

ZBORNÍK PREDNÁŠOK
medzinárodnej vedeckej
konferencie

TECHNIKA OCHRANY PROSTREDIA

TOP 2024

15. - 16. 11. 2023 Grandhotel Starý Smokovec

WORKING PAPERS

Publikácia bola vypracovaná s finančnou podporou projektu

XXX

Všetky príspevky v zborníku boli recenzované.

Recenzenti

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

doc. Ing. Iveta Čáčková, PhD.

prof. Ing. Tomáš Havlík, Dr.Sc.,

prof. Ing. Jozef Jandačka, PhD.

doc. Ing. Ľudovít Kolláth, PhD.

prof. Ing. Mirjana Miloradov, PhD.

prof. Ing. Dušan Petráš, PhD.

Dr.h.c. prof. Ing. Ľubomír Šooš, PhD.

Ing. Alois Studenic

doc. Ing. Lýdia Sobotová, PhD.

Autori sú plne zodpovední za obsah a jazykovú správnosť publikovaných príspevkov.

Editori: Ľudovít Kolláth, Miroslav Horvát

© Strojnícka fakulta STU v Bratislave a autori.

Vydala: Strojnícka fakulta STU v Bratislave v roku 2023

Tlač:

ISBN

WORKING PAPERS

Medzinárodný vedecký výbor

Dr.h.c. prof. Ing. Ľubomír Šooš, PhD., Slovenská technická univerzita v Bratislave, SR
(predseda výboru)

Dr.h.c. mult. prof. Ing. Miroslav Badida, PhD., Technická univerzita v Košiciach, SR
(podpredseda výboru)

prof. PharmDr. Ján Kyselovič, CSc., Centrum vedecko-technických informácií SR

Ing. Alexander Matušek, Zväz automobilového priemyslu SR

prof. Ing. Dušan Petráš, PhD., Zväz slovenských vedeckotechnických spoločností, SR

doc. Ing. Jiří Hlinka, PhD, Vysoké učení technické v Brně, ČR

prof. Ing. Pavol Ochotnický, PhD., Ekonomická univerzita v Bratislave, SR

prof. Ing. Rudolf Sivák, PhD., Ekonomická univerzita v Bratislave, SR

Assoc. Prof. Dr. Çağrı Olgun, Kastamonu University, TR

prof. Ing. Tomáš Havlík, Dr.Sc., Technická univerzita v Košiciach, SR

prof. Ing. Jozef Krilek, PhD., Technická univerzita vo Zvolene, SR

prof. Ing. Jozef Jandačka, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, SR

Ing. Róbert Szabó, PhD., Slovenská technická univerzita v Bratislave, SR

prof. Dr. habil. Ing. Hubert Debski, University of Lublin, PL

prof. Dr. habil. Ing. Beata Kowalska, University of Lublin, PL

prof. Dr. habil. Bayoumi Hamuda Hosam, Óbuda University in Budapest, HU

prof. Dipl. Ing. Dr. Eberhard Schmidt, University of Wuppertal, DE

prof. Ing. Mirjana Miloradov, PhD., University of Novy Sad, RS

prof.i.R. Dipl. Ing. Dr. Mikuláš Luptáčík, University of Vienna, AT

Prof. Dr. Ing. Dr.h.c. Bernd Friedrich, IME Metallurgische Prozesstechnik und
Metallrecycling, DE

Ing. Alois Studenic, EUCS Ingenieurbüro GmbH, AT

Prof. DSc. Stanislav Legutko PhD. MSc. Eng., Poznan University of Technology, PL

doc. Ing. Jaroslav Katolický, PhD., Vysoké učení technické v Brně, ČR

Ing. Ján Pribula, Zväz automobilového priemyslu SR

prof. Ing. Dagmar Juchelková, PhD., Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava,
ČR

Organizačný výbor

doc. Ing. Lýdia Sobotová, PhD., Technická univerzita v Košiciach, SR (predsedníčka výboru)

doc. Ing. Iveta Čáčková, PhD., Slovenská technická univerzita v Bratislave, SR
(podpredsedníčka výboru)

Mgr. Andrea Putalová, Centrum vedecko-technických informácií SR

Ing. Tibor Dzuro, PhD., Technická univerzita v Košiciach, SR

Ing. Štefan Fejedelem, elfa, s.r.o., Košice, SR

doc. Ing. Ľudovít Kolláth, PhD., Slovenská technická univerzita v Bratislave, SR

Ing. Lucia Ploskuňáková, Slovenská technická univerzita v Bratislave, SR

Ing. Miroslav Horvát, PhD., Slovenská technická univerzita v Bratislave, SR



Organizátor



Spoluorganizátori



Mediálni partneri



Obsah

Badida Miroslav, Dzuro Tibor, Pástor Kristián, Sobotová Lýdia, Moravec Marek, Piňosová Miriama:

Textilný odpad z automobilového priemyslu ako vychodzí materiál pre výrobu zvukovo izolačných produktov.....1

Čabalová Iveta, Darabošová Anna, Zachar Martin, Krilek Jozef, Mancel Vladimír, Osvaldová Mária, Réh Roman:

Požiarne vlastnosti nových drevných kompozitov obsahujúcich odpadové plasty z automobilov:.....12

Čačko Viliam, Šooš Lubomír, Čačková Iveta, Chlebo Ondrej, Bábics Jozef:

Analýza experimentu opotrebenia nástrojov pre stierací modul pri spracovaní lepeného skla.....20

Chlebo Ondrej, Šooš Lubomír, Čačko Viliam:

Využitie mechanického kmitania pri drvení vrstveného skla.....28

Havlík Tomáš:

Recyklácia vyradených automobilových akumulátorov: minulosť, prítomnosť, budúcnosť.....32

Holubčík Michal, Cibula Róbert, Jandačka Jozef, Klačko Andrej, Patsch Marek, Pilát Peter:

Analýza automobilového sedadla a jeho možnosti energetického zhodnotenie.....41

Hybská Helena, Samešová Dagmar, Mordáčová Martina, Gregušová Mária, Maškovičová Paulína:

Posudzovanie vplyvu drevoplastových kompozitov na životné prostredie.....49

Čajová Kantová Nikola, Radovan Nosek, Alexander Čaja, Alexander Backa:

Energetické využitie plastového odpadu: emisný vplyv.....58

Kolláth Ľudovít, Ján Pathó Ján:

Príspevok k separácii biologicky rozložiteľných odpadov.....65

Krajný Zdenko, Čačková Iveta, Šooš Lubomír:

Dekontaminácia a recyklácia materiálov technológiou WJM v nebezpečnom prostredí.....75

Kuznietsov Yurii, Shevchenko Oleksandr, Urchyshyn Oksana:

Inovácie v technických systémoch.....89

Pokusová Marcela, Šooš Ľubomír, Pribulová Alena:

Digitálna platforma „smartwaste“ – nástroj pre udržateľné odpadové hospodárstvo.....97

Šooš Ľubomír, Pokusová Marcela, Žiaran Stanislav, Matúš Miloš, Chlebo Ondrej,

Bábics Jozef:

Vývoj novej technológie zhodnocovania odpadového molitanu do nových výrobkov....108

Zábojník Stanislav:

Náklady na elektrickú energiu ako determinant udržateľnosti a investičnej atraktivity

v automobilovom priemysle.....117

Žiaran Stanislav, Šooš Ľubomír, Chlebo Ondrej:

Kmitanie a hluk komponentov strojných zariadení v čase konca ich životnosti.....123

WORKING PAPERS

WORKING PAPERS

TEXTILNÝ ODPAD Z AUTOMOBILOVÉHO PRIEMYSLU AKO VYCHODZÍ MATERIÁL PRE VÝROBU ZVUKOVO IZOLAČNÝCH PRODUKTOV

BADIDA MIROSLAV¹

DZURO TIBOR , PÁSTOR KRISTIÁN , SOBOTOVÁ LÝDIA , MORAVEC MAREK ,
PIŇOSOVÁ MIRIAMA

ABSTRAKT

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.

ÚVOD

Rozvoj automobilového priemyslu v Slovenskej republike a v Európe je kľúčový pre celkový rozvoj a prosperitu spoločnosti. [12] Na Slovensku sa automobilový priemysel vďaka štyrom (v budúcnosti až piatim) výrobným závodom prepracoval na prvú priečku v rámci priemyslu. Na *druhej* strane sa to však spája aj s negatívami, ktoré sa spájajú so spotrebou automobilov a konvenčným prístupom k nakladaniu s týmito vozidlami po dobe ich životnosti. [2]

Z dôvodu zhodnotenia alebo znovu použitia materiálov, ktoré sa nachádzajú vo vozidlách po dobe ich životnosti boli vyvinuté rôzne spracovateľské a demontážne techniky. [1] Problém

¹ Miroslav Badida, Dr.h.c. mult. prof. Ing. PhD., Tibor Dzuro, Ing. PhD., Kristián Pástor, Ing., Lýdia Sobotová, doc. Ing. PhD., Marek Moravec, Ing. PhD., Miriama Piňosová, Ing, PhD. Strojnícka fakulta, Technická univerzita v Košiciach

predstavujú materiály, pre ktoré neexistujú, alebo existujú iba v obmedzenom množstve technologické prevádzky na ich spracovanie a 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, čím by sa mohla zlepšiť kvalita životného prostredia a ochrana jeho jednotlivých zložiek.

Riešitelia výskumného projektu sa vo svojej práci zamerali na vytypovanie problémových materiálov z hľadiska ich ďalšieho zhodnocovania z automobilov po dobe ich životnosti, na návrh metodiky merania akustických deskriptorov sypaných materiálov, na výskum vybraných akustických deskriptorov vytypovaných kompaktných a sypaných materiálov, na vývoj a výrobu prípravkov a zariadenia pre potreby merania akustických deskriptorov sypaných materiálov, na návrh metodiky merania sypaných materiálov, na rozsiahlu experimentálnu časť zameranú na výskum akustických deskriptorov vybraných problémových materiálov z hľadiska ich zhodnocovania (v compactnej a sypanej forme) ako aj na vyhodnotenie vykonaných experimentov s využitím regresnej a korelačnej analýzy a predikciu využitia sypaných materiálov do zvukovo izolačných produktov. [1]

1. Potenciálne problémové komponenty (materiály) vozidiel po dobe ich životnosti

Analyzovanie procesov, ktoré vychádzajú z recyklácie vozidiel po dobe životnosti a hodnotenie stavu zhodnocovania a spracovania odpadov z vozidiel po dobe životnosti je dôležité z hľadiska vytvorenia počiatočnej bázy informácií o materiáloch. [12] 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.

Dosiahnutie úrovne spracovania viacerých materiálov sa dosahuje v množstve prípadoch iba zvýšením energetického zhodnotenia. [9] Na Obr.1 sú prezentované základné materiály z ktorých je vozidlo zložené.

Kovy	Med'	Hliník	Akumulátory, katalyzátory	Kvapaliny	Plasty	Gumy	Ostatné diely
karoséria	káble	motor	olovené	nafta benzín	plasty pri motore	pneumatiky	koberce
motor	motorčeky	alternátor	NiCad	nemrznúca zmes	nárazníky, nádrže	tesnenia	izolácie
nápravy	alternátor	prevodovka	Li-Ion	olej	interiérové plasty	hadice	molitan
disky	štartér	disky		kvap. do ostrekovačov			textílie
prevody	elektronika			brzdová kvap.			sklo
štartér							tapacíry
seďačky							reflektory
motorčeky							airbagy
alternátor							

Obr. 1 Základné komponenty vozidla

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 gumy, 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 zameraní 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.

1.1 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 (Obr. 2),
- sypaného materiálu, ktorý tvorili homogenizované časti textílií z kobercov a poťahov rozstrihané alebo roztrhnuté na menšie frakcie (Obr. 3).



Obr. 2 Kompaktný textilný materiál



Obr. 3 Rozstrihaný textilný materiál

2. Návrh metodiky merania akustických deskriptorov sypaných materiálov

Na meranie vybraných akustických deskriptorov (Koefficientu zvukovej pohltivosti a Indexu útlmu) bola použitá impedančná trubica BSWA TECH SW433 pomocou metódy transformačnej funkcie, ktorá je v súlade s normou STN EN ISO 10534-2. [11]

Pracovisko autorov je vybavené takouto špičkovou meracou technikou. Pohľad na meracie pracovisko sa uvádza na Obr. 4.



Obr. 4 Impedančná trubica

Metodikou merania Koefficient zvukovej pohltivosti (α) a Indexu útlmu (R) pomocou Impedančnej trubice sa zaoberali viacerí doktorandi, ktorých školiteľom bol Dr.h.c. mult. prof. Ing. Miroslav Badida, PhD. Žiaden z nich sa nevenoval návrhu metodiky merania sypkých materiálov pomocou uvádzanej trubice. Autori príspevku navrhli originálnu metodiku merania akustických deskriptorov sypaných materiálov rôznych frakcií (voľne sypaných, respektíve pod určitým tlakom). Navrhnutá metodika je detailne prezentovaná v práci [9].

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

3. 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. [8] Testovacie kazety boli vyrobené na obrábacom CNC stroji a to v piatich dĺžkach – 25, 50, 75, 100 a 125 mm (Obr. 5).

Kazety sú zložené z vonkajšieho závitú na jednej strane a v z vnútorného závitú na druhej strane. Uzavreté sú perforovaným sitom, ktorý tvorí najdôležitejšiu časť, nakoľko bráni vysypaniu materiálu z kazety [7]



Obr. 5 Vyvinuté testovacie kazety



Obr. 6 Reálny pohľad na vyvinuté zariadenie

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.

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 materiály. Následne je možné vyhodnotiť vplyv pórovitosti vo vybranom materiály na jeho akustické vlastnosti – Koefficient zvukovej pohltivosti (α) a Index útlmu (R). Na Obr. 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.

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

4. 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 (Obr. 8) boli zhotovené v troch hrúbkach 20 mm, 45 mm a 70 mm.



Obr. 8 Sypaný recyklovaný textil v troch hrúbkach

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

Vzorky sypaných materiálov boli stláčané v zariadení na merané plnenie testovacích kaziet sypkými materiálmi, kedy 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 znova odvážená.

Kompaktné vzorky vyrobené a z textilu (Obr. 9) z vozidiel po dobe životnosti, boli vyrezané taktiež v troch hrúbkach 20 mm, 45 mm a 70 mm, všetky z priemerom 60 mm.



Obr. 9 Kompaktný materiál z recyklovaného textilu v troch hrúbkach

V Tab. 1 sú uvádzané základné informácie o vzorkách z recyklovanej gumovej drviny a recyklovaného textilného materiálu z vozidiel po dobe životnosti, ktoré boli použité na meranie vybraných akustických deskriptorov – Koefficientu zvukovej pohltivosti (α) a Indexu útlmu (R).

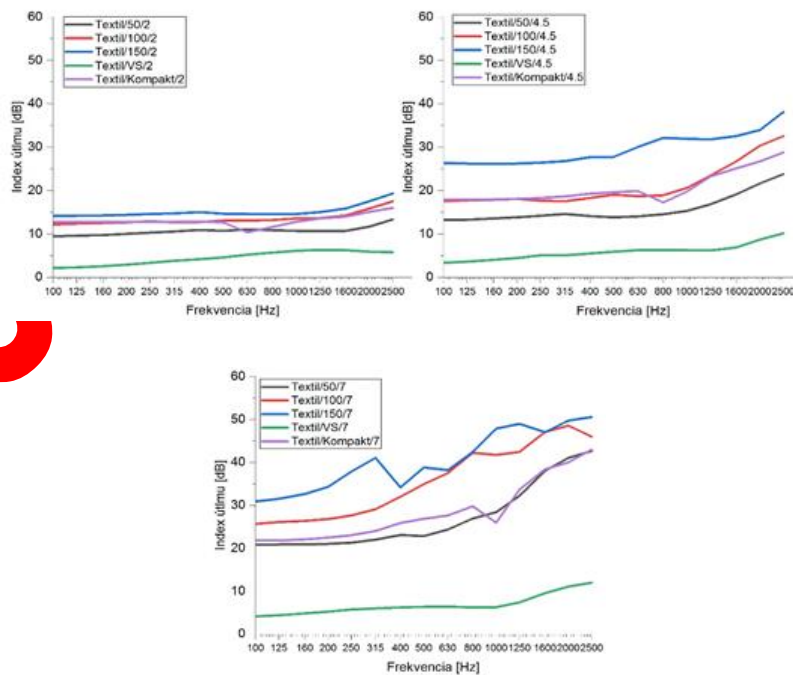
Tab. 1 Základné údaje o vzorkách z recyklovaného textilu

Materiál	Frakcia [mm]	Akustický parameter	Tlak [kg]	Hmotnosť [g]	Hrúbka vzorky [cm]	Priemer vzorky [cm]	
Vzorka č. 1	-	α	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	-	α	R	-	10 g	20 mm	6
					18,3 g	45 mm	6
					30 g	70 mm	6

5. Vyhodnotenie vykonaných experimentov pomocou regresnej a korelačnej analýzy

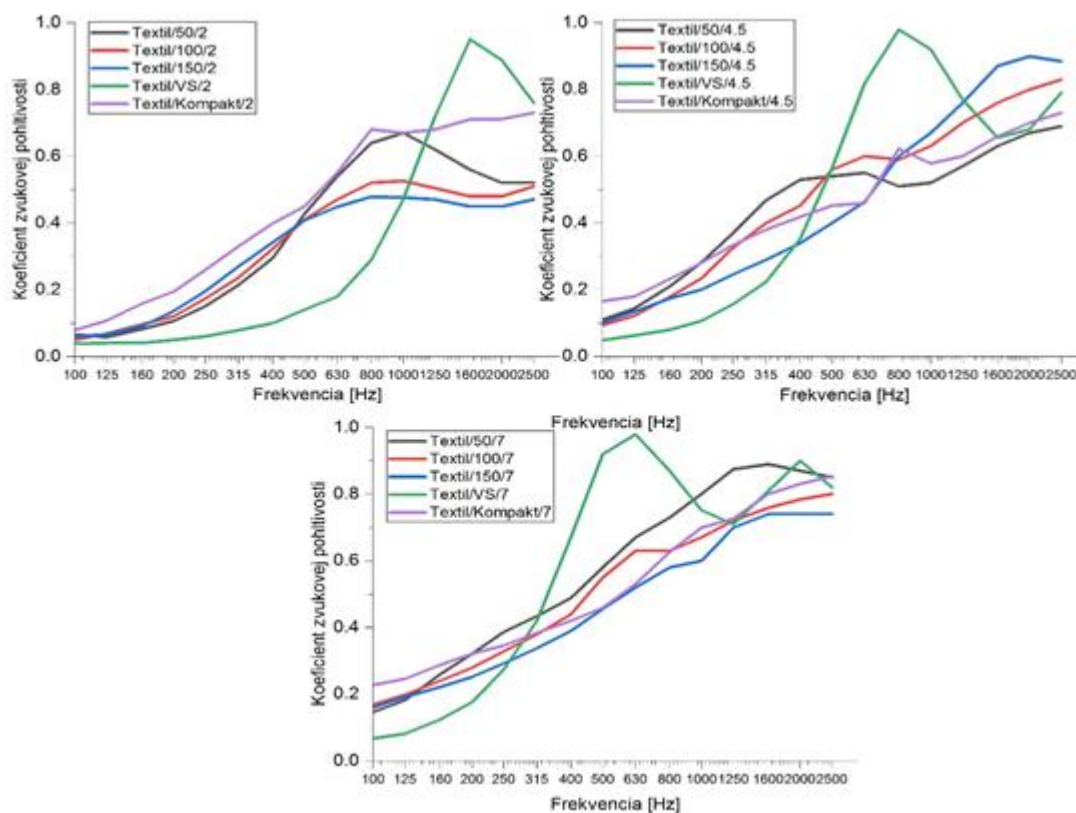
V tejto časti príspevku sú prezentované výsledky vykonaných meraní vybraných akustických deskriptorov (Indexu útlmu (R) a Koefficientu zvukovej pohltivosti (α)). V rámci experimentálnej práce bolo vykonaných 5 250 meraní, čo možno označiť za významnú experimentálnu vzorku.

Grafické znázornenie nameraných hodnôt Indexu útlmu (R) pre vzorky recyklovaného textilu na Obr. 10.



Obr. 10 Grafické znázornenie nameraných hodnôt Indexu útlmu (R) pre vzorky recyklovaného textilu o hrúbke 45 mm

Grafické znázornenie nameraných hodnôt Koeficientu zvukovej pohltivosti (α) pre vzorky recyklovaného textilu sa uvádza na Obr. 11.



Obr. 11 Grafické znázornenie nameraných hodnôt Koeficientu zvukovej pohltivosti (α) pre vzorky recyklovaného textilu o hrúbke 45 mm

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.

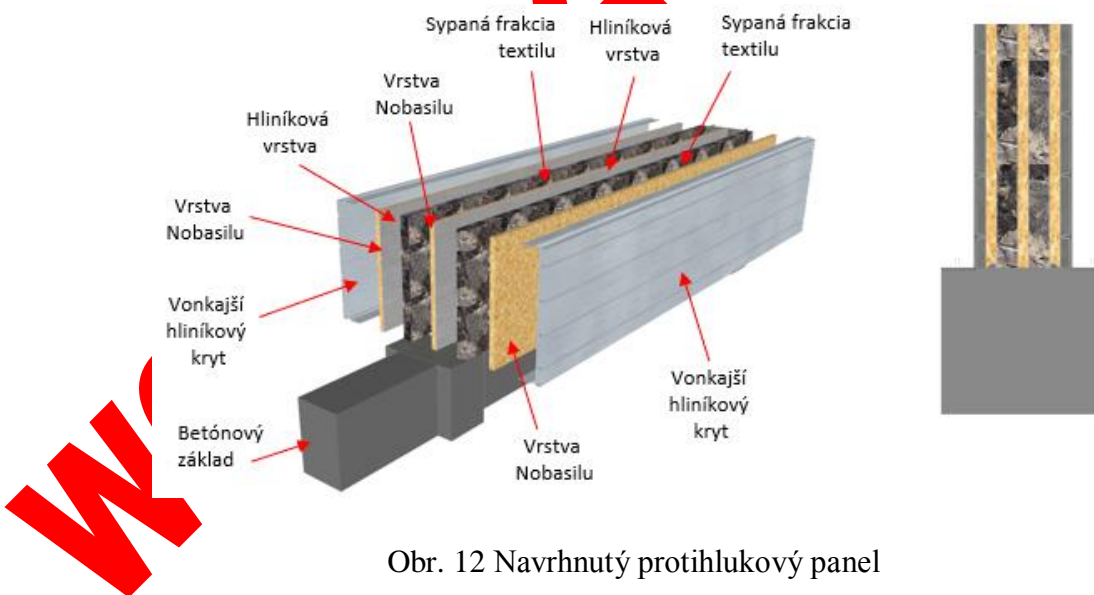
Ako problémový komponent z vozidiel po dobe životnosti, si autori vybrali staré textílie strihané, trhané, ktoré sú na základe výsledkov v experimentálnom výskume vhodné na výrobu zvukovo izolačných prvkov. Nakoľko výroba kompaktných panelov z problémového materiálu z vozidiel po dobe životnosti je z hľadiska dostupnosti technologických procesov problematická a pridávanie dodatočných pojív samotný produkt len finančne predraží a 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 Obr. 12.



Obr. 12 Navrhnutý protihlukový panel

Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol na základe riešenia vedecko-výskumného projektu UNIVNET č.0201/0082/19, ktorý financoval výskumné aktivity, bol financovaný MŠVVaŠ SR.

LITERATÚRA

- [1]. BADIDA, M. - SOBOTOVÁ, L. - MORAVEC, M. - DZURO, T.: Environmental Engineering. RAM-Verlag, Lüdenscheid, Germany, 346 p., ISSN 978-3-96595-027-6.
- [2]. BADIDA, M. a kol.: Progresívne technológie zhodnocovania odpadov v automobilovom priemysle, Vydavateľstvo SPEKTRUM STU Bratislava, 2021, s. 267, ISBN 978-80-553-3867-5.
- [3]. 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.
- [4]. ČIŠKO, V. - VOKÁL, P.: Regresná a korelačná analýza ako kognoskačná metóda základného a aplikovaného výskumu. Vol. 29, No.1, 42—44, 1995, [online]. [cit 2023-01-20]. Dostupné na internete: http://publikacie.uke.sav.sk/sites/default/files/1995_1_042_044_cisko.pdf
- [5]. ĎURIŠ, R. - LABAŠOVÁ, E.: The design of an impedance tube and testing of sound absorption coefficient of selected materials. [online]. [cit 2022-10-11]. Dostupné na internete: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1050/1/012003/pdf>
- [6]. Kolektív: Úžitkový vzor č. 9662: Kazeta na rozšírenie možností merania sypkých materiálov v impedančnej trubici. ÚPV SR Banská Bystrica, 2022.
- [7]. Kolektív: Úžitkový vzor č. 9665: Zariadenie na merané plnenie testovacích kaziet sypkými materiálmi. ÚPV SR Banská Bystrica, 2022.
- [8]. NOVÁKOVÁ, A.: Možnosti zhodnocovania problémových odpadov z automobilového priemyslu a spracovania starých vozidiel do zvukovo izolačných produktov. Dizertačná práca, 2023, 182 str.
- [9]. PASQUAL, A. M. - LARA, L. T.: 2017 Time-domain simulation of acoustic impedance tubes, J. Braz. Soc. Mech. Sci. Eng. 39 (1) 67-79.
- [10]. 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.
- [11]. ŠOOŠ, L. (Ed.): Smart Technologies for Waste Processing from the Automotive Industry. RAM-Verlag, Lüdenscheid, Germany, 2022, 219 p., ISSN 978-396595-023-8.
- [12]. WEI-HONG, T. - ROSMAINI, A. - ZUNAIDI, 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.

- [13]. 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.

WORKING PAPERS

POŽIARNE VLASTNOSTI NOVÝCH DREVNÝCH KOMPOZITOV OBSAHUJÚCICH ODPADOVÉ PLASTY Z AUTOMOBILOV

Čabalová Iveta *

Anna Darabošová, Martin Zachar, Jozef Krilek, Vladimír Mancel, Mária Osvaldová,
Roman Réh

ABSTRAKT

Wood-plastic composites are materials that are made from wood and synthetic polymers and have a number of advantages, such as high weather resistance and long life. The aim of this work was to evaluate the influence of plastic filler, waste from cars (painted, unpainted bumpers, fuel tanks) on selected fire-technical properties of wood-plastic composites. From the fire-technical properties, the ignition temperature, mass burning rate and calorific value were evaluated according to valid standards.

***Iveta Čabalová, doc., Ing., PhD.**, metodika, koordinácia úlohy, Katedra chémie a chemických technológií, Drevárska fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, T.G. Masaryka 24, 96001 Zvolen; **Anna Darabošová, Ing.**, experimentálne práce, Katedra chémie a chemických technológií, Drevárska fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, T.G. Masaryka 24, 96001 Zvolen; **Martin Zachar, doc., Ing., PhD.**, metodika, analýza výsledkov, Katedra protipožiarnej ochrany, Drevárska fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, T.G. Masaryka 24, 96001 Zvolen; **Jozef Krilek, prof., Ing., PhD.**, koordinácia úlohy, Katedra environmentálnej a lesníckej techniky, Fakulta techniky, Študentská 26, 96001 Zvolen; **Vladimír Mancel, Ing.**, experimentálne práce, Katedra environmentálnej a lesníckej techniky, Fakulta techniky, Študentská 26, 96001 Zvolen; **Mária Osvaldová, Ing.**, experimentálne práce, Katedra

ekonomiky, manažmentu a podnikania, Drevárska fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, T.G. Masaryka 24, 96001 Zvolen; **Roman Réh, prof., Ing., CSc.** metodika, Katedra drevárskych technológií, Drevárska fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, T.G. Masaryka 24, 96001 Zvolen;

The results show that the ignition temperature and the average time to initiation of the composites ranged from 260 s to 308 s and the average temperature from 432.98°C to 442.71°C. In the case of particleboard containing unpainted bumpers and fuel tanks, the time to initiation decreased proportionally with increasing filler concentration. The calorific value and ash content increased proportionally with the increasing amount of added plastic filler. Considering the results of the research, it is necessary to take into account their fire resistance and to increase it, apply protective means incorporated either inside the material or on its surface.

Keywords: wood-plastic composites, waste plastics, automotive industry, time to ignition, the mass burning rate, calorific value, fire safety.

ÚVOD

Drevo-plastové kompozity sú produktom, ktorý zohráva dôležitú úlohu vo svete výroby, konštrukcie a dizajnov. Najčastejšie sú drevoplastové kompozity vyrábané spojením drevnej hmoty a termoplastu, ako je polyetylén (PE), polypropylén (PP) a polyvinylchlorid (PVC) (Tabarsa et al. 2011). Výsledný produkt je povrchovo podobný prírodnému drevu, ale vnútorná štruktúra je vylepšená o zvýšenie tvrdosť, rezistenciu voči oderu, pevnosť v tlaku, ohybe a biologickú degradáciu (Renner 2021). Vďaka ich unikátnosti a odolnosti ponúkajú flexibilné možnosti pre inžinierov a dizajnérov. Kompozity sa často využívajú v priemysle, na výrobu lietadiel, pre priemyslové technológie, lodné stavby a ľahké konštrukcie. Drevo-plastové kompozity, ktoré sú výsledkom spojenia prírodných drevných vlákien a plastických materiálov, majú množstvo výhod v porovnaní s inými konvenčnými materiálmi a aj so samotnými drevnými kompozitmi. Drevo veľmi ľahko absorbuje vodu a vlhkosť, je ľahko napadnutelné hubami, dokáže napúčať, a tým dochádza k jeho degradácii. Avšak v kombinácii s iným materiálom, napr. s gumou (drevo-guma kompozity) dosiahne oveľa lepšie vlastnosti (Mancel et al. 2022). Použitím gummy v drevotriekových paneloch môže dôjsť k poklesu niektorých mechanických pevností, avšak Ayrimis et al. (2009) uvádzajú zlepšenie hydrofóbnych vlastností. Použitím plastov v drevných kompozitoch dochádza k zníženiu ich požiarnej odolnosti, plastový materiál zvyšuje obsah chemického tepla (Papadopolus, 2020), no zlepšujú sa iné vlastnosti. Spojením polypropylénu s prírodnými vláknami dochádza k zvýšeniu tepelnej stálosti, odolnosť voči UV žiareniu a rezistencie pri kyslých dažďoch v porovnaní s drevnými kompozitmi. Takéto produkty

sa bežne využívajú v stavebníctve, ako strešné krytiny alebo rezivo na vonkajšie terasy (Renner, 2021).

V automobilovom priemysle sú plastové komponenty najdôležitejším konštrukčným materiálom. Je to pre ich nízku cenu a hmotnosť, beznáterový farebný povrch s rôznym stupňom lesku, pevnosť konštrukčných kompozitov, tvrdosť a odolnosť voči nízkym. Exteriérové časti osobného automobilu, ako sú nárazníky, maska chladiča, predné svetlá, interiérové časti, ako palubná doska, sedadlá, obloženie dverí a strechy a kufor, sú vyrobené z plastov (Hájeková et al. 2015). Pri výrobe jedného automobilu sa použije až 13 rôznych druhov plastov. Tie najpoužívanejšie tvoria až 66 %. Medzi túto trojicu patria: PP (32 %), polyuretán (17 %) a PVC (16 %) (Panda, Orendáč 2015).

Množstvo rozličných druhov plastov v automobilovom priemysle narastá neustále, tým pádom je vhodné nájsť efektívnejšie separačné metódy a technológie. Keďže každý z týchto materiálov má odlišné chemické zloženie, je potrebné každý plast recyklovať vhodným spôsobom. Jednou z možností je materiálová recyklácia, použiť plast ako súčasť nového produktu. Táto práca ponúka inovatívne riešenie, a to spojenie odpadových plastov z automobilov a prírodných drevných vlákien do nových kompozitných materiálov - drevotriekových dosák, ktoré obsahujú plastové plnidlo. Ako už bolo spomenuté, plast zvyšuje obsah chemického tepla a znižuje požiaru odolnosť drevných kompozitov, z toho dôvodu bolo cieľom tejto práce vyhodnotiť vplyv plastového plnidla, odpadu z automobilov (lakované, nelakované nárazníky, palivové nádrže), na vybrané požiaro-technické vlastnosti kompozitov drevo-plast.

1. MATERIÁL A METODIKA

1.1 Materiál

- Plastový materiál: lakované (PP), nelakované nárazníky (PP) a palivové nádrže (PE) boli získané od firmy Aluex, s.r.o. Zvolen. Jednotlivé plasty boli podrvené pomocou drviča plastov v dielňach Technickej univerzity vo Zvolene na frakciu od 1 - 4 mm.

- Drevné častice, pripravené z čerstvej smrekovej guľatiny, boli v experimente spracované v spoločnosti Kronospan s.r.o, Zvolen, SR. Rozmery častíc bežne používaných pre stredovú vrstvu a vybraných na výrobu jednovrstvových drevotriekových dosiek boli od 0,25 do 4,0 mm. Častice sa vysušili na obsah vlhkosti 4 %.

- Zloženie adhézneho zmesi: Močovino-formaldehydová (UF) živica Kronores CB 1100 F (Diakol Strážske s.r.o., Strážske, Slovensko), lepidlo, ktoré bolo použité na spojenie drevených častíc a drvej gumy má obsah pevnej látky 67,1 %, viskozitu 460 mPa·s, čas kondenzácie 55 sekúnd a hodnotu pH 8,6. Do lepiacej zmesi bol pridaný dusičnan amónny NH_4NO_3 (47 %) ako tvrdidlo.

Parafín, použitý ako 35 % hmotnosti vodnej emulzie, bol aplikovaný na častice v množstvách 0,6 %.

1.2 Metodika

1.2.1 Výroba drevotriekových dosiek s obsahom plastov

Na lisovanie jednovrstvových drevotriekových dosiek s prídavkom drveného plastu (10, 15 a 20 %) bola použitá UF živica. Adhézna zmes bola pridaná k časticiam v množstve 11 % hmotnosti. Jednovrstvová drevotrieková doska s plastovým plnidlom mala rozmery 360 mm x 280 mm x 15 mm a bola pripravená v laboratóriách Technickej univerzity vo Zvoléne. Obsah vlhkosti častíc zmiešaných s UF živicami bol 9,5 %. Drevotriekové dosky boli pripravené bežnou technológiou, t.j. najprv predlisovaním časticových rohoží za studena na 1 MPa a následným lisovaním za tepla v tlaku (laboratórny lis CBJ 100-11, TOS, Rakovník, bývalá ČSSR) pri maximálnej teplote lisovanie dosiek v lise 230 °C, maximálny lisovací tlak 6,50 MPa a celkový lisovací čas 356 s, ktorý musel byť dlhší ako pri bežnej výrobe celodrevených drevotriekových dosiek z dôvodu prítomnosti drvených odpadových plastov. Bolo vyrobených 6 dosiek z každého druhu (Tab.1).

Tab. 1 Označenie vzoriek kompozitov

DTD	Drevotrieková doska bez pridaného plnidla
N10; N15; N20	Drevotrieková doska s 10, 15 resp. 20 %- ným podielom nelakovaných nárazníkov
L10; L15; L20	Drevotrieková doska s 10, 15 resp. 20 %- ným podielom lakovaných nárazníkov
P10; P15; P20	Drevotrieková doska s 10, 15 resp. 20 %- ným podielom palivových nádrží

1.2.2 Stanovenie teploty vznietenia

Teplota vznietenia sa učí podľa ISO 871 (2022). Táto norma špecifikuje laboratórnu metódu na stanovenie teploty vzplanutia a vznietenia v teplovzdušnej peci. Princíp skúšky spočíva v zahrievaní vzorky pri rozdielnych teplotách bez použitia otvoreného ohňa. Teplotný profil sa meria pomocou 0,5 mm termočlánkov a zaznamenáva sa pomocou záznamníka údajov ALMEMO® 710. Teplota vznietenia sa zaznamenáva najnižšou teplotou vzduchu, pri ktorej sa vzorka zapáli počas 10 minút. Celkovo sa skúška opakovala päť krát na každú vzorku.

1.2.3 Stanovenie rýchlosti odhorievania materiálu

Skúmali sa požiarne vlastnosti podľa normy ISO 11925-2 (2020), čo zahŕňalo meranie rýchlosti hmotnostného horenia za použitia zariadenia s elektronickou váhou (presnou na dve desatinné miesta), kovovým držiakom vzoriek, ťažidlom, kovovým nosičom sálavého tepla a 1000 W infračerveného ohrievača. Riešenie spočívalo v umiestnení vzorky v držiaku vzdialenej 30 mm od teplého zdroja a následnom meraní rozdielu hmotnosti každých 10 s počas 600 s. Tepelný tok infračerveného ohrievača bol stanovený na 30 kW/m². Vypočítaná bola absolútna rýchlosť horenia v za stanovený časový interval pomocou vzťahovej rovnice:

$$v = (\delta(\tau) - \delta(\tau + \Delta\tau)) / \Delta\tau \quad (1.1)$$

v – absolútna rýchlosť horenia [%·s⁻¹],

$\delta(\tau)$ – hmotnosť vzorky vzorky v čase (τ) [%],

$\delta(\tau + \Delta\tau)$ – hmotnosť vzorky vzorky v čase ($\tau + \Delta\tau$) [%],

$\Delta\tau$ – časový interval, v ktorom boli zaznamenané hodnoty hmotnosti [s].

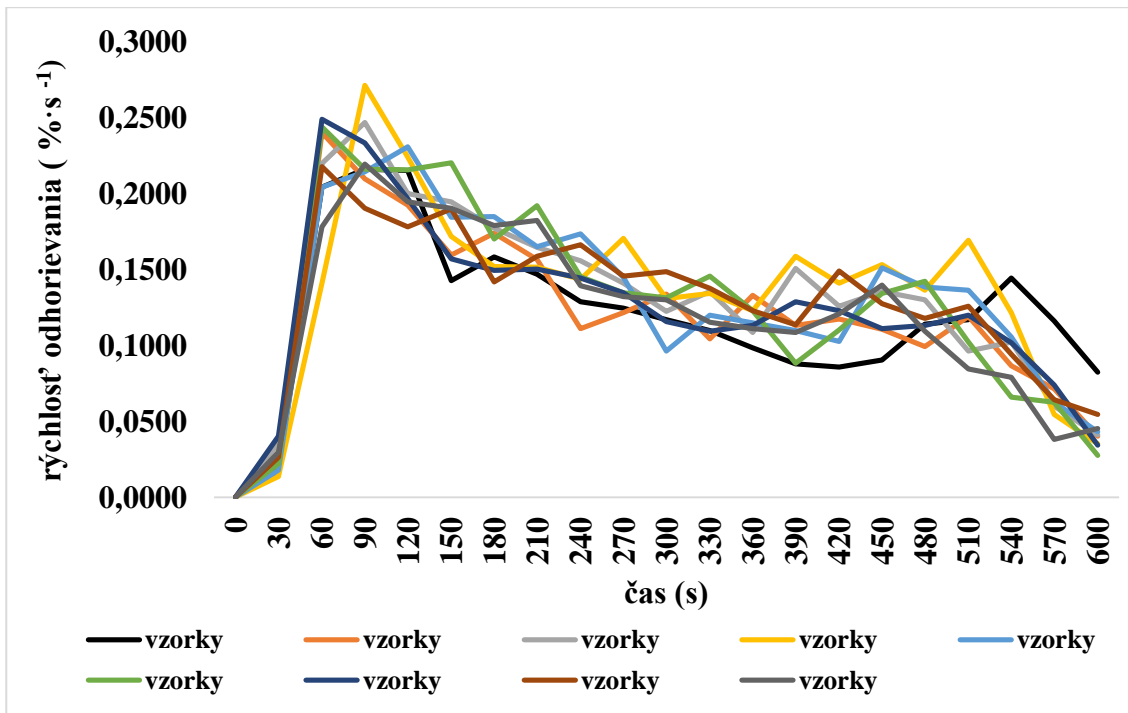
2. VÝSLEDKY A DISKUSIA

Stanovením hodnoty teploty a času vznietenia vzoriek získavame dôležité informácie, ktoré sa používajú na posúdenie požiarnej odolnosti materiálov využívajúcich v stavebnom priemysle. Aby sa dosiahla najvyššia požiarne odolnosť, je potrebné, aby bola čo najvyššia teplota a čas do vznietenia experimentálnych vzoriek. Tab. 2 uvádza výsledky experimentov pre drevotrieskové dosky s obsahom troch druhov plastov s rôznou koncentráciou. U dosiek s plastovým plnidlom bol dosiahnutý kratší čas a vyššie teploty vznietenia v porovnaní s DTD. Horľavejší materiál predstavujú DTD s obsahom lakovaných nárazníkov v porovnaní s DTD s nelakovanými nárazníkmi. U DTD dosák obsahujúcich plnidlo z palivových nádrží sme zistili opačný trend v porovnaní s DTD s obsahom lakovaných či nelakovaných nárazníkov. So zvyšujúcou koncentráciou plnidla sa čas do vznietenia zvyšoval. Mancel et al. (2022) hodnotili drevné kompozity s 10, 15 a 20 %-ným podielom plnidla z odpadových pneumatík resp. odpadovej gúmy (zmes koberčekov a tesnení), pričom dosiahli čas do vznietenia od 298 s do 302 s pre DTD s pneumatikami a od 318 s do 352 s pre DTD s gumou.

Tab. 1 Teploty a časy vznietenia drevotrieskových dosák s/bez obsahu plastového plnidla

Vzorka	Čas do vznietenia τ (s)	Teplota vznietenia t (°C)
DTD	309±12	430,0±1,2
N10	308±25	442,3±1,8
N15	287±20	434,7±3,9
N20	289±12	436,5±1,3
L10	294±14	433,0±1,5
L15	277±13	435,5±1,7
L20	260±19	442,7±4,2
P10	263±16	436,9±4,2
P15	299±17	436,5±3,1
P20	293±10	438,7±3,3

Na základe výsledkov stanovenia rýchlosti odhorievania materiálu (Obr. 1) môžeme konštatovať, že maximálna rýchlosť odhorievania sa pohybovala v rozmedzí 30 s do 120 s. Najnižší čas do iniciácie bol nameraný u vzorky N20 (27 s) a najvyšší u vzorky P10 (45 s). V prípade DTD s obsahom nelakovaných nárazníkov a palivových nádrží čas do vznietenia úmerne klesal so zvyšujúcou sa koncentráciou plastovej drte v kompozite. Výnimku tvoria vzorky lakovaných nárazníkov L10 a L20, ktoré majú rovnaký čas do iniciácie. Porovnaním drevotrieskových dosiek s obsahom plastov z lakovaných, nelakovaných nárazníkov a palivových nádrží je možné vidieť, že drevotrieskové dosky s obsahom drte z palivových nádrží dosiahli najvyššiu rýchlosť odhorievania P10 (0,2714 %·s⁻¹.) Pri DTD s obsahom lakovaných nárazníkov a palivových nádrží sa s rastúcou koncentráciou plastového plnidla rýchlosť odhorievania znižovala a u DTD s obsahom nelakovaných nárazníkov sa rýchlosť odhorievania zvyšovala.



Obr. 1. Rýchlosť odhorievania DTD s obsahom plastového plnidla, L- lakované nárazníky, N- nelakované nárazníky, P- palivové nádrže

3. ZÁVER

Posúdenie požiarnej vlastností materiálov, ktoré sa používajú v stavebnom priemysle je dôležité pre zabezpečenie bezpečnosti zdravia osôb a majetku. V tejto práci sa hodnotila teplota vznietenia a rýchlosť odhorievania drevných kompozitných materiálov - drevotrieskových dosák (DTD) s rôznou koncentráciou (10, 15 a 20 %) odpadových plastov z automobilov (lakovaných (L), nelakovaných (N) nárazníkov, palivových nádrží (P)). Na základe dosiahnutých výsledkov možno konštatovať, že:

- so zvyšujúcou sa koncentráciou lakovaných a nelakovaných nárazníkov v DTD sa priemerný čas do vznietenia znižoval. Opačný trend bol dosiahnutý u DTD s obsahom palivových nádrží.
- teplota vznietenia sa u vzoriek DTD s obsahom palivových nádrží nemenila, u DTD s obsahom lakovaných nárazníkov sa zvyšovala a u DTD s obsahom nelakovaných nárazníkov znižovala.
- rýchlosť odhorievania materiálu sa pohybovala od 30 do 120 s. Najnižší čas do iniciácie bol nameraný u vzorky N20 (27 s) a najvyšší u vzorky P10 (45 s). DTD s 10 %-ným obsahom drte z palivových nádrží dosiahli najvyššiu rýchlosť odhorievania ($0,271 \% \cdot s^{-1}$).

V tejto práci bola zistená vyššia horľavosť DTD s obsahom odpadových plastov z automobilov v porovnaní s bežnou DTD bez obsahu plastového plnidla. Pre zvýšenie požiarnej odolnosti by bolo vhodné aplikovať vhodné retardéry horenia do povrchových vrstiev kompozitu.

POĎAKOVANIE

Táto práca vznikla v rámci projektu a finančnej podpory Agentúry na výskum a vývoj na základe zmluvy č. APVV-22-0034 (70 %), v rámci projektu združenia univerzít, UNIVNET č. zmluvy 0201/0082/19 a jeho finančnej podpory, financované Ministerstvom školstva, vedy, výskumu a športu SR (20 %) a ako výsledok riešenia projektu IPA (Interná projektová agentúra) TUZVO č. 3/2023 – Výskum vybraných fyzikálnych vlastností nových drevoplastových kompozitov (10 %).

LITERATÚRA

- [1] TABARSA, T. et al.: Manufacturing of wood-plastic composite from completely recycled materials. *Key engineering materials*, 2011, vol. 471-472, pp. 62-66. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.471-472.62.
- [2] RENNER J. S. et al.: Fire Behavior of Wood-Based Composite Materials. *Polymers*, 2021, vol. 13, no. 24.
- [3] MANCEL, V. et al.: Fire resistance evaluation of new wooden composites containing waste rubber from automobiles. *Polymers*, 2022, vol. 14, no. 20.
- [4] AYRILMIS, N. et al.: Utilization of waste tire rubber in manufacture of oriented strandboard. *Waste Management*, 2009, vol. 29, no. 9, pp. 2553-2557.
- [5] PAPADOPOULOS, A. N.: Advances in wood composites. *Polymers*, 2020, vol. 12, no. 1.
- [6] HÁJEKOVÁ, E. et al.: Recyklácia odpadových plastov z vozidiel po skončení doby životnosti. *Strojárstvo*, 2015, vol. 3, pp. 92-93.
- [7] PANDA, A., ORENDÁČ, P.: Analýza materiálov používaných v automobilovom priemysle. *Trendy a inovatívne prístupy v podnikových procesoch*, 2015, roč. 18, 8 s.
- [8] ISO 871: 2022. *Plastics — Determination of ignition temperature using a hot-air furnace*
- [9] ISO 11925-2:2020. *Reaction to fire tests — Ignitability of products subjected to direct impingement of flame — Part 2: Single-flame source test*

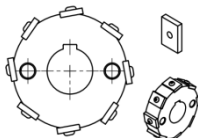
ANALÝZA EXPERIMENTU OPOTREBENIA NÁSTROJOV PRE STIERACÍ MODUL PRI SPRACOVANÍ LEPENÉHO SKLA

Čačko Viliam²

Šooš Lubomír², Čáčková Iveta², Chlebo Ondrej², Bábics Jozef²

ABSTRAKT

Vývoj linky na spracovanie dekompozitných lepených skiel je v súčasnosti v štádiu, kedy je potrebné pristúpiť k detailnejšiemu experimentálnemu výskumu. Linka na spracovanie lepených skiel je modulovej stavby a pozostáva z lámacieho modulu, vibračného modulu a modulu stieracieho. V príspevku sa konkrétnejšie venujeme analýze možného experimentálneho skúmania opotrebenia nástrojov stieracieho modulu. Hypotéza predmetného výskumu opotrebenia je postavená na zmene povrchovej úpravy samotných materiálov rezných platničiek resp. nástrojov. Základom analýzy experimentu je predpoklad, že nástroje stieracieho modulu sú vyrobené z rovnakého materiálu. Pri experimente budeme meniť povrchovú úpravu platničky, a to v troch prevedeniach, prvá skupina platničiek bude bez povrchovej úpravy, druhá skupina bude mať PVD povlak a tretia skupina platničiek bude špeciálne upravená pomocou elektrolyticko-plazmovej technológie. Konkrétny príspevok sa však nevenuje vecne skúmaniu opotrebenia stieracích platničiek, ale prioritne analyzuje možnosti čo najvhodnejšieho skúmania v kontexte na meniacu sa povrchovú úpravu platničiek stieracieho modulu pre recykláciu lepených skiel. Príčinou výsledkom už konkrétneho výskumu opotrebenia platničiek by mal byť zvolený najlepší materiál stieracích nástrojov.



ÚVOD

² Ústav výrobného inžinierstva a kvality, Strojnícka fakulta STU v Bratislave, e-mail: viliam.cacko@stuba.sk

V súčasnosti sa vo výraznej miere používa vrstvené lepené sklo. To platí pre oblasti automobilového, stavebného ale aj iného priemyslu. V automobiloch sú to všetky sklá, v stavebnom priemysle je to v podstate bezpečnostné sklo používané na rôzne zábradlia schodov, výrobu okien a aj iných dekoratívnych prvkov. Úlohou takéhoto skla je dostatočná odolnosť proti mechanickému poškodeniu a nepriaznivým poveternostným podmienkam. V prípade že by došlo k ich poškodeniu musia sa polámať na čo možno najmenšie kúsky, ale v ideálnom prípade by mali ostať kompaktné na spojovacej fólii z bezpečnostného hľadiska, aby črepiny rozbitého skla niekoho nezranili. Recyklácie skla má z hľadiska ekologického, energetického ako aj technického veľmi veľký význam, nakoľko sklo môže predstavovať významnú druhotnú surovinou. Podľa analýz ZAPU SR je na Slovensku celkový ročný použiteľný odpad technického skla zo stavebníctva cca 13 200 ton a objem odpadu čelných skiel z automobilov cca 2 300 ton. Základnou myšlienkou pri recyklácii skla je spätné využitie druhotnej suroviny z odpadového skla ako vstupnej suroviny pri výrobe nového skla. V prípade splnenia podmienky, že má druhotná surovina požadované technologické parametre je kvalita výrobku veľmi podobná výrobku vyrobeného z primárnej suroviny. Rovnako ako aj recyklovanie iných surovín, tak aj recyklácia lepeného skla má výrazný vplyv na rozširovanie skládok. Jednoducho povedané čím viac skla sa recykluje tak sa menej uloží na neželané skládky odpadov. Pri výrobe lepeného skla sa vkladá elastický materiál s dobrou príľnavosťou ku sklu. Bežne používanými materiálmi sú polyvinylbutyral (PVB) etylvinylacetát (EVA) alebo ionoplast SentryGlassPlus (SGP). PVB je najčastejšie používaným materiálom na výrobu medzivrstvovej fólie vrstveného skla. Laminátové sklá s fóliou sa obvykle vyrábajú za vysokého tlaku a teploty v autokláve, [1]. Pri samotnej separácii skla od nalepenej fólie, je najväčší problém oddelenie laminátovej fólie od samotného skla. Sklenené črepy ako aj fólia znečistená sklom je pre následné použitie v priemyselnom procese nevhodná. Skutočnosti popísané v úvode nás viedli k technologickému návrhu linky na spracovanie lepených odpadových skiel. Samotná linka pozostáva z niekoľkých samostatných modulov, pričom v príspevku sa venujem iba jednému modulu, a to konkrétne stieraciemu modulu. Pri stieracom module som sa zameril konkrétne na nástroje stieracieho modulu. Nástroj stieracieho modulu je kotúč s uchytanými platničkami.

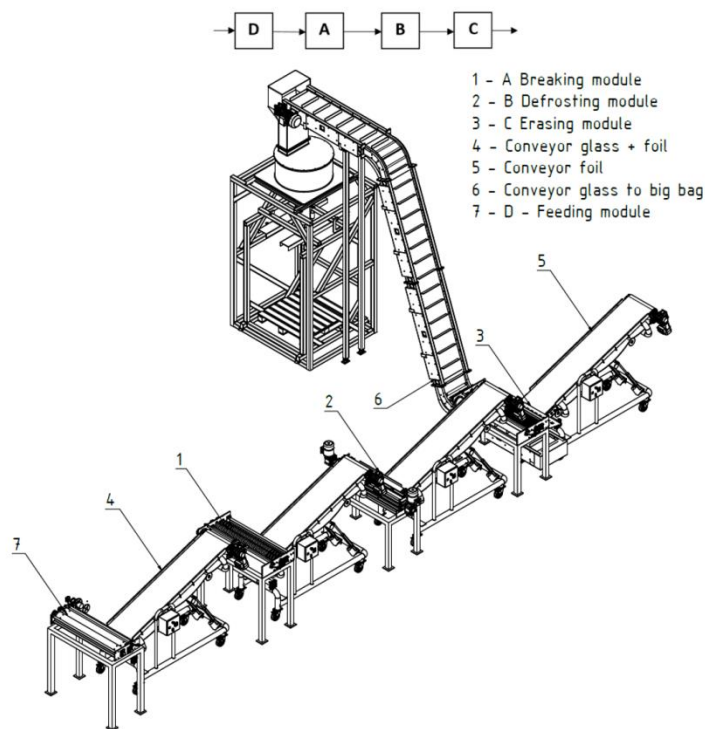
POPIS LINKY NA SPRACOVANIE LEPENÝCH ODPADOVÝCH SKIEL

Základný princíp navrhovanej dekompozície odpadových skiel je založený na tom, že pláty odpadového lepeného skla nie sú drvené na malé kusy, fólia nie je trhaná, ale ostáva v pôvodnom stave celistvá a postupne sú z nej oddeľované jednotlivé frakcie polámaného skla.

Spracovávané odpadové sklá sú postupne lámané v priečnom aj pozdĺžnom smere medzi dvoma párami lámacích profilových valcov, následne sú takto polámané celistvé sklá v ďalšom module otrepávané medzi vibračným nástrojom s ihlanovými hrotmi v tvare lišty a hladkým odvaľujúcim valcovým nástrojom a napokon sú v ďalšom module posledné prichytené úlomky skla k PVB fólii stierané stieracími valcami.

Samotná modulárna linka pozostáva s nasledujúcich častí:

- Prijímací modul
- Lámací modul
- Vibračný modul
- Stierací modul

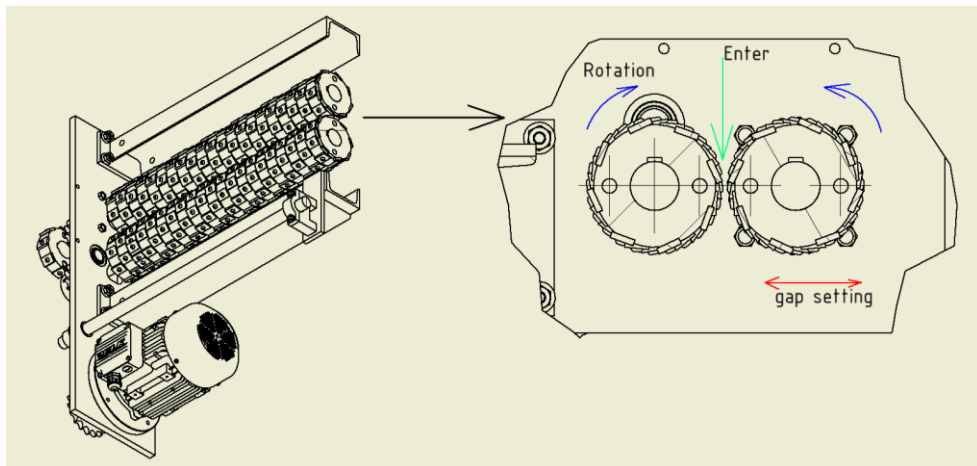


Obr. 1 Jednotlivé časti linky

Jednotlivé moduly linky umožňujú rôzne spôsoby usporiadania podľa zadaných okrajových podmienok pri separácii fólie o samotného skla. Na obrázku 1 je znázornený jeden z možných usporiadaní linky na recykláciu lepeného skla.

TECHNOLOGICKÝ A KONŠTRUKČNÝ NÁVRH NÁSTROJA STIERACIEHO MODULU

Pre stierací modul bolo zvolená špirálové radenie stieracích kotúčov , ktoré zabezpečuje vysokú úroveň samotného procesu stierania skla z fólie. Na obrázku 2 je znázornený detail stieracieho priestoru.



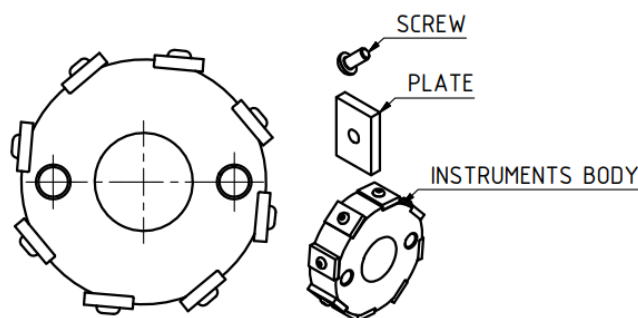
Obr. 2 Detail pracovného priestoru

Nástroj pre stierací modul bol navrhnutý tak , aby zapadol do celkového kontextu linky na spracovanie odpadového skla. Pri návrhu samotného stieracieho nástroja bolo potrebné zohľadniť aspekty ako sú: Vytvorenosť , ekonomickosť, jednoduchá údržba / výmena pri opotrebení a dostatočné stieranie skla z fólie.

Z pohľadu vytvorenosti nástroja pre stierací modul , bol samotný nástroj navrhnutý z troch základných komponentov , nosnú časť tvorí frézované telo stieracieho kotúča , na ktoré je upevnené pomocou skrutky vymeniteľné platničky. Telo kotúča je vyrobené s ocele S235 JRH a vymeniteľná platnička je vyrobená zo špeciálneho oteru vzdorného materiálu HARDOX 500. Tento materiál sa okrem dobrých oteru vzdorných vlastností vyznačuje aj vysokom pevnosťou , čo má z podstaty použitia kotúča tiež veľký význam. Prenos krútiaceho momentu s hnacieho hriadeľa na stierací kotúč je zabezpečená perom.

Samotná ekonomickosť výroby bola zohľadnená už v konštrukcii stieracieho nástroja , samotné telo kotúča je frézované a platnička je iba jednoduchý výpalok s HARDOXU , ktorý je iba priskrutkovaný o telo stieracieho kotúča. Voľba takéhoto typu konštrukcie umožňuje jednoduchú

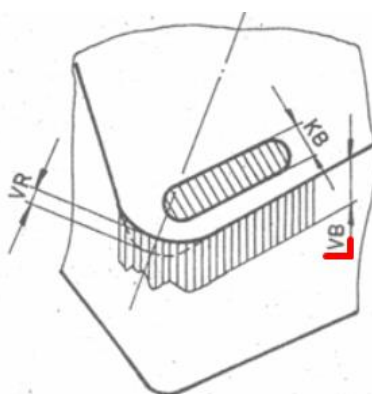
výmenu platničky v prípade či už poškodenia alebo opotrebenia platničky. A teda je zohľadnený aj aspekt údržby. Celá technologická zostava stieracieho kotúča je na obrázku 3.



Obr. 3 Zostava nástroja

POSTUP EXPERIMENTÁLNEHO URČENIA VEĽKOSTI OPOTREBENIA STIERACIEHO NÁSTROJA

Na vytvorenie kvalitného experimentu je potrebné si zadefinovať účel experimentu, ktorým je získanie kvalitatívne najvhodnejšej povrchovej úpravy pre platničky stieracieho nástroja. Ako hlavný parameter sme zvolili veľkosť opotrebenia na chrbte platničky V_B . Práve tento parameter použijeme, ako hlavný parameter pre samotné vyhodnotenie povrchovej úpravy reznej platničky. Opotrebenie chrbta sa prejavuje charakteristickou plôškou, rozprestierajúcou sa väčšinou rovnomerne na chrbtových plochách [2].



Obr. 4 Opotrebená šírka reznej hrany nástroja

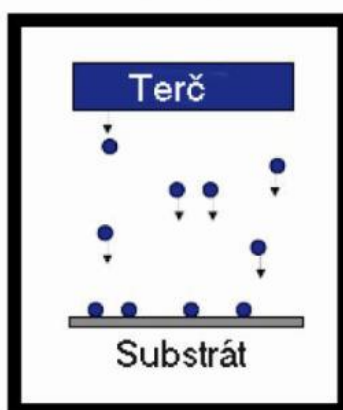
Opotrebenia budeme merať jeden krát bez povrchovej úpravy a tiež pri dvoch konkrétnych povrchových úpravách a to:

- Nástroj bez povrchovej úpravy, materiál HADROX 500
- Povrchová úprava PVD povlak TiSiN (Titán Kremík Nitrid) , materiál HADROX 500
- Elektrolytickou plazmovou úpravou platničky, materiál HADROX 500

Povrchová úprava PVD:

Povlak TiN je najbežnejším tvrdým, oteruvzdorným povlakom. Zabezpečuje zníženie trenia, zvyšuje chemickú a tepelnú odolnosť a znižuje tvorbu nárastku, hlavne pri obrábaní mäkkých ocelí. TiN je vhodný na povlakovanie nástrojov zo spekaných karbidov a z nástrojových ocelí – vrtáky, frézy, závitníky, výstružníky, rezné plátky, nože, strižné nástroje, ohybníky [3]. Schéma PVD povlakovania je na obrázku 4.

a) Physical Vapor Deposition (PVD)



Obr. 5 PVD schéma [5]

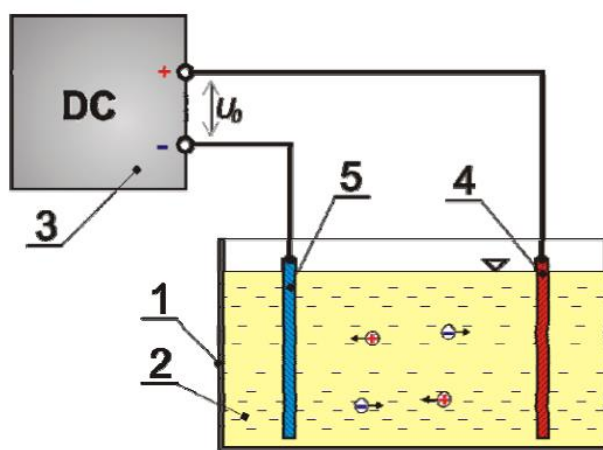
Parametre zvoleného povlaku TiSiN sú:

- Tvrdosť 32 – 34 GPa
- Hrúbka 2 μm

Povrchová úprava elektrolyticko-plazmovou technológiou:

Elektrolyticko-plazmová technológia úpravy povrchu kovov je založená na fyzikálnych javoch prebiehajúcich na povrchu opracovávaného objektu ponoreného do elektrolytu pod vplyvom jednosmerného prúdu pri napätiach prevyšujúcich sto voltov, keď sa nad povrchom opracovávaného objektu vytvára následkom lokálneho varu elektrolytu tenká ionizovaná vrstva pár a plynov – paroplazmová obálka. V porovnaní s klasickou elektrochémiou však ide o

kvalitatívne aj kvantitatívne odlišný proces [4] . V elektricky vodivých kvapalinách, t.j. elektrolytoch sa v dôsledku elektrolytickej disociácie niektoré molekuly štiepia. Častice vzniknuté štiepením sú elektricky nabité, a preto sa stáva kvapalina elektricky vodivou. Typickým príkladom sú vodné roztoky solí, kyselín alebo zásad. Ióny, ktoré vznikajú elektrolytickou disociáciou molekúl elektrolytu, sú v jeho roztoku voľne pohyblivé. Keď do takéhoto roztoku vložíme dve elektródy a pripojíme ich k svorkám zdroja jednosmerného elektrického prúdu, v roztoku vznikne elektrické pole [4].



Obr. 6 Schéma elektrolytického obvodu [4]

Z uvedeného vyplýva základný fyzikálny rozdiel medzi zvolenými metódami povlakovania. Cieľom experimentu bude zistiť aký vplyv majú použité technológie pri konkrétnej aplikácii na rezné platničky stieracieho nástroja.

ZÁVER

Účelom predkladaného článku je teoretická príprava experimentu merania opotrebenia rezných platničiek na stiracom nástroji stieracieho modulu na dekompozíciu lepeného skla. Po vykonaní analýz samotnej konštrukcie nástroja ale aj možných povrchových úprav je možné sumarizovať samotné vstupné parametre experimentu. Záverom predkladanej štúdie sú teda konkrétne základné parametre experimentu, a to:

Meraný parameter

- veľkosť opotrebenia na chrbte platničky VB

Povrchové úpravy :

Nástroj bez povrchovej úpravy, materiál HADROX 500

Povrchová úprava PVD povlak TiSiN (Titán Kremík Nitrid) , materiál HADROX 500
Elektrolytickou plazmovou úpravou platničky, materiál HADROX 500

POĎAKOVANIE

Publikované výsledky vznikli s podporou projektu **KEGA 030STU-4/2022 s názvom RORESA** - Aplikácia rozšírenej reality vo vzdelávacom procese obrábacích strojov a výrobných systémov, podporeného ministerstvom školstva, vedy, výskumu a športu SR a Ministerstvom školstva, vedy, výskumu a športu SR na základe zmluvy - Univerzitná a priemyselná výskumná a vzdelávacia platforma recyklačnej spoločnosti (**UNIVNET**).

LITERATÚRA

- [1] ŠOOŠ, Lubomír - POKUSOVÁ, Marcela - MATÚŠ, Miloš - RAFAJ, Milan - BIATH, Peter - ONDRUŠKA, Juraj. Expertná analýza možnosti aplikácie nových technológií v procese spracovávania odpadového skla nespracovateľného bežnými technológiami. Bratislava STU Strojnícka fakulta 2015. 38 s.
- [2] STAŇO F . SURFACE QUALITY MONITORING OF INSERTS IN FACE MILLING, Quality and reliability of technical systems, Medzinárodná vedecká konferencia, máj 2005 , s 169
- [3] <https://www.staton.sk/sluzby/povlakovanie/nasa-ponuka-povlakov/>
- [4] PODHORSKÝ Š. Elektroliticko – plazmová úprava povrch antikorózných ocelí , Vedecká monografia, ISBN 978-80-8096-140-4, 2011
- [5] BITTNER, J. Metody povlakování řezných nástrojů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 42s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Anton Humár, CSc.
- [6] ŠOOŠ L., POKUSOVÁ, M., MATÚŠ, M.: Výročná správa v rámci združenia UNIVNET, Stavba modulov linky na dekompozíciu viacvrstvových lepených skiel.
- [7] ŠOOŠ, L. - MATÚŠ, M. - POKUSOVÁ, M.- ČAČKO, V.- BÁBICS, J. , The recycling of waste laminated glass through decomposition technologies.

VYUŽITIE MECHANICKÉHO KMITANIA PRI DRVENÍ VRSTVENÉHO SKLA

Chlebo Ondrej³Šooš Lubomír³, Viliam Čačko³

ABSTRAKT

Nowadays, various composite structures are popularly used. It is also due to their properties in the form of good shaping and a high stiffness-to-weight ratio. However, their main disadvantage is recyclability. For example, in the case of laminated glasses, in order to reuse the glass, it is necessary to remove the plastic film, which would degrade the glass during reprocessing. In the SjF STU laboratory, a prototype of a special module is being developed for the mechanical separation of individual laminated glass materials by crushing fragile glass due to vibration. The initial version of the device uses vibrating motors that move the jaw as an energy source. This design concept turned out to be not very suitable, but it is sufficient to verify the principle and experimentally obtain data on the required time, intensity and speed of the movement. The article deals with the influence of the speed of material movement and the intensity of vibrations on the overall recycling process.

ÚVOD

Kompozitné štruktúry sú využívané vo veľkej miere kvôli výhodnej kombinácii fyzikálnych vlastností. Môžeme sa s nimi stretnúť v bežnom živote napríklad nárazníky alebo sklá automobilov ale aj napríklad pri solárnych paneloch. Hlavná nevýhoda kompozitných štruktúr sa ukáže až pri konci životnosti produktu vyrobeného s kompozitného materiálu. Materiály použité pri tvorbe kompozitnej štruktúry sú natoľko previazané, že je problém ich oddeliť a efektívne recyklovať. V tomto príspevku sa budeme zaoberať delením kompozitnej štruktúry kde hlavným

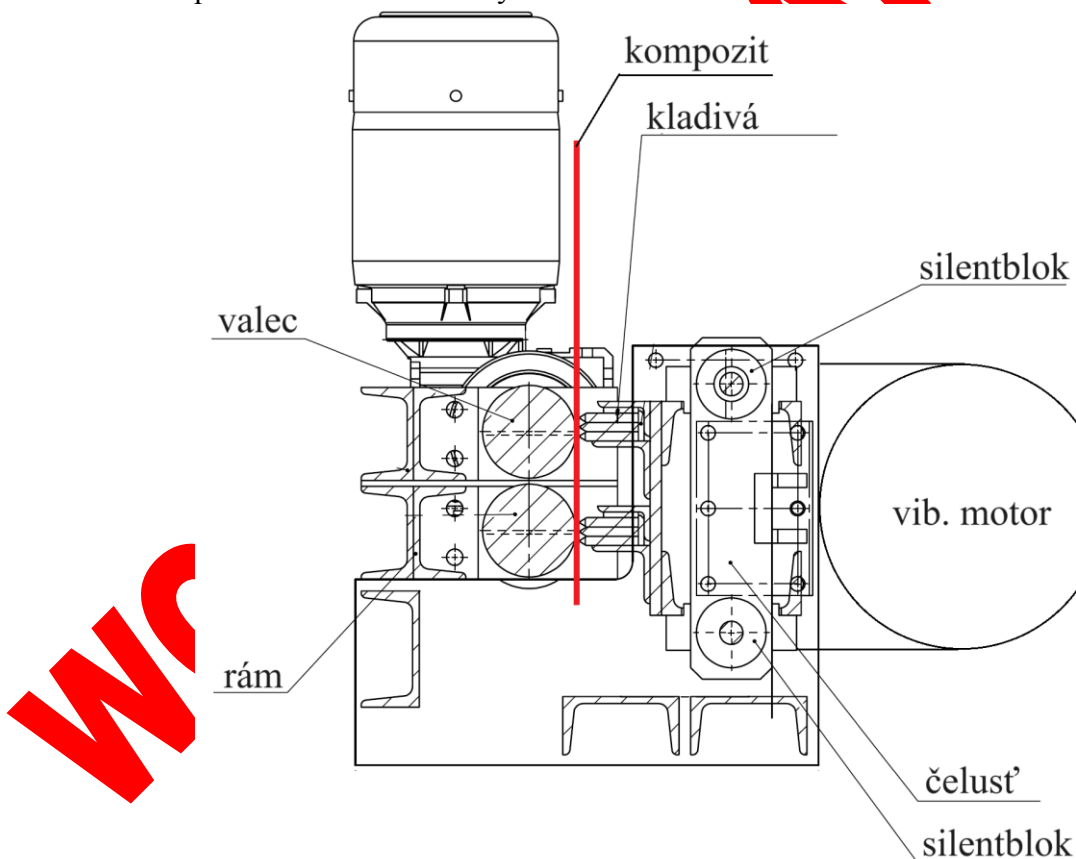
³ Ústav výrobného inžinierstva a kvality, Strojnícka fakulta STU v Bratislave, e-mail: ondrej.chlebo@stuba.sk

materiálom bude vrstvené sklo. Vrstvené sklo pozostáva zo sklenených tabúľ zlepených plastovou fóliou.

V laboratóriu SjF STU je vyvíjaný prototyp špeciálneho modulu na mechanické oddeľovanie jednotlivých materiálov vrstveného skla drvením krehkého skla vplyvom mechanických vibrácií. Pri vhodne navrhnutom procese drvenia pomocou mechanického kmitania je možné využiť rozdielne vlastnosti materiálov použitých pri výrobe kompozitnej štruktúry a tým ich od seba oddeliť. Takto je možné oddeliť materiály od seba a následne znovu použiť pri ďalšej výrobe [1,2, 3, 4].

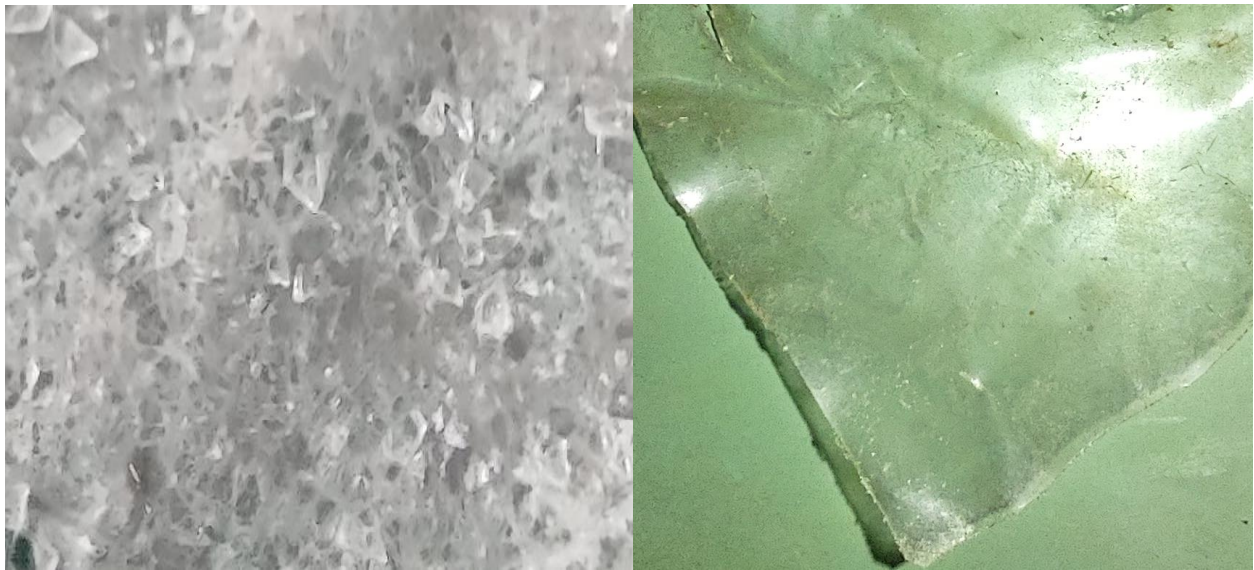
VIBRAČNÝ MODUL

Vibračný modul pozostáva z viacerých pohyblivých častí pričom najdôležitejšie sú kladivá a podávacie valce (Obr. 1). Kladivá sú upevnené na pružne uložených čeľusti a ako zdroj vibračnej energie sú použité vibračné motory MVE 700. Pohyb drveného materiálu zabezpečujú podávacie valce ktoré sú poháňané nízkootáčkovými motormi.



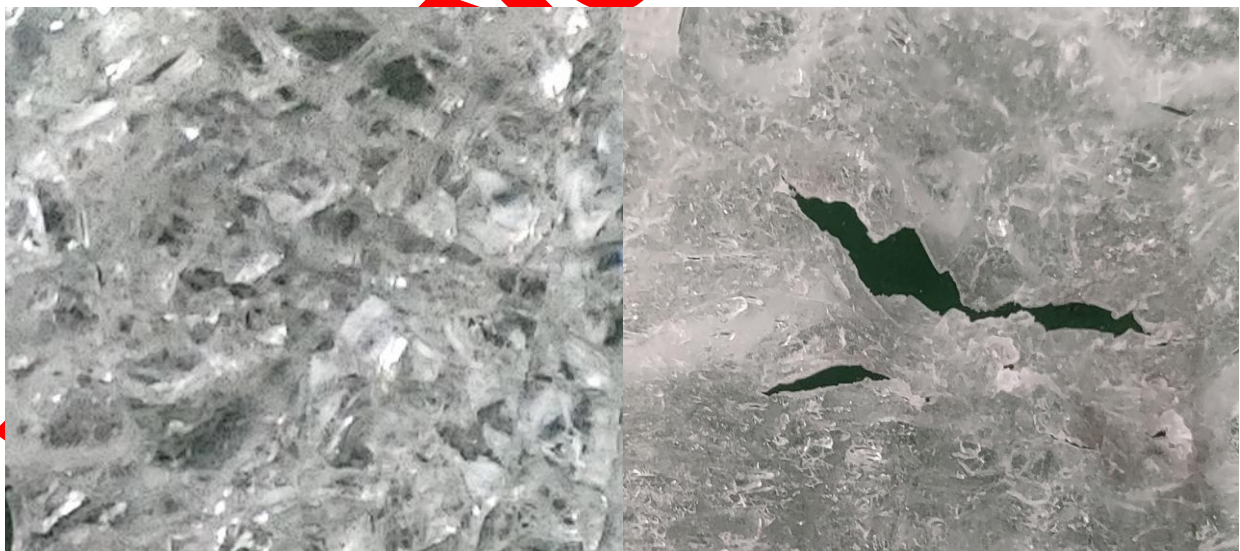
Obr. 1 Rez vibračným modulom

Pre správnu funkciu vibračného modulu je potrebné zabezpečiť vhodnú rýchlosť posuvu drveného materiálu. Výsledkom po drvení má byť fólia s prachovou vrstvou skla (Obr. 2 vľavo) ktorá sa pri procese prania odstráni (obr. 2 vpravo).



Obr. 2 Fólia s vrstveným sklom po prechode vibračným modulom (vľavo) a po opratí (vpravo)

Nakoľko tvar kladív a podávacích valcov sú navrhnuté tak aby popraskané sklo bolo drvené na čo najmenšiu frakciu skla bez porušenia fólie je rýchlosť posuvu kľúčový parameter. Pri rýchlom posuve sa nestihne rozdrviť sklo dostatočne (Obr. 3 vľavo) a pri pomalom posuve kladivá roztrhajú fóliu (Obr. 3 vpravo).



Obr. 3 Fólia s vrstveným sklom po prechode vibračným modulom s rýchlym posuvom (vľavo) a pomalým posuvom (vpravo)

ZÁVER

Pri experimentálnych meraniach bol preukázaný výrazný vplyv rýchlosti posuvu na kvalitu separácie materiálov. Pri rýchlom posuve 0.8m/min bolo drvenie nedostatočné, avšak pri rýchlosti 0.1 m/min bolo drvenie až príliš deštruktívne aj pre nosnú fóliu vrstveného skla. Ako ideálna sa javila rýchlosť podávania na úrovni okolo 0.2 m/min. To však platí iba pre skúšanú vzorku o hrúbke 6 mm v usporiadaní 2 vrstvy skla a jedna vrstva fólie umiestnená uprostred. Pri konštrukčnej úprave modulu pomocou obmedzovača minimálnej hrúbky by sa dalo pravdepodobne zabrániť poškodeniu fólie aj pri najnižšej rýchlosti. Zároveň by však bolo možné drviť širšie rozmerové spektrum vrstvených skiel.

POĎAKOVANIE

The published results were created with the support of the KEGA 030STU-4/2022 project entitled RORESA - Application of augmented reality in the educational process of machine tools and production systems, supported by the Minister of Education, Science, Research and Sports of the Slovak Republic and by the Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic under the Contract - University and industrial research and education platform of a recycling company (UNIVNET).

LITERATÚRA

- [1] ŠOOŠ L., POKUSOVÁ, M., ÚRADNÍČEK, J.: Výročná správa v rámci združenia UNIVNET, Integrovaná informačná a inovačné platforma recyklačných technológií.
- [2] ŠOOŠ L., POKUSOVÁ, M., MATÚŠ, M.: Výročná správa v rámci združenia UNIVNET, Návrh progresívnej technológie dekompozície viacvrstvových lepených skiel.
- [3] ŠOOŠ L., POKUSOVÁ, M., MATÚŠ, M.: Výročná správa v rámci združenia UNIVNET, Stavba modulov linky na dekompozíciu viacvrstvových lepených skiel.
- [4] ŠOOŠ, L. - MATÚŠ, M. - POKUSOVÁ, M.- ČAČKO, V.- BÁBICS, J. , The recycling of waste laminated glass through decomposition technologies

RECYKLÁCIA VYRADENÝCH AUTOMOBILOVÝCH AKUMULÁTOROV: minulosť, prítomnosť, budúcnosťHavlík Tomáš⁴**ABSTRAKT**

V súčasnosti sa presadzujú vo všetkých oblastiach ľudskej činnosti nízkouhlíkaté technológie. Aj v segmente automobilizmu sa to prejavilo v snahe o celosvetovú aplikáciu elektromobility, kde sa ako jednotky pohonu používajú elektromotory. Tieto sú v súčasnosti napájané lítium iónovými trakčnými akumulátormi (LiA). LiA nemajú nekonečnú životnosť a preto s nástupom elektromobility prichádza na pretras aj otázka ich spracovania po uplynutí ich životnosti. Preto sa významnou výzvou odpadového priemyslu stáva nakladanie s vyradenými trakčnými LiA. Tieto sú potenciálne veľmi nebezpečným odpadom, ale na druhej strane sú zdrojom veľmi významných materiálov, ktoré je nutné recyklovať vzhľadom na ich cenu a nedostatok. Nezanedbateľným faktorom je, že niektoré zložky, ako kobalt, grafit, lítium, titán a najnovšie aj mangán, meď a nikel, obsiahnuté v LiA, patria medzi kritické suroviny pre Európsku úniu [17].

Recyklácia LiA je významnou cestou k získavaniu týchto kritických surovín, ale na druhej strane je to komplikovaný a náročný proces, keďže sa jedná o komplexný kompozitný materiál a jeho charakter, ako aj elektrické a chemické vlastnosti sú vážnym rizikom z hľadiska bezpečnosti a ochrany zdravia.

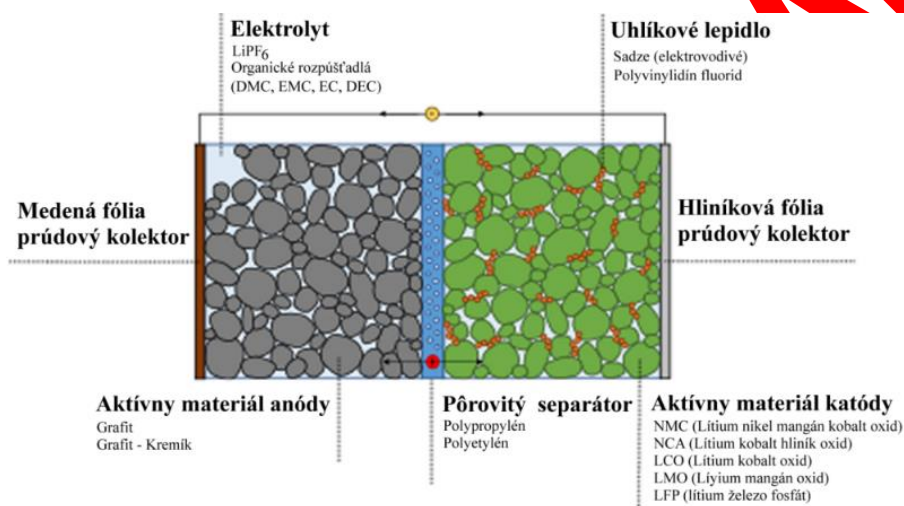
V príspevku sa diskutuje vývoj recyklačných metód spracovania vyradených LiA z hľadiska množstva a ceny materiálov v nich obsiahnutých, výsledkom čoho je úvaha o komplexnom pyro-hydrometalurgickom spôsobe recyklácie LiA.

⁴ Zväz automobilového priemyslu

ÚVOD

Zrejme najvýznamnejším segmentom súčasnej industriálnej spoločnosti je rozvoj a aplikácia elektromobility do každodenného života, na čo významne vplyvajú najmä politické rozhodnutia v celosvetovom meradle, hoci nemajú vždy úplne racionálne pozadie. Kľúčovým bodom v tomto prípade je zdroj energie, reprezentovaný lítium iónovým trakčným akumulátorom (LiA). Tento ako taký prechádza veľmi dynamickým vývojom, ktorý smeruje v podstate simultánne viacerými smermi, najmä konštrukčnou optimalizáciou, materiálovou optimalizáciou, zjednodušením prevádzky, zvyšovaním bezpečnosti, znižovaním ekonomickej náročnosti, univerzálnosťou, možnosťami opätovného využitia a recyklácie po uplynutí doby životnosti a podobne.

Lítiový akumulátor je pomerne zložitý komplexný systém vytvorený rôznymi materiálmi a fungujúci v rozličných úrovniach ako zobrazuje obr 1.



Obr. 1 Schématický pohľad na hlavné zložky LiA [1]

Základnou jednotkou LiA je teleso pozostávajúce z medenej fólie, reprezentujúcej prúdový kolektor, na ktorej je umiestnený pórovitý anódový materiál tvorený grafitovými, prípadne kremikovými časticami upevnenými spojivom. Priestor medzi anódou a katódou je oddelený polypropylénovým alebo polyetylénovým separátorom. Pórovitá katóda je tvorená aktívnym materiálom zmiešaným s vodivým uhlíkom a polymerickým spojivom polyvinyliden fluoridom PVDF. Katodický vodivý kolektor je tvorený hliníkovou fóliou.

Pórovité elektródy a separátor sú nasiaknuté elektrolytom, tvoreným soľou LiPF₆ rozpustenou v zmesi organických rozpúšťadiel ako dimetylkarbonát DMC, etylmetylkarbonát EMC,

etylénkarbonát EC, cyklohexylbenzén CHB, dietylkarbonát DEC) [2]. Uvedené materiály sú vrstvené do vrstiev o hrúbke stoviek mikrónov a menej, mnohokrát poprekladané a uložené v oceľovom resp. hliníkovom obale alebo v pružnom púzdre obalenom pohliníkovanou fóliou [3,4].

Zloženie anódy je v podstate jednotné a je tvorené grafitom umožňujúcim interkaláciu lítia. [5]. Aktívny materiál anódy je previazaný spojivom PVDF, umožňujúcim dobrú príľnavosť k fólii prúdového kolektora [6].

Na rozdiel od anódy je zloženie katódy viac komplikované vzhľadom na vodivé zložky ako sadza a spojivo PVDF, rozdielne chemické zloženie katódového aktívneho materiálu, čo je zapríčinené výrobnými postupmi a materiálmi jednotlivých výrobcov. Ako katódové aktívne materiály sa používajú lítiumkobalt oxid LiCoO_2 (LCO), lítiummangán oxid LiMn_2O_4 (LMO), lítiumnikelmangánkobalt oxid $\text{LiNi}_x\text{MnyCo}_{1-x-y}\text{O}_2$ (NMC), lítiumnikelkobaltalúminium oxid $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{O}_2$ (NCA) a lítiumželezofosfát LiFePO_4 (LFP) [7]. Tieto rozdiely sú dané zvyčajne použitím jednotlivých článkov do jednotlivých zariadení, ako smartfóny, laptopy, kamery, atď., z čoho aj vyplývajú ich vlastnosti a spätné výrobné náklady.

Pre EV a HEV segment sú zvyčajne určené NMC katódy. Mávajú rôznu stechiometriu, pohybujúcu sa v rozmedzí $\text{LiNi}_{0.33}\text{Co}_{0.33}\text{Mn}_{0.33}\text{O}_2$ a $\text{LiNi}_{0.5}\text{Co}_{0.3}\text{Mn}_{0.2}\text{O}_2$ až $\text{LiNi}_{0.6}\text{Co}_{0.2}\text{Mn}_{0.2}\text{O}_2$ a $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$ s cieľom dosiahnuť rôzne vlastnosti LiA [8].

Dosahované menovité napätie je u lítiových článkov relatívne vysoké, avšak u jednotlivých typov sa líši. Lítium iónové **LiA** a lítium polymérové **LiPol** akumulátory dosahuje 3.6 – 3.7 V na článok, lítiumželezofosfát **LiFe** dosahujú 3.2 V na článok a lítiumtitánoxid **LTO články dosahujú 2.4 V** na článok. Energetická hustota je však vyššia ako u ostatných typov akumulátorov práve kvôli vyššiemu napätiu. Vybíjacia napäťová krivka je relatívne plochá, čo je výhodné, pretože napájané zariadenie má po dlhú dobu takmer konštantné vstupné napätie.

LiA sú vyrábané v širokom rozmedzí kapacít, v prípade automobilových až stovky ampérhodín. Články je možné sérioparalelne radiť, a tým navyšovať kapacitu a výstupné napätie. Nie je problémom vyrobiť sadu akumulátorov o stovkách Ah, ktoré sú takto schopné plniť požiadavku pre požadované potreby automobilového priemyslu.

Základnou nevýhodou je použitie lítia a jeho zlúčenín, ktoré pri styku s vlhkosťou, aj vzdušnou, reagujú a degradujú. Preto sa musí opatrne nakladať s akumulátormi tak, aby nedošlo k narušeniu tesnosti ich plášťa. Pri porušení článku vzniká významné riziko požiaru, najmä pri skrate jednotlivých vrstiev [9,10]. Potom sa vysoká energetická hustota stáva naopak nevýhodou, kedy sa energia v akumulátore veľmi rýchlo premení na teplo. Nejde iba o reakciu materiálov s kyslíkom a vzdušnou vlhkosťou, ale aj prudké zahrievanie v dôsledku skratu, ktoré môže zapáliť materiály v okolí akumulátora.

Pri sériovom radení jednotlivých článkov sa používajú elektronické obvody, ktoré monitorujú a prípadne regulujú napätie jednotlivých článkov, nazývané balančné. Balančné obvody sú konštrukčnou súčasťou akumulátora.

Z uvedených dôvodov sa automobilové LiA konštruujú do segmentov, ktoré uľahčujú manipuláciu a zvyšujú bezpečnosť prevádzky a prípadnú opravu LiA. Elektrické články v EV alebo HEV automobile sú konštrukčne riešené v troch skupinách ako samotný elektrický článok, akumulátorový modul a akumulátorová jednotka tak, ako to popisuje Tab. 1.

Tab. 1 Členenie akumulátorov do automobilovej hnacej jednotky

Klasifikácia	Definícia	Pohľad
akumulátorový článok [11]	Základná jednotka LiA, vyvíjajúca elektrickú energiu nabíjaním a vybíjaním. Vyrobená je z katódy, anódy, separátorov a elektrolytu vložených do obdĺžnikového hliníkového púzdra.	
akumulátorový modul [12]	Akumulátorový komplet vložený do rámu v presne stanovenom množstve z dôvodov ochrany článkov pred vonkajšími otrasmi, vibráciami, alebo tepelnými šokmi	
akumulátorová jednotka [13]	Koncový tvar akumulátorového systému inštalovaného do EV/HEV. Je zložená z modulov a rôznych riadiacich a ochranných systémov zahrňujúcich elektronickú kontrolu, chladenie a pod. Zvyčajne obsahuje 8 modulov po 12 článkoch v jednom akumulátore	

Zastúpenie jednotlivých materiálov v jednotlivých akumulátorových segmentoch je týmto rôzne, keďže čím je jednotlivý segment mohutnejší, tým viac obsahuje ďalších zariadení. Rozdielne

množstvá zložiek v LiA vyplývajú z toho, že samotné články sú umiestnené do puzdier, obalov a pod. a zároveň sú prítomné ďalšie elektronické riadiace a ochranné zariadenia.

Uvedená skutočnosť významne ovplyvňuje ekonomické kalkulácie recyklátorov jednak z hľadiska investičných a prevádzkových nákladov vzhľadom na veľkosť spracovávaných jednotiek a jednak z hľadiska predpokladaných výťažností a účinností recyklačných procesov.

Z hľadiska materiálového je LiA značne komplexný výrobok, pričom sa jeho chemické zloženie mení z hľadiska historického, z hľadiska jeho priameho určenia, z hľadiska ceny a podobne.

Recyklačné metódy spracovania LiA sa vyvíjali sprvu cestou mechanického spracovania, kde vo výsledky bola snaha získať elementárnu meď, elementárny hliník a prípadne plasty. Z tohto hľadiska sa jednalo o pomerne jednoduché procesy s koncovkou, v ktorej sa meď a hliník získali vysokoteplotnými taviacimi procesmi. Bolo však jasné, že je potrebné získavať aj obzvlášť cenné zložky, ako lítium, kobalt, nikel, najmä preto, že ich cena dramaticky rastie [14], čo by malo byť významnou motiváciou pre komplexné spracovanie vyradených LiA.

Priemerné kvantitatívne zastúpenie jednotlivých zložiek v LiA a ich podiel na cene suroviny je uvedený v Tab. 2.

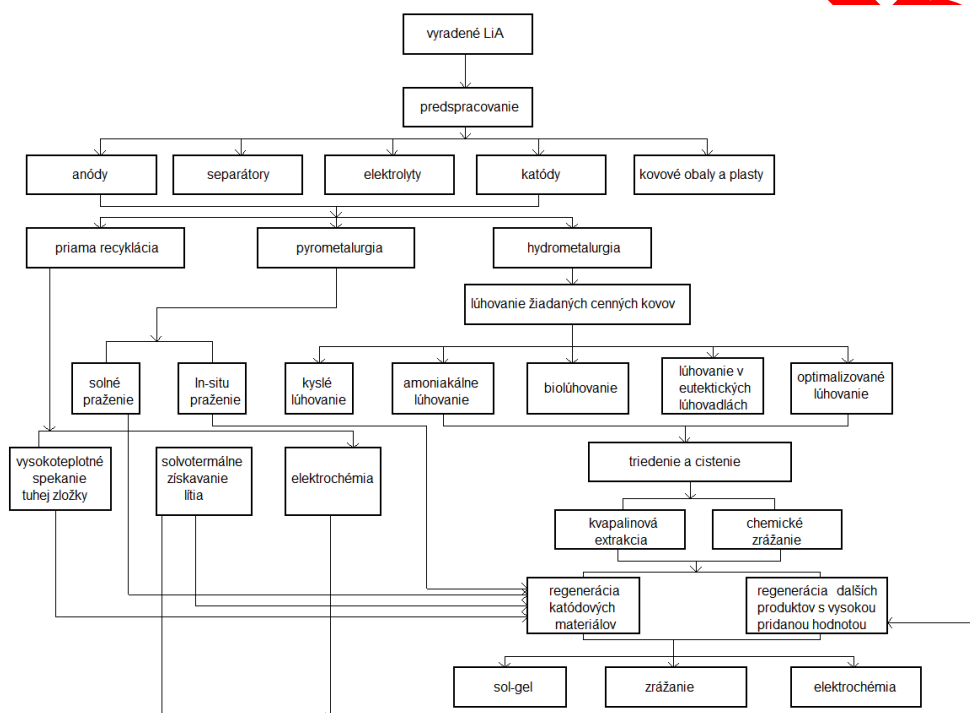
Tab. 2 Zastúpenie jednotlivých zložiek v LiA a ich podiel na cene suroviny

Zložka	Zastúpenie zložky [%]			2023		Cenový podiel [%]
	komplexné	prvky	zlúčeniny	Cena zložky [US\$/t]	Cena zložky v LiA [US\$/t]	
lítium (Li ₂ CO ₃)			1(5.32)	49100	2455	71
kobalt			3	34500	1035	
nikel			3	24165	725	
mangán			3	6440	193	
meď		9		9080	817	29
hliník		35		2356	825	
grafit		8		1400	112	
ocel		9		418	38	
plasty	11					
prchavé zložky	8					
elektronika	3					
kabeláž	2					
	spolu				6200	

Z Tab. 2 vyplýva, že doteraz využívané recyklačné procesy spracovania LiA, zamerané na získanie hlavne kovov v elementárnej forme medi, hliníka a pod. sú síce relatívne jednoduchšie, ale finančný benefit je zhruba len tretinový voči celkovému potenciálu. Prvky s vysokou cenou lítium, kobalt, nikel atď. sú viazané do komplexných oxidov navonok v aktívnej čiernej hmote

a elektrolyte. Tieto zložky nie je možné získať mechanickou cestou, ale len fyzikálno chemickou. Kým v prvom prípade ide poväčšine o pyrometalurgické spracovanie, v prípade extrakcie zložiek zo zlúčenín sa aplikujú hydrometalurgické spôsoby.

Toto je dôvod, prečo sa recyklačné procesy vyvíjajú od pyrometalurgických smerom k hydrometalurgickým, alebo kombinovaným. Momentálne je publikované množstvo vedeckých a odborných publikácií, venovaných možnostiam materiálovej recyklácie vyradených LiA a často vzhľadom na konštrukčnú a materiálovú komplexnosť LiA sú tieto zamerané k istým špecifikám. Návrh obecnej schémy spracovania vyradených automobilových LiA je zobrazený na obr. 2.



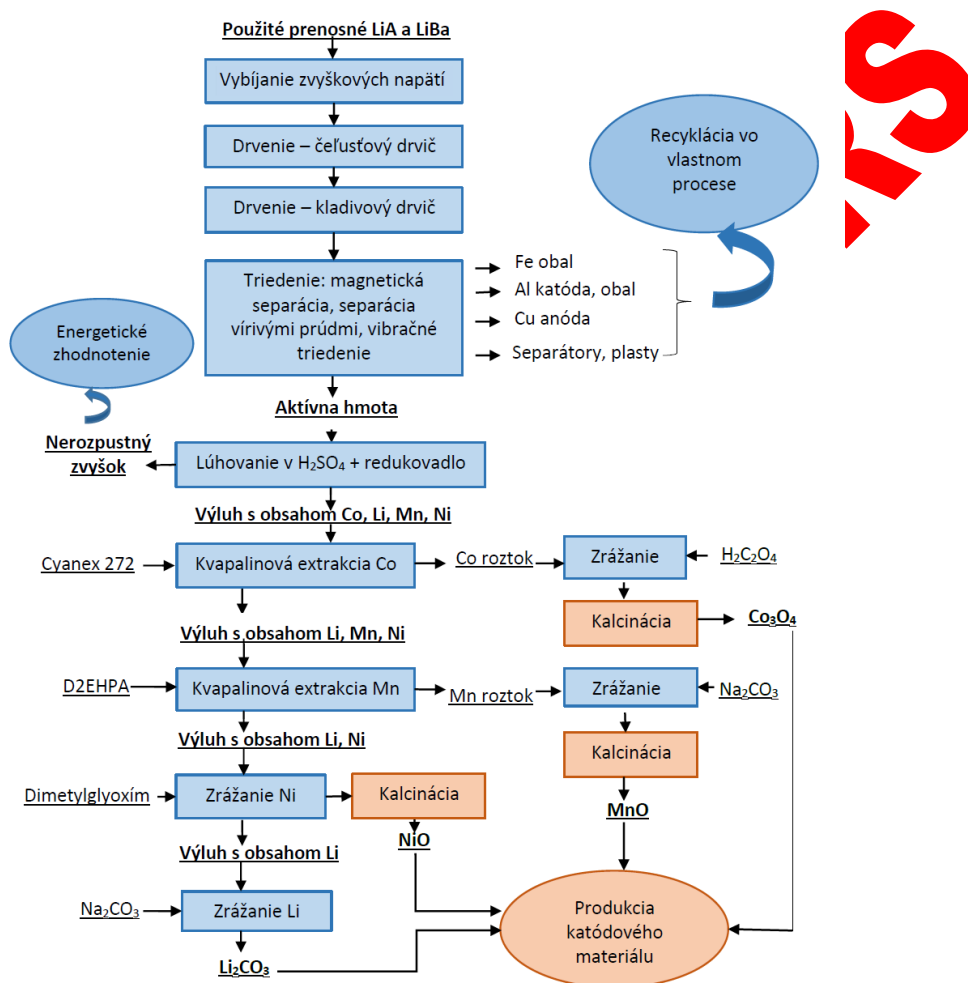
Obr. 2 Bloková schéma spracovania vyradených automobilových LiA [15]

Z uvedenej schémy vyplýva, že na jednotlivé kroky získavania užitočných zložiek možno aplikovať viaceré rôzne postupy. Tieto je nutné experimentálne odskúšať a optimalizovať pre konkrétne typy vyradených LiA.

Príkladom už konkrétneho postupu je postup, odskúšaný na URT FMMR a zobrazený na obr. 3. Navrhnutý postup je kombinovaný, v rámci ktorého sa v jednom procese aplikujú fyzikálno-mechanické kroky triedenia prítomných kovov v elementárnej forme medi, hliníka, ocele a tiež plastov. Tieto sa v ďalšom spracujú individuálnymi v podstate pyrometalurgickými postupmi.

Oddelená čierna (aktívna hmota) postupuje na hydrometalurgické spracovanie, v ktorom sa vylúhujú žiadané zložky lítium, kobalt, nikel, mangán a tieto sa selektívne získajú kvapalinovou extrakciou a recyklujú späť do katódového materiálu. Anódový uhlík v procese chemicky nereaguje a po oddelení kovových zložiek sa spracuje opätovne na anódový materiál.

System pracuje v uzavretom cykle s minimálnou tvorbou odpadov.



Obr. 3 Bloková schéma komplexného spracovania vyradených LiA [16]

ZÁVER

Problematika materiálovej recyklácie vyradených LiA je v súčasnosti zameraná dvoma smermi, ktoré sú určené najmä ekonomickými a tiež technologickými aspektmi. Spočiatku sa recyklačné aktivity zamerali na získavanie kovovej meďi, kovového hliníku, kovového železa, plastov a čiernej hmoty cestou fyzikálno – mechanickej recyklácie.

Vyradené LiA však obsahujú aj ďalšie zložky, najmä kovy v podobe zlúčenín, najmä Li, Co, Ni, Mn, Ti, grafit a pod., ktoré sú často nedostatkové a ich cena je vysoká, čo logicky vyústilo do snáh o ich efektívne získavanie.

Spôsobov recyklácie je viacero a závisia od celkového kontextu problematiky. Po vytriedení medi, hliníku, železa, plastov, grafitu fyzikálno mechanickými spôsobmi sa ostatné kovy, prítomné v podobe zlúčenín v čiernej hmote získavajú hydrometalurgickým spôsobom. Snahou je opätovné prinavrátanie materiálov do výroby katódových a anódových materiálov LiA

Pre budúcnosť sa otvára cesta riešenia získavania jednotlivých zložiek s vysokou pridanou hodnotou najmä cestou optimalizácie jednotlivých procesov a to v rámci základného výskumu, ako aj cestou aplikovaného výskumu.

LITERATÚRA

1. Zubi G., Dufó-Lopez R., Carvalho M., Pasaoglu G.: The lithium-ion battery: state of the art and future perspectives, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 89 (2018) 292–308, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.001>
2. Marcinek M. et al: Electrolytes for Li-ion transport - review, *Solid State Ionics* 276 (2015) 107–126, <https://doi.org/10.1016/j.ssi.2015.02.006>
3. Herrmann C., Kara S., Kwade A., Diekmann J.: Sustainable Production, Life Cycle Engineering and Management, 2018. <http://www.springer.com/series/10615>
4. Schroder R., Aydemir M., Seliger G.: Comparatively assessing different shapes of lithium-ion battery cells, *Procedia Manuf.* 8 (2017) 104–111, <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.02.013>
5. Asenbauer J. et al: The success story of graphite as a lithium-ion anode material-fundamentals, remaining challenges, and recent developments including silicon (oxide) composites, *Sustain. Energy Fuels* 4 (2020) 5387–5416, <https://doi.org/10.1039/d0se00175a>
6. Ellis B.L., Lee K.T., Nazar L.F.: Positive electrode materials for Li-Ion and Li-batteries, *Chem. Mater.* 22 (2010) 691–714, <https://doi.org/10.1021/cm902696j>
7. Latini D. et al: A comprehensive review and classification of unit operations with assessment of outputs quality in lithium-ion battery recycling, *Journal of Power Sources* 546 (2022) 231979, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775322009594?via%3Dihub>

8. Harper G. et al: Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles. Nature 2019, 575, 75–86. <https://doi.org/10.1038/S41586-019-1682-5>
9. 3M Battery Materials for Automotive Applications, <http://mobi.vub.ac.be/wp-content/uploads/downloads/2014/12/3M.pdf>
10. 3M Battery Materials, <http://multimedia.3m.com/mws/media/773457O/3mtm-battery-cathode-presentation.pdf>
11. Cell & chemistry, <https://electricshgoneaudi.net/technology/battery/cell/>
12. Stellantis and the CEA collaborate on EV battery modeling, <https://evpowered.co.uk/news/stellantis-and-the-cea-collaborate-on-ev-battery-modeling/>
13. Battery Taxonomy: The Differences between Hybrid and EV Batteries, <https://www.caranddriver.com/news/a15345397/battery-taxonomy-the-differences-between-hybrid-and-ev-batteries/>
14. Metals and mining prices, <https://www.fastmarkets.com/our-products/price-data/metals-and-mining-prices>
15. Havlik T., Klimko J.: Processing of spent automotive lithium batteries, Smart technologies for waste processing from the automotive industry, Soos L. ed., Univnet, 2022, 86-102
16. Takáčová Z.: Recyklácia kovonosných zložiek z použitých prenosných lítiových batérií a akumulátorov, Habilitačná práca, FMMR TUKE 2023
17. European Commission, Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023 – Final Report, <imap://th311qc@mail.tuke.sk:143/fetch%3EUID%3E/INBOX%3E57179?part=1.2&filename=Study%202023%20CRM%20Assessment.pdf&type=application/pdf>

ANALÝZA AUTOMOBILOVÉHO SEDADLA A JEHO MOŽNOSTI ENERGETICKÉHO ZHODNOTENIE

Holubčík Michal*

Róbert Cibula, Jandačka Jozef, Klačko Andrej, Patsch Marek, Pilát Peter

ABSTRAKT

Článok predstavuje komplexnú analýzu vrátane elementárnej a chemickej analýzy materiálov autosedačiek. Prostredníctvom pokročilých analytických techník (TGA, CHN, výhrevnosť) sa dôkladne skúma prvkové zloženie a chemické vlastnosti týchto materiálov. Výsledky poskytujú cenné informácie o vlastnostiach materiálov, ktoré pomáhajú pochopiť jeho potenciálny vplyv na životné prostredie. Tento výskum zdôrazňuje význam hĺbkovej analýzy pri zvyšovaní účinnosti materiálov, životnosti výrobku a celkovej environmentálnej zodpovednosti pri výrobe a používaní autosedačiek. Zistenia prispievajú k poznatkom pre tvorcov politík, odborníkov z praxe a výskumníkov presadzujúcich princípy obehového hospodárstva v automobilovom priemysle. Na záver možno konštatovať, že chemická a prvková analýza materiálov autosedačiek ponúka dôležité poznatky pre pochopenie zloženia a dopadov na životné prostredie. Tieto poznatky informujú o ďalších možnostiach energetického využitia odpadu z autosedačiek.

ÚVOD

Plastový odpad vznikajúci v automobilovom priemysle sa stal dôležitým problémom pre životné prostredie vzhľadom na jeho vplyv na ekosystémy a ľudské zdravie. Automobilový

* doc. Ing. Michal Holubčík PhD., Katedra energetickej techniky, Žilinská univerzita v Žiline

priemysel sa pre svoje potreby spolieha na rôzne plastové materiály vrátane interiérových komponentov, exteriérových dielov, obalov a elektrických rozvodov. Hoci plasty ponúkajú ľahké a odolné riešenia, ich nesprávna manipulácia a likvidácia prispieva ku globálnej kríze plastového odpadu. Automobilový priemysel produkuje plastový odpad počas celého svojho dodávateľského reťazca a životného cyklu výrobkov. Počas výroby vznikajú prebytočné plastové materiály, ako sú vstrekovacie formy a výlisky. Tieto zvyšky sú výsledkom procesov lisovania a tvarovania, ktoré sa používajú na výrobu plastových komponentov. Pri demontáži alebo recyklácii vozidiel po skončení ich životnosti tiež vzniká plastový odpad, pretože plastové komponenty, ako sú nárazníky, výlisky a panely, sa odstraňujú a často likvidujú. Slovenská republika je automobilová veľmoc z pohľadu produkcie vozidiel na počet obyvateľov. Ročne ich tu vyrobíme približne 1 milión. Veľa odpadu je produkovaného v samotnom procese výroby a nezanedbateľné množstvo vzniká pri prevádzke a po ukončení prevádzky automobilov. Počet registrovaných automobilov na Slovensku ku 31.10.2023 je 3 639 913 ks, čo pri dosadení priemerných pohotovostných hmotností jednotlivých kategórií vozidiel predstavuje približne 9,5 milióna ton potenciálneho odpadu.

Likvidácia plastového odpadu z automobilového priemyslu a nesprávne nakladanie s ním má závažné environmentálne dôsledky. Ak sa plastový odpad správne nezberá a nelikviduje, môže sa dostať do ekosystémov, ako sú rieky, jazerá a oceány. Plasty sú biologicky nerozložiteľné, čo znamená, že pretrvávajú niekoľko rokov a dlhodobo v životnom prostredí. Okrem toho, keďže sa plasty rozkladajú na menšie časti, môžu sa dostať do potravinového reťazca a potenciálne ovplyvniť morské aj suchozemské organizmy. Recyklácia a zodpovedné postupy nakladania s odpadom sú kľúčové pre zmiernenie vplyvu plastového odpadu z automobilového priemyslu na životné prostredie. Zavedenie uzavretých recyklačných systémov v tomto odvetví môže pomôcť pri zhodnocovaní a opätovnom používaní plastového odpadu, ktorý vzniká počas výroby a vo fáze ukončenia životnosti. Uzavretá recyklácia zahŕňa zber plastového odpadu, jeho triedenie a spracovanie na vysokokvalitné recyklované plasty, ktoré sa môžu použiť pri výrobe nových automobilových komponentov. Plastový odpad z automobilového priemyslu predstavuje významné environmentálne výzvy.

Prijatím udržateľných postupov nakladania s odpadom, podporou recyklačných iniciatív, skúmaním alternatívnych materiálov a podporou spolupráce medzi zainteresovanými stranami môže automobilový priemysel znížiť svoju stopu plastového odpadu. Prostredníctvom

spoločného úsilia môže automobilový priemysel prispieť k obehovému hospodárstvu a udržateľnej budúcnosti.

METODIKA

Vzorky autosedačiek boli získané z rôznych zdrojov, od výrobcov automobilov v Žilinskom kraji. Pre zabezpečenie reprezentatívneho súboru vzoriek bola získaná rôznorodá škála typov a materiálov autosedačiek. Materiály autosedačiek boli starostlivo rozobrané, aby sa oddelili rôzne komponenty, ako napríklad pena, látka a plasty. Každý komponent sa potom očistil, čím sa odstránili všetky nečistoty alebo zvyšky. Na posúdenie zloženia materiálov autosedačiek sa použili techniky elementárnej analýzy. Termogravimetrická analýza (TGA) poskytla informácie o tepelnej stabilite a vlastnostiach rozkladu. Údaje získané z elementárnej analýzy sa analyzovali pomocou príslušného softvéru a výsledky sa porovnali so známymi databázami materiálov na identifikáciu a kvantifikáciu zložiek.



Obr. 1 Vzorky automobilového sedadla



Obr. 2 Nadrvené vzorky automobilového sedadla

2.1. Výhrevnosť

Výhrevnosť plastového odpadu z automobilového priemyslu predstavuje energiu uvoľnenú počas spaľovania. Jeho pozoruhodne vysoká výhrevnosť ho stavia do pozície alternatívy k tradičným fosílnym palivám a predstavuje obnoviteľný zdroj energie. Táto hodnota, ktorá sa pohybuje približne v rozmedzí 18 - 24 MJ/kg, výrazne prevyšuje hodnotu tuhého komunálneho odpadu (TKO), ktorý sa bežne spaľuje. Tento rozdiel zdôrazňuje potenciál plastového odpadu z automobilov ako silného energetického zdroja, ktorý ponúka environmentálne výhodnú alternatívu. Jeho schopnosť uvoľňovať pri spaľovaní značné množstvo energie z neho robí atraktívnu perspektívu v pokračujúcom hľadaní udržateľných a čistejších energetických riešení. Využívanie prirodzeného energetického obsahu plastového odpadu z automobilov nielenže rieši problémy odpadového hospodárstva, ale prispieva aj k prechodu na ekologickejšie energetické postupy, čo je v súlade so širšími cieľmi environmentálnej udržateľnosti.

Spalné teplo bolo stanovené prístrojom LECO AC 500 prostredníctvom merania tepla uvoľneného po spálení vzorky. Výhrevnosť bola vypočítaná zo spálneho tepla na základe rovnice (1) a rovnice (2).

$$LCV = HCV - r_{H_2O}(W_p + 8.94x_H) \quad (1)$$

$$x_H = H_h \cdot B_p \quad (2)$$

kde r_{H_2O} je výparné teplo vody (MJ/kg); W_p je obsah vody (kg/kg); koeficient premeny vodíka na vodu s hodnotou 8,94; H_h je obsah vodíka (kg/kg) a B_p je obsah prchavých látok (kg/kg) testovaných vzoriek.

2.2. Termogravimetrická analýza (TGA)

Termogravimetrickou analýzou (TGA) sa skúma tepelné správanie pevných materiálov pomocou kontrolovaného zahrievania vzorky pri nepretržitom meraní jej hmotnosti. Táto metóda poskytuje dôležité informácie o tepelnej stabilite materiálu vrátane teploty rozkladu, úbytku hmotnosti a reakčnej kinetiky. TGA analýza sa ukazuje ako neoceniteľná pri posudzovaní kvality plastového odpadu z automobilového priemyslu, rafinovaného paliva získaného z tuhého komunálneho odpadu alebo priemyselného odpadu, ktorý nahrádza fosílna palivá na výrobu energie. Výsledky TGA analýzy pre plastový odpad z automobilového priemyslu zvyčajne odhaľujú viacero stupňov úbytku hmotnosti, ktoré zodpovedajú rôznym materiálom prítomným v palive, ako je úbytok vlhkosti, prchavých organických zlúčenín a rozklad materiálov, ako sú

plasty alebo papier. Vzorky komponentov sa podrobujú mechanickému drveniu na analýzu na prístrojoch, ako je LECO TGA 701 na obsah vlhkosti, prchavých látok, pevného uhlíka a popola, LECO CHN628 na obsah uhlíka, vodíka a dusíka a modul LECO 628S na obsah síry.

Veľkosť častíc vo všetkých vzorkách sa pohybovala prevažne v rozmedzí od 0,5 mm do 2 mm. Podrobné výsledky analýz sú uvedené v tabuľkách 1 - 3. Analyzátor prvkov zahŕňala vopred odvážené vzorky spaľované bez atmosférických plynov. Termogravimetrický analyzátor sledoval úbytok hmotnosti jednotlivých vzoriek so zvyšovaním teploty. Vzorky sa postupne zahrievali pri teplote 107 °C (vzduchová atmosféra), 900 °C (dusiková atmosféra) a ochladzovali pri teplote 550 °C (vzduchová atmosféra). Pri tomto skúmaní sa použili štandardné metódy pre tuhé biopalivá, ktoré sa riadia normami STN EN ISO 18134, STN EN 18122 a STN EN ISO 18123.

3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Všetky merania sa opakovali dva až štyrikrát. Testovalo sa však päť typov plastových vzoriek. Výsledky analýzy výhrevnosti sú uvedené v Tabuľke 1. Hodnoty spalného tepla boli v rozsahu 22,27 - 26,95 MJ/kg. Hodnoty výhrevnosti boli v rozsahu 20,76 - 24,99 MJ/kg. Získané výsledky boli vo všeobecnosti výrazne vyššie v porovnaní s palivami z dreva.

Tab. 1 Výsledky výhrevnosti

Vzorka	Spalné teplo (MJ/kg)	Výhrevnosť (MJ/kg)
Typ 1	26.95	24.99
Typ 2	24.00	22.42
Typ 3	24.22	22.32
Typ 4	24.25	22.53
Typ 5	22.27	20.76

Výsledky prvkovej analýzy sú uvedené v Tabuľke 2. Obsah dusíka bol v rozmedzí 0,30 - 1,25 %. Obsah uhlíka bol v rozmedzí 47,46 - 59,55 %. Obsah vodíka bol v rozmedzí 6,66-

9,92 %. Obsah síry bol v rozmedzí **0,22 - 0,36 %**. Získané výsledky obsahu uhlíka boli vo všeobecnosti vyššie v porovnaní s palivami z dreva. Obsah dusíka a síry bol však vyšší, čo je negatívne v dôsledku tvorby emisií oxidov dusíka alebo síry.

Tab. 2 Výsledky obsahu uhlíka, vodíka, dusíka a síry (v sušine)

Vzorka	Dusík (%)	Uhlík (%)	Vodík	Síra %
Typ 1	0.30	59.55	9.92	0.30
Typ 2	0.71	53.23	6.93	0.28
Typ 3	0.38	54.92	7.79	0.24
Typ 4	0.50	50.01	7.55	0.22
Typ 5	1.25	47.46	6.66	0.36

Výsledky termogravimetrickej analýzy sú uvedené v Tabuľke 3. Obsah vlhkosti sa pohyboval v rozmedzí 1,67 - 4,22 %. Obsah pevného uhlíka bol v rozmedzí 4,07 - 8,51 %. Obsah prchavých látok sa pohyboval v rozmedzí 71,05 - 92,92 %. Obsah popola bol v rozmedzí 6,66 - 20,30 %. Získané výsledky obsahu popola boli vo všeobecnosti výrazne vyššie v porovnaní s palivami z dreva.

Tab. 3 Výsledky termogravimetrickej analýzy

Vzorka	Vlhkosť (%)	Pevný uhlík (%)	Prchavé látky (%)	Popol (%)
Typ 1	4.22	4.50	88.64	6.66
Typ 2	2.05	7.47	76.68	15.70
Typ 3	2.35	4.07	92.92	12.04
Typ 4	1.99	6.71	80.36	12.81
Typ 5	1.67	8.51	71.05	20.30

Výsledky analýz pozostávajú z aritmetického priemeru troch meraní vzoriek na každom zariadení. Počas laboratórnej analýzy boli dodržané všetky normy potrebné na správnosť merania. Pochopenie tepelných vlastností týchto materiálov je rozhodujúce pre vývoj účinných recyklačných procesov. Poznaním príslušných teplôt rozkladu materiálov môžu recyklačné zariadenia optimalizovať spotrebu energie a minimalizovať emisie počas spracovania.

Na záver možno konštatovať, že táto prvková analýza vzoriek autosedačiek slúži ako základný krok k udržateľnému zhodnocovaniu odpadu z autosedačiek. Poukazuje na potenciál recyklácie cenných materiálov pri súčasnom znížení vplyvu tradičných metód likvidácie na životné prostredie. Budúci výskum môže vychádzať z týchto zistení s cieľom vyvinúť ekologické recyklačné techniky, ktoré prispievajú k ochrane životného prostredia a efektívnemu využívaniu zdrojov v automobilovom priemysle.

4 ZÁVER

Presmerovaním vyradených autosedačiek zo skládok a využívaním recyklačných technológií nielenže znižujeme množstvo odpadu, ale aj nastoľujeme novú éru výroby, ktorá si uvedomuje svoje zdroje. Táto iniciatíva slúži ako najlepší príklad princípov obehového hospodárstva, ktoré kladie dôraz na opätovné použitie, zmenu účelu a recykláciu materiálov. Okrem pozitívneho vplyvu na životné prostredie znamená zhodnocovanie odpadu z autosedačiek významný posun smerom k sociálnej zodpovednosti podnikov, pričom podniky uprednostňujú blaho planéty. Podpora takýchto ekologicky uvedomelých iniciatív nás ako spotrebiteľov poháňa smerom k udržateľnejšej, zodpovednejšej a ekologickejšej budúcnosti nielen automobilového sektora.

POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla s podporou projektov: Implementácia poznatkov o moderných spôsoboch znižovania environmentálnej záťaže pri energetickom využívaní tuhých palív a odpadov do pedagogického procesu, APVV-21-0452 Vplyv využitia malých elektrostatických odlučovačov na zníženie tuhých znečisťujúcich látok pri spaľovaní palív v domácnostiach a UNIVNET.

LITERATÚRA

- [1] Stav a vízie zhodnocovania odpadov z automobilového priemyslu SR / zost. Ľubomír Šooš ; rec. Dušan Šebo, Juraj Ladomerský, Vladimír Hlavňa, Bratislava Spektrum STU 2020, ISBN978-80-227-5039-4
- [2] Progresívne technológie zhodnocovania odpadov v automobilovom priemysle, Miroslav Badida, rec. Dušan Šebo, Juraj Ladomerský, Vladimír Hlavňa, Bratislava : Slovenská technická univerzita v Bratislave , 2021. - 267 s.: 189 obr., 74 tab., 25 cm, ISBN 978-80-553-3867-5
- [3] K.R. Vanapalli, H.B. Sharma, V.P. Ranjan, B. Samal, J. Bhattacharya, B.K. Dubey, S. Goel, Challenges and strategies for effective plastic waste management during and post COVID-19 pandemic, Sci. Total Environ. 750 (2021) 141514. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141514>.
- [4] M. Skrzyniarz, M. Sajdak, M. Zajemska, J. Iwaszko, A. Biniek-Poskart, A. Skibiński, S. Morel, P. Niegodajew, Plastic Waste Management towards Energy Recovery during the COVID-19 Pandemic: The Example of Protective Face Mask Pyrolysis, Energies. 15 (2022)
- [5] D. Colorado, G.I. Echeverry, H. Colorado, Logistics As an Essential Area for the Development of the Solid Waste Management in Colombia, Inf. Técnico. 83 (2019) 131–154.

POSUDZOVANIE VPLYVU DREVOPLASTOVÝCH KOMPOZITOV NA ŽIVOTNÉ PROSTREDIE

Helena Hybská⁵,

Dagmar Samešová⁶, Martina Mordáčová⁷, Mária Gregušová⁸, Paulína Maškovičová⁹

ABSTRAKT

Najlepšie spôsoby, ako obmedziť uvoľňovanie plastov, a teda aj nanoplastov do životného prostredia, sú ich znižovanie, opätovné používanie a predovšetkým recyklácia. Vzhľadom na široké využitie drevotrieskových dosiek v interiéri aj exteriéri je recyklácia plastového odpadu z automobilového priemyslu ako náhrada dreva v drevotrieskových doskách jednou zo súčasných možností ich využitia. Tento článok sa zaoberá posudzovaním vplyvu drevoplastových kompozitov na vodné a terestrické prostredie. Testovalo sa deväť vzoriek drevotrieskových dosiek vyrobených s 10 %, 15 % a 20 % podielom mletého granulátu z lakovaných a nelakovaných nárazníkov a palivových nádrží, z ktorých sa pripravili vodné výluhy. Vo vodných výluhoch sa stanovilo pH a CHSK. Vplyv vodných výluhov zo vzoriek drevoplastových kompozitov sa monitoroval ekotoxikologickými testami s testovacími organizmami *Lemna minor* a *Daphnia magna*. Výsledky potvrdili, že zvýšený obsah plastového odpadu v drevotrieskových

⁵ Helena Hybská, doc. Ing. PhD., doc., Technická Univerzita vo Zvolene, Katedra Environmentálneho inžinierstva

⁶ Dagmar Samešová, prof. Ing., PhD. prof., Technická Univerzita vo Zvolene, Katedra Environmentálneho inžinierstva

⁷ Martina Mordáčová, Ing. PhD. asistent profesora, Technická Univerzita vo Zvolene, Katedra Environmentálneho inžinierstva

⁸ Mária Gregušová, Ing., PhD študent, Technická Univerzita vo Zvolene, Katedra Environmentálneho inžinierstva

⁹ Paulína Maškovičová, Ing., absolvent, Technická Univerzita vo Zvolene, Katedra Environmentálneho inžinierstva

doskách vedie k zníženiu obsahu organických látok vo vodných výluhoch v porovnaní s drevotrieskovými doskami bez náhrady dreva.

ÚVOD

Ľudská činnosť, vrátane automobilového priemyslu, produkuje značné množstvo odpadu, ktorý poškodzuje životné prostredie. Recyklácia odpadových materiálov z automobilového priemyslu, ako sú kovy, plasty a guma, môže pomôcť pri riešení problému vyčerpania zdrojov a environmentálnych problémov. Na Slovensku je dostatok zariadení na spracovanie starých vozidiel, ale nájst' vhodných spracovateľov tohto odpadu je stále problém. K tvorbe plastového odpadu prispieva čoraz častejšie používanie plastov pri výrobe automobilov, pričom plasty sa používajú najmä v nárazníkoch, palubných doskách, sedadlách, palivových nádržiach a v batériách. Recyklácia týchto plastov je z hľadiska udržateľnosti veľmi dôležitá [1, 2]. Recyklácia vedie k zníženiu ťažby materiálov a k menšiemu skládkovaniu, čo prospieva životnému prostrediu. Ročne sa pri výrobe automobilových zariadení použije 4,4 milióna ton plastov. Recyklované materiály zo starých automobilov majú rôzne využitie, napríklad použitie gumového granulátu z pneumatík pri výrobe nových pneumatík a výroba materiálov pohlcujúcich hluk z recyklovaných automobilových sedadiel, kobercov a airbagov. Plasty, ktoré sú odolné a biologicky sa pomaly rozkladajú, predstavujú riziko pre životné prostredie vrátane ich vstupu do potravinového reťazca [3, 4]. Ekotoxikologické biologické testy hodnotia potenciálne toxické účinky odpadu na molekulárnej úrovni až po úroveň ekosystému. Ekotoxicita, nebezpečná vlastnosť odpadu, vyplýva z jeho toxického vplyvu na životné prostredie. Tento článok sa zameriava na opätovné využitie plastového odpadu ako náhrady dreva v drevotrieskových doskách a na posúdenie jeho vplyvu na životné prostredie použitím ekotoxikologických testov [5,6].

MATERIÁL A METÓDY

Výroba drevoplastových dosiek

Testované jednovrstvové drevotrieskové dosky s prídavkom drvených plastových odpadov boli pripravené v laboratóriách Drevárskej fakulty Technickej univerzity vo Zvolene, Katedry chémie a chemickej technológie a Katedry technológie dreva. Základný materiál bol doplnený o nárazník - nelakovaný, polypropylén, nárazník - lakovaný, polypropylén a palivová nádrž,

polyetylén. Testovali sa vzorky drevotrieskových dosiek s rozmermi 360 mm x 280 mm x 15 mm. Podiel plastov vo vzorkách bol 10, 15 a 20 % plastového odpadu. V článku používame skratky: L pre lakované nárazníky, N pre nelakované nárazníky a PN pre palivové nádrže. Číselná hodnota indexu predstavuje percentuálny podiel zložky.

Výrobný proces

Drevotrieskové dosky boli pripravené lisovaním za studena pod tlakom 1 MPa a následne lisovaním za tepla pod tlakom na laboratórnom lise CBJ 100-11, TOS (výrobca Rakovník, bývalé Československo). Drvený granulát drevných častíc a zmes živice sa miešali v laboratórnom aplikačnom bubne. Jeden drevený kompozit po zamiešaní do formy vážil 971 gramov. Forma sa umiestnila do hydraulického predlisovacieho stroja približne na 2 minúty. Po predlisovaní nasledovalo lisovanie za tepla pri tlakoch 30 MPa, 15 MPa a 7,5 MPa v rôznych časových intervaloch. Celkový čas lisovania bol 6 minút pri teplote 240 °C. Vzhľadom na vyšší obsah recyklovaných plastov v drevotrieskových doskách v porovnaní s podmienkami mohla byť pri ich lisovaní použitá vyššia teplota [7].

Príprava vodných výluhov

Na prípravu vodných výluhov sa použila demineralizovaná voda upravená na pH 3. Objem vody, v ktorej sa vzorky lúhovali, sa vypočítal podľa postupu vyplývajúceho z [8, 9]. Vzorky sa lúhovali v sklenených nádobách 24 hodín. Drevotrieskové dosky sa odobrali a výluh sa použil na testovanie.

Stanovenie pH a chemickej spotreby kyslíka

Na stanovenie pH sa použil prístroj s kombinovanou elektródou. pH meter, typ InoLab Level 1, WTW Germany a STN [10]. Metóda stanovenia vychádza z STN [11].

Ekotoxikologické testovanie

Na posúdenie účinkov látok rozpustených vo vodných výluhoch zo vzoriek drevotriesky sme vykonali predbežné testy: test inhibície rastu (stimulácie) na *Lemma minor* a test akútnej toxicity na *Daphnia magna*. Test inhibície rastu (stimulácie) na *Lemma minor* hodnotí toxické účinky látok na sladkovodné rastliny. Je to štandardizovaný test [12] s testovacím organizmom *Lemma minor* [13]. Test akútnej toxicity na *Daphnia magna* sa najčastejšie používa na hodnotenie

toxického účinku látok vo vodnom prostredí. Hodnotí sa imobilizácia organizmu. Použité organizmy nesmú byť staršie ako 24 hodín [14, 15].

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Stanovenie pH a CHSK

CHSK (chemická spotreba kyslíka) slúži ako indikátor organického znečistenia vody. V našej štúdii sa simulovali vodné výluhy zo vzoriek drevotriekových dosiek používaných v rôznych prostrediach s cieľom posúdiť ich vplyv na povrchové vody. Hodnoty CHSK v kontrolných vzorkách, ktoré predstavovali čisté drevotriekové dosky, 50-násobne prekročovali zákonom stanovený limit podľa nariadenia vlády Slovenskej republiky, ktorým sa mení a dopĺňa nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 269/2010 Z. z., ktorým sa ustanovujú požiadavky na dosiahnutie dobrého stavu vôd. Zaujímavé je, že so zvyšujúcim sa podielom odpadu nahrádzajúceho drevo sa obsah organických látok extrahovaných do vody znižoval, pravdepodobne v dôsledku slabej rozpustnosti plastov používaných v drevotriekových doskách. Hodnoty pH sa tiež líšili, pričom pridanie odpadových plastov viedlo k vyšším hodnotám pH. Konkrétne vzorka obsahujúca 20 % granulátu z lakovaných nárazníkov mala najnižšie hodnoty CHSK. Tento trend bol konzistentný vo výluhoch z dosiek obsahujúcich odpadovú gumu z automobilového priemyslu [16].

Tab. 1 Označenie vzoriek a ich zloženie

	N 10	N 15	N 20	L 10	L 15	L 20	PN 10	PN 15	PN20	K
CHSK mg/l	1 305	1209	1 112	1 499	1 209	919	1450	1401	1450	1655
pH	5,16	5,02	5,02	5,09	5,05	4,96	4,85	5,02	5,01	3,66

Test inhibície rastu Lemna minor

Predbežný test s testovanými organizmami *Lemna minor* je negatívny, ak je inhibícia rastu < 30 % v porovnaní s kontrolou, a pozitívny, ak je inhibícia rastu ≥ 30 % [12, 13].

Tab. 2 Repräsentácia inhibície rastu *Lemna minor*

Vzorka	I μ , %				počet opakovaní
	Priemer	Smer. odch.	-95,00%	95,00%	
L	81,56	3,10	73,60	89,52	6
L	78,57	1,88	73,74	83,40	6
L	74,06	4,61	62,22	85,90	6
N	70,08	2,77	62,96	77,20	6
N	68,87	2,67	61,99	75,74	6
N	64,54	4,72	52,41	76,68	6
PN	83,40	4,09	72,88	93,92	6
PN	73,09	2,96	65,47	80,70	6
PN	64,05	2,98	56,40	71,71	6

Použitím plastového odpadu v doske sa znižuje inhibícia rastu. Vo vzorke čistej dosky bola inhibícia 79,18 %. Medzi testovanými vzorkami s lakovanými a nelakovanými nárazníkmi je rozdiel v inhibícii približne 10 %. Vzorka s 10 % obsahom odpadu z palivovej nádrže mala najvyššiu inhibíciu rastu. *Lemna minor* sa už niekoľko rokov úspešne používa ako testovací organizmus na hodnotenie toxických účinkov chemických látok, čo potvrdzuje aj štúdia Hybsej et al. [16], kde sa potvrdilo použitie *Lemna minor* na hodnotenie toxicity výluhov z odpadových pneumatík.

Test akútnej toxicity Daphnia magna

Výsledok predbežného testu *Daphnia magna* je negatívny, ak počas testu došlo k < 50 % úhynu alebo imobilizácii. Test je pozitívny, ak je úhyn alebo imobilizácia \geq 50 % v porovnaní s kontrolou [14, 15]. Počet imobilizovaných jedincov sa vyhodnotil po 24 hodinách a 48 hodinách, % imobilizácie po 48 hodinách je zaznamenané v tab. 3.

Tab. 3 Imobilizácia (v %) *Daphnia magna* po 48 hodinách

	L 10	L 15	L 20	N 10	N 15	N 20	PN 10	PN 15	PN 20
	70	60	65	60	80	70	55	70	55
	60	75	75	55	65	55	50	65	65
	70	50	75	70	75	65	35	65	65
	52	80	72	75	70	55	25	80	80
Priemer	63	66	72	65	73	61	41	70	66

Z údajov (Tab. 3) vyplýva, že % imobilizácia sa zvyšuje s rastúcim podielom odpadových plastov v doske. Výsledok testu bol pozitívny (imobilizácia ≥ 50 %), s výnimkou výluhu z dosky s 10 % obsahom palivovej nádrže (41,25 %). S vyšším podielom odpadu v doske dochádzalo k nárastu imobilizácie vo výluhu, V štúdiu Hybská et al. 2023 [16] bola testovaná toxicita dosky s náhradou gumového odpadu, kde boli všetky stanovené imobilizácie tiež pozitívne.

Linthner et al. [17] sledovali toxicitu 26 plastových výrobkov z 5 druhov plastov, ktoré sa lúhovali v deionizovanej vode a testovali na akútnu toxicitu pre *Daphnia magna*. Ukázalo sa, že všetky výluhy z mäkkého PVC a epoxidových výrobkov sa ukázali ako toxické a žiaden z výluhov z polypropylénu, ABS (akrylonitril-butadién-styrén) a výrobkov z tuhého PVC nevykazoval toxicitu. Toxicitu spôsobili najmä hydrofóbne organické látky a kovy boli hlavnou príčinou toxicity v jednom výluhu (uvoľňovanie kovov potvrdila aj chemická analýza).

Štúdia Hybskej et al. [8] bola zameraná na hodnotenie ekotoxikologického vplyvu odpadu z pneumatík na životné prostredie. Zistili, že najcitlivejším testovacím organizmom bola *Daphnia magna*. Ďalej sa zistil vplyv veľkosti častíc odpadového materiálu, ktorý má významný vplyv na ekotoxicitu. Vzorky, ktoré obsahovali časti pneumatík s veľkosťou < 1 mm, vykazovali vyššiu toxicitu ako vzorky s veľkosťou častíc > 3 mm.

V štúdiách Wika et al. [18] sa odporúča používať metódu testu toxicity s testovacími organizmami *Daphnia magna* ako základ pre environmentálne označovanie automobilových pneumatík.

Z uvedeného vyplýva, že *Daphnia magna* patrí medzi často používané testovacie organizmy pre svoju citlivosť. *Lemna minor* je tiež citlivým testovacím organizmom pre vodné prostredie.

Lemna minor je dostupnejšia vodná rastlina a jej starostlivosť v laboratóriu je tiež jednoduchšia ako zabezpečenie laboratórneho chovu *Daphnia magna*.

ZÁVER

Článok sa zameriava na posúdenie vplyvu drevotriekových dosiek na vodné prostredie. Vzorky týchto kompozitov, vytvorené z mletého granulátu z lakovaných a nelakovaných nárazníkov a palivových nádrží, s úrovňou náhrady dreva v drevotriekových doskách 10 %, 15 % a 20 %, boli použité na prípravu 24-hodinových výluhov. Na ekotoxikologické testovanie sa použilo niekoľko biologických testov. V teste inhibície rastu *Lemna minor* inhibícia rastu prekročila prahové hodnoty pre vhodné vzorky. V teste hodnotiacom imobilizáciu *Daphnia magna* sa percento imobilizácie zvyšovalo s vyšším podielom plastového odpadu v drevotriekových doskách. Výsledky testu boli pozitívne pre všetky vzorky. Testovanie vodných výluhov z experimentálnych vzoriek odhalilo najvýznamnejší vplyv na rýchlosť rastu *Lemna minor* a imobilizáciu *Daphnia magna*. Výsledky naznačujú, že biologické testy sú vhodným nástrojom na posúdenie vplyvu na životné prostredie v porovnaní s výsledkami získanými pri testovaní výluhov z drevotriekových dosiek bez náhrady dreva plastom. Výsledky merané ako chemická spotreba kyslíka (ukazovateľ celkového obsahu organických látok) potvrdzujú, že so zvyšujúcim sa obsahom plastového odpadu v drevotriekových doskách sa obsah organických látok vo vodných výluhoch znižuje v porovnaní s drevotriekovými doskami bez náhrady dreva. Najlepšími metódami na obmedzenie uvoľňovania plastov do životného prostredia sú redukcia, opätovné použitie a predovšetkým recyklácia. Vzhľadom na rozšírené používanie drevotriekových dosiek v interiéri a exteriéri je recyklácia automobilového plastového odpadu ako náhrady dreva v drevotriekových doskách aktuálnou metódou využitia. Štúdia Keski-Saariho et al. [19] zameraná na porovnanie ekonomickej výhodnosti drevotriekových dosiek potvrdila ekonomicke výhody použitia recyklovaných plastov ako náhrady dreva v drevotriekových doskách. Preto je využitie plastového odpadu ako čiastočnej náhrady v drevotriekových doskách vhodným prístupom. Výsledky získané z experimentov dopĺňajú bezpečné používanie drevotriekových dosiek vyrobených s drevom nahradeným plastovým odpadom z automobilového priemyslu v porovnaní s čistými drevotriekovými doskami.

POĎAKOVANIE

Výskum prezentovaný v tejto štúdii je výsledkom projektu UNIVNET "Univerzitné výskumné združenie pre hodnotenie odpadov, najmä v automobilovom priemysle" financovaného Ministerstvom školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky, Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-22-0034 a projektu VEGA 1/0022/22.

LITERATÚRA:

- [1] SHARMA, P., et al., 2016, Automobile Waste and Its Management, In *Research Journal of Chemical and Environmental Sciences*, 2016, Vol 4, No. 2, p. 01-07, ISSN 2321-1040,
- [2] NOVOTNÝ, M., et al., 2021, Analýza súčasného stavu spracovania a zhodnocovania odpadov pochádzajúcich zo starých vozidiel, In *Prpgressívne technológie zhodnocovania odpadov v automobilovom priemysle*, Bratislava, UNIVNET, 2021, ISBN 978-80-553-3867-5, p. 12-26,
- [3] HALLACK, E., et al., 2022, Systematic Design for Recycling Approach – Automotive Exterior Plastics, In *Procedia CIRP*, Vol. 105, p. 204-209, DOI:10.1016/j.procir.2022.02.034,
- [4] GUO, W., et al., 2022, A sustainable recycling process for end-of-life vehicle plastics: A case study on waste bumpers, In *Waste Management*, Vol. 154,p, 187-198, DOI: 10.1016/j.wasman.2022.10.006,
- [5] FARGAŠOVÁ, A., 2009, Ekotoxikologické biotesty, Bratislava: Perfekt, 2009, ISBN 978-80-8046-422-6,
- [6] Ecotoxicological effects of the leachate from the waste tires on the environment
Hybská, Helena - Samešová, Dagmar - Lobotková, Martina, Ecotoxicological effects of the leachate from the waste tires on the environment, In: *Waste forum: electronic peer-reviewed journal on all topics of industrial and municipal ecology*, 2021, s. 166-175, ISSN 1804-0195 ,UNIVNET č. 0201/0082/19
- [7] GARDNER, D.J, et al., 2015, Wood - Plastic Composite Technology, In *Current Forestry Reports*, Vol. 1, p. 139–150, DOI:10.1007/s40725-015-0016-6
- [8] HYBSKÁ, H., - SAMEŠOVÁ, D., 2014, Procesy úpravy a čistenia vody: návody na cvičenia, Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2014, ISBN 978-80-228-2629-7,

- [9] TNI CEN/TR 17105: 2017, Construction products – Assessment of release of dangerous substances – Guidance on the use of ecotoxicity tests applied to construction products; European community for standardization: Brussels, Belgium,
- [10] STN EN ISO 19396-1: 2017, Stanovenie hodnoty pH, Časť 1: pH elektródy so sklenenou membránou,
- [11] STN ISO 15705: 2005, Kvalita vody : stanovenie chemickej spotreby kyslíka (CHSK),
- [12] OECD 221: 2006, Lemna sp., Growth Inhibition Test, Doi: 10.1787/9789264016194
- [13] STN EN ISO 20079: 2008, Kvalita vody, Stanovenie toxických účinkov zložiek vody a odpadovej vody na *Lemna minor* (žaburinku), Skúška inhibície rastu
- [14] EN ISO 6341: 2012, Water quality, Determination of the inhibition of the mobility of *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea), Acute toxicity test; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland
- [15] OECD 202 I.: 2004, Daphnia sp., Acute Immobilisation Test, DOI: 10.1787/9789264069947
- [16] HYBSKA, H., Mordacova, M., Samesova, D., Cabalova, I., ECOTOXICOLOGICAL TESTS OF THE PARTICLEBOARDS CONTAINING RUBBER WASTE, In: Wood research, 2023, Vol. 68, issue 4, p. 758 - 767, ISSN 1336-4561, doi.org10.37763/wr.1336-4561/68.4.758767
- [17] LITHNER, D., et al., 2012, Comparative acute toxicity of leachates from plastic products made of polypropylene, polyethylene, PVC, acrylonitrile-butadiene-styrene, and epoxy to *Daphnia magna*. In Environmental science and pollution research, Vol. 19, Is, 5, p. 1763-1772 DOI:10.1007/s11356-011-0663-5
- [18] WIK, A., - DAVE, G., 2005, Environmental labeling of car tires—toxicity to *Daphnia magna* can be used as a screening method, In Chemosphere Vol, 58, p, 645-651 [online], 2005, [4,5,2023],
- [19] KESKISAARI, A., - KÄRKI, T., 2018, The use of waste materials in wood-plastic composites and their impact on the profitability of the product, In Resources, Conservation and Recycling, Vol. 134, p. 257-261, ISSN 0921-3449, DOI: 10.1016/j.resconrec

ENERGETICKÉ VYUŽITIE PLASTOVÉHO ODPADU: EMISNÝ VPLYV

Nikola Čajová Kantová¹⁰

Radovan Nosek, Alexander Čaja, Alexander Backa

ABSTRAKT

Plastového odpadu stále pribúda a zaražuje naše životné prostredie. Obrovská záťaž prostredia vznikla hlavne počas pandémie COVID-19, keď sa na zamedzenie tejto choroby používali rúška a respirátory. Mnohé použité rúška však často skončili na skládkach alebo sa dokonca dostali do oceánu. Stále je dôležité hľadať spôsoby, ako tieto rúška, ako aj ostatný plastový neseparovateľný odpad efektívne zlikvidovať s ich ďalším využitím. Tento článok sa zaoberá energetickým využitím rúšok a respirátorov v podobe drevených peliet. Tieto pelety boli vytvorené z 10%, 20% a 50% obsahu masiek. Ďalej sa spaľovali, pričom sa skúmali ich emisné parametre. Nakoniec bola porovnaná koncentrácia jednotlivých emisií s koncentráciou získanou pri spaľovaní čistých drevených peliet. Na základe výsledkov je možné zhrnúť, že vysoká prítomnosť tvárových masiek v drevených peletách negatívne ovplyvňuje produkciu emisií najmä

¹⁰ Ing., PhD., Čajová Kantová Nikola, Žilinská univerzita v Žiline, Výskumné centrum, Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovenská republika, nikola.cajovakantova@uniza.sk

prof., Ing., PhD., Nosek Radovan, Žilinská univerzita v Žiline, Katedra energetickej techniky, Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovenská republika, radovan.nosek@fstroj.uniza.sk

Ing., PhD., Čaja Alexander, Žilinská univerzita v Žiline, Katedra energetickej techniky, Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovenská republika, alexander.caja@fstroj.uniza.sk

Ing., Backa Alexander, Žilinská univerzita v Žiline, Katedra energetickej techniky, Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovenská republika, alexander.backa@fstroj.uniza.sk

tuhých znečisťujúcich látok. Preto by bolo vhodné pridávať len malé množstvo pľeťových masiek ako prísadu do 10%, ktorá výrazne neovplyvňuje emisie tuhých znečisťujúcich látok.

ÚVOD

Nakladanie s tuhým komunálnym odpadom sa stávalo problematickejšie v dôsledku veľkého nárastu medicínskeho odpadu spôsobeného pandémiou koronavírusu (COVID-19). Na zamedzenie vírusu sa používali hlavne rúška, respirátory a ďalšie ochranné prostriedky. Podľa štúdie Svetovej zdravotníckej organizácie (WHO) (marec 2020) bolo na reakciu na COVID-19 každý mesiac potrebných približne 89 miliónov tvárových masiek [1], čo viedlo to k zvýšeniu celosvetovej výroby ochranných prostriedkov. Jednorazové tvárové masky boli vyrobené z netkanej textilie a polymérov. Respirátory FFP2 boli vyrobené z viacvrstvových polymérnych materiálov. Celosvetová výroba a spotreba rúšok priniesla novú environmentálnu záťaž. Stále je dôležité hľadať spôsoby, ako tieto rúška, ako aj ostatný plastový neseperovateľný odpad efektívne zlikvidovať s ich ďalším využitím.

Vo všeobecnosti sa odpadové polyméry likvidujú na skládkach, spaľovaním alebo pyrolýzou. Pred ich ďalším použitím sa používajú sterilizačné metódy ako ultrafialové ožarovanie [2] alebo metóda suchého tepla [3]. Alam a kol. [4] vyrábali pelety z hydrotermálne upraveného čistého nemocničného odpadu. Vytvorené pelety len z nemocničného odpadu nespĺňali niektoré z požiadaviek európskych noriem. Vhodným zmiešaním 1 % a 1,5 % tohto odpadu so zvyškom sachalinskej jedle však bolo možné tieto normy splniť. Rezaei a kol. [5] sa zaoberali energetickým využitím odpadu z papiera, plastov, domáceho organického odpadu a dreva pomocou peletizácie. Peletizácia je účinná úprava na minimalizáciu heterogenity odpadových materiálov. Zvýšenie obsahu plastov z 20 % na 40 % viedlo k zníženiu spotreby energie na ich výrobu a k zvýšeniu výhrevnosti peliet [5].

Tento článok sa zaoberá energetickým využitím rúšok a respirátorov v podobe drevených peliet. Tieto pelety boli vytvorené z 10%, 20% a 50% obsahu pľeťových masiek. Ďalej sa spaľovali, pričom sa skúmali ich emisné parametre. Nakoniec bola porovnaná koncentrácia jednotlivých emisií s koncentráciou získanou pri spaľovaní čistých drevených peliet.

MATERIÁL A METODIKA

Pelety boli vyrobené zo smrekových pilín ako hlavného materiálu a tvárových masiek (jednorazové tvárové masky a respirátory FFP2) ako sekundárneho materiálu. Jednorazové masky na tvár a masky FFP2 boli pridané v rovnakom pomere s ich obsahom 10%, 20% a 50%. Tento materiál bol lisovaný na malom lise na pelety Kovo Novák v spolupráci s University of Agriculture in Krakow. Vzorky peliet boli ďalej spaľované v automatickom kotle na pelety LOKCA ÚSPOR 18 AUTOMAT (Obr. 1) s maximálnym tepelným výkonom 18 kW a s retortovým horákom.

Plynné emisie boli merané analyzátorom spalín TESTO 350 (Obr. 2) počas 30-minútových meraní. Koncentrácia oxidu uhoľnatého CO, oxidov dusíka NO_x a oxidov síry SO_x bola vypočítaná z nameraných jednotiek ppm na vyhodnocovaciu jednotku mg.m⁻³. Tuhé znečisťujúce látky (PM) boli merané gravimetrickou metódou podľa STN ISO 9096. Koncentrácia tuhých znečisťujúcich látok bola počítaná ako podiel hmotnostného rozdielu filtra so zachytenými časticami a bez nich a objemu vzorky [6].



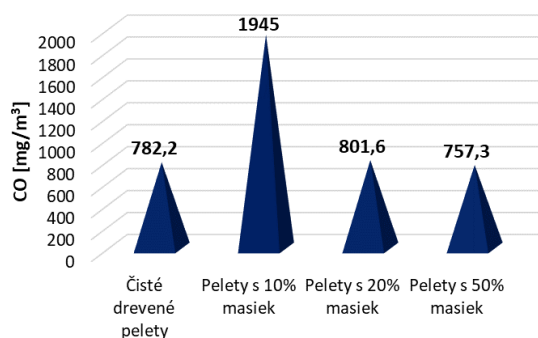
Obr. 1 Použitý automatický kotol na pelety



Obr. 2 Vybavenie na meranie plynných emisií

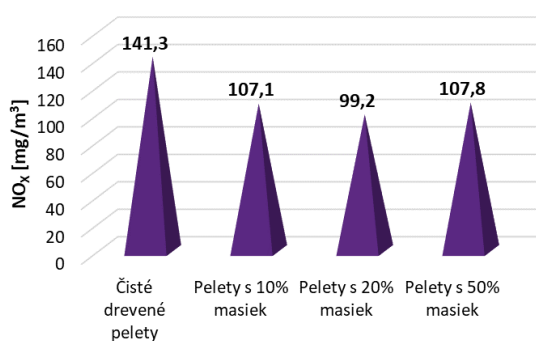
VÝSLEDKY

Výsledky detekcie oxidu uhoľnatého CO sú znázornené na Obr. 3. Najnižšiu koncentráciu CO mala vzorka s 50% obsahom tvárových masiek. Táto hodnota však bola veľmi podobná vzorke bez prítomnosti pleťových masiek. Nižšie koncentrácie pri spaľovaní vzoriek s 20% a 50% obsahom tvárových masiek mohli byť spôsobené zanesením meracej sondy. Najvyššia koncentrácia CO bola nameraná pri vzorke s 10% obsahom pleťových masiek.



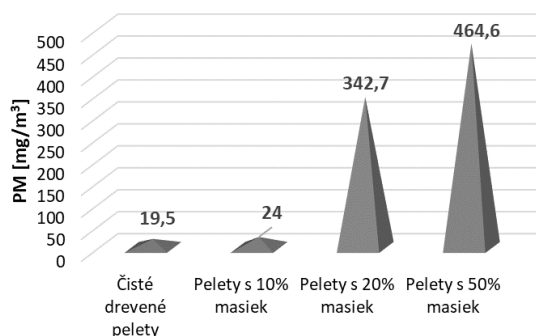
Obr. 3 Výsledky CO emisií

Výsledky detekcie oxidov dusíka NO_x sú uvedené na Obr. 4. Najnižšiu koncentráciu NO_x mala vzorka s 20% obsahom tvárových masiek. Najvyššia koncentrácia NO_x bola nameraná vo vzorke bez prítomnosti tvárových masiek. Veľmi podobné hodnoty mali vzorky s 10% a 50% obsahom pleťových masiek.



Obr. 4 Výsledky NO_x emisií

Prítomnosť oxidov síry SO_x nebola zistená. Výsledky detekcie tuhých znečisťujúcich látok (PM) sú uvedené na Obr. 5. Vzorka bez prítomnosti tvárových masiek mala najnižšiu koncentráciu PM. Najvyššia koncentrácia PM bola nameraná pri vzorke s 50% obsahom tvárových masiek.



Obr. 5 Výsledky PM emisií

ZÁVER

Prítomnosť rúšok a respirátorov v drevených peletách ovplyvnila najmä produkciu emisií tuhých znečisťujúcich látok (PM). Zvyšujúce sa množstvo tvárových masiek v peletách spôsobilo zvýšenie koncentrácie pevných častíc (z $19,5 \text{ mg.m}^{-3}$ na $464,6 \text{ mg.m}^{-3}$). Koncentrácia CO bola podobná okrem vzorky s 10% obsahom tvárových masiek. Nižšie koncentrácie pri spaľovaní vzoriek s 20% a 50% obsahom tvárových masiek však mohli byť spôsobené zanesením meracej sondy. Koncentrácia NO_x bola tiež podobná pre všetky testované vzorky peliet (najvyššia $141,3 \text{ mg.m}^{-3}$ pre vzorku bez prítomnosti tvárových masiek a najnižšia $99,2 \text{ mg.m}^{-3}$ pre vzorku s 20% obsahom tvárových masiek). Na základe výsledkov je možné zhrnúť, že vysoká prítomnosť tvárových masiek v drevených peletách negatívne ovplyvňuje produkciu emisií najmä tuhých znečisťujúcich látok. Preto by bolo vhodné pridávať len malé množstvo pleťových masiek ako aditívum do 10%, ktoré výrazne neovplyvňuje PM emisie.

POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla s podporou VEGA 1/0150/22: Energetické zhodnocovanie produkovaného odpadu v súvislosti s pandémiou COVID-19 prostredníctvom peliet ako alternatívneho paliva a VEGA 1/0633/23: Optimalizácia prúdového poľa zamedzujúceho šírenie COVID-19 a ďalších vírusov a baktérií k pacientovi.

LITERATÚRA

- [1] WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO): Shortage of personal protective equipment endangering health workers worldwide, 2020.
- [2] HAMZAVI, I.H., LYONS, A.B., KOHLI, I., NARLA, S., PARKS-MILLER, A., GELFAND, J.M., LIM, H.W., OZOG, D.: Ultraviolet germicidal irradiation: possible method for respirator disinfection to facilitate reuse during COVID-19 pandemic. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 2020, 82 (6), pages 1511-1512.
- [3] XIANG, Y., SONG, Q., GU, W.: Decontamination of surgical face masks and N95 respirators by dry heat pasteurization for one hour at 70°C. *American Journal of Infection Control*, 2020, 48 (8), pages 880-882.
- [4] ALAM, M. T., LEE, J.-S., LEE, S.-Y., BHATTA, D., YOSHIKAWA, K., SEO, Y.-CH.: Low Chlorine Fuel Pellets Production from the Mixture of Hydrothermally Treated Hospital Solid Waste, Pyrolytic Plastic Waste Residue and Biomass. *Energies*, 2019, 12, 4390.
- [5] REZAEI, H., PANAHI, F. Y., LIM, C. J., SOKHANSANJ, S.: Pelletization of Refuse-Derived Fuel with Varying Compositions of Plastic, Paper, Organic and Wood. *Sustainability* 2020, 12, 4645.
- [6] HOLUBČÍK, M., ČAJOVÁ KANTOVÁ, N., JANDAČKA, J., ČAJA, A.: The Performance and Emission Parameters Based on the Redistribution of the Amount of Combustion Air of the Wood Stove. *Processes*, 2022, 10(8), 1570.

PRÍSPEVOK K SEPARÁCII BIOLOGICKY ROZLOŽITEĽNÝCH ODPADOV

Eudovít Kolláth ¹¹

Ján Pathó ²

ABSTRACT

The paper deals with the issue of separation in particular:

- restaurant, hotel and kitchen waste,
- biodegradable waste in the food industry (packaged and unpackaged, fresh, canned, bottled, chilled and frozen...etc.),
- biodegradable waste from shops and wholesalers, including vegetables, fruit, bakery, dairy, smokehouse and other products (packaged and unpackaged in all forms),
- biodegradable municipal waste from public spaces and households
- mixed municipal waste, etc.

A new line for wet (dust-free) mechanical separation of these wastes is also described.

ÚVOD

Informácie o vznikajúcich množstvách biologicky rozložiteľných odpadov doma i v zahraničí sú zverejňované na rôznych fórach a v rôznych odborných publikáciách, časopisoch. Takisto sú k dispozícii (napr. na stránkach MŽP [1]) vývoj v oblasti legislatívy EÚ a záväzky, ktoré vyplývajú z nej pre Slovenskú republiku.

¹¹ Doc. Ing. Eudovít Kolláth, PhD. Strojnícka fakulta STU v Bratislave, e-mail: ludovit.kollath@stuba.sk

² Ing. Ján Pathó, Agrovaria, s. r. o., Štúrovo, e-mail: office@agrovaria.sk

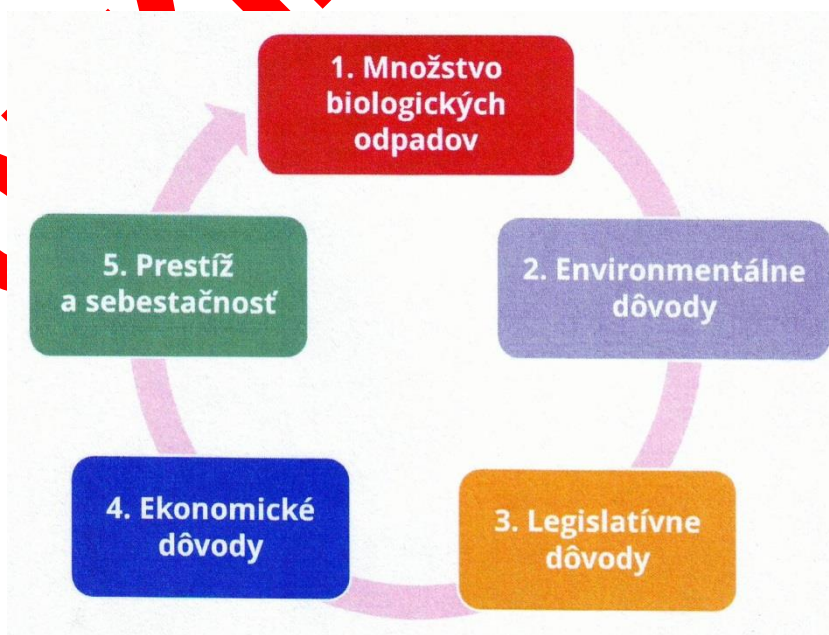
Najčastejšie používané pojmy a skratky pre účely tohto príspevku sú [1]:

- OH – odpadové hospodárstvo
- KO – komunálny odpad
- ZKO – zmesový komunálny odpad (katalógové číslo 200301)
- BRKO – biologicky rozložiteľný komunálny odpad
- Kuchynský BRO – biologicky rozložiteľný kuchynský a reštauračný odpad (katalógové číslo 200108) z domácností
- Záhradný BRO – biologicky rozložiteľný odpad zo záhrad z domácností (katalógové číslo 200201)
- Biologický odpad – spoločné pomenovanie kuchynských a záhradných BRO

Obsah pojmu „biologický odpad“ je však oveľa širší. Napr. už v roku 2010 vydalo MŽP SR dokument pod názvom „Stratégia obmedzovania ukladania biologicky rozložiteľných odpadov na skládky odpadov“ [2], kde je uvedené:

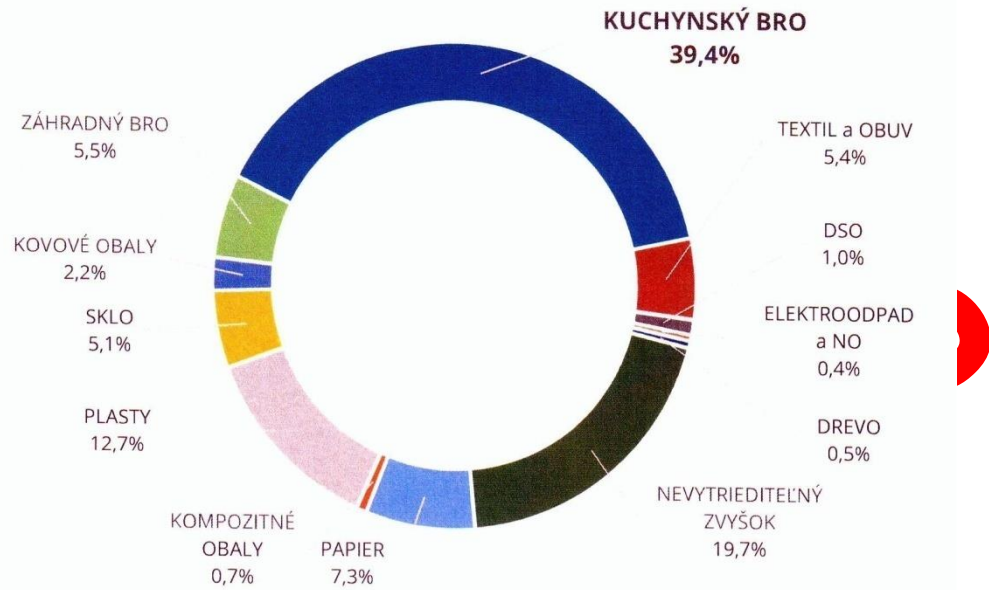
„Podľa štúdie „Nakladanie s biologickým odpadom v Európskej únii“ patrí medzi biologicky rozložiteľný odpad bioodpad zo záhrad a parkov, potravinový alebo kuchynský odpad z domácností, reštaurácií alebo maloobchodných predajní (sektor stravovania), ako aj **obdobný odpad zo závodov, kde sa spracúvajú potraviny**“.

Dôvody (obr. 1), prečo by sme sa mali zaoberať s biologicky rozložiteľnými odpadmi sú podrobnejšie rozoberané v publikácii [1]. Existujú aj rôzne podrobné štatistické údaje o množstvách, zložení odpadov, napr. obr. 2.

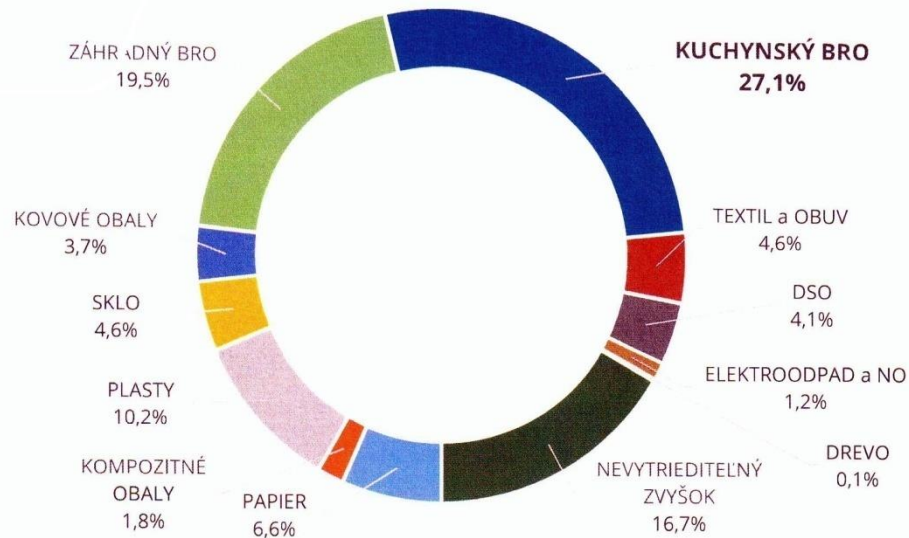


Obr. 1 Prečo sa zaoberať biologickými odpadmi [1]

Zloženie zmesového odpadu v KBV



Zloženie zmesového odpadu v IBV



KBV – bytová výstavba, IBV – individuálny bytová výstavba

Obr. 2 Zloženie zmesového komunálneho odpadu [1]

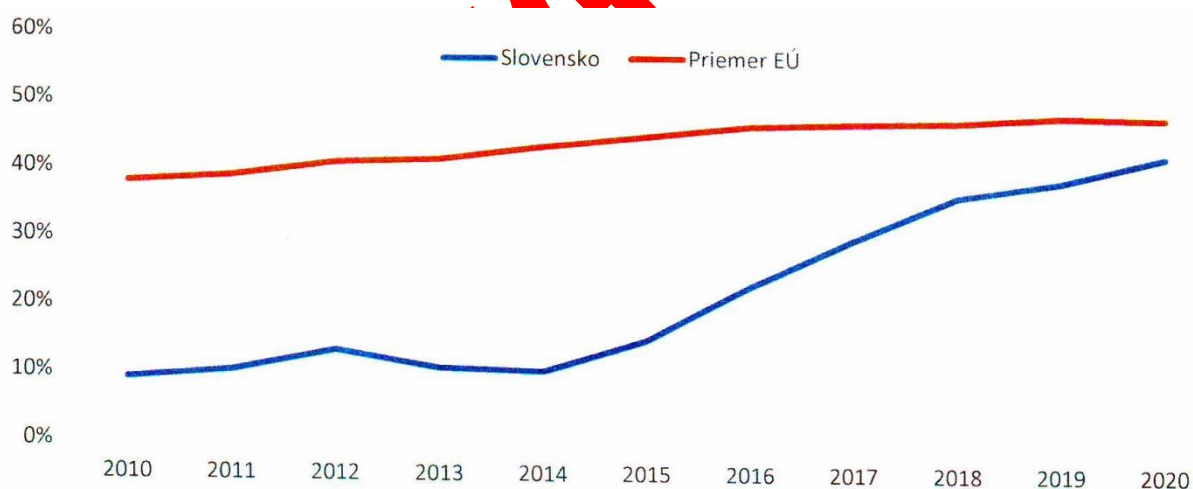
V tomto smere sú veľmi kvalitne spracované údaje, informácie aj v literatúre [diplomovka].

Už v roku 2010 vznikol materiál MŽP SR „Stratégia obmedzovania ukladania biologicky rozložiteľných odpadov na skládky odpadov“. Aj v platnom zákone SR o odpadoch sú

jednoznačne stanovené úlohy, o. i.: materiálové a energetické zhodnotenie odpadov a zníženie množstva odpadov na skládkach. Tieto úlohy sú v súlade so zámermi EÚ.



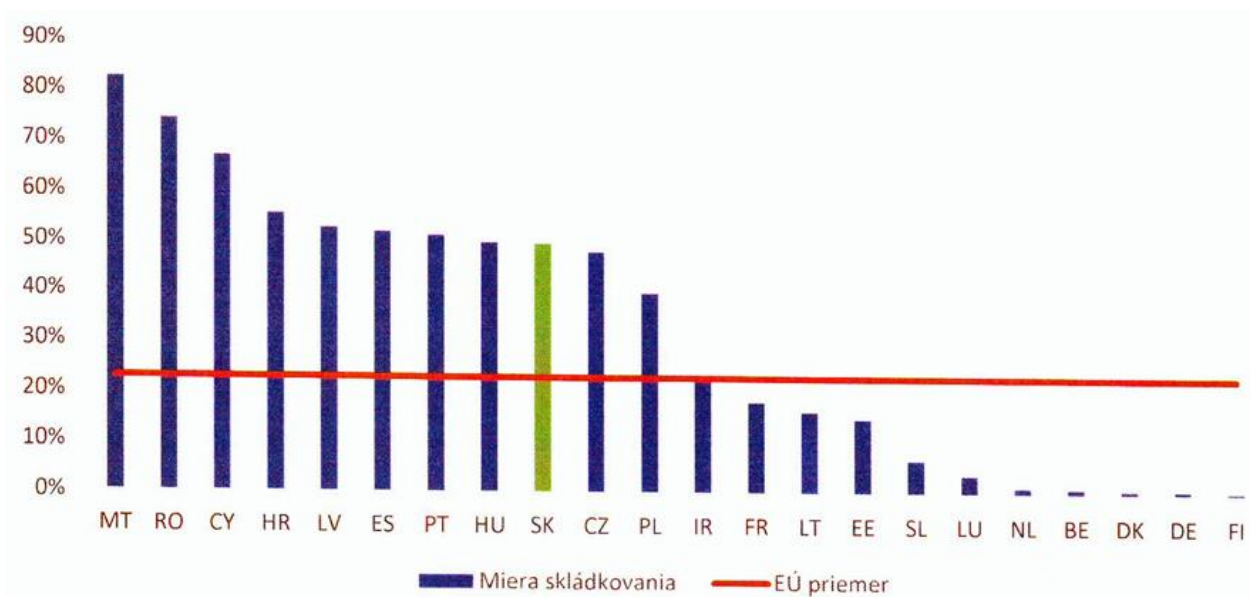
Obr. 3 Záväzné ciele EÚ v oblasti recyklácie a skládkovania KO [1]



Zdroj: Eurostat

Naopak, priemerná miera skládkovania komunálneho odpadu v EÚ bola v roku 2019 na úrovni 24 %, pričom Slovensko sa s mierou skládkovania 52 % zaradilo medzi tretinu najhorších krajín. **V roku 2020 klesla miera skládkovania na úroveň 50 %.**

Obr. 4. Vývoj recyklácie komunálnych odpadov na Slovensku a v EÚ [3]



Obr. 5 Miera skládkovania komunálnych odpadov v roku 2020 [3]

Jednoznačne však treba konštatovať, že pre úspešné naplnenie uvedených zámerov, je nutné zaviesť dôkladnú separáciu odpadov!

Faktom je, že existujú a stále sa rozširuje počet liniek na separáciu odpadov. Jedným z významným dodávateľom strojov, liniek na Slovensku v tejto oblasti je aj firma VÚMZ so sídlom v Nitre.



Obr. 6 Príklad separačnej linky firmy VÚMZ [6]

MOKRÁ TECHNOLOGIA MECHANICKEJ SEPARÁCIE BRO

Táto technológia na Slovensku ešte nebola inštalovaná, vo svete je však známa – USA, Anglicko, Fínsko, Francúzsku, Taliansko, Čína atď. Základ tvoria od roku 2009 stroje, bioseparátory talianskej firmy DODA. Prvá linka v ČR bola inštalovaná v roku 2023 [7] v spolupráci s AGROVARIA s. r. o. (výhradné zastúpenie fy DODA). Táto linka spracuje 20 t BRO/hod.

Bioseparácia DODA [4], [5] je procesom mokrej separácie, kde zdrojom tekutiny je technol. voda alebo tekutá frakcia po mechanickej separácii, po hygienizácii, resp. po fermentácii v BPS (bioplynová stanica), alebo splašková tekutina po práčke DODA. Množstvo tekutiny čo sa vytvorí v priebehu bioseparácie a následnej fermentácii v BPS je rádovo vyššie než je spotreba bioseparátorov. Aplikácia fugátu na poľnohospodárske pozemky je možná s **podrývacími aplikátormi DODA** – de facto bez emisií do vzduchu – priamo zo skladovacieho miesta - betónových nádrží alebo pomocou mobilných medziskladov (kontajnery). V technologickej schéme (obr.7) bioseparácie sa nachádzajú výrobky spoločnosti DODA (žltý podtón v políčkach technologickej schémy) od príjmu odpadu na separáciu až do konca – aplikácie fugátu alebo digestátu do pôdy.

Konštrukčná adaptabilnosť **fy. DODA** [5] – výroba rôznych veľkostí – výkonov (bioseparátory s výkonmi od 1 ton odpadu za hod. až do **20 ton odpadu za hodinu**) umožňuje vytvoriť rozumné **kooperačné obvody** pre zber: výkon najväčšej jednotky 20ton/hod zmesového komunálneho odpadu predpokladá viac producentov (40 000 ton/rok), hrubým počtom min. do 100 000 obyvateľov v jednozmennej prevádzke. Najmenší bioseparátor (1ton/hod) je aj v prevedení do veľkoobchodov na separáciu baleného aj nebaleného mliekarenskeho, údenárskeho, zeleninového, ovocného obecné povedané – potravinárskeho odpadu s chladičom vyseparovanej hmoty (aby sa nezačínal kvasný proces na mieste separácie) s automatickým stáčacím miestom.

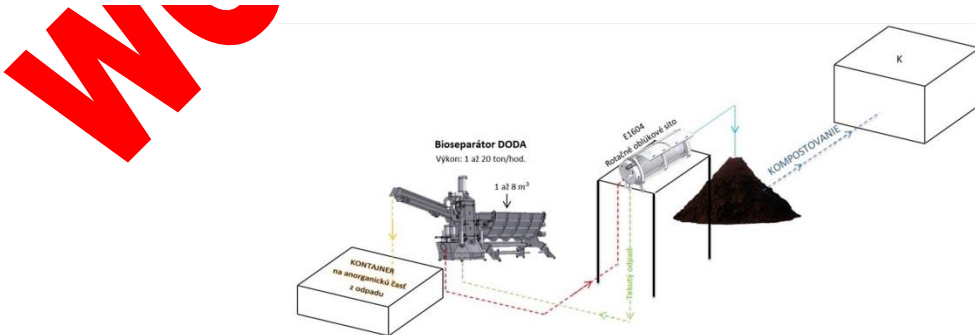
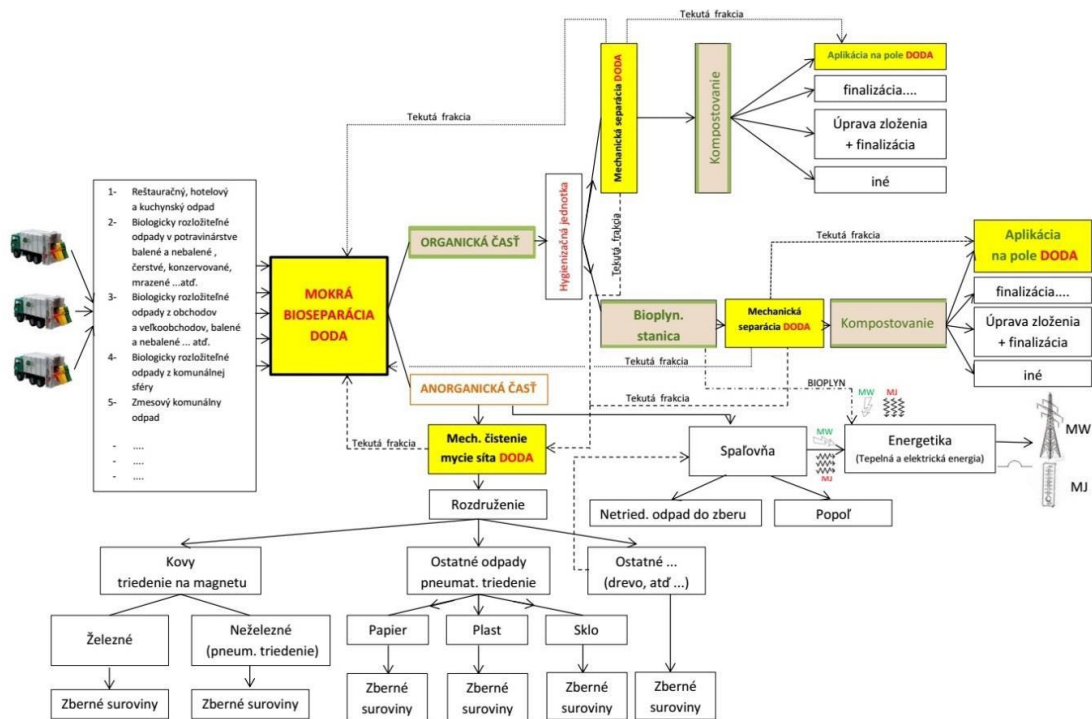
Návrh – technologickej schémy (obr. 7) **cesty odpadov pri bioseparácii so strojmi spoločnosti DODA** vypracovala spoločnosť AGROVARIA ktorá zabezpečuje dodávky strojov na trhy Slovenskej republiky, ČR, Maďarska a Rumunska pomocou republikových zástupcov uvedených krajín.

Základnou myšlienkou konštruktérov DODA je, že najjednoduchšou a najúčelnejšou cestou separácie je **oddeliť organické časti odpadu od anorganickej**. Napriek tejto veľkej výzvy domyslená a elegantná konštrukcia strojov a ich zoradenie obecné **nepredpokladá vysoko kvalitný - disciplinovaný selektívny zber BRKO, BRO ani KO**.

Čo všetko je možné spracovať bioseparátormi DODA?

Bez úplnosti vymenovania všetkých možností sú to:

- reštauračný, hotelový a kuchynský odpad,
- biologicky rozložiteľné odpady v potravinárstve balené a nebalené, čerstvé, konzervované, fľašované, chladené a mrazené...atď.,
- biologicky rozložiteľné odpady z obchodov a veľkoobchodov vrátane zelenín, ovocia, pekárenských, mliekarenských, údenárskych a ďalších výrobkov balené a nebalené vo všetkých formách,
- biologicky rozložiteľné komunálne odpady z verejných priestorov a domácností,
- zmesový komunálny odpad ... atď.



Obr. 7 Schéma cesty odpadov – bioseparácia strojmi DODA (vypracovaná firmou AGROVARIA

[4])



Obr. 8 Niektoré stroje fy DODA [5]

ZÁVER

Aké sú prínosy bioseparácie so strojmi DODA? Rozdelíme ich na dve časti [4]:

A.) Organická časť separátu

1. Organická časť bioseparátu je základnou surovinou pre BPS - keď sa využíva v poľnohosp. BPS, môže **nahradiť až 38-40% silážnej kukurice**.
- 2., Vyhnitá hmota – digestát z BPS môže byť mechanicky separovaný, z tuhej frakcie sa môže pripraviť **kompost**, resp. môže byť vysušená sušičkou DODA pomocou **odpadového tepla** z jednotky BPS. Následným granulovaním tejto hmoty sa vyrobí organické hnojivo dobre rozmetateľné rozmetadlami UH, v prípade nízkej hodnoty živín pelety, granuláty sa môžu používať ako palivo do kotlov. Ďalšou možnosťou je balenie - finalizácia popr. obohacovanie ďalšími komponentmi (P, K, event. stopové prvky podľa ACH rozboru) a balenie pre záhradkárov – poľnohospodárov, tzn. je to vstup na trh v segmentu výživy plodín.
- 3., Tekutá frakcia digestátu – tzv. fugát je aplikovateľný na polia, kde ekologicky najvýhodnejšia aplikácia je aplikácia na strnisko do hĺbky 20-25 cm pomocou podryvákov (výrobky DODA) bez možnosti úniku prchavých látok do ovzdušia (škodlivé emisie)! Tento spôsob aplikácie najviac oceňujú poľnohospodári!
- 4., Ekonomika prepravy organickej časti separátu aj na väčšie vzdialenosti je výhodnejšia než je preprava zosilážovanej kukurice z polí do silážnych jám, popr. hotovej siláže do vzdialenejšej BPS.
- 5., Za odpad určený na bioseparáciu je poplatok od organizácií čo zabezpečujú zber od výrobcov.

6., Organická časť bioseparátu keď je zabezpečená celoročne, znižuje oseedné plochy silážnej kukurice, cena organickej časti bioseparátu sa premieta do výrobnéj ceny energie (elektrická aj tepelná) z BPS a významne to znižuje, zlepšuje sa **prevádzková ekonomika BPS**.

7., Bioseparátory DODA môžu byť výkonovo dobre adaptované aj menším BPS, ktoré by sa mali budovať vo veľkostiach od 200 až 300-350 kW, bližšie k obciam!

. atď.

B.) Anorganická časť vyseparovaného odpadu

1., Zvýši sa energetická účinnosť spaľovania v spaľovňách odpadov,

2., Zníži sa počet potrebných spaľovní na spaľovanie odpadu,

3., Rozdruženie a následné roztriedenie na magnetických, pneumatických a mechanických triedičoch – separátoroch sa získa hodnotný materiál pre recykláciu,

4., Anorganická frakcia separátu je rozdrtená, očistená, je lepšie skladovateľná - potrebuje menej priestoru. Rozdrvený stav hmoty obecné znamená väčšiu objemovú hmotnosť – v kg/m³ - tým sa znižujú náklady na prepravu aj skladovanie,

5., Možnosť ľahkého roztriedenia anorganickej hmoty znižuje záťaž na spaľovne, je menšie množstvo netriedeného odpadu zo spaľovní do zberu, a tým aj menšie množstvo popola.

. atď.

Týmto spôsobom spracovania BRKO je reálna nádej na splnenie cieľov stratégie obmedzovania ukládania BRKO na skládky. Návrh – technologickú schému (obr. 7) cesty odpadov v bioseparácii so strojmi spoločnosti DODA vypracovala spoločnosť AGROVARIA, ktorá zabezpečuje dodávky strojov na trhy Slovenskej republiky, ČR, Maďarska a Rumunska pomocou republikových zástupcov uvedených krajín.

POĎAKOVANIE

Publikované výsledky vznikli s podporou projektu **KEGA 030STU-4/2022 s názvom RORESA** - Aplikácia rozšírenej reality vo vzdelávacom procese obrábacích strojov a výrobných systémov, podporeného ministerstvom školstva, vedy, výskumu a športu SR a Ministerstvom školstva, vedy, výskumu a športu SR na základe zmluvy - Univerzitná a priemyselná výskumná a vzdelávacia platforma recyklačnej spoločnosti (**UNIVNET**).

LITERATÚRA

- [1] Zber biologicky rozložiteľných komunálnych odpadov, MANUÁL PRE OBCE, 2010, <https://www.minzp.sk/files/zber-bioodpadu-manual-obce.pdf>, 2021 [cit. 14. 12. 2023]
- [2] Stratégia obmedzovania ukladania biologicky rozložiteľných odpadov na skládky odpadov, Bratislava, 2010
https://www.minzp.sk/files/sekcia-enviromentalneho-hodnotenia-riadenia/odpady-a-obaly/registre-a-zoznamy/strategia_bioodpad.pdf, [cit. 14. 12. 2023]
- [3] Analýza triedeného zberu biologicky rozložiteľného kuchynského odpadu, 2022
https://www.odpady-portal.sk/files/Priloha2/ZOP_Anal%C3%BDza%20trieden%C3%A9ho%20zberu%20BRKO%20na%20Slovensku_Odpadov%C3%BD%20hospod%C3%A1r.pdf, [cit. 14. 12. 2023]
- [4] Písomné materiály firmy AGROVARIA, s. r. o., Štúrovo, 2023
- [5] <https://www.doda.com/>, [cit. 14. 12. 2023]
- [6] <https://www.vumz.sk/>, [cit. 14. 12. 2023]
- [7] <https://www.kompostarna.com/projekty/>, [cit. 14. 12. 2023]

WORKING PAPERS

DEKONTAMINÁCIA A RECYKLÁCIA MATERIÁLOV TECHNOLOGIOU WJM V NEBEZPEČNOM PROSTREDÍ

Krajný Zdenko¹²

Čáčková Iveta, Šooš Lubomír

ABSTRAKT

Možnosť vykonávať štandardné operácie vysokotlakovým vodným lúčom (rezanie, čistenie) je teraz možná aj v nebezpečnom a výbušnom prostredí. Technológia teda ponúka v týchto oblastiach „zlatú“ príležitosť. Technológia vysokotlakového vodného lúča je považovaná za technológiu 3. tisícročia vďaka svojim jedinečným a špecifickým výhodám (rezanie za studena, ekologické, efektívne a všestranné). Výhodne sa používa aj na dekontamináciu a následnú recykláciu materiálov v rafinériách alebo jadrových elektrárňach a podobných nebezpečných prostrediach.



Obr. 1 Vonkajšie čistenie výmenníkov ropy

¹² Ústav výrobného inžinierstva, Strojnícka fakulta STU v Bratislave, iveta.cackova@stuba.sk

ÚVOD

Vysokotlakový vodný lúč (WJM) je inteligentný pracovný nástroj, ktorý sa vyznačuje prirodzeným výberom odstraňovania nežiaduceho materiálu. Vodný lúč je vysoko efektívna technológia bez akýchkoľvek dynamických rázov alebo nepriaznivých vplyvov na štruktúru opracovávaného dielu. Vodný prúd je rýchla a v podstate „zelená“ technológia. Čistiace médium – voda – nie je horľavé ani výbušné, nie je karcinogénne a je šetrné k životnému prostrediu nielen pre životné prostredie, ale aj pre obsluhu strojov. Z tohto dôvodu je vývoj technológie vodného lúča v popredí povrchových úprav v strojárskom priemysle. V porovnaní s podobnými technológiami (brúsenie, ošetrovanie plameňom, čistenie kovových častíc, čistenie sódou alebo kryštalickým vápencom) je technológia vodného lúča definovaná ako nízkoodpadová technológia, ktorá neobsahuje žiadne ďalšie látky škodlivé pre prírodné a pracovné prostredie. Voda prúdiaca vysokou rýchlosťou je schopná nečistoty nielen otrysknúť, ale aj vymyť z pórov materiálov (vrátane farby). Tým je dosiahnutý efekt nenarušenia vlastností prírodných materiálov, veľká výhoda WJM. V súčasnosti existujú vysoko profesionálne technologické zariadenia schopné generovať vysokotlakový vodný lúč, vhodné nielen na komplexné a efektívne čistenie povrchov, ale schopné rezať prakticky všetky konštrukčné materiály.

NEBEZPEČNÉ PROSTREDIE

Za nebezpečné prostredie možno považovať oblasť, kde je ohrozené zdravie a životy ľudí, alebo oblasť, ktorá má možnosť spôsobiť škody veľkého rozsahu. Normy a špecifikácia ATEX (z francúzskych výrazov ATmosphères a Explosives) definujú nebezpečné prostredie ako priestor, kde atmosféra obsahuje alebo môže obsahovať dostatočné množstvo horľavých alebo výbušných plynov, prachu a/alebo pary [3]. Horľavosť a výbušnosť vzniká vtedy, keď sú splnené tri podmienky, ktoré je možné upraviť alebo úplne zabrániť, čím sa zníži alebo úplne zabráni nebezpečenstvu. Nebezpečné prostredie má dve základné podmienky, atmosférickú saturáciu horľavých alebo horľavých látok „paliva“ vzduchom, ktoré sa zvyčajne dajú ovplyvniť alebo regulovať. Tretia podmienka v špeciálnych prevádzkových alebo núdzových situáciách sa však musí brať do úvahy, keď je dôležitý čas zásahu, a to je iniciátor alebo „iskra“, ktorej sa možno vyhnúť použitím vhodnej pracovnej techniky. Zhodou okolností použitie vysokotlakovej vody úplne spĺňa vyššie uvedenú tretiu podmienku v dôsledku procesov nevodivého charakteru rezania za studena, ktoré nevytvára žiadne nadmerné teplo alebo elektrostatický náboj, ktorý by

mohol spôsobiť požiar alebo výbuch. Okrem toho WJM nespôsobuje napätie alebo dynamické otrasy v materiáli, ktoré môžu spôsobiť poškodenie, deformáciu atď., čo môže viesť k nebezpečenstvu. Z hľadiska ľudského zdravia a ohrozenia treba pri definovaní nebezpečného prostredia brať do úvahy aj akékoľvek uvoľňovanie toxických alebo karcinogénnych látok vo forme prchavých plynov alebo prachu počas pracovného procesu. Okrem toho je často potrebné skrátiť čas potrebný na servis a údržbu v priestoroch, kde teplota a tlak umožňujú len dočasné vystavenie ľuďom a niektorým zariadeniam. Pomocou diaľkového ovládania je vysokotlakový prúd schopný pracovať hlboko pod povrchmi, napríklad v hlbokomorskom prostredí. Použitie vysokotlakového vodného prúdu sa ukázalo ako veľmi vhodné pri čistiacich operáciách v nebezpečných prostrediach. Použitie vody ako čistiaceho média je ekologické a možno ním odstrániť výbušné, horľavé, toxické alebo karcinogénne látky, povlaky a usadeniny. Použitie vysokotlakového prúdu vody je možné použiť v každej situácii, kde alternatívne metódy predstavujú veľké nebezpečenstvo a/alebo poškodenie. Špeciálne výhodné využitie je v chemickom a petrochemickom priemysle.



Obr. 2 Použitie vodného prúdu v petrochemickom priemysle je rozšírené

Napriek tomu, že používanie zariadenia s vodným lúčom je navrhnuté pre maximálnu prevádzkovú bezpečnosť, môže dôjsť k poškodeniu a ublíženiu na zdraví, ak obsluhujúci personál nemá príslušné školenie alebo nerešpektuje prevádzkové pokyny zariadenia. Existuje mnoho usmernení, ktoré sa musia dodržiavať pri práci s vodnými lúčmi. Akékoľvek zariadenie alebo príslušenstvo využívajúce prúd kvapaliny vyrobené v Európskej únii spĺňa platné predpisy pre stroje generujúce vysokotlakový prúd kvapaliny. Odborový zväz vyžaduje prácu s takýmito prístrojmi a „chemikáliami“ v súlade s BGV D 15 a bezpečnostnými predpismi pre čerpadlá a čerpacie agregáty na kvapaliny podľa DIN 24 295.“ Nariadenie č. 03-00-008 CPL sa týka bezpečnostných opatrení proti vznieteniu prachu. Poskytuje usmernenia pre postupy na

pracovníku v priemyselných odvetviach/prevádzkach, ktoré vytvárajú alebo manipulujú s horľavým prachom, pretože v niektorých situáciách môže dôjsť k vznieteniu a tým k výbuchu. Nariadenie č. 124/2000 Z. z. ustanovuje zásady požiarnej bezpečnosti pri prevádzkach s horľavými alebo horľavými plynmi. Horľavý plyn definuje ako plyn alebo zmes, ktorá spĺňa tieto podmienky: - má tlak pár väčší ako 300 kPa pri 50 °C alebo je úplne plynný pri atmosférickom tlaku 101 kPa pri 20 °C - je možné určiť vznietenie bod alebo vytvára so vzduchom výbušnú zmes. V roku 2003 sa členovia EÚ zjednotili a vydali jednotnú smernicu pre všetky štáty EÚ. Účelom bolo eliminovať potrebu výrobcov žiadať o mnoho rôznych štátnych špecifických certifikátov pre ten istý výrobok pri preprave svojich zariadení cez každý štát EÚ. Smernica je známa ako ATEX.



Obr. 3 Nehody spôsobené necertifikovanou praxou sú veľké

ZARIADENIA A OCHRANNÉ SYSTÉMY DO POTENCIÁLNE VÝBUŠNEJ ATMOSFÉRY – ATEX

Potenciálne výbušnú atmosféru tvoria vzduchové zmesi plynov, pár, hmly alebo prachu, ktoré sa môžu za určitých prevádzkových podmienok vznietiť. Zariadenia a ochranné systémy určené na použitie v potenciálne výbušných atmosférach pokrývajú pomerne širokú škálu produktov vrátane zariadení používaných na pevných plošinách na mori, v petrochemických

závodoch, baniach, mlynoch a iných oblastiach, kde môže byť prítomná potenciálne výbušná atmosféra. Zariadenia a ochranné systémy určené na použitie v potenciálne výbušných prostrediach (ATEX z francúzskeho názvu ATmosphères EXplosives) Smernica 94/9/EC poskytuje technické požiadavky, ktoré sa majú uplatňovať, a príslušné postupy posudzovania zhody pred uvedením tohto zariadenia na európsky trh. Tieto požiadavky sú daným technickým vyjadrením v „Harmonizovaných normách“, ktoré vypracovali európske organizácie pre normalizáciu: CEN (pre neelektrické zariadenia) a CENELEC (pre elektrické zariadenia) – vypracúvajú normy, na ktoré sú odkazy prezentované a publikované Európskou komisiou v Úradný vestník Európskej únie (Ú. v. EÚ).

Smernica sa v Európe implementuje tak, že každý vnútroštátny orgán transponuje jej ustanovenia do svojich právnych predpisov a sú to práve tieto texty, ktoré majú v prvom rade priamy účinok. V dôsledku toho sú členské štáty a iné subjekty, ktoré uplatňujú jej požiadavky, priamo zodpovedné za implementáciu a presadzovanie, ako aj napríklad za riadenie notifikovaných osôb. Keďže na výrobcov sa priamo vzťahujú tieto vnútroštátne ustanovenia, výrobcom sa vždy odporúča ako prvý krok prediskutovať akékoľvek problémy, ktoré môžu mať v súvislosti so smernicou, s príslušnými vnútroštátnymi kontaktnými miestami.

Súbežne so smernicou ATEX 94/9/ES sa smernica 1999/92/ES zaoberá minimálnymi požiadavkami na zlepšenie bezpečnosti a ochrany zdravia pracovníkov potenciálne ohrozených výbušným prostredím, za ktoré zodpovedá Generálne riaditeľstvo pre zamestnanosť, sociálne veci a rovnosť príležitostí. Toto stanovuje povinnosti zamestnávateľov a nie výrobcov. Na jej implementáciu pozri Nezáväznú príručku osvedčených postupov na implementáciu smernice Európskeho parlamentu a Rady 1999/92/ES o minimálnych požiadavkách na zlepšenie bezpečnosti a ochrany zdravia pracovníkov potenciálne ohrozených výbušným prostredím.

ATEX, ako je uvedené vyššie, je rozdelený do dvoch noriem: 1999/92/ES, tiež známy ako ATEX 137, A 94/9/ES, tiež známy ako ATEX 95. Prvá norma sa zaoberá bezpečnosťou pracovníkov a druhá sa zaoberá bezpečnou prepravou zariadení. Od 1. júla 2004 sú tieto normy uplatňované vo všetkých členských štátoch Európskej únie. Výbušnú atmosféru možno definovať ako zmes nebezpečných látok vo forme plynov, pár, hmly alebo prachu so vzduchom za atmosférických podmienok [1]. Na začiatok je dôležité definovať niekoľko pojmov:

- Minimálna energia vznietenia (MI) sa určuje podľa definovaných testovacích podmienok. Je to energia elektrickej iskry, ktorá zapáli horľavú zmes do výbušnej atmosféry.

- Minimálna teplota vznietenia (MIT) sa určuje v peci. Horľavá zmes sa vypúšťa cez pec pri rôznych teplotách. Najnižšia teplota, pri ktorej zmes horí, sa považuje za MIT

Nebezpečná výbušná atmosféra je výbušná atmosféra v takom množstve, že sú potrebné osobné ochranné opatrenia na zachovanie ochrany, bezpečnosti a zdravia pracovníkov alebo iného personálu. Výbušná plynná atmosféra je zmes horľavých látok vo forme plynu, pár alebo hmly so vzduchom za atmosférických podmienok, v ktorej sa po zapálení rozšíri horenie do celého objemu zmesi. Výbušná prachová atmosféra je zmes horľavých látok vo forme prachu alebo vlákien so vzduchom za atmosférických podmienok, pri ktorej sa po zapálení rozšíri horenie do nespotrebovanej zmesi.

Smernica ATEX 137

Túžba predchádzať výbuchom a explozívnomu horeniu na pracoviskách a znižovať ich následky viedli Európsku radu a parlament k schváleniu smernice 1999/92/ES. Táto smernica sa zaoberá minimálnymi požiadavkami na ochranu zdravia a bezpečnosť pracovníkov, ktorí sú ohrození nebezpečnými, potenciálne výbušnými médiami. Táto smernica sa týka všetkých firiem, u ktorých môže manipulácia s horľavými látkami viesť k vytvoreniu nebezpečnej výbušnej atmosféry a tým k nebezpečenstvu výbuchu. Platí pre prácu v atmosférických podmienkach a zahŕňa úpravu, výrobu, spracovanie, skladovanie, zneškodňovanie, prípravu, ako aj vnútornú dopravu horľavých látok, či už potrubím alebo iným spôsobom. Smernica ATEX 137 sa nevzťahuje na:

- Manipuláciu, výrobu, používanie, skladovanie a prepravu chemicky nestabilných látok a výbušnín.
- Priestory používané na lekárske účely, kde sa liečia pacienti.
- Používanie dopravných prostriedkov na leteckú, námornú alebo pozemnú dopravu okrem tých, ktoré sú určené na prevádzku v priestoroch s nebezpečenstvom výbuchu.

Zamestnávateľia sú podľa platnej legislatívy povinní vypracovať písomnú dokumentáciu s názvom:

- Dokument o bezpečnosti pred výbuchmi
- Analýza rizík, ktorá by mala zahŕňať možnosť vzniku výbušnej atmosféry, ako aj dobu jej trvania.

- Opatrenia zabezpečujúce bezpečnosť, kontrolu, monitorovanie a vyhodnocovanie výbušnej atmosféry.
- Klasifikácia priestorov a označenie ciest núdzových východov, prípadne vstupov do priestorov s nebezpečenstvom výbuchu, výstražnými značkami (takéto označenia sú na obr. 4)



Obr. 4 Piktogram označujúci výbušnú zónu

Hodnotenie výskytu výbuchu je zamerané najmä na pravdepodobnosť vytvorenia výbušnej atmosféry. Pri hodnotení tohto prostredia je potrebné brať do úvahy každú úlohu alebo výrobný proces a každý prevádzkový stav a akúkoľvek zmenu technológie. Hodnotenie musí zahŕňať fázu uvádzania do prevádzky, ako aj fázu vyradovania, ďalšie stavy pred zneužitím, ktoré by mohlo nastať. Rôzne úvahy o účinku sú v procese hodnotenia sekundárne. Prvoradá význam pri výbuchu je vždy obava z veľkých škôd, od obrovských materiálnych strát až po zranenie a smrť personálu.

Klasifikácia oblastí do zón

Priestory, v ktorých sa môže výbušná atmosféra vyskytovať, sú rozdelené do zón a kategorizované podľa druhu látky, ktorá sa v danom priestore nachádza, a podľa frekvencie jej výskytu.

- Zóny, v ktorých je výskyt plynov alebo pár klasifikovaný ako zóna 0, sú tie, v ktorých je riziko výbušnej atmosféry trvalé alebo prítomné po dlhú dobu.
- Oblasti, kde je za normálnych prevádzkových podmienok výskyt výbušnej atmosféry pravdepodobný, ale nenastal a stav trvá len krátky čas, sú klasifikované ako zóna 1.

Klasifikácia horľavého prachu zahŕňa okrem iného: • Kovový prach, ako je hliník, horčík atď.

- Drevený prach
- Uhoľný prach
- Plastový prach
- Iný organický prach, ako je múka, cukor, mydlo, papier.
- Trochu textilného prachu

Výskyt výbušnej atmosféry je pravdepodobný Smernica ATEX 95

• Poslednou zónou je zóna 2 a označuje miesta, kde je za normálnych prevádzkových podmienok nepravdepodobný výskyt výbušnej atmosféry a ak áno, tak len na krátky čas.

Riziko výbušnej prachovej atmosféry s výskytom prachových častíc sú špecifikované zóny 20, 21 a 22 (viď tab. 1) [3].

Tab.1. Klasifikácia zón

Charakteristický	Plyn a výpary	Prach
Výbušná atmosféra je prítomná trvalo alebo a dlhé časové obdobie	Zóna 0	Zóna 20
Výskyt výbušnej atmosféry je pravdepodobný	Zóna 1	Zóna 21
Výskyt výbušnej atmosféry je nepravdepodobný	Zóna 2	Zóna 22

Klasifikácia horľavého prachu zahŕňa okrem iného:

- Kovový prach, ako je hliník, horčík atď.
- Drevený prach
- Uhoľný prach
- Plastový prach
- Iný organický prach, ako je múka, cukor, mydlo, papier.
- Trochu textilného prachu

Smernica ATEX 95

Cieľom tejto smernice je zabezpečiť voľný pohyb výrobkov na území EÚ. „Harmonizované požiadavky na neelektrické prístroje, prístroje určené na použitie v prostrediach s nebezpečenstvom výbuchu prachu a bezpečnostné systémy boli prvýkrát stanovené smernicou ATEX 95. Patria sem aj bezpečnostné zariadenia určené na použitie mimo nebezpečného

prostredia, ktoré prispievajú k bezpečnej prevádzke zariadení alebo bezpečnostných systémov z hľadiska nebezpečenstva výbuchu“. Táto smernica je rozšírením predchádzajúcej legislatívy pre systémy a zariadenia, ktoré sú určené na použitie v potenciálne výbušnom prostredí. Zariadenie s vodným lúčom musí vyhovovať smernici ATEX vo výbušnom prostredí.

Výrobca vyrábajúci produkty podliehajúce smernici ATEX 95 je zodpovedný za:

- Dizajn a konštrukcia produktu. Musí podliehať bezpečnosti a ochrane zdravia požiadavky stanovené v smernici, ktoré sa majú potvrdiť analýzou.
- Súlad s postupom pri potvrdzovaní týchto požiadaviek.
- Podpísané vyhlásenie o tom, že požiadavky boli splnené.
- Poskytnite používateľovi značky a príručky, ktoré označujú bezpečné prevádzkové postupy.

V smernici sú zariadenia rozdelené do dvoch skupín:

• Skupina I – zahŕňa zariadenia používané pod zemou (v baniach) s časťami umiestnenými nad zemou, ktoré sú v oblasti ohrozenej horľavým prachom alebo plynom. Kategórie zariadení tejto skupiny závisia od toho, či je zariadenie vypnuté v prítomnosti výbušnej atmosféry.

o Kategória M1 – zariadenia tejto kategórie zostávajú aktívne aj počas prítomnosti výbušnej atmosféry.

o Kategória M2 – zariadenia tejto kategórie sú vypnuté počas prítomnosti výbušnej atmosféry.

• Skupina II – zahŕňa všetky ostatné zariadenia nachádzajúce sa v potenciálne výbušných atmosférach. Kategórie zariadení tejto skupiny závisia od miesta, kde by sa malo zariadenie používať, a od trvania potenciálne výbušnej atmosféry.

o kategória 1 – zahŕňa všetky zariadenia určené na zabezpečenie vysokého stupňa bezpečnosti, v prostredí, kde je výbuch vysoko pravdepodobný.

o kategória 2 – zahŕňa všetky zariadenia určené na zabezpečenie vysokej úrovne bezpečnosti, v prostredí, kde je pravdepodobný výbuch.

o Kategória 3 – zahŕňa všetky konštrukcie zariadení na zabezpečenie normálnej úrovne bezpečnosti, v prostredí, kde je výbuch nepravdepodobný.

Smernica ATEX 95 sa nevzťahuje na:

- Zariadenia, kde je nebezpečenstvo výbuchu možnou reakciou na prítomnosť výbušniny.
- Zdravotnícke zariadenia používané v medicínskom prostredí
- Domáce zariadenia, kde je minimálna možnosť výbuchu.
- Námorné lode, letecká, cestná a železničná doprava.

TECHNICKÉ PODMIENKY PRE BEZPEČNOSŤ PREVÁDZKY (TRBS) TRBS 2153

Podmienky TRBS pre bezpečnosť prevádzky sú škodlivé pre bezpečnosť práce a súvisia s pravidlami pre hygienické a iné vedecké postupy týkajúce sa poskytovania a prevádzky pracovných prostriedkov a kontroly tohto zariadenia. Poradný výbor pre bezpečnosť (ABS) a Federálne ministerstvo práce a sociálnych vecí sa dohodli na spoločných ministerských rokovaníach. Technické pravidlá definujú vyhlásenie o podnikovej priemyselnej bezpečnosti pri stanovovaní hodnotenia rizík a odôvodnení vhodných opatrení. Zamestnávateľ môže týmito opatreniami vykonávať také činnosti, ak sú v súlade s ustanoveniami vyhlášky o bezpečnosti práce. Ak sa zamestnávateľ rozhodne pre iné riešenie, musí tak zvoliť v súlade s rovnocenne písomným predpisom. Technická komisia má právo na zmeny za predpokladu, že sa poradí s TRBS 2153. Na základe smerníc pre stroje generujúce vysokotlakový prúd kvapaliny. Odborový zväz vyžaduje, aby práca s takýmito prístrojmi a „chemikáliami“ bola v súlade s BGV D 15 a bezpečnostnými predpismi pre čerpadlá a čerpacie agregáty na kvapaliny podľa DIN 24 295. Pri čistení v nebezpečnom prostredí teda musia byť splnené nasledujúce špecifikácie:

ČISTENIE NÁDRŽÍ A NÁDOB

Čistenie uzavretých nádob je veľmi zložitý technický problém. Do tejto kategórie patria železničné a automobilové vodné nádrže, podzemné skladovacie nádrže, reaktory, kontajnerové systémy, autoklávy atď. Preto sa ich liečbe venuje:

a) na rozdiel od plnenia vodou – preplachovanie, sú známe rôzne spôsoby čistenia týchto nádrží prúdom kvapaliny alebo parou (kondenzátom). Pri všetkých použiteľných postupoch sa neberie do úvahy ich hodnotenie.

b) Pri čistení nádob, najmä pri tryskaní, môže vzniknúť vysoký elektrostatický náboj.

Upozornenie – výslednú veľkosť tejto náplne ovplyvňujú: - vlastnosti a typ prúdu, napr. voda, - iné prísady v prúde, napr. rozpúšťadlá, - fáza – ich stav v prúde – v tryskacom médiu, ako je para, - Fáza – stav špinavého prúdu, prísady v prúde – abrazíva, - Prietok – množstvo generovaného prúdu tekutiny, - Tvar a počet prúdov, - Pracovný tlak, - Veľkosť a geometria nádoby, - Vlastnosti tekutiny v nádrži – t.j. množstvo zvyšku, jeho hladina a stav,

c) ľahko horľavé alebo výbušné zmesi, ako sú zmesi sírovodíka so vzduchom, vyžadujú dodatočné opatrenia. (d) Náraz – čistiaci prúd pri kontakte so stenou vedie k tvorbe hmly alebo kvapiek, ktoré typicky ionizujú prostredie a vytvárajú elektrický náboj v nádrži. Výskyt

turbulencie distribuuje nabitú hmlu do celej nádoby a vytvára tak oblasť s vysokou hustotou náboja a intenzitou poľa.

UPOZORNENIE: Elektrický potenciál generovaný hmlou má maximálnu hodnotu v strede nádrže a závisí od typu kvapalného média použitého pri čistení, ako je voda alebo olej, prípadne iné pomocné látky, a tiež závisí od parametrov čistiaceho prúdu, tj tlak kvapaliny, prietokové množstvo a priemer prúdu.

POZOR: Okrem vyššie uvedeného môže použitý prúd vody vytvoriť izolovaný vodič. Padajúce zhluky vody môžu potenciálne ionizovať v strede nádoby. Výboj môže nastať, keď sa zhluky vody dostanú do kontaktu s uzemnenými kovovými predmetmi.

d.1 Čistenie prúdom vody do 12 barov.

a) K nebezpečne ionizácii stredu kontajnerov nedochádza, ak je tlak vodného prúdu nižší ako 12 barov v kontajneroch s objemom 100 m³.

b) V situáciách, keď je objem kontajnerov väčší ako 100 m³ ($V > 100 \text{ m}^3$), v hodnotení rizika sa uvádza, že je potrebné vykonať ďalšie opatrenia proti potenciálne výbušnej atmosfére.

d.2 Čistenie prúdom vody nad 12 barov.

Pri čistení nádrží nasýtených uhlíkovými vysokotlakovým prúdom vody sa neočakáva žiadny nebezpečný elektrický náboj za predpokladu, že pracovný tlak je nižší ako 500 barov, prietok je menší ako 300 l/min ($Q < 300 \text{ l/min}$) a priemer kontajner nepresahuje 3 metre.

d.3 Vyplachovanie nádrží a nádob – preplachovanie vodou. Oplachovanie vodou je vhodné v potenciálne výbušnom prostredí, pretože nízky pracovný tlak potrebný na opláchnutie nádob nevytvára žiadne významné množstvo hmly alebo kvapiek, ktoré by mohli vyvolať ionizáciu pracovnej oblasti.

Preprava a skladovanie ropy, plynu, nafty, uhlíkov, vykurovacieho oleja, kvapalných priemyselných plynov, kyselín a rôznych iných nebezpečných látok si vyžaduje kvalitné vybavenie a zariadenia. Vnútorne čistenie týchto látok je veľmi náročné, keďže takéto prostredie je kontaminované vysoko prchavými látkami. Takéto oblasti majú tiež veľmi obmedzený pracovný prístup, čo si vyžaduje, aby pracovný personál používal dýchacie prístroje na diaľku a antistatický odev spomaľujúci horenie pri nosení núdzového záchranného systému (postroj a lano). Takéto nádoby je však potrebné pred a po použití dôkladne vyčistiť. Čistenie takýchto

systemov využíva vodu, ale nie vždy je schopná rozpustiť zvyšky. Preto sa do vodného média pridávajú obmedzené koncentrácie rozpúšťadiel, aby sa uľahčil proces čistenia. Vodný prúd pohybujúci sa vysokou rýchlosťou účinne odstraňuje nečistoty a nečistoty. V závislosti od množstva nečistôt a zvyškov sa môže zodpovedajúcim spôsobom meniť pracovný tlak. Podľa typu a veľkosti nádoby je potrebné zvoliť vhodné čistiace zariadenie. Väčšina zariadení bežne využíva rotačnú guľovú hlavu TWK (z nemeckého výrazu Tank Wasch Köpf).

„Sféricky rotujúca hlava funguje prostredníctvom excentrického rotora s dvoma dýzami. Táto hlavica sa otáča v dôsledku reaktívnej sily spôsobenej vysokou výstupnou rýchlosťou vody z trysiek. Preto je funkcia otáčania hlavy v dvoch rovinách automatická a čistenie sleduje obrys vnútorného povrchu nádoby.“

Výhody použitia čistiacej hlavy TWK možno charakterizovať ich ekonomickými výhodami:

- produktivita čistenia je vysoká so zníženými prestojmi stroja, čo vedie k vyššej produktivite závodu,
- proces môže byť čiastočne alebo plne automatizovaný, čím sa skraca čas fyzickej prítomnosti vyžadovaný obslužným personálom,
- povrch stroja je úplne zbavený nečistôt, čím sa zvyšuje kvalita výroby,
- proces čistenia je ekologický, pretože hlava TWK zabraňuje úniku kontaminovaného materiálu.
- TWK je bezchemický roztok na čistenie povrchov, preto je regenerácia odpadu jednoduchá a straty nízke.
- rozmanitosť rotorov a adaptérov umožňuje čistenie mnohých typov a veľkostí nádob.
- na základe prevádzky možno TWK použiť s jedným alebo dvoma rotormi, čím sa zvýši výkon a znížia sa prestoje zariadenia,
- hlava TWK je vyrobená z materiálov odolných voči korózii, ktoré je možné použiť aj v agresívnom prostredí, Automatizácia čistiaceho cyklu pomocou riadiacich programov a programovateľných počítačov,
- pre systémy TWK sú k dispozícii ochranné klietky, ktoré ich chránia pred poškodením,
- dlhá životnosť a jednoduchá regulácia bŕzd umožňuje optimálne otáčanie čistiacej hlavy,
- rýchle zníženie investícií do čistenia vďaka zvýšeniu produktivity a kvality finálneho produktu.

Na vytvorenie vysokého tlaku sú k dispozícii nasledujúce koncepcie zariadení:

- a.) stroj s tromi piestovými čerpadlami – hydrogenerátor,
- b.) stroj s hydraulickým multiplikátorom.

Zariadenie WJM generuje vysoký tlak v pracovnom médiu (voda atď...), ktorý prúdi cez malý priemer dýzy, čím sa médium zrýchľuje na veľmi vysoké rýchlosti (až trojnásobok rýchlosti zvuku). Veľkosť pracovného tlaku pre konfiguráciu piestového čerpadla (pozri obr. 4) je v súčasnosti svetovým štandardom 320 MPa, teda 3200 barov. Konfigurácia hydraulického multiplikátora je schopná generovať pôsobivé tlaky až 620 MPa, teda 6200 barov. Pri práci v potenciálne výbušnom prostredí sa používa tzv. EX verzia, ktorá je schválená príslušnými certifikačnými autoritami [2].



Obr. 5 Konfigurácia vysokotlakového zariadenia spoločnosti URACA s piestovými čerpadlami.



Ob. 6 Čistenie vo výbušnom prostredí „nádobá“ so zvyškami na báze oleja.

ZÁVER

Zariadenia pre WJM, či už na rezanie čistým vodným lúčom (alebo abrazívnym vodným lúčom) alebo na čistenie, sú vysoko efektívnou, ekologickou a ekonomicky konkurencieschopnou technológiou s postupmi, ktoré chránia nielen životné prostredie, ale aj personál, ktorý musí pracovať v nebezpečných priestoroch.

POĎAKOVANIE

Publikované výsledky vznikli s podporou projektu **KEGA 030STU-4/2022 s názvom RORESA** - Aplikácia rozšírenej reality vo vzdelávacom procese obrábacích strojov a výrobných systémov, podporeného ministerstvom školstva, vedy, výskumu a športu SR a Ministerstvom školstva, vedy, výskumu a športu SR na základe zmluvy - Univerzitná a priemyselná výskumná a vzdelávacia platforma recyklačnej spoločnosti (**UNIVNET**).

LITERATÚRA

- [1] KRAJNÝ, Z.: Vodný lúč v praxi - WJM. EPOS Bratislava 1998, 384 s.
- [2] KRAJNÝ, Z.: Vysokotlakový vodný lúč - WJM. STU Bratislava, 2011, 172 s.
- [3] KRAJNÝ, Z.: Využitie technológie vodného lúča na obrábanie materiálov v hazardnom prostredí. In. **TECHNIKA**. Ročník X. č. 5/2012. p. 16-18
- [4] KRAJNÝ, Z.: Nekonvenčné metódy obrábania materiálov. STU Bratislava, 2022, 522 s

INOVÁCIE V TECHNICKÝCH SYSTÉMOCH

Kuznietsov Yurii¹³, Shevchenko Oleksandr, Urchyshyn Oksana

Abstrakt

V súlade s modernými svetovými trendmi v oblasti vysokoškolského vzdelávania získava technická tvorivosť a tvorivý prístup čoraz väčší význam ako systémový faktor efektívneho vzdelávacieho procesu. Zabezpečenie správnej úrovne štúdia moderných metód hľadania nových technických riešení pre vytváranie nových technologických objektov na niektorých miestach si vyžaduje zásadné zmeny vo vzdelávacom procese domácich inštitúcií vyššieho technického vzdelávania. Takéto prístupy sú zároveň užitočné tak pre dosiahnutie praktickej orientácie inžinierskeho vzdelávania, ako aj pre zabezpečenie optimálnych podmienok pre výskumnú činnosť študentov rôznych úrovní.

Kľúčové slová: technická kreativita, technický systém, učenie, heuristika, kreatológia.

Úvod

Aplikácia kreatívneho systému pri vzdelávaní inžinierov si vyžaduje revíziu učebných osnov a programov, zavedenie nových disciplín súvisiacich so zvládnutím progresívnych metód vyhľadávania a vytvárania nových technických systémov (TS), ako aj metód rozhodovania, najmä v podmienkach neúplných vstupných informácií s poskytnutím maximálnej úrovne automatizácie tohto procesu. Napriek rôznorodosti objektov a metód vzdelávacích disciplín technického smeru existuje interdisciplinárny charakter pri formulovaní ich úloh, uplatňovaní metód a princípov analýzy a syntézy. To viedlo k potrebe zovšeobecniť takéto poznatky vo forme

¹³ Kuznietsov Yurii, DrSc., Prof., Shevchenko Oleksandr DrSc., Prof., Urchyshyn Oksana PhD, Assoc. Prof., Igor Sikorsky Kyjevský polytechnický inštitút, Kyjev, Ukrajina

vedy teórie TS, ktorá do značnej miery určuje metodológiu stavebných inžinierskych vied a slúži ako základ pre riešenie mnohých praktických problémov. Táto metodológia je na rozdiel od reprodukčného systému orientovaná na tvorivý systém prenosu a akumulácie vedomostí.

Metódy

Autori vydali učebnicu [10], ktorej cieľom je vytvoriť nástroj na úspešné formovanie kľúčových kompetencií študentov vysokých škôl v súlade s modernými požiadavkami v oblasti strojárstva. Navrhovaný materiál obsahuje systematický výklad hlavných pojmov a ustanovení teórie technických systémov. Odhaľuje podstatu systémového prístupu, dáva klasifikáciu TS, načrtáva základné princípy analýzy, syntézy, matematického modelovania a riadenia TS.

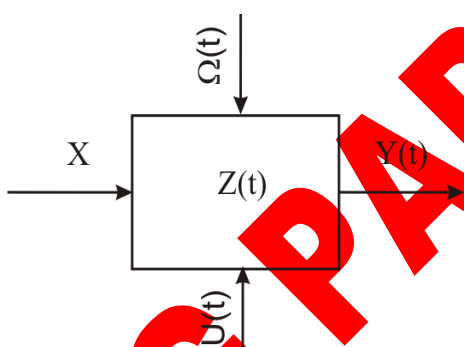
Osobitná pozornosť sa venuje otázkam vytvárania nových, pokročilejších TS, predpovedania ich vývoja a genetickej predikcie. Materiály súvisiace s genetickým prístupom pri tvorbe a predikcii charakteristík TS sú v materiáli prvýkrát prezentované ako autorský vývoj, ktorý prešiel množstvom testov vo vedeckých podujatiach a publikáciách. Hlavným objektom uvažovaným v materiáloch sú TS a ich prvky. Predmetom štúdia je súbor rozporov, ktoré sú vlastné rôznym štruktúram TS a vytvárajú problematickú situáciu, ktorej riešenie je možné prostredníctvom syntézy nového systému. Účelom štúdia materiálov je zvládnuť metodiku systémovej analýzy, syntézy, riadenia a návrhu TS.

Výsledky a diskusia

Vytvorenie nových technických prostriedkov spolu so zvýšením požiadaviek na ne na jednej strane a novými metódami riešenia problémov (napríklad pomocou výpočtovej techniky) na druhej strane si vyžaduje rozvoj metodologickej vedy "Teória technických systémov" (Hubka). Odvtedy teória TS našla uznanie ako základ a zdroj informácií pre niekoľko príbuzných oblastí poznania. Napríklad teória konštrukcie je čiastočne založená na teórii TS. Z hľadiska moderných myšlienok bola systematickosť vždy jednou z metód vedy - každý vedec v minulosti nevedome pracoval so systémami a modelmi.

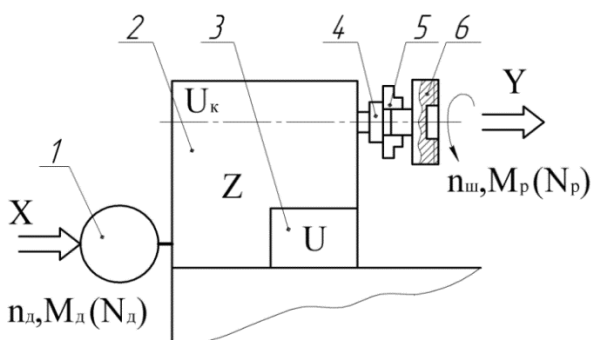
Všeobecná teória systémov bola formulovaná ako nezávislá veda v druhej polovici 20. storočia, ktorej zakladateľom je rakúsky fyziológ Ludwig von Bertalanffy, ktorý sa v rokoch 1920 a 1930 zaoberal otázkami systémového prístupu k štúdiu živých organizmov a rozvíjal názor na potrebu holistického prístupu v biológii a fyziológii. V rokoch 1962-1968 L. von Bertalanffy zahŕňa mnoho vied do všeobecnej teórie systémov: kybernetika, teória informácie, teória rozhodovania, topológia, faktorová analýza, teória množín, teória sietí, teória automatov, teória hromadných služieb, teória grafov. Dnes sa systém chápe ako súbor prvkov, ktoré sú vo vzájomných vzťahoch a spojeniach. Takáto koncepcia pokrýva mnoho sfér ľudského života: stvorenie sveta, vedu,

náboženstvo a ďalšie. Z tejto populácie sa rozlišuje TS. Systémy sa vyznačujú množstvom funkcií. Jeden z prvých variantov takýchto znakov formuloval Robert McColl. Pre TS sú hlavnými vlastnosťami [5]: 1. Pôvod systému. 2. Hierarchia štruktúry. 3. Systém má integritu. Všetky jeho časti slúžia na dosiahnutie jediného cieľa, a to výroby určitých produktov pomocou optimalizovaných výstupov s danými vstupnými vplyvmi. 4. Spojenia medzi prvkami. 5. Dostupnosť integrovaných kvalít. 6. Systém je poloautomatický. V budúcnosti schematicky znázorníme systém vo forme štvoruholníka, kruhu alebo ich kombinácie (obr. 1). Je obvyklé rozdeliť všetky spojenia systému s prostredím na vstupné premenné X , ktoré riadia vplyvy $U(t)$, rušivé vplyvy $\Omega(t)$ a výstupné premenné $Y(t)$. Okrem toho je samotný systém charakterizovaný súborom stavových parametrov $Z(t)$.



Obr. 1 Grafický obrázok TS

Úloha syntézy racionálnej TS sa rieši vo fáze jej vzniku. Pochopenie týchto problémov zväžime na jednoduchom príklade hlavného pohybového pohonu sústruhu, ktorý zahŕňa: motor 1, prevodovka 2 s ich riadiacim systémom 3, zostava vretena 4 s obrobkom 6 prírubového typu upnutého v skľučovadle 5 (obrázok 2).

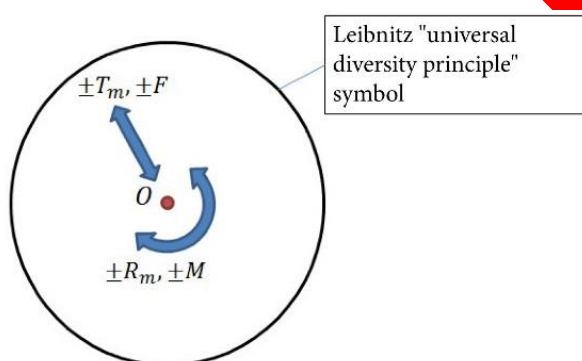


Obr. 2 Pohon hlavného pohybu sústruhu s rôznymi riadiacimi systémami

Nový pohľad na materiálny bod

V rozširujúcej sa rozmanitosti objektov a systémov vytvorených prírodou a človekom sa pozorujú všeobecné princípy ich štruktúrálnej organizácie, ktoré sa prejavujú vo forme intersystémových analógií alebo skrytých intrasystémových homológií. Takéto vlastnosti sa vyskytujú tak v

prírodných (biologických, chemických, elektromagnetických atď.) systémoch, ako aj v systémoch prírodného antropogénneho pôvodu (numerické, jazykové, technické atď.) Vďaka princípom samoorganizácie a genetickému princípu "od jednoduchého ku komplexnému" sa navrhuje nový pohľad na materiálny bod ako nosič genetickej informácie pri vytváraní TS typu "objekt" a "proces" [4,8]. Po prvýkrát bol materiálny bod v silových tokoch upínacích mechanizmov oznámený autorom v správe s ich alfanumerickým kódovaním. Tento materiálny bod na genetickej úrovni sa podmienene nazýva mechanický gén a nesie informácie o translačných a rotačných pohyboch, zaťaženiach a ich smeroch (obr. 3) [7,8]. Materiálový bod môže byť nehybný, napríklad informácie o statickom TS (konštrukcie, nosné systémy technologických zariadení).

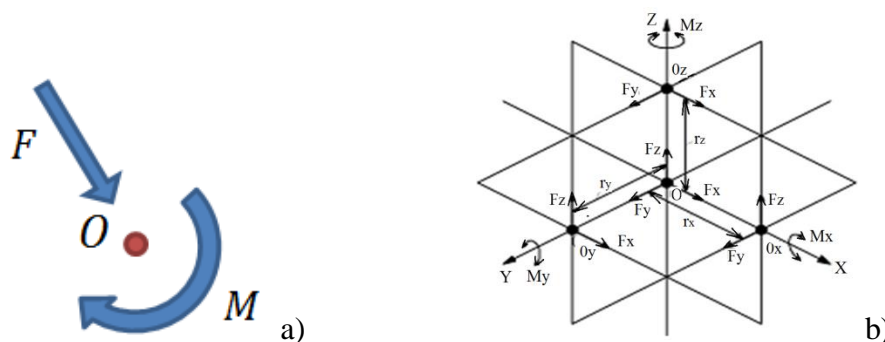


Obr. 3 Materiálny bod (O) - mechanický gén, ktorý nesie informácie o posunoch a zaťaženiach translačných ($\pm T_m, \pm F$) a rotačných ($\pm R_m, \pm M$) udávajúcich smer

Pomocou génu sa dedičné informácie prenášajú v mnohých generáciách (zákony mechaniky, teoretickej mechaniky, teória strojov a mechanizmov, pevnosť materiálov, častí strojov atď.). Analogicky s elektromagnetickým poľom [9] môžeme v mechanike hovoriť o silovom poli, ktoré môže slúžiť ako počiatočná štruktúra obsahujúca usporiadaný súbor mechanických génov s danou priestorovou postupnosťou ich umiestnenia (rozloženia) v rámci hraníc geometrizovaného topologického priestoru (povrchu). Hodnota, ktorá je kvantitatívnou mierou mechanických systémov tuhých látok na genetickej úrovni vo forme materiálneho bodu O (obr. 4) v euklidovskom priestore, je sila F.

Táto sila F môže byť mentálne aplikovaná priamo na materiálny bod, čo spôsobuje jeho translačný pohyb v priestore pozdĺž súradníc X, Y, Z (F_x, F_y, F_z) alebo v určitom polomere vzdialenosti (r_x, r_y, r_z), čo indikuje rotáciu materiálneho bodu okolo súradnicových osí X, Y, Z pôsobením momentov M:

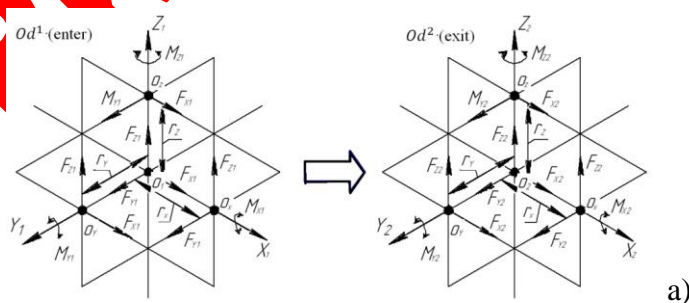
$$\begin{aligned} M_x &= F_y \cdot r_z = F_z \cdot r_y \\ M_y &= F_x \cdot r_z = F_z \cdot r_x \\ M_z &= F_x \cdot r_y = F_y \cdot r_x \end{aligned}$$



Obr.. 4 Mechanický gén - pohyblivý materiálny bod (a) v karteziánskej súradnicovej sústave XYZ (b)

Použitím geneticko-morfologického prístupu [8] môže byť prenos posunu, sily a energie v priestore reprezentovaný ako tok sily (energie) z jedného materiálového bodu O1 na vstupe do súradnicového systému X1 Y1 Z1 do iného materiálového bodu O2 v systéme súradníc X 2 Y2 Z2 (obr. 5), čo dáva 144 variantov prúdov (rodičovských chromozómov).

Systematický genetický a morfologický prístup umožňuje úspešne kombinovať štrukturálne štúdie v rôznych oblastiach vedy a techniky vďaka svojej interdisciplinárnej povahe s využitím príslušných filozofických kategórií, ustanovení všeobecnej teórie systémov. Podľa stupňa funkčnej a štrukturálnej organizácie sú TS statické (stavebné konštrukcie, nosné systémy technologických zariadení a pod.) a dynamické (obrábacie stroje, stroje, ich mechanizmy a pohony), ktoré sa vyznačujú kontinuálnymi a diskretnými procesmi transformácie a metabolizmu (hmoty), energie a informácií [8]. V poslednej dobe dochádza k prieniku evolučných genetických myšlienok do technických a humanitných disciplín (genetická elektromechanika, dedičná mechanika, technologická dedičnosť, genetická psychológia, genetická lingvistika, genetická história, evolučná kybernetika, genetická štandardizácia atď.) [5-7].



$$M_{EN} = \begin{pmatrix} \pm F_{X1} \\ \pm F_{Y1} \\ \pm F_{Z1} \\ \pm M_{X1} \\ \pm M_{Y1} \\ \pm M_{Z1} \end{pmatrix} \rightarrow M_{EX} = \begin{pmatrix} \pm F_{X2} \\ \pm F_{Y2} \\ \pm F_{Z2} \\ \pm M_{X2} \\ \pm M_{Y2} \\ \pm M_{Z2} \end{pmatrix}$$

Obr.. 5 Zovšeobecnený model tokov výkonu (energie) v mechanickom systéme (a) a zodpovedajúca morfologická modelová matica (b)

Príklady použitia nového vzhl'adu v materiálnom bode

Evolučná a genetická syntéza skľučovadiel

V súlade so zovšeobecneným modelom (obr. 6) sú všetky výkonové (energetické) toky v upínacích skľučovadlách opísané nižšie morfologickou maticou s jedným vstupom a výstupom, čo dáva 48 rodičovských chromozómov [8]. Matica je prezentovaná vo valcovom súradnicovom systéme, kde sa zavádzajú tieto označenia:

$$F_{x1} = F_{a1}; F_{y1} = F_{r1}; F_{z1} = F_{t1}; M_{x1} = M_{a1}; M_{y1} = M_{r1}; M_{z1} = M_{t1}; F_{x2} = F_{a2}; F_{y2} = F_{z2} = F_{r2}.$$

$$M'_{EN} = \begin{pmatrix} \pm F_{a1} \\ \pm F_{r1} \\ \pm F_{t1} \\ \pm M_{a1} \\ \pm M_{r1} \\ \pm M_{t1} \end{pmatrix} \rightarrow M'_{EX} = \begin{pmatrix} \pm F_{a2} \\ \pm F_{r2} \end{pmatrix}$$

Najčastejšie používaný rodičovský chromozóm Fa1-Fr2 a pre 2/3 rodičovských chromozómov ich použitie ešte nie je známe. Na úrovni objektovej genetickej informácie pre upínacie skľučovadlá môžu byť na výstupe rôzne uzávery výkonových tokov vo forme elementárnych výkonových obvodov. Ako sa štruktúra stáva zložitejšou zavedením rôznych prevodníkov, objavujú sa populácie upínacích skľučovadiel a medzi známymi jednoduchými mechanickými prevodníkmi sa používa sedem [8]: páka, klin, špirála, piest, skrutka, ozubené koleso, pružina.

Štruktúry ľubovoľného toku energie (rodičovské chromozómy), ktoré hrajú úlohu generatívnych prvkov, sa v procese genetického vývoja stávajú zložitejšími a vytvárajú kombinatorické skupiny chromozómov potomkov n-tej generácie pomocou piatich operátorov univerzálnej syntézy: replikácia, kríženie, inverzia, kríženie a mutácia [8,9]. Nižšie je uvedený opis upínacieho mechanizmu na rôznych úrovniach štruktúrálnej organizácie (rodičovský chromozóm Fa1 - Fr2 alebo Fx1-Fy2) [8]: genetický, Fx1; chromozomálny, Fx1-Fy2; objekt, Fx1-Fy2 (1·KR); populácia, Fx1-LV-Fy2 (1·KR); špecifický, Fx1-LV-Fy2 (1·KR)-CL; systém, E-EM-Fx0-(WD-LV)-Fx1-LV-Fy2 (1·KR). Tu E je zdroj elektrickej energie; EM - elektromechanický menič (primárny), ktorý vytvára axiálnu silu Fx0. na vstupe upínacieho pohonu (PrZ); (WD-LV) - hybridná klinová páka.

Realizácia koncepcie vytvárania strojov novej generácie

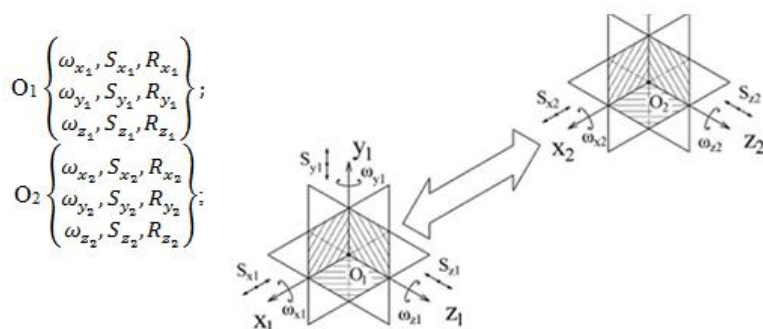
Prezentovaná koncepcia zahŕňa [4,6]: -geneticko-morfologický viacúrovňový prístup ku klasifikácii, opisu, evolúcii, predikcii a syntéze komplexnej TS; - aplikácia rámových a plášťových konštrukcií nosných systémov; - princíp agregátneho modulárneho usporiadania; - používanie pokročilých informačných technológií a inteligentných počítačových systémov. Navrhovaná koncepcia bola úspešne implementovaná pri vytváraní malých obrábacích strojov s

počítačovým riadením rôznych rozložení, vrátane tých s mechanizmami paralelnej štruktúry (MPS), s použitím obmedzeného počtu modulov (lineárne pohyby s prídavnou funkciou rámového rebra, motorového vretena, tyčí konštantnej dĺžky, otočných kĺbov, základní a traverzov).

Syntéza technologických princípov-objektov typu "proces"

Akýkoľvek technologický princíp môže byť reprezentovaný ako dva materiálne body, ktoré prišli do styku a vzájomne na seba pôsobia - spracovaný objekt O1 (časť) a spracovateľský objekt O2 (nástroj) (obr. 6), z ktorých každý vykonáva translačné a rotačné pohyby v priestore v systéme svojich súradníc $X_1 Y_1 Z_1$ a $X_2 Y_2 Z_2$ [4,8]. Podľa obr. 8 s hlavným rotačným pohybom $\omega_{(x_1, y_1, z_1)}$ je možné materiálový bod O1 opísať s prihliadnutím na translačný pohyb posuvu $S(x_1, y_1, z_1)$ a polomer súradnice $R(x_1, y_1, z_1)$ a podobne množiny materiálového bodu O2.

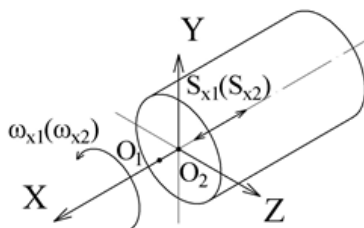
Interakcia týchto bodov O1 a O2 (obr. 6) môže byť reprezentovaná ako zrútený morfologický model na chromozomálnej úrovni [8]:



Obr. 6. Navrhovaná priestorová kinematická schéma rezania vo forme interakcie dvoch materiálových bodov O1 a O2 v karteziánskych súradnicových systémoch

$$MKC = \wedge \left\{ \begin{matrix} \omega_{x_1}, S_{x_1}, R_{x_1} \\ \omega_{y_1}, S_{y_1}, R_{y_1} \\ \omega_{z_1}, S_{z_1}, R_{z_1} \end{matrix} \right\} \left\| \left\{ \begin{matrix} \omega_{x_2}, S_{x_2}, R_{x_2} \\ \omega_{y_2}, S_{y_2}, R_{y_2} \\ \omega_{z_2}, S_{z_2}, R_{z_2} \end{matrix} \right\} \right.$$

Použitím geneticko-morfologického prístupu [4,8], z morfologického modelu, obr. 7 ukazuje kinematickú schému rezu s digitálnym kódom 401 [3], ktorý je pre špecifické schémy spracovania zapísaný ako variant genetického kódu na chromozomálnej úrovni.



Obr. 7. Kinematická schéma rezania, opísaná rôznymi variantmi genetického kódu na chromozomálnej úrovni

LITERATÚRA

- [1] Balashov E.A. Evolutionary synthesis of systems. / E.P. Balashov. - M .: Radio and communication, 1985. - 328 p.
- [2] Hegel F.G.W. Science of Logic - St. Petersburg, 1997. - 191 p.
- [3] Granovsky G.I. Kinematics of cutting / G.I. Granovsky. – M.: Mashgiz, 1948. – 200 p.
- [4] Kuznetsov Yu.N. Morphological synthesis of machine tools and their mechanisms / Yu.N. Kuznetsov, Joaquim A. G. Hamuyela, T.O. Hamuyela, ed. Yu.N. Kuznetsova. - K .: Gnosis LLC, 2013. 401 p.
- [5] Kuznetsov Yu.N. Theory of technical systems: Textbook / Yu.N. Kuznetsov, Yu.K. Novoselov, I.V. Lutsiv. - Sevastopol: publishing house of SevNTU, 2012. - 256 p.
- [6] Kuznetsov Yu.N. Layouts of machine tools with parallel structure mechanisms / Yu.N. Kuznetsov, D.A. Dmitriev, G.E. Dinevich. - Kherson: PP Vishemirsky V.S., 2010. - 471 p.
- [7] Stepin V.S. Theoretical knowledge / V.S. Stepin. – M.: 1999. – 390 p.
- [8] Hamuyela J.A. Guerra, Kuznetsov Yu.N., Hamuyela T.O. Genetic and morphological synthesis of clamping cartridges. - Lutsk: Vezha-Druk, 2017. - 328 p.
- [9] Shinkarenko V.F. Fundamentals of the theory of evolution of electromechanical systems / V.F. Shinkarenko. - K .: Naukova Dumka, 1989. - 288 p.
- [10] Kuznetsov Y., Prydalny B. Theory of technical systems in the aspects of research and technical creativity - Lutsk: Vezha-Druk, 2023. - 284 p.

DIGITÁLNA PLATFORMA „SmartWaste“ – NÁSTROJ PRE UDRŽATEĽNÉ ODPADOVÉ HODPODÁRSTVO

Pokusová Marcela¹⁴

Šooš Ľubomír, Pribulová Alena

ABSTRAKT

The paper deal with the information platform “SmartWaste” intended for sustainable waste recovery, which has supported the transformation of Slovak waste management in line with the circular economy objectives and the opportunities offered by Industry 4.0. It considers current and future EU requirements around the waste management. Using the intelligent specialization and modern information technologies, the main aims of "SmartWaste" are (1) to collect the information about the waste treating technologies in operations, and (2) to carry out research in the field of material and energy recovery of waste which cannot be treated by the conventional technologies. Moreover, it gives the emphasis on innovative solutions with new added value, the optimization of relevant logistics processes based on the analysis and forecasting of trends in industrial production, and their impact on the economy and waste management development.

¹⁴ *prof. Ing. Marcela Pokusová, CSc., Dr.h.c. prof. Ing. Ľubomír Šooš, PhD., Strojnícka fakulta STU v Bratislave;

prof. Ing. Alena Pribulová, PhD., Fakulta materiálov, metalurgie a recyklácie, Technická univerzita Košice

1. ÚVOD

Politika odpadového hospodárstva Európskej únie sa vyvíja už viac ako 30 rokov prostredníctvom série environmentálnych akčných plánov a príslušného legislatívneho rámca. Jej hlavným cieľom je znižovať negatívne vplyvy odpadu na životné prostredie a zdravie ľudí a zároveň zvyšovať efektívne a účinné využívanie zdrojov. V Tematickej stratégii predchádzania vzniku odpadu a jeho recyklovania [1], Únia definovala nielen svoje prioritné ciele, ale zaviedla aj kľúčové pojmy ako sú recyklujúca spoločnosť, uvažovanie v dimenziách životného cyklu, rozšírená zodpovednosť výrobcu, hierarchia odpadového hospodárstva, predchádzanie vzniku odpadu a využitie odpadu ako zdroja, ktoré vyjadrujú prístupy a princípy uplatňované pri tvorbe rámcových koncepcií politík nakladania s odpadmi.

Opadové hospodárstvo je dnes konfrontované s niekoľkými významnými trendami, ktoré výrazným spôsobom ovplyvňujú doteraz zaužívaný model podnikania. Globálne otepľovanie, dôsledky pandémie v podobe porúch v dodávateľsko-odberateľských reťazcoch a rast cien energií cielia našu pozornosť smerom k obehovému hospodárstvu. Implementácia stratégie obehového hospodárstva posúva odpadové hospodárstvo bližšie ku koncepciám riadenia zdrojov a robí ho neoddeliteľnou súčasťou globálnych trhov s obmedzenými zdrojmi. Základným predpokladom zvyšovania efektívnosti využívania zdrojov a uzatvorenia cyklu v rámci obehového hospodárstva je premena odpadu na zdroj [2]. Prechod k obehovému hospodárstvu si vyžaduje realizovať zmeny v celých hodnotových reťazcoch, od návrhu výrobku po nové obchodné a trhové modely, od nových spôsobov premeny odpadu na zdroje až po nové štýly spotrebiteľského správania vrátane systémových zmien a inovácií v oblasti technológií. Intenzívny rozvoj digitálnych technológií Priemyslu 4.0 redefinuje to, čomu hovoríme odpadové hospodárstvo. Digitálne technológie - robotika, internet vecí, autonómne vozidlá, senzory a umelá inteligencia budú predstavovať jadrom transformácie odpadového hospodárstva v 21. storočí [3 - 5].

Zámer EU smerovať k uhlíkovej neutralite je impulzom pre vývoj čistých technológií spracovania odpadov v celom životnom cykle produktov a postupne nahrádzať staré konštrukcie produktov novými technologickými prvkami, ktoré budú prispievať ku zlepšovaniu kvality životného prostredia. Uvedené zmeny nie sú možné bez prechodu na špičkové technológie určené pre fotovoltaiiku, palivové články, mikroelektroniku, LED technológie, optické vlákna, laserové technológie a pod., ktoré pracujú s materiálmi na báze tzv. kritických strategických surovín [6]. Je preto dôležité mobilizovať a separovať odpad obsahujúci kritické strategické suroviny, pričom ich významným zdrojom je napr. elektroodpad alebo odpady zo spracovania starých vozidiel a i [7].

Odvetvím, ktoré v súčasnosti výrazne ovplyvňuje a zároveň rozvíja ostatné odvetvia národného hospodárstva akými sú strojársky, hutnícky, elektrotechnický alebo chemický

priemysel je automobilový priemysel. Vo svete je približne miliarda áut, z čoho asi 200 miliónov jazdí po európskych cestách a viac ako 2 milióny áut jazdí v SR [8]. Vývoj materiálovej štruktúry dnešných automobilov reflektuje stratégiu EÚ vyrábať energeticky úsporné vozidlá vrátane zavádzania prelomových technológií s mimoriadne nízkymi emisiami uhlíka. Požiadavky kladené na súčasné vozidlá akými sú znižovanie spotreby pohonných hmôt a emisií a zvyšovanie bezpečnosti prevádzky, vedú k tomu, že sa v ich konštrukcii uplatňujú komplexné funkčné materiály, ktoré sú zatiaľ problematicky recyklovateľné [9, 10]. Výrazný rast podielu elektroniky a nástup sériovej výroby elektrických vozidiel a vozidiel s inými alternatívnymi pohonmi zo sebou preto prináša nové výzvy aj v oblasti recyklácie.

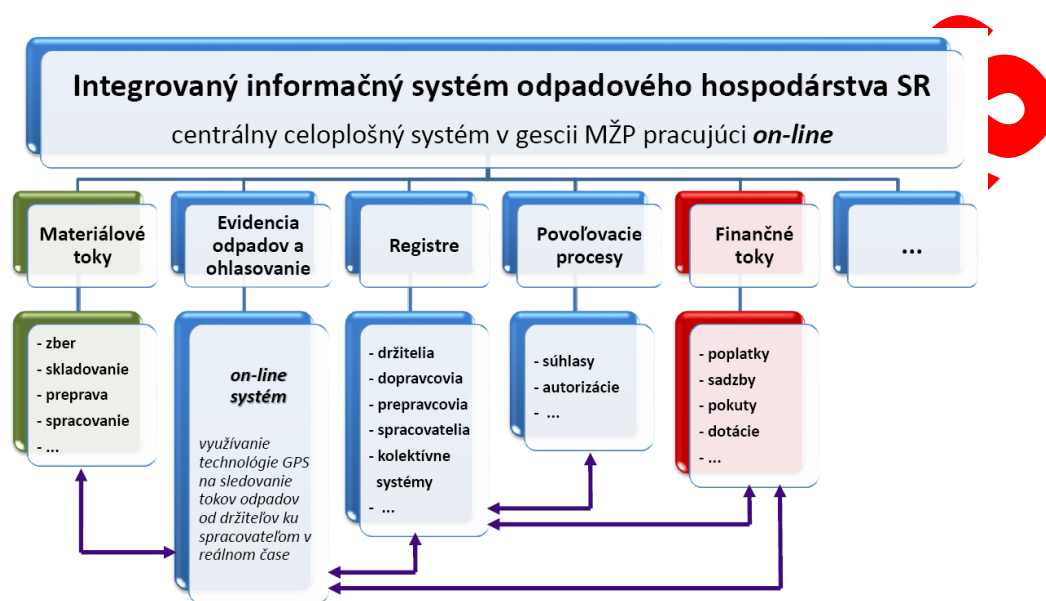
Vývoju ekonomicky efektívnych postupov recyklácie kritických strategických surovín sa na Slovensku nevenuje systematická pozornosť a ani sa štatisticky nehodnotí výdatnosť zdrojov strategických surovín v dostupných odpadoch napr. v odpadoch z elektrických a elektronických zariadení alebo starých vozidiel a pod [8]. Nové materiály sa vďaka svojim špecifickým vlastnostiam stále rýchlejšie presadzujú v praxi, čo zákonite vyvoláva technologický tlak na existujúce spracovateľské zariadenia. Otvorenou je otázka, ako sú rozvinuté trhy a infraštruktúra na recykláciu špecifických odpadov, ktoré sú oveľa zraniteľnejšie a citlivejšie na výkyvy dopytu než trhy s kovovými materiálmi. Ich spracovatelia sú konfrontovaní so skutočnosťou, že v prípade netypických odpadov na báze moderných viackomponentných materiálov sa tradične používané technológie stávajú neefektívnymi alebo dokonca nepoužiteľnými [11].

Jednou z možností ako podporiť vývoj a inováciu recyklačných technológií v SR bez ohľadu na kategóriu odpadu (priemyselný alebo komunálny) bolo vytvoriť informačnú a inovačnú platformu recyklačných technológií. Príspevok prezentuje koncepčné východiská a výsledky vývoja digitálnej platformy "SmartOdpady" v prostredí automobilového priemyslu.

2. VÝVOJ PLATFORMY "SMARTWASTE"

Myslienka vytvoriť integrovanú informačnú a inovačnú platformu SmartOdpady nevznikla náhodne, ale prešla vývojom spojeným s hľadaním optimálnej vnútornej štruktúry systému a jeho funkcionality, štruktúry poskytovaných informácií a užívateľského rozhrania. Prvé úvahy o potrebe moderného a efektívneho informačného systému vo sfére nakladania s odpadom sa objavili počas ekonomickej krízy v rokoch 2009 až 2010, kedy krízový manažment odpadového hospodárstva nevyhnutne potreboval pracovať s korektnými a konzistentnými dátami o kvantite a kvalite materiálových tokov odpadov, dostupných spracovateľských a logistických kapacitách, a to nielen s historickými dátami, ale aj dátami získanými v reálnom čase. Výsledkom rozsiahlych diskusií o stave informačných systémov v odpadovom hospodárstve bol ideový návrh dokumentovaný na obr. 1. Navrhovaný integrovaný systém mal mapovať všetky informačné,

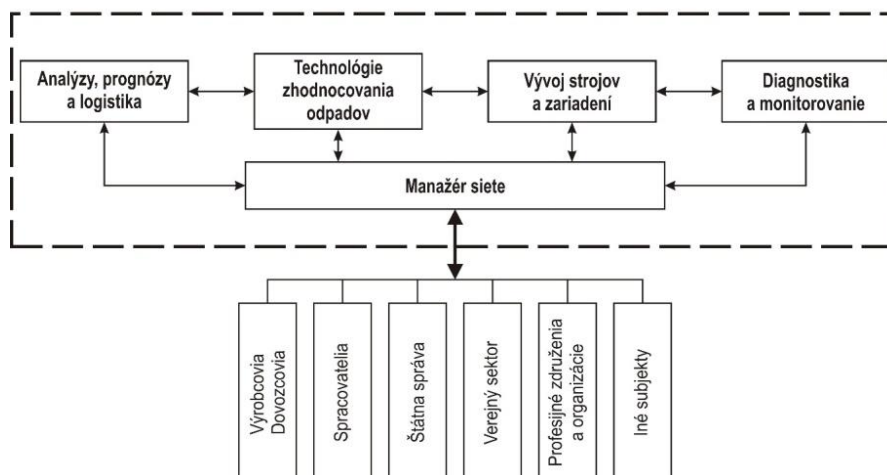
materiálové a finančné toky v sektore nakladania s odpadom a zabezpečiť informácie v takom rozsahu a kvalite, ktoré sú nevyhnutné pre efektívne riadenie a rozvoj moderného odpadového hospodárstva. Jadro systému tvorili tri vzájomne prepojené subsystémy, ktoré mali zhromažďovať informácie o subjektoch pôsobiacich v celom reťazci procesov nakladania s odpadom (registre), o vydaných povolenia pre nakladanie s odpadom (povoľovacie procesy) a o množstvách vznikajúcich a spracovaných odpadov (evidencia odpadov a ohlasovanie).



Obr. 1 Konceptia integrovaného informačného systému odpadového hospodárstva (model 2011)

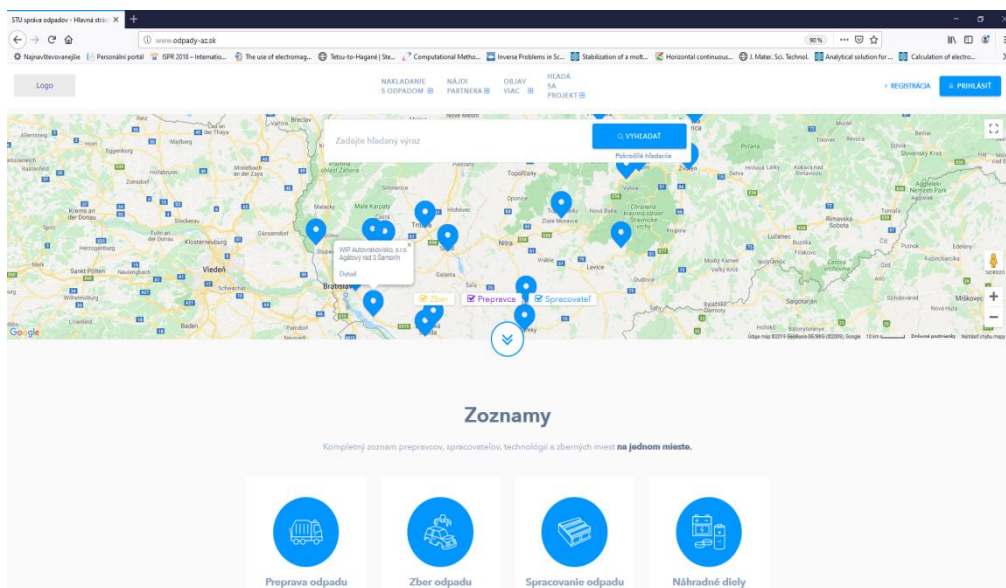
Prijatie Akčného plánu obehového hospodárstva v EÚ s novými cieľmi v oblasti recyklácie odpadov v roku 2015 viedlo ku spolupráci medzi Zväzom automobilového priemyslu SR a univerzitami vo výskume technológií progresívneho zhodnocovania odpadov zo starých vozidiel a z automobilového priemyslu, ktorý sa stal dominantným priemyselným odvetvím na Slovensku. Výsledkom bol návrh modelu výskumnej platformy, štruktúra ktorej je uvedená na obr. 2.

VÝSKUMNÁ PLATFORMA
 ZHODNOCOVANIA ODPADOV Z AUTOMOBILOVÉHO PRIEMYSLU
 (AUTOMOTIVE WASTE RECOVERY RESEARCH NETWORK)



Obr. 2 Schéma výskumnej platformy (model 2015)

Vychádzala z konceptu moderných PLM systémov (Product Lifecycle Management) a digitálnych technológií Priemyslu 4.0, ktoré podporujú rýchle a robustné inovácie vykonávané vo virtuálnom prostredí. V takto nastavenom prostredí mali spolupracovať výskumné tímy pracovníkov slovenských univerzít na realizácii vývojových projektov, pričom každý mal prispievať svojimi unikátnymi znalosťami a skúsenosťami, a prístrojovým vybavením [12, 13]. Funkčné aplikácie mali zabezpečiť efektívnu komunikáciu a spoľahlivú výmenu informácií s dodávateľmi aj zákazníkmi o postupe vývojových prác. Charakteristickým znakom uvažovanej koncepcie platformy bola jej modularita a otvorenosť. Po overení funkčnosti navrhutej koncepcie platformy riešitelia predpokladali jej rozšírenie o ďalšie funkcionality, napr. vyhľadávanie partnerov na spoluprácu pri zabezpečovaní realizácie výsledkov výskumu a vývoja napr. v prostredí malých a stredných podnikov.



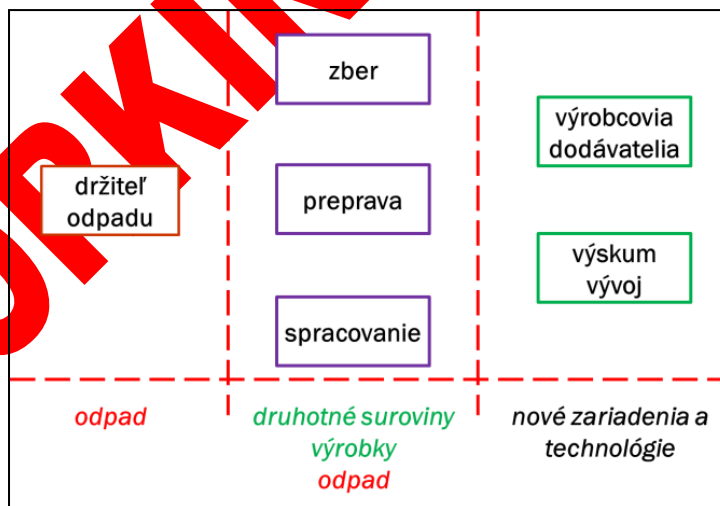
Obr. 3 Platforma „SmartWaste“ s interaktívnou mapou a vyhľadáváním

Rozvoj digitálnych technológií Priemyslu 4.0, prijatie stratégie obehového hospodárstva a hodnotenie ich dopadov v oblasti nakladania s odpadom z hľadiska vplyvu na technológie, procesy riadenia, analýzu dát o tokoch odpadov a modely podnikania viedla univerzity a zástupcov Združenia automobilového priemyslu ku vývoju nového systému - informačnej a inovačnej platformy recyklačných technológií „SmartWaste“ (www.odpady-az.sk) (obr. 3). Jej hlavným cieľom je umožniť na báze inteligentnej špecializácie a pokrokových informačných a komunikačných technológií systematicky zbierať informácie o technológiách nakladania s odpadom na území SR a realizovať efektívny výskum a vývoj v oblasti materiálového a energetického zhodnocovania odpadov, ktoré sú nespracovateľné bežnými technológiami s dôrazom na inovatívne riešenia s novou pridanou hodnotou vrátane optimalizácie príslušných logistických procesov opierajúc sa o analýzy a prognózovanie trendov v priemyselnej výrobe a jej dopadov na národné hospodárstvo nevynímajúc vývoj v odpadovom hospodárstve tak, aby sa zabezpečilo plnenie dlhodobých cieľov a povinností Slovenskej republiky vyplývajúcich zo záväzkov voči EÚ pri nakladaní s odpadom.

3. FUNKCIONALITY PLATFORMY

Platforma je budovaná ako virtuálny priestor určený na komunikáciu subjektov zapojených reťazca odpadového hospodárstva s cieľom poskytnúť užívateľom na jednej strane aktuálne a transparentné informácie o dostupných zberových, prepravných a spracovateľských kapacitách, kvalitatívne informácie o inštalovaných technológiách na spracovanie odpadu na území SR, a na druhej strane rozvíjať podnikateľské aktivity, najmä na úrovni malých a stredných podnikov v spolupráci s vysokými školami, v oblasti výskumu a vývoja nových inovatívnych technológií na spracovanie odpadov.

Užívateľovi poskytuje dve základné funkcionality. Držiteľovi odpadu na základe rôznych kritérií umožní vyhľadávať optimálneho prepravcu odpadu, najvhodnejšiu technológiu zhodnotenia jeho odpadu z hľadiska dostupnosti (GPS lokalizácia), kvalitatívnej úrovne technológie (BAT, systémy manažérstva kvality, materiálová bilancia, certifikácia výstupných produktov, kapacita zariadenia a pod.). Spracovateľovi odpadu poskytuje možnosť komunikovať s držiteľmi odpadu o svojich voľných kapacitách (zásada blízkosti) a tiež nadviazať kontakt a komunikovať na jednom mieste s výskumnými a vývojovými centrami alebo dodávateľmi technológií o možnostiach vývoja alebo dodávky technológií na recykláciu a zhodnocovanie špecifických odpadov. Vnútoraná štruktúra platformy reflektuje špecifikované požiadavky na jej funkcionality a ciele (obr. 4).

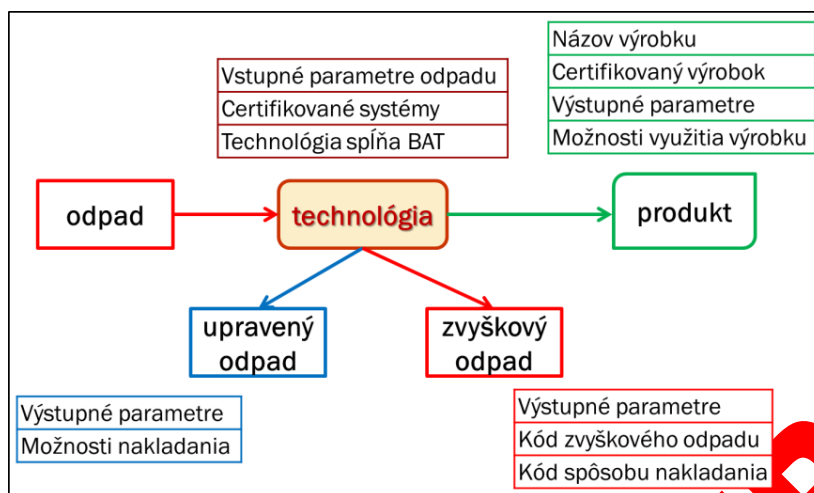


Obr. 4 Koncepcia vnútornej štruktúry integrovanej platformy „SmartWaste“

Je tvorená dvomi zónami, jednou je *informačný subsystém* „zber – preprava – spracovanie“, v ktorom má držiteľ odpadu možnosť vyhľadať environmentálne a ekonomicky najpriateľnejší spôsob odovzdania odpadu napr. s ohľadom na výstup aplikovanej technológie, ktorým môže byť

odpad, druhotná surovina alebo certifikovaný výrobok. Aplikácia “Katalóg odpadov” bola navrhnutá tak, aby užívateľovi umožnila interaktívne filtrovanie a fulltextové hľadanie podľa čísla alebo názvu odpadu v reálnom čase so súčasným prepojením na registre subjektov zabezpečujúcich zber, prepravu a spracovania odpadu. Druhou zónou je *inovačný subsystém*, kde subjekty reťazca nakladania s odpadom vo virtuálnom prostredí môžu vyhľadávať nové komerčne dostupné technológie alebo vyhľadávať partnerov pre výskum, vývoj alebo výrobu nových inovatívnych postupov, technológií a zariadení podľa aktuálnej potreby v odpadovom hospodárstve prostredníctvom projektov a ponukou zákaziek. Túto funkcionality autori vnímajú ako možnosť vytvárať a podporovať podnikateľské príležitosti pre domáce malé a stredné podniky. V inovačnom subsystéme je vytvorený aj zásobník s ponukou už vyvinutých alebo realizovaných nových technológií a zariadení.

Pri rozhodovaní o kvalite a základnej štruktúre dát zhromažďovaných a spracovávaných platformou autori vychádzali z jej základného cieľa, teda poskytnúť informácie o technológiách a ich kapacitách prevádzkovaných v systéme nakladania s odpadom a ich lokalizácii s cieľom nielen podporiť informované rozhodovanie subjektov v odpadovom hospodárstve, ale zároveň poskytnúť relevantné údaje pre účely identifikovania kritických oblastí spracovania odpadov, plánovania rozvojových aktivít v odpadovom hospodárstve, alebo vytváraní nových podnikateľských príležitostí. Základnú štruktúru dát platformy tvoria špecializované registre, ktoré obsahujú individuálne záznamy o registrovaných subjektoch zabezpečujúcich zber, prepravu a spracovanie odpadu. Vnútorňa štruktúra registračného záznamu zariadenia na spracovanie odpadu je uvedená na obr. 5. Množina kvalitatívnych aj kvantitatívnych informácií o rozhodujúcich charakteristikách technológie spracovania odpadu z pohľadu princípov uplatňovaných v zmysle obehového a zeleného hospodárstva umožňuje záujemcovi o spracovanie odpadu prijať kvalifikované rozhodnutie či svoj odpad do daného zariadenia odovzdá alebo bude hľadať iné.



Obr. 5 Základná schéma záznamu zariadenia na spracovanie odpadu

Architektúra platformy „SmartWaste“ je vybudovaná na báze modelu klient - server. Užívatelia prístupujú k aplikácii cez užívateľské rozhranie prostredníctvom webového prehliadača. Tento spôsob riešenia prístupu umožňuje podľa vyvíjajúcich potrieb v budúcnosti zapracovať do systému aj iné e-slужby. Pre ekonomickú udržateľnosť systému platforma predpokladá rozlišovanie dvoch kategórií užívateľov, verejnosť s voľným prístupom a užívateľov s plateným prihlásením, ktorí sa budú líšiť rozsahom sprístupnených informácií. Grafické rozhranie portálu je riešené ako responzívne pre mobilné telefóny, tablety a desktopy a je jednotné pre celú platformu.

4. ZÁVER

Vyvinutá integrovaná platforma SmartWaste (www.odpady-az.sk) podporí plnenie cieľov uvedených v kľúčových smerniciach EÚ a strategických dokumentoch SR regulujúcich odpadové hospodárstvo. Jej efektívne fungovanie podporí vznik a využívanie nových inovatívnych technológií na zber, prepravu a zhodnocovanie odpadov, čo bude mať pozitívne dopad nielen na predchádzanie vzniku odpadov, ale aj na znižovanie množstva zneškodňovaných odpadov. Zároveň sa posilní výskumná a inovačná kapacita v oblasti čistejších výrobkov a environmentálnych technológií.

Funkcionality platformy umožnia identifikovať súčasné i budúce kritické oblasti a úzke miesta v technológiách spracovania odpadov, ktoré budú východiskom pre definovanie výskumných, vývojových a inovačných projektov. Aktívne využívanie funkcionalít zainteresovanými stranami podporí mieru využitia odpadu ako zdroja druhotných surovín a energií, úsporu primárnych zdrojov surovín, materiálov a energií, vývoj a inovácie v oblasti

environmentálne priaznivých technológií zhodnocovania odpadov, podporu využívania recyklátov pri výrobe eko-inovatívnych produktov a získavanie kritických strategických surovín spracovaním odpadov.

POĎAKOVANIE

Príspevok vznikol vďaka finančnej podpore Agentúry na podporu výskumu a vývoja (projekty APVV-22-0580, APVV-19-0559, APVV-16-0485), VEGA 1/0265/21, a projektu konzorcia UNIVNET 0201/004/20.

LITERATÚRA

- [1] Decision No 1386/2013/EU of the European Parliament and of the Council of 20 November 2013 on a General Union Environment Action Programme to 2020 ‘Living well, within the limits of our planet’. <http://data.europa.eu/eli/dec/2013/1386/oj>.
- [2] Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions (COM/2020/98) *A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe*.
- [3] Communication from the Commission (COM(2010) 2020) *Europe 2020: A strategy for smart, sustainable and inclusive growth*.
- [4] A. Mavropoulos, and A. W. Nilsen, *Industry 4.0 and circular economy: Towards a wasteless future or a wasteful planet?*. John Wiley & Sons. (2020), p. 448.
- [5] A. Renda, S. Schwaag Serger, D. Tataj, D. et al., *Industry 5.0, a transformative vision for Europe: governing systemic transformations towards a sustainable industry*, European Commission: Publications Office, 2022, p. 30.
- [6] S. Bobba, S. Carrara, J. Huisman, F. Mathieux, and P. Claudiu, *Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU - A Foresight Study*. European Commission: Publications Office, 2020, p. 100.
- [7] T. Gušťaříková, A. Kostúriková, Z. Lieskovská, *Obehové hospodárstvo - budúcnosť rozvoja Slovenska : Circular economy - future of the development of Slovakia*. Bratislava: MŽP SR, 2019, 104 p.

- [8] *Waste Management Plan of the Slovak Republic for 2021 – 2025*. Vestník Ministerstva životného prostredia SR, 2021, No. 3, 185 p. (in Slovak).
- [9] I. Čabalová, A. Ház, J. Krilek, T. Bubeníková, J. Melicherčík, and T. Kuvik, “Recycling of Wastes Plastics and Tires from Automotive Industry,” *Polymers*, 2021, 13(13), 2210.
- [10] L. Šooš, M. Matúš, M. Pokusová, V. Čačko and J. Bábics, “The Recycling of Waste Laminated Glass through Decomposition Technologies,” *Recycling*. 2021; 6(2):26.
- [11] H. Salmenperä, K. Pitkänen, P. Kautto and L. Saikku, “Critical factors for enhancing the circular economy in waste management,” *Journal of Cleaner Production*. 2021, Vol. 280, Part 1, 124339.
- [12] J.P. Zammit, J. Gao, R. and Evans, R., “The Challenges of Adopting PLM Tools Involving Diversified Technologies in the Automotive Supply Chain,” *Product Lifecycle Management and the Industry of the Future. PLM 2017*. Springer, Cham. 2017, vol 517, p. 59-68.
- [13] J.P. Jensen and A. Remmen, “Enabling Circular Economy Through Product Stewardship,” *Procedia Manufacturing*, 2017, Vol. 8, pp. 377-384

VÝVOJ NOVEJ TECHNOLOGIE ZHODNOCOVANIA ODPADOVÉHO MOLTANU DO NOVÝCH VÝROBKOVEUBOMÍR ŠOOŠ¹⁵MARCELA POKUSOVÁ, STANISLAV ŽIARAN,
MILOŠ MATÚŠ, ONDREJ CHLEBO, JOZEF BÁBICS**Abstract**

During the recovery of waste from old vehicles, various waste streams are created. Most waste can be recovered with more or less success. Among those problematic wastes is plasticine. It has a large volume, low weight, and currently there is no high-efficiency technology for the recovery of this waste and the production of new products. The aim of the presented contribution is the analysis of the state of processing, research, development, design and testing of test samples as a basis for the production of a stand for the production of new 3D products made from foam waste. In the introductory part, the contribution contains an analysis of the amount of plastic waste generated in the automotive industry. It describes the current state of management of the mentioned waste, the possibilities of its use in the production of new products. The core of the contribution is the selection of suitable technology, production and verification experimental measurement and evaluation of the produced test samples at different temperatures, pressures and length of endurance.

1. ÚVOD

Polyuretánové (PUR) peny zaberajú asi 33 % z celkovej produkcie polyuretánov. Používajú sa v automobilovom priemysle na výrobu sedadiel, ďalej na výrobu matracov, nábytku, na laminovanie textilu, na obalové účely (ochrana proti nárazu), na výrobu izolačných a tesniacich pásov. Využitie nachádzajú aj v stavebníctve. Tým, že sa používajú bežne v priemysle aj ako spotrebný materiál, vzniká otázka ukladania a recyklácia odpadu. Možnosť vzniku odpadu je aj pri samotnej výrobe, kde môže dosiahnuť až 10 % z celkovej produkcie pien. PUR sa môžu používať ako peny, elastoméry, laky, lepidlá, elastické vlákna či ako umelá koža. Najväčší dopyt

¹⁵ Ústav výrobného inžinierstva a kvality, Strojnícka fakulta STU v Bratislave, lubomir.soos@stuba.sk

z týchto foriem je po penách. Mäkké peny sa pripravujú výhradne v blokoch. Ich hustota je v rozmedzí hodnôt od 15 kg.m^{-3} do 70 kg.m^{-3} .

Tvrde peny sa pripravujú v uzavretých alebo otvorených formách. Slúžia väčšinou ako izolačný materiál v stavebníctve a strojárstve (potrubia, chladničky, automobily), ale aj v lietadlách ako radarové kryty. Využíva sa pritom nielen ich dobrá izolačná schopnosť, ale aj tvrdosť tvrdých PUR pien. Ich tvrdosť sa pohybuje v rozmedzí od 10 kg.m^{-3} do 600 kg.m^{-3} , [2].

V automobiloch sa využívajú polyuretánové peny ako výplň sedadiel, opierok, čalúnenia strechy, čalúnenia dverí, podložky pod kobercami, ako protihluková a proti vibračná izolácia priestoru motora a ďalšie.

Realizovaný projekt je zameraný na efektívny návrh spracovania PUR odpadov zo starých vozidiel. Nakoľko výstupom má byť optimalizovaný návrh technológie materiálového (príp. energetického) zhodnotenia odpadu - polyuretánových pien, je nevyhnutné kvantifikovať množstvá tohto problematického odpadu zo starých vozidiel v SR. V roku 2022 bolo spracovaných 46 354 starých vozidiel. Vychádzajúc z priemernej hmotnosti vozidla 1400 kg a percentuálneho hmotnostného podielu PUR pien (molitanu) v automobile 1,75 % je možné konštatovať, že len v roku 2022 vzniklo zo starých vozidiel 1135 ton tohto problematického odpadu.

Z hľadiska návrhu a optimalizácie technológie vhodnej na spracovanie a recykláciu takéhoto odpadu zo starých vozidiel je však potrebné sledovať dva ciele:

Recyklácia čistej polyuretánovej peny zo sedadiel

Recyklácia polyuretánovej peny z ostatných častí vozidla, ktorá má povrchovú vrstvu neoddeliteľnú, t.j. PUR pena vstrekaná priamo do tvarovaných častí, čalúnenie s nalepenou povrchovou vrstvou - textil, koža, umelá koža (opierky, čalúnenie dverí, strechy atď.)

1. ANALÝZA TECHNOLOGICKÝCH MOŽNOSTÍ ZHODNOCOVANIA POLYURETÁNOVÝCH PIEN

Recyklácia čistej polyuretánovej peny zo sedadiel je v praxi rozšírená a technologicky pomerne dobre zvládnuteľná. Výrazným problémom je recyklácia polyuretánovej peny z ostatných častí vozidla, ktorá má povrchovú vrstvu neoddeliteľnú. Tento problém nie je v súčasnosti riešený. Zároveň pre podmienky a ročné množstvá odpadovej PUR peny zo starých vozidiel na Slovensku je potrebné navrhnúť a optimalizovať technológiu, ktorá by umožňovala materiálovú recykláciu oboch uvedených typov odpadov.

Výskum, štúdie a testovania viedli k celej rade oblastí a metód recyklácie a využitia polyuretánu, ktoré môžu byť ekonomicky a ekologicky realizovateľné [3]. Štyri hlavné kategórie [4] sú: mechanická recyklácia, pokročilá chemická a termo-chemická recyklácia, energetické využitie a recyklácia samotného produktu (obr. 1). Každý spôsob poskytuje jedinečné výhody, ktoré sú obzvlášť vhodné pre konkrétne aplikácie alebo požiadavky [5, 6]. Mechanická recyklácia (t.j. recyklácia materiálu) zahŕňa fyzikálnu úpravu, pri chemickej a termo-chemickej recyklácii (t.j.

recyklácia suroviny) je odpad transformovaný na vstupné produkty, chemikálie pre chemický priemysel. Energetické zhodnotenie tohto odpadu zahŕňa úplnú alebo čiastočnú oxidáciu materiálu [7], výrobu tepla a elektrickej energie, a/alebo plyných palív, olejov a uhlia okrem vedľajších produktov akým je popol, ktorý musí byť zneškodnený, [9]. Vzhľadom k typicky dlhej životnosti výrobkov obsahujúcich polyuretán, štvrtá možnosť - recyklácia produktu alebo tzv. uzavretá slučka recyklácie, je obmedzená [8,10], pretože trhy sa rýchlo menia a pojem "downcycling" alebo "otvorená slučka" recyklácie sa silno vzťahuje na produkty na báze chemikálií ako sú polyuretány. Preto mechanická, chemická a tepelno-chemická recyklácia a energetické využitie, sú jediné tri spôsoby, ako účinne recyklovať polyuretán [11].

Recyklácia PUR pien			
Mechanická recyklácia	Chemické spracovanie	Tepelno-chemické spracovanie	Energetické využitie
Recyklácia s opätovným lepením Adhézne lisovanie Formovanie pod tlakom Vstrekovanie do foriem	Hydrolýza Glykolýza Alkoholýza	Pyrolýza Splyňovanie Hydrogenácia	Spalovanie komunálneho odpadu Fluidné pece Rotačné pece Tepelná degradácia

Obr. 1 Prehľad možností recyklácie PUR

Bez ohľadu na použitú technológiu recyklácie, dva faktory zohrávajú kľúčovú úlohu pri určovaní technickej a ekonomickej uskutočniteľnosti recyklácie polyuretánových materiálov:

- zvyšovanie hustoty objemných polyuretánových pien, čo umožňuje ekonomicky efektívnu dopravu od zberného miesta do prevádzky recyklácie,
- redukcia veľkosti polyuretánových výrobkov (matracov, autosedačiek, izolačných dosiek a pod), ktorá je vhodná pre ďalšie spracovanie vo zvolenom recyklačnom procese.

2. MECHANICKÁ RECYKLÁCIA

Dôležitým a prvým krokom je spracovanie odpadových materiálov na menšie častice, ktoré sa následne budú ľahšie spracovávať. Môžu to byť vložky, pelety či prach, v závislosti od druhu PUR, ktorý je recyklovaný. U polyuretánových pien sa používa recyklácia tzv. prebrusovaním. Pri nej vznikajúci prach je možné znovu použiť pri výrobe nových PUR pien ako plnivo. V iných prípadoch sa odpadový materiál drví, [12]. Požadovaná veľkosť frakcie pre následné spracovanie polyuretánu sa pohybuje od častíc menších ako 200 μm pre opätovné použitie ako plniva do polyuretánu, až po väčšie kusy pre chemické spracovanie alebo energetické využitie. Poznáme štyri základné spôsoby mechanickej recyklácie: recyklácia s opätovným lepením, adhézne lisovanie, formovanie pod tlakom a vstrekovanie do foriem.

Recyklácia lepením s pridaním spojiva patrí medzi najpoužívanejšie procesy recyklácie. Používa sa už 30 rokov. Spočíva v spôsobe spracovania penových vložiek získaných z recyklačných penových odpadov napr. prebrusovaním. Vložky sa fúkajú zo zásobníkov do bubnových miešačiek. Tu sa vložky miešajú s lepidlom. Takto vzniknutá zmes sa dá farbiť a

potom sa zlisuje dopravníkovým lisom. Konečná stabilizácia výrobku sa vykonáva pomocou pary. Technológia zahŕňa aj vysokú pružnosť a širokú variabilitu v mechanických vlastnostiach hotových výrobkov, [12].

Adhézne lisovanie spočíva vo vrstvení polyuretánovej drviny a lepidla a následného vytvrdzovania vplyvom teploty a tlaku, [10]. Touto metódou sú vyrábané tvarované diely pre automobilový priemysel, ako sú rohože či kryty rezervných pneumatík. Adhézne lisovanie je aplikovateľné pre mnoho typov plastových odpadov a ich zmesí. Nadrvená PUR pena o veľkosti častíc približne 1 cm môže byť opätovne spojená v kompaktný celok pridaním diizokyanátu MDI a následným lisovaním v tvarovej forme za pôsobenia teploty v rozsahu 100-200 °C a tlaku 3-20 MPa. Materiálové zhodnotenie enormného množstva PU flexibilnej peny (molitanu) zo starých vozidiel môže uspokojiť veľkú časť (v USA takmer 50%) trhu s kobercovými podkladmi, [5]. Tento spôsob recyklácie je veľmi zaujímavý tiež pre PUR penu zo stavebného odpadu, [4].

Tento spôsob formovania pod tlakom, ktorý ako recyklovanú surovinu využíva predovšetkým reakčne vstrekované polyuretány do foriem, je schopný produkovať vysoko kvalitné recyklované produkty. Lisované diely obsahujú 100 % recyklovaného materiálu. Spracovaný odpad je prebrúsený na jemné častice a podrobený vysokým tlakom a teplotám za účelom vytvorenia pevného materiálu, ktorý je ideálny pre mnoho aplikácií v automobilovom priemysle. Formovanie pod tlakom [14] zahŕňa tvarovanie polyuretánových častíc pri dostatočne vysokých teplotách a tlakoch (180°C, 35 MPa) pre vytvorenie šmykových síl potrebných k nataveniu a spojeniu jednotlivých častíc dohromady, bez potreby ďalších spojív. Technológia sa zameriava na výrobu čalúnenia zo spracovania polyuretánu a polyuretánov získaných zo starých vozidiel. Je vhodná na výrobu pevných a zložitých trojrozmerných dielov, ako sú tvarové obaly čerpadiel a motorov. Týmto spôsobom vyrobené produkty sú vhodné predovšetkým pre automobilový priemysel, pretože dosahujú vysokú tuhosť, [5].

Technológia vstrekovania do foriem umožňuje čiastočnú recykláciu polyuretánu. Jednou metódou (Bayerove vysokoteplotné lisovanie) sa granulovaný polyuretán o zrnitosti 250 až 1000 µm spracováva pri teplote okolo 180°C a tlaku väčšom ako 35 MPa, čím je možné vyrobiť teplom tvarované produkty, ako sú napríklad rôzne automobilové diely, [15]. Spočíva v natavovaní granulátu z odpadových plastov vrátane jemnej frakcie PU v komore extrúdera pôsobením externého ohrevu a následnom vstreknutí tekutého plastu do formy. Vstrekovanie môže prebiehať prostredníctvom jedného extrúdera. Duálne vstrekovanie prostredníctvom dvoch (príp. viacerých) extrúderov umožňuje recykláciu a opätovné použitie odpadových termoplastov a termosetov. Výhody tejto technológie spočívajú v zvýšených mechanických vlastnostiach produktu, vo vyššej kvalite povrchu a v možnosti ľubovoľnej farby produktu.

3. NÁVRH VHODNEJ TECHNOLÓGIE PRE STANOVENÉ CIELE PROJEKTU

Na základe rozsiahlej analýze technológií zhodnotenia odpadovej PUR peny bude pre vyššie spomenuté ciele projektu ďalej podrobne rozpracovaná technológia formovania PUR recyklátu pod tlakom ako jediná vhodná a efektívna technológia spĺňajúca kladené požiadavky a vyhovujúca daným obmedzeniam. Táto technológia umožňuje recyklovať čisté PUR peny ako aj

PUR peny s neoddeliteľnou povrchovou vrstvou. Umožňuje vo svojej podstate produkciu plošných izolačných produktov ako aj tvarových prvkov bez pridávania spojiva príp. ďalších chemických aditív. Navrhovaná technológia materiálového zhodnotenia PUR peny zo starých vozidiel nepredstavuje riziko pre životné prostredie, nakoľko nedochádza k žiadnym chemickým reakciám, ani znečisťovaniu prostredia tuhými prachovými látkami, kvapalinami či plynmi. Recyklovaná polyuretánová pena nachádza vďaka svojim vynikajúcim tepelnoizolačným a akustickým vlastnostiam uplatnenie aj v stavebníctve ako izolačný prvok stien, či podláh. Táto izolácia je vhodná aj na odhlučnenie výrobných hál. Produkovať sa môže buď vo forme platní, pásov alebo blokov rezaných na požadovanú hrúbku. Vďaka svojej vyššej pevnosti a hustote, ktorú je možné pri recyklácii nastaviť sa úspešne využíva sa aj ako vrstva podláh športových hál.

4. VYUŽITIE VÝROBKOV Z DRUHOTNÝCH SUROVÝCH

V automobilovom priemysle má recyklovaná polyuretánová pena veľké uplatnenie pri odhlučnení karosérie a pri zabránení prenosu vibrácií. Okrem výborných zvukovo-izolačných a tlmiacich vlastností sa využívajú aj tepelnoizolačné vlastnosti takýchto výrobkov. Oproti novej PUR pene majú vyššiu hustotu a tvrdosť. V automobiloch nachádzajú uplatnenie v podobe platní či pásov ako izolácia na tmenie vibrácií a ich prenos do kabíny (napr. izolácia motorového priestoru, izolácia dverí atď.).



Obr. 2 Izolácia na tmenie vibrácií v automobiloch

Navrhnutou technológiou formovania PUR recyklátu pod tlakom je možné pre automobilový priemysel vyrábať aj ďalšie pevné a tvarovo zložité diely lisované do formy (obr. 3). Diely lisované z recyklátu dosahujú zaručené mechanické vlastnosti, ktoré v skutočnosti môžu byť lepšie ako z nového polyuretánového materiálu.

Produkty z recyklovanej PUR peny môžu byť tiež inštalované v bielej technike, vo dverách a oknách, v strojoch, v rôznych zariadeniach a v štruktúrach ako akustický prvok s funkciou pohlcovať hluk. Vďaka svojim vynikajúcim tepelno-izolačným vlastnostiam, môže prispieť k zníženiu energetickej náročnosti budov. Takéto výrobky môžu byť opäť recyklované a znovu sa zmeniť na rovnaký alebo úplne nový výrobok.

5. EXPERIMENTÁLNY VÝVOJ A OPTIMALIZÁCIA NAVRHNUTEJ TECHNOLOGIE

V rámci experimentálneho vývoja technológie pre aplikáciu materiálovej recyklácie odpadových PUR pien predovšetkým zo starých vozidiel je cieľom zadefinovať vhodné (optimálne) technologické podmienky pre produkciu tvarovo zložitých a presných prvkov.



Obr.3 Akustická výplň vo vnútorných častiach vozidiel a výplň pre automobilové sedadlá

Na základe informácií z analýzy sme definovali podmienky zhutňovania PUR peny:

- zhutňovanie bez pridávania spojiva, pri teplote pri ktorej flexibilná PUR pena zmäkne, natavia sa hrany jednotlivých vložiek a môže tak pôsobením tlaku nastať vzájomné prepojenie častíc,
- 2D alebo 3D výrobok musí spĺňať pre určené použitie okrem veľkosti a tvaru aj požadovanú pevnosť a hustotu,
- frakcia bola podrvená na 5,0 – 30,0 mm.

Rozhodujúcimi skúmanými technologickými parametrami v rámci experimentov bol vplyv lisovacej teploty, lisovacia sila a doba výdrže. Navrhnuté parametre verifikačného experimentu:

- teplota pri lisovaní: 200-300 °C, (200, 220, 250, 300)
- sila pri lisovaní: 10-40 N, (10, 20, 30, 40)
- čas výdrže pri teplote pod tlakom: 10-25 minút (10, 15, 20,25)

pričom sme, menili vždy len jeden parameter, ostatné parametre boli pri experimentoch nemenné, (obr. 4). Štartovacie teploty experimentov boli teplota 200 °C, tlak 10 N a výdrž 10 minút.

Rozhodujúci vplyv na kvalitu experimentálnych vzoriek má teplota lisovania. Pri spodnej hranici teploty lisovania (200 °C) došlo ku kompaktnosti experimentálnej vzorky, ale jej pevnosť a súdržnosť bola minimálna. Výsledný výlisok nebol prakticky vôbec spojený. Už pri minimálnom ťahu dochádzalo k porušeniu skúšobnej vzorky. Po bližšej analýze sme zistili, že prakticky vôbec nedošlo k zmäknutiu materiálu a nataveniu vložiek.

Už zvýšenie teploty na 250 °C stupňov malo veľmi výrazný vplyv na zvýšenie ťahovej pevnosti skúšobnej vzorky. Experimentálne výlisky sú súdržné, majú pevnú štruktúru a držia si svoj tvar aj objem. Priemerná hustota experimentálnych vzoriek je 1,2 g.cm⁻³, čo je vhodná hustota pri týchto lisovacích metódach. Naopak pri teplote 300 °C dochádzalo k výraznému opekaniu okrajov nadrženej frakcie.



Obr.4 Skúšobné vzorky pri overovanom experimente

Druhým výrazným parametrom je dĺžka výdrže. Zvýšenie výdrže z 10 na 25 minút malo vplyv na súdržnosť skúmaných vzoriek.

Naopak predbežné experimentálne skúšky ukázali že najmenší vplyv na pevnosť skúšobných vzoriek mala sila pri lisovaní. Aj zvyšovaním jej hodnoty sme nepozorovali výrazné zvýšenie kvality experimentálnych vzoriek. Veľkosť lisovacieho tlaku má vplyv na hustotu experimentálnych vzoriek.

6. ĎALŠÍ VÝVOJ VÝSKUMU

Treba pripomenúť, že išlo len o prvé overovacie skúšky experimentálnych vzoriek. Tieto skúšky budeme veľmi dôsledne analyzovať, verifikovať a podľa potreby opakovať. V súčasnosti prebiehajú skúšky vzoriek pevnosti v ťahu, ohybu a stanovenie požadovanej hustoty pre tvarové výlisky. K sledovaným parametrom (teplota, tlak, výdrž) pravdepodobne pribudnú ďalšie parametre ako je napríklad para. Konečné výsledky týchto skúšok budú využité pri definovaní požiadaviek a pri konštrukčnom návrhu experimentálneho zariadenia na výrobu tvarových skúšobných vzoriek.

7. ZÁVER

Záverom možno konštatovať, že navrhnutá a verifikovaná technológia materiálovej recyklácie odpadových PUR pien formovaním pod tlakom je za uplatnenia vhodných technologických podmienok vhodná na výrobu tvarových presných prvkov so širokým uplatnením nielen v automobilovom priemysle. Vynikajúce akustické, tlmiace a tepelnoizolačné vlastnosti tohto materiálu implementovaného do formy tvarových prvkov ho predurčujú na široké spektrum uplatnenia v praxi. Uvedený spôsob zhodnocovania odpadových polyuretánových penových materiálov nielen zo starých vozidiel má veľmi pozitívny ekonomický a environmentálny efekt.

ACKNOWLEDGMENT

The published results were created with the support of the KEGA 030STU-4/2022 project entitled RORESA - Application of augmented reality in the educational process of machine tools and production systems, supported by the Minister of Education, Science, Research and Sports of the Slovak Republic and by the Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic under the Contract - University and industrial research and education platform of a recycling company (UNIVNET).

LITERATÚRA

- [1] U. Meekum, R. Kenharaj; Comparative study of polystyrene foam degradation in the open-air and artificial weathering exposure; School of Polymer Engineering, School of Environmental Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology; Thailand
- [2] Liptáková, T., Alexy, P., Gondár, E., Khunová, V.: Polymérne konštrukčné materiály. 1. vyd. Žilina : EDIS, 2012. 190 s. ISBN 978-80-554-0505-6.
- [3] G.T. Howard, Biodegradation of polyurethane: a review, Int. Biodeterior. Biodegrad. 49 (2002) 245–252.
- [4] E. Weigand, Properties and applications of recycled polyurethanes, in: J. Branderup, M. Bittner, G. Menges, W. Micheali (Eds.), Recycling and Recovery of Plastics, Hanser Publishers, Munich, Germany, 1996, section 7.10.
- [5] J. Scheirs, Polymer Recycling, John Wiley & Sons, Chichester, 1998, chapter 10.
- [6] K.C. Frisch, Advances in Plastic Recycling vol. 1, ISBN 1-56676-737-1-Technomic Publishing, 1999.
- [7] J. Troitsch, International Plastics Flammability Handbook, Hanser Publishers, Munich, 1990.
- [8] J. DeGaspari, Mechanical Engineering Magazine (ASME) June 1999.
- [9] Alliance for the Polyurethanes Industry. <<http://www.polyurethane.org/recycling>>.
- [10] New Forecasts for Polypropylene, Polystyrene and Polyurethane, Gobi International, May 20, 2002.
- [11] Huntsman Polyurethanes. <<http://polyurethanes.huntsman.com>>.
- [12] K. M. Zia, H. N. Bhatti, U. A. Bhatti; Methods for polyurethane and polyurethane composites, recycling and recovery: A review; Reactive & Functional Polymers 67 (2007) 675– 692.

- [13] Stone, H., Villwock, R., Martel, B. "Recent technical advances in recycling of scrap polyurethane foam as finely ground powder in flexible foam" Mobius Technologies, presented at Polyurethanes Conference 2000, 7 p.
- [14] A.J. Hulme, T.C. Goodhead, J. Mater. Proc. Technol. 139 (2003) 322–326.
- [15] S. Held, D.A. Hicks, M. Hart, Proceedings of R'99 Recovery Recycling Re-integration, Geneva (Switzerland) February IV. (1999) 92–97.

WORKING PAPERS

Náklady na elektrickú energiu ako determinant udržateľnosti a investičnej atraktivity v automobilovom priemysle

Stanislav Zábojník¹⁶

ABSTRAKT

Since the pandemic period, but especially the war in Ukraine, energy costs have been of increasing importance in industrial production, including the automotive industry. The article analyzes the importance of energy costs in creating added value for the automotive industry in Slovakia and European countries. Applying the methodology of unit energy costs, specifically for the field of electricity, the author quantifies the importance of electricity costs and its impact on the competitiveness of the automotive industry. As for Slovakia, the parameter is below 3%, which makes unit energy costs the only secondary important factor for the sustainability of automotive production in Slovakia (comparing labor costs or labor productivity). The potential change is related to e-mobility and batteries production, whose energy intensity and the importance of electricity prices are considerably higher.

Od roku 2009 slovenský priemysel konfrontuje z hľadiska cenovej konkurencieschopnosti energetická a environmentálna politika EÚ, pod vplyvom ktorej boli zavedené rôzne nové poplatky vyberané od priemyselných producentov prostredníctvom účtov za elektrickú energiu. Táto striktná environmentálna politika vstupuje do parametrov investičného prostredia v priemysle, jednotlivých priemyselných odvetviach alebo priamo automobilovom priemysle v rôznej intenzite. Táto rôzna intenzita vyplýva predovšetkým z energetickej náročnosti týchto

¹⁶ Stanislav Zábojník, doc. Ing., PhD., Katedra ekonomiky, Fakulta PEDAS, Žilinská univerzita

priemyselných odvetví. Energeticky náročné odvetvia spotrebávajúce vyšší objem elektrickej energie, ktorá v sebe zahŕňa vyššie environmentálne poplatky, budú prirodzene vplyvom tejto energetickej politiky strácať na cenovej konkurencieschopnosti na domácom trhu (voči zahraničným konkurentom – potenciálnym importérom) alebo trhoch zahraničných (konfrontácia zahraničných producentov exportom vlastného produktového portfólia produkovaného v SR), viac.

Automobilový priemysel nie je výnimkou, aj keď energetická náročnosť drviwej väčšiny procesov (okrem produkcie batérií a surovej valcovanej ocele alebo hliníka) nie je na nadštandardnej úrovni. Napriek tomu je konkurenčný tlak už dlhé obdobia tak intenzívny, že získanie konkurenčnej výhody v jednej oblasti (automatizácia, digitalizácia, inovátny technologický postup) hodnotového reťazca môže byť eliminovaný výrazne vyššími energetickými nákladmi. Príspevok sa preto zaoberá porovnaním energetických nákladov na úrovni automobilového priemyslu v krajinách EHP, resp. širšej skupiny európskych krajín a indikuje jednotkové energetické náklady pre automobilový priemysel v SR, ako aj komparáciu s najkonkurenčnejšími trhmi v rámci Európy.

PREHĽAD LITERATÚRY

Viaceré štúdie po roku 2010 sa zaoberali dopadom dekarbonizácie a z toho vyplývajúcich energetických nákladov na konkurencieschopnosť exportu a atraktivitu investičného prostredia, avšak limitovane len na celkovej úrovni priemyslu alebo energeticky náročných odvetví [1]; [2]; [3]; [4]. V tejto súvislosti bola kľúčovou štúdiou pre rozlišovanie jednotlivých odvetví analýza identifikujúca vplyv dotácií na kompenzáciu vysokých cien elektriny na úrovni európskych krajín od autorov Faiella a Mistretta ([5] a [6]). Autori kvantifikovali „dekarbonizačné“ výdavky priemyselných podnikov a prostredníctvom modelov predpovedali, ako výška týchto výdavkov ovplyvní schopnosť takýchto firiem vytvárať pridanú hodnotu a zhodnocovať svoju produkciu na zahraničných trhoch (export). Ich závery považujú UEC (jednotkové energetické náklady) za kľúčový faktor pri skúmaní konkurencieschopnosti. Presnejšie povedané, kauzálna súvislosť medzi jednotkovými nákladmi na energiu a rastom exportu bola jasne preukázaná prostredníctvom panelovej regresie; zvýšenie cien energií o 0,1 % generuje približne 0,12 % pokles exportu, čo predstavuje približne polovicu hodnoty jednotkových nákladov práce – ULC [7].

Z týchto prác sa výnimočne práce zaoberajú rôznymi efektmi v rámci krajín EÚ (najmä [5]). Štúdia Baláža a Bayera [6] sa venuje konkrétne krajinám CEE, kde je predpoklad negatívneho vplyvu vyšší ako v krajinách s vysokým podielom výdavkov na inovačnú aktivitu. Títo autori hodnotia vplyv rastúcich cien elektriny na výrobné náklady a uvádzajú, že konkurencieschopnosť spoločností EÚ (meraná prostredníctvom exportu aj RCA) neustále klesá.

Autori venujúci sa globálnym hodnotovým reťazcom v rámci regiónu V4 poukazujú na význam energetických nákladov v slovenskom a okolitých klastroch automobilového priemyslu [9]. Niektoré nedávne štúdie dokonca pripúšťajú vplyv energetických nákladov na výber lokality pre nové investičné projekty v automobilovom priemysle, ale konkrétne nekvantifikujú ich hodnotu. Iní autori poukazujú priamo na spojitosť medzi udržateľnosťou a cirkulárnou ekonomikou v automobilovej výrobe a jej pozitívnom vplyve na samotné finančné výsledky výrobcov [10].

METODIKA

Autor príspevku vyhodnocuje energetickú náročnosť pridanej hodnoty tvorenej v automobilovom priemysle („produkcia motorových vozidiel, prívesov a návesov“) porovnaním jednotkových energetických nákladov na základe metodiky porovnávajúcej náklady na elektrickú energiu pri generovaní pridanej hodnoty automobilového priemyslu v zmysle metodiky Faiellu a Mistretta [6] a [7]. Samotní autori zdôrazňujú, že aplikácia tohto postupu umožňuje kvantifikáciu UEC na úrovni jednotlivých priemyselných odvetví. Parameter UEC tak komparuje energetické náklady (pre naše účely náklady na elektrickú energiu) a pridanú hodnotu generovanú v automobilovom priemysle za obdobia od roku 1995 na úrovni jednotlivých európskych krajín. Vzorec pre výpočet jednotkových energetických nákladov je:

$$UEC = \frac{EC}{VA}$$

$$UEC_{EUT} = \frac{\sum_{sie} K_{siet}(P_{set} + \tau_{set})}{\sum_{si} VA_{sit}} = \frac{\sum_{st} \frac{VA_{sit}}{\sum_s VA_{st}} \frac{\sum_e K_{siet}(P_{set} + \tau_{set})}{VA_{sit}}}{\sum_s Z_{st}} = \sum_s Z_{st} \sum_i q_{sit} UEC_{sit}$$

, kde

$q_{sit} = \frac{VA_{sit}}{\sum_i VA_{sit}}$ predstavuje podiel sektora „i“ (v našom prípade automobilový priemysel) v krajine „s“ a čase „t“ vo vzťahu k celkovému priemyslu.

$Z_{st} = \frac{VA_{st}}{\sum_s VA_{st}}$ predstavuje podiel priemyslu v krajine „s“ s ohľadom na celkový priemysel EÚ.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

V zmysle uvedeného výpočtu sme použili dáta Eurostat [13] týkajúce sa energetických nákladov firiem v oblasti elektrickej energie a dáta týkajúce sa tvorby pridanej hodnoty [12]. Výsledky za automobilový priemysel sú uvedené v nasledujúcej tabuľke:

Tab. 1 Jednotkové energetické náklady na pridanej hodnote v automobilovom priemysle

	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Austria	2.22%				1.52%	1.87%	1.93%	1.88%	1.60%	1.45%	1.70%	1.88%	1.92%	1.70%	1.60%	1.55%	1.52%	1.43%	1.75%
Belgium	1.97%	2.07%	1.88%	1.78%	1.85%	2.01%	2.06%	3.09%	3.11%	2.89%	3.53%	3.12%	2.18%	2.02%	2.32%	2.23%	2.42%	2.50%	
Bulgaria						7.56%	6.80%	5.25%	4.40%	5.23%	4.90%	2.98%	3.89%	4.04%	3.57%	2.81%	2.76%	2.69%	2.43%
Croatia							4.59%	3.81%	4.04%	3.89%	3.51%	3.52%	3.55%	3.66%	3.93%	3.31%	3.43%	3.58%	
Cyprus	0.00%	1.31%	1.44%	1.14%	1.27%	1.28%	1.41%	1.68%	1.40%	2.17%	1.65%	2.44%	3.35%	13.88%	13.27%	11.26%	5.81%	4.00%	
Czechia	0.00%	2.05%	1.89%	2.03%	1.94%	2.04%	2.26%	2.77%	2.65%	3.50%	3.95%	3.57%	3.55%	3.61%	3.52%	2.46%	2.29%	1.88%	1.80%
Denmark	1.61%	1.63%	1.69%	1.92%	1.84%	2.11%	2.14%	2.86%	3.19%	3.13%	3.91%	3.39%	2.47%	1.80%	3.01%	1.89%	1.47%	1.47%	1.20%
Estonia				5.48%	5.31%	4.51%	4.53%	5.35%	4.02%	2.36%	3.59%	2.70%	2.94%	4.43%	5.64%	4.60%	4.58%	4.26%	1.38%
Finland	1.89%	1.73%	1.52%	1.43%	1.70%	1.73%	1.64%	1.72%	2.16%	2.12%	2.63%	3.44%	2.42%	2.34%	2.15%	2.22%	2.50%	2.20%	1.97%
France	2.66%	1.91%	1.77%	1.71%	1.79%	1.87%	1.80%	1.73%	1.72%	1.87%	2.01%	1.94%	2.01%	1.98%	2.01%	2.03%	1.95%	1.87%	1.90%
Germany		2.06%	1.88%	1.80%	1.95%	2.09%	2.26%	2.19%	2.20%	2.07%	2.32%	1.89%	1.88%	1.85%	2.04%	1.94%	1.75%	1.52%	
Greece	3.13%	2.54%	2.57%	2.27%	1.92%	1.73%	1.37%	1.19%	1.42%	2.06%	2.09%	2.08%	10.97%	5.39%	6.22%	7.41%	3.76%	1.22%	1.91%
Maďarsko	2.61%	1.12%	2.04%	2.21%	2.22%	2.64%	2.45%	2.22%	2.47%	2.99%	3.64%	2.82%	2.87%	4.65%	4.01%	3.24%	2.79%	2.42%	2.45%
Írsko	2.11%	2.24%	2.18%	2.74%	1.50%	2.08%	2.32%	3.07%	1.75%	2.71%	4.33%	7.83%	8.28%	9.33%	9.07%	9.94%	8.66%	7.68%	7.64%
Taliansko	2.74%	2.53%	2.77%	2.70%	2.87%	2.55%	2.74%	3.05%	3.07%			2.71%	2.85%	3.49%	3.29%	2.98%	2.77%	2.40%	
Lotyšsko						9.27%	8.96%	5.26%	7.63%	5.04%	8.27%	5.35%	5.29%	5.32%	7.39%	4.42%	5.82%	5.31%	
Litva					2.80%	2.06%	1.64%	1.50%	1.69%	1.46%	2.10%	2.07%	2.15%	1.35%	1.19%	1.60%	1.38%	0.90%	
Holandsko	1.56%	1.39%	1.26%				1.44%	1.57%	1.45%	1.36%	2.27%	1.74%	1.36%	1.37%	1.43%	1.41%	1.27%	1.32%	1.10%
Poľsko		3.07%	3.38%	3.43%	3.27%	2.65%	2.73%	2.71%	3.16%	3.73%	2.95%	3.03%	2.55%	2.55%	2.88%	2.39%	2.43%	2.36%	
Portugalsko	3.36%	2.11%	2.08%	2.03%	2.28%	2.29%	2.57%	2.89%	2.98%	3.00%	3.12%	2.76%	2.99%	3.11%	2.77%	2.69%	2.70%	3.20%	
Rumunsko					2.10%	2.45%	2.36%	2.96%	3.03%	2.01%	1.42%	0.86%	1.47%	2.86%	3.18%	3.64%	2.90%	2.02%	1.85%
Srbsko						44.12%		4.63%	4.27%							3.39%	3.14%	3.32%	4.34%
Slovenská rep.	4.60%	2.11%	0.87%	1.10%	0.83%	0.95%	1.17%	2.95%	2.97%	4.20%	5.71%	3.79%	4.06%	4.54%	4.36%	5.17%	3.08%	3.23%	2.85%
Slovensko	0.07%	3.07%	2.85%	2.57%	2.62%	2.27%	2.41%	2.44%	3.07%	3.09%	3.21%	3.23%	3.11%	3.36%	3.10%	2.86%	2.33%	2.42%	2.23%
Španielsko	2.12%	2.23%	1.71%	1.54%	1.57%	1.68%	2.19%	1.86%	1.81%	1.96%	2.07%	1.90%	1.73%	2.01%	2.09%	2.19%	2.10%	2.17%	2.29%
Švédsko		1.12%	1.36%	1.18%	1.70%	1.66%	1.79%	2.06%	1.92%	1.73%	2.04%	1.60%	1.67%	1.60%	1.52%	1.32%	0.86%	0.84%	
Švajčiarsko		14.48%	13.43%	10.82%	17.53%	16.99%	16.72%	17.43%	16.73%	13.10%	9.83%	8.64%	6.84%	6.04%	5.80%	5.08%	3.79%	4.16%	
V. Británia		1.57%	1.54%	1.41%	1.28%	1.22%	1.58%	2.02%	2.42%	2.83%	3.06%	2.54%	2.19%	2.47%	2.21%	2.03%	1.99%	1.80%	

Zdroj: výpočty autora podľa údajov Eurostat [13] a [12]

Z uvedenej analýzy vyplýva, že jednotkové energetické náklady v automobilovom priemysle SR sú na úrovni 2,85 %, čo znamená, že na vygenerovanie 1 € pridanej hodnoty v automobilovom priemysle SR je potrebné vynaložiť energetické náklady na úrovni 0,0285 €. Tento parameter je neporovnateľne nižší v porovnaní s energeticky náročnými odvetvami. V prípade SR mal ukazovateľ určitú dynamiku a kulminoval v roku 2014, čo je pochopiteľné, keďže práve v tomto období zaznamenali ceny ropy ako kľúčový fundament vývoja aj substitučných energetických nosičov, svoj cenový rekord. Pomerne nízku hodnotu parametra jednotkových energetických nákladov v SR do roku 2004 možno vysvetliť tým, že neboli ešte intenzívne etablované nadnárodné automobilové koncerny v SR (mimo VW) a tým bola vykazovaná relatívne nízka spotreba elektrickej energie a skreslený ukazovateľ UEC.

Z dôležitejších zistení v rámci analýzy jednotkových energetických nákladov vyplýva, že slovenský automobilový priemysel má výrazne vyššie energetické náklady ako nemecký automobilový priemysel alebo európsky priemer. Tento záver môže byť čiastočnou odpoveďou na relatívne stagnujúce investičné prostredie v regióne CEE pre príchod nových automobiliek a producentov batérií. Aj doterajšia prax a dotazovanie nadnárodných investorov na SARIO preukazuje, že ako kľúčové faktory vplývajúce na konečné rozhodnutie ohľadom lokality ich výroby je dostupnosť energetickej infraštruktúry (VVN a VN siete) a cena elektrickej energie vrátane sieťových poplatkov. Potvrdil to prípad VW a výstavby továrne na výrobu batérií, ktorá skončila rozhodnutím top manažmentu

VW o pozastavení tejto investície v regióne V4. Na druhej strane, ukazuje sa, že investičné prostredie SR a parametre cien elektrickej energie neboli problémové pre čínskeho investora, nakoľko sa spoločnosť Gotion High-Tech etablovala v SR koncom roku 2023 napriek relatívne vysokým cenám elektrickej energie, ktorej ceny sú rozhodujúce pri tak energeticky náročnej produkcii, ako sú batérie pre elektromobily.

Elektromobilita a produkcia dielov pre BEV a PHEV budú predstavovať kľúčový aspekt pre transformáciu automobilového priemyslu SR, ale aj EÚ v nasledujúcich rokoch. Dostupnosť čistej elektrickej energie, ale aj jej cenová dostupnosť budú pravdepodobne rozhodovať nielen o nových investíciách významných európskych a amerických automobilových koncernov v regióne CEE, ale aj o udržateľnosti automobilového priemyslu v SR a V4. Napriek tomu, že súčasná miera energetickej náročnosti a významu nákladov na elektrickú energiu pri tejto produkcii nie je vysoká, transformácia na elektromobilitu a aj recyklácia týchto komponentov môže priniesť výrazne väčšiu dôležitosť cenovej dostupnosti elektrickej energie. Aj v tejto súvislosti dáva vyššia angažovanosť obnoviteľných zdrojov energie a jadrovej energie (bezemisnej) v Slovenskej republike rastúci význam.

ZÁVERY

Dekarbonizácia EÚ má svoj nespochybniteľný spoločenský význam. Z hľadiska udržateľnosti automobilového priemyslu má svoj význam nielen neustále sprísňovanie emisných noriem, ale aj dekarbonizácia na úrovni čistej energie spotrebúvanej v procese výroby automobilového priemyslu, ale aj spotreby čistej elektrickej energie. Vyššia angažovanosť obnoviteľných zdrojov v SR generuje vyššie ceny elektrickej energie v rádovo jednotkách percent. Napriek tomu predložená štúdia identifikovala jednotkové energetické náklady a náklady na elektrickú energiu len s menej ako 3 %-nou váhou na pridanej hodnote automobilového priemyslu v SR. Parameter je síce na mierne vyššej úrovni ako je európsky priemer, ale pri súčasnej štruktúre výroby osobných automobilov v SR nemá potenciál výrazne ovplyvniť konkurencieschopnosť v SR vyrobených automobilov. Pri energeticky náročnejších aspektoch hodnotových reťazcov v automobilovom priemysle (produkcia batérií pre osobné vozidlá) je však cena elektrickej energie jeden z kľúčových faktorov, ktorý môže ovplyvniť nielen produktové portfólio nadnárodných automobilových koncernov a jeho udržateľnosť v SR, ale aj štruktúru budúcich priamych zahraničných investícií v regióne CEE a osobitne V4.

Predložený príspevok je súčasťou projektu 0201/0007/20 UNIVNET: Realizácia prognostických a výskumno-vývojových aktivít pri hľadaní nových technológií a techník maximálne efektívneho zhodnocovania odpadov najmä v automobilovom priemysle a s cieľom minimalizovať negatívne dopady na životné prostredie a šetriť.

LITERATÚRA

[1] Buchan, D. (2014). *Costs, Competitiveness and climate policy: distortions across Europe*. Oxford Energy Comment. The Oxford Institute for Energy Studies. Retrieved 11 January 2022, from <https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2014/04/Costs-Competitiveness-and-Climate-Policy.pdf>

[2] Lindén, A. J. (2017). Unit Energy costs in Europe, Member States and international partners. DG Economic and Financial Affairs Impact of EU policies on national economies, CEPS.

[3] Dechezleprêtre, A. & Sato, M. (2017). The Impacts of Environmental Relugations on Competitiveness. *Review of Environmental Economics and Policy*, 11(2), 183-206. <https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1093/reep/rex013>

[4] Zábojník, S., Steinhauser, D., & Peštová, V. (2023). DECARBONISATION: DO EU ELECTRICITY COSTS HARM EXPORT COMPETITIVENESS?. *Amfiteatru Economic*, 25(63), 522-540.

[5] Faiella, I. & Mistretta, A. (2018). Energy costs and competitiveness in Europe. In *Sixth IAERE Annual Conference*. University of Turin, 15 February 2018. Retrieved 21 November 2021, from <https://www.iaere.org/conferences/2018/files/faiella.pdf>

[6] Faiella, I. & Mistretta, A. (2020). *Energy Costs and Competitiveness in Europe* (Working Paper No. 1259) Bank of Italy. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3612802>

[7] Faiella, I., & Mistretta, A. (2022). The Net Zero Challenge for Firms' Competitiveness. *Environmental and Resource Economics*, 83(1), 85-113.

[8] Baláž, P. & Bayer, J. (2019). Energy Prices and their Impact on the Competitiveness of the EU Steel Industry. *Prague Economic Papers: Bimonthly Journal of Economic Theory and Policy*. Prague: University of Economics, 28(5), 547-566.

[9] Černá, I., Élтетő, A., Folfas, P., Kužnar, A., Křenková, E., Minárik, M., ... & Zábojník, S. (2022). GVCs in Central Europe: A perspective of the automotive sector after COVID-19.

[10] Rodríguez-González, R. M., Maldonado-Guzman, G., Madrid-Guijarro, A., & Garza-Reyes, J. A. (2022). Does circular economy affect financial performance? The mediating role of sustainable supply chain management in the automotive industry. *Journal of Cleaner Production*, 379, 134670.

[11] Saha, A., Pamucar, D., Gorcun, O. F., & Mishra, A. R. (2023). Warehouse site selection for the automotive industry using a fermatean fuzzy-based decision-making approach. *Expert Systems with Applications*, 211, 118497

[12] EUROSTAT. (2022). Databáza ohľadom pridanej hodnoty podľa odvetví dostupná na: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nama_10_a64__custom_8566752/default/table?lang=en

[13] EUROSTAT. (2022). Databáza ohľadom spotreby energií, cien a energetickej bilancie odvetví dostupná na: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_bal_c__custom_8637394/default/table?lang=en

**KMITANIE A HLUK KOMPONENTOV STROJNÝCH ZARIADENÍ V ČASE
KONCA ICH ŽIVOTNOSTI**Žiaran Stanislav¹⁷Šooš Lubomír¹⁸, Chlebo Ondrej¹⁹**ABSTRAKT**

Koniec životného cyklu strojných zariadení, dopravných prostriedkov, zastaranej technológie a podmienok spracovania komponentov, či použitie nevhodných materiálov prispieva k ich zvyšovaniu kmitania a hluku ako aj k zvyšovaniu recyklačného a nerecyklačného odpadu. Článok sa zaoberá stanovením prevádzkového stavu strojných zariadení a ich komponentov pomocou spracovania trendových charakteristík meraním mechanického kmitania a hluku, ktoré určujú koniec životného cyklu komponentov strojov. Sústreďuje sa najmä na oblasť spriadacích vreteníkov a navrhuje metodiku trvalého sledovania dynamického správania sa ložísk spriadacích jednotiek. Spracovaná metodika monitorovania ložísk vedie k zvýšeniu životnosti komponentov strojného zariadenia a k vytvoreniu príjemnejšieho prostredia z hľadiska hlukového zaťaženia zamestnancov. Analyzuje príčiny a frekvenčné rozloženie kmitania a hluku ako aj ich decibelové hodnoty.

1 ÚVOD

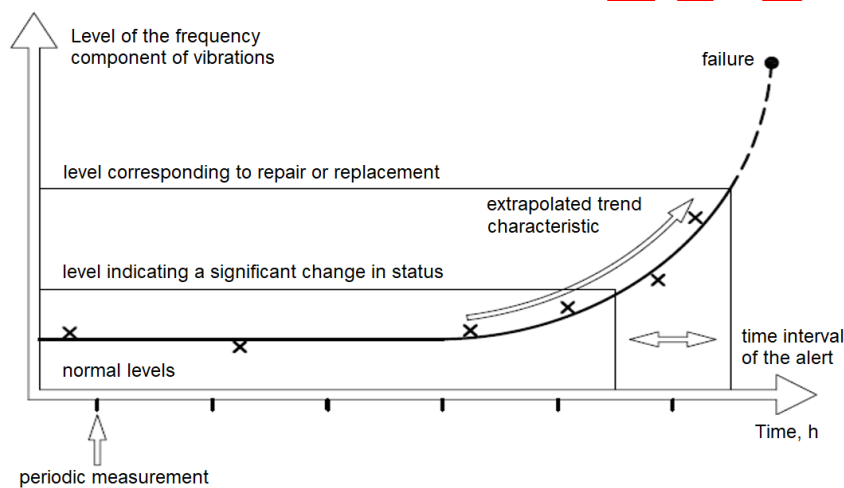
V strojoch a strojných sústavách jedným z najdôležitejších komponentov sú ložiská, ktoré umožňujú rotačný pohyb hriadeľa a súčasne prenášajú dynamické sily do konštrukcie stroja a jeho uloženia. Prevádzkyschopnosť a životnosť týchto mechanických

¹⁷ Stanislav Žiaran, prof. Ing. PhD. výskumný pracovník, Strojnícka fakulta STU v Bratislave

¹⁸ Lubomír Šooš, Dr.h.c. prof. Ing. PhD. dekan a pedagogický pracovník Strojníckej fakulty STU v Bratislave

¹⁹ Ondrej Chlebo, Ing. PhD. výskumný pracovník, Strojnícka fakulta STU v Bratislave

sústav je preto do značnej miery závislá od prevádzkového stavu ložísk a od ich životnosti. Pri kvalitných ložiskách a zodpovedajúcom dynamickom zaťažení sa ich životnosť spravidla rovná životnosti stroja, ale pre spriadacie vretenníky to neplatí. Preto u spriadacích vretenníkov je potrebné sledovať trendové charakteristiky kmitania (hľuku) a ich včasnou výmenou zabezpečiť, aby neprekročili stanovené prijateľné hranice (Obr. 1). V opačnom prípade dochádza k ich dynamickému preťaženiu, a tým aj k skráteniu ich životnosti. Vibroakustickou diagnostikou možno určiť čas, kedy sa ložisko nachádza tesne pred koncom svojej životnosti a kedy nastáva optimálny čas jeho výmeny [6]. Vylúči sa tým predčasná a zbytočná výmena ložísk vykonaná na základe stanoveného času prevádzkovania a údržby. Diagnostika teda zvyšuje istotu, spoľahlivosť a životnosť, respektíve čas medzi dvomi opravami, čím sa znižujú aj náklady na prevádzku a znižujú sa aj náklady na recykláciu materiálu. Zároveň treba zdôrazniť, že zníženie dynamického zaťaženia stroja zvyšuje životnosť samotného stroja a znižuje sa aj hladina hľuku v prevádzke, čo má pozitívny vplyv na zdravie zamestnancov.



Obr. 1 Trendová charakteristika komponentu stroja

Zo skôr uvedených oblastí aplikácie metód vibroakustickej diagnostiky sa možno najčastejšie využívajú metódy na zistenie skutočného prevádzkového stavu ložísk (valivých, klzných), resp. uloženia rotorov na ložiskách. Podľa odhadu je na svete v prevádzke približne 18 miliárd kusov valivých ložísk [6]. Dobrá a účinná diagnostika môže predísť poškodeniam iných častí stroja a v konečnom dôsledku jeho havárii, a tak výrazne znížiť náklady na opravu a recykláciu komponentov stroja. Reprezentatívnym príkladom môžu byť, v strojných sústavách, spriadacie vretenníky používané v textilnom priemysle, kde hladiny A hľuku bežne prekračujú hodnotu 90 dB, a to predovšetkým v závislosti od stupňa poškodenia ložiska, a preto včasná výmena ložísk spriadacej jednotky znižuje hľuku v pracovnom prostredí a predlžuje životnosť priradených komponentov daného strojného zariadenia a pri jeho nedostatočnej vibroizolácii aj blízkyh stavebných konštrukcií [3].

Absencia monitorovania alebo nesprávne monitorovanie prevádzkového stavu ložísk môže vyústiť aj do iného extrému, keď sa ložiská predčasne vymieňajú alebo obnovujú (klzné), a to na základe nevhodne určeného časového intervalu medzi opravami. Pri správnej voľbe diagnostickej metódy a/alebo prístroja je dôležité najprv si vyjasniť, aké poškodenia sa môžu vyskytovať pri použití valivých či klzných ložísk, a aký je percentuálny podiel jednotlivých príčin na celkovom počte poškodených ložísk. Najväčší podiel poškodenia ložísk zapríčiňuje mazivo a/alebo spôsob mazania, a to takmer v 55 % z celkového počtu známych príčin [6].

Sledovanie prevádzkového stavu sa zakladá na schopnosti monitorovania súčasného prevádzkového stavu mechanickej sústavy a na predikcii budúceho stavu tejto sústavy pri jej ďalšej prevádzke. Znamená to, že informácie sa musia získať na základe vonkajších prejavov mechanickej sústavy vyvolané vnútornými príčinami počas jej prevádzky.

2 CIEĽ, METODIKA VIBROAKUSTICKÝCH MERANÍ A MERACIA TECHNIKA

Cieľ experimentálnych meraní bol zistiť veľkosť dynamického zaťaženia ložiska spriadacích vretenníkov pri rôznych druhoch maziva a rôznej prevádzkovej frekvencie otáčania počas jeho plánovanej životnosti s využitím diagnostických senzorov, ktorá sú priamo v kontakte s vonkajším krúžkom ložiska [1]. Pri tejto metóde sa vychádza z predpokladu, že poškodené alebo opotrebené ložisko spriadacieho vretenníka bude vykazovať väčšie dynamické zaťaženie strojovej sústavy a prostredia (kmitanie, hluk) a teda aj väčší príkon. To sa okrem zvýšeného dynamického zaťaženia ložiska vretenníka prejaví aj nárastom teploty telesa vretenníka, čo bol dosiaľ jediný ukazovateľ prevádzkového stavu spriadacích jednotiek, no nie úplne spoľahlivý [2]. Cieľ experimentálnych meraní bol aj analýza vplyvu externých zdrojov generujúcich kmitanie ovplyvňujúcich dynamické zaťaženie ložiska spriadacieho vretenníka.

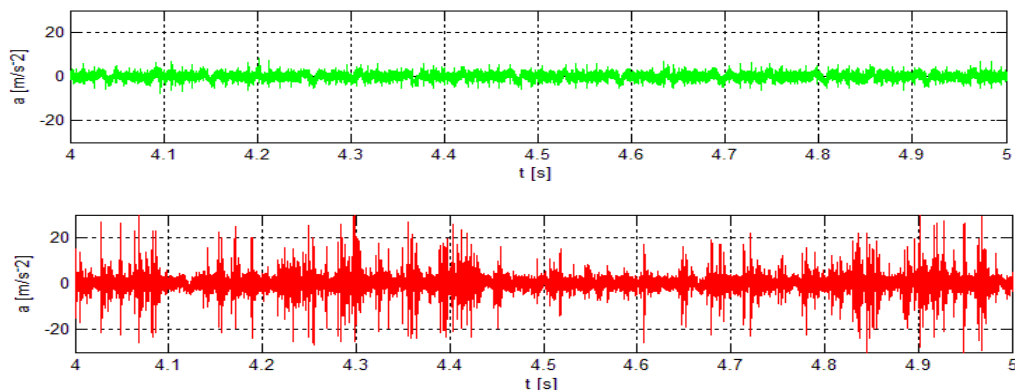
Postup hodnotenia prevádzkovej kvality ložísk z hľadiska ich hlučnosti vychádza z dynamického správania sa ložísk, teda z hodnotenia parametrov veličín mechanického kmitania. Cieľ merania zrýchlenia a mohutnosti periodického dynamického zaťaženia (kmitania) bol analyzovať veľkosť kinematických veličín zrýchlenia a rýchlosti kmitania pôsobiacich na prírubu ložiska, resp. jeho uloženie v mechanickej sústave. Z rýchlosti kmitania sa vypočítala hladina akustického výkonu vretenníka, čo umožňuje posúdiť a predikovať akustické prostredie pracoviska [8]. Veličiny kmitania nie sú ovplyvnené okolitým kmitaním tak, ako pri snímaní zvukového signálu, ktorý je viac alebo menej ovplyvnený hlukom pozadia

pri stanovení hladiny akustického výkonu samotného spriadacieho vretenníka [8]. V metodikách sa teda využíva jednoznačná súvislosť medzi mechanickým a akustickým kmitaním. Vykonala sa aj frekvenčnú analýzu, ktorej cieľ bol zistiť frekvenčné rozloženie výrazného nežiaduceho dynamického zaťaženia zariadenia a pracovného prostredia a jeho príčiny. Metodika hodnotenia kvality namontovaných ložísk rotačných komponentov mechanickej sústavy musí jednoznačne s opakovateľnosťou a/alebo reprodukovateľnosťou spoľahlivo vyhodnotiť vyhovujúce a nevyhovujúce ložiská [4].

Pri meraní mechanického a akustického kmitania sa použila najmodernejšia meracia technika od renomovanej firmy Bruel & Kjaer (B&K), a to 12 kanálová meracia karta B&K PULSE; akcelerometre s využitelnými frekvenčnými rozsahmi 0,2 Hz – 12 800 Hz; zvukový analyzátor s využitelným frekvenčným rozsahom do 25 600 Hz pre kontrolný záznam meraných signálov vrátane reziduálneho hluku.

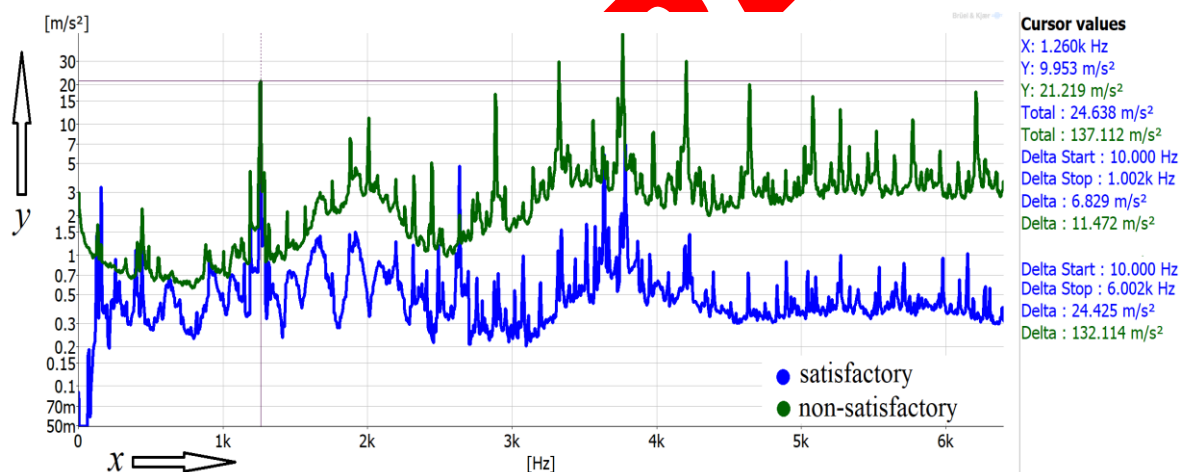
3 DYNAMICKÉ ZAŤAŽENIE LOŽÍSK A TRENDOVÉ CHARAKTERISTIKY

Časové priebehy: Dynamické zaťaženie má vplyv na priebeh generovania hladín kmitania a hluku. Časové priebehy nameraných zrýchlení kmitania nových ložísk (Obr. 2) reprezentujú výber z významnej štatistickej vzorky od dynamického zaťaženia generovaného vyhovujúcim (hore) a nevyhovujúcim (dole) ložiskom. Priebeh zrýchlenia kmitania je pri kvalitných ložiskách približne konštantný s malou amplitúdou, než pri nevyhovujúcich ložiskách, kde amplitúda zrýchlenia kmitania je v priemere niekoľkonásobne väčšia s výraznejšími pravidelnými a nepravidelnými maximálnymi amplitúdami dosahujúcich vysokých hodnôt zrýchlenia kmitania charakterizujúce napríklad pulzné zadrhávajúce. Tieto deterministické alebo náhodné maximálne amplitúdy signálu sú prejavom poškodenia obežných dráh ložiska, či jeho komponent a sú použiteľné len pre recykláciu. Bližšia špecifikácia je možná s využitím frekvenčnej analýzy, ktorá umožňuje detegovať príčiny a druhy poškodenia ložiska. Abnormálny časový dynamický prejav ložiska prostredníctvom maximálnej hodnoty zrýchlenia kmitania je jedným z kritérií objektívneho hodnotenia kvality ložísk [3, 5]. Bližšia špecifikácia je možná s využitím frekvenčnej analýzy, ktorá umožňuje detegovať príčiny a druhy poškodenia ložiska a na základe druhu poškodenia vo výrobe detegovať druh výrobných operácií, kde k poškodeniu dochádza.



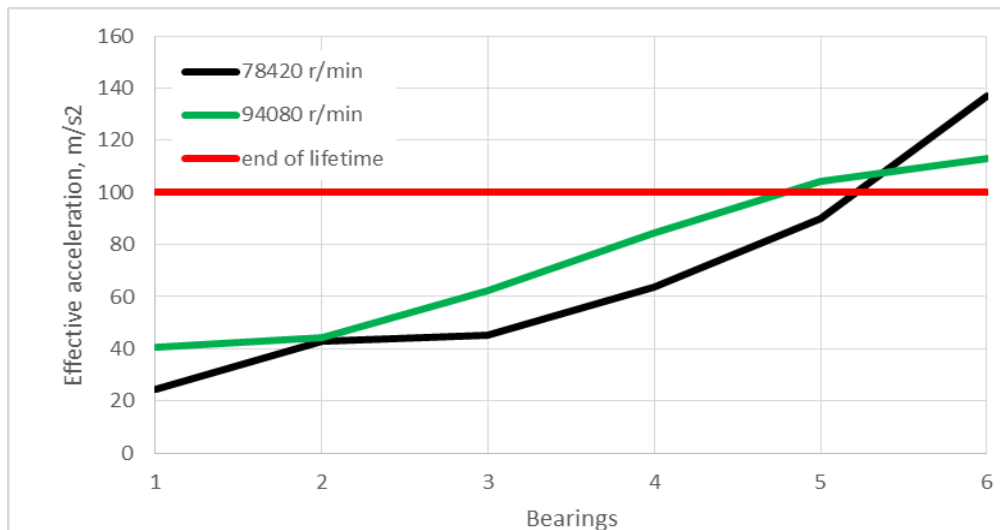
Obr. 2 Časový záznam dynamického zaťaženia ložísk: hore vyhovujúce a dole nevyhovujúce

Frekvenčná analýza: Z nameraných časových priebehov sa spracuje frekvenčné spektrum pre identifikáciu presnej frekvencie otáčania, ktorá bola 75 600 r/min pri nastavenej frekvencii otáčania 85 000 r/min (Obr. 3). Na základe frekvencie otáčania sa vypočítali charakteristické frekvencie prislúchajúce jednotlivým komponentom ložiska a pristúpilo sa k analýze príčin poškodení ložiska. Táto analýza poskytuje výrobcovi vykonať zodpovedajúce opatrenia.

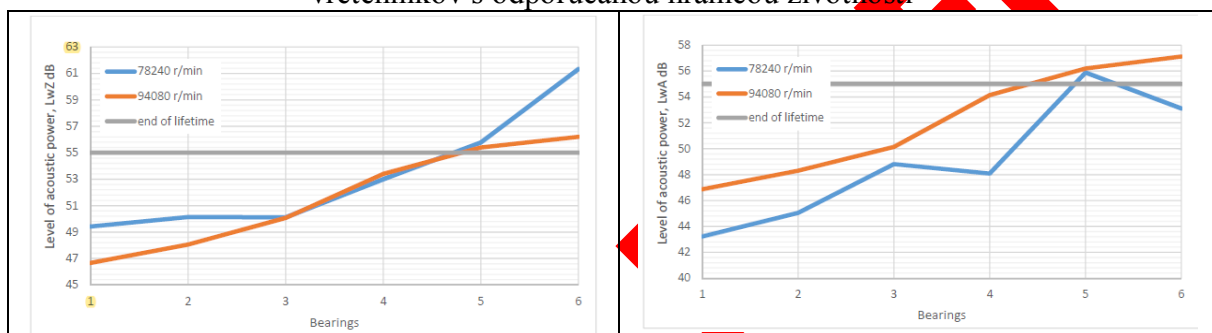


Obr. 3 Frekvenčné spektrum ložísk vyhovujúcej a nevyhovujúcej spriadacej jednotky

Trendové charakteristiky vretenníkov: Vzhádzajúc z nameraných alebo vypočítaných hodnôt získaných z prevádzkového monitorovania ložísk vretenníkov sa spracujú ich trendové charakteristiky, a to buď na základe nameraných hodnôt kmitania (obr. 4) alebo na základe vypočítaných hodnôt hladín akustického výkonu s nameranej mohutnosti kmitania (obr. 5) [8]. Využitie zrýchlenia kmitania je výhodné z hľadiska životnosti ostatných komponentov strojného zariadenia a využitie hladín akustického výkonu z hľadiska zabezpečenia vyžadovaných pracovných podmienok z hľadiska expozície hluku zamestnancov [7].



Obr. 4 Trendové charakteristiky ložísk z merania zrýchlenia kmitania spriadacích vretenníkov s odporúčanou hranicou životnosti



Obr. 5 Trendové charakteristiky ložísk z vypočítaných hladín akustického výkonu s vážením Z a A spriadacích vretenníkov s odporúčanou hranicou životnosti

ZÁVER

V prípadoch, kde sledované strojné zariadenie zaujíma kľúčové postavenie vo výrobe a má rozhodujúci vplyv na tvorbu produkcie, a teda aj ekonomickú stránku alebo bezpečnosť a zdravie človeka, sa odporúča zavádzať systémy diagnostiky pri sledovaní prevádzkového stavu ložísk strojných zariadení. Monitory kmitania okamžite indikujú zmeny prevádzkového stavu sledovaných strojných zariadení. Prevádzkové monitorovanie prináša približne 60 % úspor v rámci údržby.

ACKNOWLEDGEMENTS

The research presented in this paper is an outcome of the project No. APVV-19-0538 "Progressive hybrid high-speed spinning actuator" funded by the Slovak Research and Development Agency. The research presented in this paper is an outcome of the project No. 030STU-4/2022 „RORESA - Application of augmented reality in the education process of machine tools and production systems“ funded by the Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic

LITERATÚRA

- [1] CHLEBO, O., ŽIARAN, S., ŠOOŠ, L.: Diagnostický senzor vretenníka. Úžitkový vzor 9571, Úrad priemyselného vlastníctva SR, 2022.
- [2] ŽIARAN, S., CHLEBO, O., ŠOOŠ, L.: Methodology of Objective Evaluation of Quality Bearings by Vibro-Acoustics and Its Comparison with a Subjective Method. Akustika. Volume 37, pp. 58-66, 2020.
- [3] ŽIARAN, S., ŠOOŠ, L., CHLEBO, O.: Primary Noise Control in the Work Environment by Increasing the Quality of Bearings and Effective Mounting of Machines. ARCHIVES OF ACOUSTICS, Vol. 45, No. 2, pp. 253–262, 2020.
- [4] CHLEBO, O., ŠOOŠ, L., ŽIARAN, S., MUSIL, M. Application of Vibroacoustics in Subjective and Objective Assessment of Bearing Quality. Proceedings of the International Conference Acoustics 2019 High Tatras 2019 pp. 203-208, ISBN 978-80-228-3157-4.
- [5] ŽIARAN, S., MUSIL, M., CHLEBO, O.: [Determination of the Bearing Quality by Means of Vibroacoustic Response](#). Proceedings of Internoise/ASME NCAD Noise control and acoustics division conference, 2015, Article number: V001T01A004-1.
- [6] ŽIARAN, S.: Technická diagnostika. Vedecká monografia. Vydavateľ STU v Bratislave 2013, str. 332, ISBN 978-80-227-4051-7.
- [7] ŽIARAN, S.: Ochrana človeka pred kmitaním a hlukom. Vedecká monografia. Vydavateľ STU v Bratislave 2008, str. 264, ISBN 978-80-227-2799-0.
- [8] CEN ISO/TS 7849-1 Acoustics. Determination of airborne sound power levels emitted by machinery using vibration measurement. Part 1: Survey method using a fixed radiation factor.

Zborník prednášok medzinárodnej vedeckej konferencie TOP 2023

Editori: Ľudovít Kolth, Miroslav Morvát

Vydala: Strojnícke oddelenie STU v Bratislave v roku 2023

Tlač:

Kontakt:

ISBN