s hrúbkou 100 mm. Výrobný produkt je kompaktný a dostatočne pevný na to, aby sa mohol krájať na potrebnú hrúbku, dĺžku a šírku. Týmto spôsobom je možné vyrobiť produkty s hrúbkou 10 mm. Môžu sa vyrobiť aj produkty s vloženou výstužou, ako je kovová sieť alebo oceľové tyče, ktoré robia produkt samonosným, pričom hodnota zvukovej absorpcie sa nemení a technologický výrobný proces sa taktiež nemení<sup>5, 6, 7</sup>.

**Technológia výroby a návrh produktov na báze sypaných granulátov** tvorí ďalšie možné riešenie pre použitie recyklovaných granulovaných (ale aj drvených, strihaných a trhaných) materiálov v akustických aplikáciách bez použitia spojív je ich využitie v protihlukových a tepelno izolačných bariérach vo forme sypaného materiálu. Predpokladom pre takéto využitie je vhodná konštrukcia panelu na ochranu proti hluku a tepelnú izoláciu a správna aplikácia sypaného materiálu s následným zhutnením.

Cieľom autorov projektu bolo čiastočne nahradiť nové materiály akusticky a tepelne vhodnými kompaktnými materiálmi, ktoré sú na báze recyklovaných materiálov z vybraných komponentov vozidiel po skončení ich životnosti, vyrobených pomocou lisovania pri určitých tlakoch a teplotách alebo bez použitia spojiva (spojenými len chemickou reakciou materiálov), sypanými materiálmi vyrobenými na báze granulátov z recyklačných procesov (sypaný granulát). Výhody použitia týchto tzv. „zelených“ materiálov v akustických (a tiež tepelných) aplikáciách, ako sú protihlukové bariéry, v porovnaní s komerčnými materiálmi, spočívajú v kombinácii veľmi nízkej hmotnosti, vysokej fyzikálnej a chemickej stability, nízkych nákladov a vysokých hodnôt zvukovej absorpcie<sup>5, 6, 7</sup>.

## Experimentálna časť

### **Materiál – príprava textilného recyklovaného materiálu**

Textílie v priemernom automobile tvoria až 2 – 2,5 % jeho celkovej hmotnosti, čo predstavuje 23 – 26 kg, pričom do roku 2025 sa očakáva nárast na 35 kg. Počas výroby nového vozidla vzniká 2,5 – 4 kg technologického odpadu. Medzi textílie z automobilov možno zahrnúť aj poťahy, textílie z detských sedadiel, airbagy a podobne.

Textilný materiál použitý na experimentálne testy merania tepelnoizolačných vlastností a meranie hluku bol dodaný spoločnosťou Stered PR Krajné, s.r.o.<sup>5, 6</sup>.

V súčasnosti sa výskum zameriava na spracovanie a recykláciu automobilových materiálov v spolupráci so spoločnosťou Stered PR Krajné, s.r.o., kde boli vykonané experimenty. Experimenty sa začali výberom, zberom a uskladnením použitých odpadových materiálov z textílií, textilného odpadu z automobilov, ako je znázornené na obrázok 3. Ďalší krok spočíval v spracovaní odpadových textilných materiálov na približne rovnaké častice na deliacej a drviacej linke pomocou rezacích operácií, ako je znázornené na obrázku 4<sup>5, 6</sup>.



**Obrázok 3: Triedený textilný odpad z materiálov z automobilov po dobe ich životnosti**

Následne bol použitý proces formovania lisovaním, ktorý je zobrazený na obrázku 5. Konečný tvar kompaktného recyklovaného viazaného textílu je zobrazený na obrázku 6.



**Obrázok 4: Textilný odpad po druhej operácii rezania a plnení foriem na lisovanie<sup>6</sup>**



**Obrázok 5: Forma na kompaktovanie textílu**



**Obrázok 6: Tvar recyklovaného textílu z formy**

Všetky špecifické vlastnosti pôvodného materiálu sú prenesené do vlastností nového konštrukčného materiálu STERED. Výstupom recyklačnej jednotky je homogenizovaný produkt STERED S. Homogenizovaný materiál je tvarovaný do formátu dosky s pridaním spojiva na báze polyuretánového pre polyméru, ako je znázornené na obrázku 6. Vlastnosti produktu STERED S sú uvedené v tabuľke 1.

**Tabuľka 1: Vlastnosti kompaktnej textilnej dosky<sup>6</sup>**

| Technický parameter                                          | Jednotka                 | Hodnota                                               |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------|
| Hrúbka                                                       | mm                       | 50 ± 5                                                |
| Formát                                                       | mm                       | 500 x 500 ±5 ( 1200x600)                              |
| Plocha dosky                                                 | m <sup>2</sup>           | 0,25 ( 0,72)                                          |
| Rovinnosť                                                    | mm                       | max ± 6                                               |
| Hmotnosť dosky                                               | kg                       | 3,125 ( 9)                                            |
| Objemová hmotnosť materiálu                                  | kg/m <sup>3</sup>        | 250                                                   |
| Počet kusov na palete                                        | ks / m <sup>2</sup> / kg | 104/ 26 / 325 (411 vlhké)<br>48/34,56/432 (518 vlhké) |
| Stlačiteľnosť                                                | mm                       | max. 5                                                |
| Plošné zaťaženie do max.10kN , 2 000 000 cyklov, stlačenie   | mm                       | max. 8,6,<br>trvalé 1,7                               |
| Krátkodobá nasiakavosť pri čiastočnom ponorení Wlp- postup A | kg/m <sup>2</sup>        | max. 20                                               |
| Dlhodobá nasiakavosť pri čiastočnom ponorení Wlp- postup A   | kg/m <sup>2</sup>        | max. 25                                               |
| Priepustnosť vodnej pary μ                                   | -                        | max.4 (-)                                             |
| Zdravotná neškodnosť                                         | -                        | v súlade s príslušnými ustanoveniami                  |
| Reakcia na oheň                                              | -                        | E                                                     |

Recyklovaný textilný materiál bol vložený do pripravených foriem, lisovaný a sušený. Výsledkom boli recyklované dosky, ktoré boli narezané na menšie testovacie vzorky podľa našich požiadaviek na ďalšie zvukové a tepelné testovanie. Variabilita rozmerov sa môže meniť v závislosti od požiadaviek testovania. Dodané vzorky textílií boli v týchto formách:

- Rezané alebo trhané jednotlivé frakcie textilu, merajúce približne 20 x 40 mm (Frakcie materiálov – rezané alebo trhané malé časti textilu pochádzajúce z rôznych častí textílií, ako sú poťahy, koberce z automobilov), obrázok 7.



**Obrázok 7: Trhaný a rezaný recyklačný materiál z textilu vozidla**

- Kompaktná textilná jednotka vyrobená z materiálov z automobilov lepených a lisovaných s rozmermi 300 x 300 mm, obrázok 8 (Pevné textilné dosky), obrázok 9 tvorí vzorka z dosky.



**Obrázok 8: Kompaktné vzorky recyklovaného textilu**



**Obrázok 9: Kompaktná textilná valcová vzorka**

Na základe dodaného testovacieho materiálu boli vytvorené testovacie vzorky pre meranie zvukovej pohltivosti a meranie tepelno izolačných vlastností:

- rezanie, trhanie textilného materiálu z automobilu po jeho konci životnosti (obrázok 7),
- v tvare valca s priemerom  $\varnothing$  60 mm a výškou 60 mm, vyrobené z pevných panelových dosiek (obrázok 9).

## Metóda merania zvukovo absorpčných a tepelne izolačných vlastností

Pre potreby stanovenia koeficientu zvukovej pohltivosti „ $\alpha$ “ a indexu útlmu „TL“ bolo vyvinutých niekoľko meracích metód, pričom jednou z najpoužívanejších je meranie pomocou impedančnej trubice. Impedančná trubica má v porovnaní s inými metódami merania výhodu vďaka svojej kompaktnosti a možnosti rýchleho získania výsledkov.

Pre potreby merania skúmaných materiálov v recyklovaného textilu bola použitá impedančná trubica model BSWA SW 433 vo štvormikrofónovej konfigurácii, dĺžkou 500 mm s vnútorným priemerom  $\varnothing$  60 mm a frekvenčným rozsahom 100-2500 Hz (obrázok 10).



**Obrázok 10: Pohľad na meraciu aparatúru - impedančnú trubicu BSWA TECH**

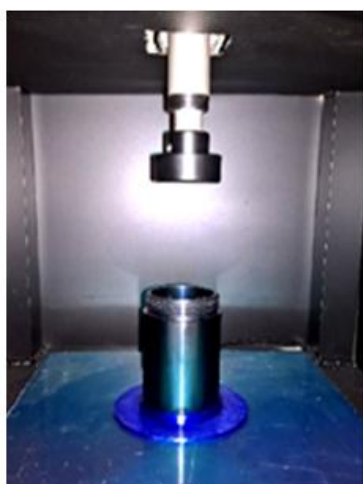
Súčasťami meracej zostavy boli 4 – kanálový analyzátor MC3242 (0-20 kHz), zosilňovač PA 50 (50W) pre napájanie reproduktora v trubici, počítač so softvérom VA – LAB4, potrebná kabeláž a samotná impedančná trubica. Merania koeficientu zvukovej pohltivosti „ $\alpha$ “ a indexu útlmov „TL“ boli realizované metódou transformačnej funkcie podľa normy STN EN ISO 10534 -2 (730537) <sup>17</sup>.

Natrhaný alebo nastrihaný textilný materiál bol vložený do autormi navrhnutej testovacej kazety (Patent č. 289324), obrázok 11 <sup>18</sup> a zalisovaný zariadením na merané plnenie testovacích kaziet sypkými materiálmi (Úžitkový vzor č. 9665), obrázok 12 <sup>19</sup>.



**Obrázok 11: Testovacie kazety**

Pre každú vzorku bolo vykonaných 5 opakovacích meraní. Hodnoty teploty ( $22,5 \pm 1^\circ\text{C}$ ) a relatívnej vlhkosti ( $48 \pm 5 \% \text{ RH}$ ) boli monitorované počas celého experimentu. Atmosferický tlak 986,07 kPa indikoval stabilné laboratórne prostredie vhodné pre opakovateľné merania.



**Obrázok 12: Zariadenie na merané plnenie testovacích kaziet sypkými materiálmi**

Koeficient zvukovej pohltivosti „ $\alpha$ “ je bezrozmerné číslo pohybujúce sa od 0 po 1. Čím je nameraná hodnota bližšie k 1 alebo rovná 1, tým testovaná vzorka meraného materiálu bude vykazovať lepšiu (vyššiu) zvukovú pohltivosť. Koeficient zvukovej pohltivosti „ $\alpha$ “ pri kolmom dopade zvuku sa vypočíta zo vzťahu:

$$\alpha = 1 - |r|^2 = 1 - r_r^2 - r_i^2 \quad (1)$$

kde:  $r$  – je činiteľ odrazu,  $r_r$  – je reálna zložka a  $r_i$  – je imaginárna zložka <sup>16, 20</sup>.

Index útlmu „TL“ sa udáva v (dB) a vyjadruje pomer medzi intenzitou zvuku dopadajúceho na prednú stranu vzorky a intenzitou zvuku preneseného cez testovaný materiál. Tento pomer umožní posúdiť účinne ako daný materiál tlmí zvuk. Čím vyššia bola nameraná hodnota index útlmu „TL“, tým lepšie sú tlmiace vlastnosti materiálu.

Index útlmu „TL“ sa vypočíta zo vzťahu:

$$TL = 10 \log_{10} \left| \frac{W_i}{W_t} \right|, \quad (2)$$

kde:  $W_i$  - je energia dopadajúcej zvukovej vlny, ktorá prichádza smerom ku skúšobnej vzorke,  
 $W_t$  - je energia prenesenej zvukovej vlny, ktorá odchádza od skúšobnej vzorky.

### Metóda merania tepelne izolačných vlastností recyklovaného textilu

Pre merania tepelne izolačných vlastností recyklovaného textilu bol použitý prístroj Testo 635, obrázok 13. Na výpočet koeficienta  $U$  prestupu tepla sa použila schéma, obrázok 14. Ako miesto merania bolo použité laboratórne okno, obrázok 15.



**Obrázok 13: Merací prístroj Testo 635 s počítačom, meracia sonda a 3 meracie sondy pri meraní**

Koeficient  $U$  sa udáva vo  $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$  a určuje tepelný tok  $\Phi$  (množstvo tepla  $Q$  za jednotku času), ktorý prestupuje cez povrch  $A$  o jednotkovej ploche  $1 m^2$  cez stenu, ak je rozdiel teplôt  $\Delta T$  na oboch stranách steny rovný  $1^\circ K$ .

$$\Phi = U \cdot A \cdot \Delta T (W) \quad (3)$$

Okrem samotnej jedno alebo viac vrstvovej konštrukcie sa do výsledného koeficienta  $U$  zahŕňajú aj koeficienty prestupu tepla  $\alpha_p$  na vnútornom a vonkajšom povrchu konštrukcie vplyvom obtekania povrchu pevného prostredia s teplotou  $T_w$  prúdiacim médiom (vzduchom) s teplotou  $T_i$  a  $T_e$ , ako aj vplyvom sálavej zložky  $\alpha_s$ .

$$\alpha = \alpha_p + \alpha_s \quad (4)$$

Hodnoty súčiniteľov prestupov tepla na povrchoch konštrukcií sa volia z STN 73 0542, STN EN 17888-1, STN EN 673, STN EN ISO 10077-1<sup>21, 22, 23, 24</sup>.

V meracom prístroji Testo 635-2 a Testo 435-2/-4 je zadaný koeficient prúdenia na vnútornom vertikálnom povrchu  $\alpha_i = 7,69 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$  (DIN 4108)<sup>25</sup>.

Princíp metódy vyplýva z rovnosti hustoty celkového tepelného  $q$  prestupujúceho cez všetky vrstvy z interiéru o teplote  $T_i$  do exteriéru o teplote  $T_e$  a hustoty tepelného toku prechádzajúceho napr. z interiéru o teplote  $T_i$  na stenu s teplotou  $T_{wi}$ .

$$q = U \cdot (T_i - T_e) = q\alpha_i = \alpha_i (T_i - T_{wi}) (W \cdot m^{-2}) \quad (5)$$

potom pre  $U$

$$U = \alpha_i (T_i - T_{wi}) / (T_i - T_e) (W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}) \quad (6)$$

Na určenie koeficienta  $U$  nám teda postačuje súčasne merať teplotu vzduchu interiéru  $T_i$ , teplotu konštrukcie na vnútornom povrchu  $T_{wi}$  pomocou príložného snímača a merať vonkajšiu teplotu vzduchu  $T_e$ , napr. pomocou rádiovkej Testo AG, Market launch documentation Testo 557 6/16 sondy.

Patentovaný teplotný snímač Testo pre určenie koeficienta prechodu tepla  $U$  (0614 1635) umožňuje :

- merať povrchovú teplotu konštrukcie pomocou sondy, ktorá združuje 3 snímače teploty (termočlánok K),
- merať aj teplotu vzduchu v interiéri (snímač je umiestnený v rúčke snímača na meranie povrchovej teploty).

Veľmi podstatné je, aby merací prístroj bol v súlade s odporúčaním výrobcu počas merania umiestnený aspoň 30 cm od vnútornej steny, oproti miestu, kde je umiestnený snímač teploty steny  $T_w$ .

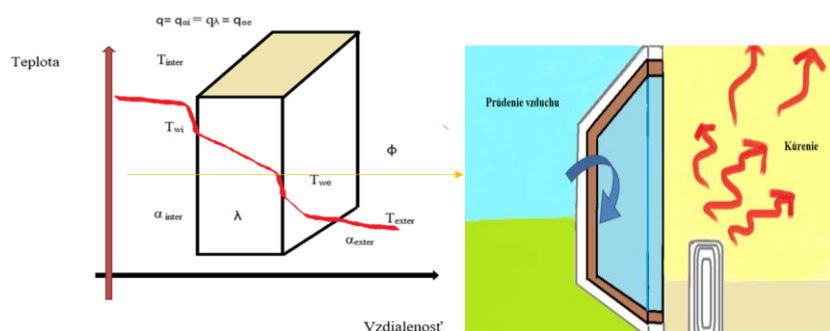
Výpočet sa môže dosť podstatne líšiť od merania, nakoľko normy často používajú normované hodnoty tepelných vodivostí materiálov, ktoré sú často nižšie, ako sú priemerné hodnoty udávané výrobcami. Preto potom vypočítané  $U$  hodnoty sú vyššie ako skutočne namerané.

V niektorých prípadoch však namerané hodnoty môžu byť vyššie ako vypočítané. Dôvodom často býva zvýšená vlhkosť materiálov konštrukcie a interiéru.

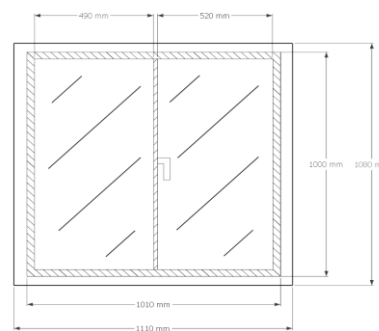
Blízko vnútornej konštrukcie spojennej s meranou obvodovou stenou sú namerané hodnoty koeficienta  $U$  podstatne nižšie ako vo väčšej vzdialenosti. Spôsobuje to vyššia povrchová teplota steny  $T_w$  vplyvom vedenia tepla z teplejších vnútorných priechok.

Ak sa umiestni prístroj bližšie alebo dokonca, napr. na rám okna potom môže snímač teploty vzduchu v interiéri  $T_i$  ( v zástrčke snímača  $T_w$ ) namerať nižšiu teplotu, ako je skutočná teplota okolia.

Teplotný rozdiel medzi teplotou v interiéri a exteriéri by mal byť väčší ako 15 °C.



**Obrázok 14: Schéma prestupu tepla**



**Obrázok 15: Laboratórne okno s rozmermi**

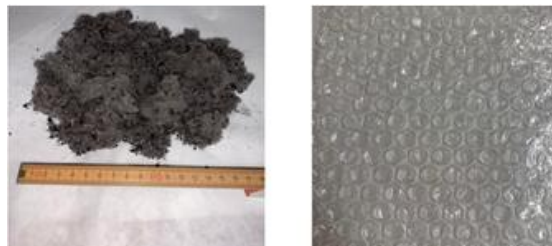
Pre potreby experimenty sa použili:

- kompaktné skúšobné vzorky, obrázok 16,
- trhané (sytké) textilné skúšobné vzorky, obrázok 17,
- vytvorená kapsula z bublinkovej fólie, obrázok 18 (Možno použiť ako obal aj iný materiál).

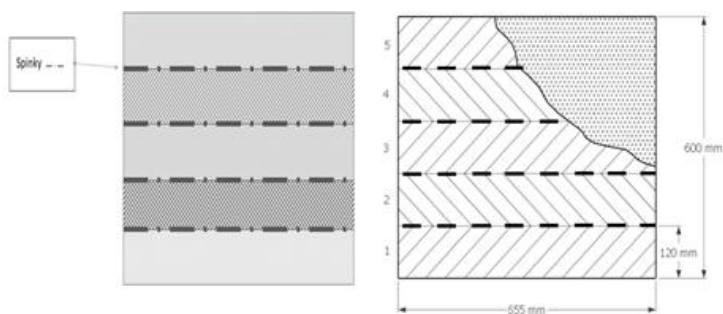
Po vytvorení kapsule so sytkým materiálom sa skúšobná kapsula uložila na okno, obrázok 19.



**Obrázok 16: Kompaktný recyklovaný textilný materiál**



**Obrázok 17: Sytký textilný materiál a fólia**



**Obrázok 18: Schéma kapsuly pre sypký recyklovaný textil**

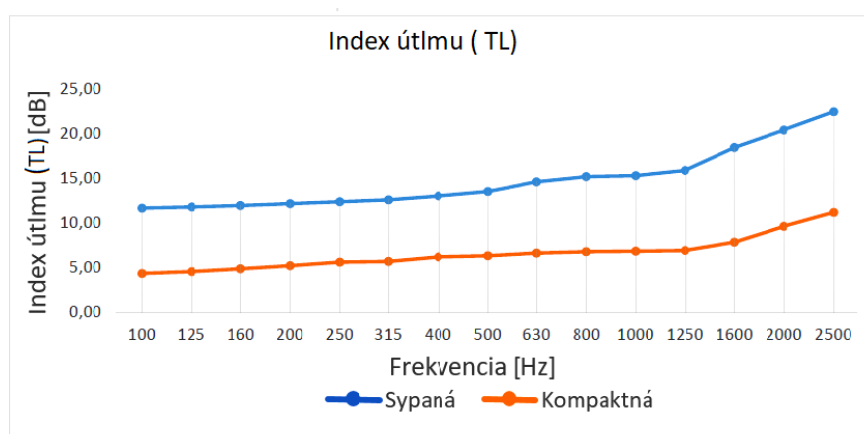
**Obrázok 19: Kapsula naplnená textilom**

## Výsledky a diskusia

Meraním akustických vlastností textilných recyklovaných materiálov boli hodnotené dve typy vzoriek:

- prvá vzorka (obrázok 8,16) bola vyrobená z kompaktného recyklovaného textilného materiálu (STERED),
- druhá vzorka (obrázok 7,1 7) bola pripravená z rovnakého recyklovaného trhaného (sekaného) sypaného textilného materiálu - sypká frakcia, ktorý nebol upravovaný do kompaktnej podoby.

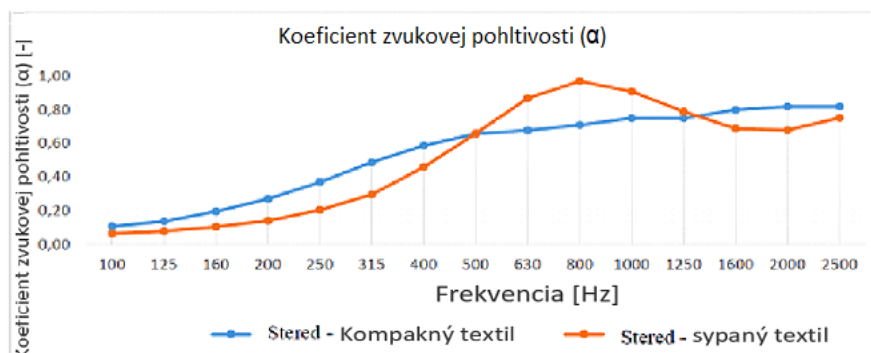
Na základe získaných výsledkov z merania indexu útlmu (TL), že kompaktný textilný materiál vykazuje lepšie akustické vlastnosti v celom frekvenčnom pásme (obrázok 20).



**Obrázok 20: Indexu útlmu „TL“ pre kompaktné a sypané testované materiály**

Tento výsledok sa dal predpokladať, keďže objemová hmotnosť kompaktného textilného materiálu je 4-krát vyššia, ako je objemová hmotnosť voľne sypaného textilného materiálu.

V prípade koeficientu zvukovej pohltivosti ( $\alpha$ ) výsledok z meraní už nebol taký jednoznačný (obrázok 21).



**Obrázok 21: Koeficient zvukovej pohltivosti „α“ pre textilný materiál**

Hodnoty koeficientu zvukovej pohltivosti ( $\alpha$ ) sú priaznivejšie u sypaného textilného materiálu v intervale frekvencií od 500 – 1250 Hz. Hluk z dopravy sa pohybuje v okolí frekvencie 1000 Hz, čo znamená, že materiál je vhodný pre konštrukcie protihlukových stien. V intervaloch od 100 Hz do 500 Hz a 1250 Hz do 2500 Hz priaznivejšie hodnoty koeficientu zvukovej pohltivosti ( $\alpha$ ) boli identifikované u kompaktného textilného materiálu.

U koeficienta zvukovej absorpcie môžeme dospieť k záveru, že kompaktný textilný materiál dosahuje lepšie parametre v frekvenčných pásmach 100 – 500 Hz a vo frekvenčnom pásme 1600 – 2500 Hz. Voľný textilný materiál dosahuje lepšie absorpčné parametre v frekvenčnom pásme 500 – 1250 Hz.

Pri meraní tepelno izolačných vlastností recyklovaných textilných materiálov boli hodnotené dve typy vzoriek, kompaktná vzorka a sypké frakcie textilu v kapsule. Obidve skúšobné vzorky sa umiestnili na vybrané laboratórne okno (obrázok 20). Na základe merania prestupu tepla pomocou prístroja Testo 635, boli vyhodnotené výsledky a vypočítané hodnoty „koeficienta U prestupu tepla“ jednotlivých skúšobných vzoriek.

Výsledky jednotlivých meraní skúšobných vzoriek sú uvedené v tabuľke 2 pre kompaktný materiál a v tabuľke 3 pre sypký textilný materiál v kapsule. Pre prestup tepla kapsula vykázala lepšie výsledky ako kompaktný textilný materiál, kvôli vzduchovým medzerám v kapsule, pretože vzduch je dobrý izolant, tabuľka 4.

**Tabuľka 2: Namerané hodnoty pre výpočet prestupu tepla pre kompaktný textilný materiál**

|                            | Min:  | Max:   | Mean: |
|----------------------------|-------|--------|-------|
| C:1 W/m <sup>2</sup> K     | 0.027 | 12.815 | 1.816 |
| C:2 [°C] Tw                | 23.69 | 24.52  | 24.05 |
| C:3 [°C] Ti                | 23.67 | 23.84  | 23.81 |
| C:4 %rH                    | 33.50 | 36.40  | 34.35 |
| C:5 °C                     | 22.50 | 22.70  | 22.56 |
| C:6 tΔ °C                  | 5.71  | 6.87   | 6.08  |
| C:7 [°C] p <sub>sync</sub> | 13.15 | 13.62  | 13.32 |

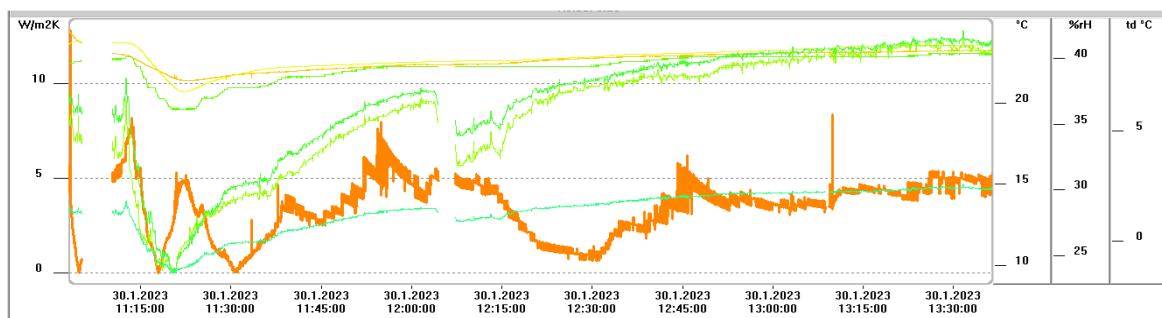
**Tabuľka 3: Namerané hodnoty pre výpočet prestupu tepla pre sypký textilný materiál v kapsule**

|                            | Min:  | Max:    | Mean: |
|----------------------------|-------|---------|-------|
| C:1 W/m <sup>2</sup> K     | 0.858 | 188.901 | 4.008 |
| C:2 [°C] Tw                | 20.87 | 22.20   | 21.09 |
| C:3 [°C] Ti                | 21.42 | 22.90   | 21.63 |
| C:4 %rH                    | 29.90 | 56.40   | 43.90 |
| C:5 °C                     | 20.40 | 25.90   | 22.69 |
| C:6 tΔ °C                  | 5.29  | 12.16   | 9.70  |
| C:7 [°C] p <sub>sync</sub> | 12.16 | 16.88   | 14.95 |

**Tabuľka 4: Hodnoty koeficienta U prestupu tepla skúšaných testovaných materiálov**

| Koeficient U [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ] |                   |                   |                   |
|-----------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Materiál                                | Minimálna hodnota | Maximálna hodnota | Priemerná hodnota |
| Kapsula - sypký                         | 0,858             | 188,901           | 4,008             |
| Kompaktný                               | 0,027             | 12,815            | 1,816             |

Príklad graficky nameraných hodnôt z meraní prestupu tepla kompaktného materiálu je uvedený na obrázku 22.



**Obrázok 22: Príklad z merania prestupu tepla z kompaktného testovacieho vzorky**

V rámci experimentov zameraných na meranie tepelno izolačných materiálov sa použilo viacero materiálov a ich kombinácie. napr viacvrstevný kartón, materiál z firmy Obifon. U viacvrstevného kartónu hodnota koeficientu U prestupu tepla bola nameraná  $U = 1,092$ . Pri materiáli Obifon bola hodnota  $U = 8,89$ .

Avšak pre veľký rozsah experimentov sa v príspevku použili a porovnali len dva z nich, ktoré obsahovali najviac recyklovaného textilu. Autormi vykonanými experimentami boli zistené nasledujúce hodnoty koeficientov U prestupu tepla u kompaktného recyklovaného textilu  $U = 1,816$  a sypaného recyklovaného textilu v kapsule  $U = 4,008$ . Vykonané experimenty potvrdili vhodnosť kompaktného recyklovaného textilného materiálu pre potreby tepelnej izolácie. Sypaný textilný materiál uložený v kapsule z bublinkovej fólie, aj napriek tomu, že vykazuje horšie tepelno izolačné vlastnosti oproti kompaktnému textilnému materiálu je vhodný pre tepelno izolačné aplikácie.

## Záver

Cieľom príspevku bolo zamerať sa na vývoj technológií a techník pre zhodnocovanie odpadu na akustické a tepelné izolačné produkty. Dôraz bol kladený na využitie takých komponentov z automobilov na konci životnosti, ktoré majú problematické recyklovanie a najmä na následné využitie extrahovaného surového textilného materiálu. Autori sa zamerali na využitie materiálov z autosedačiek, poťahov sedadiel, bezpečnostných pásov, kobercov a airbagov, ktoré doteraz využíval a spracovávala firma PR Krajné, s.r.o. Snaha bola nadviazať kontakt s firmami, ktoré tieto komponenty recyklujú alebo o ich recyklácii uvažujú. Autori získali množstvo frakcií rôznych materiálov pre svoju súčasnú a budúcu prácu.

Autori sa tiež zamerali na výrobu tepelných a izolačných produktov použiteľných pre potreby protihlukových stien, alebo tepelne izolačných stien zo sendvičových konštrukcií využívajúce recyklovaný textilný materiál z automobilov. Dôraz bol kladený na výrobu absorpčných elementov z textilného a iného odpadu z automobilov. Vykonané merania jasne preukázali vhodnosť recyklovaných textilných materiálov z automobilového priemyslu, či už v kompaktné alebo sypanej forme na výrobu akustických a tepelne 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. Táto myšlienka využitia sypaného textilného odpadového materiálu sa dá využiť aj v sendvičových štruktúrach vyrobených dvoma technológiami a to stláčaním a mikrovlnným zahrievaním. Autori sa zamerali tiež na výrobu zvukovo absorpčných elementov z mäkkých pien (polyuretánových pien).

## Pod'akovanie

Táto práca bola podporená grantovým projektom UNIVNET č. 0201/0004/20: „Univerzitná a priemyselná výskumná a vzdelávacia platforma recyklačnej spoločnosti“.

## Literatúra

1. Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council of 18 September 2000 on end-of life vehicles - Commission Statements, dostupné na internete: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02000L0053-20180704>.
2. Proposal for A Regulation of the European Parliament and of The Council on circularity requirements for vehicle design and on management of end-of-life vehicles, amending Regulations (EU) 2018/858 and 2019/1020 and repealing Directives 2000/53/EC and 2005/64/EC, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2023%3A451%3AFIN&qid=1689318552193>.
3. Fáltholm, A., Thomasson, H.: *Development and visualization of a recycling plant*, Stockholm, 2016 str.71, dostupné na internete: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1034467/FULLTEXT01.pdf>.
4. Çavuş, Z., Ozen, M.S., Gençtürk, A., Evirgen, S., Akalin, A.: *Sound Absorption Properties of Natural Fibre Reinforced Polypropylene Needle-Punched Nonwoven Fabrics Used in Automotive Interior*, Turecko,
5. Moravec, M., Dzuro, T., Badida, M., Sobotova, L., Badidová, A. 2020, "Potential of using components from old cars for production of thermal and sound isolation materials.", In: Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky. - Kosice (Slovakia), 5 (2020), str. 30 – 32.
6. Stered, s.r.o., 2020, Recycling of the textile, Properties., <http://www.stered.sk/stered-a-media>
7. Sobotova, L., Badida, M., Dzuro, T. 2023, Recycling and Recycling technologies (in Slovak Recyklácia a recyklačné technológie), TYPOPRESS, pp. 485.
8. Danihelová, A.; Němec, M.; Gergel', T.; Gejdoš, M.; Gordanová, J.; Ščensný, P. Usage of Recycled Technical Textiles as Thermal Insulation and an Acoustic Absorber. Sustainability 2019, 11, pp. 2968.
9. Badida, M., Dzuro, T., Badidova, A., Moravec, M., Sobotova, L. 2019, "The Utilization of Recycled Materials from Automobiles in Noise Barrier Structures ". In: Waste Forum, 1, pp. 12 – 27.
10. Cavus,Z., Ozen, M.S., Gencturk,A. Evirgen, S., Akalin, M., 2021" Sound Absorption Properties of Natural Fibre Reinforced Polypropylene Needle-Punched Nonwoven Fabrics Used in Automotive Interior", Turkey, pp.1 – 10.
11. Xinwu, X., et al., 2018, "Sound Absorbing Properties of Perforated Composite Panels of Recycled Rubber", Fiberboard Sawdust and High Density Polyethylene. Journal of Cleaner Production Vol. 187, pp. 215 – 221.
12. Bhingare, N., H., Prakash, S., Jatti, V., S.,2019, "A Review on Natural and Waste Composite as Acoustic Material". Polymer Testing. Vol. 80.
13. Arunkumar, B. - Jeyanthi, S., 2017, "Design and Analysis of Impedance Tube for Sound Absorption Measurement". Journal of Engineering and Applied Sciences. Vol. 12, No. 5, pp. 1400 – 1405.
14. Niresh, J. et al, 2015, "Review of Acoustic Characteristics of Materials using Impedance Tube. Journal of Engineering and Applied Sciences". Vol. 10, No. 8, pp. 3319 – 3326.
15. Niresh, J., Neelakrishnan, S., Subharani, S., Prabhakaran, R., 2015, "Performance Testing for Sound Absorption Coefficient by Using Impedance Tube". In: Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. Vol. 11, No. 2, pp. 185 – 189

16. Badida, M., Lumnitzer, E., Bartko, L.: Možnosti znižovania dopravného hluku. Elfa, s.r.o., Košice, 2011, 274 s., ISBN 978 – 80 - 8086 -181 – 0
17. STN EN ISO 10534 – 2 (73 0537): Akustika. Stanovanie vlastností impedančných trubíc, časť 2: Metóda dvoch mikrofónov pre priemerný koeficient absorpcie zvuku a priemernú povrchovú impedanciu (ISO 10534 - 2: 2023)
18. Patent č. 289324: Kazeta na rozšírenie možností merania sypkých materiálov v impedančnej trubici. 2025, 8 s.
19. Úžitkový vzor č. 9665: Zariadenie na merané plnenie testovacích kaziet sypkými materiálmi. 2022, 6 s.
20. STN EN ISO 10534 – 1 (73 0537): Akustika. Určenie koeficienta zvukovej pohltivosti a akustickej impedancie v impedančných trubiciach. Časť 1: Metóda použitia stojatej vlny (ISO 10534-1:1996)
21. STN EN 17888-1 (730542) -Tepelná ochrana budov. Prevádzkové testovanie stavebných konštrukcií. Časť 1: Zber údajov na overenie celkovej tepelnej straty (Norma na priame používanie ako STN). 1.10.2024
22. STN 73 0542 -2: Tepelno technické vlastnosti stavebných konštrukcií a budov. Tepelná ochrana budov, Časť 1- 4, 2019
23. STN EN 673 Sklo v stavebníctve. Stanovenie súčiniteľa prechodu tepla (hodnota U). Výpočtová Metóda. 3.1.2020.
24. STN EN ISO 10077-1 Tepelno - technické vlastnosti okien, dverí a žalúzií. Výpočet súčiniteľa prechodu tepla. Časť 1: Zjednodušená metóda. 1.09.2020
25. DIN 4108 - Tepelná izolácia a úspora energie v budovách. 1.2.2025

## **Recycling of textiles from cars after their service life and its possible use in practice**

**Lýdia SOBOTOVÁ, Miroslav BADIDA, Marek MORAVEC, Miroslava BADIDOVÁ, Tibor DZURO**

*Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Letná 9, 042 00 Košice*

*e-mail: lydia.sobotova@tuke.sk, miroslav.badida@tuke.sk, marek.moravec@tuke.sk, miroslava.badidova@student.tuke.sk, tibor.dzuro@tuke.sk*

### **Summary**

*The development of the automotive industry in the world, as well as in the Slovak Republic, is crucial for the prosperity and overall development of society. In Slovakia, the automotive industry has developed into a leading position among individual industrial sectors thanks to four (in the future, five) final manufacturers. In the paper, the authors focused on the classification of problematic waste from cars after the end of their service life from the point of view of its further recovery, specifically the recycling of textile materials. The experimental part of the paper focuses on applications and prediction of the use of selected problematic textile waste from the point of view of their recovery (in compact and loose state), on the evaluation of the experiments performed using regression and correlation analysis for products for sound and thermal insulation. The authors of the paper focused their work on research into the possibilities of using various textiles applied in automobiles with the aim of using recycled materials from these textiles to develop sound and heat insulation materials with a wide range of applications. The research findings demonstrated the suitability of the given material for the mentioned applications.*

**Keywords:** *Automotive industry, textile recycling, sound absorption coefficient of a material, attenuation index of a material, thermal insulation properties of a material*