

WASTE FORUM



ELECTRONIC PEER-REVIEWED JOURNAL ON ALL TOPICS
OF INDUSTRIAL AND MUNICIPAL ECOLOGY

RECENZOVANÝ ČASOPIS PRO VÝSLEDKY VÝzkumu a VÝvoje
z OBLASTI PRŮmyslové a KOMUNÁLNÍ EKOLOGIE

YEAR 2017

No. 5

Pages 357 – 536

Patron of the issue / Patron čísla

Týden výzkumu a inovací pro praxi a životní prostředí TVIP 2018
zahrnující konference APROCHEM a PRŮmyslová EKOLOGIE
a symposium ODPADOVÉ FÓRUM
6. – 8. 3. 2018, Hustopeče, hotel Centro, www.tvip.cz

OBSAH / INDEX

Úvodní slovo šéfredaktora / Editorial	360
Pro autory / For authors	361
The analysis of reflector options evaluation from cars after their lifetime under the conditions of the Slovak Republic	362
Analýza možností zhodnotenia reflektorov z automobilov po dobe ich životnosti v podmienkach Slovenskej republiky	
<i>Miroslav BADIDA, Lýdia SOBOTOVÁ, Tibor DZURO, Marek MORAVEC, Pavol LIPTAI, Anna BADIDOVÁ</i>	
Influence of steam temperature on biomass gasification process	372
Vliv teploty pridávané páry na zplyňovací proces	
<i>Marek BALÁŠ, Martin LISÝ, Pavel MILČÁK, Jiří POSPÍŠIL</i>	
Experimentálne zisťovanie efektivity spracovania dreveného materiálu pre výrobu peliet	379
Experimental determination of wood material preparation effectiveness for pellets production	
<i>Juraj BENIAK, Peter KRIŽAN, Ľubomír ŠOOŠ, Miloš MATÚŠ</i>	
Energy recovery of the Sludge from Wastewater Treatment Plant and its impact on the Environment	388
Energetické zhodnotenie kalu z čistiarne odpadových vôd a jeho dopad na životné prostredie	
<i>Mária DUBCOVÁ, Ivona ŠKULTÉTYOVÁ, Mária TROŠANOVÁ, Réka CSICSAIOVÁ</i>	
Applying of the in-situ measured data on the flow simulation in the sedimentation tanks	394
Applikácia in-situ meraných údajov na simuláciu prúdenia v sedimentačných nádržiach	
<i>Veronika GREGUŠOVÁ</i>	
An accurate measurement of the volume of construction waste dumps by unmanned means	401
Presné meranie objemov skládok stavebného odpadu pomocou bezpilotných prostriedkov	
<i>Karol GRÜNNER, Juraj DUDÁŠ</i>	
Recyklácia použitých automobilových katalyzátorov	408
Recycling of used automotive catalysts	
<i>Tomáš HAVLIK, Andrea MIŠKUFOVÁ, Jakub KLIMKO, Ján MÁRIÁSSY, Peter TUREK</i>	
Current status and potential of biomass utilization in the Slovak Republic	418
Aktuálny stav a potenciál využívania biomasy v Slovenskej republike	
<i>František JANÍČEK, Jana NÉMETHOVÁ, Milan PERNÝ, Vladimír ŠÁLY</i>	
Influence of Raw Sawdust Treatment on Pellets Properties and Combustion of Pellets	427
Vplyv úpravy pilín na vlastnosti a spaľovanie peliet	
<i>Peter KRIŽAN, Miloš MATÚŠ, Juraj BENIAK, Mário COSTA</i>	
The Perspectives of the Use of Sewage Sludge Utilization from the Point of View of Health and Ecological Risks	435
Perspektiva využití kalu z ČOV z hľadiska současných zdravotních a ekologických rizik	
<i>Ladislava MATĚJŮ, Zdislava BOŠTÍKOVÁ, Magdalena ZIMOVÁ</i>	
Mechanická recyklácia odpadovej polyuretánovej peny formovaním pod tlakom	441
Mechanical recycling of waste polyurethane foam by compression moulding	
<i>Miloš MATÚŠ, Ľubomír ŠOOŠ, Jozef BÁBICS, Juraj BENIAK, Peter KRIŽAN</i>	
Sustainability of the ELV processing system in the Slovak Republic and forecasting of waste streams from the operation of passenger motor vehicles	452
Udržateľnosť systému spracovania vozidiel po dobe životnosti v Slovenskej republike a odhad prúdov odpadov z prevádzky osobných motorových vozidiel	
<i>Pavol OCHOTNICKÝ, Marek KÁČER, Martin ALEXY</i>	

Method of determination of the boundary strength of pressed sheets of car bodies for categories from 1300 cm³ to 1900 cm³	468
Metóda stanovenia medznej pevnosti lisovaných plechov karosérií pre kategórie od 1300 cm ³ do 1900 cm ³	
Iveta ONDEROVÁ, Juraj ONDRUŠKA, Viliam ČAČKO, Ľubomír ŠOOŠ	
Environmentálna charakteristika recyklovaných zlievarenských samotuhnúcich zmesí	478
Environmental characteristics of the reclaimed foundry self-hardening mould sands	
Marcela POKUSOVÁ, Marta MURGAŠOVÁ, Zuzana ADAMEKOVÁ, Pavel KOVÁČ	
Combustion Engine and Energy Recovery of Municipal Waste	485
Spaľovací motor a energetické zhodnocovanie komunálneho odpadu	
Marián POLÓNI, Andrej CHRÍBIK, Ján LACH	
Study of the possibilities of processing dust from polypropylene waste	493
Štúdium možností spracovania prašného podielu z polypropylénového odpadu	
Jana REPKOVÁ, Ernest GONDÁR, Ľudovít KOLLÁTH	
Hollow Glass Microspheres Produced from the Automotive Waste Glass	499
Duté sklené mikroguličky pripravené z odpadového automobilového skla	
Peter ŠIMURKA, Štefan ŠKULTÉTY, Jozef KRAXNER	
Recyklace stavebních a demoličních odpadů v ČR v podmírkách novelizované legislativy	505
Recycling of construction and demolition waste in the Czech Republic under the current law conditions	
Miroslav ŠKOPÁN	
Prototyp tlakového uzáveru výstupu suchých kalov proti úniku pary	511
Prototype of a continuous pressure closure in a steam drying process	
Juraj ONDRUŠKA, Ľubomír ŠOOŠ, Jozef BABICS, Iveta ONDEROVÁ, Jerzy CHOJNACKI	
Nová technológia dekompozície lepených skiel	519
New technology decomposition of bonded glasses	
Ľubomír ŠOOŠ, Marcela POKUSOVÁ, Miloš MATUŠ, Pavel KOVÁČ	
The possibilities of practical use for recycled concrete in structures	531
Možnosti využití betonového recyklátu ve stavební praxi	
Jan VODIČKA, Alena KOHOUTKOVÁ, Hana HANZLOVÁ, Tereza HLAVÁČOVÁ	
Six great reasons why to study at Faculty of Mecanical Engineering Slovak Univerzity of Technology in Bratislava	535
Juraj Beniak, Nadežda Švancarová	
Institute of Manufacturing Systems, Environmental Technology and Quality Management	536
Peter Križan	

WASTE FORUM – recenzovaný časopis pro výsledky výzkumu a vývoje pro průmyslovou a komunální ekologii
 ISSN: 1804-0195; www.WasteForum.cz. Vychází čtvrtletně.

Časopis vychází od roku 2008 a od roku 2017 je indexován v databázi SCOPUS.

Ročník 2017, číslo 5

Vydavatel: CEMC – České ekologické manažerské centrum, IČO: 45249741, www.cemc.cz

Adresa redakce: CEMC, ul. 28. pluku 524/25, 101 00 Praha 10, ČR, fax: +420/274 775 869

Šéfredaktor: Ing. Ondřej Procházka, CSc., tel.: (+420) 723 950 237, e-mail: prochazka@cemc.cz, wasteforum@seznam.cz

Redakční rada: Ing. Vratislav Bednářík, CSc., doc. Ing. Vladimír Čablík, CSc., prof. Dr. Ing. Miroslav Černík, CSc., prof. Ing. Tomáš Havlík, DrSc., prof. Ing. František Hrdlička, CSc., Ing. Slavomír Hredzák, CSc., prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D., prof. Ing. František Kaštánek, CSc., doc. RNDr. Jana Kotovicová, Ph.D., doc. Dr. Ing. Martin Kubal, prof. Ing. Mečislav Kuraš, CSc., prof. Mgr. Juraj Ladomerský, CSc., prof. Ing. Petr Mikulášek, CSc., prof. Norbert Miskolczi, prof. Ing. Lucie Obalová, Ph.D., Ing. Miroslav Puňcochář, CSc., DSc., Ing. Klára Slezáková, PhD., Ing. Lenka Svecova, Ph.D., doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc., prof. Ing. Lubomír Šooš, PhD., prof. dr. hab. inž. Barbara Tora.

Web-master: Ing. Vladimír Študent

Redakční uzávěrka: 8. 12. 2017. Vychází: 28. 1. 2018



Úvodní slovo šéfredaktora

Vážení čtenáři,

máte před sebou číslo nad plán, které jsme připravili ve spolupráci s organizátory 23. ročníku konference **Technika ochrany prostředí TOP 2017**. Mezinárodní vědecký výbor konference vybral z jejího programu ty nejlepší příspěvky, které souvisejí se zaměřením tohoto časopisu.

Mezinárodní konferenci TOP už 23 roků organizuje Ústav výrobných systémov, environmentálnej techniky a manažmentu kvality Strojnickej fakulty STU v Bratislave v úzké spolupráci s Ministerstvom životného prostredia SR a ďalšími partnermi. Odborným garantem 23. ročníku bylo Združenie automobilového priemyslu SR. Konference se za dobu své existence stala významným diskusným fórom, miestom výmeny názorov odborníkov v odpadovém hospodárství SR a šírení nejnovějších informací a poznatků.

Děkuji touto cestou prof. Ing. Ľubomíru Šoošovi, PhD., předsedovi vědeckého výboru a doc. Ing. Ľudovítu Kolláthovi, PhD., organizačnímu garantovi konference za spolupráci při přípravě tohoto čísla i za možnost osobně se mnohokrát účastnit jejich konference.

Ondřej Procházka

Editorial

Dear readers,

You have before you the issue we have prepared in conjunction with the organizers of the 23rd annual conference of the Technical Protection of the Environment, TOP 2017. The international scientific committee chose from its program the best papers having to do with the focus of this journal.

The TOP international conference has been prepared by the Institute of Manufacturing Systems, Environmental Technology and Management of Quality of the Mechanical Engineering Faculty, Slovak University of Technology in Bratislava in close cooperation with the Ministry of the Environment SR and other partners. The professional guarantor of the 23rd anniversary is the Automobile Industry Association SR. Over its existence the conference has become an outstanding discussion forum, the site of the exchange of opinions by experts in the waste economy of the SR and the dissemination of the newest information and ideas.

In this manner I thank prof. Ing. Ľubomír Šooš, PhD., Chair of the Scientific Committee, and doc. Ing. Ľudovít Kolláth, PhD., the organizational guarantor of the conference, for their cooperation in preparing this issue and for the opportunity to once again participate personally in this conference.

Ondřej Procházka

Pro autory

Časopis WASTE FORUM je časopis určený pro publikování původních vědeckých prací souvisejících s průmyslovou a komunální ekologií. Tj. nejen z výzkumu v oblasti odpadů a recyklace, jak by mohl naznačovat název časopisu, ale i odpadních vod, emisí, sanací ekologických zátěží atd. Vychází pouze v elektronické podobě a čísla jsou zveřejňována na volně přístupných internetových stránkách www.WasteForum.cz.

Do redakce se příspěvky zasílají v kompletně zalomené podobě i se zabudovanými obrázky a tabulkami, tak zvané „**printer-ready**“. Pokyny k obsahovému členění a grafické úpravě příspěvků spolu s přímo použitelnou **šablonou grafické úpravy** ve WORDu jsou uvedeny na www-stránkách časopisu v sekci **Pro autory**. Ve snaze dál rozšiřovat okruh možných recenzentů žádáme autory, aby současně s příspěvkem napsali tři tipy na možné recenzenty, samozřejmě z jiných pracovišť než je autor či spoluautory. Je vždy dobré mít rezervu.

Publikační jazyk je čeština, slovenština a angličtina. Preferována je angličtina a v tom případě je nezbytnou součástí článku na konci název, kontakty a abstrakt v českém či slovenském jazyce, přičemž rozsah souhrnu není shora nijak omezen.

Vydávání časopisu není nikým dotované. Proto, aby somo příjmově pokryli náklady spojené s vydáváním časopisu, vybíráme publikační poplatek ve výši 200 Kč za každou stránku u příspěvků v anglickém jazyce, u ostatních je 500 Kč za stránku. Uvedené částky jsou bez DPH. V případě nepublikování příspěvku v důsledku negativního výsledku recenzního řízení je tato částka poloviční.

Uzávěrka nejbližšího čísla časopisu WASTE FORUM je 8. dubna 2018, další pak 8. července 2018.

For authors

WASTE FORUM is an electronic peer-reviewed journal that primarily publishes original scientific papers from scientific fields focusing on all forms of solid, liquid and gas waste. Topics include waste prevention, waste management and utilization and waste disposal. Other topics of interest are the ecological remediation of old contaminated sites and topics of industrial and municipal ecology.

WASTE FORUM publishes papers in English, Czech or Slovak. Articles submitted must include a abstract in Czech (Slovak) or English language, respectively.

Manuscripts for publication in the journal WASTE FORUM should be sent only in **electronic form** to the e-mail address prochazka@cemc.cz or wasteforum@seznam.cz. Manuscripts must be fully formatted (i.e. printer-ready) in MS WORD. The file should have a name that begins with the surname of the first author or the surname of the corresponding author.

All articles submitted for publication in WASTE FORUM undergo assessment by two independent reviewers. The reviews are dispatched to authors anonymously, i.e. the names of the reviewers are not disclosed to the authors.

All papers that were not subjected to a peer-review are labeled in a header of each page by the text **Not peer-reviewed and commercial papers**.

Revenue to cover at least the costs associated with the issuance of the magazine, we select a publication fee **200 CZK per each new page for articles reviewed part of issue and CZK 500 for every new page for contributions in the second part of the issue**.

The deadline of the next issue is on April 8, 2018, more on July 8, 2018.

The analysis of reflector options evaluation from cars after their lifetime under the conditions of the Slovak Republic

**Miroslav BADIDA, Lýdia SOBOTOVÁ, Tibor DZURO, Marek MORAVEC,
Pavol LIPTAI, Anna BADIDOVÁ**

*Department of Process and Environmental Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Košice, Letná 9, 042 00 Košice, Slovakia
e-mail: miroslav.badida@tuke.sk, lydia.sobotova@tuke.sk, tibor.dzuro@tuke.sk, marek.moravec@tuke.sk, pavol.liptai@tuke.sk, anna.bandidova@tuke.sk*

Summary

The paper deals with the analysis of the possibility of a recovery of the reflectors (luminaires) from the cars that have ended their life. The lamps are components that have not been addressed yet in terms of a recovery of material used to produce them. The authors present their own research work related to the dismantling of car lights. There are two approaches to the disassembly: a reverse assembly and a destructive disassembly. The aim of both approaches is to get the most amount of a homogeneous plastic and of other types of the materials used. The paper includes the results of the analysis of components, materials, time trials disassembly headlamps, as well as the technical and economic analysis of the different alternatives proposed disassembly. There are 3D simulations of the proposed workplaces presented.

Keywords: cars, material composition, reverse assembly, disassembly, recycling, reflectors

Introduction

The automotive industry is today a sector that significantly influences and at the same time develops other sectors of the national economy such as engineering, metallurgical, electrical, chemical or construction industries. Over the past decade, the car production has been steadily rising, with the SR not relegating. There are about a billion cars in the world, of which about 200 million cars drive on the European roads and more than 2 million cars drive in the Slovak Republic.

The Slovak car makers produced a record number of cars in 2016, while PSA Group Slovakia produced 315 050 vehicles, KIA Motors produced 339 500 vehicles, and Volkswagen produced 345 540 vehicles. In total 1 000 900 cars were produced¹. In 2014, there was around 80 million cars produced worldwide, with the average passenger car weight of 1,25 tons representing 100 million tons of the clean processed material. It is clear that, in addition to 'pure material', the car production also generates waste, which producers have to take care of and at the same time after the end of its life cycle, the car itself becomes the hazardous waste that needs to be taken care of². The basic legal regulation is the Directive of the European Parliament and of the Council no. 2000/53 / EC of 18 September 2000 on end-of-life vehicles (ELV)³. This Directive establishes the measures whose the primary objective is to prevent the generation of waste from vehicles as well as reuse, recycling and other forms of recovery of durable vehicles and their components in order to reduce the amount of waste disposed of and to improve the protection of the environment by engaging all economic operators, involved in the life cycle of vehicles, but especially those involved in the after-sales process of vehicles. The Directive includes, inter alia, the limits on the reuse and recovery of components³.

The authors of the paper focused on the issue of the automobile reflectors dismantling over their lifetime^{2, 4, 5}. The reflector itself consists of several materials such as: plats, glass, metals, rubber, and so on. Reflector structures start to dominate over plastic^{8, 9}. Of the total amount of plastics in the automobile (approximately 143,4 kg / car²), the reflectors (lighting) represent about 5,6 %² of the total amount of used plastics.

The analysis of components and material composition of vehicle reflectors

For the purpose of the experimental disassembly, the authors chose the Skoda Octavia of the 2nd generation car. The experimental disassembly and decomposition of the Skoda Octavia automobile lights was done for the following purposes²:

- the analysis of components of individual types of luminaires and their material composition,
- the detection of the mass proportions of the individual materials used in the luminaires,
- to assess the possibilities and difficulty of disassembling the lights (analysis of joints, use of tools and tools, etc.),
- to design an optimal disassembly procedure to evaluate the effectiveness of the entire disassembly process.

The variety of types of car lights are very large Figure 1.



Figure 1: Types of headlamps

For the purpose of disassembly and decomposition, the following external lights were selected from the Skoda Octavia of the 2nd generation (Figure 2):

- front lights,
- rear group lights,
- front fog lights,
- side direction lights,
- branding light.

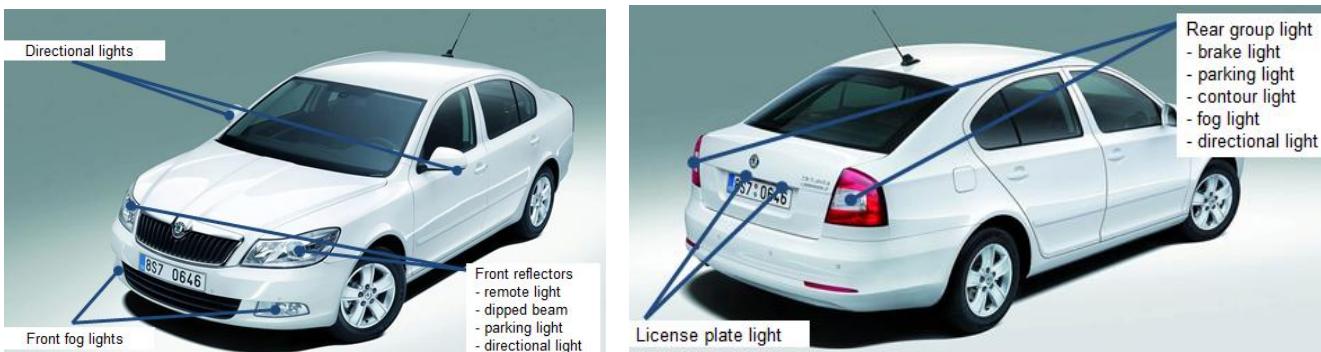


Figure 2: Exterior car lighting

The authors of the post performed consistent decomposition of the selected lighting an example is the decomposition of the front light Skoda Octavia of the 2nd generation (Figure 3).



Figure 3: Decomposition of the front light of the Skoda Octavia of the 2nd generation

Table 1 below includes the material and weight composition of the Skoda Octavia of the 2nd generation car headlamp.

Table 1: Material and mass composition of the headlamp components

No.	Component	Material	Labeling of material	Weight [g]
1.	Front cover	polycarbonate	PC	565
2.	Back cover	polypropylene	PP	1025
3.	Frame	high temperature polycarbonate	PC-HT	560
4.	Reflector	unsteamed polystyrene with glass fibers	UP-GF	125
5.	Electrocomponents and motorbike	copper, rubber, plastic	-	130
6.	Frame of lens	polybutylen terephthalat	PBT	80
7.	Lens	glass	G	145
8.	Body of the lens	Fe metal	Fe	210
9.	Plastic handles	Plastic mix	-	40
10.	Screws	Fe metal	-	10
Total				2890

Analogously, there was the decomposition of other lamps carried out². Based on this analysis, the weight of the materials in the lights of one Skoda Octavia of 2nd generation was determined (Table 2).

Table 2: Mass weight of materials in the lights of Skoda Octavia of 2nd generation car

No.	Material	Labeling of material	Weight [kg]
1.	Polypropylene	PP	1,025
2.	Polypropylene + 20 % filled with talc	PP+TD 20	0,105
3.	Polycarbonate	PC	0,855
4.	Acrylonitrile Butadiene Styrene - Polycarbonate	ABS-PC	0,480
5.	Acrylonitrile Butadiene Styrene - Polycarbonate	ABS-PC	0,480
6.	Acrylonitrile Butadiene Styrene	ABS	0,016
7.	Acrylonitrile Styrene Acrylate	ASA	0,025
8.	Polymethyl methacrylate	PMMA	0,295
9.	Polybutylen terephthalat	PBT	0,08
10.	Unsaturated polyester with glass fibers	UP-GF	0,125
11.	Polyamide with fiberglass	PA66-GT14	0,025
12.	Polyamide with fiberglass	PA66-GF30	0,002
13.	Mixed plastic		0,04
14.	Glass		0,145
15.	Electrocomponents		0,13
16.	Gum		0,028
17.	Ferrous meta		0,022
Total			4,008
Total weight of individual materials			8,016

The time study of the automobile reflectors removal

The following part of the paper deals with the time studies, which include the time consumption of two options of the automobile reflectors disassembly:

- the time study of the automobile reflectors disassembly (a reversed assembly),
- the time study of the automobile reflectors disassembly (by so-called destructive disassembly).

The example of the time study of the front reflector by the reversed assembly is shown in Table 3.

Table 3: The timing of the reversible disassembly of the front reflector

Operation:	Removal of the front light	
	Tool	Time (min:sec)
Removal the outer cover	manually	00:12,2
Removal of seals	manually	00:10,5
Breaking the body of light	screwdriver	00:17,5
Light bulb	manually	00:15,5
Separation of the metal plate and small parts	manually, screwdriver	00:28,6
Removal of cables	manually	01:24,6
Dismantling the motorcycle	manually, screwdriver	00:24,5
Σ		02:24,4
Total time (2 pcs)		04:48,8
Total time (decadic) min		4,82

The example of the time study of the destructive disassembly of the front reflector is given in Table 4.

Table 4: The timing of the destructive disassembly of the front reflector

Operation	Tool	Time (min:sec)
Light bulb fitting as needed	manually	00:12,2
Fragmentation by dividing lines	breaker	00:10,5
Split front cover	manually	00:11,3
Fold the rear cover	manually	00:12,4
Frame separation	clamp, screwdriver	00:07,3
Removal of the reflector	manually	00:08,3
Unscrew the motorbike	manually, screwdriver	00:11,2
Removal of the cables	tool 3	00:10,0
Removal of the Body of Lenses and Lenses	tool 1	00:05,3
Removal of the handles	pliers	00:04,7
Friction of screws	tool 2	00:10,0
Σ		01:43,2
Total time (2 pcs)		03:26,4
Total time (decadic) min		3,44

On the basis of the time analyzes^{4,5} that have been carried out, the time required for the reserve installation and disassembly of the car lights (front reflector, rear group light, fog light, side direction light and state license plate light) per a vehicle was determined below (Table 5).

Table 5: The reverse assembly and disassembly comparison

	Reverse assembly	Disruptive dismantling
Front reflectors (2 pcs)	4,82 min/ vehicle	3,44 min/ vehicle
Rear group lights (2 pcs)	6,47 min/ vehicle	4,56 min/ vehicle
Fog Lights (2 pcs)	4,02 min/ vehicle	3,58 min/ vehicle
Side direction lights (2 pcs)	4,84 min/ vehicle	2,24 min/ vehicle
Shields (2 pcs)	2,48 min/ vehicle	2,48 min/ vehicle
Crush		2,68 min/ vehicle
Total	22,63 min/ vehicle	18,98 min/ vehicle

The material and mass composition of the lamps (only external) of the analyzed car are shown in Table 6.

Table 6: The material and mass composition of the lamps

Skoda Octavia of the 2 nd generation vehicle [1 PSC]	Material	Weight [kg]	Representation [%]
Car Lighting components (exterior)	Plastics	7,366	91,9
	Glass	0,29	3,6
	Electro	0,26	3,2
	Gum	0,056	0,7
	Fe metals	0,044	0,6
	Total	8,016	100

The resulting calculations of the total amount of the waste generated from the automobile lamps were based on the statistical data the includes the number of processed vehicles in Slovakia (Table 7 - Source: Recycling Fund). For the calculations, we considered data for 2015. We have not been able to get any new data.

Table 7: The vehicle processing statistics for 2004 to 2015²

Year	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Pieces	723	3929	19 449	28 413	37 209	72 508	37 889	34 915	32 795	34 408	28 052	26 642

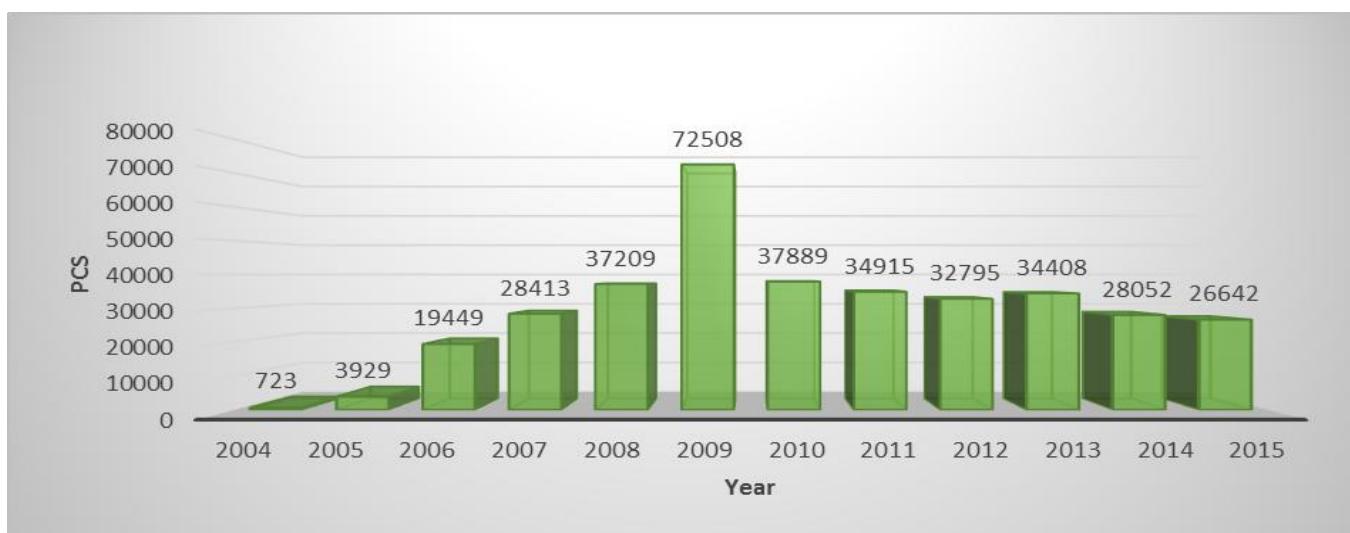


Figure: 4 Vehicle processing developments for 2004 to 2015

Based on information about the type of material, the available quantity of material and the available purchase prices of the material obtained, it was possible to complete the data in Table 8.

Table 8: The amount of waste of the lanterns and revenue from sale processing of 26 642 pcs old vehicles (2015)⁴

Material	Weight [kg]	Representation [%]	Pieces [kg/year]	Purchase price [€/kg]	Revenue from the sale [€/year]
Plastics	7,366	91,9	196 245	0,1 - 0,5	196 24,5 - 98 122,5
Glass	0,29	3,6	7 726,18	-	-
Electro	0,26	3,2	6 926,92	0,53 - 0,87	3 671,27 - 6 026,42
Gum	0,056	0,7	1 491,95	-	-
Fe metals	0,044	0,6	1 172,25	0,10 - 0,15	117,23 - 175,84
Suma	8,016	100	213 562,30	-	23 413 - 104 324,76

Copper cables – the price of 1 kg

Cu content from 20 % (Ø below 1 mm) 0,1 – 0,3 €

Cu content 21 % – 30 % (Ø below 1 mm) 0,4 – 1,0 €

Cu content from 31 % – 40 % (Ø below 1 mm) 1,10 – 1,30 €

Ø 0,53 – 0,87 €

The largest percentage of the materials in the automobile luminaire are plastics, up to about 91,9 % of the weight of the lamp. There are very diverse types of plastics^{6, 4, 8, 9}. It should also be borne in mind that plastics used to produce automobile reflectors account for only about 5,6 % of the mass of the plastics used in the automobile (Table 9) of the total material.

Table 9: The plastics in an automobile

Parts	Main types of plastics	Weight in average car [kg]
Bumpers	PP	10,4
Seats	PUR, PP, PA, PVC, ABS	18,4
Interior of a car	PP, SMA, ABS, PC, PVC, PUR	21,3
Fuel system	PE, POM, PA	8,6
Bodywork (including body panels)	PP, PPE, UP	10,8
Components under the hood	PA, PP, PBT	13,8
Interior trim	PP, ABS, POM, PVC, PUR	31
Electrical and electronic components	PP, PVC, PA, PBT, PE	10,3
External cladding	ABS, PA, PP, PBT, ASA	5,1
lighting	PP, PC, ABS, PMMA, UP	5,6
Upholstery	PUR, PP, PVC	6,8
Other reservoirs	PP, PE, PA	1,5
Total		143,4

The composition of the car is shown in Table 10.

Table 10: The material composition of cars

Materials used in the automotive industry	
Steel	41 %
Unalloyed steel	18 %
Aluminum	8 %
Alloy	6,4 %
Zinc, copper, magnesium	2 %
Gum	5,6 %
Plastics	9,3 %
Other materials	9,7 %

A high percentage of use of plastic materials (or components) is also expected in the future due to the growing demand from consumers, therefore the both, a weight reduction and, low consumption vice versa is important^{4, 5}.

The design of a layout solution for the disassembly of reflectors

The authors of the paper suggest two options of the reflectors dismantling from vehicles after their lifetime:

- reverse mounting (Figure 5),
- destructive disassembly (Figure 6).



Figure: 5 A workplace layout (3D - view) of the reverse installation



Figure: 6 A dispositional layout (3D - view) of the destructive dismantling

The goal of both solutions for light disassembly is to obtain the most efficient individual types of plastics and other types of materials that can be subsequently evaluated. A detailed design of the workplaces is mentioned in the report⁵.

Conclusion

The research team, in solving the partial role of the project, „ Integrated research platform for the recovery of individual waste streams, especially from the automotive industry ”, focused on the component of the automobile - a reflector (exterior car lights). The lamps from cars are, at present, the waste that can be labeled problematic. Recycling companies and services dispose of this waste in a variety of ways (landfill, incinerator, etc.). The authors solved the problem of a valorization of automobile luminaires in two ways: by retrofitting and destructive disassembly in the study^{2, 4, 6} capacitive conversions related to the disassembly process were performed. It came to the following conclusions:

According to the preliminary experience of disassembly of different types of reflectors by the method of reversing assembly, it is reasonable to establish in the conditions of the Slovak Republic 4 dislocated workplaces in the recycling centers of cars in two-shift operation of 2 + 2 workers.

According to the time studies of destructive disassembly of individual species, it is rational, under the conditions of the Slovak Republic, to establish 3 dislocated workplaces in the recycling centers of cars in a one-shift operation with 3 + (1) workers (temporary worker). The workshop could be additionally equipped with a plastic shredder and the plastic shredder, which reduces the transport costs and reaches the higher purchase unit price of the plastic crush.

Receiving workstations from disassembled reflectors is assumed as follows:

Reception from one vehicle	3,04 EUR / vehicle (reversed assembly).
Intake from one vehicle (separate pulp)	3,12 EUR / vehicle (destructive dismantling)
Capacity 4 work places	7 360 Nh / year (Reverse Mounting).
Capacity of workplace 3 + (1)	6 440 Nh / year (destructive dismantling)
Required standard vehicle hours	22,63 min/vehicle = 0,3772 h/vehicle (installation).
The necessary man-hours for the vehicle	18,98 min / 0,3162 h = vehicle / vehicle (d. Rep.)
Number of vehicles dismounted	19,512 vehicles / year (reversed assembly).
Number of dismantled vehicles	20,363 vehicles / year (destructive dismantling)

The payback period of the reversing assembly is assumed to be 3 years, and the recovery time of the disassembly plant is assumed to be 2,63 years. In connection with the concept of a closed loop economy, according to Duflou et al¹⁴. Still, it is not clear in academic and industrial circles whether systematic disassembly of the product in the context of used products is viable to its achievement and it seems that the contradiction of economic and environmental priorities results in a downward trend in non-destructive disassembly as a target scenario for in-use products. This is also the opinion of the authors.

Acknowledgements

The paper was based on project No. P 11790/2016: Integrated research platform for the recovery of individual waste streams, especially from the automotive industry.

References

1. Slovak carmakers produced a record number of vehicles in 2016.: online - [2.1.2018] Available on the Internet: <https://www.automagazin.sk/slovenske-automobilky-vyrobovaly-v-roku-2016-rekordny-pocet-vozidiel/>
2. Badida, M. et al.: Analysis of headlamp upgrading capabilities. In.: Project No. P 11790/2016: Integrated research platform for the recovery of individual waste streams, especially from the automotive industry. I Stage, Bratislava, 2017, p. 29.
3. European Parliament and Council Directive No. 2000/53 / EC of 18 September 2000 on end-of-life vehicles.
4. Badida, M. et al.: Economic analysis of waste-reflector recovery. In.: Project No. P 11790/2016: Integrated research platform for the recovery of individual waste streams, especially from the automotive industry. II Stage, Bratislava, 2017, p. 13.
5. Badida, M. et al.: The proposal of the reflector disassembly workplace. In.: Project No. P 11790/2016: Integrated research platform for the recovery of individual waste streams, especially from the automotive industry. III Stage, Bratislava, 2016, p. 46.
6. A.J.D. Lambert: Linear programming in disassembly/clustering sequence generation. Computer and Industrial Engineering 36 (1999) p. 723 – 738.
7. Knapčíková, L. et al.: Application of selected types of plastics used in the automotive industry. In.: Engineering N. 7. - 8/2017 MEDIA, ST, s.r.o., Žilina, p. 24 – 26.
8. Plastics in the automotive industry.: online - [2.1.2018] Available on the Internet: http://www.plasticseurope.org/news/plastics_in_automotive_industry_t21198/
9. Bishop, P.: Material Compatibility for co-processing of recycled plastics, Pollution Prevention, McGraw-Hill, 2000, p. 401.

10. Dong, J., Arndt,G.: A review of current research on disassembly sequence generation and computer aided design for disassembly, Proc. Instn Mech. Engrs Vol. 217 Part B: J. Engineering Manufacture, 2003, pp. 299 – 312.
11. Golinska, P.: Environmental Issues in Automotive, TU Poznan, Springer- Verlag, Berlin, Heidelberg 2014, pp.247, ISBN 978-3-642-23836-9.
12. Moore K. E. et all (1998) In: J Dong and G Arndt: A review of current research on disassembly sequence generation and computer aided design for disassembly, Proc. Instn Mcch. Engrs Vol. 217 Part B: J. Engineering Manufacture, 2003. pp. 299 – 312.
13. Duflou, G. Seliger, S. Kara, Y. Utneda, A. Ometto, B. Willems: Efficiency and feasibility of product disassembly: A case-based study, CIRP Annals - Manufacturing Technology 57 (2008), pp. 583 – 600.
14. S.L. Soh, S.K. Ong, A.Y.C. Nee* Design for Disassembly for Remanufacturing: Methodology and Technology Procedia, 21st CIRP Conference on Life Cycle Engineering, CIRP 15 (2014) 407 – 412, 2014 Published by Elsevier B.V.
15. Sutherland JW, Gunter KL: A model for improving economic performance of a demanufacturing system for reduced product end-of-life environmental impact, CIRP ANNALS-MANUFACTURING TECHNOLOGY Volume: 4T Issue: 1 2002 p: 45 – 48.

Analýza možností zhodnotenia reflektorov z automobilov po dobe ich životnosti v podmienkach Slovenskej republiky

Miroslav BADIDA, Lýdia SOBOTOVÁ, Tibor DZURO, Marek MORAVEC, Pavol LIPTAI, Anna BADIDOVÁ

Katedra procesného a environmentálneho inžinierstva, Strojnícka fakulta, Technická univerzita v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, Slovensko,
e-mail: miroslav.badida@tuke.sk, lydia.sobotova@tuke.sk, tibor.dzuro@tuke.sk,
marek.moravec@tuke.sk, pavol.liptai@tuke.sk, anna.bandidova@tuke.sk

Súhrn

Príspevok sa zaobráva analýzou možností zhodnocovania reflektorov (svietidiel) z automobilov po dobe ich životnosti. Svietidlá predstavujú komponenty, ktorým sa doteraz nevenovala pozornosť z hľadiska zhodnocovania použitého materiálu na ich výrobu. Autori prezentujú vlastnú výskumnú prácu súvisiacu s demontážou svietidiel automobilov. Prezentujú sa dva prístupy k demontáži a to: reverzná montáž a deštrukčná demontáž. Cieľom obidvoch prístupov je získať čo najviac množstva homogénneho plastu a ďalších druhov použitých materiálov. Prezentujú sa výsledky analýzy komponentov, materiálov, časových štúdií demontáže svetlometov, ako aj technicko-ekonomická analýza rôznych navrhovaných variantov demontáže. Uvádzajú sa 3D simulácie navrhnutých pracovísk.

Kľúčové slová: vozidlá, materiálové zloženie, reverzná montáž, demontáž, recyklácia, reflektory

Influence of steam temperature on biomass gasification process

Marek BALÁŠ, Martin LISÝ, Pavel MILČÁK, Jiří POSPÍŠIL

Brno University of Technology, Technická 2, 616 69 Brno, Czech Republic

e-mail: marek.balas@vutbr.cz

Summary

Research and analysis of the gasification process must pay special attention to all operating parameters which affect quality and amount of the producer gas that is the efficiency of the conversion itself. Composition of the producer gas, calorific value, and content and composition of impurities are especially observed as these are the basic characteristics directly affecting subsequent application of the gas. Steam addition has a significant impact on gas composition. Steam decomposition into hydrogen and oxygen, and their subsequent reactions increases amount of combustibles, hydrogen, methane and other hydrocarbons. Steam addition in the gasification also affects amount and composition of tar and has a negative impact on heat balance. Energy Institute at the Brno University of Technology has a long tradition in research of biomass gasification in atmospheric fluidized bed reactors. Air was used as a gasification medium. This paper describes our experience with gasification using a mixture of air and steam. We analysed the whole process and in this paper we wish to describe the impact of temperature on outputs of the process, especially temperature of leaving steam and temperature of gasification reactions.

Keywords: biomass, steam gasification, Biofluid, temperature

Introduction

Biomass gasification is a method of energy recovery from biomass, a renewable energy source. Biomass is one of the few renewable energy sources with a great potential in the Czech Republic. Importance of the energy use of biomass for Central Europe illustrate other publications [1,2,3]. Biomass is renewable, available and produces zero CO₂ emissions (CO₂ commonly released during combustion of the fuel has already been consumed in photosynthesis during growth of the biomass).

The principle of gasification has been described before [4,5]. Fuel is reacted with a gaseous medium. The process produces synthetic gas consisting of carbon monoxide, hydrogen, methane and other hydrocarbons. The gas also consists of non-combustible components (nitrogen and carbon dioxide) and impurities [6,7]. Actual composition of the syngas relies on many factors, especially on equipment design, type of gaseous medium, fuel quality and others. We may conclude that the following physical and chemical parameters have a major impact on the gasification process results [8]: temperature of the reactions, temperature of chemical equilibrium, pressure of the reactions, H₂O, CO₂ and H₂ concentrations, reaction time and subsequent equilibrium.

Gasification process may be simplified into three phases:

Combustion phase - This phase requires oxygen and does not take place in the so called allothermal gasification (heat is supplied from an external heat source). Fuel is heated and water evaporates. Volatile combustibles are released and later react with oxygen (first exothermal reactions). Released heat sharply raises fuel temperature, which also sharply raises production of gaseous combustibles. Char enters the burning reactions (and remains in solid form in the degased fuel). Char reacts with oxygen, producing large amounts of heat, until the original fuel consists of no more combustibles and only minerals in the form of ashes remain. CO₂ and H₂O are the products of the combustion process and may be described in equations.

Pyrolysis phase - Pyrolysis phase is a decisive stage for production of the gas for energy purposes. The course of the phase is very similar to the combustion phase and occurs under identical temperatures. Heterogeneous reactions of the gas and fixed char are critical and produce large amounts of gas consisting mostly of CO. Liquid pyrolytic products consist of tar and polyaromatic hydrocarbons. Main part of the tar is decomposed into light hydrocarbons upon passing through a high-temperature section (1,100 – 1,200 °C).

Equilibrium phase – gasification - Gasification consists of several endothermic reactions utilizing heat released in the combustion phase. Gaseous products from previous phases are mixed and mutually interact. Processes are very fast and are governed by rules of chemical kinetics. Gaseous products then enter an area with significantly decreased flow velocities. The retention phase occurs under conditions with basically constant temperature and pressure. This environment allows the gas molecules to interact (react together). The gas components thus reach equilibrium and final mixture of gases is produced. Reaction of chemical equilibrium is very slow under low temperatures and starts to dominate over pyrolytic reactions at temperatures over 800 °C. However, compared to these reactions, combustion reactions are significantly higher (up to 10 times) in the whole temperature spectrum.

Amount and type of gaseous medium

Gaseous medium oxidises the fuel and moderates the whole gasification process. In terms of type of the gaseous media, we distinguish allothermal gasification (no free oxygen in the medium – heat is supplied from an external source) and autothermal gasification (medium contains free oxygen which reacts with the fuel – partial oxidation – and provides necessary heat for the endothermic reaction).

Quality of the syngas (calorific value and produced amount) relies mostly on gasification ratio. Research literature provides gasification ratio range 0.2 – 0.4.

Following are used as gasification media: air, oxygen, steam and their combinations. Gasification processes using CO₂ and hydrogen as gasification media are also currently researched.

Air is the most common media used as it is the most readily available one. It is also the cheapest and it presents no operational problems. However, produced gas contains a large share of nitrogen (50 – 60 %), which decreases its calorific value: 4 – 7 MJ.m_n⁻³. Some facilities use oxygen-enriched air.

Use of pure oxygen generates high costs and risks related to production of the oxygen and subsequent use in the gasification process (oxygen is applied either in pure form or as part of the oxygen-enriched air). Produced gas contains low amounts of nitrogen and has medium calorific value (ca. 10 MJ.m_n⁻³). Process occurs under high temperatures and the produced gas consists of very small amounts of tar. Oxygen is more commonly used in pressurized gasification.

Nowadays, carbon dioxide has become commonly used as a medium. Carbon dioxide provides bound oxygen in the process. On the other hand, it is an inert gas, such as nitrogen. Supply of carbon dioxide causes higher conversion of carbon and lower production of impurities (especially tar) [9]. Gasification with hydrogen under high pressure produces more methane and increases calorific value of the gas.

Gasification using steam is a highly endothermic process. Therefore, mixture of steam with oxygen (calorific value of the gas ca. 14 MJ.m_n⁻³, high share of hydrogen in the gas) or steam with air (calorific value of the gas ca. 8 MJ.m_n⁻³) is the most commonly commercially used media [10].

Efficiency of gasification process using steam is highly affected by equivalence ratio (ER) and steam to biomass ratio (SB). According to existing research, increase in ER has a positive impact on amount of produce gas but decreases amount of combustibles (H₂, CO and CH₄), which in turns reduces calorific value of the gas and overall efficiency if the process [11]. Increase in SB results in a slight increase in gas yield, H₂ concentrations in the gas; on the other hand, CO concentrations decrease (reactions of the water gas) as well as CH₄ and other hydrocarbons. Overall calorific value along with efficiency of the process slightly declines [12].

Supply of steam in gasification systems without external heat sources decreases operational temperature and this may have negative impact on tar formation [13]. On the other hand, higher partial pressure of H₂O in reactor will lead to faster tar reduction reactions (steam reforming and dry dealkylation) and it decreases tar content in generated gas [9]. Literature states that tar composition produced in the process of steam supply is of such a nature that it may be easily eliminated by industrial catalysts (e.g. nickel) or natural catalysts (dolomite, olivine).

Experimental

Research was performed at Biofluid 100 stand (see Figure 1) which is equipment with stationary fluidized bed. Fuel is supplied from fuel storage tank equipped with shovel and is introduced via dosing screw with frequency convertor into reactor. Primary supply of blower compressed air is lead into reactor under the bed, secondary and tertiary supplies are located at two high-rise levels. Produced energogas is stripped of its solid particulate matter in cyclone. Output gas is combusted in burner equipped with stabilization burner for natural gas and individual air supply. Ashes from reactor can be removed from tank located beneath bed. Power based heater for primary air supply is placed behind blower so that impact of air preheating may be monitored. In recent years, filters for research of efficiency of various methods of gas cleaning were attached to basic part of stand.

Reactor parameters:

- | | |
|--|------------------------------------|
| • Capacity (in produced gas) | 100 kWt |
| • Fuel demand (consumption, requirement) | 150 kWt |
| • Wood consumption | 40 kg.h ⁻¹ |
| • Air flow rate | 50 m ³ .h ⁻¹ |

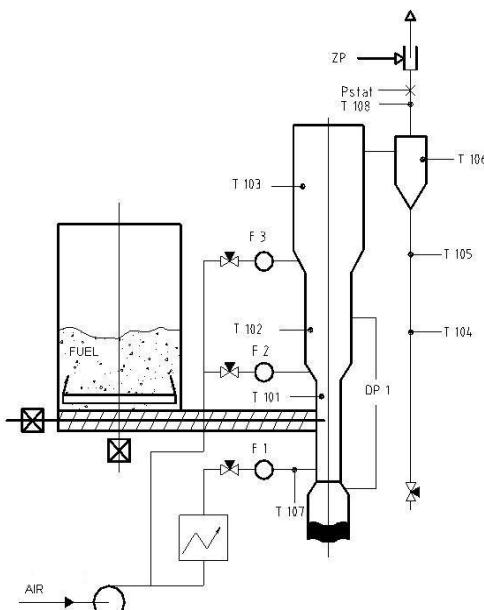


Figure 1: Experimental equipment Biofluid 2

Basic characteristics of operation at fluid generator are described in following paragraphs:

- Operation of fluid generator – after ignition, fluid generator is operated in combustion mode so that its heating is quick. After achieving required gasification temperatures, secondary and tertiary air is supplied into generator and thus produced gas is immediately combusted and consequently heats up the generator. Air supplies are then shut off and generator is introduced into stable mode for specific and pre-set gasification temperature. Stable mode is achieved when amount of dosed fuel is not altered, amount of gasified air is even and temperature swings in middle section of gasification generator are stable within narrow range given by gasification temperature.
- Frequency of converters of dosing screw so that mass flow rate is determined;
- Temperature in various parts of equipment which is measured by thermocouples; position of thermocouples is given in detail in scheme at Figure 1. There are 3 thermocouples along

generator top, 1 thermocouple in cyclone and 2 thermocouples in semi-coke pipe, 1 thermocouple in output gas pipe and 1 thermocouple measures temperature of air-steam supply.

- Pressure difference between upper and lower sections of fluid generator (fluid bed).
- Pressure of the generated gas at the generator outlet and at the fuel storage tank.

Aim of the research was to determine concentrations of tar eliminated from the generated gas. Tar samples were collected using a methodology of Tar Protocol [6] and evaluated by weight spectrometer of a gas chromatograph.

Results and Discussion

Many experiments were performed in order to verify findings from the literary searches. Experiments tested dependency of the gas composition and its calorific value on temperature of the fluid bed (T101), on temperature of the freeboard where the chemical equilibrium reactions take place (T103) and on inlet temperature of the steam-air mixture (TF1). Parameters were constant throughout analysis of a specific parameter.

Measurement range:

- S/B ratio: 0 – 0.77
- T101: 800 – 835 °C
- T103: 798 – 860 °C
- TF1: 153 – 253 °C

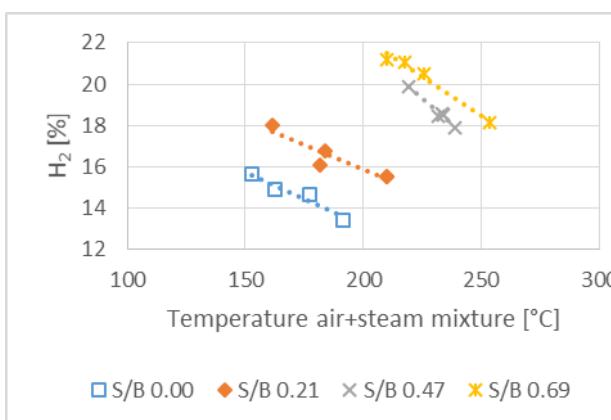


Figure 2: Dependence of H₂ on the air-steam temperature

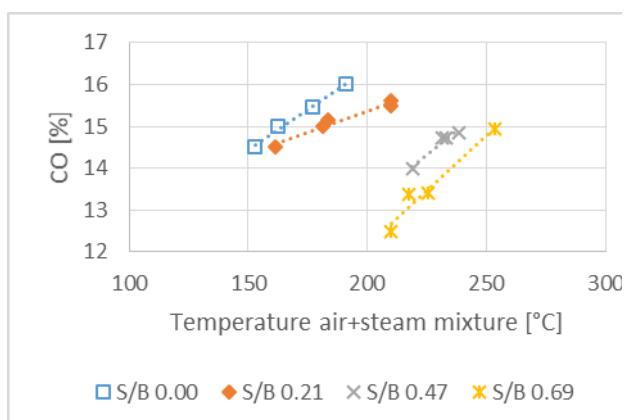


Figure 3: Dependence of CO on the air-steam temperature

Analysis of dependency of gas composition and its calorific value on T101 temperature proved that the composition and calorific value react more to changes in the temperature than to SB ratio, despite a rather small temperature interval ($\Delta T_{101} = 30$ °C) and large difference of SB ratios. Both dependencies have a similar course for other temperatures.

Content of H₂ and CO₂ rises in dependence with increase in T101, other gas components drop, and the calorific value of the gas also decreases. Changes in temperatures in the freeboard result in an increase in CO, CH₄ and calorific value. The higher the SB ratio (with a constant T103), the higher the H₂ and CO content; calorific value also rises.

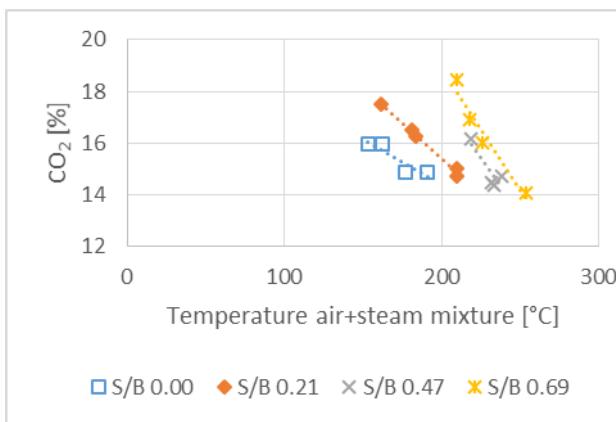


Figure 4: Dependence of CO₂ on the air-steam temperature

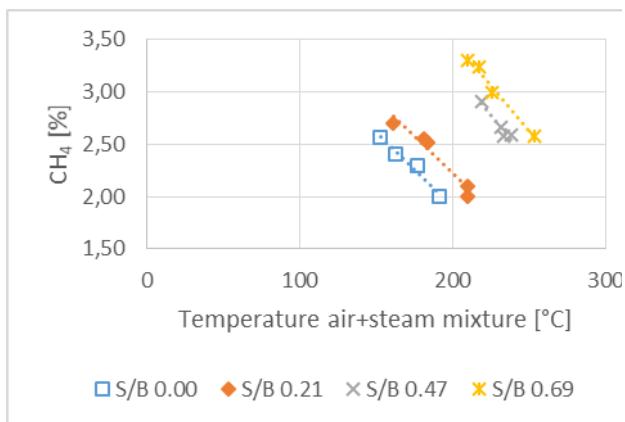


Figure 5: Dependence of CH₄ on the air-steam temperature

Analysis of dependency of gas composition and calorific value on temperature of inlet steam and air mixture (see Figure 2 through Figure 5) also provides interesting results. Increase in the temperature causes decrease in the share of hydrogen and methane, and the overall calorific value of the gas also drops (see Figure 6), despite expectations. On the other hand, constant TF1 temperature and increase in SB ratio means increase in the share of hydrogen, which has a positive impact on its calorific value.

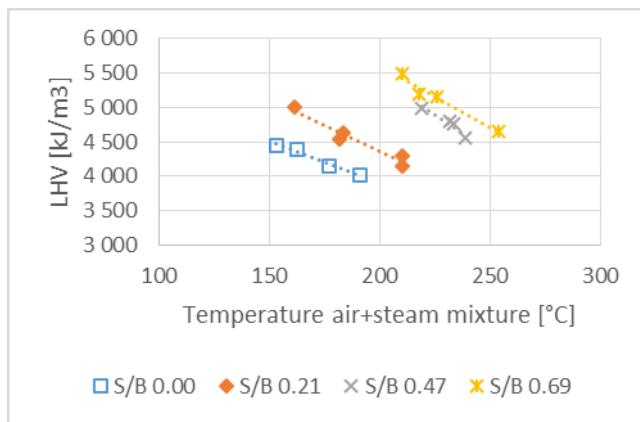


Figure 6: Dependence of LHV on the air-steam temperature

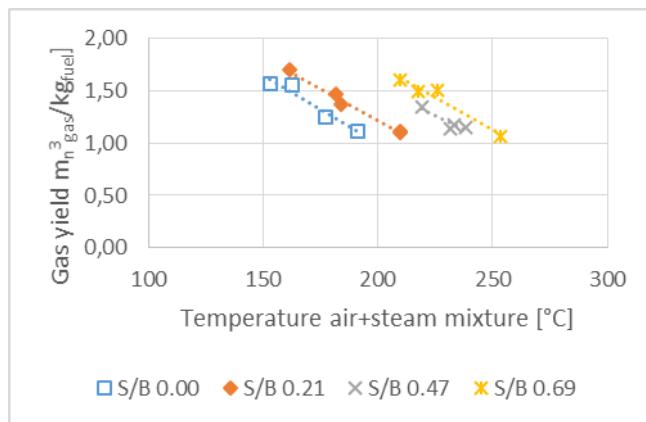


Figure 7: Dependence of gas yield on the air-steam temperature

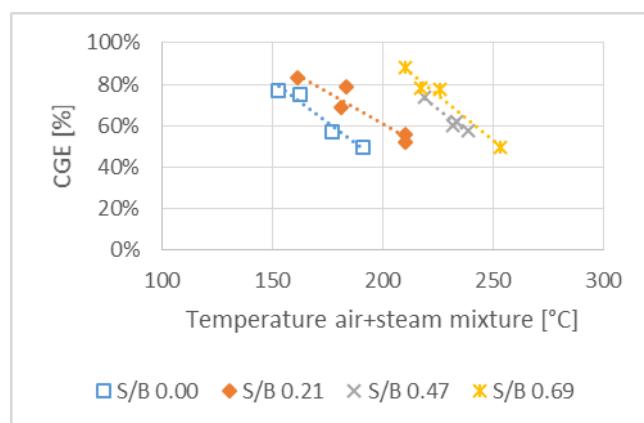


Figure 8: Dependence of CGE on the air-steam temperature

From the graph on Figure 7 and Figure 8 shows that the gas and CGE yields are not dependent on the SB ratio but only on the temperature of the incoming mixture.

Conclusion

Gasification with water steam is a very promising process in utilization of biomass. Current results prove that addition of water steam causes major changes in the gas composition and its calorific value. Researchers are only beginning to analyse the process of biomass gasification in the fluidized bed. More research will hopefully result in optimization and better understanding of the whole process.

Acknowledgement

This work is a result of research and scientific activities of NETME Centre. The authors gratefully acknowledge a financial support of the Ministry of Education under the NPU I from the project NETME CENTRE PLUS (LO1202) and project Technology Agency of Czech Republic number TH02030120.

References

- [1] Hrdlička, J.: Biomass and coal in small scale boilers [Biomasa a uhlí v kotlích malých výkonů]. (2014) Vytapeni, Vetrani, Instalace, 23 (3), pp. 108-111.
- [2] Plaček, V., Hrdlička, J.: Influence of control on environmental and economical aspects of small-scale biomass boiler. (2011) International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives, art. no. 6036481, .
- [3] Šooš, L., Kovač, P., Matúš, M., Križan, P., Beniak, J.: Dynamic analysis spindel-bearings system (SBS) of the headstock machine tools. (2015) APLIMAT 2015 - 14th Conference on Applied Mathematics, Proceedings, pp. 706-710.
- [4] Lisý, M., Baláš, M., Moskalík, J., Pospíšil, J.: Research into biomass and waste gasification in atmospheric fluidized bed. (2009) Proceedings of the 3rd WSEAS International Conference on Energy Planning, Energy Saving, Environmental Education, EPESE '09, Renewable Energy Sources, RES '09, Waste Management, WWAI '09,
- [5] Najser, J., Peer, V., Vantuch, M.: Biomass gasification for liquid fuel production. (2014) AIP Conference Proceedings, 1608, pp. 71-75.
- [6] Balas, M., Lisy, M., Kubicek, J., Pospisil, J.: Syngas cleaning by wet scrubber. (2014) WSEAS Transactions on Heat and Mass Transfer, 9 (1),
- [7] Šyc, M., Pohořelý, M., Jeremiáš, M., Vosecký, M., Kameníková, P., Skoblia, S., Svoboda, K., Punčochář, M.: Behavior of heavy metals in steam fluidized bed gasification of contaminated biomass. (2011) Energy and Fuels, 25 (5), pp. 2284-2291.
- [8] Baláš, M., Lisý, M., Štelcl, O.: The effect of temperature on the gasification proces. (2012) Acta Polytechnica, 52 (4), pp. 7-11.
- [9] Pohořelý, M., Jeremiáš, M., Svoboda, K., Kameníková, P., Skoblia, S., Beňo, Z.: CO₂ as moderator for biomass gasification. (2014) Fuel, 117 (PART A), pp. 198-205.
- [10] Rapagna, S. et al. Steam–gasification of biomass in fluidized-bed of olivine particles. Biomass & Bioenergy 19, 2000, 187-197, ISBN 0961-9534
- [11] Kurkela, E., Ståhlberg, P. Air Gasification of Peat Fluidized-bed Reactor. I. Carbon Conversion, gas yields and tar formation. Fuel Processing Technology 31, 1992, 1-21
- [12] Young-il Lim, Uen-Do Lee, Quasi-equilibrium thermodynamic model with empirical equations for air–steam biomass gasification in fluidized-beds, Fuel Processing Technology, Volume 128, December 2014, Pages 199-210, ISSN 0378-3820
- [13] Lucas, C., Szewczyk, D., Blaisiak, W., Mochida, S.: High-temperature air and steam gasification of densified biofuels. Biomass & Bioenergy 27, 2004, 563-575, Elsevier, ISSN 0961-9534

Vliv teploty přidávané páry na zplyňovací proces

Marek BALÁŠ, Martin LISÝ, Pavel MILČÁK, Jiří POSPÍŠIL

Vysoké učení technické v Brně, Technická 2, 616 69 Brno

e-mail: marek.balas@vutbr.cz

Souhrn

Energetický mix za poslední období doznał značných změn nejen v České republice, ale i v Evropě a ve světě. Od využívání uhlí, které ještě před koncem minulého století bylo dominantním palivem, přecházejí výrobci elektrické a tepelné energie k masivnějšímu využívání zemního plynu a k plynným palivům vůbec. Jsou zde ekonomické aspekty, ale i řada provozních důvodů, které toto palivo posunují do popředí zájmu. Dalším trendem je příklon k využívání obnovitelných zdrojů energie, ze kterých má v České republice velký potenciál pro rozvoj biomasy.

Zplyňování je jednou z možných technologií pro využití biomasy. Jedná se o transformační technologii, kdy z tuhého paliva vyrobíme palivo plynné. Toto pak můžeme využít v dalších technologických se všemi výhodami, které z využívání plynných paliv plynou. Princip zplyňování biomasy spočívá v termickém rozkladu paliva za přítomnosti zplyňovacího media. Kvalita, složení a množství generovaného plynu závisí na celé řadě faktorů. Především jsou to typ zplyňovacího generátoru, provozní teplota a tlak, vlastnosti paliva (vlhkost) a v neposlední řadě typ a množství zplyňovacího média. Jako zplyňovacího média se využívá vzduchu, vodní páry a kyslíku, nejčastěji v různých kombinacích. Každý druh či každá směs mají své podstatné výhody i nevýhody.

Při zkoumání zplyňovacího procesu klademe velký důraz na dopady všech provozních parametrů na kvalitu a množství generovaného plynu, kterými je vlastně vyjádřena účinností celého transformačního procesu. Je zkoumáno především složení plynu a z něj vyplývající výhřevnost a obsah a složení nečistot. Tyto základní vlastnosti mají přímý vliv na další využití plynu. Přidávání vodní páry má na složení plynu podstatný vliv. Rozklad vodní páry na vodík a kyslík a jejich následné reakce vedou k navýšení hořlavých složek, vodíku, metanu a dalších uhlovodíků. Přidávek vodní páry má též vliv na množství a složení dehtu. Negativně se pak projevuje na energetické bilanci.

Na pracovišti Energetického ústavu VUT v Brně se dlouhodobě zabýváme tematikou atmosférického fluidního zplyňování biomasy. Jako zplyňovací médium byl využíván vzduch. Článek pojednává o zkušenostech se zplyňovacím procesem, při kterém bylo jako zplyňovacího média využito směsi vzduchu a vodní páry. Byl zkoumán komplexní proces, zde je popsán vliv teplot na výstupy, a to především teploty vstupující páry a teploty zplyňovacích reakcí.

Klíčová slova: biomasa, zplyňování s vodní parou, Biofluid, teplota

Experimentálne zisťovanie efektivity spracovania drevného materiálu pre výrobu peliet

Juraj BENIAK, Peter KRIŽAN, Ľubomír ŠOOŠ, Miloš MATÚŠ

Slovenská technická univerzita v Bratislave, Strojnícka fakulta, Nám. slobody 17,
812 31 Bratislava, Slovenská republika, e-mail: juraj.beniak@stuba.sk

Súhrn

Príprava materiálu pre výrobu brikiet a peliet je veľmi dôležitým stupňom a má veľký vplyv na proces výroby ale rovnako aj na kvalitu finálneho produktu. Tu existuje veľké množstvo faktorov, ktoré môžu ovplyvňovať konečnú kvalitu brikiet a peliet vyrobených z biomasy. Rovnako veľa procesov a nastavení použitých strojov a zariadení môže viesť k zmene kvality. Tak ako je nám známe z predchádzajúceho výskumu, medzi významné aspekty patrí napríklad veľkosť častíc biomasy, z ktorých sa brikety a pelety vyrábajú. Dezintegračné stroje využívané na spracovanie biomasy majú priamy vplyv na tento faktor. V podstate môžeme povedať, že vhodný výber správneho zariadenia pre dezintegráciu, jeho princíp práce, využívanie napríklad sita pre presnejšie špecifikovanie veľkosti výstupnej frakcie, ale i ďalšie parametre majú priamy vplyv na kvalitu biomasy a kvalitu finálnych brikiet alebo peliet. Všetky tieto spomenuté parametre majú za následok aj rozdielnu spotrebú energie vyvinutej k spracovaniu biomasy, čo má za následok zvýšenie alebo zníženie nákladov na výrobu peliet alebo brikiet a efektivitu procesu ich výroby.

Predkladaný článok obsahuje namerané údaje získané v procese prípravy drevnej biomasy a jej spracovania na pelety. Namerané údaje sú následne štatisticky vyhodnotené a porovnané s kvalitou vyrobených peliet a ďalšími ich vlastnosťami. Výsledkom experimentu je stanovanie pri akých parametroch a akom zoradení dezintegračného zariadenia dosiahneme najlepšiu kvalitu peliet s prihlásením na energiu spotrebovanú pri príprave biomasy. Pri experimente sa porovnáva aký má vplyv menšia výstupná frakcia biomasy, alebo viacnásobné drvenie na kvalitu vyrobených peliet a na energetickú spotrebú pri jej úprave.

Kľúčové slová: dezintegrácia, drvenie, biomasa, energetická efektívlosť, výroba peliet.

Úvod

Predtým ako začneme so samotným procesom peletovania biomasy, je nevyhnutná príprava základného materiálu, aby bol dobre pripravený pre výrobu peliet. Samotná príprava vstupnej suroviny v sebe zahŕňa niekoľko základných procesov [1]. Ide napríklad o prispôsobenie správnej vlhkosti suroviny, ale v prvom rade úprava veľkosti vstupných materiálových častíc biomasy, ktorá bude použitá pri výrobe peliet. Je naozaj nevyhnutné použitie správnej zmesi ak chceme dosiahnuť požadovanú kvalitu peliet. Pre tento účel je možné využiť rôzne zariadenia určené pre dezintegráciu [3].

To môže byť napríklad klasický dvojrotorový dezintegračný stroj, ktorý umožňuje veľkú zmenu veľkosti, z veľkých kusov materiálu na začiatku na malé častice vhodné aj pre peletovanie. Taktiež je možné použiť nožový mlyn, ktorý pracuje s vysokými otáčkami, čo predisponuje toto zariadenie na úpravu mäkkých materiálov s malou hrúbkou, ako napríklad tráva alebo seno a ďalšie podobné materiály [4].

Na našom pracovisku disponujeme kladivovým mlynom, na ktorom je možné spracovanie širokého spektra materiálov, vrátane rôznej drevnej biomasy. Toto zariadenie využíva tiež kinetickú energiu kladív bez fixného uchytia, takže kladivá môžu ešte rotovať okolo osy uchytia na čape [5].

Všetky tieto dezintegračné zariadenia môžu byť vybavené sitom. Použitie sita nám zabezpečí, že výstupný materiál bude mať definovaný rozsah veľkostí častíc (frakčné zloženie) [6].

Použitie rôznych zariadení s rôznymi prídavnými časťami znamená tiež rôzne požiadavky na spotrebú energie. Toto znamená tiež, že správny výber vhodného zariadenia je veľmi dôležité pre ekonomickú prevádzku a efektívlosť výroby peliet [10].

Experimentálna časť

Prezentovaný článok popisuje experimenty, ktoré boli vykonané na našej výrobnej linke na Strojníckej fakulte, Slovenskej technickej univerzite v Bratislave. Experimenty pozostávajú z dvoch častí [8].

V prvom rade bude merané prevádzkové zaťaženie a spotreba energie dezintegračného zariadenia, pomocou ktorého chceme dosiahnuť rozdielne spracovanie a rozdielnú frakciu vstupného materiálu pre výrobu peliet [7].

Druhou časťou experimentov je porovnanie rozdielneho frakčného zloženia pripravených vzoriek materiálov a spotreby energie, ktorá bola vynaložená na prípravu tohto materiálu s kvalitou vyrobených peliet. Podstatou experimentu je zistiť, či zvýšenie kvality vstupného materiálu (zmenou jeho frakčného zloženia) má vplyv na zvýšenie kvalitatívnych parametrov vyrobených peliet [11].

Meranie prevádzkového zaťaženia a energetickej spotreby pri príprave biomasy

Experiment je založený na príprave a spracovaní drevnej štiepky zo smrekového dreva. Tento materiál je dezintegrovaný na kladivovom mlyne STOZA ŠV5 (obrázok 1), ktorý je vybavený sitom [2]. Počas experimentu boli použité rozdielne sítá so stanoveným priemerom dier 4 mm, 6 mm a 8 mm (obrázok 2).

Podstatou experimentu je meranie zaťaženia kladivového mlyna počas prevádzky a jeho spotrebu energie spotrebovanej pri spracovaní štiepky zo smrekového dreva. Rôzne vzorky materiálu boli spracované pri zmene spomenutých veľkostí sít, čím chceme dosiahnuť zmenu frakčného zloženia upravených vzoriek materiálu. Tiež sme testovali možnosť kedy s nastaveným sitom s priemerom dier 4 mm bol materiál spracovaný dvakrát po sebe. Čiže išlo o dvojnásobné drvenie rovnakého materiálu. Čiže keď materiál prešiel jedenkrát cez dezintegračné zariadenie, bol opäť spracovaný pri tom istom nastavení zariadenia s použitím toho istého sita.



Obrázok 1: Kladivový mlyn STOZA ŠV 5



Obrázok 2: Sítá použité pri spracovaní materiálov (zľava 8mm, 6mm, 4mm)

Použité zariadenie kladivového mlyna STOZA ŠV5 má nasledovné základné:

Príkon zariadenia: 5 (kW)

Výkon zariadenia: 0,6 – 0,9 (t/h)

Otáčky rotora: 2910 (min^{-1})

Ako je spomenuté vyššie, boli použité tri typy sít s priemerom pripravených otvorov 8 mm, 6 mm a 4 mm. Kladivový mlyn pracoval pri stabilných otáčkach 29100 otáčok za minútu. S nastavením každého sita bolo spracovaných 120 kg materiálu na vstupe.

Meranie prevádzkového zaťaženia bolo realizované pomocou frekvenčného meniča, ktorý umožňuje merať okamžitý príkon zariadenia, reálne otáčky, elektrické napätie a krútiaci moment [9].

V našom záujme bolo meranie energetickej spotreby zariadenia, ktoré je potrebné na spracovanie určeného množstva materiálu, vždy pri zmenenej veľkosti sita. Použitím vybraných veľkostí sít ovplyvňujeme tiež kvalitu materiálu, konkrétnie frakčné zloženie zmesi [8].

V tabuľke 1 je možné vidieť namerané hodnoty vybraných parametrov (tabuľka 1) s grafickým znázornením týchto hodnôt ktoré je možné vidieť na obrázku 3.

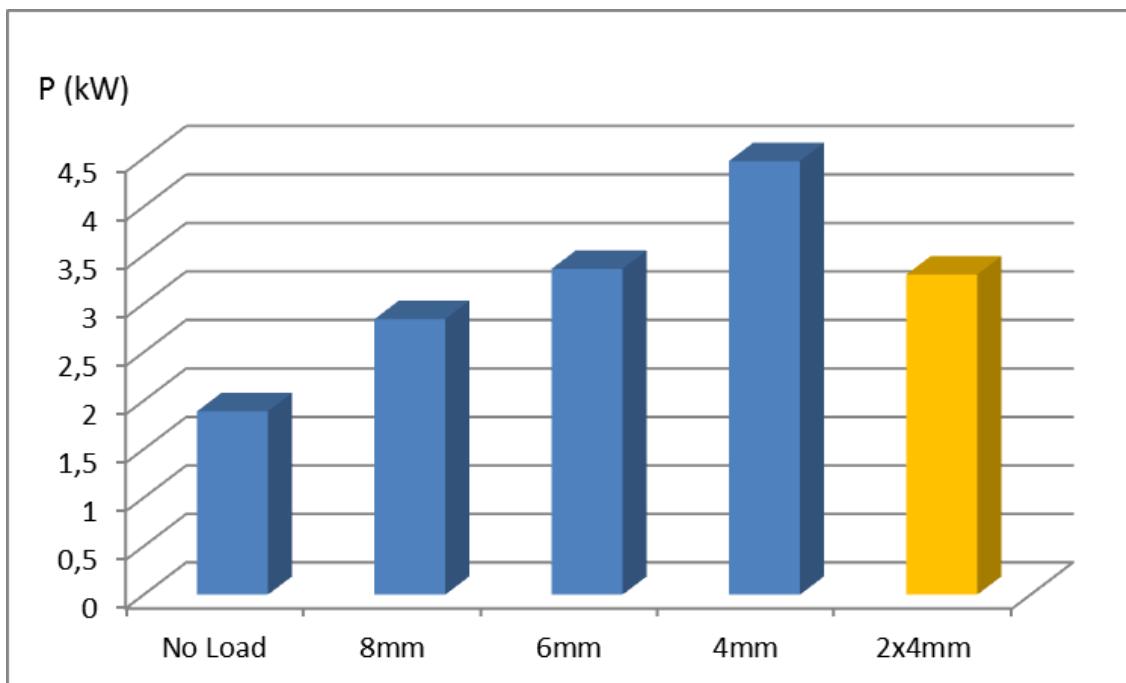
Tabuľka 1: Prevádzkové zaťaženie kladivového mlyna

Spracovanie (sito)	Krútiaci moment (Nm)	Príkon (kW)	Rozdiel spotreby energie (kW)
No Load	5,29	1,89	-
8mm	7,90	2,84	0,95
6mm	9,44	3,36	1,47
4mm	15,44	4,47	2,58
2x4mm	9,30	3,30	1,41+2,58 = 3,99

No Load znamená, že hodnoty boli merané, keď neboli spracovávaný žiadny materiál, čiže zariadenie išlo na prázdroj a merané zaťaženie bolo iba na prekonanie trenia a hmotnosti jednotlivých častí zariadenia. Ďalšie hodnoty sú namerané pri spracovaní materiálu pri použití uvedených veľkostí vybraných sít a tiež v prípade špeciálneho dvojnásobného spracovania materiálu na site s priemerom otvorov 4 mm.

Každý experiment bol opakovaný a meraný 10krát, aby bolo možné namerané hodnoty štatisticky vyhodnotiť. V tabuľke 1 sú uvedené finálne priemerné hodnoty nameraných parametrov. Z tabuľky 1 a tiež z grafického znázornenia nameraných údajov zaťaženia zariadenia na obrázku 3 je možné vidieť nárast spotreby energie pri použití menších otvorov na site. Táto situácia a tieto výsledky dôvajú zmysel a boli očakávané.

Ked' používame sito s menším priemerom otvorov, prirodzene dosahujeme aj lepšie frakčné zloženie zmesi. To znamená, že prevažujúce množstvo frakcie sa posunulo do oblastí s menším rozmerom frakcie. Takáto zmes môže zlepšiť kvalitu vyrábaných peliet. Otázkou je, či zvýšená spotreba energie použitej na spracovanie materiálu prinesie aj adekvátne zvýšenie kvality peliet. Toto bude diskutované v nasledujúcej časti článku.



Obrázok 3: Grafické znázornenie zaťaženia kladivového mlyna

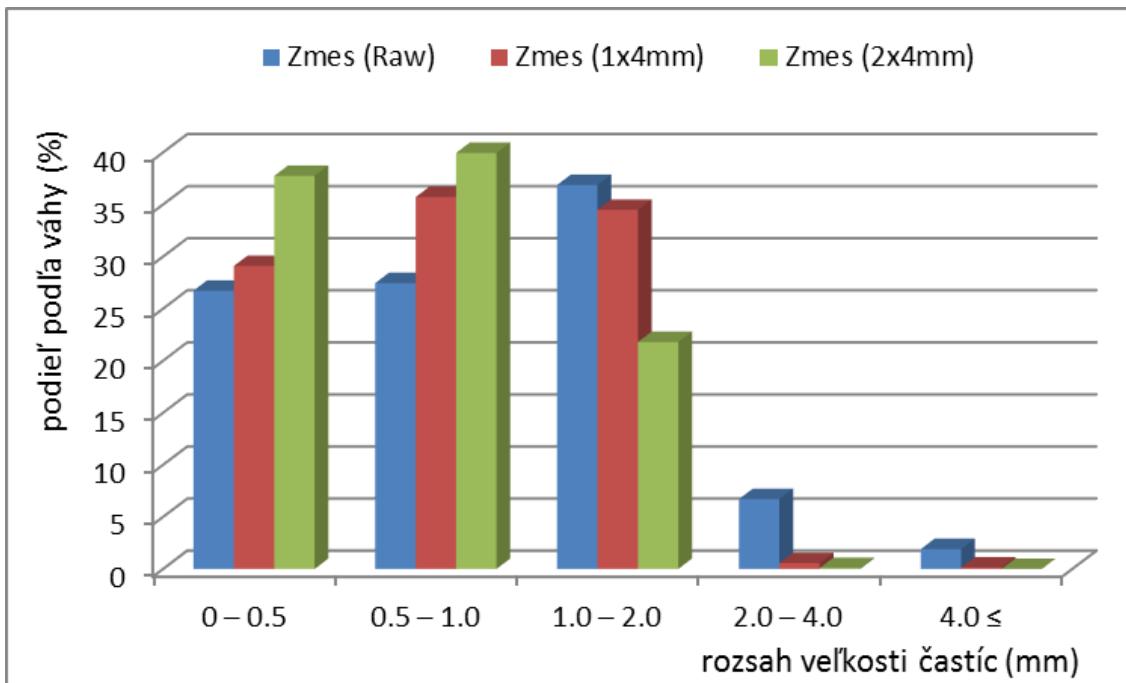
Zhodnotenie kvality vstupného materiálu a kvality vyrobených peliet

V tejto časti experimentu boli vyrábané pelety z materiálu, ktorý bol v rámci prvej časti experimentu pripravený pomocou kladivového mlyna. Výroba peliet prebiehala na vertikálnom peletovacom zariadení KAHL 33-390 s plochou kruhovou matricou. Počas peletovania bola použitá matrica s priemerom otvorov 6 mm. Prevádzkové parametre peletovacieho stroja boli nastavené na konštantný tlak 12 MPa, lisovaciu teplotu 100 °C a obvodovú rýchlosť otáčania roľníc $2,2 \text{ m.s}^{-1}$.

Ako je spomenuté vyššie, pelety boli vyrábané zo smrekového dreva. Materiál bol pripravený pomocou kladivového mlyna. V tomto prípade bol použitý materiál spracovaný s namontovaným sitom 4 mm (ďalej označované aj ako 1x4 mm). K experimentu bol tiež využitý materiál, ktorý bol dvakrát spracovaný s týmto sitom s priemerom dier 4 mm (ďalej označované ako 2x4 mm). Jedna séria peliet bola vyrobená aj s využitím surového materiálu, ktorý neboli spravovaný na kladivovom mlyne (ďalej označovaný aj ako RAW). Frakčné zloženie jednotlivých druhov materiálov je zrejmé z tabuľky 2. Tabuľka 2 a tiež obrázok 4 znázorňujú frakčné zloženie pripravenej zmesi. Nespracovaný materiál (RAW) obsahuje najvyšší podiel častíc veľkosti 1 – 2 mm. RAW materiál tiež obsahuje relatívne veľké množstvo častíc z rozsahu 0 – 0,5 mm a aj 0,5 – 1,0 mm. Ako je vidieť z diagramu (obrázok 4), RAW materiál ako jedený obsahuje aj určité množstvo častíc z rozsahu 2 – 4 mm ale i väčších ako 4 mm. Ďalšie dve zmesi materiálu neobsahujú takéto veľké časticie alebo len v úplne malom množstve.

Tabuľka 2: Frakčné zloženie pripravených zmesí pre výrobu peliet

Veľkosť častíc (mm)	Zmes (Raw)	Zmes (1x4 mm)	Zmes (2x4 mm)
0 – 0,5	26,72	29,09	37,75
0,5 – 1,0	27,45	35,72	39,95
1,0 – 2,0	36,88	34,48	21,79
2,0 – 4,0	6,71	0,56	0,09
4,0 ≤	1,91	0,14	0



Obrázok 4: Grafické znázornenie frakčného zloženia zmesí materiálov použitých pre výrobu peliet

Na obrázkoch 5 až 7 je možné vidieť rozdiel medzi jednotlivými zmesami, ktoré boli vyrobené v prvej časti experimentu. Na obrázku 5 vľavo je možné vidieť materiál bez spracovania (RAW), vpravo je vyobrazená frakcia spracovaná so sitom 8 mm. Obrázok 6 zobrazuje zmes pripravenú s použitím sítia 6 mm. Na obrázku 7 vľavo je zobrazená frakcia, ktorá je jedenkrát spracovaná s použitím sítia 4 mm a vpravo je zmes spracovaná s použitím sítia 4 mm dvakrát.

Materiálová zmes 1x4 mm, ktorá je pripravená s použitím 4 mm sítia a prešla zariadením jedenkrát, vykazuje najvyššie množstvo častíc z rozsahu 0,5 – 1 mm a o niečo menšie množstvo častíc z rozsahu 1 – 2 mm.

Materiálová zmes 2x4 mm bola pripravená rovnako so sítom s priemerom otvorov 4 mm, ale prešla dezintegračným zariadením dvakrát. Táto zmes obsahuje najväčší podiel častíc z rozsahu 0,5 – 1 mm a len o niečo nižší podiel z rozsahu 0 – 0,5 mm. Tu môžeme vidieť, že použitím dvojnásobnej dezintegrácie sme schopní pripraviť zmes s menšími časticami.

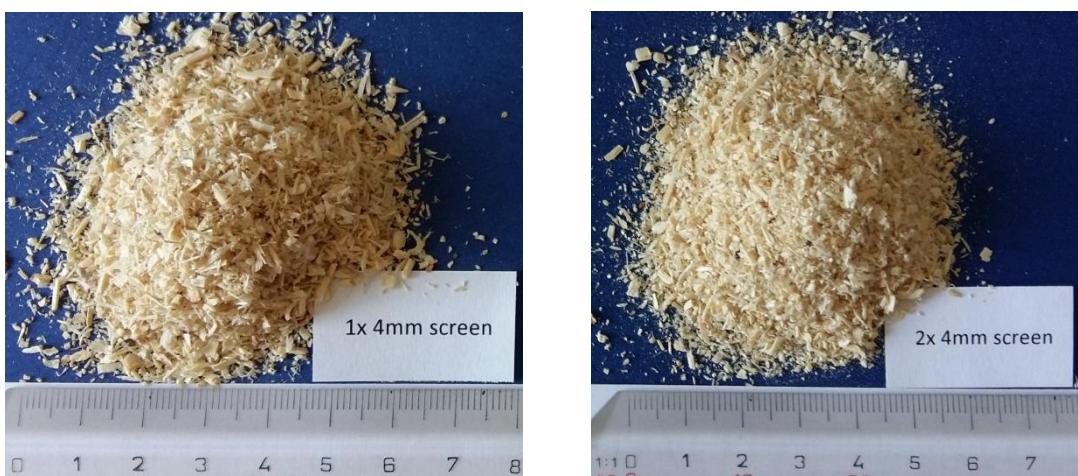
Ďalšie materiálové zmesi spomenuté v prvej časti experimentu a vyobrazené na obrázkoch nižšie (pripravené na sítach 6 mm a 8 mm) nie sú zahrnuté v tejto časti porovnania, pretože tieto tri druhy zmesí sú postačujúce pre vyslovenie tohto záveru z experimentu.



Obrázok 5: Pôvodný nespracovaný materiál (Raw) (vľavo) a materiál dezintegrovaný s použitím sítia s priemerom otvorov 8 mm (vpravo)



Obrázok 6: Materiál dezintegrovaný s použitím sítia 6 mm



Obrázok 7: Materiál dezintegrovaný s použitím sítia 4 mm (vľavo) a materiál dvakrát dezintegrovaný s použitím sítia 4 mm (vpravo)

Porovnanie frakčného zloženia pripravených zmesí môže byť zhrnuté do nasledovných vyhlásení:

- Vzorka RAW vykazuje vysoký podiel veľkých častíc.
- Vzorka 1x4 mm vykazuje vysoký podiel stredne veľkých a väčších častíc.
- Vzorka 2x4 mm vykazuje vysoký podiel malých a stredne veľkých častíc.

Následne po tomto meraní frakčného zloženia bol materiál použitý na výrobu peliet. K výrobe peliet zo smrekového materiálu bol použitý vertikálny peletovací stroj KAHL 33-390 s plochou kruhovou matricou. Ako už bolo spomenuté boli použité nasledovné parametre nastavenia peletovacieho stroja. Bola použitá matrica s priemerom otvorov 6 mm, prevádzkové parameter peletovacieho stroja boli nastavené na konštantný tlak 12 MPa, lisovaciú teplotu 100 °C a obvodovú rýchlosť otáčania rolníc 2,2 m.s⁻¹.

V tabuľke 3 je možné vidieť základné monitorované a merané parametre vyrobených peliet. Uvedená je objemová hustota, mechanická odolnosť, oter a tvrdosť vyrobených peliet. Všetky tieto parametre nám dávajú celkovú informáciu o kvalite peliet.

Vidíme že najlepšie vlastnosti boli dosiahnuté s materiálom, ktorý bol pripravený so sitom 4 mm (1x4 mm). Pelety vyrobené z tohto materiálu majú najlepšiu hustotu, mechanickú odolnosť a tvrdosť. Oter je takmer na rovnakej úrovni ako v prípade, ak materiál 2x spracujeme so sitom 4mm (2x4 mm).

Tabuľka 3: Vlastnosti vyrobených peliet

Parameter	Pelety (Raw)	Pelety (1x4 mm)	Pelety (2x4 mm)
Objemová hustota (kg.m ⁻³)	655,6	661	660,7
Mechanická odolnosť (%)	98,99	99,16	99,05
Oter (%)	1,44	1,04	1,02
Tvrdosť (N)	230,95	236,83	235,46

Výsledky a diskusia

Publikovaný článok predstavuje aký je nárast spotreby energie, ak chceme dosiahnuť lepšiu kvalitu vstupnej suroviny a či táto zvýšená kvalita vstupnej suroviny, respektíve menšia frakcia biomasy, má vplyv na vyššiu kvalitu vyrobených peliet.

V predchádzajúcim môžeme vidieť, že keď chceme zvýšiť kvalitu vstupnej suroviny pre výrobu peliet (pripraviť menšiu frakciu biomasy – jemnejšie frakčné zloženie), je potrebné vložiť do procesu prípravy viac energie. Napríklad ak drevnú hmotu spracujeme dvakrát na dezintegračnom zariadení, spotrebujeme spolu 3,99 kW energie, namiesto 2,58 kW, ak rovnaký materiál spracujeme iba jedenkrát pomocou rovnakého zariadenia s rovnakým nastavením. To je nárast spotreby energie o 1,41 kW vstupu energie. Ak túto hodnotu vyjadrimo percentuálne, ide o nárast až 54,65 %.

Ak však porovnáme kvalitu vyrobených peliet z takto spracovaného materiálu, môžeme vidieť skoro rovnaké hodnoty hustoty, mechanickej odolnosti, oteru a tvrdosti peliet. To znamená že v niektorých momentoch je zbytočné pripravovať veľmi jemnú frakciu s extrémne malým frakčným zložením, pretože spotrebujeme nadmerné množstvo energie na výrobu peliet bez prijateľnej zmeny kvality peliet.

V prípade použitia materiálu bez predchádzajúcej úpravy na kladivovom mlyne a výrobe peliet z takéhoto materiálu a porovnaním kvalitatívnych vlastností peliet vyrobených z upraveného materiálu môžeme konštatovať, že takáto dodatočná úprava má zmysel, pretože aspoň v niektorých ukazovateľoch kvality peliet vidíme takmer 10% zlepšenie.

Záver

Pre potreby výroby peliet alebo brikiet je nevyhnutná úprava biomasy a jej príprava k procesu výroby. Každé dodatočné spracovanie materiálu znamená tiež dodatočné náklady na spotrebu energie, ale toto zaručene neznamená aj dodatočné zvýšenie kvality. Potrebujeme špecifikovať, či zvýšenie spotreby energie na spracovanie biomasy je hospodárne a prospešné, ak chceme dosiahnuť pelety s vyššou kvalitou. Toto však závisí od toho, či je zákazník ochotný znášať zvýšené náklady na túto zvýšenú kvalitu peliet.

Poděkovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-16-0485.

Literatúra

1. Hindsgaul, C., Qvale, E. B., Henriksen, U. B., Ulrik, B., Jensen, A. D.: Disintegration of beech wood char during thermal conversion, Technical University of Denmark, 2007, ISBN: 877475-337-1
2. Svetlík, J., Demeč, P.: Methods of Identifying the Workspace of Modular Serial Kinematic Structures / - 2013. In: Applied Mechanics and Materials : CECOL 2012 : 3rd Central European Conference on Logistics : Trnava, Slovakia, 28-30 November 2012. Vol. 309 (2013), p. 75 – 79. ISBN 978-303785636-9 - ISSN 1662-9336
3. Lisičan J., Siklienka M., Zemiarová B.: Theoryand Technology of Wood Processing. Zvolen, Matcentrum: p. 626. (in Slovak), 1996
4. Kováč, J., Krilek, J., Mikleš, M.: Energy consumption of a chipper coupled to a universal wheel skidder in the process of chipping wood, Journal of Forest Science, 57, 201: 34 – 40
5. Ditner, O.: Shredding and grinding of mineral raw material, SNTL, Praha 1984, s. 241 (in Czech)
6. Lisičan, J.: Machining and cutting of wood materials, Vysoká škola lesnícka a drevárska, Zvolen, 1988
7. Stockes B. J., Watson, W. F., Siroisand, D. L., Matthes, R. K.: Factors Affecting Power Requirements for Chipping Whole Trees. P. 87-6012. ASAE Summer Meeting. Baltimore, Maryland, 1987.
8. Križan Peter, Matúš Miloš, Šooš Ľubomír, Beniak Juraj. Behavior of beech sawdust during densification into a solid biofuel. In *Energies*. Vol. 8, (2015), s. 6382 – 6398. ISSN 1996-1073.
9. Spinelli, R. and B. Hartsough. 2001. A survey of Italian chipping operation. Biomass and Bioenergy 21: 433 – 444
10. Kaliyan, N. and Morey, R.V. (2009) Factors Affecting Strength and Durability of Densified Biomass Products. Biomass and bioenergy, 33, 337 – 359.
11. Nunes, L.J.R., Matias, J.C.O. and Catalão, J.P. (2014) Economic and Sustainability Comparative Study of Wood Pellets Production in Portugal, Germany and Sweden. In Proceedings of the International Conference on Renewable Energies and Power Quality, Cordoba, 8-10 April 2014, Vol. 14, 526 – 531.

Experimental determination of wood material preparation effectiveness for pellets production

Juraj BENIAK, Peter KRIŽAN, Ľubomír ŠOOŠ, Miloš MATÚŠ

Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Mechanical Engineering,
Nám. Slobody 17, 812 31 Bratislava, Slovak Republic,
e-mail: juraj.beniak@stuba.sk

Summary

Material preparation for briquettes and pellets production is really important and have very big influence to production process and also to final product condition. There is many factors which could affect final quality of biomass briquettes and pellets. Also many processes and machine settings can lead to quality change. As we know from previous research, there is really important size of biomass particles from which the pellets and briquettes are produced. Shredding machines are directly responsible for biomass size preparation. Basically there is influence of what kind of machine we use, its principle, if we use screen to define exact particle size and other parameters. All of this cause also different energy consumption and affect the process effectiveness. The paper contains measured data acquired within production process of pellets from wood particles. The data are statistically evaluated and compared with quality of pellets and others their properties. Result of this paper is statement if more energy investment to material preparation is also balanced with better pellets properties which will lead to less pellets consumption and better heating power. Within the experiment there is compared what is the effect of smaller biomass fraction distribution to the quality of produced pellets and also energy consumption in the material preparation process.

Keywords: disintegration, shredding, biomass, energy efficiency, pellets production.

Energy recovery of the Sludge from Wastewater Treatment Plant and its impact on the Environment

**Mária DUBCOVÁ, Ivona ŠKULTÉTYOVÁ, Mária TROŠANOVÁ,
Réka CSICSAIOVÁ**

Slovak University of Technology, Department of Sanitary and Environmental Engineering, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovakia

e-mail: maria.dubcova@stuba.sk, ivona.skultetyova@stuba.sk, maria.trosanova@stuba.sk, reka.csicsaiova@stuba.sk

Abstract

The aim of this paper is to focus on environmental benefits, or eventual loads of sludge life cycle in the wastewater treatment process based on the general standard EN ISO 14040. From the measured experimental data, the environmental impacts of the sludge management are quantified using the LCA method. For impact assessment is using the Open LCA program, together with the available databases and assessment methods, focuses on Global Environmental Impact on Human Health and Global Environmental Impact on Ecosystem Quality. An important part of the contribution is the use of sludge as a secondary raw material in the process of wastewater treatment for energy purposes. By analyzing the collected data, we can contribute to the optimization of sludge management and WWTP operation and to reduce the negative environmental impact, based on the determined goals.

Keywords: life cycle assessment, wastewater treatment plant, environmental impacts, sludge

Introduction

The essence of the application of the LCA study is to avoid increasing the quality of individual products and services at the expense of environmental degradation. LCA is regarded as a universal method that is useful for any organization, regardless of the nature and scope of business. LCA is defined in the international standard EN ISO 14040. The implementation of the method requires processing procedures are formalized, using exact methods, allowing to identify the environmental impacts on the environment. LCA is in industrialized and environmentally conscious states among ordinary tool of environmental management.

The main idea of the application of LCA methods for wastewater treatment, namely sludge produced by the wastewater treatment plant, is to assess the effectiveness and the possibility of treating sludge with a focus on possible negative environmental aspects and a potential use of biogas energy.

The structure of the LCA analysis

LCA in standard EN ISO 14040 is defined as the collection and evaluation of the inputs, outputs and impacts on the environment, product-system throughout the life cycle¹. Life Cycle Assessment consists of defining the objectives and scope, inventory, impact assessment and interpretation of results. From the structure of the LCA concludes that findings from one phase may affect the basis of the previous phase, which should be reviewed and then go over to the next phase. Such revisions greatly facilitates the use of affordable and suitable software developed just for the area.

Objective and scope of the study

The objective and scope of the study set out the context in which the LCA analysis processed while helping to further identify the boundaries with which they will be considered in the analysis.

In defining the scope of the study in accordance with EN ISO 14040 it is therefore important to focus on:

- a feature of the product
- functional unit
- examination system product
- system boundaries
- the type and form of assessment
- the use of interpretation
- assumptions
- restrictions
- data requirements and data quality
- choice of values and options¹

The aim of LCA analysis of the paper is to assess the impact of sludge management to individual components of the environment with an emphasis on human health and the impact on the ecosystem and water system environment.

Functional unit

The functional unit is a measure of performance of the function outputs. Used to information about which inputs and outputs are related, on what basis it is determined comparability of results of the LCA study².

Sludge can be evaluated in relation to their weight with respect to the production of sludge at wastewater treatment plants. Within the sludge management and biogas sludge they may also be evaluated with respect to the energy / kg, or in relation to a number of features that their use complies with (the amount of energy produced). The last type of evaluation permits to LCA studies also include the cost and inputs to operate the equipment³.

System boundary

The system boundaries are used to determine the process units that must be included in the LCA system. They depend on factors such as; the goal of applying the study, reduction of costs, or the amount of data used⁴.

When considering the life cycle of sludge in wastewater treatment plants they have been chosen so. Cut - off criterion, when the user does not include all the processes in view of the minimal effect on the final results⁵. To the border system was selected operating and consumption costs. To compare the environmental impact has not been considered with the construction of facilities with regard to the content and objectives of the study. An important component of borders constitutes the composition of the sludge with an emphasis on nitrogen and phosphorus content, serving for the subsequent quantification of the effects of eutrophication on the environment³.

Life cycle inventory phase

Life cycle inventory phase - LCI is used to determine the amount of elementary streams discharged into the environment during the life cycle of a product. Inventory analysis focuses on data collection process, data and methods used to quantify relevant inputs and outputs of the process under consideration^{6, 7}.

As part of WWTP sludge management Vráble, excess sludge stored in the storage tank, which also serves as a digester. Subsequently, the sludge is pumped to sludge fields. Within the inventory phase was followed sludge production in each month focusing on the production of raw sludge, sludge water, digested sludge and solids. The measured data are processed in the table 1.

Table 1: Inventory data of sludge

Month	1	2	3	4	5	6	7
Raw sludge [kg]	1322	1250	860	840	1320	1050	1160
Sludge water [m³]	550	144	420	120	120	660	180
Digested sludge [kg]	0	240	720	600	880	1040	680
Solids [kg]	18	11.2	18	12	21.6	19.4	68.4

Month	8	9	10	11	12	In total
Raw sludge [kg]	1170	1170	1190	1150	1280	13762
Sludge water [m³]	560	270	490	800	610	5014
Digested sludge [kg]	450	560	710	610	520	18776
Solids [kg]	22.8	9.2	11.1	32.1	0	213.8

Impact assessment

Impact assessment of sewage sludge Vráble is based on assigning the corresponding characterization factors for each elementary stream. We used the values from the inventory phase, namely the inflow of sewage, effluent treatment plants, power consumption, and sludge management of data such as the amount of raw sludge, sludge water, digested sludge and solids. Inventory results were processed using free software Open LCA using available databases and for evaluating the results.

Results from the first chart shows the possible impact of sludge management to individual components of human health. The greatest negative impact was reflected in constituents human toxicity (45 %) and respiratory effects (53 %). Minimal impact was reflected in parts of the ozone layer depletion, photochemical oxidation and ionising radiation.

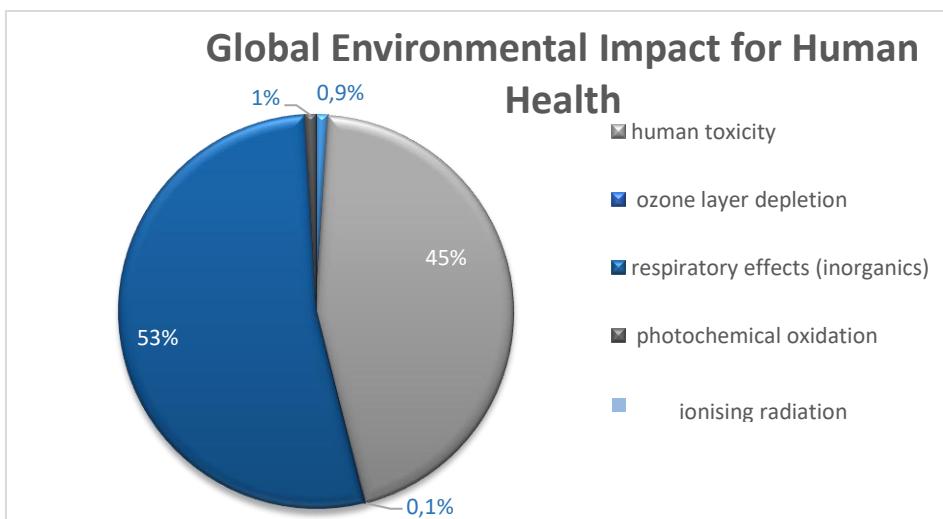


Figure 2: Global environmental impact for human health

In the second method of evaluation, we focused on the potential impact of sludge management on the different quality of the ecosystem quality. The greatest negative impact was reflected in parts of the climate change (50 %) and terrestrial ecotoxicity (42 %).

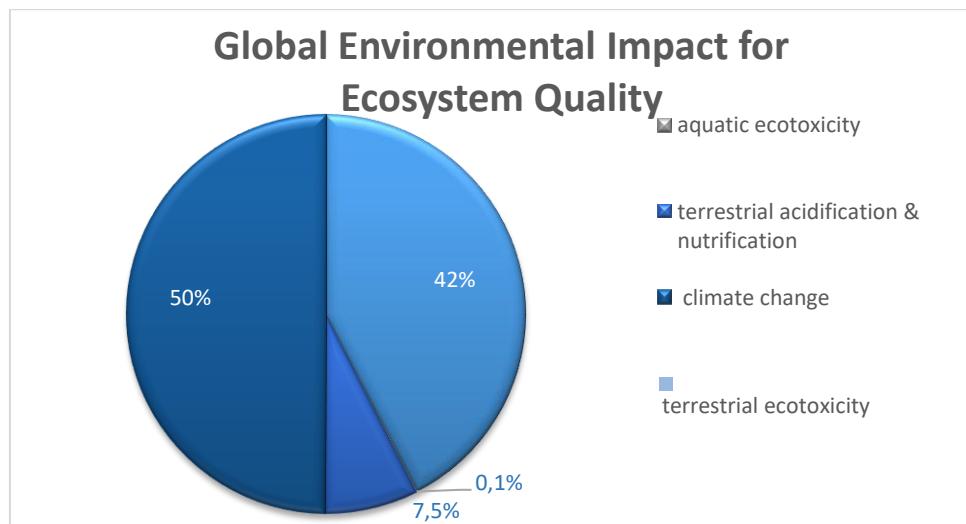


Figure 3: Global environmental impact for ecosystem

Potential of sludge for bioenergy

The potential of biogas production is quantified by calculating the sludge generated and optimizing biogas production in the digester. Biogas production in heated anaerobic stabilization tanks at 33 – 40 °C is 750 liters of biogas from 1 kg of organic dry extract of mixed primary and excess sludge. Approximate stabilization time is 11 to 20 days depending on temperature⁸.

Furthermore, the biogas is 23 MJ/m³. Production of biogas is also dependent on the sludge composition and on the substances released during stabilization. It contains 60 – 70 % of CH₄, 35 % of CO₂, 0.1 % of H₂S and small amounts of N₂, H₂, ammonia, fatty acids, etc⁹.

Natural gas heating 34.25 MJ / m³ = approx. 9.51 kWh

Biogas heat 23 MJ / m³ = approx. 6.38 kWh

The WWTP in Vráble does not produce biogas. The potential of biogas production at the WWTP was calculated from the available measured data based on the conversion of the sludge to 1023.03 MWh.

Conclusions

The goal of this paper was to introduce the issue of the application of LCA and implement methods of sludge from wastewater treatment plant in Vráble. The essence of the method of applying the LCA was to evaluate the potential hazardous effects on the individual components of the environment and the subsequent percentage of the impact. The key to proper implementation of the understanding of the life cycle of sewage sludge in connection with EN ISO 14040. The assessment is based on correct identification study objectives, scope, system boundaries and functional unit. A significant part of the assessment is based on the legislative limits of individual indicators. In the sludge management is important to focus on the potential use and disposal of sludge, from which subsequently impact on the environment. The challenge is the determination and analysis of elements which are not provided with sufficient legislation and, therefore, the monitoring is not sufficient.

List of symbols

LCA – Life–cycle assessment

WWTP – wastewater treatment plant

EN ISO 14040 – English International Organization for Standardization 14040

kg – kilogram

m³ – cubic metre

CH₄ – methane

CO₂ – carbon dioxide

H₂S – hydrogen sulfide

N₂ – nitrogen gas

H₂ – hydrogen gas

MJ / m³ – megajoule/cubic meter

kWh – kilowatt–hour of energy

MWh – megawatt hour of energy

Acknowledgment

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the contract No. APVV-0372-12.

References

1. ISO 14040:2006 *Environmental management, Life cycle assessment, Principles and framework* (2006) by International S. Organization
2. Kudláček I., Hejhal T.: *Ekologický pohled na materiálovou strukturu transformátoru. Dielectric and Insulating Systems in Electrical Engineering.* Bratislava, Slovak University of Technology, 2004, díl 1, s. 48-52. ISBN 80-227-2110-7
3. Kočí, V., *Posuzování životního cyklu.* Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, s.r.o., 2009. ISBN 978-80-86832-42-5.
4. ISO 14044: 2006 *Environmental management, Life cycle assessment, Requirements and guidelines* (2006) by International S. Organization
5. Hellweg S., Doka G., Finnveden G., Hungerbühler K. (2005). *Assessing the eco-efficiency of end-of-pipe technologies with the environmental cost efficiency indicator, a case study of solid waste management.* J. Ind. Ecol., 9(4), 189 – 203
6. Cashman, S. a kol.: *Environmental and cost life cycle assessment of disinfection options for municipal wastewater.* Washington DC: EPA, 2014
7. Stajanča, M.: *Analýza životného cyklu ako nástroj hodnotenia environmentálnych vplyvov stavebných výrobkov.* In: Juniorstav 2011: 13th Professional Conference of Postgraduate Students: Brno : 4.2.2011 p. 1 – 6. ISBN: 978-80-214-4232-0
8. Drtil, M., Hutňan, M., 2007. *Technologický projekt – časť Procesy a technológie čistenia odpadových vôd.* Bratislava: NOI. ISBN 978-80-89088-57-7
9. Hlavínek P., a kol, 2006. *Stokování a čištení odpadních vod.* Brno: 2006.

Energetické zhodnotenie kalu z čistiarne odpadových vód a jeho dopad na životné prostredie

Mária DUBCOVÁ, Ivona ŠKULTÉTYOVÁ, Mária TROŠANOVÁ, Réka CSICSAIOVÁ

Slovenská technická univerzita v Bratislave, Katedra zdravotného a environmentálneho inžinierstva, Radlinského 11, 810 05 Bratislava

e-mail: maria.dubcova@stuba.sk, ivona.skultetyova@stuba.sk, maria.trosanova@stuba.sk, reka.csicsaiova@stuba.sk

Souhrn

Cieľom príspevku je posúdiť environmentálne prínosy, či eventuálne záťaže životného cyklu kalu v procese čistenia odpadových vód na základe normy EN ISO 14040. Z nameraných experimentálnych dát sa pomocou metódy LCA vypočítajú jednotlivé environmentálne dopady kalového hospodárstva na životné prostredie. Vyhodnotenie údajov sa vykonalo prostredníctvom voľne dostupného softvéru „OpenLCA“, spolu s databázami a metódami hodnotenia zameranými na globálny vplyv životného prostredia na ľudské zdravie a globálny vplyv životného prostredia na kvalitu ekosystému.

Dôležitou súčasťou príspevku je využitie kalu, ako druhotej suroviny v procese čistenia odpadových vód na energetické účely. Prostredníctvom výhodnocovania zozbieraných údajov vieme na základe determinovaných cieľov prispieť k optimalizácii kalového hospodárstva a prevádzky ČOV a minimalizovať negatívny environmentálny dopad.

Klíčová slova: posudzovanie životného cyklu, čistiareň odpadových vód, environmentálny dopad, kal

Applying of the in-situ measured data on the flow simulation in the sedimentation tanks

Veronika GREGUŠOVÁ

Slovak University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Department of Sanitary and Environmental Engineering, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovak Republic

e-mail: veronika.gregusova@stuba.sk

Abstract

Secondary settling tanks (SST) are irreplaceable parts of the wastewater treatment plants (WWTP) presenting the final step in the process of waste removal from the wastewaters. Therefore, their correct design is crucial for the operation of the WWTP. Description of the flow in the SST is difficult because it has turbulent character. In praxis, simulations of flow using the real, measured data are carried out. In the paper, data collection from two WWTP in Orava region is described and consequently the evaluation of the measured data for the needs of building of the model which is used as the basis for the flow simulation. For my work, radial SST with horizontal flow and rectangular SST were picked. Actual point velocities of the wastewater flow were measured in the tanks. In the paper, also partial results of the simulations are described.

Keywords: simulation, flow, WWTP, SST

Introduction

Wastewater treatment is process that is essential for modern nowadays societies. Conventional wastewater treatment plants (WWTP) are based on the biological processes. They usually consist of mechanical stage and biological stage including activation tank and secondary settling tank (SST). In secondary settling tank, residuals from the purification process performed in the activation tank are separated from the liquid¹. Separation is run by the basic physical principles like gravitation, to be more specific by the difference between the specific weight of the liquid and the specific weight of the suspended solids. What is important for the correct performance of the separation process in the SST is the consistent design of the flow through the tank so that the undesired flotation of the solids resulting from the strong flow of the liquid in the tank doesn't occur. Required flow in the tank can be achieved by the correct construction of the object².

Normally, flow in the sedimentation tank has turbulent character so it is very difficult to express it mathematically. The bio-kinetic processes in the tank can be expressed by several soluble and particulate components³. Navier-Stokes equations consisting of continuity equation, momentum equation and energy equation, can be used to formulate these processes.

In Slovak conditions, usually radial sedimentation tanks with horizontal flow or rectangular settling tanks are constructed. In the terms of flow, radial settling tanks are more effective.

Settling velocity is influenced also by the weather changes⁴, wet weather causes the increased hydraulic load to the WWTP and thus to the SST⁵.

Settling tanks

Settling tanks are the objects of the wastewater treatment plants in which suspended solids are separated from the liquid. Residence time in the SST is usually approximately 2 hours when the suspended solids divide from the liquid. Turbid water flows through the tanks at low speed, so that suspended particles have enough time to settle⁶. Gravitation is the basic driving force for the separation, therefore it is essential to have the undisturbed flow in the tank.

Flow in the sedimentation tanks is very difficult process to predict because not only sedimentation carries out, but also turbulent flow of the mixture of wastewater and the sludge from the inlet can occur and cause turbulent currents⁷. These actions are difficult to predict. Computational Fluid Dynamics (CFD) is tool, which allows it. CFD is science discipline dealing with scientific knowledge from physics, fluid mechanics, thermo-mechanics, mathematics, which connects and together with the software simulate physical phenomena of various complexities⁸. It is used in fluid dynamics, which can be compounds from three parts:

- theoretical fluid mechanics and thermo-mechanics;
- experimental fluid mechanics;
- CFD supported by computers and numeric mathematics.

Important base of the fluid mechanics are basic principles of flow: mass conservation, momentum conservation and energy conservation. In praxis, they are described by the continuity equation, momentum equations and energy equations. These are formed into the system of partial differential equations, Navier-Stokes equations:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla u = -\frac{1}{\rho} \nabla p + v \nabla^2 u + f \quad (1)$$

where u is the flow velocity [$m \cdot s^{-1}$], p is the pressure [Pa], t is the time [s], ρ is the specific weight [$kg \cdot m^{-3}$], v is the kinematic viscosity [$m^2 \cdot s^{-1}$], f is the summary of body forces [$kg \cdot m \cdot s^{-2}$].

They describe unstable turbulent flow, while software uses one of three methods to solve the equations, finite element method, finite volume method or finite difference method.

Experimental part

Data from the actual tank in operation are needed to perform the flow simulation. These data sets are used for calibration and verification of the model. In our case, we obtained data from two SST located in two different WWTP. Measurements were carried out in rectangular secondary settling tank of WWTP in Dolný Kubín (Figure 1) and radial secondary settling tank with horizontal flow in Nižná nad Oravou (Figure 2).



**Figure 1: Rectangular tank
in WWTP Dolný Kubín**



**Figure 2: Radial settling tank
Nižná nad Oravou**

Creation of the model includes several steps: geometry creation, calculation mesh creation of the object, model calibration and model verification. Because sets of data for calibration and verification are necessary, measurements of the flow velocity in the tank will be supplemented by the data obtained from

the WWTP operator. For example, flow rate at the tank inlet, concentration of the suspended solids or data of sludge pumps work.

Measurement preparation. Flo-mate 2000 attached to 5 m long metal rod was used to measure actual flow velocity in a point of water in a tank. Probe of the device was mounted 0.5 m from the end of the rod. Device works on the principle of electromagnetic induction. There is electromagnetic coil built-in, which produces magnetic field. When water flows through this field, the coil produces voltage. The magnitude of this voltage is directly proportional to the velocity of water flow⁹. Water in the secondary settling tanks always differs; therefore, it is necessary to calibrate the device before each measurement and water.

SST in Dolný Kubín. Measurements in the rectangular settling tank were carried out in WWTP in Dolný Kubín. Dimensions of the tank are 11.34 m for the width and 43.5 m for the length and tank immediately follows nitrification tank. This disposition causes significant influence on the flow in the SST. Tank is equipped with the dividing wall in the distance 2.5 m from the beginning of the tank, which serves for removal of floating foam which gets to the tank from the nitrification tank.

Measurements were carried out in several measuring profiles along the walls of the tank and in the distance of 3.75 m in the depth 0.5 m as the tank construction, operating bridge and measuring device limited the possibilities of measurements in different spots of tank. Along the wall the measurements in vertical profiles A - H were carried out. Velocities were measured in depths 0.5 m; 1.0 m; 1.5 m; 2.0 m; 2.5 m; 3.0 m under surface.

Along the short side of the tank the measurements in profiles I - M were carried out. In every vertical velocity measurement in depths 0.5 m; 1.0 m; 1.5 m; 2.0 m; 2.5 m; 2.85 m under surface were performed (Figure 3).

On the other side of the tank the measurements in profiles N - P were carried out. In every vertical velocity measurement in depths 0.5 m; 1.0 m; 1.5 m; 2.0 m; 2.5 m; 3.0 m under surface were performed (Figure 4).

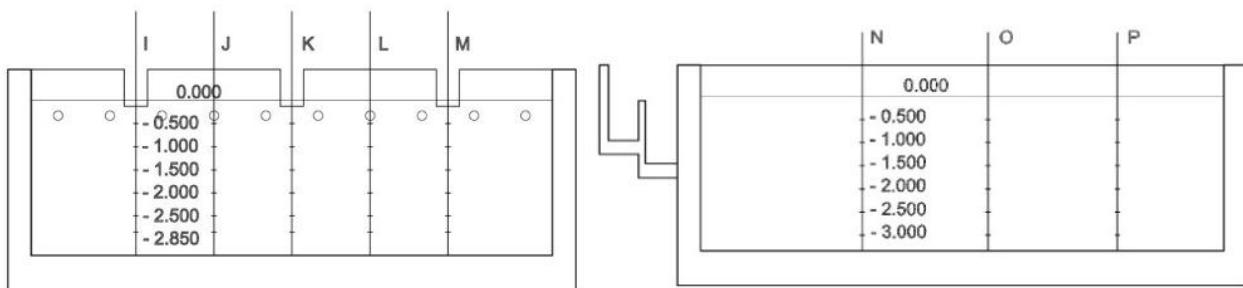


Figure 3: Scheme of measurement profiles – north-western wall

Figure 4: Scheme of measurement profiles – south-eastern wall

SST in Nižná nad Oravou. Measurements in the radial tank with horizontal flow were carried out in WWTP Nižná nad Oravou. Diameter of the tank is 11.4 m, perimeter 71.6 m. Measurement points were located along the perimeter of the tank in front of the effluent weir in ten verticals 1 – 10 spaced 7.16 m from each other in depths 0.5 m; 1.0 m; 1.5 m; 2.0 m; 2.5 m; 3.0 m; 3.5 m; 4.0 m and 4.395 m under the surface (Figure 5).

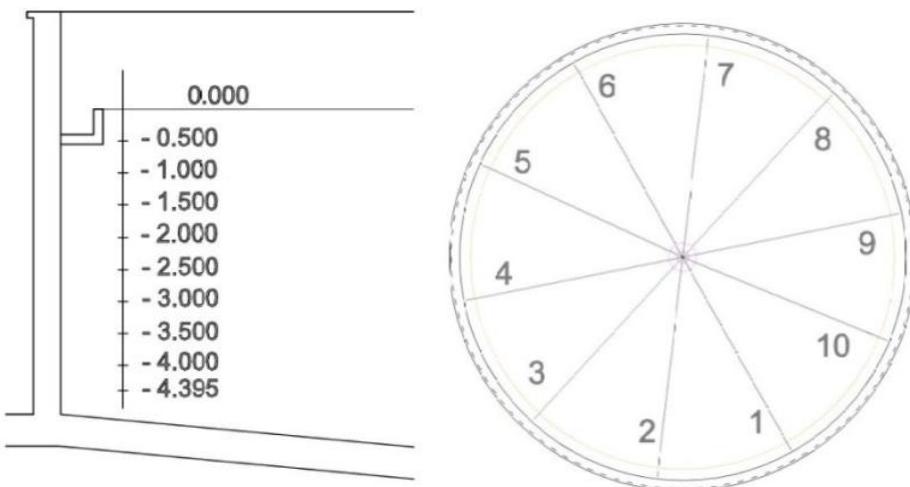


Figure 5: Measurements profiles and plan of the radial settling tank

Measurements were done in more series to ensure statistically sufficient number of data. In rectangular tank, velocities were taken from 96 points in the tank, in case of radial settling tank in 90 points. These data will be supplemented by data provided by the operator and consequently used for calibration of the tank models and flow simulation will be run. Afterwards, models will be used for optimization proposal of the tank operation.

Results and discussion

The flow patterns are considerably influenced by the inlet design⁷. A uniform flow field is necessary to the efficient performance of a sedimentation tank¹⁰. The hydrodynamic processes in SST depend on the inner density currents as well¹¹. After analyzing of the measured values of the actual velocity (Figure 6 and Figure 7), it can be seen that the position of the inlet contributes to the flow pattern. Therefore, it is essential to simulate the flow in the tanks, so that measures leading to optimization of the flow can be designed.

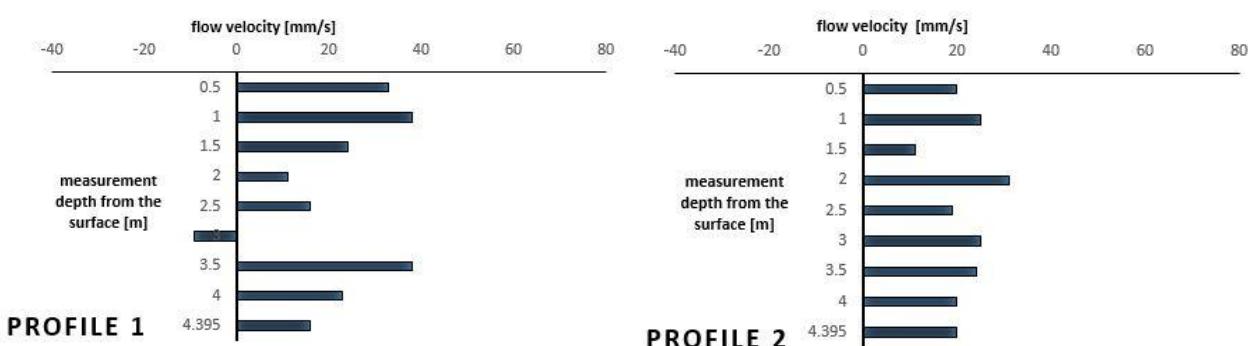


Figure 6: Flow velocities in the measurement profiles in the radial secondary settling tank in Nižná nad Oravou

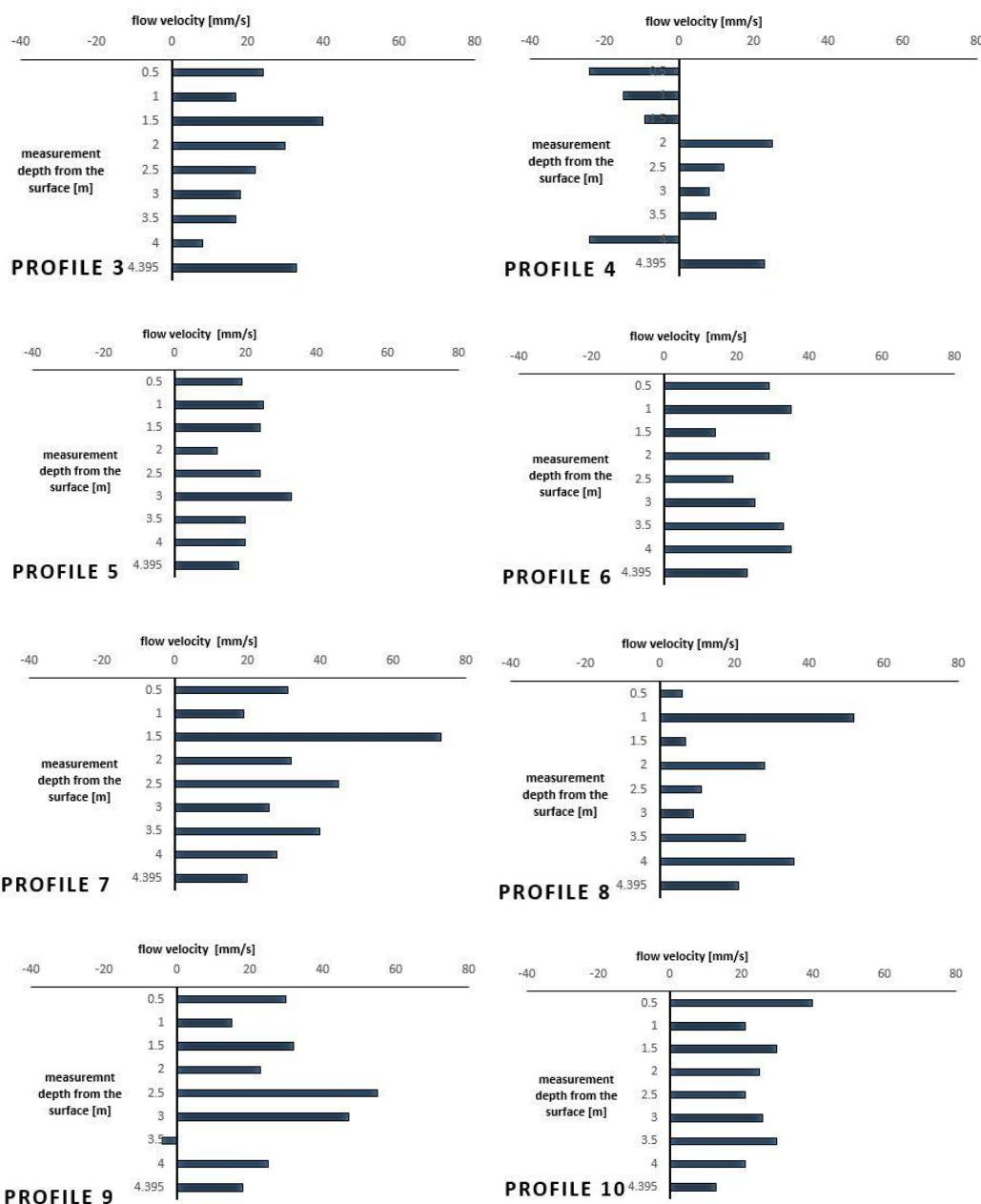


Figure 7: Flow velocities in the measurement profiles in the radial secondary settling tank in Nižná nad Oravou

The measurement should be carried out in stable weather conditions; especially important is to have approximately same conditions for all the measurements within one SST. Heavy rain may disturb the surface of the tank in such extent that it may influence the measured data just below the surface.

In the consequent work, working on simulations of flow in these objects is carried out that could lead to improvement of operation of secondary settle tanks in these WWTPs.

Conclusions

CFD modeling is a tool for flow simulation in objects in which turbulent flow occurs and that is impossible to describe by common means. After inserting real data, these models can serve for proposal of optimization solutions for the objects.

Acknowledgment

This work was supported by the Scientific Grant Agency of the Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic under the contract No 1/0631/15.

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the contract No APVV-0372-12.

This work was supported by the grant "Mladý výskumník STU" financed by the Rector's Office STU in Bratislava.

References

1. M. Patzinger, H. Kainz, M. Hunze, J. Józsa, Influence of secondary settling tank performance on suspended solids mass balance in activated sludge system, in Water Research, Vol. 46, 2012, pp. 2415 – 2424.
2. Š. Stanko, J. Hrudka, I. Škultétyová, M. Holubec, K. Galbová, V. Gregušová, T. Mackuľák, CFD analysis of experimental adjustments on wastewater treatment sedimentation tank inflow zone, in Monatshefte für Chemie - Chemical Monthly, Vol. 148, 2017, pp. 585 – 591
3. S. Diehl, J. Zambrano, B. Carlsson, Steady-state analysis of activated sludge processes with a settler model including sludge compression, in Water Research, Vol. 88, 2016, pp. 104 – 116.
4. D. Rusnák, Š. Stanko, I. Škultétyová, Rain model – Boundary condition in sewer network appraisal, in Pollack Periodica, Vol. 11, No. 2, 2008, pp. 105 – 112.
5. E. Ramin, D. S. Wágner, P.J. Binning, M. R. Rasmussen, P. S. Mikkelsen, B. G. Plósz, A new settling velocity model to describe secondary sedimentation, in Water Research, Vol. 66, 2014, pp. 447 – 458.
6. F. Rostami, M. Shahrokh, M. Said, R. Abdullah, Numerical modeling on inlet aperture effects on flow pattern in primary settling tanks, in Applied Mathematical Modeling, Vol. 35, 2011, pp. 3012 – 3020.
7. H. Ghavi, J. Kris, A numerical model of flow in sedimentation tanks in Slovakia, in Pollack Periodica, Vol. 3, No. 2, 2008, pp. 59 – 73.
8. V. Molnár, Computational fluid dynamics: Interdisciplinary attitude with CFD applications, (in Slovak) Slovak University of Technology in Bratislava, 2011.
9. Flo-Mate Model 2000, Installation and Operations Manual, Marsh-McBirney Inc, 1990.
10. M. Shahrokh, F. Rostami, M. Said, Syafalni, Numerical modeling of baffle location effects on the flow pattern of primary sedimentation tanks, in Applied Mathematical Modeling, Vol. 37, 2013, pp. 4486 – 4496.
11. M. Patzinger, Computational fluid dynamics investigation of shallow circular secondary settling tanks, Inlet geometry and performance indicators, in Chemical Engineering Research and Design, Vol. 112, 2016, pp. 122 – 131.

Applikácia in-situ meraných údajov na simuláciu prúdenia v sedimentačných nádržiach

Veronika GREGUŠOVÁ

Slovenská technická univerzita, Stavebná fakulta, Katedra zdravotného a environmentálneho inžinierstva, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, e-mail: veronika.gregusova@stuba.sk

Súhrn

Dosadzovacie nádrže ako nenahraditeľná súčasť čistiarní odpadových vôd predstavujú posledný krok v procese odstraňovania znečistenia z odpadových vôd. Ich správny návrh je preto zásadný pre prevádzku čistiarne odpadových vôd. Popis prúdenia v dosadzovacích nádržiach je zložitý, pretože má turbulentný charakter. V praxi sa realizujú simulácie prúdenia s využitím reálnych, nameraných dát. V článku je popísaný zber údajov z dvoch čistiarní odpadových vôd na Orave a následné zhodnotenie údajov pre potreby vytvorenia modelu, ktorý bude použitý ako základ na simuláciu prúdenia v nádrži. Pre prácu boli vybraté pravouhlá sedimentačná nádrž s horizontálnym prietokom a radiálna sedimentačná nádrž s horizontálnym prietokom. Merané boli bodové rýchlosťi prúdenia odpadovej vody v nádrži.

Kľúčové slová: simulácia, prúdenie, ČOV, sedimentačné nádrže

An accurate measurement of the volume of construction waste dumps by unmanned means

Karol GRÜNNER, Juraj DUDÁŠ

UAVONIC, spol. s r. o., Bratislava, Slovak Republic

e-mail: karol@grunner.sk, juraj.dudas@uavonic.com

Summary

Since most construction waste is disposed of in landfills, it is necessary to step up control of its management – for this however, its essential to know the volume of the landfills. An overview of the entire material flow up to the final recovery of the waste is needed. A prerequisite are more accurate data on the quantities of waste in landfills. A new trend in measuring landfill volumes is the application of unmanned aerial vehicles (UAV) with photogrammetric devices. This method excels at its speed and accuracy. Thanks to this technology, it is also possible to target large scale landfills in a short period of time, only within a few hours.

The article deals with a special method, which is able to determine in a short time the exact data on the volumes of individual materials in the landfill and the changes during the use of such materials. A significant benefit of this method is that no meters are needed, and it is also possible to obtain a large number of different data even in inaccessible areas. The method uses an unmanned device that is used as a carrier for a photogrammetric unit. The carrier is usually a multi-rotor device or fixed wing aircraft. The carrier type is chosen accordingly to the weight of the digital camera and the area of the landfill. The article describes the data collection process, data processing and the advantages of quantifying the volume of landfills using UAV photogrammetry. Examples of UAV use in practice illustrate the benefits of using this system for all types of landfills. Fast and accurate volume determination, e.g. using the contactless UAV system is an effective tool for efficient waste management.

Keywords: building waste, recycling, recycling centre, determining the amount of waste, unmanned aerial vehicles UAVs

Introduction

A significant share of the overall volume of waste is construction waste, which has a significant share of the total waste in the company. Construction waste represents the remnants of what is essentially new building material. This provides an alternative source of secondary raw materials. Measures to increase the proportion of recycled and recycled parts should lead to a significant reduction in the burden on the environment by reducing the generation of waste in landfills, as well as by reducing the volume of primary raw materials used on landfills and old loads.

The objective of waste management in the field of construction and demolition waste is to increase the preparation for reuse, recycling and recovery of construction and demolition waste, including pumping works, as a substitute for other materials, at least 70 % of the weight of the waste generated by 2 020. Appropriate information and promotion measures need to be taken and incentive instruments put in place.

The Waste Act also concerns the obligation to deal with waste prevention measures for significant waste producers. According to § 6 par. 1 "a waste producer who is a legal entity or a natural person – entrepreneur and produces more than 10 tones of hazardous waste or 100 tones of other waste annually, draws up its own waste management program". This program must be in line with the hierarchy and objectives of waste management. Therefore, the mandatory part of the waste producer program must also include organizational, technological and manufacturing measures to prevent waste generation.

According to the Statistical Office of the Slovak Republic it can be stated that the way of handling small construction waste is in the monitored period, with about 90 % of small construction waste disposed of by landfilling. Given the large volume of construction waste, it is necessary to jointly set the objective of much higher use of construction waste as a substitute for other construction material and **to reduce the amount of landfilled waste.**

To support the reaching of targets for construction and demolition waste, it is necessary to increase the preparation for reuse, recycling and recovery of waste. In order to achieve these objectives, it is necessary, among other things, **to intensify the control of the treatment of construction waste** by building and waste management authorities, OÚŽP, construction office (issue of the building permit to be bound to present documents for disposal of all types of waste from the construction; confirmation from the waste collector or the person entitled to waste). The first assumption being that it **is necessary to know the volumes of landfills, whether official or "black".**

It has been proved necessary to improve the system for keeping records and reporting data on the volume of landfills, in particular in order to monitor the achievement of the objectives.

Determining the amount of waste in landfills

On January 1, 2013, the municipalities brought about several obligations under the Waste Act no. 223/2001 Coll. through Act No. 343/2012 Coll. In addition, they must take into account the new waste management hierarchy and have an **overview of the entire material flow to the final recovery of the waste.** Key points include changes to some legal definitions and the introduction of new definitions in line with the text of the Framework Directive. Municipalities must develop their own Waste Management Program (POH) and submit for approval within 4 months after the issue of the POH of the Region

The Waste Act describes the following facts. The originator of the waste, which is a legal entity or a natural person - entrepreneur and produces more than 10 tones of hazardous waste or 100 tones of other waste annually, develops its own program. The obligation for the waste producer to draw up a program for municipal waste as well as for waste from normal maintenance work carried out by a natural person up to one m³ per year from one natural person (hereinafter "small construction waste"), the municipality in which the waste is generated. Small-scale construction waste is often a crucial part of illegal landfills. This program includes **determining the volume of waste dumps and determining the maximum allowable amount of waste in the landfill.**

From Section 39 of the Act - Municipal waste management and small construction waste generated on the territory of the municipality is the responsibility of said municipality. The municipality is obliged to ensure the collection and transport of bulk waste for the purpose of recovery, or disposal of separately collected household waste containing harmful substances and small construction waste, as appropriate, at least twice a year. In accordance with the waste management hierarchy, the municipality will, in accordance with the waste management regulations, lay down a general binding regulation specifying, in particular, the details of the way in which small-scale construction waste is handled, as well as the sites for the disposal of such waste.

The municipality is entitled to require the waste collector or the person who handles the construction waste in the municipality to provide the necessary information. The construction waste holder, or the person handling the waste is obligated to provide accurate and complete information on the disposal of construction waste at the request of the municipality. However, such information requires more accurate data on the quantities of waste in landfills, which the waste holder is often not able to determine appropriately, especially on a piece of land. This requires special methods, which are able to provide accurate data on the volumes of individual materials in the landfill site and changes during the reuse of such materials. The use of such methods is of great importance for the documentary value, which can not be disputed in the case of disputes. Significant benefits of modern methods are that no meter is needed, and it is also possible to obtain a wide variety of data even in inaccessible areas.

Determining landfill volumes by unmanned UAV means

A new trend in measuring landfill volumes is the application of unmanned vehicles to photogrammetric devices. This method excels at its speed and accuracy. Thanks to this technology, it is also possible to target large scale landfills in a short period of time, within a few hours.



Figure 1: Unmanned UAV

The unmanned device (Figure 1) is used as a carrier for a photogrammetric unit. The carrier is a multi-rotor or rigid wing aircraft. The carrier type is chosen depending on the weight of the digital camera and the landfill area. For areas up to 150 hectares, a multi-rotor device is mostly used. With large landfills a fixed-wing aircraft being used, but requiring a landing surface. The camera type is selected depending on the model's resolution, in this case the GSD - ground sample distance.

Photogrammetry is a set of methods for acquiring cartographic or geodetic coordinates, dimensional coordinates of buildings, buildings themselves, rooms and individual objects based on analogue or digital photography. Photogrammetry uses optical, photographic and geometric-mathematical methods. In the past, analogue methods – optical and geodetic measurements were used. Since digital photography is mostly used today and the coordinates are processed digitally and online, we can consider these methods to be digitization.

This is the central projection of the image produced (photograph) and the transformation of the frame coordinates into geodetic coordinates. The center of the projection is the center of the lens. The frame marker links on the image to create a frame coordinate system. From image frames, the calculated, or determined geodetic coordinates of key points are transformed.

The procedure for measuring the volume of waste dumps by UAV is normally composed of two parts, namely data collection and software data processing.

Description of the data collection process:

1. Focus points

These are points physically indicated at the edge of the landfill, serving to refine the model and link it to the local co-ordination system. The climbing points are targeted by the GNSS RTK. Usually, for areas up to 20 ha, 4 to 5 points are sufficient.

2. Preparation of flight trajectory

The flight trajectory is mostly prepared at the landfill site. The flight trajectory influences the following parameters:

- weather conditions,
- the area and shape of the landfill,
- required resolution and accuracy of the digital model,
- the type of UAV and camera used.

Flight trajectory is made up of specialized software that is specific to each device, mostly through an application installed on a tablet or a PC. When generating a trajectory, the operator must mark the landing area's interest on the map, then enter the required GSD, cross-section and longitudinal overlay. The automatic software will generate the flight path and send the information to the device.

3. Flight security

Flight must be provided under suitable weather and light conditions, most of the flight being fully automatic; however, the pilot may at any time take control of the machine. Flight time for multi-rotor devices is about 20 minutes; for fixed wing devices it is about 50 minutes.

Data processing:

1. Data collection

The collected data should be prepared for further processing. Photos are geotagged, that is, the location information in which the image was captured is inserted into them. From RTK GPS, stack location data is downloaded.

2. Processing of photogrammetric software

The data obtained is embedded in the software, the first step is to assign the position to individual points. Subsequently, the software generates a cloud of points, from which a digital surface model is created. Finally, the model is supplemented with texture. In addition to the model, the orthophotomap of the site is part of the output.

3. Processing the 3D model

After digitizing the landfill itself, it is possible to subsequently work with its 3D model to determine the interest parameters. Thanks to a realistic landfill model, it is possible to accurately quantify the amount of waste that is found in the landfill. Volume measurement can be done by determining the plane of the underlying surface, or by comparing two different models in a differential form. Free landfill capacity can be determined by comparing the landfill project with the actual 3D landfill model. The object can be supplemented with contours of different resolutions. All outputs can be exported to 3D PDF and all CAD formats. The resulting information is processed into a PDF message. As far as the accuracy of the digital model points is concerned, they are moving at 2 – 4 cm in horizontal axis and 4 – 6 cm in vertical axis, depending on GSD.

Advantages of quantification of the volume of landfills using UAV photogrammetry:

- low time requirements,
- high accuracy of measurement,
- reducing the risk of data collection (no landfill is required),
- financial efficiency.

Examples of UAV use in practice

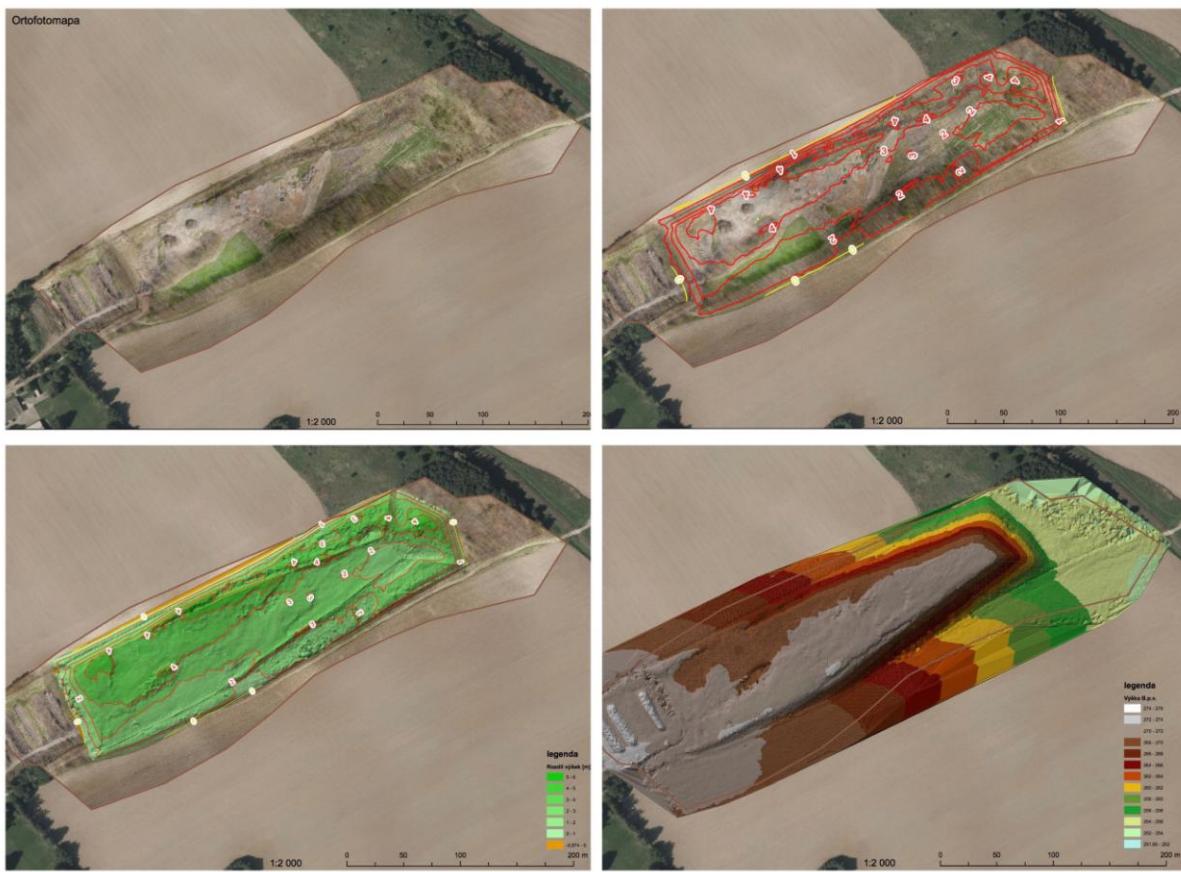


Figure 2: An example of a contour model of the landfill

This technology has been used for comprehensive analysis of the storage of materials at a landfill sites in the Czech Republic.

The actual collection of data in the landfill was completed in about 2 hours, with workers not having to enter the active sites of the landfill, as the uncontrolled method of measurement was used. The collection of data began by marking the landing points at the edge of the landfill and focusing them on RTK GPS. Subsequently, the crew created the flight plan and launched the unmanned vehicle.

The data obtained was then processed using specialized software, in which a realistic 3D model of the landfill was created. To illustrate the resolution of the 3D model, it is enough to state that it was composed of 7 478 001 points spaced 6 cm in diameter. Thanks to the quality of the model, it is possible to subsequently provide a more accurate analysis of the material storage.

Subsequent comparison of current, past and project data was made in specialized GIS software.

The outputs of the analysis were as follows:

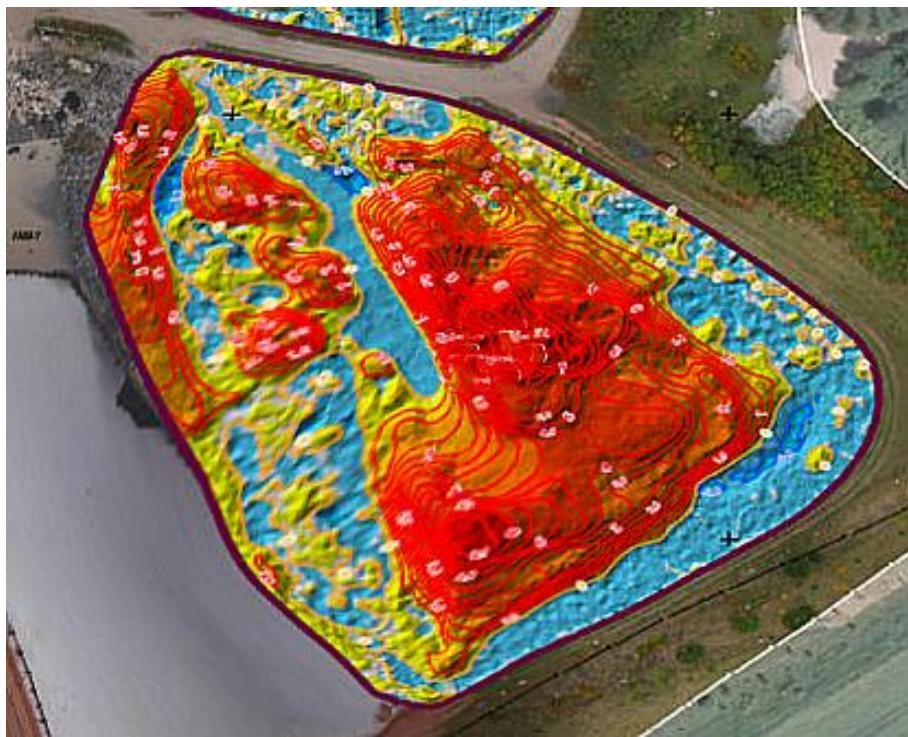


Figure 3: Presentation of the actual state of the landfill site

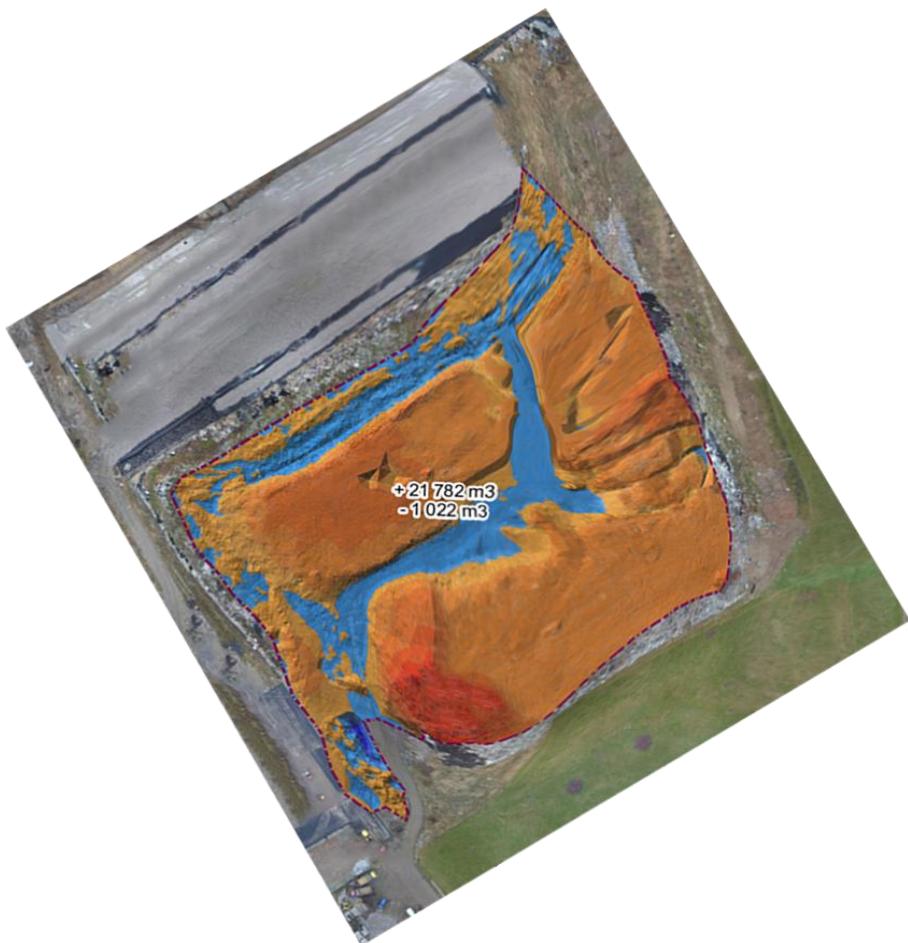


Figure 4: Displays capacity of the landfill

Conclusion

Due to the change in waste law, municipalities have been obliged to develop their own Waste Management Program, which has to take into account a new waste management hierarchy where emphasis is placed on waste prevention and preparation for its re-use. In order to efficiently exploit waste from landfills, we must first identify it and then divide volume / by weight. In cooperation with the creation of the collection yard system, the end of the building pit can be helped, respectively earthworms with untreated waste. A quick and accurate determination of the volume, for example, is required to quantify the amount of waste in landfills, using the UAV contactless system.

Literature

- [1] Šíma, J.: Digitální letecké měřické snímkování – nový impulz k rozvoji fotogrammetrie v České Republice. Geodetický a kartografický obzor, ročník 59/101, 2013, č.1, s. 15 – 21
- [2] Frašťia, M; Müller, L; Uhrin, Z; Cílik, J.: Overenie polohovej a výškovej presnosti mapovania systémom Gatewing X100. In: 20. slovenské geodetické dni: Zborník referátov. Žilina, SR, 2012. Bratislava: Komora geodetov a kartografov, 2012. ISBN 978-80-969809-9-4
- [3] Eisenbeiß, H: UAV Photogrammetry. Dissertation. Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, Technische Hochschule Zürich, 2009, ISSN 0252-9335; ISBN 978-3-906467-86-3
- [4] Sippo, M.: Experiences in UAS Photogrammetry. In: GIM International. Issue 1, volume 2013. Geomares Publishing, Netherlands. ISBN/EAN: 978-90-806205-0-6, pp. 18 – 21
- [5] Grünner, K; Luknár M.: Koniec stavebného odpadu. Zborník prednášok TOP 2014. STU, Strojnícka fakulta Bratislava, 2014. ISBN 978-80-227-4174-3, s. 141 – 146
- [6] Kliment, M; Halva, J: Využitie údajov získaných fotogrametrickou metódou pri účelovom mapovaní výškopisu v projekte pozemkových úprav. In: Reminiscencie geodézie a fotogrammetrie. Bratislava: STU, 2009. ISSN 978-80-227-3045-7

Presné meranie objemov skládok stavebného odpadu pomocou bezpilotných prostriedkov

Karol GRÜNNER, Juraj DUDÁŠ

UAVONIC, spol. s r. o., Bratislava, SR

Súhrn

Nakoľko väčšina stavebného odpadu je zneškodňovaná skládkovaním, je potrebné zintenzívniť kontrolu nakladania s ním. Na to je však potrebné poznáť objemy skládok. Treba mať prehľad o celom materiálovom toku až po konečné zhodnotenie odpadu. K takýmto informáciám sú však potrebné presnejšie údaje o množstvách odpadu na skládkach. Novým trendom pri meraní objemov skládok je aplikácia bezpilotných prostriedkov fotogrametrickými zariadeniami. Táto metóda vyniká svojou rýchlosťou a presnosťou. Vďaka tejto technológii je možné zameranie aj rozsiahlych skládok v krátkom časovom úseku, a to len v priebehu niekoľkých hodín.

Článok sa zaobráva špeciálnou metódou, ktorá je schopná v krátkom čase stanoviť presné údaje o objemoch jednotlivých materiálov na skládke a zmeny v priebehu využívania takýchto materiálov. Významným prínosom tejto metódy je, že nie sú potrební merači a je možnosť získavania množstva rozličných údajov aj v neprístupných územiach. Metóda využíva bezpilotný prostriedok, ktorý je využívaný ako nosič pre fotogrametrickú jednotku. Nosičom býva multirotorové zariadenie alebo lietadlo s pevným krídlom. Typ nosiča je volený v závislosti od hmotnosti daného digitálneho fotoaparátu a od plochy skládky. V článku je uvedený opis postupu zberu dát, spracovanie údajov a výhody kvantifikácie objemu skládok za pomoci UAV fotogrammetrie. Príklady využitia systému UAV v praxi dokumentujú výhody použitia tohto systému pre všetky typy skládok odpadu. Rýchle a presné stanovenie objemu napr. pomocou bezdotykového systému UAV je účinný nástroj na efektívne nakladanie s odpadom.

Kľúčové slová: stavebný odpad, recyklácia, recyklačné stredisko, stanovenie množstva odpadu, bezpilotné prostriedky UAV

Recyklácia použitých automobilových katalyzátorov

**Tomáš HAVLIK, Andrea MIŠKUFOVÁ, Jakub KLIMKO, Ján MÁRIÁSSY,
Peter TUREK**

*Ústav recykláčnych technológií, Fakulta materiálov, metalurgie a recyklácie,
Technická univerzita v Košiciach, Letná 9, 04200 Košice, Slovensko.*

e-mail: tomas.havlik@tuke.sk

Súhrn

Vyradené autokatalyzátory obsahujú zaujímavé množstvá ušľachtilých kovov platiny, paládia a ródia podľa druhu autokatalyzátora, čím sa stávajú možným zdrojom týchto kovov. V predloženej práci sa študovala možnosť hydrometalurgického spracovania vyradených autokatalyzátorov v prostredí kyseliny chlorovodíkovej s oxidačným činidlom peroxidom vodíka. Dosiahli sa výtažnosti na úrovni 98 % Pd, 90 % Pt a 79 % Rh pri 65 °C počas troch hodín lúhovania. Vylúhované ušľachtilé kovy sa následne selektívne získali z lúhovacích roztokov pomocou kvapalinovej extrakcie.

Kľúčové slová: autokatalyzátor, platina, paládium, ródium, nerez, recyklácia, hydrometalurgia.

Úvod

Autokatalyzátor je technické zariadenie vo výfukovom systéme spaľovacieho motora, ktorého úlohou je upraviť zloženie výfukových plynov do neho vstupujúcich tak, aby na výstupe obsahovali menší, najlepšie nulový podiel exhalátorov alebo emisií. Je väčšinou konštruovaný ako keramické teleso valcového tvaru s množstvom malých kanálikov. Ich povrch v závislosti od typu obsahuje katalytickú látku. Takéto riešenie zabezpečuje čo najväčšiu pracovnú plochu pri minimálnych rozmeroch. Zvolený materiál zároveň umožňuje dosahovať a udržať vysokú pracovnú teplotu.

V hrubom delení sa rozpoznávajú autokatalyzátory z benzínových a z dieselových motorov. Množstvo platiny, paládia a ródia v autokatalyzátoroch sa významne lísi v závislosti od typu vozidla, výrobcu, krajiny, roku a ďalších faktorov. Priemerný obsah platiny v katalyzátore sa pohybuje od 0,152 g do 2,16 g, paládia od 0,384 do 2,8 g a ródia od 0,036 do 0,376 g v závislosti od toho, či sa jedná o benzínový alebo dieselový autokatalyzátor.

Spracovaniu autokatalyzátorov sa venuje niekoľko spoločností na svete, kde sa tieto spracovávajú pyrometalurgickým, hydrometalurgickým alebo kombinovaným spôsobom. Medzi najväčšími spracovateľmi autokatalyzátorov a katalyzátorov z chemického priemyslu patria spoločnosti Umicore, Belgicko a Johnson Matthey, Veľká Británia¹. Ďalšie spoločnosti, ktoré sa zaoberajú spracovaním autokatalyzátorov sú Gulf Chemical & Metallurgical Corporation, USA, Globe Metal, Kanada, Heesung PMTech, Južná Kórea, využívajúce kombinovaný spôsob spracovania a ďalej Furuya Metal, Japonsko a Safina, Česko, ktoré aplikujú pyrometalurgický plazmový proces¹.

Na Slovensku sa použité autokatalyzátory nespracovávajú, avšak existujú spoločnosti, ktoré sa zaoberajú výkupom použitých autokatalyzátorov. Oficiálne nie je známe, aký je ďalší postup spracovania týchto vykúpených autokatalyzátorov.

Získavanie a rafinácia kovov platinovej skupiny (KPS) z autokatalyzátorov je vzhľadom na cenu týchto kovov ekonomicky výhodná. Vzhľadom na reálne dosiahnutelné množstvá vyradených autokatalyzátorov je hydrometalurgický spôsob optimálnym spôsobom spracovania. V prvom rade je však treba oddeliť od seba kovový plášť a keramickú vložku. Táto sa podrví, resp. pomolie a podrobí sa lúhovaniu vo vhodnom vodnom prostredí. Následným krokom je získanie platinových kovov z lúhovacieho roztoku a ich úprava na komerčnú formu.

Platinové kovy možno z autokatalyzátorov získať lúhovaním v kyslých alebo zásaditých lúhovacích médiách, najčastejšie s použitím oxidačných činidiel. Lúhovanie môže prebiehať za normálnych podmienok teploty a tlaku, alternatívou môže byť tlakové lúhovanie. Vzhľadom na zloženie autokatalyzátora sa v princípe môže jednať o dva prístupy pri spracovaní, kde je cieľom buď vylúhovanie

nosného materiálu na bázekordieritu a $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, pričom kovy ostanú v nerozpustnom zvyšku alebo priama extrakcia kovov do výluhu.

Dong a kol.² uvádzajú, že $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ sa v kyseline alebo zásade lúhuje a v roztoku je vo forme Al^{3+} , pričom v roztoku sa môžu tvoriť koloidy vzhľadom na hydrolízu hliníka pri nevhodnom pH roztoku, čo spôsobuje problémy pri separácii fáz. V tomto procese sa lúhujú aj platinové kovy, preto je nasledujúcim krokom ich redukcia. Z výluhu následne možno získať aj Al_2O_3 , čím sa zabezpečí úplná recyklácia autokatalyzátorov.

Na priamu extrakciu kovov z autokatalyzátorov sa skúma využitie rôznych zmesí lúhovacích a oxidačných činidiel. Pomerne veľké množstvo štúdií sa venuje použitiu HCl ako základného lúhovacieho média s príďavkami oxidačných činidiel ako HNO_3 , Cl_2 , NaClO_3 , H_2O_2 a aplikujú sa tiež lúčavka kráľovská, alkalické kyanidy, jodidové lúhovacie činidlo a pod²⁻⁹.

Intenzификаčným prvkom pri lúhovaní za účelom zvýšenia efektivity procesu získavania kovov platinovej skupiny (KPS) z autokatalyzátorov je použitie mikrovlnného žiarenia. Jafarifar a kol.¹⁰ testovali získavanie Pt a Re z bimetalického katalyzátora použitím klasického a mikrovlnného lúhovania v lúčavke kráľovskej. Autori zistili, že mikrovlnné lúhovanie prebieha významne rýchlejšie s vyššou výtažnosťou a nižšou spotrebou kyseliny. K podobným výsledkom sa dopracovali aj Suoranta a kol.¹¹

Získavanie kovov z výluhu je zásadným krokom pre vzájomnú separáciu záujmových kovov a zisk produktu s vysokou čistotou. Medzi klasické metódy možno zaradiť adsorpciu na vhodnom sorbente a zrážanie. Moderným trendom je kvapalinová extrakcia, pomocou ktorej možno dosiahnuť vysokú selektivitu.

Lee a kol. [12] skúmali použitie kvapalinovej extrakcie pre získavanie paládia a platiny z chloridových výluhov po lúhovaní autokatalyzátorov. Ako extrakčné činidlo sa použil tri-n-butyl fosfát (TBP) s koncentráciou 0,0018 – 0,183 M rozpustený v petroleji pre selektívnu extrakciu Pd aj pri nízkych koncentráciách. Dosiahla sa úplná extrakcia paládia a 99% extrakcia platiny.

Aplikáciou kvapalinovej extrakcie na získanie platinových kovov z výluhov po lúhovaní autokatalyzátorov sa zaoberali aj Marinho a kol., Kumar a kol. a Jha M.K a kol.¹³⁻¹⁵ využitím extrakčných činidiel typu Aliquat, Alamin, D2EHPA, TBP. Klasickým rozpúšťadlom je petrolej, okrem petroleja používali chloroform, benzonitril, toluén, xylén, izopropylalkohol a benzén.

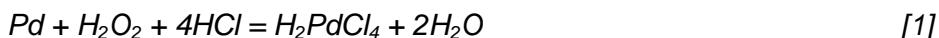
Roztoky s vyššou koncentráciou kovov platinovej skupiny po kvapalinovej extrakcii sa môžu spracovať zrážaním alebo kryštalizáciou za vzniku solí, ktoré sa následne podrobia žíhaniu, resp. kalcináciu, za vzniku práškových kovov. Ďalšou možnosťou je získavanie KPS elektrolýzou z vodných roztokov.

Experimentálna časť

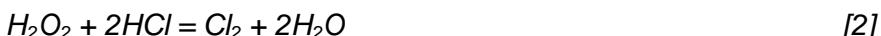
Platina, paládium a ródium tvoria chlorokomplexy v kyslých chloridových roztokoch. Platina je prítomná hlavne ako dvoj a štvormocná. Pre tieto mocenstvá tvorí v chloridových roztokoch chlorokomplexy s koordinačným číslom 4 a 6. V prípade paládia dvoj a štvormocné zlúčeniny tvoria tuhé látky s koordinačným číslom 4 a 6. Najstabilnejšie zlúčeniny ródia sú trojmocné a ródium má tendencie tvorby komplexných iónov s koordinačným číslom 6.

Vzhľadom na to, že platina, paládium aj ródium patria medzi ušľachtilé kovy, nebudú reagovať v neoxidačnom prostredí. Keďže kyselina chlorovodíková je neoxidačná kyselina, reakcie s ušľachtilými kovmi s ňou nebudú prebiehať v reálnom čase. Preto je potrebné do systému pridávať nejaké oxidačné činidlo. Dostupným činidlom je peroxid vodíka H_2O_2 .

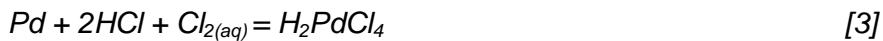
K najbežnejším chemickým reakciám platiny, paládia a ródia v systéme $\text{HCl} - \text{H}_2\text{O}_2$ patria:



Peroxid vodíka ľahko reaguje s HCl tvoriac chlór a vodu podľa



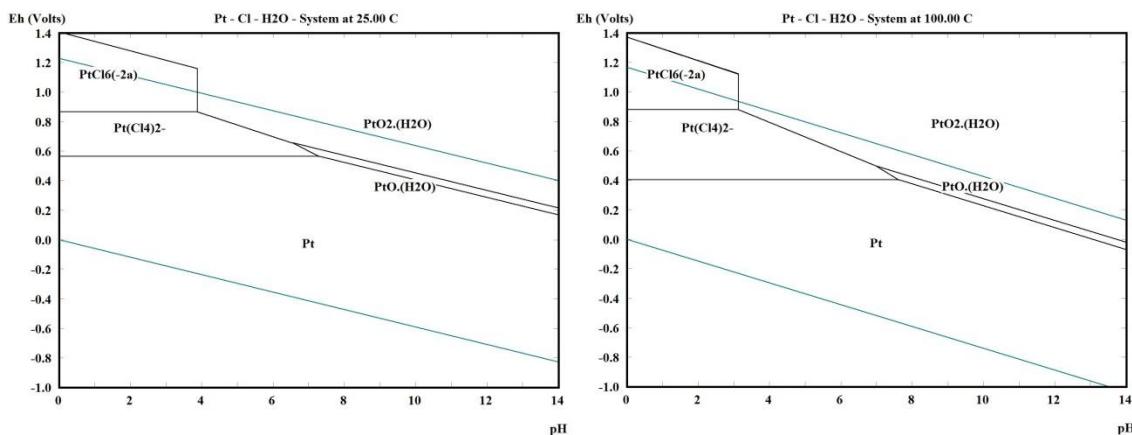
Vytvorená aktívna zložka, teda chlór v roztoku reaguje s paládiom podľa



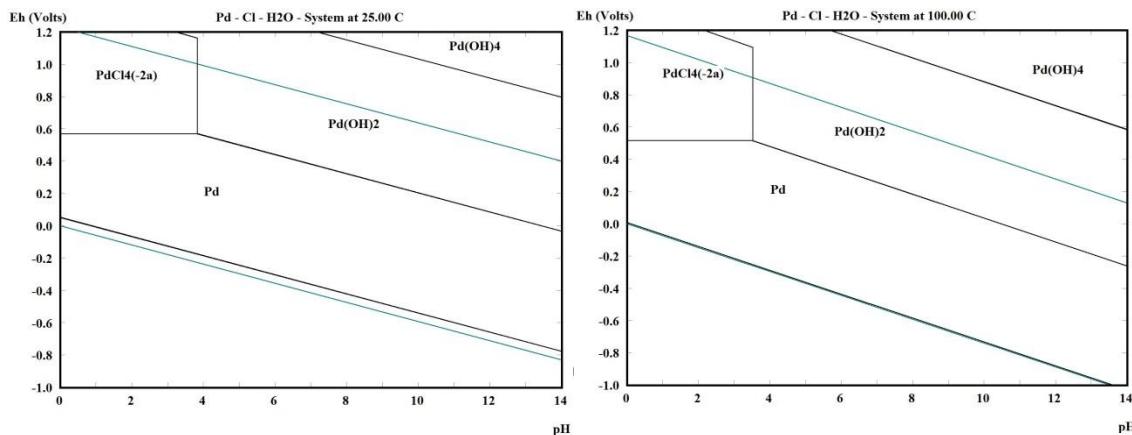
Analogické reakcie prebiehajú s prítomnou platinou a ródiovou uvažujúc nasledovné reakcie



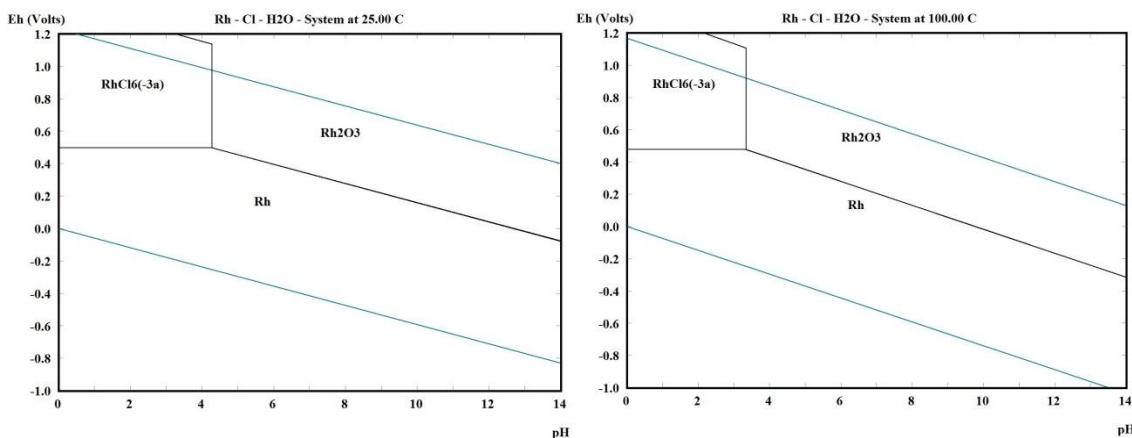
Chovanie sa jednotlivých zložiek v danom systéme a pri danej teplote možno študovať za použitia diagramov E-pH alebo potenciál (štandardný oxidačno-redukčný potenciál) – pH diagramov. Na obrázkoch 1 až 3 sú znázornené E-pH diagramy pre systémy Pt/Pd/Rh – Cl – H₂O pri 25 a 100 °C.



Obrázok 1: E-pH diagram systému Pt - Cl – H₂O pri 25 a 100 °C



Obrázok 2: E-pH diagram systému Pd - Cl – H₂O pri 25 a 100 °C



Obrázok 3: E-pH diagram systému Rh - Cl – H₂O pri 25 a 100 °C

Z uvedených diagramov na obrázkoch 1 až 3 vyplýva, že chlorokomplexy Pt, Pd a Rh iónov sa nachádzajú v oblasti stability vody. Oblasti rozpustnosti špecíí Pt a Pd sú limitované výskytom oblastí stabilít hydroxidu Pd, resp. oxihydroxidu Pt v neutrálnej, resp. zásaditej oblasti diagramu.

Vplyv teploty v týchto prípadoch zrejme nehrá rolu, keďže diagramy pri teplotách okolia a medznej teplote 100 °C sú veľmi podobné. Pre experimenty boli k dispozícii tri benzínové a tri dieselové použité autokatalyzátory zobrazené na obrázku 4.



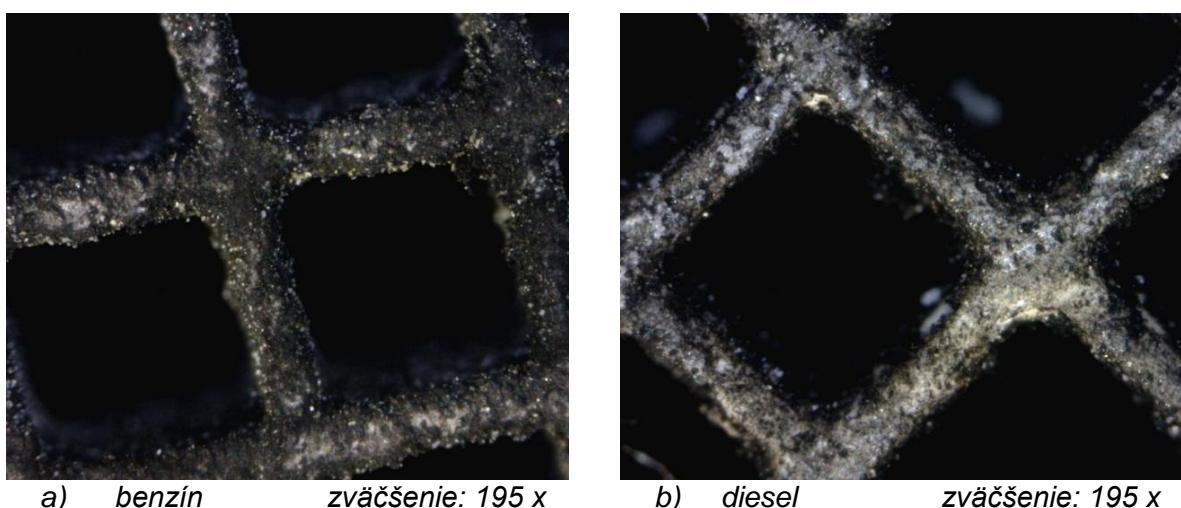
Obrázok 4: Autokatalyzátory pre experimenty

Obrázok 5 zobrazuje pohľad na demontovaný autokatalyzátor, ktorý bol použitý pre experimentálne štúdium.



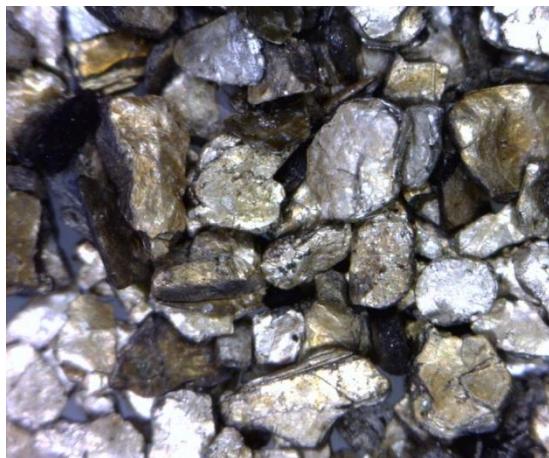
Obrázok 5: Rez autokatalyzátorom

Detailnejší pohľad na vnútro použitého katalyzátora je zobrazený na obrázku 6.



Obrázok 6: Detailný pohľad na vnútro a) benzínového a b) dieselového katalyzátora

V oboch prípadoch možno identifikovať prítomnosť lesklých častíc, pripomínajúcich kovové častice zobrazené na obrázku 7.



benzín

zväčšenie: 100 x

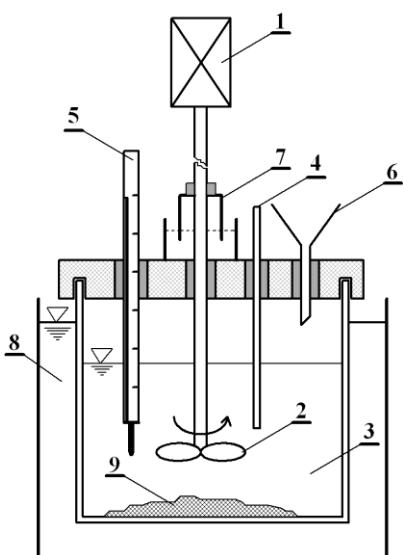
Obrázok 7: Detailný pohľad na trblietavé častice vnútra katalyzátora

Jednotlivé súčasti katalyzátora boli na základe vizuálneho pozorovania oddelené a podrobenej fázovej analýze. Rtg difrakčnou fázovou analýzou keramickej časti katalyzátora sa preukázalo, že táto je tvorená kordieritom $Mg_8Al_{16}Si_{20}O_{72}$. Difrakčná fázová analýza naznačuje, že tieto sa skladajú z oxidov céru a zirkónia a s možnou prítomnosťou ušľachtilých kovov.

Obsah ušľachtilých kovov (analyzovaný atómovou absorpčnou spektrometriou) v skúmanej vzorke bol: 0,33 % Pt, 0,21 % Pd a 0,03 % Rh.

Vzorky sa pomleli na veľkosť zrna 100 µm za účelom homogenizácie a zároveň zväčšenia reakčného povrchu.

Lúhovacie experimenty sa realizovali v klasickej lúhovacej aparátúre, zobrazenej na obrázku 8.



Popis lúhovacej aparatúry:

1. náhon miešadla s konštantne nastaviteľnými otáčkami,
2. miešadlo,
3. lúhovací rmut,
4. odber kvapalnej vzorky,
5. teplomer,
6. otvor pre pridávanie vzorky a lúhovadla,
7. sifónový uzáver,
8. termostat,
9. tuhá vzorka

Obrázok 8: Schéma aparatúry pre lúhovanie autokatalyzátorov

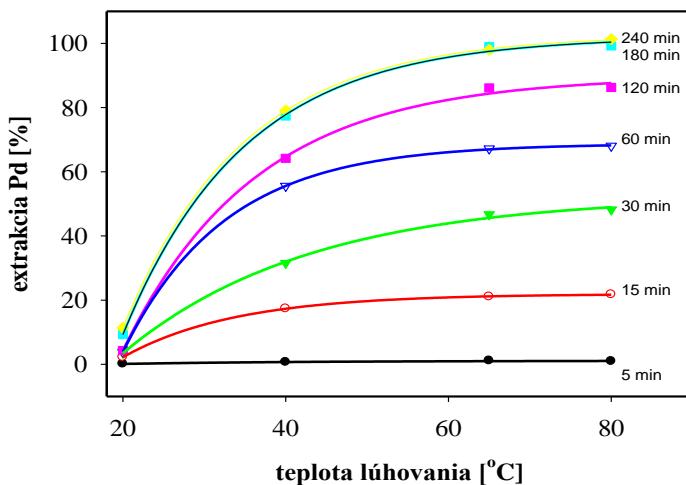
Experimenty lúhovania sa realizovali v sklenenom reaktore, ktorý bol ponorený do termostatu s cieľom udržania nastavenej teploty lúhovania. Samotný lúhovací experiment prebiehal nasledovne: do reaktora sa nalial vodný roztok kyseliny chlorovodíkovej o koncentrácií 30 %. Po dosiahnutí požadovanej teploty sa do roztoku vsypala prášková vzorka pomletého katalyzátora o stanovenej hmotnosti. Po troch minútach sa do reaktora prilial roztok peroxidu vodíka o stanovenej koncentrácií v množstve 30 ml. Rmut sa premiešaval skleneným miešadlom rýchlosťou 200 ot/min. V pravidelných stanovených intervaloch sa odoberala kvapalná vzorka za účelom chemickej analýzy na prítomnosť Pt, Pd a Rh metódou atómovej absorpcnej spektrometrie na analyzátore Thermo 3300.

Výsledky a diskusia

Optimálne podmienky vylúhovania požadovaných kovov do roztoku sú funkiami jednotlivých premenných, a to teploty lúhovania, doby lúhovania, množstva a koncentrácie HCl, množstva a koncentrácie H_2O_2 , hustoty rmutu, prípadne ďalších premenných. Častým problémom je, že jednotlivé premenné majú navzájom signifikantný vplyv na celkovú výťažnosť do roztoku.

Poradie experimentov s nastavenými jednotlivými premennými bolo preto podmienené optimalizáciou jednotlivých premenných s tým, že ostatné boli fixované.

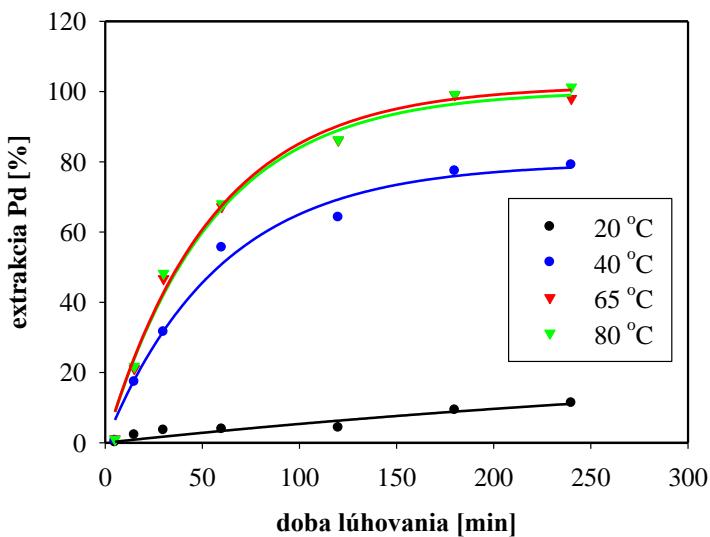
Výsledky základných experimentov štúdia vplyvu teploty na extrakciu paládia v čistom roztoku HCl bez prídavku peroxidu vodíka je zobrazený na obrázku 9.



Obrázok 9: Teplotná závislosť vylúhovania Pd v čistom roztoku HCl bez prídavku H_2O_2

Z výsledkov vyplýva, že teplota lúhovania 65 °C je dostatočná na vysokú extrakciu paládia do roztoku blížiacu sa 100 %. Ďalšie zvyšovanie teploty je prakticky bezvýznamné, keďže výťažnosti sú prakticky identické. Preto sa všetky ďalšie experimenty realizovali pri 65 °C.

Vplyv doby lúhovania na extrakciu paládia je zobrazený na obrázku 10.

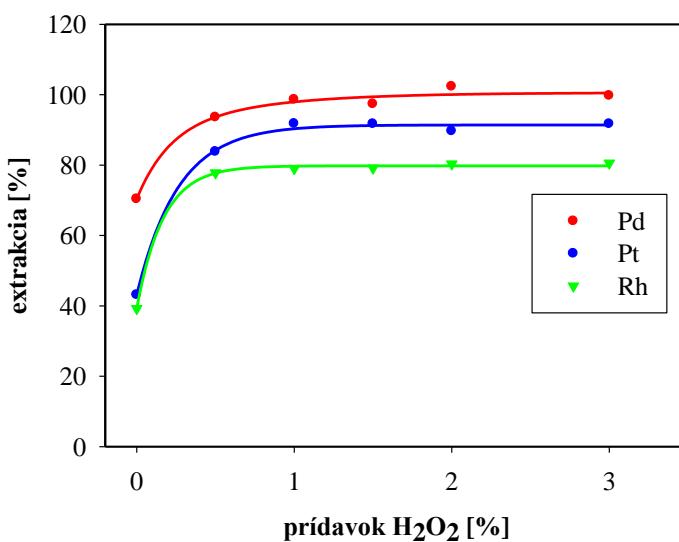


Obrázok 10: Časová závislosť vylúhovania Pd v čistom roztoku HCl bez prídatku H_2O_2

Z výsledkov vyplýva, že doba lúhovania 180 minút je dostatočná na maximálnu extrakciu paládia do roztoku a ďalšie predĺžovanie experimentu je bezvýznamné, keďže priebeh kinetických kriviek v závislosti od teploty pri 180 a 240 minút je identický. Preto sa všetky ďalšie experimenty lúhovania realizovali počas troch hodín.

Stanovená teplota lúhovania 65 °C a doba lúhovania 180 minút reprezentujú optimalizované hodnoty pre lúhovanie v čistej HCl bez prídatku oxidačného činidla. Napriek tomu, že HCl nie je oxidačná kyselina, proces extrakcie Pd prebieha, hoci sledované kovy Pt, Pd a Rh patria do skupiny ušľachtilých kovov z vysokým oxidačno-redukčným potenciálom. Dôvod je v tom, že proces lúhovania prebieha cestou tvorby chlórokomplexov.

Za účelom zefektívnenia lúhovania sa realizovali experimenty v ktorých sa do rmutu počas lúhovania pridávalo oxidačné činidlo peroxid vodíka o koncentrácií 35 % v celkovom objeme 1 až 3 % objemu roztoku HCl. Výsledky sú zobrazené na obrázku 11.



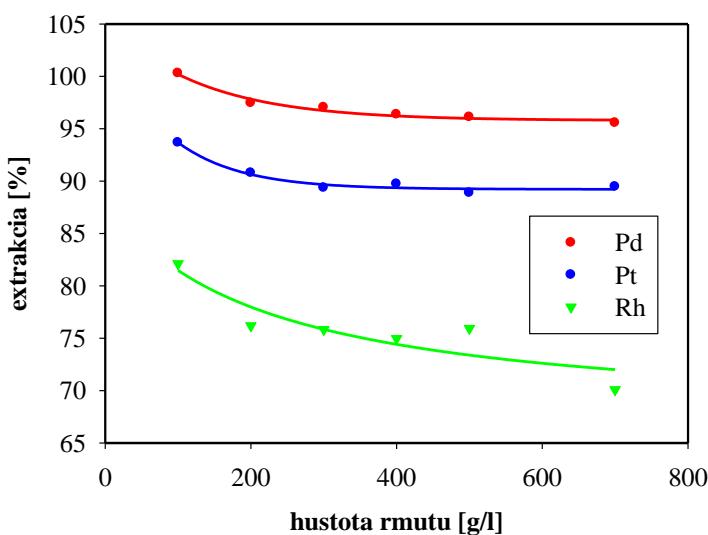
Obrázok 11: Závislosť extrakcie Pt, Pd a Rh od prídatku H_2O_2 do lúhovacieho roztoku

Ukázalo sa, že prídavok peroxidu vodíka má veľmi pozitívny vplyv na proces vylúhovania ušľachtilých kovov do roztoku. Už malé množstvo – okolo 1 % prídavku – zefektívni proces do maximálnych možných hodnôt a ďalšie zvyšovanie množstva peroxidu je bezvýznamné.

Všetky doterajšie experimenty boli zamerané na optimalizáciu premenných lúhovania s cieľom optimalizácie celého procesu. Je samozrejmé, že použitie čo možno najnižšej teploty, prídavok čo možno najnižšieho množstva peroxidu a čo možno najnižšia doba procesu ekonomicky zatraktívnuje lúhovanie.

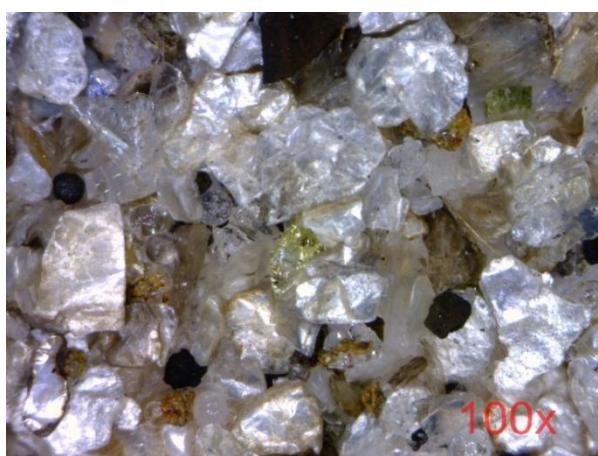
Dôležitým parametrom je však aj celkové množstvo kyseliny a hustota rmutu v procese lúhovania. Doterajšie experimenty prebiehali v relatívne riedkom rmutu o hustote 100 g/vzorku na liter roztoku. Reálne je takáto hustota nízka a negatívne by sa prejavila na celkovej ekonomike procesu. Preto je potrebné odskúšať praktické hodnoty hustoty rmutu pre lúhovanie.

Obrázok 12 zobrazuje závislosť extrakcie jednotlivých sledovaných kovov na hustote rmutu v rozmedzí 100 až 700 g/l. Hustota 700 g/l je už veľmi vysoká a rmut stráca svoju tekutosť.



Obrázok 12: Závislosť extrakcie kovov od hustoty rmutu

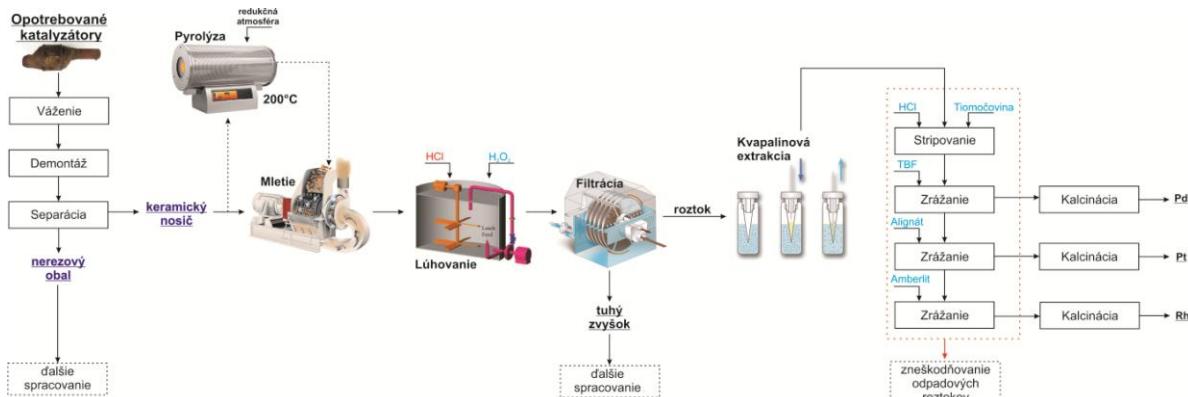
Podrobnejšie skúmanie ukázalo, že pôvodné zlatisté častice stratili lúhovaním svoju charakteristickú farbu a v nerozpustnom zvyšku ostali ako priečladné vzhládom priomínajúce sklenené alebo krištáľové častice, obrázok 13.



Obrázok 13: Pohľad na pôvodne zlatisté častice po lúhovaní

Röntgenová difrakčná fázová analýza častic po lúhovaní preukázala prítomnosť oxidu a silikátu zirkónia, oxidu hlinitého a oxidu kremičitého.

Z dosiahnutých výsledkov vyplýva, že hydrometalurgický spôsob recyklácie ušľachtilých kovov Pt, Pd a Rh z vyradených autokatalyzátorov je cesta schodná a aplikovateľná v slovenských podmienkach bez zvláštnych nárokov na zariadenie alebo špecializovanú technológiu. Na základe uvedených výsledkov sa navrhla schéma linky spracovania opotrebovaných autokatalyzátorov zobrazená na obrázku 14.



Obrázok 14: Schéma linky spracovania opotrebovaných autokatalyzátorov

Podákovanie

Táto práca vznikla v rámci riešenia projektov P 1179012016: Integrovaná výskumná platforma zhodnocovania jednotlivých prúdov odpadov najmä z automobilového priemyslu, financovaného z prostriedkov Recykláčného fondu SR a vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj, pre projekt: „Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií – II. fáza“ Kód ITMS: 313011D232, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu

Literatúra

- [1] Havlik T., Miškufová A., Oráč D., Takáčová Z.: Integrovaná výskumná platforma zhodnocovania jednotlivých prúdov odpadov najmä z automobilového priemyslu, Časť 3: Spracovanie použitých automobilových katalyzátorov, (2016), str. 39
- [2] Dong H., Zhao J., Chen J., Wu J., Li B.: Int. J. Miner. Process. 145, 108 (2015).
- [3] A. Fornalczyk A., Saternus M.: Metalurgija 48, 133 (2009)
- [4] Aberasturi D. J., Pinedo R., Larramendi I.R., Larramendi J.I.R., Rojo T.: Miner. Eng. 24, 505 (2011).
- [5] Chen S., Shen S., Cheng Y., Wang H., Lv B., Wang F.: Hydrometallurgy 144 – 145, 69 (2014).
- [6] Barakat M. A., Mahmoud M.H.H., Mahrous Y.S.: Appl. Catal., A 301, 182 (2006).
- [7] P. Grumett: Platinum Met. Rev. 47, 162 (2003).
- [8] Jha M. K., Lee J., Kim M., Jeong J., Kim B., Kumar V.: Hydrometallurgy 133, 23 (2013).
- [9] Chen J., Huan K.: Hydrometallurgy 82, 164 (2006).
- [10] Jafarifar D., Daryanavard M. R., Sheibani S.: Hydrometallurgy 78, 166 (2005).
- [11] Suoranta T., Zugazua O., Niemelä M., Perämäki P.: Hydrometallurgy 154, 56 (2015).
- [12] Lee J. Y., Raju B., Kumar B. N., Kumar J. R., Park H. K., Reddy B. R.: Sep. Purif. Technol. 73, 213 (2010).
- [13] Marinho R.S., Afonso J. C., Cunha J. W.: J. Hazard. Mater. 179, 488 (2010).
- [14] Kumar J.R., Lee H., Lee J., Kim J., Sohn J.: Sep. Purif. Technol. 63, 184 (2008).
- [15] Jha M.K., Gupta D., Lee J., Kumar V., Jeong J.: Hydrometallurgy, 142, 60 (2014).

Recycling of used automotive catalysts

Tomáš HAVLIK, Andrea MIŠKUFOVÁ, Jakub KLIMKO, Ján MÁRIÁSSY, Peter TUREK

Institute of Recycling Technologies, Faculty of Materials, Metallurgy and Recycling, Technical University of Košice, Letná 9, 04200 Košice, Slovak Republic.

Summary

Spent car catalytic converters contain an interesting amount of platinum, palladium and rhodium which makes them a possible secondary source of these metals. The amount of metals in the catalysts varies depending on its type. In the present study, the possibility of hydrometallurgical treatment of catalysts in hydrochloric acid with hydrogen peroxide as an oxidizing agent was studied. After 3 hours of leaching at 65 °C, the leaching efficiency were 98% Pd, 90% Pt and 79% Rh. Leached noble metals were then selectively recovered from the leaching solutions by liquid extraction.

Keywords: Catalytic Converter, Platinum, Palladium, Rhodium, stainless steel, recycling, hydrometallurgy

Current status and potential of biomass utilization in the Slovak Republic

František JANÍČEK^a, Jana NÉMETHOVÁ^b, Milan PERNÝ^a, Vladimír ŠÁLY^a

^a Institute of Power and Applied Electrical Engineering, Faculty of Electrical Engineering and Information Technology, Slovak University of Technology, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovak Republic, e-mail: milan.perny@stuba.sk

^b Department of Geography and Regional Development, Faculty of Natural Sciences, Constantine the Philosopher University in Nitra, Trieda A. Hlinku 1, 949 74 Nitra, Slovak Republic, e-mail: jnemethova@ukf.sk

Summary

Slovakia is among the countries with a significant potential of renewable energy sources (RES). The share of RES was about 1.6 % of the total consumption of primary energy sources (electricity, heat, cold and transport) in 2002. In 2012 it is already more than 10 % of the consumption of primary energy sources. However, the current use of renewable energy in the Slovak Republic is low, reaching only 27 % of the technically usable potential of Slovakia. Hydroelectric power plants (18 335 TJ, resp. 5 093 GWh/year) and biomass (11 491 TJ, resp. 3 192 GWh/year) represent currently largest share of RES. Biomass also has the highest untapped potential among other RES. This paper includes up-to-date information on the installed capacities in the individual regions of Slovakia, which produce thermal energy from biomass in the simplest way - combustion. Further we discuss the issue of the current state of utilization and acquisition of biogas in Slovakia. The technical and legislative aspects of the above mentioned issue are discussed.

Keywords: energy sources, renewable energy, legislative, power engineering.

Introduction

Slovakia is currently facing a challenge to reduce significantly greenhouse gas emissions while economic growth would be preserved. Fossil fuel stocks are shrinking and their prices are constantly rising¹. This is a sufficient signal to accelerate the development and use of renewable energy sources in energy production. According to Annex 1 of Directive 2009/28/EC, the Slovak Republic is obliged to increase the use of renewable energy sources (RES) in relation to gross final energy consumption from 6.7 % in 2005 to 14 % in 2020. This commitment is also meaningful in context of diversification and distribution of energy sources.

Biomass has the highest renewable energy potential in Slovakia (42 %). The total biomass potential of 147 PJ per year is the most of all available renewable energy sources. In terms of usability, the most important is the forest biomass. Biomass is therefore one of the key areas for increasing the use of RES in the Slovak Republic. Even though to its enormous technical potential, the use of biomass in Slovakia is still insufficient. The highest available energy potential in Slovakia among all types of biomass has clearly an agricultural biomass². Biomass can replace fossil fuels to a large extent³.

Comparison of the technically viable potential of renewable energy sources in Slovakia

Slovakia is among the countries with a significant potential of renewable energy sources. The share of RES was about 1.6 % of the total consumption of primary energy sources (electricity generation, heat, cold and transport) in 2002. In 2012 it was already more than 10 % of the consumption of primary energy sources⁴. Biomass has the highest technically feasible potential (60 458 TJ, 16 794 GWh/year) in comparison to other renewable energy sources in Slovakia, such as geothermal, wind, solar and

hydropower. It is followed by hydroelectric power (23.785 TJ, 6.607 GWh/year), geothermal energy (22.680 TJ, 6.300 GWh/year) and solar energy (18.720 TJ, 5.200 GWh/year). However, the current use of renewable energies in the Slovak Republic is low, reaching only 27 % of the technically available potential of Slovakia. The highest share represents hydroelectric power plants (18 335 TJ, 5 093 GWh/year) and biomass (11 491 TJ, 3 192 GWh/year). Biomass also has the highest untapped potential among other RES (48.967 TJ, 13.602 GWh/year) (Table 1).

Table 1: Technically feasible renewable energy potential in the Slovak Republic

Energy source	Technically feasible potential	Current use	Unused potential
	TJ (GWh/year)		
Geothermal energy	22 680 (6 300)	1 224 (340)	21 456 (5 960)
Wind energy	2 178 (605)	0	2 178 (605)
Solar energy	18 720 (5 200)	25 (7)	18 695 (5 193)
Small hydropower plants	3 722 (1 034)	727(202)	2 995 (832)
Biomass	60 458 (16 794)	11 491 (3 192)	48 967 (13 602)
Forest biomass	20 242 (5 623)	1 778 (494)	8 402 (2 334)
Woodprocessing industry	17 570 (4 881)	9 497 (2 638)	8 073 (1 880)
Agricultural biomass	32 708 (6 586)	216 (60)	32 492 (6 526)
Waste energy utilization	12 726 (3 535)	4 504 (1 251)	8 222 (2 284)
Sludges from WWTPs*	828 (230)	47 (13)	781 (217)
Municipal waste	6 390 (1 775)	1 325 (368)	5 065 (1 407)
Other waste	5 508 (1 530)	3 132 (870)	2 376 (660)
Biofuels	9 000 (2 500)	1 188 (330)	7 812 (2 170)
Water power plants	23 785 (6 607)	18 335 (5 093)	5 450 (1 514)
Together	136 421 (37 895)	37 494 (10 415)	98 927 (27 480)

Source: Slovak Innovation and Energy Agency, 2016⁵, *WWTPs – Wastewater Treatment Plants

Methods of obtaining the energy of biomass in conditions of Slovakia

The energy generation from biomass is possible in a variety of ways that are conditioned by the physical and chemical properties of biomass. Significant impact on biomass processing has, in particular, water and dry matter content in biomass. Based on these features, wet and dry processing processes are common. Biomass, that has a high water content, is exceptionally suited for fermentation. In the case of low water content combustion and dry distillation are recommended. Common are thermochemical transformation of biomass, which is the dry process, biochemical transformation of biomass that is included among the wet processes and the physico-chemical transformation of biomass⁶. Thermochemical transformations include combustion, pyrolysis and gasification. These types of transformation use technologies that act on the material with a high temperature that exceeds its chemical stability limit⁷. The temperature may range from 300 to 1500 °C. These processes differ considerably one from another depending on the oxygen content in the reaction space⁸.

We will deal only with the simplest and most frequent way of obtaining heat from biomass by combustion in our study. Combustion is a technical conversion of biomass with sufficient oxygen access. The product is thermal energy, which is used for heating, electricity production or other technological processes. Prior to combustion, no special biomass treatment is required⁹. There were 690 incineration

plants in Slovakia for the production of heat by combustion of biomass, together 1 958.42 MW in 2012. The average output per plant was 2.84 MW. The smallest amount of these facilities is located in Bratislava - 13 (1.9 %) and Trnava - 28 (4.1 %) region. On the other hand, the most of the installations is located in Prešov region - 258 (37.4 %), but higher output is achieved in the Banská Bystrica region (529.12 MW), where 87 stations installed. The lowest output was reached in Trnava region with 34.81 MW. The highest average output of one device was achieved in the Bratislava region (7.09 MW) (maps in Figure 1 and 2).

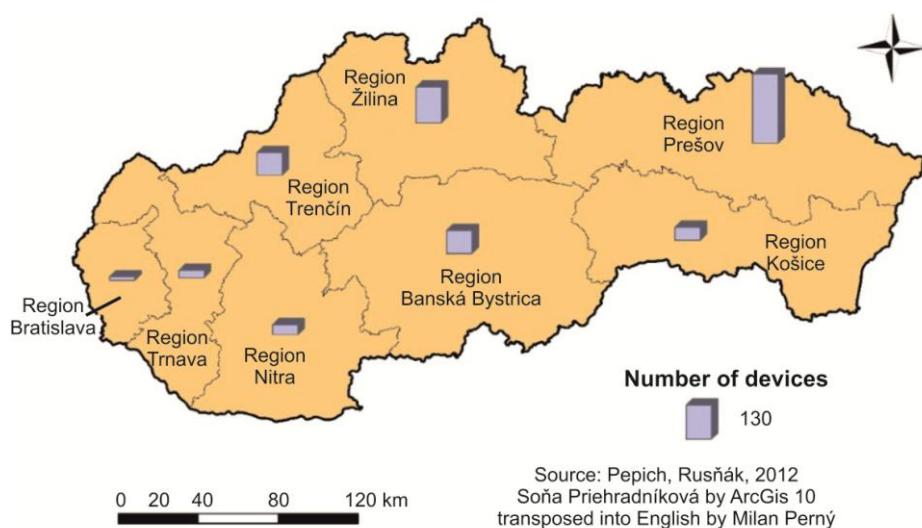


Figure 1: Number of heat production plants by combustion of biomass in the regions of Slovakia in 2012

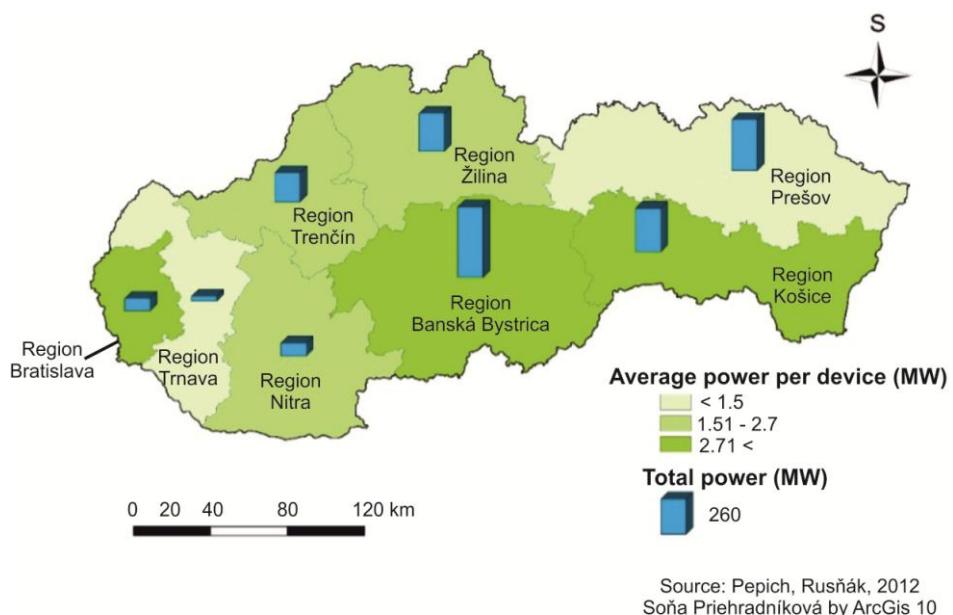


Figure 2: Total and average power of heat generation plants combusting the biomass in various administrative regions of Slovakia in 2012

Only a very small part of biomass combustion plants combusts agricultural biomass. Agricultural biomass represents only 1.6 % of the total installed capacity of biomass combustion plants in heat generation. Most of the facilities in Slovakia use dendromass. About 19 531 t of biomass is used, which is only 0.4 % of the total annual production of agricultural biomass suitable for energy use by combustion².

Only 30 plants for the processing of agricultural biomass were present in Slovakia in 2012. The boilers with the highest boiler output are located in Trenčín (8 000 kW), AGRO Selice (4 000 kW), Želiezovce (2 000 kW), Agricultural Cooperative Nové Zámky (2 000 kW), Šaľa (1 500 kW) and Detva (1 500 kW). Plants with the most processed material are situated in Trenčín with 9 000 tonnes and Želiezovce with 2 100 tonnes. On the other hand, the lowest boiler outputs are e.g. Biovex Michalovce (20 kW), Agricultural Cooperative Veterná Poruba (50 kW) and Agricultural Cooperative Blatné (75 kW). Among the most commonly used biogas fuels were straw in the form of bales, but also straw crushed and wood waste². According to the spatial distribution of the biomass burning equipment in 2012, there were no more than 6 subjects located in the Nitra and Žilina regions (Figure 3).

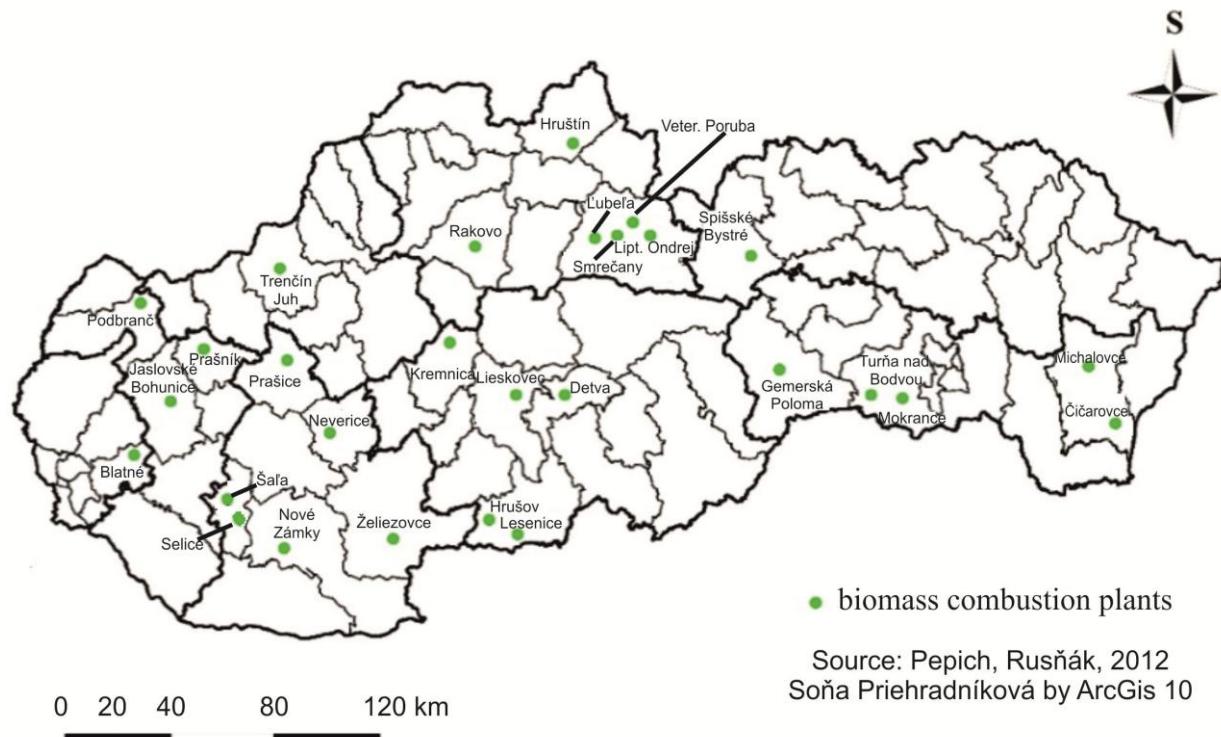


Figure 3: Spatial distribution of biomass combustion plants in Slovakia in 2012

Gaseous fuels

Biogas belongs to gaseous fuels. It can be used for direct combustion (cooking, drying, water heating, cooling, etc.), in the production of electricity, heat and as a propulsion of combustion engines or turbines for obtaining mechanical energy and biogas utilization in fuel cells¹⁰. At present, biogas is mainly obtained from agricultural plants waste (e.g. straw, plant residues) and animal origins (livestock excrements), municipal and industrial waste (e.g. garden bio-waste, sewage sludge, canned food from canning, dairy and slaughterhouses) and energy crops. Often used material for biogas production is maize (about 12 %), but livestock excrements (more than 80 %) are the first in biogas production. The calorific value of biogas is 20 to 25 MJ/m³. Biogas can be used to produce heat and electricity. Devices that convert biomass to biogas by anaerobic fermentation is called biogas station^{11,12}. In Slovakia, 18 biogas stations were located near the wastewater treatment plants and in agriculture companies. Examples are Farm Kapušany (120 kW), Agroban Bátka (4 x 160 kW), Stifi Hurbanovo and at SPU Nitra in Kolíňany (22 kW)¹³. Up to 92 biogas stations were located in Slovakia in 2012. Most of them were built in Banská Bystrica region - 22 (23.9 %), Nitra region - 21 (22.8 %) and Trnava region - 20 (21.7 %). The highest total installed capacity (28,391 kW) was achieved in the Banská Bystrica region. It is followed by Trnava region with 19,541 kW and Nitra with 17,006 kW. (Figure 4 and 5).

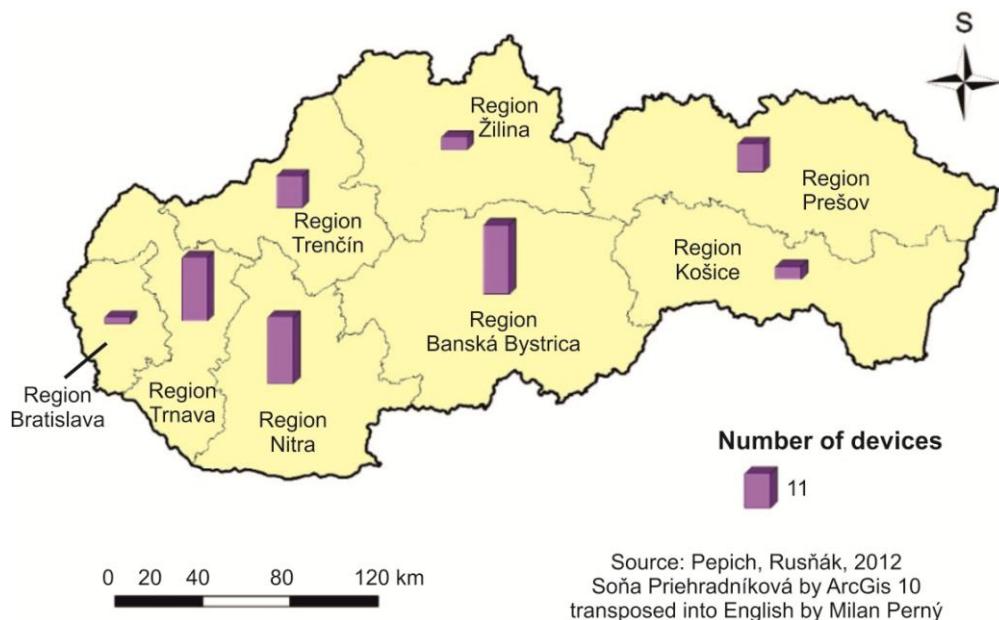


Figure 4: Number of biogas stations in the regions of Slovakia in 2012

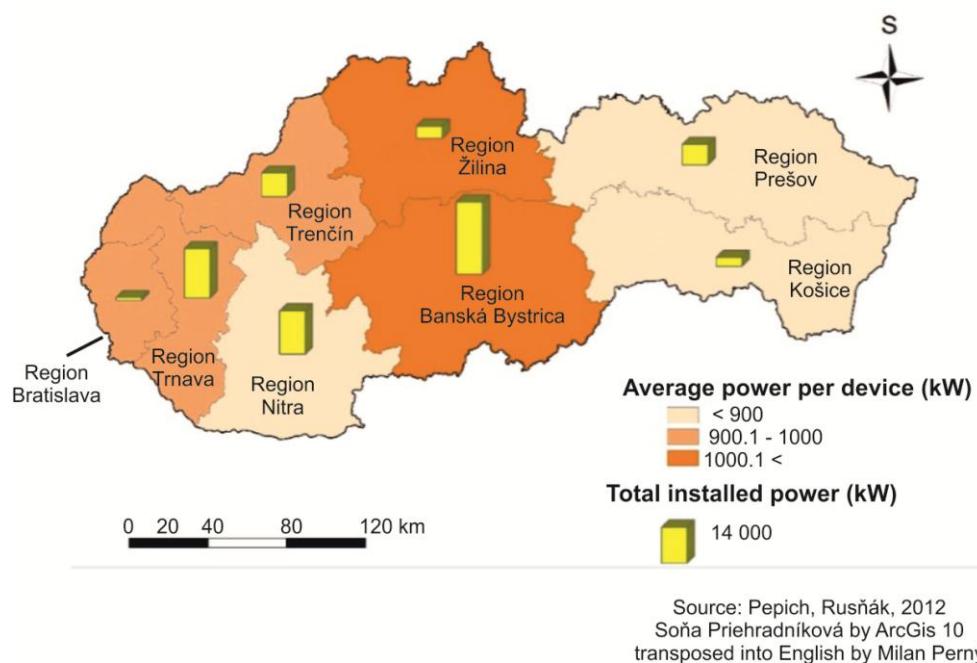


Figure 5: Total and average installation power (kW) of biogas stations in regions of Slovakia in 2012

The number of agricultural biogas stations is still rising. The yearly increase from 20 to 43 was observed between 2011 and 2012, while the installed capacity increased from 16.764 MW to 41.343 MW, the increase of 146 % (Pepich, Rusňák, 2012). Považský cukrovar in Trenčianska Teplá (6 MW), Bzovík (1.5 MW), Farm Plavnica (1 MW) and Biogas station Rozhanovce (1 MW) were among the producers of electricity from biogas with the highest installed capacity in 2012. The most common input material for biogas production was silage, manure, wastes, but also cuttings, plant mixtures, sorghum, sage or sugar beet leaves. The largest amount of electricity was produced by the Považský cukrovar refinery in Trenčianská Teplá (25.450 MWh). In terms of spatial deployment in 2012, a maximum of 12 biogas stations were located in the Banská Bystrica region (e.g. in the villages of Ladzany, Bzovík,

Bátka, Boľkovce, Dúbrava). 7 biogas stations were located in Trnava region (e.g. in the municipalities of Smolinská, Ružindol, Sered') and Trenčín region (e.g. in the municipalities Bolešov, Mestečko, Veľké Uherce). There are two biogas stations in Turčianske Teplice and Ludrové in the Žilina region. No biogas station was built in the Bratislava region until 2012.

Current state of use of biomass and biogas in Slovakia

The increased rate of growth of renewable energy projects in Slovakia has been observed in recent years. A significant position of RES reaches biomass and biogas (direct biomass burning and fermentation). The generated electricity and heat are used in the communal as well as in the corporate sphere². The production of electricity from biomass predominantly increased between 2001 and 2014. In 2001, electricity generation reached 153 GWh. Between 2003 and 2005, production had a significant drop. According to the Strategy for Higher Utilization of Renewable Energy Sources in the Slovak Republic (2007), the decrease in production is due to the transition to heat production. The following year, 2006 is a recurrent increase to 367 GWh. The highest level of electricity production from biomass was 916 GWh in the last monitored year 2014. The production of biogas electricity does not reach as high level as biomass production. Only 1 GWh of biogas electricity was produced in 2001. The yearly increase led to 479 GWh in 2014 (Table 2).

Table 2: Electricity production from biomass and biogas (GWh) in Slovakia from 2001 to 2014

Year	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Biomass	153	150	84	3	4	367	441	480	493	606	682	724	677	916
Biogas	1	2	2	2	5	8	11	15	22	34	113	190	213	479

Source: Internal Resources of the Ministry of Economy, 2016¹⁴

The production of heat from biomass in the years 2001 to 2014 had a predominantly increasing tendency. The values are shown in Table 3.

Table 3: Heat production from biomass and biogas (TJ) in Slovakia from 2001 to 2014

Year	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Biomass	11 862	9 131	11 686	14 020	16 216	13 760	18 489	17 578	22 318	23 573	23 847	22 190	20 879	21 625
Biogas	110	112	95	206	174	255	205	290	420	295	951	929	345	478

Source: Internal Resources of the Ministry of Economy, 2016¹⁴

Barriers to the use of biomass for heat generation include distrust to new technologies, low awareness about biomass heating energy costs, insufficient state support for biomass use projects. Barriers to the use of biogas are, in particular, little experience with the construction and operation of biogas stations, underrated ecological and regional benefits of biogas technologies and, of course, high investment costs¹⁵.

The Rural Development Program 2014-2020 is planning to support the production of biomass by investing in the production, processing and use of RES in terms of facilitating the use of renewable energy sources in Slovakia. The program's priority is to promote resource efficiency and the transition to a low-carbon economy. The challenge for the Slovak Republic is to achieve a 14 % share of renewable energy in gross final energy consumption by 2020. One way to approach this target is within the transfer of knowledge to inform about facilities producing clean forms of energy that use biomass, which the company provided mainly from its own production activities. Higher share of biomass and waste, plant residues, excrement from livestock production to energy production represents planned investment measures¹⁶.

Legislative

In Slovakia, the area of renewable energy legislation is made up of several types of legislation. Primary legislation is the Act of the National Council of the Slovak Republic no. 251/2012 Coll. on Energy and on the amendment of certain laws. This law defines basic processes related to electricity and renewable energy sources. It explains the basic concepts, the conditions for the issuance of a permit for the production of electricity from renewable energy sources, the rights and obligations of the electricity and gas market participants, the conditions for the construction of energy facilities, the electricity and gas market rules, the protection of electricity and gas collectors, security of electricity and gas supplies, regulations for technical equipment and the performance of state administration in the energy sector. The Energy Act requires the energy producers to hold a license issued by the Network Regulatory Office on the basis of the eligibility criteria. Other laws dealing with renewable resources include Act No. 309/2009 on the promotion of renewable energy sources and high-efficiency cogeneration. This Act lays down the methods of support and conditions for the production of electricity from renewable energy sources and electricity produced from high efficiency cogeneration, the support and conditions for the production of biomethane, the rights and obligations of producers of electricity from renewable energy sources, producers of electricity through cogeneration and the rights and obligations of other participants Market participants. Next one is Law no. Act No. 250/2012 Coll. about regulation in network industries and Act no. 657/2004 on thermal energy. Important Government Regulations include Government Regulation no. 317/2007 Z. z. laying down the rules for the functioning of the electricity market and Regulation of the Government of the Slovak Republic no. 246/2006 Coll. about the minimum quantity of fuels produced from renewable sources in motor gasoline and diesel fuel placed on the market of the Slovak Republic¹⁷.

Conclusion

From the point of view of the Slovak agriculture, biomass needs to be considered as an important means of increasing the competitiveness of agricultural sector products, synergistically solving important areas of the national economy, such as reducing unemployment, revitalizing the countryside, sustainable development or improving the quality of the environment. The use of biomass compared to conventional energy sources has many advantages for the regions of Slovakia. Lower energy prices will positively affect the competitiveness of the regions and ensure the development of the regions. Biomass costs are relatively low compared to other types of renewable energy sources. This argument is not only a result of a comparison of the costs of energy production but, for businesses in agriculture, the cost of storage, transport, processing, disposal of waste from plant and livestock production. At the same time, other costs related to waste production (e.g. fines for ammonia produced in unspent excrements) will be reduced and tax benefits for the consumption of biofuels of own production will be applied. The production of raw materials that can be further processed are the by-products of agriculture and food industry. So, agriculture is becoming an important producer of renewable energy sources, and for Slovakia, which is dependent on imports of energy raw materials, renewable energy sources are of strategic importance.

Acknowledgement

This article was created thanks to support for infrastructure equipment researchers who work in the OP Research and Development for the project "National Centre for Research and Application of Renewable Energy Sources", ITMS 26240120016, co-financed from the European Regional Development Fund.



References

1. Kneževič G., Baus Z., Nikolovski, S.: Short-Term Planning of Hybrid Power System, Journal of Electrical Engineering 67, No.4, p. 234 – 245 (2016).
2. Pepich Š., Rusnák P.: Správa o využívaní biomasy z poľnohospodárstva na energetické účely. Záverečná správa. Rovinka: TSÚP, p. 25 (2012).
3. Janíček F.: Biomasa ako palivo. Biom.cz. (cit 2018-11-01). Available at: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-ako-palivo>
4. Fáber A., et al.. eds.: *Atlas obnoviteľných zdrojov energie*. 1. vyd. Energetické centrum, Bratislava 2012.
5. Slovak Innovation and Energy Agency. 2016. Concept of the use of renewable energy sources (Slovenská inovačná a energetická agentúra. Koncepcia využívania obnoviteľných zdrojov energie) (schválená uznesením Vlády SR č. 282 z 23. apríla 2003), 2016. Available at: http://www.siea.sk/oldweb/energeticke_aktivity/legislativa_predpisy_sr/koncepcia_oze.pdf. (cit 2018-11-01)
6. Jandačka J., et al.: *Využitie rastlinnej biomasy v energetike*. 1. vyd. Juraj Štefuň – GEORG, Žilina 2011.
7. Janíček F., Perný M., Šály V., Giemza M., Hofmann, P.: Microwave Supported Treatment of Sewage Sludge, Journal of Electrical Engineering 67, No. 4 pp. 286–291 (2016).
8. Jandačka J., et al.: *Environmentálne a energetické aspekty spaľovania biomasy*. 1. vyd. Juraj Štefuň – GEORG, Žilina 2011.
9. Jakubec J., et al.: *Moderní využití biomasy – Technologické a logistické možnosti*. 1. vyd. Česká energetická agentúra, Praha 2006.
10. Marko S., Daruľa I.: Large scale integration of renewable electricity production into the grids, Journal of electrical engineering 58, No. 1, pp. 58 – 60 (2007).
11. Pípa M., Kment A., Janíček F.: Experimental Biogas Power Plant at STU in Bratislava Based on Dry Fermentation. *Electric Power Engineering 2012: Proceedings of the 13th International Scientific Conference. Brno, Czech Republic, 23. – 25.5.2012*. Brno: University of Technology, 2012, pp. 643 – 646. ISBN 978-80-214-4514-7.
12. Janíček F., Kubica J.: Utilization of Biogas in Combined Generation of Electrical Energy and Heat in Slovakia. In *Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej. Z. 60, Nr. 323*, pp.125 – 128 (2008).
13. Plan for the development and use of renewable energy sources on the TTSK territory – internal study (Plán rozvoja a využívania obnoviteľných zdrojov energie na území TTSK. 2010. 1. vyd. Interná štúdia. Trnava), 2010.
14. Internal materials of the Ministry of Economy SR (Interné materiály Ministerstva hospodárstva SR), 2016.
15. Strategy for Higher Utilization of Renewable Energy Sources in the Slovak Republic. 2007 (Stratégia vyššieho využitia obnoviteľných zdrojov energie v SR.) 2007. Bratislava: Ministerstvo hospodárstva SR, 2007.
16. Ministry of Agriculture and Rural Development. 2016. Rural Development Program of the Slovak Republic for the programming period 2014-2020 (Ministerstvo pôdohospodárstva a rozvoja vidieka, 2016. Program rozvoja vidieka SR na programové obdobie 2014 – 2020). Available at: <http://www.mpsr.sk/index.php?navID=935&navID2=935&sID=43&id=8644> (cit2018-11-01).
17. Regulatory Office for Network Industries, Legislation. (Úrad pre reguláciu sieťových odvetví. Legislatíva.) Available at: <http://www.urso.gov.sk/?q=Z%C3%A1kony> (cit2018-11-01).

Aktuálny stav a potenciál využívania biomasy v Slovenskej republike

František JANÍČEK^a, Jana NÉMETHOVÁ^b, Milan PERNÝ^a, Vladimír ŠÁLY^a

^a Ústav elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky STU v Bratislave, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava 1, Slovenská republika,
e-mail: milan.perny@stuba.sk

^b Katedra geografie a regionálneho rozvoja, Fakulta prírodných vied, Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre, Trieda A. Hlinku 1, 949 74 Nitra, Slovenská republika,
e-mail: jnemethova@ukf.sk

Abstrakt

Slovensko patrí medzi krajiny s nezanedbateľným potenciálom obnoviteľných energetických zdrojov. V roku 2002 predstavoval podiel OZE asi 1,6 % z celkovej spotreby primárnych energetických zdrojov (pri výrobe elektrickej energie, tepla, chladu a v doprave), v roku 2012 je to už viac ako 10 % spotreby primárnych energetických zdrojov. Avšak súčasné využívanie obnoviteľných zdrojov energie v Slovenskej republike je nízke, dosahuje len 27 % z technicky využiteľného potenciálu Slovenska. Najvyššie súčasné využívanie majú vodné elektrárne a biomasa (11 491 TJ, 3 192 GWh/rok). Biomasa má aj najvyšší nevyužitý potenciál v rámci ostatných OZE.

Príspevok obsahuje aktuálne informácie o inštalovaných výkonoch zariadení v jednotlivých krajoch Slovenska, ktoré získavajú tepelnú energiu z biomasy najjednoduchším spôsobom – spaľovaním. Ďalej v príspevku podrobne rozoberáme problematiku súčasného stavu využívania a získavania bioplynu na Slovensku. Príspevok podrobne rieši technické a legislatívne aspekty zmienenej problematiky.

Kľúčové slová: energetické zdroje, obnoviteľná energia, legislatíva, energetika.

Influence of Raw Sawdust Treatment on Pellets Properties and Combustion of Pellets

Peter KRIŽAN^a, Miloš MATÚŠ^a, Juraj BENIAK^a, Mário COSTA^b

^a Institute of Manufacturing Systems, Environmental Technology and Quality Management, Faculty of Mechanical Engineering, STU in Bratislava, Nám. Slobody 17, 81231, Bratislava, Slovakia

e-mail: peter.krizan@stuba.sk

^b IDMEC, Mechanical Engineering Department, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Avenida Rovisco Pais, 1049-001, Lisboa, Portugal

Abstract

This manuscript concentrates on the relationship between pellets quality, which is represented by the pellets physical properties, and the combustion process of pellets from spruce sawdust. The main aim of this study is to determine the relationship between the particle size distribution of the spruce sawdust, which influences the pellets quality and the pollutant emissions that result from their combustion in a domestic pellet-fired boiler. This work has been carried out at the Faculty of Mechanical Engineering of the STU Bratislava and at the Mechanical Engineering Department of the Instituto Superior Técnico in Lisboa. The main conclusions of this study are: 1. all pellets studied fulfilled the physical and mechanical requirements for non-industrial pellets; 2. the raw biomass particle size affected the pellets physical and mechanical properties, and 3. gaseous and PM emissions are not significantly affected by the particle size distribution of the raw material used to produce the pellets.

Keywords: pellets, bulk density, particle size, domestic boiler, particulate matter.

Introduction

The pelletization of biomass is a mass and energy densification process for materials that possess low bulk densities. During the biomass pelletization, various technological variables and material parameters significantly affect the final solid biofuels (pellets) quality [1]. The quality of pellets is determined by the end-user's requirements on the heating system and the handling properties [2]. In general, the pellets quality depends on the properties of the raw material (feedstock) – biomass type, moisture content and particle size –, and quality management of the manufacturing process – operating conditions, technological variables, pelletizer type and binding agent [3]. Low-quality pellets can cause operational problems in combustion systems, including undesired effects in the equipment such as slugging, fouling or corrosion, and may originate substantial amounts of gaseous and particulate matter (PM) emissions [4,5]. On the gaseous emissions side, the type of pellet has a significant impact on the emissions of CO, HC and NO_x, although the performance of the boiler is not significantly affected [5,6]. On the PM emissions side, it has been observed that the fine PM fractions are especially harmful to the human health [5,6].

The present study resulted from a research collaboration established between the Faculty of Mechanical Engineering of the STU Bratislava and the Mechanical Engineering Department of the Instituto Superior Técnico in Lisboa, partially funded by the Slovak Research and Development Agency (Slovakia) and Fundação para a Ciência e Tecnologia (Portugal). The main goal of present study is to determine the relationship between the particle size distribution of spruce sawdust used to produce the pellets and the pollutant emissions that result from their combustion process in a domestic pellet-fired boiler. The influence of particle size distribution on the pellets physical properties (mechanical durability, bulk density, etc.) and thus also on the gaseous and PM emissions was determined.

Materials and Methods

Raw Spruce Properties

Raw sawdust of spruce tree (*Picea Abies*), without bark, from Western Slovakia was obtained from a wood processing company. Initially, the particle size distribution was analysed with the aid of a Retsch Vibrating Sieve Equipment AS 200. Three different particle size distributions were processed by a hammer mill Stoza ŠV 5 with ø 4 mm sieve. For pellets production, untreated spruce sawdust (sample 1), spruce sawdust treated by single level shredding (sample 2) and spruce sawdust treated by double level shredding (sample 3) were used. Figure 1 shows the raw material particle size distribution of the three samples used.

Moisture content of spruce sawdust before disintegration and pelletizing was measured with the aid of a Kern MRS 120-3 balance. This measurement consisted in heating the raw sawdust (gravimetric method of moisture content measuring) [7] at 105 ± 2 °C until a constant weight was achieved. Due to the complex process of moisture content change, only one moisture content level was used in this study. Spruce raw sawdust with 9.8 % and 14.3 % of moisture content were used before disintegration and for pelletizing, respectively.

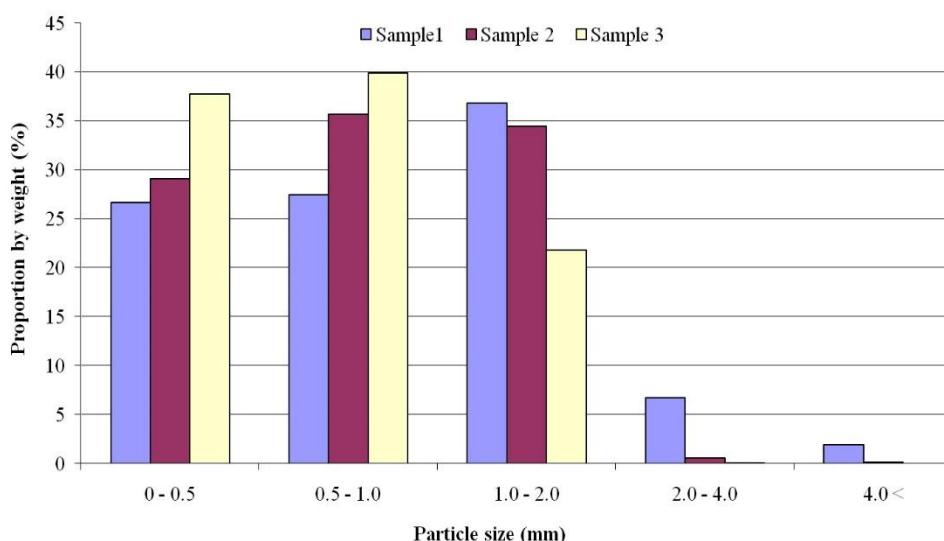


Figure 1: Raw material particle size distribution of the samples studied.

Pellets Production

For the pellets production a vertical pelletizing machine KAHL 33-390 with flat round matrix was used (see Figure 2). During the pelletizing process, a matrix with ø 6 mm holes was used. The constant operating parameters for the pelletizing press were the pressing pressure (12 MPa), the pressing temperature (100 °C) and the circumferential speed of rolls (2.2 m.s⁻¹).

The interaction between the raw material moisture content, the pressing pressure, and the pressing temperature during the pelletizing of the biomass is of major importance [8, 9]. If the moisture content of the pressed material is very low, or very high for that matter, the particles become inconsistently arranged, and the resulting pellets becomes unstable [9, 10]. Past research showed that moisture has an effect on the plasticization of the lignin. In the present study the initial moisture content of spruce sawdust was low (9.8%), so that additional water was added to the biomass with paddle homogenizer (see Figure 3) for increasing the raw sawdust moisture content before pelletizing.

Adequate pressing temperature ensures that the lignin plasticizes in the pressed material, and the optimal pressing pressure provides densification of raw material [11, 12]. A certain moisture level causes a higher temperature in the densification process and thus a higher quality of pellets [13]. Optimal moisture level improves the pelletizing of the raw sawdust by causing a degree of sintering which improves the unity of the pellets. Figure 4 shows views of pellets and their surface for the three samples produced.



Figure 2: Pelletizing press KAHL 33-390



Figure 3: Paddle homogenizer with water jet



a) pellets – sample 1



b) zoom view (40x) to the pellet surface along the axis-sample 1



c) pellets – sample 2



d) zoom view (40x) to the pellet surface along the axis-sample 2



e) pellets – sample 3



f) zoom view (40x) to the pellet surface along the axis-sample 3

Figure 4. Spruce pellets with different particle size distribution

Combustion Tests

The combustion tests were performed in a domestic wood pellet-fired boiler with a maximum thermal capacity of 22 kW, with forced draught. Figure 5 shows a schematic of the experimental set-up. This experimental set-up has been used extensively in previous studies [4, 5], where it is described in detail. The pellets are manually loaded into a hopper with a capacity of 45 kg and are fed to the burner through a screw feeder that works by impulses. The feeding rate of the pellets is regulated by the boiler load and the pellets consumption rate is measured with the aid of a loss-in-weight technique, for what the boiler is mounted on a weighbridge.

The combustion of the pellets takes place within a hemispherical basket (brazier) with a diameter of 120 mm. The basket is top-fed with pellets by the screw. Ignition is accomplished with the aid of an electrical resistance placed close to the basket and the primary air is supplied by a dedicated fan to the basket through several small orifices located across the basket bottom. The resulting hot gases from the combustion exchange heat with water circulating in a heat exchanger located at the top of the combustion chamber. The heat transferred to the water in the boiler is dissipated through a plate heat exchanger with the aid of an external water circuit. The water flow rate circulating in the inner circuit of the boiler was measured with a rotameter and the inlet and outlet temperatures were measured also with thermocouples type K, T1 and T2 in Figure 5, respectively.

Flue-gas concentrations of O₂, CO, CO₂, hydrocarbons (HC) and NO_x were measured to gather information regarding the combustion conditions. These measurements were achieved with the aid of a stainless-steel probe, which has been designed to minimize the major sources of uncertainty. The analytical instrumentation from Horiba (Kyoto, Japan) included a paramagnetic analyser for O₂ measurements, a non-dispersive infrared gas analyser for CO₂ and CO measurements, a flame ionization detector for HC measurements and a chemiluminescent analyser for NO_x measurements. Zero and span gas calibrations with standard mixtures were performed before and after each measurement session. The temperature of the flue-gas was measured using a thermocouple type K, T3 in Figure 5. The analogue outputs of the analysers and of the thermocouple were transmitted via A/D boards to a computer where the signals were processed and the values stored every second.

PM was sampled isokinetically for size fraction characterization with the aid of a low pressure three-stages cascade impactor (LPI, TCR Tecora, Milan, Italy) with a flow rate of 10Lpm (STP). PM was sampled from the centreline of the exhaust pipe, being the LPI placed horizontally. The LPI used allowed collecting three particulate cut sizes during the same sampling: PM with diameters above 10 µm (PM₁₀), PM with diameters between 2.5 µm and 10 µm, and PM with diameters below 2.5 µm (PM_{2.5}). In order to avoid condensation along the line connecting the probe outlet to the impactor inlet and also inside the impactor, a heating jacket (model Winkler WOTX1187) was used during sampling. This device allows

heating the sample up to 150 °C. Before sampling started, the boiler was operated during 60 minutes to reach steady state conditions. The PM sampling system was then operated during 45 minutes. PM was collected on quartz microfiber filters, which were dried in an oven and weighted before each test. After each test, the filters were again dried, to eliminate moisture, and weighted to determine the quantity of PM captured.

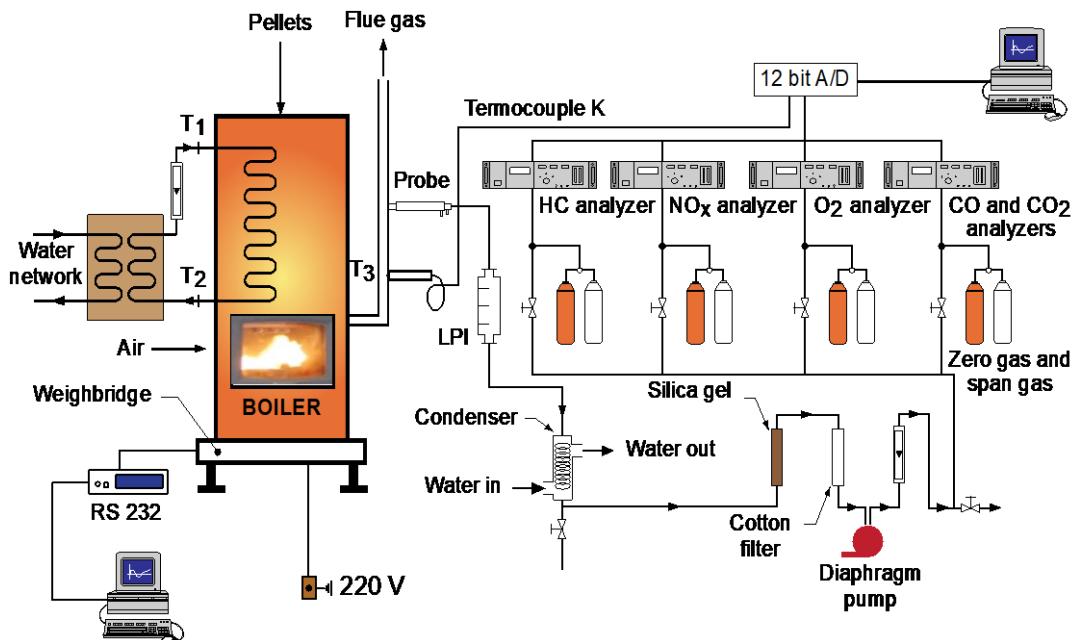


Figure 5. Schematic of the domestic boiler and experimental techniques.

Results and Discussion

Effect of Particle Size on Pellets Physical Properties

The particle size of the input sawdust has an important effect on the densification process because larger particles increase the energy needed for densification. Moreover, pellets densified from large particles have lower homogeneity and strength [13]. A large portion of fine particles allows for better raw material densification. The resulting pellets are uniform, of high quality, and reach higher volumetric density [9]. With increasing fraction size, the bond strength between particles decreases, causing them to crumble [8]. In terms of densification, it is very important that the bonding forces are created between particles. The strength of the resultant bonds increases with decreasing fraction size. It is known that the size of bindings between particle and the particle size distribution affects the physical properties of the pellets. When pelletizing, especially without additives, the surfaces of the raw material particles must contact with the greatest possible area [13]. The size of this contacting area increases as the particle size becomes smaller and higher pressing pressures are applied.

Table 1 presents the physical properties of the present pellets. It is seen that with decreasing of the particle size, the physical properties of pellets changed. Therefore, it is important to investigate the effect of particle size on the physical properties of the pellets and thus the quality of the pellets. Table 1 reveals that the physical properties of pellets 2 and 3 are very similar, despite their original particle size distribution being quite different. It is important to stress that all pellets studied here fulfilled the physical and mechanical requirements for non-industrial pellets.

Effect of Pellet Type on Combustion Process

Table 2 summarizes the gaseous and PM emissions for the three types of pellets studied, and Table 3 presents the PM size fraction for the boiler operating conditions examined here. Note that variations in the thermal input are accompanied by variations in the excess air because the combustion air flow is kept constant regardless of the pellets feed rate. For this reason, Table 3 reveals that the O₂ flue-gas concentration decreases with the thermal input, reaching a minimum at 15% that corresponds to a boiler thermal input of 14 kW for pellets 2.

Pellets 2 consistently present higher emissions of CO, HC and NO_x than the pellets 1 and 3. The PM emissions follow the same trend as the CO and HC emissions, as expected [4], since the emissions of these pollutants are related with incomplete combustion [4]. Note, however, that the HC emissions are always rather small for all pellets tested. Table 3 reveals that the PM emissions are mainly dominated by particles with sizes below 2.5 µm regardless of the thermal input.

Table 1: Physical properties of produced pellets.

Parameter	Pellets (sample 1)	Pellets (sample 2)	Pellets (sample 3)
Moisture content (%)	6.3	7.7	8.0
Bulk density (kg m ⁻³)	655.6	661.0	660.7
Mechanical durability (%)	99.0	99.2	99.1
Pellets abrasion (%)	1.4	1.0	1.0
Hardness (N)	231.0	236.8	235.5

Table 2: Gaseous and PM emissions.

	Thermal Input (kW)	Pellets 1	Pellets 2	Pellets 3
Flue-gas temp. (°C)	10	138.8	138.8	135.8
	14	160.5	174.7	161.5
O ₂ (dry vol. %)	10	17.4	17.0	17.8
	14	15.9	15.0	16.1
CO ₂ (dry vol. %)	10	3.0	3.4	2.5
	14	4.5	5.3	4.4
CO (dry vol. %)	10	150.3	252.3	140.4
	14	137.0	171.7	89.7
HC (dry vol. ppm)	10	3.2	9.4	4.1
	14	2.1	3.5	3.1
NO _x (dry vol. ppm)	10	31.7	53.3	19.6
	14	42.8	74.2	30.8
PM (mg/Nm ³)	10	17.6	34.7	18.1
	14	29.5	46.2	18.5

Table 3: PM particle size distribution.

	Thermal Input (kW)	Pellets 1	Pellets 2	Pellets 3
PM10 (mg/Nm ³)	10	0.38	0.56	0.82
	14	0.36	2.22	0.02
PM2.5-PM10 (mg/Nm ³)	10	0.42	0.98	0.29
	14	0.62	2.36	0.02
PM2.5 (mg/Nm ³)	10	16.84	33.16	17.02
	14	28.56	41.58	18.44

Conclusions

The main conclusions that can be withdrawn from this study are as follows:

- All pellets studied fulfilled the physical and mechanical requirements for non-industrial pellets.
- The raw biomass particle size affected the pellets physical and mechanical properties.
- Gaseous and PM emissions are not significantly affected by the particle size distribution of the raw material used to produce the pellets.

Acknowledgments

The paper is a part of the research done within the project APVV SK-PT-2015-0033 – Influence of biofuel quality in gaseous and particulate matter emissions from a domestic boiler. The authors would like to thank to the Slovak Research and Development Agency.

References

1. Kaliyan, N. and Morey Vance, R.: Factors affecting strength and durability of densified biomass products, *Biomass and Bioenergy*, 33 (3), 337 – 359, 2009.
2. Holm, J.; Henriksen, U.; Hustad, J. and Sorensen, L.: *Toward an understanding of controlling parameters in softwood and hardwood pellets production*, American Chemical Society, published on web 09/09/2006.
3. Križan, P.: *The densification process of wood waste*. Berlin De Gruyter open. ISBN 978-3-11-044001-0. 2015.
4. Fernandes, U. and Costa, M.: Particle emissions from a domestic pellets-fired boiler, *Fuel Process. Technol.*, 103, 51 – 56, 2012.
5. Fernandes, U. and Costa, M.: Formation of fine particulate matter in a domestic pellet-fired boiler, *Energy Fuels*, 27, 1081 – 1092, 2013.
6. Garcia.Maraver, A., Zamorano, M.; Fernandes, U.; Rabacal, M. and Costa, M.: Relationship between fuel quality and gaseous and particulate matter emissions in a domestic pellet-fired boiler, *Fuel*, 119, 141 – 152, 2014.
7. EN ISO 18134-3 Solid biofuels - determination of moisture content-oven dry method part 3: moisture in general analysis sample, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2015.
8. Nielsen, N.P.K., Gardner, D.J. and Poulsen, T.: Importance of temperature, moisture content, and species for the conversion process of wood residues into fuel pellets, *Wood and Fiber Science*, 41(4), 414 – 415, 2009.
9. Thoreson, C.P., Webster, K. E., Darr, M. J. and Kapler, E.J.: Investigation of process variables in the densification of corn stover briquettes, *Energies*, 7(6), 4019 – 4032, 2014.
10. Križan, P., Šooš, L., Matúš, M., Beniak, J. and Svátek, M.: Research of significant densification parameters influence on final briquettes quality, *Wood research*, 60, 2, 301 – 315. 2015.
11. Križan, P., Matuš, M., Šooš, L. and Beniak, J.: Behavior of beech sawdust during densification into a solid biofuel, *Journal Energies*, 8, 7, 6382 – 6398, 2015.
12. Matúš, M. and Križan, P.: Influence of structural parameters in compacting process on quality of biomass pressing, *Aplimat– Journal of Applied Mathematics*, 3, 3, 87 – 96, 2010.
13. Mani, S., Tabil, L. G. and Sokhansanj, S.: Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses, *Biomass & Bioenergy*, 30, 648 – 654, 2006.

Vplyv úpravy pilín na vlastnosti a spaľovanie peliet

Peter KRIŽAN^a, Miloš MATÚŠ^a, Juraj BENIAK^a, Mário COSTA^b

^a Ústav výrobných systémov, environmentálnej techniky a manažmentu kvality, Strojnícka fakulta, STU v Bratislave, Nám. Slobody 17, 81231, Bratislava, Slovensko;
e-mail: peter.krizan@stuba.sk

^b IDMEC, Katedra strojného inžinierstva, Technický Inštitút, Univerzita v Lisabone, Avenida Rovisco Pais, 1049-001, Lisbon, Portugalsko

Abstrakt

Článok pojednáva o experimentálnom výskume vzájomných vzťahov medzi vlastnosťami smrekovej piliny, procesom úpravy a kvalitou smrekových peliet, ktorá je reprezentovaná fyzikálnymi vlastnosťami a spaľovacím procesom smrekových peliet. Hlavným cieľom realizovaného experimentálneho výskumu bolo stanoviť vzájomné vzťahy medzi rozložením veľkosti častíc smrekovej piliny, ktorá ovplyvňuje výslednú kvalitu peliet a množstvom plynných emisií a tuhých znečisťujúcich častíc, ktoré vznikajú počas spaľovania peliet v domácom peletovacom kotli. V rámci tohto výskumu bol stanovený vplyv rozloženia veľkosti častíc na fyzikálne vlastnosti peliet (mechanická odolnosť, sypná hustota, atď.) a tiež na množstvo plynných emisií a emisií tuhých znečisťujúcich častíc.

Experimentálny výskum bol realizovaný v dvoch fázach, prvá fáza bola realizovaná na Strojnickej fakulte STU v Bratislave a druhá fáza na Katedre strojného inžinierstva IST v Lisabone. Tento experimentálny výskum bol založený na skúsenostiach a praktických poznatkoch autorov ohľadom vplyvu sledovaných parametrov. Získané výsledky môžu byť užitočné počas výroby peliet a tiež pri prevádzkovaní domáčich peletovacích kotlov.

Kľúčové slová: pelety, sypná hustota, veľkosť frakcie, domáci kotol, tuhé znečisťujúce častice.

The Perspectives of the Use of Sewage Sludge Utilization from the Point of View of Health and Ecological Risks

Ladislava MATĚJŮ, Zdislava BOŠTÍKOVÁ, Magdalena ZIMOVÁ

National Institute of Health, Šrobárova 48, 100 42 Praha 10, Czech Republic

e-mail: ladislava.mateju@szu.cz, zdislava.bostikova@szu.cz,

magdalena.zimova@szu.cz

Summary

New studies on quality of sewage sludge show that it contains besides traditionally monitored pollutants also many other compounds posing hazard to human health and environment. Among others, most important role plays resistant pathogenic microorganisms. The paper describes a new Czech legislation for sewage sludge management, overview of microbiological contamination of sewage sludge in the Czech Republic and future trends of sewage sludge management in the Czech Republic.

Keywords: sludge treatment, resistance, bacteria

Introduction

The most common use of waste water sludge is its application to farmland. Recently, there are increasing health requirements in all fields of human behaviour in the states of the EU and in many countries around the world. It is not different in the field of biowaste and sewage sludge management, and it should be acknowledged that the view of the use of sewage sludge has changed. Increased requirements have enforced the need of revision of the legislation on the use of sewage sludge in many countries (e.g., USA, United Kingdom, Germany, Australia, Poland). The precautionary principle and the principle of the transparent management of waste, in particular during its disposal, is being implemented.

Sewage sludge represents both health and environmental hazards. Sewage sludge, in addition to traditionally monitored pollutants, contains pathogenic and conditionally pathogenic organisms that constitute health hazard for humans, animals and plants. The sewage sludge also contains residues of chemical substances discharged into wastewater as residue of disinfectants, antibiotics and hormones. These substances affect the occurrence of microorganisms in the sludge. Microorganisms gradually become familiar with the presence of substances, and become resistant to disinfectants and to antibiotics.

Resistant Microorganisms and Hazardous Substances in Sewage Sludge

According to studies available, it may be concluded that antibiotics, bacteria resistant to antibiotics and even the genes coding for resistance to antibiotics present in sewage sludge present hazard to human health. However, this is a very complex problem that has not yet been investigated in greater detail.

Resistance to antibiotics has been a very quoted problem recently, and it is becoming increasingly threatening. There is often no treatment or effective prophylaxis for diseases caused by multi-resistant strains. The problem of resistance of microorganisms to antibiotics is so great that it has called for an extraordinary meeting of the G7 group. The meeting took place on 8th and 9th October of 2015 upon the invitation of the German Federal Minister of Health, Mr. Hermann Gröhe. The health ministers of seven industrially advanced countries (G7) adopted at the meeting a declaration on combating the antibiotic resistance¹.

Microorganisms may be naturally resistant, but they can also obtain the resistance. The genes for resistance to antibiotics in bacteria are inherited both vertically in the process of division and by the horizontal transfer of plasmid DNA from one bacteria to another². Bacteria have developed various ways

of transfer of resistance among themselves and not only within a single species, but also inter species³. If bacteria contain a gene for resistance to antibiotic, it can be easily transferred to other bacteria. To make it all the worse, it has been found that bacteria can pass genes between different species. Even harmless bacteria can thus pass their ability of resistance to antibiotics to bacteria that are far more dangerous. Bacteria can of course accumulate and keep the genes for resistance to more types of antibiotics - thus multi-resistant strains are created. The ability to transfer resistance to other species is beneficial for bacteria, especially when present in a non-inhibitory concentration of antibiotics, where resistant bacteria are selected, propagated and resistant genes are successfully transferred^{2, 4}.

In the case of application of sewage sludge to farmland together with antibiotics and the resistant bacteria it contains, resistance propagated in the genes are easily transferred into environment^{5, 6}. And although the amount of resistant bacteria (mostly coliforms) present in the sewage sludge is declining over time, they can transfer genes encoding resistance to antibiotics to surrounding soil bacteria to create a reservoir of resistant genes^{7, 8, 9}. Resistant bacteria thus enter the food chain and pose a silent threat of the reduced effect of antibiotics in the fight against human pathogens¹⁰.

In waste water treatment plants, antibiotics and resistant bacteria are partially degraded by various methods but are not effective enough to break down all types of antibiotics^{10 11}. In the sewage sludge, antibiotics are accumulated as a result of sorption in the waste water treatment process⁵, and antibiotic resistance genes have been detected even in the struvite ($MgNH_4PO_4 \cdot 6 H_2O$) from the sewage sludge and in the soil to which it has been applied¹². Subsequent biodegradation of antibiotics in the environment varies according to their structure; their persistence may however range in a matter of months¹³. The presence of non-degraded antibiotics in the environment can be detrimental not only as the cause for the emergence of other resistance⁸, but it can also affect the growth of crops and their symbiotic bacteria^{11, 14}.

Resistant bacteria to antibiotics are not the only hazard associated with the use of sludge from waste water treatment plant in the agricultural land. The danger lies, in addition to commonly observed pollutants such as heavy metals, polyaromatic hydrocarbons and PCBs, also in the presence of a whole range of hazardous substances such as brominated flame retardants, drug residues, nanosilver and other nanoparticles, nonylphenols, phthalates, dioxins and furans, drugs and many others. Their negative effects due to the application of sludge to agricultural land have not been unequivocally proven, but the situation very much resembles the period when products such as DDT or PCB were marketed with only "miraculous" properties. After 50 years they became the cause of problems that have not been resolved yet.

In the "Working Document on Sludge" (2001), which is so far only a proposal, tightened limit values for the hazardous elements and new limit values for persistent organic pollutants (POP) were stipulated based on studies in which sewage sludge was monitored in Germany and USA. The problem with POPs in sewage sludge found by monitoring is presented by polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans (PCDD/F). The results of POP analysis in the soil with long-term application of sewage sludge have shown that some POPs may accumulate in the soil. In some areas of Germany, PCDD/F were previously introduced by sewage sludge into the soil more intensely than by the air pollution in industrial regions. In addition, recommended sludge composting leads to a three-fold accumulation of the most persistent PCDD/F congeners^{15, 16}.

New Insights into the Use of Sewage Sludge

The most frequent use of sewage sludge is in agricultural land, composting and processing in biogas installations and combustion. However, due to the presence of the substances discussed above, which are present and accumulating in sewage sludge, the view on sludge utilization has been changing radically in recent years, and is becoming one of many controversial problems. The most sophisticated legislation on sludge handling has been established by the states of the Western Europe and the USA. The priority is strict legislative control, which takes into account the occurrence of both pathogenic and resistant microorganisms and other pollutants, large restrictions in landfilling and reduction in agricultural use. On the contrary, energy uses (combustion, drying and co-incineration) and primarily the recovery of

certain valuable and fertilising substances, mainly phosphorus, are increasing. The problem of sewage sludge processing is, of course, specific and it is tied to local conditions, not only climatic ones. The use of sludge is largely related to the degree of awareness of governmental policies and the maturity of the technologies used. Since the conditions for sludge treatment are not the same in European countries and have been solved for a long time, the attributes for selecting the correct sludge treatment practices already published in 2008¹⁷ are constantly in place. Selecting good practices requires:

- Providing managerial support to maximize the benefits of recycling and using valuable compounds from sludge.
- Developing operating systems suitable for local conditions, including economic, climatic, social, etc.
- Establishing realistic and enforceable rules for sludge treatment, including determination of standard sludge characterization procedures and the effectiveness of methods - ensuring the long-term viability and workability of technologies¹⁷.

The Czech Republic prefers to use sewage sludge on agricultural land, but due to the requirements of the new decree regulating the use of sludge on agricultural land¹⁸, it is now clear that demands are increasing mainly on thermic sludge processing and to a smaller degree on composting.

Current State of the Legal Regulations Governing the Monitoring of Microbiological Contamination in Sewage Sludge

Czech legislation seeks to prevent the spread of pathogenic and conditionally pathogenic organisms into the environment within the framework of precautionary measures. Applying these ideas (not only these) was one of the objectives of the amended regulations on bio-waste management, especially regarding the sewage sludge.

The basic act on the treatment of sewage sludge by the end of 2016 was Act No. 185/2001 Coll., as amended¹⁹, Decree No. 382/2001 Coll., on the use of waste water sludge on agricultural land²⁰ and Decree No. 341/2008 Coll., on the details of the treatment of biodegradable waste²¹. The Waste Act was amended as Act No. 223 Coll., on wastes¹⁹. Its implementing regulation until the end of the year was Decree No. 382/2001 Coll., on the use of sludge on agricultural land²⁰.

Where Category 2 or 3 materials or waste (both accepted at WWTP) falling at its loading within the scope of Regulation No 1069/2009 the (Animal by-products Regulation)²² (mostly waste from catering or spent food), then sludge treatment from the WWTP is governed by this regulation.

The implementing regulation for the law is the new Decree no. 437/2016 Coll., on conditions of use of treated sludge on agricultural land¹⁸. The aim of the new decree is to set clear requirements for sludge treatment operators so as to demonstrate that the treatment technology is able to efficiently hygienize the sludge to the required reduction in the number of pathogenic microorganisms. The sludge treatment operator will therefore be required to verify the sludge treatment technology by taking samples at the input into the technology and at the output from the technology and then comparing the contamination. At the same time, the limit for sludge at the output from the plant must not be exceeded.

The decree rectifies legal uncertainty, unifies the terminology and requirements for the limit values of indicator organisms in waste water sludge and in the sludge after any modification. Until this time, provisions in the legislation governing the treatment of sludge had been inconsistent and allowed for unclear and confusing decisions by both the sludge originators and state authorities.

Decree no. 437/2016 Coll. on the use of sewage sludge was prepared as a result of amendments to the amendment to the Act on Waste and it was a response to the requirements of the Ministry of Environment, the requirements of the Czech Inspection of Environment, but also of the users (farmers) and, last but not least, of the WWTP producers. It specifies new obligations for waste water treatment plant operators and for sludge treatment plants, stipulates conditions for sludge storage in waste collection and storage facilities and technical requirements for the temporary storage of treated sludge in WWTPs, for farmers and the use on farmland¹⁸. The legal authorization to issue the proposed decree is contained in section 33 (par. 4) of the Act on Waste no. 223/2015 Coll., as amended¹⁹.

According to the current wording of the Act on Waste, the sludge producer is obliged to carry out the sludge treatment and to set up a program and to prove compliance with the sludge use conditions laid down by law and by implementing legal regulation in order to provide sludge from waste water treatment plants for use in agricultural soil. The program should be passed to a legal entity and a physical person who uses the land and which will be using the sludge on agricultural land. This person has the obligation to use only conditioned sludge with respect to nutritional needs of plants under the conditions laid down by this act and by the implementing legal regulation and in accordance with the program established by the sludge producer so that sludge utilization does not impair soil quality and the quality of surface and ground water. The sludge originator is not only the WWTP operator, but also any person performing sludge treatment¹⁹.

The decree re-establishes the possibility of transfer of untreated sludge for its treatment to an approved sludge treatment plant and to sludge storage. It also sets conditions for treatment for such purposes and includes also microbiological analysis¹⁸.

There are newly introduced requirements for sludge microbiological quality, which is demonstrated by microbiological analysis of the output from the technology and by verification of the hygiene efficiency of sludge treatment technology. Verification of the sludge treatment efficiency is done by taking 10 samples at the inlet and 10 samples at the outlet within 30 days, with a minimum of 48 hours between individual samplings at the input and minimum time between individual samplings at the output being 48 hours¹⁸.

The difference between sludge contamination before treatment and sludge contamination after treatment has to be at minimum 10^5 CFU per gram of sludge for the microorganism *Escherichia coli* or enterococci, and the output parameters must be in accordance with established limit values for indicator micro-organisms¹⁸.

More stringent microbiological parameters for sewage sludge (Table 1) will come in power at January 1, 2020. Till this date is an interim period, which is intended for wastewater treatment plants to prepare for new conditions by implementation of new technologies for treatment and hygienisation. Czech decree put limits for thermotolerant coliform bacteria and enterococci 10^3 CFU per gram of dry matter for sewage sludge applied on farmland.

Table 1: Limit concentration of indicator organisms according to Annex 4 and Decree EU 1069/2009 (EU No. 142/2011)^{18, 22, 23}

Indicator microorganisms	Units	Limit Decree 1069/2009	
<i>Salmonella</i> spp	in 50 g	negative	
<i>Escherichia coli</i> or <i>enterococci</i>	CFU in 1 g	1	$< 5 \cdot 10^3$
		4	$< 10^3$

Conclusion

Sewage sludge treatment is a dynamically changing discipline and very complex issues, which are closely bind to specific local conditions. There is no doubt that organic and inorganic matters from sewage sludge are valuable resources for agriculture. Recycling of these valuable resources is an important issue for many developed countries mainly by farmland application. Simultaneous monitoring of potential negative effects is the must.

Acknowledgement

Supported by Ministry of Health, Czech Republic – conceptual development of research organization (National Institute of Public Health - NIPH, IN 75010330).

Reference

1. Berlin Declaration on Antimicrobial Resistance: A Global Union for Antibiotics Research and Development (GUARD). Information on <http://antibiotic-action.com/g7-health-ministers-declaration-on-amr/>
2. Alanis A.J.: Resistance to Antibiotics: Arch. Med. Res. 36, 697 (2005).
3. Khachatourians G.G.: CMAJ 159, 1129 (1998).
4. Levy S.B.: Sci Am. 278, 46 (1998).
5. Tong J., Lu X.T., Zhang J.Y., Sui Q., Wang R., Chen M., Wei Y.: Bioresour. Technol. 235, 316 (2017).
6. Chen Q., An X., Li H., Su J., Ma Y., Zhu Y.G.: Environ. Int. 92-93, 1 (2016).
7. Bondarczuk K., Markowicz A., Piotrowska-Seget Z.: Environ. Int. 87, 49 (2016).
8. Martinez J. L.: Environ. Pollut. 157, 2893 (2009).
9. Sharma V.K., Johnson N., Cizmas L., McDonald T. J., Kim H.: Chemosphere 150, 702 (2016).
10. Bouki C., Venieri D., Diamadopoulos E.: Ecotoxicol. Environ. Saf. 91, 1 (2013).
11. Prakash A., Verma A., Goyal S., Gauba P.: Journal of Basic and Applied Engineering Research 8, 633 (2015).
12. Chen Q.L., An X.L., Zhu Y.G., Su J.Q., Gillings M.R., Ye Z.L., Cui L.: Environ. Sci. Technol. 51, 8149 (2017).
13. Pan M., Chu L.M.: Sci. Total Environ. 545-546, 48 (2016).
14. Gothwal R., Shashidhar T.: Clean - Soil Air Water 43, 479 (2015).
15. Stránský V.: *Vodní hospodářství* 2, 17 (2017).
16. Stewart A., Harrad S.J., McLachlan M.S., McGrath S.P., Jones K.C.: Chemosphere 30, 51 (1995).
17. Jeníček P.: Konferencia KALY A ODPADY 2008 Bratislava, Sborník přednášek 18 – 24
18. Vyhláška č. 437/2016 sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady a změně vyhlášky č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a o změně vyhlášky č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady (vyhláška o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady) in Czech
19. Zákon o č. 185/2001 Sb., odpadech ve znění zákona č. 223 Sb., o odpadech, kterým se mění zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a zákon č. 169/2013 Sb., kterým se mění zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů. in Czech
20. Vyhláška č. 382/2001 Sb. o použití upravených kalů na zemědělské půdě in Czech
21. Vyhláška č. 294/2005 Sb. o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady in Czech
22. Regulation (EC) No 1069/2009 of the European Parliament and of the Council laying down health rules as regards animal by-products and derived products not intended for human consumption and repealing Regulation (EC) No 1774/2002 (Animal by-products Regulation)
23. Commission Regulation (EU) No 142/2011 of 25 February 2011 implementing Regulation (EC) No 1069/2009 of the European Parliament and of the Council laying down health rules as regards animal by-products and derived products not intended for human consumption and implementing Council Directive 97/78/EC as regards certain samples and items exempt from veterinary checks at the border under that Directive.

Perspektiva využití kalů z ČOV z hlediska současných zdravotních a ekologických rizik

Ladislava MATĚJŮ, Zdislava BOŠTÍKOVÁ, Magdalena ZIMOVÁ

Státní zdravotní ústav, Šrobárova 48, 100 42 Praha 10, Czech Republic

e-mail: ladislava.mateju@szu.cz, zdislava.bostikova@szu.cz, magdalena.zimova@szu.cz

Souhrn

Nové studie zabývající se kvalitou čistírenských kalů ukazují, že kromě tradičně sledovaných polutantů obsahují také množství jiných složek nebezpečných pro lidské zdraví a životní prostředí. Důležitou roli hrají mimo jiné také rezistentní patogenní mikroorganismy. Tento článek popisuje novou českou legislativu pro nakládání s čistírenskými kaly z hlediska jejich mikrobiální kontaminace a předestírá budoucí trendy v nakládání s čistírenskými kaly v České republice.

Klíčová slova: nakládání s kaly, rezistence, bakterie

Mechanická recyklácia odpadovej polyuretánovej peny formovaním pod tlakom

Miloš MATÚŠ, Ľubomír ŠOOŠ, Jozef BÁBICS, Juraj BENIAK, Peter KRIŽAN

Slovenská technická univerzita v Bratislave, Strojnícka fakulta, Námestie slobody 17, 812 31 Bratislava, Slovenská republika, e-mail: milos.matus@stuba.sk

Súhrn

Na polyuretánový odpad zo starých vozidiel, z izolácie teplovodných potrubí, vyradených chladničiek a mnohých ďalších zdrojov sa upriamuje pozornosť na celom svete kvôli rýchlo rastúcim množstvám a čoraz prísnejším právnym predpisom týkajúcich sa jeho spracovania a likvidácie. Uvedený príspevok pojednáva o pokroku v recyklácii a opäťovnom materiálovom použití polyuretánu. Podrobne sa venuje predovšetkým mechanickej recyklácii polyuretánového odpadu, ktorá zahŕňa technológie ako recykláciu s opäťovným lepením, adhézne lisovanie, formovanie pod tlakom či vstrekovanie do foriem. Uvádzaný experimentálny výskum je zamieraný na mechanickú recykláciu odpadovej PUR peny suchým formovaním pod tlakom. Realizované experimenty skúmajú vplyv lisovacieho tlaku, teploty ohrevu a dĺžky ohrevu na parametre kvality výrobku definované predovšetkým hustotou a tvarovou a rozmerovou stálosťou. Výsledky ukazujú, že recyklované tvarové výrobky s požiadavkami na vysokú tvarovú presnosť a vysoké mechanické vlastnosti sa môžu vyrábať bez akéhokoľvek spojiva len s použitím správnej kombinácie lisovacieho tlaku, teploty a dĺžky ohrevu. Výskum dokázal, že týmto spôsobom by mohli byť úspešne vyrábané diely zo 100 % recyklovanej PUR peny pre automobilový priemysel, stavebný priemysel, či ako akustická a tepelná izolácia potrubných systémov a vzduchotechniky.

Kľúčové slová: polyuretánové penové materiály, recyklácia polyuretánu, formovanie pod tlakom

Úvod

Polyuretány sa používajú od 40. rokov minulého storočia a dnes sú základným materiálom so širokým použitím v mnohých priemyselných odvetviach. Reakciou izokyanátov s alkoholmi vznikajú tzv. uretány. Sú to estery kyseliny karbamovej.¹

Polyuretánové (PUR) peny zaberajú asi 33 % z celkovej produkcie polyuretánov. Používajú sa v automobilovom priemysle na výrobu sedadiel, ďalej na výrobu matracov, nábytku. Využitie nachádzajú aj v stavebníctve. Tým, že sa používajú bežne v priemysle aj ako spotrebny materiál, vzniká otázka ukladania a recyklácie 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, elastická vlákna či ako umelá koža. Najväčší dopyt z týchto foriem je po penách.

Mäkké (flexibilné) peny sa vyrábajú v rozmedzí hustôt od 15 kg m⁻³ do 70 kg m⁻³, tvrdé v ešte väčšom rozmedzí od 10 kg m⁻³ do 600 kg m⁻³.² Tvrde peny sa pripravujú v uzavretých alebo otvorených formách. Slúžia väčšinou ako izolačný materiál v stavebníctve a strojárenstve (potrubia, chladničky, automobily), ale aj v lietadlách ako radarové kryty. Využíva sa pritom nielen dobrá izolačná schopnosť, ale aj tvrdosť tvrdých PUR pien. Mäkké peny sa pripravujú výhradne v blokoch. Používajú sa ako matrace, na laminovanie textilu, na obalové účely (ochrana proti nárazu), na výrobu izolačných a tesniacich pásov. Výrazné uplatnenie v nábytkárskom priemysle našiel molitan, integrálna mäkká PUR pena. Vyznačuje sa vyššou hustotou na povrchu (škrupina) a zníženou hustotou v strede, predovšetkým plošných výrobkov. Prechod hustoty od okraja ku stredu je plynulý, čím sa tieto materiály odlišujú napr. od sendvičových kompozitov. PUR peny sa používajú ako tesnenie, tepelná izolácia a konštrukčný materiál. Všetky aplikácie PUR peny predstavujú či už súčasný alebo budúci zdroj odpadu.

Polyuretánové peny je potrebné z hľadiska mechanických vlastností rozlíšiť na tvrdé (napr. izolácia chladničiek, izolácia v stavebníctve, izolačné dosky, sendvičové stavebné prvky, atď.) a flexibilné (napr.

sedadlá v automobiloch, čalúnenie, matrace, podložky pod koberce, obalový materiál, atď.). Podľa toho, do ktorej kategórie konkrétna odpadová PUR pena spadá, je možné navrhnuť vhodnú technológiu jej následného spracovania a využitia.

Roky výskumu, štúdií a testovania viedli k celej rade oblastí a metód recyklácie a využitia polyuretánu, ktoré môžu byť ekonomicky a ekologicke realizovateľné.³ Štyri hlavné kategórie⁴ sú: mechanická recyklácia, pokročilá chemická a termo-chemická recyklácia, energetické využitie a recyklácia samotného produktu (obrázok 1). Každý spôsob poskytuje jedinečné výhody, ktoré sú obzvlášť vhodné pre konkrétnu aplikáciu alebo požiadavky.^{5,6} Mechanická recyklácia (t.j. recyklácia materiálov) zahŕňa fyzikálnu úpravu. Chemická a termo-chemická recyklácia (t.j. recyklácia suroviny) zahŕňa chemické ošetrenie, ktoré transformuje tento odpad na vstupné produkty, chemikálie pre chemický priemysel. Energetické využitie tohto odpadu zahŕňa úplnú alebo čiastočnú oxidáciu materiálu⁷, výrobu tepla a elektrickej energie, a/alebo plynných palív, olejov a uhlia okrem vedľajších produktov akým je popol, ktoré musia byť likvidované.⁹ Vzhľadom k typicky dlhej životnosti výrobkov obsahujúcich polyuretán, štvrtá možnosť - recyklácia produktu alebo tzv. uzavretá slučka recyklácie (obrázok 1), je obmedzená^{8,10}, pretože trhy sa rýchlo menia a pojed "downcycling" alebo "otvorená slučka" recyklácie sa silno vzťahuje na produkty na báze chemikálií ako sú polyuretány. Preto mechanická, chemická a tepelnno-chemická recyklácia a energetické využitie, sú jediné tri spôsoby, ako účinne recyklovať polyuretán¹¹.

Recyklácia PUR pien			
Mechanická recyklácia	Chemické spracovanie	Tepelnno-chemické spracovanie	Energetické využitie
Úprava veľkosti frakcie	Hydrolýza	Pyrolýza	Spaľovanie komunálneho odpadu
Recyklácia s opäťovným lepením	Glykolýza	Splyňovanie	Fluidné pece
Adhézne lisovanie	Alkoholýza	Hydrogenácia	Rotačné pece
Formovanie pod tlakom			Tepelná degradácia
Vstrekovanie do foriem			

Obrázok 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:

- a) zvyšovanie hustoty objemných polyuretánových pien, čo umožňuje ekonomicky efektívnu dopravu od zberného miesta do prevádzky recyklácie,
- b) redukcia veľkosti polyuretánových výrobkov (matracov, autosedačiek, izolačných dosiek a pod), ktorá je vhodná pre ďalšie spracovanie vo zvolenom recyklačnom procese. Veľkosť vhodnej frakcie takéhoto odpadu sa môže lísiť v závislosti od toho, či bude nasledovať mechanická recyklácia, chemické spracovanie alebo energetické využitie.

Príspevok sa zameriava na mechanické spôsoby recyklácie PUR peny. Dôležitým a prvým krokom pri mechanickej recyklácii je spracovanie odpadových materiálov na menšie častice, ktoré sa následne budú ľahšie spracovať. Môžu to byť vločky, 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 znova použiť pri výrobe nových PUR pien ako plnivo. V iných prípadoch sa odpadový materiál drví.¹²

Za účelom spracovania rôznych typov odpadových polyuretánových materiálov na menšie častice bolo vyvinutých množstvo dezintegračných technológií:

- a) Prebrusovanie
- b) Dvojvalcový mlečí proces
- c) Presné nožové mlyny
- d) Peletovací mlyn
- e) Nárazový diskový mlyn
- f) Kryogénne mletie

Recyklácia s opäťovným lepením

Recyklácia lepením s pridaním spojiva patrí medzi najpoužívanejšie procesy recyklácie. Používa sa už 30 rokov. Spočíva v spôsobe spracovania penových vločiek získaných z recykláčnych penových odpadov napr. prebrusovaním. Vločky sa fúkajú zo zásobníkov do bubnových miešačiek, ktoré sa skladajú z bubna a miešadla. Tu sa vločky miešajú s lepidlom. Táto vzniknutá zmes sa dá farbiť a potom sa zlisuje dopravníkovým lisom. Stabilizácia sa vykonáva pomocou pary. Vďaka tomuto postupu môžeme získať nové vlastnosti PUR, napr. vyššiu hustotu. Zahŕňa aj vysokú pružnosť a širokú variabilitu v mechanických vlastnostiach hotových výrobkov. Vďaka tejto technológií je možné v súčasnej modernej dobe získavať kvalitné lisované diely zo spájaných materiálov.¹²

Adhézne lisovanie

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. Táto pravdepodobne najstaršia metóda recyklácie PUR pien umožňuje produkciu rohoží, kobercových podložiek, častí podlám športových hál či zvukovú izoláciu v automobiloch.

Nadrvená PUR pena o veľkosti častíc približne 1 cm môže byť opäťovne 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. Výsledkom sú PU tvarové diely, stavebné dosky s vynikajúcou odolnosťou proti vode a vlhkosti, alebo izolačné panely použiteľné v nových chladničkách a mrazničkách. Odpadová PUR pena spracovaná do formy blokov a následne rezaná nachádza uplatnenie v kobercových podložkách, častiach podlám športových hál a v nábytkoch. Materiálové zhodnotenie enormného množstva PU flexibilnej peny (molitanu) zo starých vozidiel môže uspokojiť veľkú časť (v USA takmer 50 %) trhu s kobercovými podkladmi⁵. Tento spôsob recyklácie je veľmi zaujímavý tiež pre PUR penu zo stavebného odpadu, avšak spôsob spracovania je komplikovanejší a často nemožný vzhľadom na obsiahnuté retardéry horenia v tomto materiáli.⁴

Vstrekovanie do foriem

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.¹⁴ Technológia vstrekovania do foriem umožňuje spracovať predovšetkým zmesi polyuretánu a iných termoplastov. 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, pričom surovinu tvorí homogenizovaná zmes termoplastov. Duálne vstrekovanie prostredníctvom dvoch (príp. viacerých) extrúderov umožňuje recykláciu a opäťovné použitie odpadových termoplastov a termosetov. Surovina je premiešavaná pred vtokom do formy. Výhody tejto technológie spočívajú v zvýšených mechanických vlastnostiach produktu, vo vyššej kvalite povrchu a v možnosti ľubovoľnej farby produktu.

Formovanie pod tlakom

Lisované diely obsahujú 100 % recyklovaného materiálu. Tento spôsob formovania pod tlakom, ktorý ako recyklovanú surovinu využíva predovšetkým reakčne vstrekované polyuretány do foriem, je schopný produkovať vysoko kvalitné recyklované produkty. Uvedená recyklovaná surovina je prebrúsená na jemné častice a podrobenná vysokým tlakom a teplotám za účelom vytvorenia pevného materiálu, ktorý je ideálny pre mnoho aplikácií v automobilovom priemysle.

Formovanie pod tlakom¹³ zahŕňa tvarovanie polyuretánových častíc pri dostatočne vysokých teplotách a tlakoch pre vytvorenie šmykových síl potrebných k nataveniu a spojeniu jednotlivých častíc dohromady, bez potreby ďalších spojív.

Táto technológia sa zameriava na výrobu čalúnenia zo spracovania polyuretánu a polyuretánov získaných zo starých vozidiel. Diely lisované z recyklátu dosahujú zaručené mechanické vlastnosti, ktoré v skutočnosti môžu byť lepšie ako z nového polyuretánového materiálu. Technológia je vhodná na výrobu pevných a zložitých trojrozmerných dielov, ako sú tvarové obaly čerpadiel a motorov.

Výskum uvádzaný v tomto príspevku sa zameriava na mechanickú recykláciu odpadových PUR pien technológiou suchého formovania pod tlakom. Realizované experimenty zahŕňajú vplyv lisovacej teploty, lisovacieho tlaku a doby výdrže ohrevu na kvalitatívne parametre výsledného produktu definované predovšetkým hustotou. Cieľom je definovať špecifické technologické parametre recykláčného procesu a ich vhodné kombinácie umožňujúce úspešnú produkciu tvarových produktov, predovšetkým pre automobilový priemysel. Ale možnosti uplatnenia recyklátov z odpadovej PUR peny vyrobené touto technológiou sú široké (napr. tepelná a zvuková izolácia v stavebnictve, kročajová akustická izolácia pod parkety a laminátové podlahy, podložky pod koberce, akustická výplň v bielej technike, akustická a tepelná výplň pre dverné a okenné systémy, akustická výplň v odsávacích a vetracích systémoch, tepelná izolácia potrubných systémov, a iné).

Materiál a experimenty

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

Pri navrhutej metóde lisovania – formovania – PUR recyklátu za tepla bez pridania lepidla je dôležité podrvený materiál zohriať na teplotu 180 až 220 °C, kedy táto flexibilná PUR pena zmäkne, natavia sa hrany jednotlivých vločiek a môže tak pôsobením tlaku nastať vzájomné prepojenie častíc.

Rozhodujúcimi skúmanými technologickými parametrami v rámci experimentov bol vplyv lisovacej teploty, lisovacieho tlaku a doba výdrže. Ostatné parametre boli pri experimentoch nemenné: drvená frakcia (obrázok 2) s frakčným zložením uvedeným v tabuľke 1, tvar formy, resp. tvarového prvku.

Materiál

Pre experimenty bol použitý technologický odpad z výroby PUR peny. Materiál bol drvený vo forme vločiek a mal veľkosť frakcie 2,0 – 15,0 mm (obrázok 2). Na zistenie frakčného zloženia materiálu bola vykonaná frakčná analýza na zariadení Retsch Vibratory Sieve Shaker AS 200 digit a materiál bol delený na 5 veľkostí frakcie: < 2,00 mm, 2,0 – 5,0 mm, 5,0 – 10,0 mm, 10,0 – 15,0 mm a viac ako 15,0 mm. Frakčné zloženie materiálu je uvedené v tabuľke 1.



Obrázok 2: Surovina pre experimenty – PUR pena

Tabuľka 1: Frakčné zloženie materiálu – PUR peny

Veľkosť frakcie (mm)	Hmotnosný podiel (%)
≥ 15,00	12,69
15,00 - < 10,00	22,77
10,00 - < 5,00	35,92
5,00 - < 2,00	26,06
< 2,00	2,56

Experiments

Pre experimenty bola vyrobená tvarová forma (obrázok 3), ktorá umožňuje súčasne produkciu 4 vzoriek. Každá vzorka má tvar kvádra s rozmermi: šírka 50 mm, dĺžka 100 mm, hrúbka je závislá od jednotlivých premenlivých skúmaných parametrov experimentu. Na ohrev je použitá muflova pec. Prázdna forma a závažia sú vložené do pece a ohriate na požadovanú teplotu. Následne je forma plnená drvenou PUR penou (obrázok 4), do každej časti formy sa vloží 25 g materiálu. Po naplnení formy sa materiál každej vzorky začaží presne stanoveným tlakom vyvodeným hmotnosťou závaží (obrázok 5). Plnenie prebieha veľmi rýchlo a za podmienok, aby dochádzalo k veľmi malému ochladeniu formy a závaží. Naplnená a začažená forma sa opäť vloží do pece na presne stanovený čas ohrevu. Po vyprázdnení formy (obrázok 6) sa celý postup opakuje pri presne definovaných podmienkach experimentu.



Obrázok 3: Forma a závažia pre výrobu experimentálnych vzoriek



Obrázok 4: Plnenie formy materiálom



Obrázok 5: Zaťaženie vzoriek rôznym lisovacím tlakom



Obrázok 6: Vyberanie hotových vzoriek z formy

Cieľom experimentov je definovať optimálne rozsahy technologických parametrov suchého formovania pod tlakom a súčasne stanoviť okrajové hodnoty intervalov parametrov pri ich jednotlivých kombináciach. Interval lisovacích teplôt má uvažované kritické hranice vychádzajúce z teplôt stavovej premeny PUR. Uvažovanými variabilnými parametrami procesu teda sú:

- Lisovací tlak (2.0 kPa, 4.0 kPa, 6.0 kPa, 8.0 kPa),
- Teplota ohrevu (200 °C, 225 °C, 250 °C),
- Dĺžka ohrevu (10 min., 15 min., 20 min., 25 min., 30 min.).

Skúmané parametre sú vyhodnocované vzhľadom na kvalitatívne parametre vzoriek: hustota vzoriek, tvarová presnosť a stálosť.

Experimenty zahŕňajú 60 rôznych kombinácií technologických parametrov. Vzhľadom na korektné štatistické vyhodnotenie experimentu bolo vyrobených 10 vzoriek lisovaných tvarových prvkov pri každej kombinácii technologických parametrov (spolu 600 vzoriek).

Hodnotenie kvalitatívnych parametrov produktov

Hustota každej vyhotovenej vzorky je vypočítaná ako pomer hmotnosti a objemu na základe zmeraných vonkajších rozmerov a hmotnosti každej vzorky. Meranie rozmerov vzoriek sa uskutočňovalo prostredníctvom digitálneho posuvného meradla, hmotnosť prostredníctvom digitálnych váh. Priemerná hodnota hustoty pre každú kombináciu nastavenia technologických parametrov bola vypočítaná z 10 hodnôt vzoriek vyrobených pri rovnakej kombinácii. Hustota bola vyhodnocovaná 30 minút po vybratí vzorky z formy.

Tvarová presnosť je hodnotená meraním vonkajších rozmerov vzoriek v niekoľkých miestach každého rozmeru. Tvarová stálosť je hodnotená na základe opäťovného merania rozmerov vzoriek po 24 hodinách od vyhotovenia.

Výsledky a diskusia

Hustota recyklovaných produktov z PUR peny technológiou formovania pod tlakom je závislá od lisovacieho tlaku, teploty ohrevu a dĺžky ohrevu. Uvedené intervale premenných technologických parametrov boli zvolené na základe analýzy vlastností formovaného materiálu a analýzy výsledkov publikovaných vedeckých prác. Z výsledkov experimentov vyplýva, že pri definovaných intervaloch premenných technologických parametrov má najväčší vplyv na nárast hustoty vzoriek veľkosť zaťažujúceho tlaku. Z absolútnych hodnôt vyplývajúcich z experimentov pri rovnakých intervaloch premenných (tabuľka 2) vyplýva, že práve teplota ohrevu má najmenší vplyv na zmenu hustoty vzoriek.

Pri všetkých kombináciách premenných technologických parametrov boli vyrobené skúšobné vzorky dosahujúce rôznu kvalitu (obrázok 7). Na obrázkoch 8, 9 a 10 možno pozorovať priebeh zmeny hustoty

od zmeny formovacieho tlaku a doby ohrevu materiálu pri rôznych teplotách ohrevu. Z výsledkov vyplýva, že zmena hustoty v závislosti od dĺžky ohrevu je pri jednotlivých teplotách takmer lineárna.

Experimenty preukázali, že v skúmanom rozsahu teplôt má na súdržnosť a tvarovú stálosť vzorky zásadný vplyv doba ohrevu. Nakoľko formovaný materiál je tepelný izolant, požadovaná doba ohrevu umožňuje jeho objemové prehriatie a natavenie kontaktných miest medzi jednotlivými vločkami. Nevyhnutná doba ohrevu je závislá od teploty ohrevu. So zvyšujúcou sa teplotou sa minimálna potrebná doba na vytvorenie súdržnej a stabilnej vzorky skracuje.

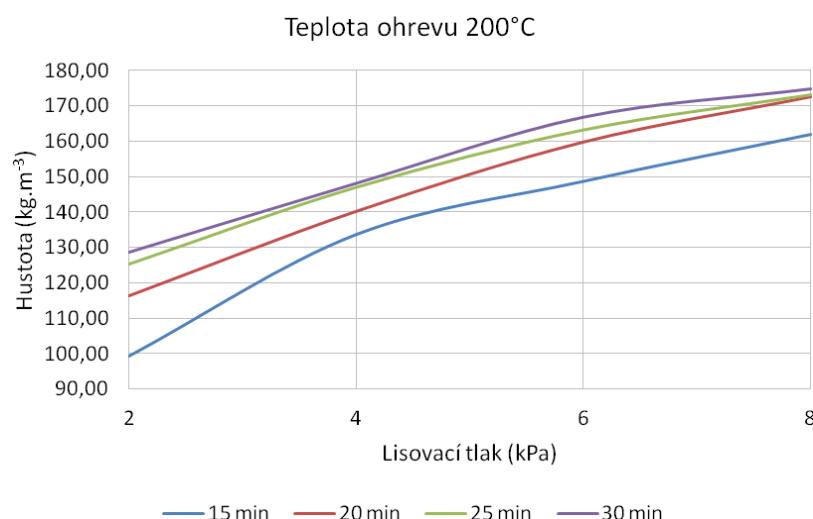
Z realizovaných experimentov tiež vyplynuli časové limity dĺžky ohrevu materiálu. Pri teplotách 200 °C a 225 °C nie je možné vyrobiť súdržnú a tvarovo stálu vzorku pri dobe výdrže kratšej ako 15 minút. Nedochádza k dostatočnému prehriatiu materiálu a jeho nataveniu. Vzorky neboli dostatočne súdržné a vykazovali výraznú tvarovú nestabilitu po vybratí z formy. Naopak, formovanie pri teplote 250 °C má svoj horný časový limit výdrže pri 25 minútach. Pri dlhšom ohreve došlo k degradácii formovaného materiálu a spekaniu. Vzorky vyrobené v uvedených limitoch vykazovali dobrú tvarovú presnosť a stálosť, lišili sa svojou hustotou.

Tabuľka 2: Priemerné hodnoty hustoty vzoriek vyhotovených pri rôznych kombináciach technologických parametrov

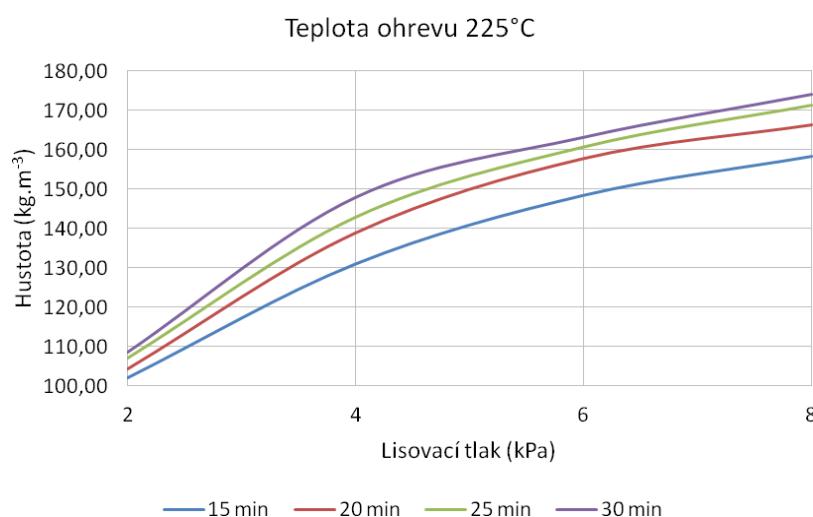
Teplota ohrevu 200 °C					
Doba ohrevu (min)	10	15	20	25	30
Lisovací tlak (kPa)	Hustota (kg.m ⁻³)				
2,00	Nesúdržné, tvarovo nestále	102,10	104,30	107,11	108,49
4,00		131,00	138,93	142,85	147,82
6,00		148,43	157,85	160,65	163,09
8,00		158,31	166,40	171,24	173,98
Teplota ohrevu 225 °C					
Doba ohrevu (min)	10	15	20	25	30
Lisovací tlak (kPa)	Hustota (kg.m ⁻³)				
2,00	Nesúdržné, tvarovo nestále	99,17	116,20	125,33	128,67
4,00		133,55	140,14	147,05	148,15
6,00		148,60	159,78	163,25	166,88
8,00		161,84	172,60	173,18	174,87
Teplota ohrevu 250 °C					
Doba ohrevu (min)	10	15	20	25	30
Lisovací tlak (kPa)	Hustota (kg.m ⁻³)				
2,00	110,4865	118,00	128,90	129,38	Degradácia materiálu, spekanie
4,00	136,2667	141,33	143,77	146,86	
6,00	151,4286	158,46	160,67	163,68	
8,00	165,60	164,00	174,36	175,83	



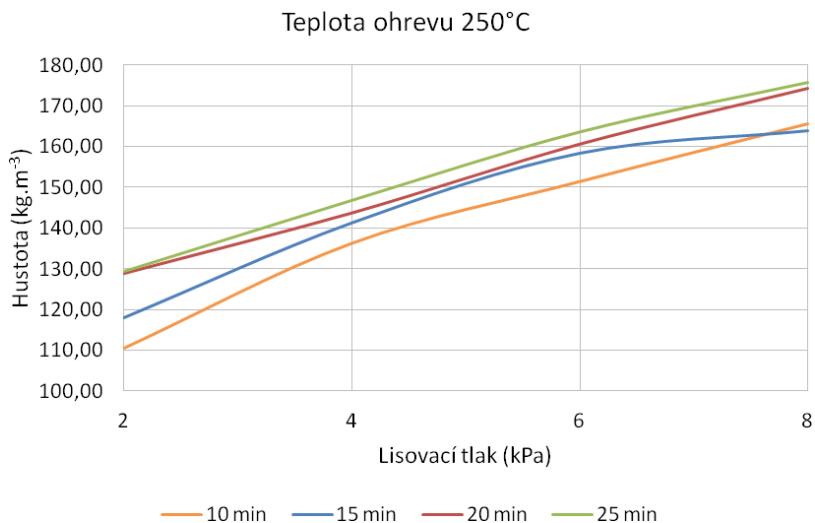
Obrázok 7: Vyhotovené vzorky suchým formovaním pod tlakom



Obrázok 8: Zmena hustoty od formovacieho tlaku a doby ohrevu pri teplote ohrevu 200 °C

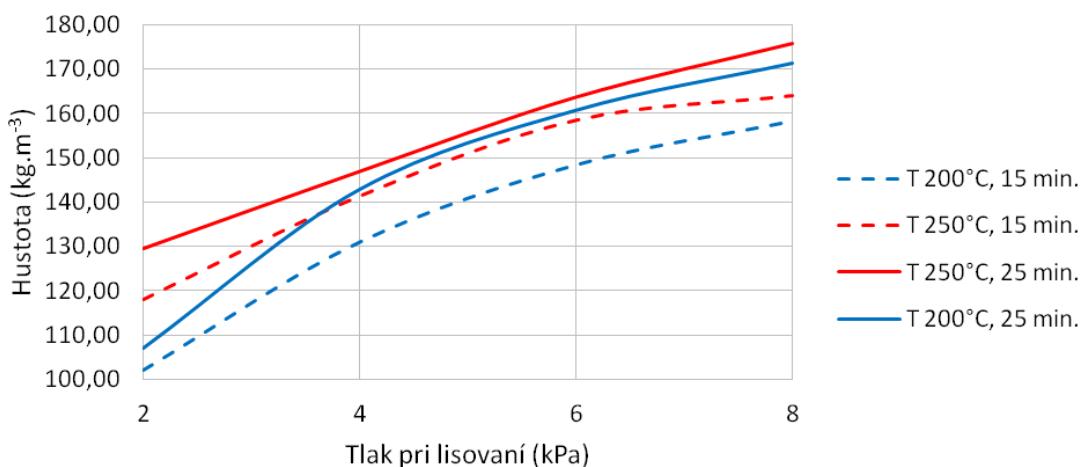


Obrázok 9: Zmena hustoty od formovacieho tlaku a doby ohrevu pri teplote ohrevu 225 °C



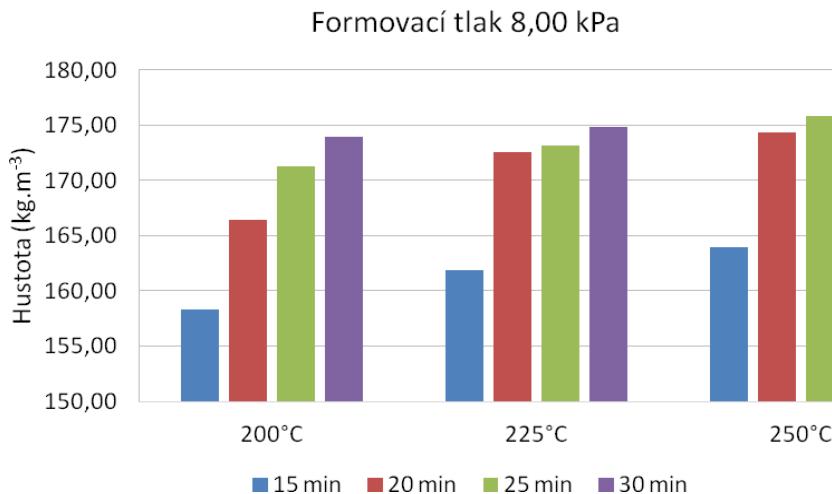
Obrázok 10: Zmena hustoty od formovacieho tlaku a doby ohrevu pri teplote ohrevu 250 °C

Z hľadiska produkcie recyklovaných prvkov je nevyhnutné pre spracovateľov zvážiť, či je pre dosiahnutie požadovanej hustoty prvkov ekonomicky výhodnejšie použiť vyššiu teplotu ohrevu pri kratšej dobe ohrevu, alebo naopak. Tento fakt je uvedený na obrázku 11, ktorý porovnáva priebeh zmeny hustoty pri hraničných hodnotách teploty ohrevu a doby ohrevu pre rôzne formovacie tlaky. Z grafu je zrejmé, že pre dosiahnutie požadovanej hustoty prvkov je ekonomicky výhodnejšie použiť vyšší formovací tlak a zároveň vzhľadom na zaručenie tvarovej presnosti a stálosti vyššiu lisovaciu teplotu a kratšiu dobu výdrže.



Obrázok 11: Porovnanie priebehu zmeny hustoty pri hraničných hodnotách teploty ohrevu a doby ohrevu pre rôzne formovacie tlaky

Zaujímavé je tiež porovnanie zmeny hustoty skúmaných vzoriek formovaných konštantným tlakom v závislosti od dĺžky ohrevu pri rôznych teplotách ohrevu. Z obrázka 12 je zrejmé, že zvyšujúcou sa teplotou ohrevu sa zvyšuje aj hustota vzoriek pri rovnakej dĺžke ohrevu. Zároveň však možno konštatovať, že k najvýraznejším zmenám hustoty v závislosti od dĺžky ohrevu dochádza pri teplote 200 °C.



Obrázok 12: Zmena hustoty skúmaných vzoriek formovaných konštantným tlakom v závislosti od dĺžky ohrevu pri rôznych teplotách ohrevu

Závery

Recyklácia PUR peny technológiou formovania pod tlakom a súčasnom ohrevu je veľmi efektívna pri dodržaní vhodných technologických podmienok. Z výsledkov experimentov vyplýva, že pri definovaných intervaloch premenných technologických parametrov má najväčší vplyv na nárast hustoty vzoriek veľkosť zaťažujúceho tlaku. So zvyšujúcou sa teplotou ohrevu sa zásadne zvyšuje tvarová presnosť a stálosť recyklovaných prvkov. Doba výdrže ohrevu pri rôznych teplotách ohrevu limitujúco vplýva na tvorbu súdržných väzieb a na degradáciu materiálu individuálne v závislosti od použitej teploty ohrevu.

Výsledky experimentov majú v praxi zásadný význam pri nastavovaní optimálnej kombinácie parametrov technologického procesu recyklácie, a zároveň ponúkajú podklad pre ekonomickú optimalizáciu procesu (teplo vs. čas). Výskum dokázal, že touto technológiou by mohli byť úspešne vyrábané diely zo 100 % recyklovanej PUR peny pre automobilový priemysel, stavebný priemysel, či ako akustická a tepelná izolácia potrubných systémov a vzduchotechniky.

Podakovanie

Tento príspevok vznikol v rámci realizácie projektu "Výskum a vývoj progresívneho kompozitného paliva na báze odpadovej fytomasy a návrh technológie na jeho priemyselnú produkciu (FILIP)" podporeného prostredníctvom Grantovej schémy v rámci Programu na podporu tímových projektov mladých výskumníkov v podmienkach Strojníckej fakulty Slovenskej technickej univerzity v Bratislave.

Literatúra

1. Meekum U., Kenharaj R.; 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. Howard G.T., Biodegradation of polyurethane: a review, Int. Biodeterior. Biodegrad. 49 (2002) 245 – 252.
4. Weigand E.: Properties and applications of recycled polyurethanes, in: Branderup J., Bittner M., Menges G., Micheali W. (Eds.), Recycling and Recovery of Plastics, Hanser Publishers, Munich, Germany, 1996, section 7.10.

5. Scheirs J.: *Polymer Recycling*, John Wiley & Sons, Chichester, 1998, chapter 10.
6. Frisch K.C.: *Advances in Plastic Recycling* vol. 1, ISBN 1-56676-737-1-Technomic Publishing, 1999.
7. Troitsch J.: *International Plastics Flammability Handbook*, Hanser Publishers, Munich, 1990.
8. DeGaspari J.: *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. Zia K. M., Bhatti H. N., Bhatti U. A.: *Methods for polyurethane and polyurethane composites, recycling and recovery: A review*, Reactive & Functional Polymers 67 (2007) 675 – 692.
13. Hulme A.J., Goodhead T.C., Mater J.: Proc. Technol. 139 (2003) 322 – 326.
14. Held S., Hicks D.A., Hart M.: *Proceedings of R'99 Recovery Recycling Re-integration*, Geneva (Switzerland) February IV. (1999) 92 – 97.

Mechanical recycling of waste polyurethane foam by compression moulding

Miloš MATÚŠ, Ľubomír ŠOOŠ, Jozef BÁBICS, Juraj BENIAK, Peter KRIŽAN

Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Mechanical Engineering, Námestie slobody 17, 812 31 Bratislava, Slovak Republic, e-mail: milos.matus@stuba.sk

Summary

Polyurethane wastes from end-of-life vehicles, district heating tubes, scrapped refrigerators and many other sources are receiving increased attention worldwide because of rapidly rising amounts and increasingly tight legislation on their treatment and disposal. Recent progress in the recycling and recovery of polyurethane is reviewed in this paper. There is described in detail mechanical recycling of polyurethane waste, what includes regrinding, re-bonding, adhesive pressing, compression moulding and injection moulding. The research is focused on mechanical recycling of waste PUR foam by compression moulding. Experiments include the effect of pressing temperature, pressing time and pressing force on the parameters of product quality defined by density, geometry and strength. The results show that recycled products with complicated shape and high mechanical properties can be produced without any binder, only with using the right combination of pressing temperature, processing time and pressing force. By this way the parts for automotive industry could be successfully produced from 100 % recycled PUR foam.

Keywords: polyurethane, polyurethane recycling, foam waste, compression moulding

Sustainability of the ELV processing system in the Slovak Republic and forecasting of waste streams from the operation of passenger motor vehicles

Pavol OCHOTNICKÝ^a, Marek KÁČER^{a,b}, Martin ALEXY^a

^a University of Economics in Bratislava, Dolnozemská cesta 1, Bratislava, Slovakia
e-mail: pavol.ochotnický@euba.sk

^b Credit Management Research Centre, Leeds University Business School,
University of Leeds, United Kingdom

Abstract

Passenger cars have a significant impact on the environment throughout their lifecycle. In the paper, we focus on the forecasting of waste streams generated during the processing of end-of-life vehicles (ELV) in the Slovak Republic. Given the short historical time series, we build a forecasting framework which combines the time-series forecasting techniques with expert judgement methods. We present the forecasts of waste streams and the outlook trends until 2020. Our findings confirm that if the trends from the past years continue the existing system of ELV processing in the Slovak Republic will be able to meet the EU sustainability targets in terms of re-use, recycling and recovery rates. In addition, where possible, we provide the ex-post verification of the ex-ante forecasts and show the accuracy of the forecasting framework. At the same time, based on the expert judgement we present the forecasts of the waste streams generated annually during the maintenance of passenger cars in Slovak Republic.

Keywords: end-of-life vehicles, waste streams

Introduction

Passenger cars have a significant impact on the environment throughout their lifecycle. The cars are important source of different waste streams in the all phase of their lifecycle – production of cars, use of cars, processing of end-of-life vehicles (ELV). The dynamics of car production in Europe markedly lagged behind the world (with the production of 20.3 million of cars in 2000 and 21.1 million in 2015), respectively, until it stagnated. However, the Slovak Republic (SR) through the inflow of foreign investments recorded a dynamic increase in car production - from 181 thousand in 2000 to 1 million and one vehicle in 2015 [1]. Automotive manufacturers in the SR have their own waste management systems that consistently target the reuse or treatment of waste.

For a less complex waste treatment system may be considered the collection, sorting, use or digestion of waste arising from the operation of motor vehicles. In 2014, from 1 236 million of cars registered worldwide, the passenger cars accounted for 907 million. In Europe, the number of used passenger cars was 328 million from 382 million and in the SR almost 2 million from 2.3 million vehicles [1-2].

According to EC data, every year end-of-life vehicles (ELV) account for between 7 and 8 million tons of waste in the European Union. The vast majority of end-of life vehicles are recyclable within the European Union. The rest of the vehicle is considered waste and generally goes to landfills. EU legislation forces manufacturers to produce new vehicles without dangerous substances (especially lead, mercury, cadmium and hexavalent chromium). The EU strategy aims at reuse, recyclability and recovery of waste from selected vehicles. At the same time, the strategy is designed to minimize and eliminate the utilisation of hazardous substances. Dangerous waste types from discarded vehicles are considered as oil filters, explosive parts (e.g. safety airbags), brake pads and lining containing asbestos, brake fluids, antifreeze containing hazardous substances (cooling system), waste electrical and electronic equipment, hazardous parts, lead-acid batteries, separately collected electrolyte from batteries and accumulators, used catalysts [3].

The EU's more ambitious targets for ELV recovery, which came into force on 1. 1. 2015, require that 95 % of the weight of the ELV be recycled or reused. The SR and other Member States have gradually implemented a comprehensive system of post-life vehicle processing, which besides legislation as the main system elements includes a network of authorized processors and their technologies, logistics and distribution channels of each type of waste, reporting system. At a time when the objectives of the ELV Directive were tightened, there were some doubts about the ability of Member States to meet the targets, including the SR.

The main objective of the first part of our contribution is to verify whether the existing waste treatment system from ELV in SR is sustainable or whether it is able to reach ELV target limits in the period till 2020. For this purpose we have developed a system of stochastic equations, which makes it possible to predict the fulfilment of the objectives of the ELV Directive as well as individual ELV waste streams. We have also made an ex-post analysis of the accuracy of the forecasts on the basis of new, forward-looking data.

In the second part of the paper we have attempted to estimate the streams of waste generated by using of personal passenger cars in the year 2016.

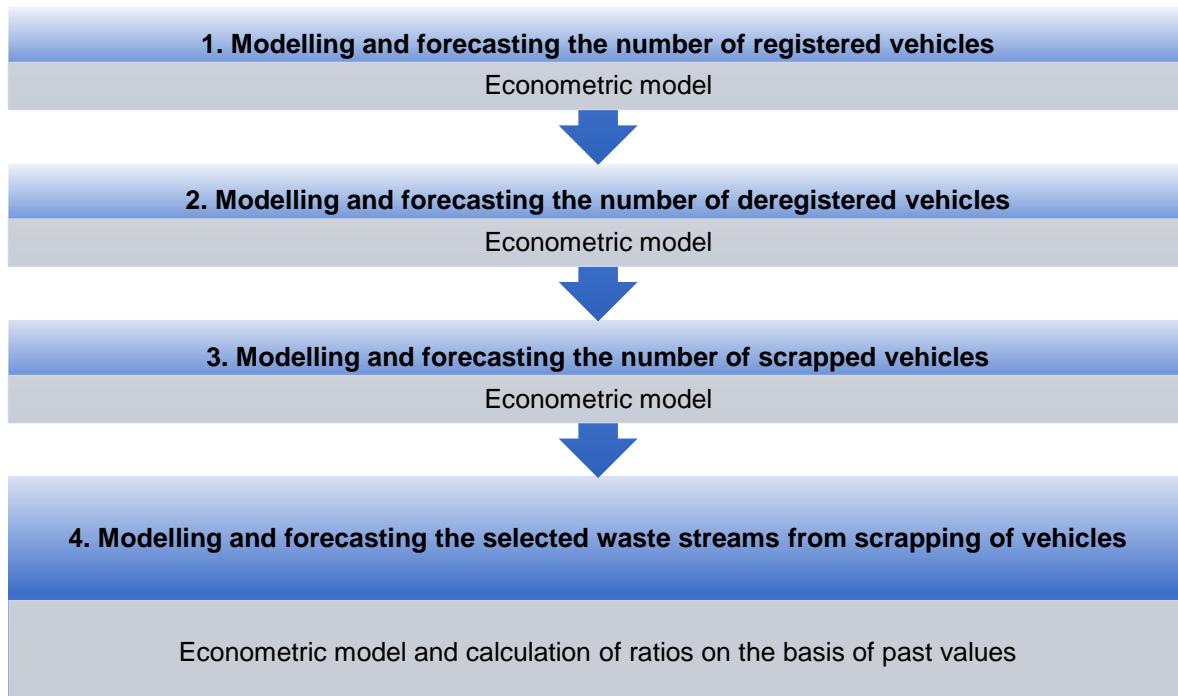
1. Forecast of ELV waste streams

The presented procedure, prognosis and partial verification of the accuracy of the ELV waste stream forecasting system for SR is based on several system blocks.

1.1 Modelling strategy

Our forecasting framework works as follows: Firstly, we model and predict the total number of registered vehicles in Slovak Republic. Secondly, the number of deregistered vehicles is modelled. Thirdly, the number of scrapped vehicles is modelled. Fourthly, the selected waste streams for scrapping of vehicles are modelled and forecasted. The overall scheme and its main stages are outlined in Figure 1.

Figure 1: The scheme of the forecasting framework



Several data sources are used to build the forecasting system – the annual reports of the Recycling fund, the end-of-life (ELV) vehicles reports submitted to European Union by Slovak Republic [4], data from the Ministry of interior (responsible for the registration of vehicles) [2] and Statistical office of Slovak Republic [5]. There is certain overlap between the data from Recycling fund and the ELV reports to EU and even though the data from these sources are not entirely identical, they are relatively consistent, they complement each other, provide a relatively good outlook trends and as such are a good basis for the modelling.

1.2 Modelling and forecasting the number of registered vehicles

The main determinants of the total number of registered vehicles overall economic situation of households (category M), resp. companies (category N) and the total costs of vehicle holding. Since the costs of holding are relatively constant and the economic situation of households and firms (as measured by gross domestic product – GDP) is improving, we anticipate the total number of registered vehicles to increase in the horizon of the following five years. It agrees with the overall trend. We had at our disposition 13 observations of the total number of registered vehicles for the period 2003 to 2015 (source Ministry of Interior [2]). Several models for each category were estimated and evaluated. The set of potential predictors included the following variables: level of GDP in current prices, linear and quadratic time trend and the indicator of 2005 where the relatively significant drop occurred. The estimated models are displayed in Appendix 1. The models were evaluated from the statistical perspective based on the goodness of fit (adjusted R²) and autocorrelation of residuals (Durbin-Watson test). Based on these criteria the following models were used for vehicle category M, resp. N:

$$\text{registeredM} = 974\ 713.2 + 98\ 071.3.\text{trend} - 1\ 342.9.\text{trend2} - 94\ 547.1.\text{year2005} \quad (1)$$

$$\text{registeredN} = 8\ 086.2 + 3.474.\text{GDP} \quad (2)$$

where

registeredM – total number of registered vehicles, category M

trend – time trend

trend2 – squared time trend

year2005 – indicator of 2005 (structural change)

registeredN – total number of registered vehicles, category N

GDP – annual GDP of Slovak Republic in current prices

In order to forecast the value of the dependent variable predictions of GDP are needed. Based on the data from European Commission [6], OECD [7] and Economist Intelligence Unit [8] we use the prediction of annual GDP growth to be 3 %. The predictions for the total number of registered vehicles along with the standard errors and 95% confidence interval bounds are shown in Table 1.

Table 1: The predictions of the total number of registered vehicles in SR for 2016 – 2020

		2016	2017	2018	2019	2020
category M	Prediction	2 084 503	2 143 631	2 200 072	2 253 828	2 304 898
	Standard error	21 121	24 697	29 282	34 810	41 216
	Lower bound 95 %	2 043 107	2 095 224	2 142 679	2 185 600	2 224 114
	Upper bound 95 %	2 125 900	2 192 037	2 257 465	2 322 055	2 385 681
category N	Prediction	287 422	295 802	304 434	313 324	322 481
	Standard error	8 944	9 062	9 196	9 345	9 511
	Lower bound 95 %	269 893	278 041	286 410	295 008	303 840
	Upper bound 95 %	304 952	313 564	322 457	331 640	341 122

Source: authors' calculation

The evaluation of the predictions for the total number of registered vehicles is shown in Table 2. The actual values for 2016 for both categories lie within the 95% confidence interval, the mean value of prediction differs from the reality by 1.76 % (category M) and 3.29 % (category N).

Table 2: Comparison of prediction and actual values of the number of registered vehicles

	Prediction 2016	Upper bound 95 %	Lower bound 95 %	Reality 2016
Category M	2 084 503	2 125 900	2 043 107	2 121 774
Category N	287 422	304 952	269 893	278 274

Source: authors' calculation, source of data for verification [9]

1.3 Modelling and forecasting of the number of deregistered vehicles

The starting point of the number of deregistered vehicles of category M and N is the total number of registered vehicles of the given category. Other important drivers are the legislative and fiscal arrangements surrounding the deregistering of the vehicles. From 1 January 2006 the vehicle could be deregistered only upon presenting a certificate that the vehicle had been scrapped in an authorized facility. Besides, in 2009 there were two waves of state-sponsored subsidy called "šrotovné" when the owners of scrapped vehicles were given discount 2 000 Eur when buying new car. That is why the indicators of the above-mentioned years were included in the models to capture the impact of the given arrangements. The estimated models are displayed in Appendix 2. The models were again evaluated from the statistical perspective based on the goodness of fit (adjusted R²) and autocorrelation of residuals (Durbin-Watson test and Breusch-Godfrey test). Moreover, to test the stability of estimated coefficients, we estimated the models for the shortened period from 2006. After the evaluation the following models for category M and N were chosen:

$$\text{deregisteredM} = 0.0198.\text{registeredM} - 69\ 849.2.\text{year2009} \quad (3)$$

$$\text{deregisteredN} = 0.0165.\text{registeredN} - 1\ 702.3.\text{year2009} \quad (4)$$

where: deregisteredM – total number of deregistered vehicles, category M

registeredM – total number of registered vehicles, category M

deregisteredN – total number of deregistered vehicles, category N

registeredN – total number of registered vehicles, category N

year2009 – indicator of 2009

The predictions for the total number of deregistered vehicles along with the standard errors and 95% confidence interval bounds are shown in Table 3.

Table 3: The predictions of the total number of deregistered vehicles in SR for 2016 – 2020

	2016	2017	2018	2019	2020
category M	Prediction	41 268	42 438	43 556	44 620
	Standard error	4 216	4 233	4 249	4 266
	Lower bound 95 %	33 004	34 141	35 227	36 259
	Upper bound 95 %	49 531	50 735	51 884	52 980
category N	Prediction	4 728	4 866	5 008	5 154
	Standard error	697	699	702	705
	Lower bound 95 %	3 363	3 495	3 631	3 772
	Upper bound 95 %	6 094	6 237	6 385	6 537

Source: authors' calculation

The evaluation of the prediction accuracy for 2016 is shown in Table 4. The actual numbers of deregistered vehicles for both categories are within 95% confidence limits. The mean values of prediction differ from reality by 0.79 % (category M) and 1.27 % (category N).

Table 4: Comparison of prediction and actual values of the number of deregistered vehicles

	Prediction 2016	Upper bound 95 %	Lower bound 95 %	Reality 2016
Category M	41 268	49 531	33 004	40 943
Category N	4 728	6 094	3 363	4 789

Source: authors' calculation, source of data for verification [9]

1.4 Modelling and forecasting of the number of scrapped vehicles

In this stage we focus on the modelling and forecasting the total number of scrapped vehicles with total weight up to 3.5 ton. The main determinants of the total number of scrapped vehicles were considered the total number of deregistered vehicles of categories M and N. At the same time, we had to take into account the fact that there were periods when the rules for deregistering and scrapping the old vehicles changed. In 2009 there were two waves of state-sponsored subsidy called "šrotovné" when the owners of scrapped vehicles were given discount 2000 Eur, when buying new car. On the other hand, since 2014 it was profitable for some owners not to scrap the deregistered vehicle but to keep it for spare parts. The deregistration in these cases was on the basis of declaration of non-existence and paying a relatively small fee ranging from 50 to 150 Eur.

The estimated models are displayed in Appendix 3. After the evaluation of the estimated model specifications the following model was used for forecasting:

$$\text{scrapped} = 0.971 \cdot \text{deregisteredM} - 25\,811.6 \cdot \text{year2009} - 0.33 \cdot \text{deregisteredM_x_after2014} \quad (5)$$

where: scrapped – the total number of scrapped vehicles with total weight up to 3.5 ton

deregisteredM – the total number of deregistered vehicles, category M

year2009 – indicator of year 2009

deregisteredM_x_after2014 – interaction of indicator of year after 2014 with the total number of deregistered vehicles, category M

Since from 1 January 2016 the fee for the deregistration of non-existent vehicle increased to 500 Eur we assume the decrease of the rule to one half. That is why when forecasting values for 2016 and later the value of the original estimated coefficient (-0.33) was reduced to one half (-0.165).

The forecasted values of the total number of scrapped vehicles with bonds of 95% confidence interval are depicted in Table 5. At the date of writing the paper (15 August 2017) the actual values for 2016 were not known.

Table 5: Forecasts of the total number of scrapped vehicles

	2016	2017	2018	2019	2020
Prediction	33 241	34 184	35 084	35 941	36 756
Standard error	2 912	2 927	2 941	2 955	2 969
Lower bound 95%	27 534	28 448	29 319	30 149	30 937
Upper bound 95%	38 948	39 920	40 849	41 734	42 575

Source: authors' calculation

1.5 Modelling and forecasting of selected waste streams from car processing

In this phase of modelling the sources of waste we focus on total volumes of waste streams. Four steps involved in modelling and forecasting are:

- A. Forecast / calculation of total volume of processed vehicles
- B. Forecast / calculation of total volume of processed vehicles for respective waste streams
- C. Forecast of summary variables through trend models
- D. Calculation of material streams based on average values of ratios from previous time periods

A. Forecast / calculation of total volume of processed vehicles

Calculation is straightforward; forecasted number of vehicles for processing is multiplied by average weight of a processed vehicle. To calculate the average weight of a processed vehicle we use average weights of processed vehicles in period 2006 – 2013. There was no actual trend in the period, therefore the use the overall average is the most suitable as we assume it will be a reasonably accurate estimation. The average weight of a vehicle was 787.1 kg. Table 6 presents yearly forecasts of number of processed vehicles and their total weight for the period 2016 – 2020.

Table 6: Estimation of number of processed vehicles and their total weight

Year	2016	2017	2018	2019	2020
Number of processed vehicles	33 241	34 184	35 084	35 941	36 756
Total weight of processed vehicles [thousands of kg]	26 164	26 906	27 615	28 289	28 930

Source: authors' calculation

B. Forecast / calculation of total volume of processed vehicles for respective waste streams

Respective material streams are reported based on processing method – either based on de-pollution and dismantling or based on shredding. Average proportion of the weight of vehicles processed from de-pollution and dismantling was 23.35% and those processed from shredding was 76.65 % in the period 2010 – 2013. We use these proportions in forecasting the total weight of processed vehicles for each of the methods. Predictions are presented in Table 7.

Table 7: Estimation of total weight of processed vehicles based on two methods [thousands of kg]

Year	2016	2017	2018	2019	2020
De-pollution and dismantling	6 109	6 283	6 448	6 606	6 755
Shredding	20 055	20 624	21 167	21 684	22 175

Source: authors' calculation

C. Forecast of summary variables through trend models

We made predictions for the following summary variables:

1. Total re-use and recycling ($x_1 = X_1/W_1.100$)
2. Total re-use and recovery ($x_2 = X_2/W_1.100$)
3. Total utilization ($x_3 = (D_1+D_2) /W_1.100$)
4. Energy recovery of materials gained from shredding of old vehicles (C2)
5. Disposal from shredding of old vehicles

When predicting the first three variables we use data from Eurostat in the period 2006 – 2013. We tested basic trend models and then selected the best fit models further described below.

Total re-use and recycling

$$x_1 = 83.63 + 4.051 \cdot \ln(\text{trend}) \quad (6)$$

where:

x_1 – estimated total re-use and recycling

$\ln(\text{trend})$ – log transformation of time trend (year 2006 ... $\ln(1)$, year 2007 ... $\ln(2)$ etc.)

Total re-use and recovery

$$x_2 = 84.59 + 4.267 \cdot \ln(\text{trend}) \quad (7)$$

where

x_2 – estimated total re-use and recovery

$\ln(\text{trend})$ – log transformation of time trend (year 2006 ... $\ln(1)$, year 2007 ... $\ln(2)$ etc.)

Total utilization

$$x_3 = 79.43 + 5.908 \cdot \ln(\text{trend}) \quad (8)$$

where

x_3 – estimated total utilization

$\ln(\text{trend})$ – log transformation of time trend (year 2006 ... $\ln(1)$, year 2007 ... $\ln(2)$ etc.)

Energy recovery of materials gained from shredding of old vehicles

Average proportion of energy recovery C2 to the total weight of processed vehicles in years 2010 – 2013 was 0.0008 %. Calculation of predicted value is the product of the share (0.0008 %) and total weight of processed vehicles (W1) in thousands of kg.

Disposal from shredding of old vehicles

After forecasting E2 we used a trend of E2/W1 proportion in years 2010 – 2013 and selected this model:

$$E2/W1 = 2.46 + 0.1941 \cdot \text{trend} \quad (9)$$

where

$E2/W1$ – estimated share of materials gained from shredding of old vehicles on the total weight of processed vehicles

trend – linear time trend (year 2016...0, year 2017 ...1, year 2018...2 etc.)

Table 8 provides forecasted values of summary variables based on models described above for period 2016 – 2020.

Table 8: Forecast of summary variables for 2016 – 2020

	2016	2017	2018	2019	2020
X1/W1.100 [%]	93.34	93.70	94.02	94.32	94.60
X2/W1.100 [%]	94.83	95.20	95.54	95.86	96.15
(D1+D2) /W1.100 [%]	93.60	94.11	94.59	95.02	95.43
Energy recovery C2 [thousands of kg]	0.21	0.22	0.22	0.23	0.23
Disposal E2 [thousands of kg]	643.44	609.47	571.93	531.00	486.88

Source: authors' calculation

D. Calculation of material streams based on average values of ratios from previous time periods

Missing values of remaining summary variables were calculated as follows.

$$B2 - \text{Volume of processed vehicles from shredding method} \dots B2 = C2 - E2$$

$$A - \text{Total re-use and recovery minus Total utilization} \dots A = x2.W1/100 - x3.W1/100$$

$$B1 - \text{Total re-use and recycling} (x1.W1/100) \dots B1 = A - B2$$

$$C1 - \text{Total utilization} (x3.W1/100) \dots C1 = B1 - B2 - C2$$

$$E1 - \text{Volume of processed vehicles from de-pollution and dismantling} \dots E1 = A - B1 - C1$$

Table 9: Predicted weight of all summary variables [thousands of kg]

Year	2016	2017	2018	2019	2020
A. Re-use	321	292	263	235	208
B1. Total recycling	4 690	4 904	5 106	5 295	5 472
C1. Total energy recovery	388	404	419	434	448
E1. Total disposal	710	683	660	642	627
B2. Total recycling	19 411	20 014	20 594	21 153	21 688
C2. Total energy recovery	0	0	0	0	0
E2. Total disposal	643	609	572	531	487

Source: authors' calculation

In Table 9 we can read predicted weight of all summary variables for the period 2016-2020. Next, we forecasted individual material streams in the next step based on predictions of summary variables. We used average proportions of material streams in period 2010 – 2013. Material streams from de-pollution and dismantling are batteries, liquids (excluding fuel), oil filters, other materials arising from de-pollution (excluding fuel), catalysts, metal components, tyres, large plastic parts, glass, other materials arising from dismantling, material streams from shredding are ferrous scrap (steel), non-ferrous materials (aluminium, copper, zinc, lead, etc.), shredder light fraction (SLF) and other. We present forecasts of above-mentioned material streams for period 2016 – 2020 in Appendix (see details in appendix 4 – 10).

2. Estimation of waste streams during the use of passenger cars in SR for 2016

The operation of motor vehicles represents, apart from the treatment of old vehicles, the decisive source of waste from the automotive industry. The methodology and system of equations reflects the fact that only a part of the waste streams from motor vehicles is a precursor of the registration and monitoring system, statistical reports, their processing into aggregate data. The contribution therefore contains only an attempt for a qualified estimate of the amount of selected waste streams in 2016. A potential source of waste for motor vehicles in the Slovak Republic is a fleet whose dynamics in the Slovak Republic was restored in 1998 and 2005, with the number of registered vehicles in the SR in the year 2016 it reached a threshold of 3 million. Since 1989, their number has almost doubled. The dominant share of the total number of passenger cars is 72 %. The main sources of waste streams from motor vehicles are the wastes that arise, first, due to warranty inspections, repairs or repairs related to insurance events. Although there is no integrated system of correction structure data, we will focus on the first two sources when estimating currents.¹

¹ Based on expert estimation it was not possible to separate the waste, which comes from insurance covered repairs.

2.1 Input parameters

The main variables that affect motor-vehicle waste are the quantity, average age and mileage of M1 vehicles. Due to the absence of data by age structure, all these characteristics are approximated by the average values for the year 2016. The average number of passenger cars in 2016 in the SR was 2 078 174 vehicles, according to Ministry of Interior SR statistics [9]. In that year, 88 504 new vehicles were registered and 44 708 vehicles were decommissioned. After deducting them, the number of 1 944 962 vehicles was the main source of waste that caused the operation of M1 vehicles [9].

Data sources on the average number of km per vehicle and the average age of vehicles in the Slovak Republic are available from several publicly available sources. Based on this, the following input variables and their values were used in estimating the waste source:

Table 10: Waste source variables

POS – number of passenger motor vehicles in 2016: 1 944 962
PA – average age of vehicles in 2016: 12.84 years
NKM – estimation of mileage of a vehicle in 2016: 150 000 km
YNKM – average mileage in 2016 per one vehicle: 11 682 km
SDV – share of diesel engine vehicles: 45 %

Source: authors' calculation

2.2 Methodology and estimation procedure

Due to the unavailability of some data, the estimation process combines some statistically reported data with expert estimates. Criteria for the estimation of the waste streams from the operation of motor vehicles can be considered as the input expert's estimated parameters. To objectify these parameters we consulted experts on the issue or sought advice directly in selected operations. The subject of interest was in particular the area of average life cycle estimation of selected liquids / parts / spare parts for registered vehicles, according to individual waste streams. Expert consultation has shown the need to divide expert input estimates into two groups of waste streams.

2.3 The first group of waste streams and their determinants

The first group represents the streams of waste generated by the limited or prescribed lifetime of the producers, where due to the possible serious consequences of their "non-replacement" by the owner of the vehicle there is an acute risk of damage or a significant deterioration of the vehicle's driving characteristics. In particular, it is the waste streams of the oil type and the filters. This group of waste could be approximated precisely by estimating the average life of individual oils and filters according to the number of km as well as on the basis of an estimate of the average volume of litres, of the pieces that are exchanged for the year and based on the following general equation:

$$WS_i = TNPC \cdot AAWC_i \cdot ANKM/LP_i \quad (10)$$

where

WS_i – i stream waste

TNPC – total number of personal car in use (2016)

AAWC_i – average amount of waste stream by one cycle of servicing

ANKM – average mileage in year 2016

LP_i – life time of the i source of waste

Table 11: Expert estimation of average service life of oils and filters

Waste streams for M1 vehicles	No. of experts	Average service life [km]	Lower estimate [km]	Upper estimate [km]	Average volume per replacement	Unit	Lower estimate per replacement	Upper estimate per replacement
Engine oil	4	22 625	18 000	25 000	4.3	Litre	4.1	4.5
Transmission oil	4	122 500	100 000	150 000	2.2125	Litre	1.5	3
Oil filter	4	22 625	18 000	25 000	1	Piece		
Fuel filter	4	72 500	65 000	75 000	1	Piece		
Air filter	4	27 500	25 000	30 000	1	Piece		
Pollen filter	2	21 250	12 500	30 000	1	Piece		
Spark plug *	1	25 000			4	Piece		
Diesel Particle Filter **	1	150 000			1	Piece		

* Petrol engine vehicles, ** Diesel engine vehicles

Source: authors' calculation based on experts' opinions on service life

2.4 The second group of waste streams and its determinants

The second group of waste streams is the waste from the exchange of liquids, parts and components that have overproduced lifetime but their actual depreciation and replacement (especially after the warranty period and warranty repairs) is dependent on the driver's driving technique. It depends also on the discipline or the financial situation of the vehicle owner whether these parts are actually replaced. In addition, it has been shown that it also partly depends on regular repairs due to damage to parts of the vehicle (whether with or without insurance). These are mainly waste streams such as metals, plastics, tires, batteries, cooling and brake fluids, electrical waste.

In view of the number of stochastic impacts that affect the flow of this group of waste, the data of the experts (addressed owners and service staff, old vehicle processors and other experts) are estimated. These flows have been estimated on the basis of their inventory or expert corrections of the amount of the respective waste, which arises on average per year for 1 000 passenger cars (as part of service repairs, exchanges, etc.). The individual waste streams were individually defined by the experts and depending on the type waste was considered important by an individual expert.

The starting point for estimating the second group of waste is the equation:

$$WS_i = TNPC \cdot ATCW_i \cdot 1000 \quad (11)$$

where ATCW_i is an average amount of waste for 1000 serviced cars in 2016.

Table 12: Expert estimation of other waste types

Type of waste	Volume / weight / pieces	Unit
Cooling liquid	120	Litre
Breaks liquid	60	Litre
Batteries	40	Piece
Catalysts	5	Piece
Tires	200	Piece
Ferrous metals (breaks, exhaust pipes etc.)	1 000	kg
Non-ferrous metals (Al, Cu)	100	kg
PVC	250	kg
Glass	1 000	kg

Electric waste	500	kg
Other unspecified waste	500	kg
Mixture of fuels (wrongly mixed diesel and petrol)	200	kg
Dangerous particles (seals, engine pipes)	100	kg
Cleaning chemical agents	100	kg
Packages - paper based	1 200	kg
Packages – PVC based	300	kg
Absorbents	100	kg
Packages – containing leftovers of NL	300	kg

Source: authors' calculation based on experts' opinions on service life

2.5 Quantities of waste streams from the operation of passenger cars in 2016

Estimation of quantities for the first group of waste streams is based on the number, age and mileage of vehicles according to Table 13. Further, from the average life expectancy for oils and filters of their reversed coefficients and expert estimates from the Table 11. The total number of registered M1 vehicles in 2016 in the number of 1 944 162, the reversed oil and filter life coefficients for the average amount of oil and filter waste that is associated with a single change, the current estimate is as follows:

Table 13: Estimation of oils and filters waste in 2016 in SR (based on average volume per replacement)

Waste streams for M1 vehicles	Volume per Average service life	Volume per Lower service life estimate	Volume per Upper service life estimate	Unit
Engine oil	4 318 344	5 427 918	3 908 101	Litre
Transmission oil	410 378	502 714	335 142	Litre
Oil filter	1 004 266	1 262 307	908 861	Piece
Fuel filter	313 400	349 562	302 954	Piece
Air filter	826 237	908 861	757 384	Piece
Pollen filter	1 069 248	1 817 721	757 384	Piece
Spark plug *	1 999 494			Piece
Diesel Particle Filter **	68 165			Piece

* Petrol engine vehicles, ** Diesel engine vehicles

Source: authors' calculation

In order to determine the quantities of the second group of waste, the expert estimates of the waste that are in the SR on average for 1 000 vehicles (Table 12) are decisive - for the number of registered M1 vehicles in 2016. The estimated quantities are as follows:

Table 14: Estimation of volumes of other waste types in 2016 in SR

Type of waste	Volume / weight / pieces	Unit
Cooling liquid	233	Thousands of litres
Breaks liquid	117	Thousands of litres
Batteries	78	Thousands of pieces

Catalysts	10	Thousands of pieces
Tires	389	Thousands of pieces
Ferrous metals (breaks, exhaust pipes etc.)	1 945	Thousands of kg
Non-ferrous metals (Al, Cu)	194	Thousands of kg
PVC	486	Thousands of kg
Glass	1 945	Thousands of kg
Electric waste	972	Thousands of kg
Other unspecified waste	972	Thousands of kg
Mixture of fuels (wrongly mixed diesel and petrol)	389	Thousands of kg
Dangerous particles (seals, engine pipes)	194	Thousands of kg
Cleaning chemical agents	194	Thousands of kg
Packages – paper based	2 334	Thousands of kg
Packages – PVC based	583	Thousands of kg
Absorbents	194	Thousands of kg
Packages – containing leftovers of NL	583	Thousands of kg

Source: authors' calculation

Conclusions

Several important findings of the Slovak Republic's policy on waste management, as well as the policy of long-term sustainability and competitiveness of the Slovak economy, were confirmed in our contribution. In particular, the research focused on the verification of the ability of the old vehicle processing system in SR to comply with the 2020 binding limits resulting from the Directive of the European Parliament and of the Council No. 2000/53 / EC on end-of-life vehicles. Using the proposed methodology, forecasts of waste sources, quantities of individual waste streams were processed. On the basis of the updated data, the high ability of the proposed system to reliably predict the sources of waste that affect the individual waste streams defined by the Directive has been retrospectively verified.

Our findings with a high degree of probability confirmed the sustainability of comprehensive system of post-life vehicle processing in Slovakia, which besides legislation as the main system elements includes a network of authorized processors and their technologies, logistics and distribution channels of each type of waste, reporting system. The possible negative impacts of non-compliance with the EU's sanctions targets in the form of negative fiscal implications on the growth of the Slovak economy and the lack of consistency of SR policies with EU cohesion policy are perceived as minimal. However, certain risks generated by the prices on the waste markets are still worthwhile in the future to be monitored or eliminated by changes in national legislation and additional instruments.

This call concerns not only the treatment of waste streams from old vehicles, but also the waste that enters during the lifetime of vehicles. As the study demonstrated by estimating the potential quantities of individual waste streams generated by the maintenance and repair of passenger cars in the SR in 2016, it is a huge amount of waste, especially streams of fluid types. Authors of studies and other experts assume that only part of this waste appears to enter the reuse and recycling, reuse and recovery system. As well as the overall evaluation, respectively "ecologically friendly" method of their depreciation. In this area, there is room for system setup, better data collecting, more information to public and economic incentives for all types of service in the SR or vehicle owners who self-repair and repair personal cars.

Acknowledgment

The paper is an outcome of two research projects: „Integrated research platform for the recovery of individual waste streams, especially from the automotive industry“ supported by Slovak Recycling Fund and “Competitiveness, Economic growth and Firm survival” (APVV-15-0322) supported by Slovak Research and Development Agency.

References

1. <http://www.oica.net> (accessed 28 June 2016)
2. <http://www.minv.sk/?statistiky-evidencia-vozidiel> (accessed 5 July 2016)
3. <http://ec.europa.eu/environment/waste/elv/index.htm> (accessed 28 June 2016)
4. <http://old.sazp.sk> (accessed 29 June 2016)
5. <https://slovak.statistics.sk> (accessed 28 June 2016)
6. http://ec.europa.eu/economy_finance/eu/forecasts/2016_spring/sk_en.pdf (accessed 7 July 2016)
7. <https://data.oecd.org/gdp/nominal-gdp-forecast.htm#indicator-chart> (accessed 7 July 2016)
8. <http://country.eiu.com/slovakia> (accessed 7 July 2016)
9. <http://www.minv.sk/?statistiky-evidencia-vozidiel> (accessed 29 March 2017)

Appendix

Appendix 1: The estimated models for the total number of registered vehicles

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
year 2005	-36889.3		-97763.0***	-94547.1***	-7824.7		-24301.0	-21023.4**
	(-0.42)		(-3.76)	(-5.72)	(-0.85)		(-1.07)	(-2.41)
GDP	18.44***	18.66***			3.426***	3.474***		
	(12.67)	(14.32)			(22.30)	(24.61)		
trend			79200.0***	98071.3***			13525.2***	32758.4***
			(42.76)	(20.07)			(8.36)	(12.69)
trend2				-1342.9***				-1368.7***
				(-3.98)				(-7.67)
constant	476066.0***	459862.0***	1022456.9***	974713.2***	11523.2	8086.2	121794.4***	73135.1***
	(5.19)	(5.73)	(67.19)	(63.27)	(1.19)	(0.93)	(9.16)	(8.99)
N	13	13	13	13	13	13	13	13
Adj. R ²	0.940	0.944	0.994	0.998	0.980	0.981	0.873	0.981
R ²	0.950	0.949	0.995	0.998	0.983	0.982	0.894	0.986
DW	0.473	0.580	0.883	2.259	1.560	1.671	0.353	1.420

Appendix 2: The estimated models for the total number of deregistered vehicles

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
registeredM	0.0214**	0.0198***	0.0111**	0.0205***				
	(3.46)	(26.23)	(2.37)	(20.26)				
registeredN					0.0308***	0.0165***	0.0130**	0.0170***
					(6.94)	(18.50)	(3.02)	(16.14)
year 2005			124463.1***	129187.5***			13776.2***	14150.4***
			(22.98)	(22.98)			(15.39)	(17.70)
year 2009	70098.9***	69849.2***	67956.0***	68656.8***	1680.0***	1702.3**	1630.2*	1574.8*
	(15.74)	(17.07)	(13.59)	(11.99)	(3.65)	(2.49)	(1.95)	(1.90)
constant	-2834.9		15682.9*		-3520.6**		920.2	
	(-0.27)		(2.04)		(-3.27)		(0.95)	
N	10	10	13	13	10	10	13	13
Adj. R ²	0.965	0.993	0.983	0.992	0.874	0.977	0.953	0.983
R ²	0.973	0.994	0.988	0.993	0.902	0.981	0.965	0.987
DW	1.625	1.596	1.641	1.063	1.848	0.713	0.743	0.710
BG	0.927	0.879	0.609	0.208	0.935	0.0670	0.0371	0.0408

Appendix 3: The estimated models for the total number of scrapped vehicles

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
deregisteredM	0.931** (3.20)	0.651*** (5.54)	1.026*** (5.91)	0.969*** (29.99)	0.880*** (5.02)	0.891*** (5.49)	0.971*** (32.59)	0.971*** (32.59)
deregisteredN	-0.383 (-0.23)	-0.654 (-0.31)	-0.507 (-0.34)					
year 2009	-22400.3 (-1.25)		-28545.3** (-2.91)	-25627.3*** (-5.89)	-19661.5 (-1.58)	-20502.7 (-1.78)	-25811.6*** (-6.44)	
years 14 and 15	-11723.7*** (-4.18)		-11944.8*** (-4.67)	-12091.5*** (-5.13)	-11809.6*** (-4.63)			
years 14 and 15 x deregisteredM						-0.323*** (-5.12)	-0.330*** (-5.68)	-0.330*** (-5.68)
year 2009 x deregisteredM								-0.255*** (-6.44)
constant	2765.9 (0.42)	10674.0 (1.55)			3036.3 (0.52)	2698.7 (0.50)		
N	10	10	10	10	10	10	10	10
Adj. R ²	0.951	0.840	0.993	0.994	0.959	0.965	0.995	0.995
R ²	0.973	0.875	0.996	0.996	0.972	0.976	0.996	0.996
DW	2.466	0.773	2.549	2.544	2.478	2.464	2.523	2.523
BG	0.200	0.116	0.158	0.154	0.188	0.246	0.212	0.212

Appendix 4: Material streams from de-pollution and dismantling re-use

Material	2016	2017	2018	2019	2020
Batteries	4.70	4.27	3.85	3.44	3.04
Liquids (excluding fuel)	10.58	9.62	8.67	7.75	6.85
Oil filters	0.25	0.22	0.20	0.18	0.16
Other materials arising from de-pollution (excluding fuel)	0.15	0.13	0.12	0.11	0.09
Catalysts	1.16	1.05	0.95	0.85	0.75
Metal components	179.57	163.17	147.18	131.53	116.18
Tyres	43.56	39.58	35.70	31.90	28.18
Large plastic parts	19.24	17.48	15.77	14.09	12.45
Glass	16.35	14.86	13.40	11.98	10.58
Other materials arising from dismantling	45.46	41.31	37.26	33.30	29.42
A. Re-use	321.0	291.7	263.1	235.1	207.7

Appendix 5: Material streams from de-pollution and dismantling recycling

Material	2016	2017	2018	2019	2020
Batteries	145.34	151.98	158.22	164.08	169.58
Liquids (excluding fuel)	94.54	98.86	102.92	106.73	110.31
Oil filters	5.38	5.62	5.85	6.07	6.27
Other materials arising from de-pollution (excluding fuel)	29.44	30.78	32.04	33.23	34.34
Catalysts	2.70	2.82	2.94	3.04	3.15
Metal components	2773.38	2899.96	3019.02	3130.88	3235.80
Tyres	549.07	574.13	597.70	619.84	640.62
Large plastic parts	407.30	425.89	443.38	459.81	475.22
Glass	319.45	334.03	347.74	360.63	372.71
Other materials arising from dismantling	363.82	380.43	396.04	410.72	424.48
B1. Recycling	4 690.4	4 904.5	5 105.8	5 295.0	5 472.5

Appendix 6: Material streams from de-pollution and dismantling energy recovery

Material	2016	2017	2018	2019	2020
Batteries	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Liquids (excluding fuel)	16.80	17.49	18.16	18.80	19.41
Oil filters	0.14	0.14	0.15	0.16	0.16
Other materials arising from de-pollution (excluding fuel)	0.37	0.39	0.40	0.42	0.43
Catalysts	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Metal components	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tyres	74.79	77.89	80.86	83.71	86.44
Large plastic parts	122.64	127.72	132.60	137.28	141.76
Glass	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Other materials arising from dismantling	172.86	180.03	186.90	193.50	199.81
C1. Energy recovery	387.6	403.7	419.1	433.9	448.0

Appendix 7: Material streams from de-pollution and dismantling disposal

Material	2016	2017	2018	2019	2020
Batteries	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Liquids (excluding fuel)	13.00	12.50	12.08	11.74	11.48
Oil filters	4.18	4.02	3.89	3.78	3.69
Other materials arising from de-pollution (excluding fuel)	61.92	59.52	57.54	55.93	54.67
Catalysts	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06
Metal components	0.29	0.28	0.27	0.26	0.26
Tyres	10.48	10.08	9.74	9.47	9.25
Large plastic parts	88.95	85.50	82.65	80.34	78.52
Glass	73.50	70.65	68.30	66.39	64.89
Other materials arising from dismantling	457.88	440.12	425.45	413.57	404.23
E1. Disposal	710.3	682.7	660.0	641.5	627.1

Appendix 8: Material streams from shredding recycling

Material	2016	2017	2018	2019	2020
Ferrous scrap (steel)	18251.1	18817.9	19363.8	19888.5	20391.9
Non-ferrous materials (aluminium, copper, zinc, lead, etc.)	836.6	862.5	887.5	911.6	934.7
Shredder Light Fraction (SLF)	307.9	317.4	326.6	335.5	343.9
Other	15.6	16.0	16.5	16.9	17.4
B2. Recycling	19 411.1	20 013.9	20 594.5	21 152.6	21 688.0

Appendix 9: Material streams from shredding energy recovery

Material	2016	2017	2018	2019	2020
Ferrous scrap (steel)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Non-ferrous materials (aluminium, copper, zinc, lead, etc.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Shredder Light Fraction (SLF)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Other	0.21	0.22	0.22	0.23	0.23
C2. Energy recovery	0.21	0.22	0.22	0.23	0.23

Appendix 10: Material streams from shredding disposal

Material	2016	2017	2018	2019	2020
Ferrous scrap (steel)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Non-ferrous materials (aluminium, copper, zinc, lead, etc.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Shredder Light Fraction (SLF)	353.93	335.24	314.59	292.08	267.81
Other	289.51	274.23	257.34	238.92	219.07
E2. Disposal	643.44	609.47	571.93	531.00	486.88

Udržateľnosť systému spracovania vozidiel po dobe životnosti v Slovenskej republike a odhad prúdov odpadov z prevádzky osobných motorových vozidiel

Pavol OCHOTNICKÝ^a, Marek KÁČER^{a,b}, Martin ALEXY^a

^a Ekonomická univerzita v Bratislave, Dolnozemská cesta 1, Bratislava

e-mail: pavol.ochotnický@euba.sk

^b Credit Management Research Centre, Leeds University Business School, University of Leeds, United Kingdom

Súhrn

Osobné motorové vozidlá majú počas svojho životného cyklu významný vplyv na životné prostredie. V tomto článku sa zameriavame na odhad prúdov odpadov zo spracovania vozidiel po dobe životnosti v Slovenskej republike. Vzhľadom na relativne krátke historické časové rady pri odhadoch používame kombináciu metód predikcie časových radov a expertných odhadov. Prúdy odpadov prognózujeme spolu s výhľadovými trendami do roku 2020. Tam, kde to údaje umožňujú, overujeme presnosť predikcie porovnaním so skutočnosťou. Naše zistenia potvrdzujú, že ak budú pokračovať trendy z minulých rokov, systém spracovania vozidiel po dobe životnosti v Slovenskej republike bude splňať ciele udržateľnosti EÚ čo sa týka pomerových ukazovateľov opäťovného použitia, recyklácie a zhodnotenia. Okrem toho na základe expertných odhadov prinášame prognózu prúdov odpadov, ktoré sa ročne vyprodukujú pri údržbe osobných motorových vozidiel v Slovenskej republike.

Klíčová slova: vozidlá na konci životnosti, prúdy odpadu

Method of determination of the boundary strength of pressed sheets of car bodies for categories from 1300 cm³ to 1900 cm³

Iveta ONDEROVÁ, Juraj ONDRUŠKA, Viliam ČAČKO, Ľubomír ŠOOŠ

Institute of Manufacturing Systems, Environmental Technology and Quality Management, Faculty of Mechanical Engineering, STU in Bratislava, Nám. Slobody 17, 812 31, Bratislava, Slovakia
e-mail: iveta.onderova@stuba.sk, juraj.ondruska@stuba.sk, vilo.cacko@gmail.com, lubomir.soos@stuba.sk

Abstract

Pressed steel sheets, in this case compacted vehicle bodies represent the structure diversity of the non-homogeneous material. There is necessity to determine the shear strength for the development of the construction of new processing equipment (cutting) of steel sheets. To calculate the shear strength it is necessary to know the ultimate firmness of the material. For homogeneous materials this parameter is normally available in the tables. The article discusses the experimental detection of boundary strength of pressed metal of vehicle bodies. To gain some relevant statistical evaluation the samples of the car body have been divided into three groups according to the engine capacity. The experiment was evaluated by the following statistical methods, analysis of variance using the AIC criterion and Grubbs test for outliers. According to the analysis of the measured parameters the resulting mathematical model, which is used for determination of optimal values of boundary strength, has been established. The resulting mathematical model can be used to determine the boundary strength, which serves as an input parameter for the calculation of shear strength required for the development of new equipment designed for the processing of scrap metal, with cutting.

Keywords: shearing machine, cutting force, old vehicle, ultimate strength, mobile and modular line

Introduction

Pressed steel sheets, in this case compacted vehicle bodies represent the structure diversity of the non-homogeneous material. There is necessity to determine the shear strength for the development of the construction of new processing equipment (cutting) of steel sheets. To calculate the shear strength it is necessary to know the ultimate firmness of the material. For homogeneous materials this parameter is normally available in the tables. The article discusses the experimental detection of boundary strength of pressed metal of vehicle bodies. To gain some relevant statistical evaluation the samples of the car body have been divided into three groups according to the engine capacity. The experiment was evaluated by the following statistical methods, analysis of variance using the AIC criterion and Grubbs test for outliers. According to the analysis of the measured parameters the resulting mathematical model, which is used for determination of optimal values of boundary strength, has been established. The resulting mathematical model can be used to determine the boundary strength, which serves as an input parameter for the calculation of shear strength required for the development of new equipment designed for the processing of scrap metal, with cutting.

Studies carried out in recent times unequivocally emphasize that the era of rich and relatively cheap resources is coming to an end. Even today many companies face increases in the costs associated with obtaining basic materials. The lack of raw materials and the cost instability connected with this has an unfavourable impact on the development of the economy. There exist a number of ways to react to the looming situation. The main method could be described as support for the effective usage of resources, which enables the securing of higher value with lower outlays in order to use resources in a long-term sustainable way and to reduce undesirable effects on the environment. If, therefore, waste is to be accepted as a source of secondary raw materials which it will be possible to reintegrate into the

economy, it will be necessary to devote constant attention to material recovery, which can contribute to a significant degree to a reduction in the exploitation of primary raw materials and at the same time provide new opportunities, among others those which may be considered as the most important, in other words opportunities of an economic character. In my work I will concentrate in particular on the reprocessing of old vehicles, with a concentration on the minimization of the volume of the chassis and its handling from the very beginning right up to its dispatching for final processing. One part of the work looks at facilities for the handling of the vehicle body, with the final share and the quality of the metal waste conditioned by the requirements of the processors.

Experiment

In this section of the article I focused on the planning of an experiment whose goal is the determination of the actual shear strength of presently operating facilities for shearing the chassis of old vehicles. The entire section dedicated to the planning of the experiment can be divided into several interrelated parts:

- Selection of experimental equipment
- Description of the experimental equipment
- Description of the principle of the experiment
- Description of the experimental samples

Selection of experimental equipment Subchapter

The basic criterion for the selection of an experimental facility was the constructional composition of the shearing equipment, which must correspond to the technical principle of shearing with inclined knives. Another criterion was the availability of such a facility. Equipment from the Acros-Henschel CIV600 firm satisfies the stated criteria.



Figure 1: CIV 600 Experimental equipment

Description of experimental equipment

A machine from the Acros-Henschel firm, the CIV 600, was selected to carry out the experiment. The main criterion for the selection of this equipment was its constructional composition, which corresponded to the desired technical shearing with inclined knives. A second but not less essential criterion was the availability of this equipment. It is equipment designed for the complete processing of a variety of metal waste and scrap.

Table 1:Basic dimensions of the CIV 600 machine

Basic dimensions of the CIV 600 machine		[mm]
Length of the machine	A	12 500
Width of the machine	B	2 500
Height of the machine	C	3 355

Principle of CIV 600 compacting

The basic principle is the hydraulic pressing of two wings which close into each other from the outer side, creating inside a compressing chamber of a square shape. Movement of the compressing material into the shearing area is managed by a hydrometer (sliding block), which is fitted in the back part of the compacting area.

Principle of CIV 600 shearing

The shearer is manufactured as a massive cast, to which the knives are fixed at a certain angle since it involves technological cutting with inclined knives. The machine allows for the setting of the shearing gaps at optimal dimensions.

Principle of the experiment

The principle of the experiment consists in determining the actual shear strength during the cutting of the compacted metal chassis of old vehicles. The monitored value of the experiment is the pressure in the hydraulic valves necessary to deduce the power capable of shearing non-homogenous compacted material. Another monitored value is the thickness of the compacted metals. In order to be able to determine the shear strength with the deduced parameters it was necessary to perform the following transformations of the values into SI system units:

- a) The calculation of the pressure for the force by the determination of the area of the hydraulic cylinders on which the force acts. This is a basic calculation of the pressure for the force.
- b) The compacting thickness determined from the value of the maximal lift of the hydraulic cylinders and the subtracted value, which was measured with an interferometer.

Another parameters which influences the process of shearing non-homogenous metals from the compacted bodies of the old cars is the cross section of the compactor, which changes in dependence on the cutting point of the chassis. It can be assumed that at places with a reinforced body, the compacted material too will be stronger. In order to obtain the most precise values possible for a statistical evaluation, the cutting cycle used a span of 100 mm along the entire car chassis, the smallest movement possible for the given experimental equipment.

All the monitored values can be visually checked on the display which is part of the equipment. From the machine's control unit these are copied onto a USB device. The visual control display is shown in Figure 2, with the monitored parameters highlighted.

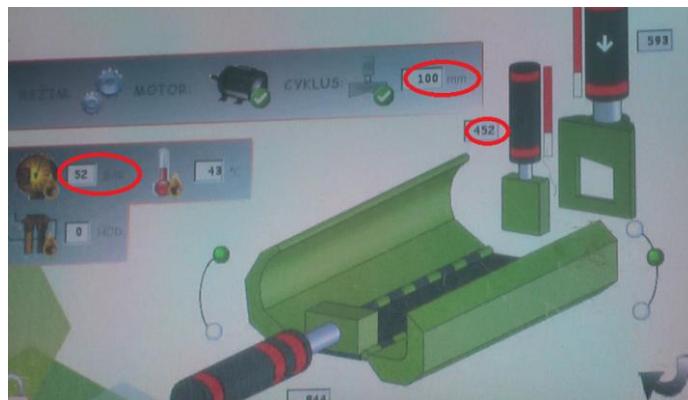


Figure 2: Display of the CIV 600 experimental equipment for visual control of the monitored parameters

Description of the experimental samples

Involved was a sample of the usual processing of the chassis of old cars, and so it is possible to claim that the experimental sample fully corresponds to the actual portfolio of written-off vehicles destined for processing in Slovakia.



Figure 3: Experimental samples

Description of the experiment

The preparation of the vehicles was carried out in harmony with the standard usual in this authorized company. This means that the samples were completely stripped so that it would be possible to run the experiment according to the plan that was created on the basis of previous analyses. About 30 cuts were made on each sample vehicle, with the cycle set at 100 mm. intervals. The experimental samples were transported to the working premises by a scraper loader controlled by an employee of the company where the experiment was carried out. After loading, the chassis was compacted under a previously set pressure. The compacting pressure was set at a constant value. The criterion of pressure value was defined with respect to the size and shape of the compacting area. After the compacting, the compacted material is moved to the shearing space by a rear hydraulic block. The course of the pressures in the hydro-motors of the shearing equipment during the shearing period was recorded. The shearing thickness of the compacted material was recorded by means of laser interferometers built into the machine. So the monitored values were the pressure during shearing and the corresponding thickness of the sheared material. Both monitored values could be visually checked on the machine's display and were automatically recorded on a USB device. The final phase after the shearing was the delivery of the outcome pieces to the sheared material stores.

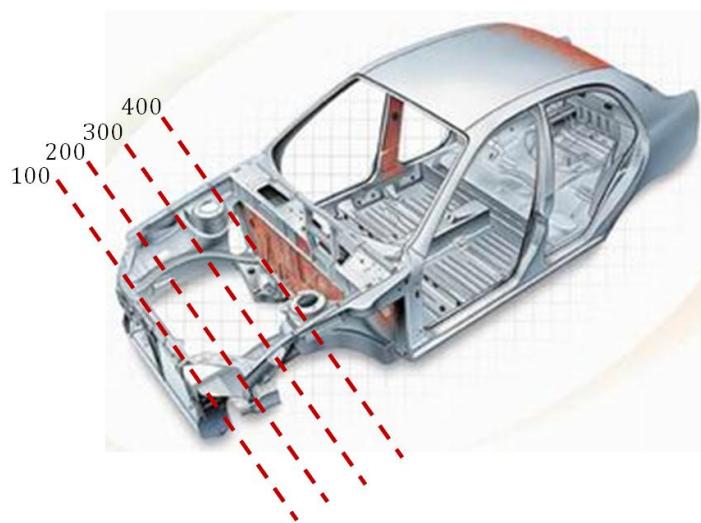


Figure 4: Illustration of shear levels

Assessment of the measurement of the boundary strength of the compacted material

This part was focused on an assessment of the results of the experiment for finding the boundary strength of non-homogenous compacted material. For the needs of my dissertation I will identify this value with the sign τ_{MP} (boundary strength of the non-homogenous compacted material). In the calculation of the actual boundary strength, I began with the generally known theoretic calculation of shear strength.

$$F_{St} = \frac{a_0^2}{\operatorname{tg}\lambda} \tau_{MP} \quad (1)$$

where :

a_0 [mm] is the thickness of homogeneous shear material

λ [$^\circ$] angle of inclination of the knife

τ_{MP} [MPa] boundary strength for non-homogenous material

After the transformation of this relation for the conditions of the experiment, where we worked with non-homogenous compacted material from the chassis of old vehicles, we obtained the following relation:

$$F_{St} = \frac{H^2}{\operatorname{tg}\lambda} \tau_{MP} \quad (2)$$

then:

$$\tau_{MP} = \frac{F_{St} \cdot \operatorname{tg}\lambda}{H^2} \quad (3)$$

where:

H [mm] is the thickness of the non-homogenous sheared material, measured value,

λ - [$^\circ$] angle of inclination of the knife, $\lambda = 10^\circ$,

τ_{MP} [MPa] boundary strength for non-homogenous material

The thickness of the compacted material was calculated according to the following relation:

$$H = H_{P2} - H_{P1} \quad (4)$$

where :

H_{P2} equals the value 618 mm, which represents the value of the movement of the clamper at zero thickness of sheared material

H_{P1} is the monitored value of the movement of the pamper when shearing the experimental sample.

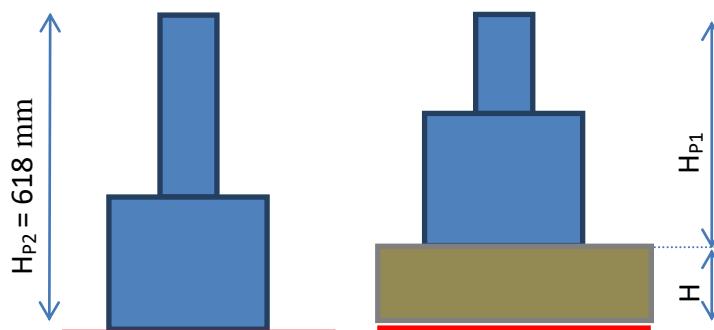


Figure 5: Diagram of the principle of calculation of sheared thickness

As with samples 1, 2 and 3 I processed and assessed all measured results from the experiments for all 10 experimental samples of the category of automobiles with a volume capacity of up 1300 cm³ to 1900 cm³. From the graphs shown above it follows unambiguously that with reducing thickness of the compacted material the boundary strength of this non-homogenous material increases. This phenomenon can be explained in the following way. The set pressure on the clamper is constant, in our

Patronem tohoto čísla je Týden výzkumu a inovací pro praxi a životní prostředí TVIP 2018, 6. – 8. 3. 2018, Hustopeče

case at a value of 320 bars, which represents 32 MPa. It can be explained simply that the clamer compacts until it reaches precisely this value. The more plastic the compacted material, the more it compacts, and accordingly the more its properties approach the properties of homogenous material. Prior to the shearing phase, compacting of the chassis takes place by means of the clamer. The compacting of the chassis itself is the process in which there occurs a random arrangement of the individual particles of the car body. And this "chaotic" arrangement to a significant degree influences the boundary strength τ_{MP} of the sheared non-homogenous material.

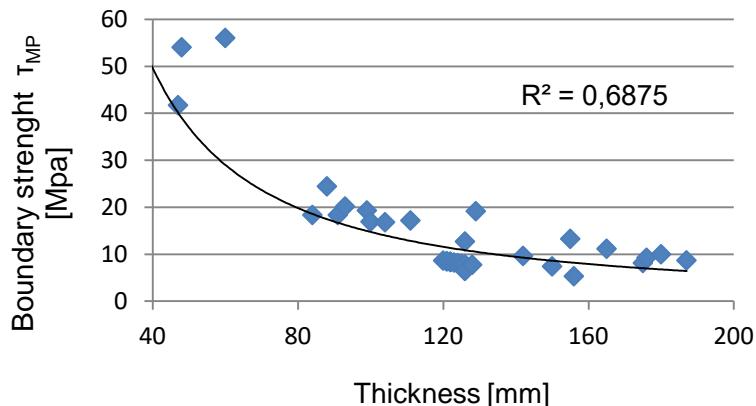


Figure 6: Dependency boundary strength - sheared thickness of sample 1

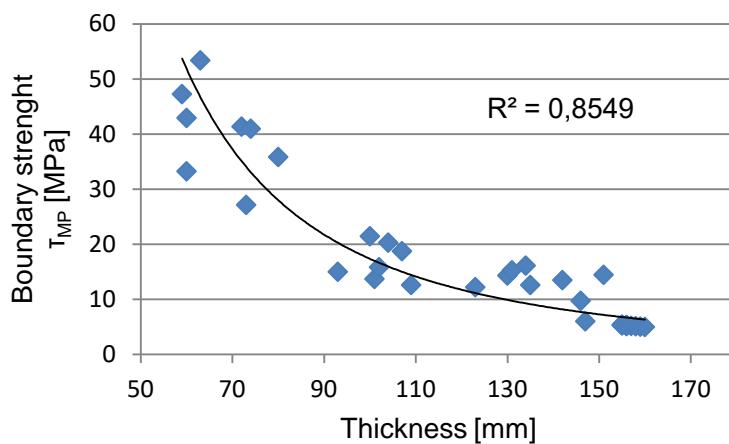


Figure 7: Dependency boundary strength - sheared thickness of sample 2

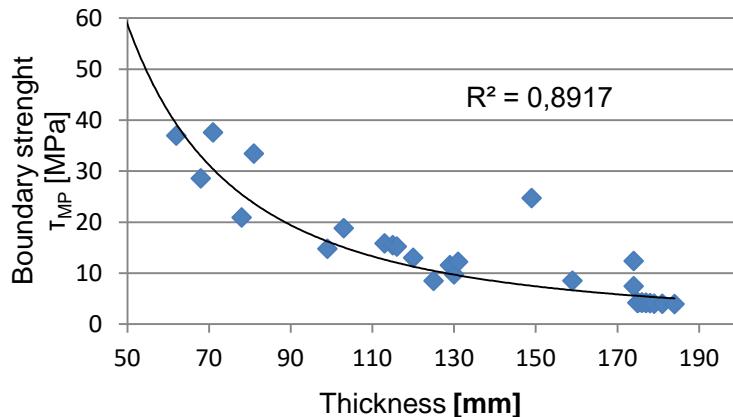


Figure 8: Dependency boundary strength - sheared thickness of sample 3

Statistical analysis of the range of boundary strength values of compacted material in the category up 1300 cm³ to 1900 cm³

A statistical analysis of the range of the boundary strength of the sheared material in dependence on its thickness includes:

- ✓ The resultant mathematical function describing the dependency between boundary strength and sheared thickness for the individual volume categories and for all categories together.
- ✓ A graphic illustration of the dependency between boundary strength and sheared thickness for the individual volume categories and for all categories together.
- ✓ Analysis of the results of the Grubbs test of outlying values
- ✓ Tables of measured and calculated values for all experimental categories.
- ✓ A graphic illustration of the dependency between boundary strength and sheared thickness for the individual samples.
- ✓ Assessment of the executed statistical analyses.

Resultant power function in the form:

$$y = a \cdot x^k \quad (5)$$

where : a, k – numerical values of the exponential equation

μ_A – result uncertainty.

The parameters of this function are stated in the following table 2.

Table 2: Parameters of this function

Equation $y = a \cdot x^k$			Uncertainty μ_A
Up 1300 cm ³ to 1900 cm ³	a	2.54 E4	2.54 E4
	k	-1.58	-1.58

In table 2 are presented the real values of the resultant function for the dependency between boundary strength and thickness of the sheared material for automobiles with an engine volume of up 1300 cm³ to 1900 cm³.

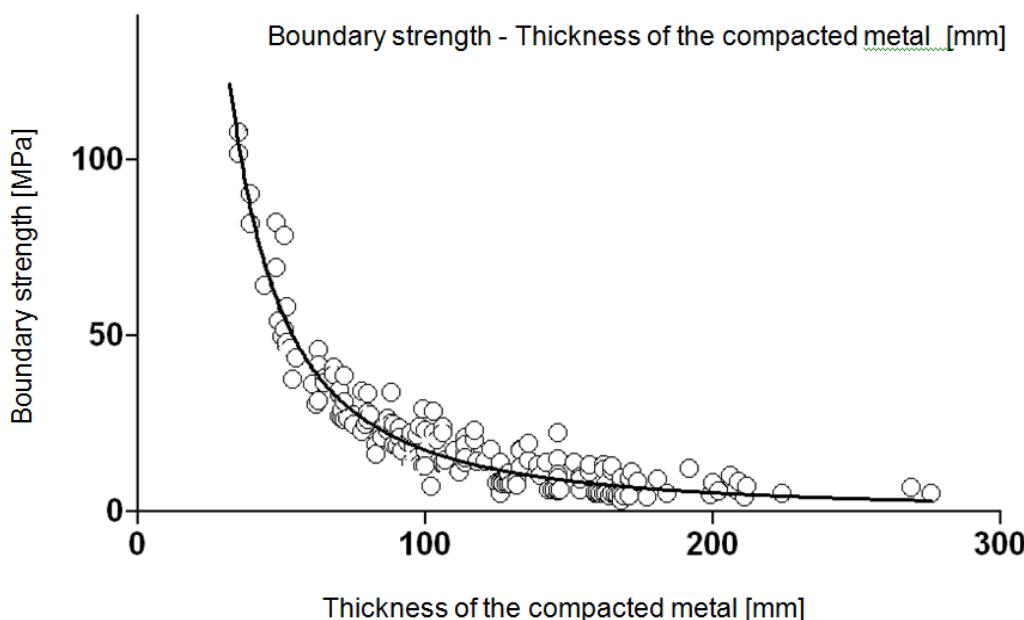


Figure 9: Dependence of boundary strength – thickness of sheared material for volume capacities of up 1300 cm³ to 1900 cm³

Results of the Grubbs test of outlying values

The values of the measured thicknesses of the sheared material, along with the assigned calculated values of boundary strength, were used as test input parameters. The thickness values were graduated in 15 mm intervals. The thickness ranges that are not stated in the test results are homogenous, as confirmed in the performed test. For the calculated ranges, the relevant maximum value and also the alpha coefficient were determined. The maximum value is the outlying value and it may also be claimed that it is an exceptional value. The alpha coefficient represents the probability that we are rejecting the stated hypothesis. Essentially it is the probability of the occurrence of an outlying value in the given category of sheared thicknesses.

Test results:

Automobile engine volume up 1300 cm^3 to 1900 cm^3

Thickness range of the sheared material [mm] / 25 – 55: max. value = 162.05; alfa= 0.01

Thickness range of the sheared material [mm] / 86 – 100: max. value = 34.78; alfa= 0.01

Thickness range of the sheared material [mm] / 116 – 130: max. value = 22.75; alfa= 0.05

Thickness range of the sheared material [mm] / 146 – 160: max. value = 24.7; alfa= 0.01

The results of the differences between the different categories of each other:

Statistically significant differences are between 1900 cm^3 and 1300 cm^3

For a thickness range of 86 – 100 mm, $p < 0.02$

For a thickness range of 116 – 130 mm, $p < 0.02$

Statistically significant differences are between 1900 cm^3 and 1300 cm^3 – 1900 cm^3

For a thickness range of 71 – 85 mm, $p < 0.05$

For a thickness range of 116 – 130 mm, $p < 0.01$

There are no statistically significant differences between categories up to 1300 cm^3 and 1300 cm^3 to 1900 cm^3 .

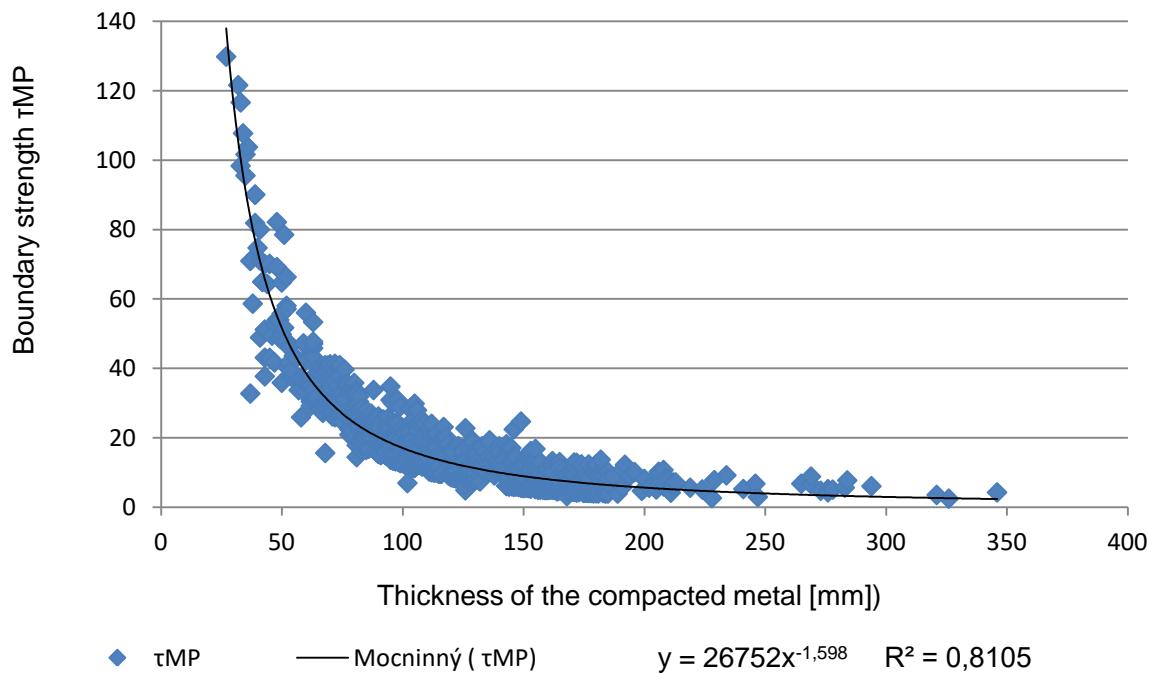


Figure 10: Dependence of boundary strength – thickness of sheared material for all cars

Conclusions

The boundary strength of a material is easily accessed information for a material that is homogenous, but I needed to know the boundary strength of compacted metal, which was a demanding task. Since the tables that form a usual part of the life of every engineer did not help, I had to proceed with an experimental determination of the boundary strength. In the first step it was necessary to experimentally determine the size of the shear strength. In our work are a detailed description and a plan, as well as the methods and equipment used in the performed experiment. The result of the experiment was the determination of the shear strength necessary to cut the compressed metal. After further mathematical calculations it was possible to find the boundary strength of the sheared material (a detailed method of the calculation of the boundary strength is stated in the dissertation work). The results of the experiment for measuring the shear strength as well as the boundary strength were assessed by the standard methods. It was necessary to logically divide the sheared samples to achieve a reliable statistical evaluation. After the division of the samples, 3 groups appeared, these being:

- Engine volume up to 1300 cm^3
- Engine volume from 1300 cm^3 up to 1900 cm^3
- Engine volume over 1900 cm^3

In this paper I dealt exclusively with an assessment of the measured data in the category up 1300 cm^3 to 1900 cm^3 .

Acknowledgments

The research presented in this paper is an outcome of the project No. APVV-16-0485 “Biomass compacting tools cast from the advanced wear-resistant cast irons” funded by the Slovak Research and Development Agency.

Literatura

ČAČKO V.: OPTIMALIZÁCIA KONŠTRUKCIE ZARIADENIA NA STRIHANIE KAROSÉRIÍ ZO STARÝCH VOZIDIEL. Dissertation. Slovak University of Technology in Bratislava, Bratislava, SR, 2015.

ČAČKO, Viliam - ONDEROVÁ, Iveta - ŠOOŠ, Ľubomír - ONDRUŠKA, Juraj - IZRAEL, Gregor.: Method of determination of the boundary strength of pressed sheets of car bodies for categories to 1300 cm^3 . In: MM Science Journal. Vol. 2017, March (2017), s. 1798 – 1802. ISSN 1803-1269(P). V databáze: SCOPUS.

SOBOTOVÁ, Lýdia - DULEBOVÁ, Ľudmila - GOMBÁR, Miroslav - KMEC, Ján - BIČEJOVÁ, Ľuba: The evaluation of press-ability of thin steel sheets according to new criteria formability, In: Academic Journal of Manufacturing Engineering. Vol. 11, no. 1 (2013), p. 114 – 118. - ISSN 1583-7904

GAJDOŠ, Ivan - SOBOTOVÁ, Lýdia: Recyklovanie plastových odpadov zo starých vozidiel, In: Ekotechnika. Č. 1 (2010), s. 1 – 5. - ISSN 1337-0022 Spôsob prístupu: <http://www.ecotechnika.sk/rocnik-2010.html>.

Metóda stanovenia medznej pevnosti lisovaných plechov karosérií pre kategórie od 1300 cm³ do 1900 cm³

Iveta ONDEROVÁ, Juraj ONDRUŠKA, Viliam ČAČKO, Ľubomír ŠOOŠ

Ústav výrobných systémov, environmentálnej techniky a manažmentu kvality, Strojnícka fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Nám. Slobody 17, 812 31, Bratislava, Slovakia
e-mail: iveta.onderova@stuba.sk, juraj.ondruska@stuba.sk, viло.cacko@gmail.com, lubomir.soos@stuba.sk

Súhrn

Lisované oceľové plechy, v tomto prípade zhutnené karosérie vozidiel, predstavujú štrukturálnu diverzitu nehomogénneho materiálu. Je nevyhnutné určiť pevnosť v strihu pri vývoji konštrukcie nového spracovateľského zariadenia (rezania) oceľových plechov. Na výpočet pevnosti v šmyku je potrebné poznáť konečnú pevnosť materiálu. Pre homogénne materiály je tento parameter zvyčajne dostupný v tabuľkách. Článok sa zaobrá experimentálou detekciou medznej pevnosti lisovaných kovov karosérií vozidiel. Na získanie niektorého relevantného štatistického vyhodnotenia boli vzorky karosérie automobilov rozdelené do troch skupín podľa objemu motora.

Experiment bol vyhodnotený nasledujúcimi štatistickými metódami, analýzou rozptylu s použitím kritéria AIC a Grubbsovým testom pre odľahlé hodnoty. Podľa analýzy nameraných parametrov bol stanovený výsledný matematický model, ktorý sa používa na stanovenie optimálnych hodnôt hraničnej sily. Výsledný matematický model sa môže použiť na stanovenie hraničnej sily, ktorá slúži ako vstupný parameter pre výpočet pevnosti v šmyku požadovanej pre vývoj nového zariadenia určeného na spracovanie šrotu strihaním.

Kľúčové slová: strihadlo, strižná sila, staré vozidlá, maximálna strižná sila, mobilná a modulárna linka

Environmentálna charakteristika recyklovaných zlievarenských samotuhnúcich zmesí

Marcela POKUSOVÁ^a, Marta MURGAŠOVÁ^a, Zuzana ADAMEKOVÁ^b,
Pavel KOVÁČ^c

^a Strojnícka fakulta STU v Bratislave, Nám. slobody 17, 812 31 Bratislava, SR

^b Okresný úrad Banská Bystrica, Nám. L. Štúra 1, 974 05 Banská Bystrica, SR

^c Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, Trg Dositeja

Obradovića 6, Novi Sad, Republic of Serbia

e-mail: marcela.pokusova@stuba.sk

Souhrn

Jedným z najdôležitejších environmentálnych problémov dnešného zlievarenstva je efektívna a účinná recyklácia formovacích zmesí, ktorých hlavnú zložku, až 95 %, tvorí kremičitý piesok. Celosvetovo zlievarenský priemysel produkuje milióny ton rôznych druhov priemyselných odpadov, pričom viac ako 70 % z týchto odpadov, ktoré sú zneškodňované na skládkach, tvoria práve použité formovanie zmesí. S cieľom zvýšiť rozmerovú presnosť a kvalitu povrchu odliatkov sa v ostatnom období stále viac uplatňujú pri výrobe foriem a jadier chemicky spevňované formovacie zmesi. Ich širšie využívanie však prináša možné ekologické riziká spojené tak s ich regeneráciou ako aj so zneškodňovaním alebo recyklovaním po ich použití.

Príspevok uvádza výsledky výskumu zameraného na overenie možností regenerovania ostriva moderných samotuhnúcich zlievarenských formovacích zmesí so spojivovým systémom na báze fenol-formaldehydových živíc vytvrdzovaných esterom aplikáciou tzv. mokrého procesu a štúdium vplyvu regenerovaného ostriva na mechanických vlastností formovacích zmesí.

Výsledky ukázali, že v prostredí vody spojivový systém zmesi podlieha degradácii a samotný polymér dôsledkom mechanického miešania vstupuje do roztoru s vodou a dá sa zo zmesi odstrániť v podobe vyplaviteľných látok alebo výluhu. Testovanie formovacích zmesí s obsahom 20 % regenerovaného ostriva pri výrobe jadier v priemyselných podmienkach ukázalo, že tieto jadrá vykazovali lepšiu oteruvzdornosť pri zakladaní do foriem a menšiu náchylnosť ku poškodeniu než jadrá vyrobene zo zmesí s novým pieskom.

Kľúčové slová: zlievarenská formovacia zmes, chemicky spevňovaná, fenol-formaldehyd, kremičitý piesok, recyklácia, mechanické vlastnosti.

Úvod

Jedným z najdôležitejších environmentálnych problémov dnešného zlievarenstva je efektívna a účinná recyklácia formovacích zmesí, ktorých hlavnú zložku, až 95%, tvorí kremičitý piesok SiO_2 . Celosvetovo zlievarenský priemysel produkuje milióny ton rôznych druhov priemyselných odpadov. Viac ako 70 % z celkového množstva týchto odpadov, ktoré sú zneškodňované na skládkach, tvoria použité formovanie zmesí, ktoré je však možné ďalej regenerovať, aby sa po úprave technologických vlastností dali opäťovne použiť vo výrobnom procese. Odhaduje sa, že výroba 1 tony oceľových odliatkov predstavuje súčasne produkciu 0,8 – 1 tony použitých formovacích zmesí. V roku 2016 svetová produkcia odliatkov odlievaných do chemicky spevňovaných zmesí dosiahla približne 30 miliónov ton, potom s odhadovanou mierou recyklácie asi 40 – 50 % možno predpokladať, že každý rok sa asi 15 – 18 miliónov ton použitých formovacích zmesí zneškodňuje alebo spracúva mimo zlievarenský sektor¹. Situácia v EÚ je ešte nepriaznivejšia, pretože miera recyklácie sa pohybuje na úrovni iba 2 – 10 %. Podľa platnej environmentálnej legislatívy je zneškodňovanie poslednou, najmenej žiaducou alternatívou

nakladania s odpadom a to hneď z niekoľkých dôvodov: vysoké náklady na jeho zneškodnenie, nevratná strata piesku ako suroviny alebo administratívne opatrenia.

V minulosti sa chemicky spevňované zlievarenské formovacie zmesi používali prevažne na výrobu jadier, ale v ostatnom období sa stále viac uplatňujú aj vo výrobe samotných foriem s cieľom zvýšiť rozmerovú presnosť a kvalitu povrchu odliatkov. Ich širšie využívanie však prináša možné ekologické riziká spojené rovnako s regeneráciou, ako aj so zneškodňovaním alebo recyklovaním materiálu foriem a jadier po ich použití. Dnes sa v zlievarenskej praxi úspešne presadzujú samotuhnúce formovacie zmesi so spojivovým systémom na báze fenol-formaldehydových živíc vytvrdzovaných esterolom v literatúre známe ako STFE zmesi. Základom spojivovej sústavy je alkalický fenolický rezol s hodnotou pH vyššou ako 7, u ktorého sú vodíkové atómy hydroxylovej skupiny nahradené atómami alkalického kovu Ca, Na a pod. Druhá časť systému, ester je produkтом reakcie karbonovej kyseliny a jedno- alebo viacmocného alkoholu. Vytvrdzovacia reakcia prebieha dvojstupňovo, pričom najskôr dôjde k prvému zosietovaniu, pri ktorom vzniká nestabilná fenolická živica, soli alkalických kovov a alkohol. K sekundárному vytvrdneniu potom dochádza účinkom tepla pri odlievaní, kedy sa forma alebo jadro ešte viac spevnia a až v ďalšej fáze dôjde k rozkladu a rozpadu spojiva^{2, 3}.

Tieto zmesi majú výhodné technologické zlievarenské vlastnosti, vyznačujú sa nízkym vývinom zápachu, dymu a absenciou SO₂ v exhalátoch pri odlievaní^{4, 5}. Samotná živica je rozpustná vo vode bez potreby organických rozpúšťadiel a príсад redukujúcich viskozitu, čo je prínosom pre hygienu práce³. Literatúra uvádza informácie o možnosti priemyselného regenerovania ostrív STFE zmesí, spravidla mechanickou alebo tzv. teplou cestou, ale autori upozorňujú na vysoké obstarávacie a prevádzkové náklady, potrebu špeciálnych zariadení, hromadenie sa alkalických solí v cirkulujúcom ostrive a produkovanie rizikového odpadu^{6, 7, 8}. Príspevok sa orientuje na overenie možností regenerovania ostriva tzv. mokrým procesom, pri ktorom zvyšky spojiva odstraňované praním prechádzajú do vodného roztoku.

Experimentálne práce

Pre experimentálne práce sa zvolil materiál zlievarenských foriem vyrobených zo samotuhnúcej zmesi typu STFE so spojivovým systémom na báze fenol-formaldehydovej živice PF SL-ST vytvrdzovanej príďavkom esterolu. Formovacia zmes sa pripravovala v dávkach na kolesovom mesiči tak, že v prvej fáze sa suchý kremičitý oceliarsky piesok S22 s vlhkosťou pod 0,5 % premiešaval po dobu 2 minút so živicou a 1 minútu s vytvrdzovadlom. V praxi sa osvedčilo dávkovanie 2,5 l živice a 0,67 l esterolu na 97 kg piesku. Takto pripravená formovacia zmes je spracovateľná pri teplote 20 °C do 6 minút s úplným vytvrdnením do 15 minút a pri teplote 25 °C do 12 minút.

O správaní sa polyméru daného spojivového systému v prostredí vody literatúra neposkytla použiteľné informácie. V prvej etape prác boli preto vzorky zmesi podrobene vybraným štandardným skúškam formovacích zmesí podľa STN 721078 na zistenie obsahu vody a vyplaviteľných látok, t.j. častíc menších ako 0,02 mm prilepených na povrchu zrn ostriva odstrániťných sedimentačnou skúškou. Tieto skúšky boli doplnené meraním tvrdosti vzoriek materiálu použitých foriem, ktoré boli po určitú dobu úplne ponorené do vody, a vzoriek z čerstvej zmesi. Ku skúškam obsahu vody a vyplaviteľných látok sa pripravili vzorky piesku S22, vzorky z čerstvej zmesi cca 1 hodinu po ukončení miešania a z materiálu použitých foriem, ktoré boli po odliatí skladované 1 týždeň v prostredí haly zlievarne s relatívnou vlhkosťou okolo 40 %. Vzorky materiálu použitých foriem boli odobrané z miest foriem vzdialených od povrchu odliatku viac než 50 mm a rozdrvené na fragmenty s rozmermi max. 2 mm. Skúška obsahu vody sa robila tak, že navážka 50 g zmesi alebo piesku sa po 2 hodinách sušenia v peci pri teplote 110 ± 5 °C odvážila a z rozdielu hmotností sa určil obsah vody.

Zisťovanie obsahu vyplaviteľných látok spočívalo v príprave navážky 50 g vopred vysušenej zmesi pri teplote 110 ± 5 °C po dobu 2 hodín, jej zaliatie 200 ml vody s príďavkom 10 ml 1% roztoku NaOH, var po dobu 10 minút a mixovanie po dobu 10 minút. Takýto postup sa použil iba v prípade piesku. Pri skúškach materiálu z použitých foriem sa zámerne upustilo od vstupného sušenia, varu a pridania NaOH, aby sa vylúčili ich možné dôsledky na spojivový systém, keďže takéto faktory sa počas skladovania nebudú uplatňovať a vzorky sa pri skúške podrobili iba mixovaniu, štandardnému postupu

sedimentácie a záverečnému vysušeniu. Pri orientačných skúškach sa však nepreukázal vplyv varu a prítomnosti NaOH na zistený obsah vyplaviteľných látok. Na overenie vplyvu rôznej doby pôsobenia vody na zmes sa pripravilo celkovo 10 navážok po 50 g, ktoré sa zaliali 200 ml destilovanej vody, z ktorých dve sa ihneď podrobili skúške a zvyšné 4 dvojice po uplynutí 1, 2, 4 a 6 hodín.

Východiskovú informáciu o vplyve vody na spojivový systém poskytli skúšky tvrdosti vzoriek z materiálu foriem po odliatí, potom čo boli po dobu 0, 1, 4 a 6 hodín celé ponorené vo vode. Vzorky boli vyrezané z hladkých častí vonkajšieho povrchu foriem, ktoré boli po odliatí skladované v suchu. Na každej vzorke po stanovenej dobe zotrvenia vo vode sa urobilo 5 meraní tvrdosti. Skúška tvrdosti sa uskutočnila tvrdomerom HUF1, ktorého činnosť je založená na meraní hĺbky vniku tlačeného telieska s priemerom ø 5 mm s guľovým ukončením silou 1 N do povrchu formy. Nulová hĺbka vtlačenia zodpovedá hodnote tvrdosti 100 j.t. a vnik do hĺbky 3 mm nulovej hodnote tvrdosti formy. Zistené stredné hodnoty tvrdosti v j.t., obsahu vody a obsahu vyplaviteľných látok v hm. % sú uvedené v tabuľke 1.

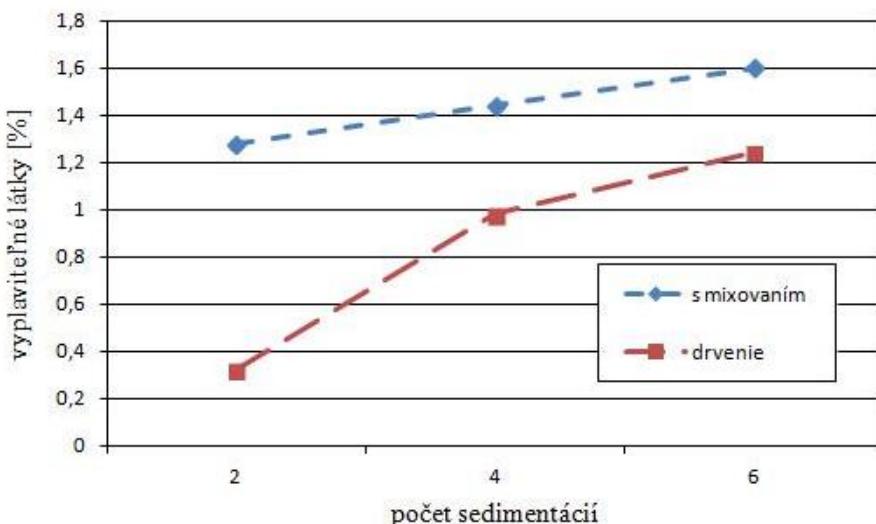
Tabuľka 1: Zistené obsahy vody, vyplaviteľných látok a tvrdosti

Materiál	Piesok S22	Čerstvá zmes	Zmes z použitých foriem					
			0	1	2	4	6	
Výdrž vo vode (hod)	—	0	0	1	2	4	6	
Vyplaviteľné látky (%)	0,1	1,8	1,6	1,6	1,8	1,9	1,9	
Tvrdošť (j.t.)	—	100	100	98	96	94	93-91	
Obsah vody (%)	0,2	0,8	0,2 (pred skúškou vo vode)					

Použitá živica PF SL-ST je dodávaná ako vodný roztok fenol-formaldehydu s obsahom vody 42 až 54 %, v danom prípade podľa dodacieho listu obsahovala 46 % vody. Pri dávkovaní 2,5 l živice s 0,6 l esterolu tieto spolu vnesú do 97 kg piesku 3,1 l zložiek spojiva vrátane 1,15 % vody v živici, čo predstavuje približne 1,9 kg vlastného spojiva. Pri 97 kg piesku vnesla živica do spojivového systému 1,15 % vody, čo spolu s obsahom vody 0,2 % v samotnom piesku predstavuje 1,35 % vody. Rozdiel 0,55 % medzi vneseným obsahom vody, t.j. 1,35 %, a maximálnym odpareným 0,8 % (tabuľka 1) je možné vysvetliť tým, že po úniku alkoholu časť vody zostáva v zmesi viazaná v spojivovom systéme a tiež v podobe alkalických solí. Obe zložky, živica 2,5 l a esterolu 0,6 l, v množstve cca 3,1 % vytvorili vo formovacej zmesi spolu s obsahom vyplaviteľných látok 0,1 % vo východiskom piesku (tabuľka 1) spojivový systém, v ktorom zastúpenie sušiny spojiva je približne 2 %. Ak túto hodnotu porovnávame so zistenými obsahmi vyplaviteľných látok zmesi v tabuľke 1, je zrejmé, že prevažná väčšina sušiny zo spojivového systému, 80 až 95 %, sa odstránila zo zmesi vystavenej pôsobeniu vody 0 až 6 hodín v podobe vyplaviteľných látok. Za pôsobenia vody iba po dobu samotnej skúšky došlo ku vyplaveniu cca 90 % spojiva z čerstvej zmesi a 80 % z týždeň skladovaných foriem.

Výsledky skúšok tvrdosti zmesi uvedené v tabuľke 1 ukázali, že degradácia vlastností spojiva nastáva už po 2 až 4 hodinách pôsobenia vody. Po viac než 6 hodinách zotrvenia vzoriek vo vode už merania tvrdosti poskytovali nekorektné hodnoty. Pri overovaní dôsledkov pôsobenia vody sa zistilo, že 1 kg suchej zmesi je schopný absorbovať 0,3 l vody^{9, 10} a táto vsiaknutá voda už po 2 hodinách pôsobenia zaistí žiaducu účinnosť vyplavovania spojiva. Skúšky obsahu vyplaviteľných látok, u ktorých sa skracovala doba mixovania postupne z 10 na 5, na 2,5 minúty až na nulu, kedy sa zmes s vodou iba mierne premiešala, ukázali, že účinnosť vylúhovania závisí hlavne od počtu cyklov sedimentácie a oveľa menej od doby a intenzity miešania. Rozhodujúcu úlohu má pritom doba zotrvenia materiálu foriem vo vode, ktorá by mala byť pre dosiaľ testované zmesi 2 hodiny. U takto pripravených zmesí skracovanie doby miešania z 10 minút na 2,5 minúty neviedlo ku preukázateľnému poklesu množstva vyplaviteľných látok. Ukázalo sa tiež, že postačuje aplikovať iba jedno mixovanie zmesi po dobu 2,5 minúty na začiatku pred prvou sedimentáciou a pri ďalších cykloch sedimentácie postačuje vzorku po zaliatí vodou iba premiešať. Overovala sa tiež možnosť získania výluhu bez mixovania iba s následnou viacnásobnou sedimentáciou, kde sa očakávalo uvoľnenie spojiva v priebehu drvenia materiálu foriem. Získané výsledky sú zachytené na obrázku 1.

Zistenie, že už pri drvení foriem dochádza ku uvoľneniu väčšiny spojiva, je v súlade s predpokladaným poklesom adhézie spojiva s povrhom zrn piesku po 2 hodinách pôsobenia vody na materiál foriem. Napriek tomu výsledky poukazujú na vhodnosť jednorazového krátkodobého mixovania, teda intenzívneho premiešavania, pri ktorom sa jednotlivé zrná ostriva vzájomne otierajú aspoň pred začiatím cyklu sedimentácií.

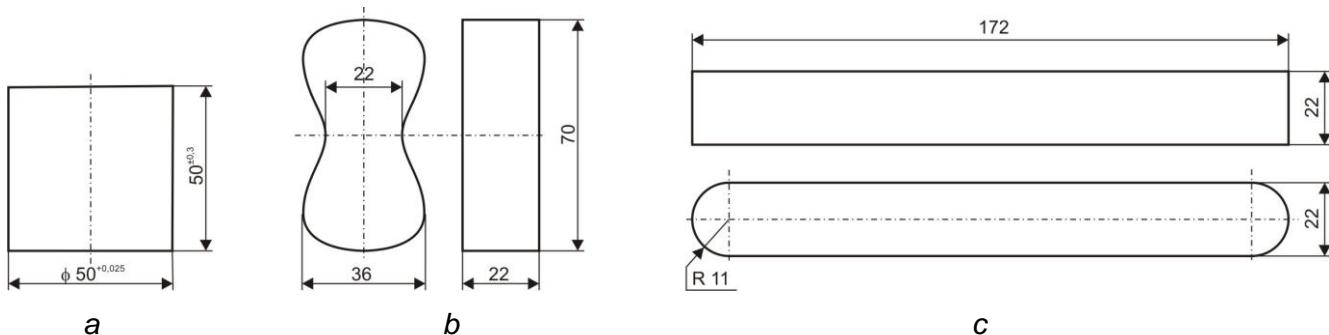


Obrázok 1: Závislosť obsahu vyplaviteľných látok od počtu sedimentačných cyklov s aplikovaním mixovania a iba s mokrým drvením

Výsledky ukázali, že v prostredí vody spojivový systém danej zmesi podlieha degradácii, a hlavne, že samotný polymér dôsledkom mechanického miešania vstupuje do roztoku s vodou a dá sa zo zmesi odstrániť v podobe vyplaviteľných látok alebo výluhu. Už úvodné experimenty vyhľadávacieho charakteru poukázali, že výluhy majú charakter veľmi zriedených vodných koloidných roztokov, ktoré je potrebné pokladať za nebezpečný odpad. Laboratórne sa overila možnosť získania sušiny spojivového systému odparením vody s následným zneškodením horľavej sušiny spálením. Množstvo sušiny získané z výluhu bolo vždy približne o 10 % menšie než teoreticky očakávané podľa zisteného množstva vyplaviteľných látok a po spálení sa množstvo získaného popola pohybovalo okolo 12 % čistej hmotnosti sušiny. Napriek priaznivej technologickej a ekologickej charakteristike úkonov regenerovania „mokrou cestou“, akými sú získanie výluhu, spálenie sušiny, odstránenie popola a vysušenie regenerovaného ostriva, reálnosť zavedenia testovaného postupu spochybňuje potreba energeticky náročného odparenia veľkého množstva vody z výluhu.

Skúšky formovacích zmesí

Pre zistenie vlastností regenerovanej zmesi sa pripravili v pieskovom laboratóriu štandardné skúšobné telieska podľa ČSN 721077 na skúšky fyzikálnych a mechanických vlastností – valčeky $\phi 50 \times 50$ mm, hranolčeky R11 x 22 x 172 mm a tzv. osmičkové telieska na skúšky ťahom (obrázok 2).



Obrázok 2: Normalizované skúšobné telieska ČSN 721077: a – skúšobný valček; b – skúšobná osmička; c – skúšobný hranolček

Skúšky pevnosti v ľahu a v ohybe sa uskutočnili na univerzálnom pevnostnom prístroji LRu a skúšky priedušnosti na prístroji LPiLR1. Ku experimentom sa pripravili tri formovacie zmesi, a to s použitím nového ostriva (0 %) a s použitím dvoch regenerovaných ostrív so zvyškovým obsahom spojiva 25 a 10 %. Namerané hodnoty priedušnosti, pevnosti v ohybe a pevnosti v ľahu vrátane aritmetického priemeru vypočítaného z nameraných hodnôt sú uvedené v tabuľke 2.

Tabuľka 2: Namerané hodnoty priedušnosti, pevnosti v ohybe a pevnosti v ľahu

Obsah zvyškového spojiva	č. vzorky	priedušnosť v [j.p.SI]	\bar{V} [j.p.SI]	pevnosť v ohybe σ_f [MPa]	$\bar{\sigma}_f$ [MPa]	pevnosť v ľahu σ_t [MPa]	$\bar{\sigma}_t$ [MPa]
0% (nové)	A1	200	280	9.08	7.78	0.397	0.398
	A2	390		7.25		0.402	
	A3	250		7.01		0.395	
25%	B1	390	260	11.27	10.73	0.591	0.505
	B2	200		11.96		0.565	
	B3	190		8.96		0.359	
< 10%	C1	350	250	10.38	10.42	0.412	0.461
	C2	180		11.47		0.537	
	C3	220		9.42		0.435	

Ako vyplýva z tabuľky 2, hodnoty priedušnosti zmesi z nového a regenerovaného ostriva sa veľmi nelíšili a zistené rozdiely sa pohybovali v rozsahu obvyklých tolerancií merania. Pokles priedušnosti zmesi s použitím regenerovaného ostriva bol v súlade s očakávaním, v rozpore s očakávaním bola nižšia hodnota priedušnosti u zmesi s 10% zvyškovým obsahom spojiva, ktorú možno vysvetliť tým, že po odchode povrchových výstupkov spojiva dochádza ku tesnejšiemu styku zrn ostriva. Veľkým prekvapením boli vyššie hodnoty ohybovej a ľahovej pevnosti zmesí pripravených z regenerovaného ostriva a to najmä v prípade ostriva s 25 % zvyškového spojiva, keď túto skutočnosť potvrdili aj opakované skúšky. Zistené výsledky môžeme vysvetliť tým, že na regenerovanom ostrive ostali zvyšky spojiva, ktoré sa aditívne spolu s novým spojivom podieľali na výsledných mechanických vlastnostiach.

Testovanie vlastností regenerovaného ostriva vo výrobných podmienkach

V tejto fáze sa testovali vlastnosti formovacích zmesí pripravených z regenerovaného ostriva so zvyškovým obsahom 20 % pripraveného z vlastných použitých foriem a pre porovnanie bola použitá zmes s novým kremičitým pieskom. Formovacie zmesi sa pripravovali na kolesovom miesiči. Ako prvý sa dával kremenný piesok S22 alebo regenerované ostrivo, následne sa pridala fenol-formaldehydová živica typu Bakelite PF6290GN v množstve 2.5 l na 97 kg a nakoniec vytvrdzovadlo typu Bakelite PF6142H v množstve 0.67 l na 97 kg. Formovacia zmes bola použitá na výrobu jadier i foriem, do ktorých sa odlievala oceľ alebo liatina s guľôčkovým grafitom. Po odliatí a vychladnutí sa z foriem uvoľnili surové odliatky, u ktorých sa ihneď posudzovala dosiahnutá kvalita povrchu. Je možné konštatovať, že u odliatkov neboli zistené rozdiely v kvalite povrchu ani odlišnosti vo vývoji plynov pri odlievaní. Výrobca odliatkov zvlášť ocenil použitie regenerovaného ostriva na výrobu jadier použitých vo formách pre odlievanie rošťov zo žiaruvzdornej ocele. Testované jadrá ukazovali lepšiu oteruvzdornosť pri ich zakladaní do foriem a menšiu náchylnosť ku poškodeniu než jadrá vyrobené zo zmesi s novým pieskom. U vyrobených odliatkov bola subjektívne zistená vyššia akosť povrchu odliatkov a dier, ktorú je možné vysvetliť vyšším podielom organických látok v zmesi, pretože polymérne spojivo plní rovnakú funkciu pri zlepšovaní akosti povrchu ako pomocné látky v bentonitových zmesiach, napr. dextrín alebo grafit.

Záver

Napriek známej odolnosti polymérnych spojivových systémov voči navlhavosti materiálu foriem, uskutočnené experimentálne práce ukázali, že skúmaný spojivový systém pri dlhodobom pôsobení vody podlieha degradácii a samotný polymér je možné z materiálu foriem prakticky úplne odstrániť v podobe vyplaviteľných látok alebo výluhov, ktoré majú charakter koloidných roztokov. Je zrejmé, že mechanizmus odstraňovania spojiva zo zrín ostriva ich vzájomným dynamickým pôsobením vyžaduje intenzívny miešací pohyb – mixovanie. Pre praktické využitie by to vyžadovalo vyriešenie otázky životnosti extrémne namáhaných materiálov miešacej vrtule ako aj samotnej nádoby miešača. Nízku účinnosť vyplavovania sedimentáciou je možné vysvetliť tým, že po mixovaní obsahuje výluh sice maximálne možné množstvo častíc spojiva, ale usadzujúci sa piesok so sebou strháva veľa spojiva do usadeniny. V ideálnom stave bez strhávania spojiva zrnnami ostriva by výluh odsatý po prvej sedimentácii mal obsahovať 75 % spojiva, čo predstavuje 1,9 % vyplaviteľných látok. V skutočnosti vo výluhu po prvej sedimentácii sa nachádza tretina až polovica z celého množstva spojiva.

Overovaním funkcie mixovania pri oddelovaní spojiva zo zrín ostriva ich vzájomným oterom vo vode sa ukázalo, že dynamické pôsobenie je možné nahradíť pomalým oterom za pomerne malého tlaku. Skutočnosť, že jednoduchým oterom, či už suchým alebo mokrým postupom, je možné odstrániť z povrchu ostriva väčšinu spojiva sa dá vysvetliť tým, že zrnká kremičitého piesku sú obalené veľmi tenkou vrstvičkou polárne viazanéj vody, ktorá zabraňuje priamemu adhéznomu spojeniu polyméru so samotným SiO_2 zrniek ostriva.

Zavedenie regenerácie kremičitého piesku z formovacích zmesí s polymérnymi spojivami môže byť napriek vysokým nákladom na samotný proces ekonomicky opodstatnené, ak sa súčasne eliminuje tvorba rizikových odpadov a s nimi spojené náklady na ochranu životného prostredia.

Podakowanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-16-0485 a Zmluvy č. SK-SRB-2016-0036.

Literatúra

1. Modern Casting. 107, 24, (2017).
2. Jelínek, P.: Pojivové soustavy slévárenských formovacích směsí (Chemie slévárenských pojiv). OFTIS, Ostrava 2004.
3. Gardziella, A., Pilato, L. A., Knop A.: Phenolic resins: A century of progress. Springer, Berlin Heidelberg 2000.
4. Holtzer M., Bobrowski A., Drożyński D., Makselon J., Isendorf B.: Archives of Foundry Engineering, 13, 31, (2013).
5. Holtzer, M., Żymankowska-Kumon, S., Bobrowski, A., Kmita, A., Dańko, R.: Archives of Foundry Engineering, 15, 121, (2015).
6. Vasková, I. et al.: Proceedings of 7th International Foundrymen conference - Advanced Foundry Materials and Technologies, Opatija, June 12 - 14, 2006. University of Zagreb, Zagreb 2006.
7. Dańko, R., Kamińska, J.: Archives of Foundry Engineering, 9, 33, (2009).
8. Ji, S., Wan, L., Fan, Z.: Water, Air, and Soil Pollution, 132, 347, (2001).
9. Murgaš, M., Pokusová, M., Adameková, Z.: Technologické inžinierstvo, 4, 10, (2007).
10. Murgaš, M. et al.: Acta Metallurgica Slovaca, 11, 81 (2005).

Environmental characteristics of the reclaimed foundry self-hardening mould sands

Marcela POKUSOVÁ^a, Marta MURGAŠOVÁ^a, Zuzana ADAMEKOVÁ^b, Pavel KOVAC^c

^a Strojnícka fakulta STU v Bratislave, Nám. slobody 17, 812 31 Bratislava, SR

^b Okresný úrad Banská Bystrica, Nám. L. Štúra 1, 974 05 Banská Bystrica, SR

^c Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6, Novi Sad, Republic of Serbia

Summary

One of the most important environmental issues of foundries today is the efficient and effective recycling of the moulding sands which consist of the silica sand up to 95 %. In the world, the foundry industry produces millions of tonnes of various kinds of industrial waste. More than 70 % of that waste, which is disposed of in landfills, has made up the spent moulding sands. To increase the dimensional accuracy and surface quality of castings recently the chemically hardened moulding sands are increasingly applied in producing of moulds and cores. Their extended application, however, has entailed the potential ecological risks related to reclamation as well as to disposal or recycling of the used moulds and cores materials.

The paper presents results of experiments focused on (1) the wet reclamation of the chemical bonded self-hardening mould sands with a bonding system based on the phenol-formaldehyde resin hardened by an addition of esterol and (2) studying the properties of the mould sands produced from the reclaimed sands. The experiments showed the mould sands can degrade after long-run water acting, and a polymer can be eliminated as drift substances or a leach. In comparison to cores produced from new sands, the cores made from the reclaimed sands exhibited the better wear resistant at inserting into the mould, and the surface quality of castings and holes was also higher.

Keywords: Foundry mould sands, chemical bonded self-hardening, phenol-formaldehyde resin, silica sand, reclaimed sands, mechanical properties.

Combustion Engine and Energy Recovery of Municipal Waste

Marián POLÓNI*, Andrej CHRÍBIK, Ján LACH

Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Mechanical Engineering,
Námestie slobody 17, 812 31 Bratislava, Slovakia

e-mail: marian.poloni@stuba.sk, andrej.chribik@stuba.sk, jan.lach@stuba.sk

* the corresponding author

Summary

EU directives require from EU Member States to increase their share of energy production from renewable sources and waste and follow the line waste-fuel-energy. In the "Waste Management Plan of the Slovak Republic (SR) 2016 – 2020", the strategic objective of waste management of the SR remains a major diversion from waste disposal by landfilling, especially by landfilling of municipal waste. This type of waste represents the greatest potential for energy recovery. In the SR, the year 2013 saw about 10 % of municipal waste energy outsourced, but 69 % landfilled. One alternative technology for energy recovery from waste is gasification, from which the produced synthesis gases can be used as alternative fuels for combustion engines and via the CHP technology in cogeneration units they are able to produce electric and thermal energy.

The presented article analyses the power and economic characteristics of the internal combustion engine propelled by various kinds of synthesis gases, which represent different gasification technologies of municipal waste. The lower calorific value of the selected and impurified gases ranges between 6 and 16 MJ·kg⁻¹. Three various compositions of synthesis gases, designated as G1, G2 or G3, give an idea of the influence of various gas components, in other words, of the influence of gas production technology settings on the overall achieved parameters of an engine or a cogeneration unit.

Keywords: combustion engine, energy recovery, municipal waste, synthesis gases

Introduction

Process gases of organic origin based on CO, H₂, CH₄, and possibly other components, are referred to in the article as process-synthesis gases (also referred to as synthesis gases or syngas). They are the product of biomass gasification (wood, pulp, straw, etc.) and waste that allow such processes (e.g. used tires) and they are CO₂ neutral. Gasification appears to be an effective alternative to conventional incineration in waste incinerators. The usual composition of the basic components of synthesis gas (% by volume) from different gasification technologies can come as follows: H₂ 5 – 25 %, CO 10 – 40 %, CO₂ 0 – 30 % and CH₄ 0 – 20 %. The rest is nitrogen, water vapour, tar, solid particles, benzene and other aromatic compounds. After purification, the composition of synthesis gas from municipal waste under gas-assisted plasma-gasification can consist of gases such as CO 59 – 62 %, H₂ 17 – 15 %, the rest is CO₂ 24 – 23 %. In general, depending on the gasification technology used, and specific conditions for parameter setting, we can produce a rather wide range of synthesis gases of various composition. The components which cause great problems when combusted in the combustion engine are in particular tars, which can be represented in the synthesis gases at the outlet of the gasification reactor or at the inlet to the combustion engine only in very small amounts. Certain research sources state the maximum permitted amount of tars in the synthesis gas for combustion in combustion engines up to 0.1 vol. % or up to 10 mg/Nm³. In Europe, the development of distributed energetics based on waste gasification is mainly addressed in Denmark, Germany and Spain. The operation for gasification of biomass, closest to Slovakia, is located in Austria, in Strem village near Güssing. After being cooled, the produced gas is purified and incinerated in the gas combustion engine of a cogeneration unit. The plant produces the output of 2 MWe and the heat output of 4.5 MWt. The electrical efficiency is 28 % and the thermal efficiency is 56.3 %. The total energy efficiency is 84.3 %. The operation is equipped with MAN supercharged combustion engines.

Combined production of electricity and heat (CHP) from renewable energy sources (RES) is currently supported by the EU Framework Program for Research and Innovation - Horizon 2020. In Slovakia (SR), the use of RES is supported by Government documents^{1,2,3} and EU Directives⁴. These stipulate for SR the share of energy from RES of 14 % to 2020 (in 2015 it was 13 %). The use of RES contributes to the reduction of greenhouse gases in the atmosphere, which is also the objective of the Climate Agreement⁵.

Effective material and energy recovery from raw materials and wastes, development of new machinery and nodal designs for the treatment and recovery of waste, as well as applications of combustion engines, focusing on energy utilisation from alternative fuels, have been researched into at the Faculty of Mechanical Engineering of STU for two decades. So far we have analysed the effect of approximately 50 different synthesis-gas compositions on the overall parameters of the combustion engine, or cogeneration unit. The composition of these gases corresponded in particular to the composition that can be obtained by gasifying municipal waste, as mentioned in various publications^{6,7,8}. In Slovakia, there is currently no power plant for the recovery of energy from municipal waste by this technology. Although there were only about one hundred such plants in the world (2012), this waste-treatment technology, in terms of cost, reliability and operational flexibility, suggests that gasifying will become the future waste management strategy or at least it will be a strong competitor of classic combustion⁹.

Experimental results

The presented paper compares the parameters of combustion engine powered by natural gas (NG) as reference fuel, with the parameters of combustion engine powered by different synthesis gases. The properties are shown in Table 1. Synthesis gases G1, G2 and G3 were selected as representatives of different municipal waste gasification technologies. According to their weight lower heating values (LHV), these gases can be classified as low-energy (G1 – 6565 kJ.kg⁻¹), medium-energy (G2 – 11307 kJ.kg⁻¹) and high-energy synthesis gases (G3 – 16031 kJ.kg⁻¹). The lower heating value of gas produced from standard municipal waste in the EU is around 10 – 12 MJ/kg. The utilisation of such gases as alternative fuels for combustion engines or cogeneration units is in the Slovak Republic at its beginning as to acquisition of knowledge from research and practical applications. In total, about 65 % of the energy contained in the waste can be converted into synthesis gas¹⁰. The parameters of the combustion engine, thus also the parameters of the cogeneration unit, are primarily influenced by the volume heating value of the stoichiometric mixture (LHV_{mixture}, Table 1) of the given gas with air and by the character of the combustion of such a mixture in the combustion chamber of the engine. Catalyst technology can be used to significantly reduce harmful emissions, moreover, carbon dioxide generated by combustion of synthesis gases is environmentally neutral.

The experimental results were obtained by measuring the Lombardini LGW 702, two-cylinder, naturally aspirated, spark-ignition gas engine, the basic data of which are given in Table 2. The advantage of such a small-stroke volume engine is relatively low gas consumption and hence reduced cost of providing synthesis gases of the desired composition. The results obtained can be applied to high-volume combustion engines with relatively good match. The measured results are processed in a tabular and graphic form. In Table 3, depending on the engine speed (n) the following parameters are given: the power parameters, i.e. torque (M_t) and engine power (P_e) and the economic parameters which include the volume (M_{NTP}) and hourly (M_h) fuel consumption respectively as well as the brake specific fuel consumption (bsfc) and its corresponding total or effective efficiency (η_e) of the engine. The results from Table 3 are graphically processed into the engine speed characteristics in Figure 1 through to Figure 4. By comparing the power parameters listed in Figure 1 and Figure 2, we can see that, compared to natural gas, they have dropped by 9 % at 1500 min⁻¹ for G3, by 22 % for G2, and by 34 % for G1 and the situation is similar in the entire engine speed range. This occurs not only due to different heating values of the stoichiometric mixture, but it occurs due to various amounts of inert gas ($CO_2 + N_2$, 60 % by volume at G1, 45 % by volume at G2 and 31 % by volume at G3) in the specific synthesis gas.

Table 1: Basic selected properties of natural gas (NG) and synthesis gases (G1, G2, G3) with lower heating value (LHV) in the range of 6 – 16 MJ/kg

The gases are ranked upward by volume heating values ($LHV_{mixture}$) of the stoichiometric mixture of synthesis gas and air. (* NG composition by volume: 94.96 % methane, 2.76 % ethane, 0.82 % propane, 0.12 % isobutene, 0.12 % n-butane, 0.03% is-pentane, 0.02 % n-pentane, 0.02 % higher hydrocarbons, 0.39 % carbon dioxide, 0.76 % nitrogen. Ingredients of NG by mass: 89.558 % methane, 4.885 % ethane, 2.129 % propane, 0.425 % isobutene, 0.109 % n-butane, 0.109 % is-pentane, 0.077 % n-pentane, 0.103 % higher hydrocarbon, 0.966 % carbon dioxide, 1.253 % nitrogen), NTP = 20 °C, 101325 Pa

Parameter	unit/gas	G1	G2	G3	NG*
CH ₄	[% vol.]	12	21	38	94.9
H ₂	[% vol.]	9	24	12	0
CO	[% vol.]	19	11	19	0
CO ₂	[% vol.]	12	22	24	0.39
N ₂	[% vol.]	48	23	7	0.76
CH ₄	[% wt.]	7.36	14.79	25.21	89.56
H ₂	[% wt.]	0.69	2.12	1.00	0
CO	[% wt.]	20.35	13.53	22.01	0
CO ₂	[% wt.]	20.19	42.50	43.68	0.97
N ₂	[% wt.]	51.41	27.06	8.11	1.25
LHV	[kJ.kg ⁻¹]	6 565	11 307	16 031	48 635
LHV	[kJ.m ⁻³]	7 138	10 708	16 118	34 371
Air to Fuel ratio	[kg.kg ⁻¹]	2.00	3.59	5.20	16.89
Molar mass	[kg.kmol ⁻¹]	26.16	22.78	24.18	17.01
Density _{NTP}	[kg.m ⁻³]	1.087	0.947	1.005	0.707
H/C	[–]	1.53	2.44	2.17	3.882
O/C	[–]	1.00	1.02	0.83	0.007
LHV _{mixture}	[kJ.m ⁻³]	2 538	2 794	3 009	3 142
LHV _{mixture}	[kJ.kg ⁻¹]	2 188	2 464	2 586	2 719
Fuel in mixture	[% vol.]	35.56	26.09	18.67	9.14
Fuel in mixture	[% wt.]	33.33	21.79	16.13	5.59

Table 2: Basic parameters of combustion engine Lombardini LGW 702

Crankshaft throw angle [°]	360
Swept volume [cm ³]	686
Bore/ Stroke [mm]	75 / 77,6
Compression ratio [-]	12.5:1
Valve gear/ Drive	OHC/Belt drive system
Fuel	NG and alternative gasses
Lubrication system	Pressure circuit, full-flow filtration, oil filling 1.6 l

Table 3: Table of measured values for compared gases NG, G1, G2, and G3

(n – engine speed, M_t – torque, P_e – engine power, M_{NTP} – volumetric fuel consumption, M_h – mass hourly fuel consumption, $bsfc$ – brake specific fuel consumption, η_e – effective engine efficiency, $NTP = 20^\circ C$, 101325 Pa)

NG

n [min ⁻¹]	M_t [N.m]	P_e [kW]	M_{NTP} [l.min ⁻¹]	M_h [kg.h ⁻¹]	bsfc [g.kW ⁻¹ .h ⁻¹]	η_e [%]
1200	40.24	5.06	30.2	1.279	253	29.1
1400	42.44	6.22	34.8	1.478	238	30.9
1500	43.15	6.78	37.3	1.582	233	31.6
1600	43.36	7.27	39.5	1.676	231	31.8
1800	43.17	8.14	44.2	1.875	230	32.0
2000	42.58	8.92	48.3	2.049	230	32.0
2200	42.04	9.69	53.0	2.248	232	31.7

G1

n [min ⁻¹]	M_t [N.m]	P_e [kW]	M_{NTP} [l.min ⁻¹]	M_h [kg.h ⁻¹]	bsfc [g.kW ⁻¹ .h ⁻¹]	η_e [%]
1200	30.66	3.85	134.1	8.633	2242	25.8
1400	31.68	4.64	152.2	9.801	2112	27.3
1500	32.19	5.06	160.7	10.347	2045	28.2
1600	32.50	5.45	170.3	10.962	2011	28.7
1800	32.91	6.20	190.6	12.269	1979	29.2
2000	32.91	6.89	210.7	13.568	1969	29.3
2200	32.40	7.46	228.9	14.736	1975	29.2

G2

n [min ⁻¹]	M_t [N.m]	P_e [kW]	M_{NTP} [l.min ⁻¹]	M_h [kg.h ⁻¹]	bsfc [g.kW ⁻¹ .h ⁻¹]	η_e [%]
1200	33.43	4.20	90.8	5.056	1204	26.8
1400	34.76	5.10	102.9	5.731	1124	28.7
1500	35.37	5.56	110	6.125	1102	29.2
1600	35.78	5.99	117	6.514	1087	29.6
1800	35.78	6.74	130.2	7.249	1076	30
2000	35.58	7.45	143.3	7.978	1071	30.1
2200	34.76	8.01	154.3	8.593	1073	30

G3

n [min ⁻¹]	M_t [N.m]	P_e [kW]	M_{NTP} [l.min ⁻¹]	M_h [kg.h ⁻¹]	bsfc [g.kW ⁻¹ .h ⁻¹]	η_e [%]
1200	36.48	4.58	59.6	3.66	799	27.6
1400	38.73	5.68	69.0	4.24	746	29.6
1500	39.55	6.21	74.2	4.556	734	30.1
1600	39.96	6.70	79.0	4.853	724	30.5
1800	39.75	7.49	87.9	5.4	721	30.6
2000	39.34	8.24	96.4	5.921	719	30.7
2200	38.53	8.88	104.4	6.416	723	30.5

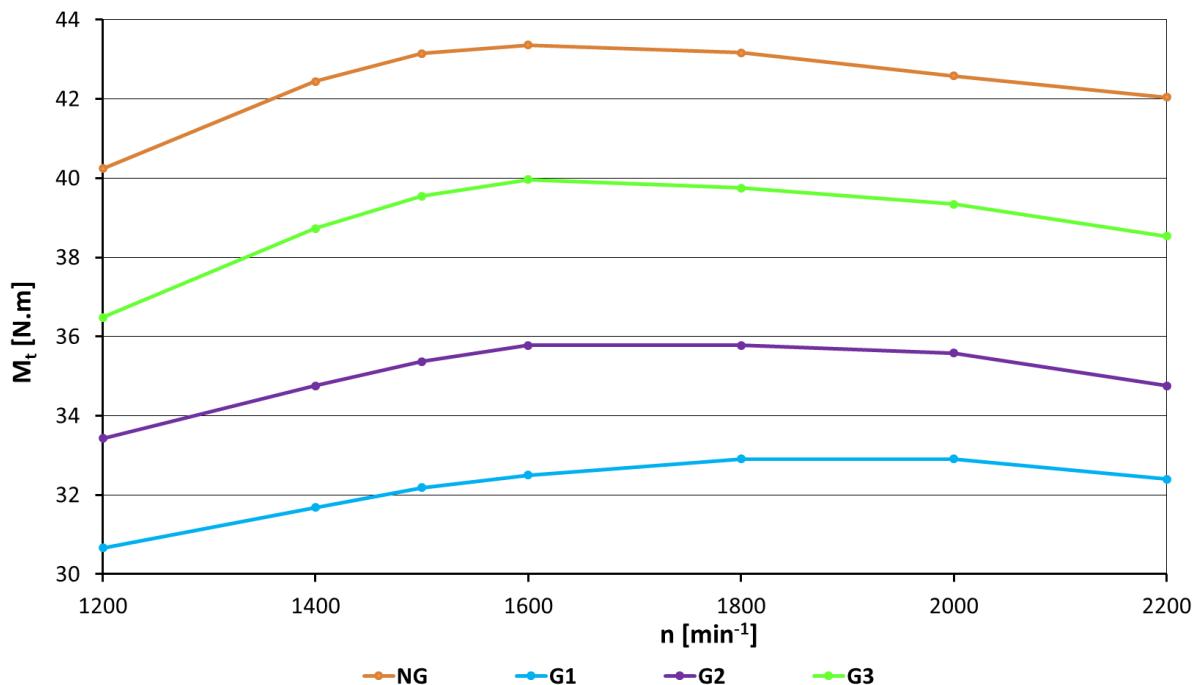


Figure 1: Course of torque (M_t) in the engine speed characteristics

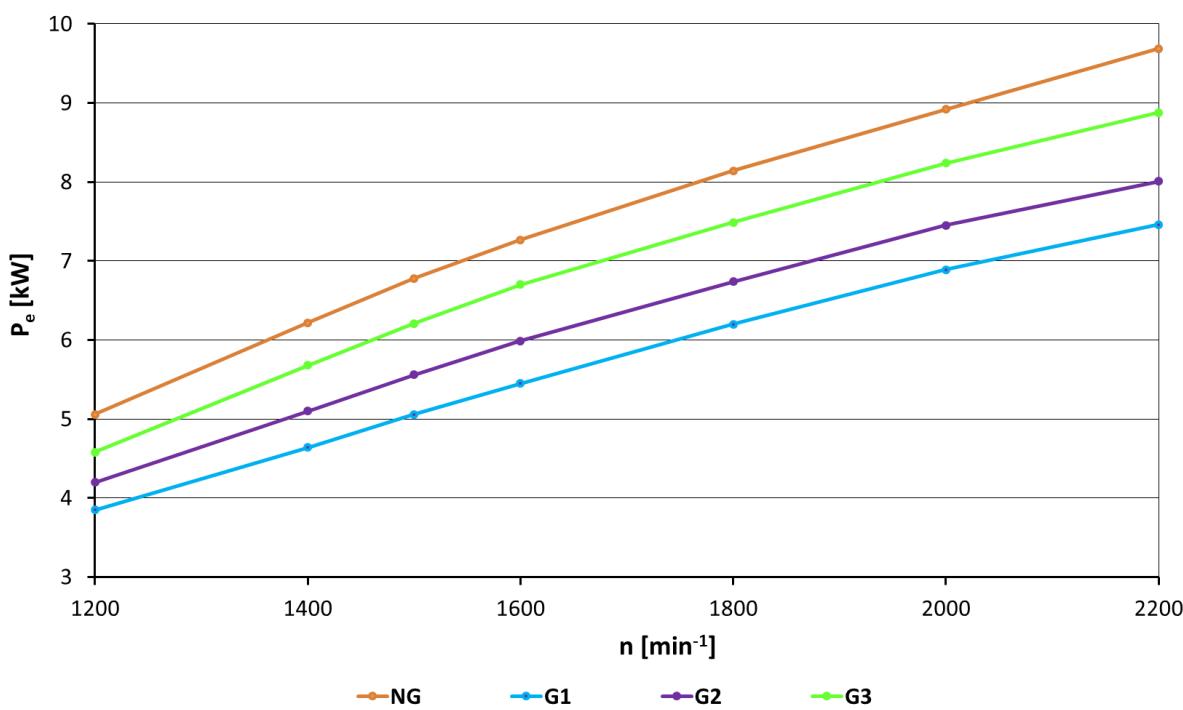


Figure 2: Course of power (P_e) in the engine speed characteristics

Due to the combustion of unpurified synthesis gases, with the above mentioned percentages of inert gases (Table 1) present, compared to NG the fuel consumption increases significantly in all the gases. If we evaluate the increase in consumption (Figure 3, Table 3), then at 1500 min^{-1} for G3 it is higher by 186 %, for G2 it is higher by 285 % and for G1 it is higher by 550 %. The situation is influenced by a small amount of air and a large amount of fuel (see Air to Fuel Ratio, Table 1) in the stoichiometric gas-air mixture.

The quality of combustion of synthesis gas in combustion engine, in other words, the overall quality of conversion of the chemical energy bonded in fuel to the mechanical energy available for further use at the crankshaft is expressed by the value of effective efficiency in the engine speed characteristic in Figure 4. For NG at 1500 min^{-1} it is 31,6 % and for synthesis gases the value of effective efficiency is lower by 1.5 – 3.4 % (G3 – 30,1 %, G2 – 29,2 % a G1 – 28,2 %). It can be presumed that with a fuel purified from inert gases, the effective efficiency of combustion of individual gases would be even closer to the NG values.

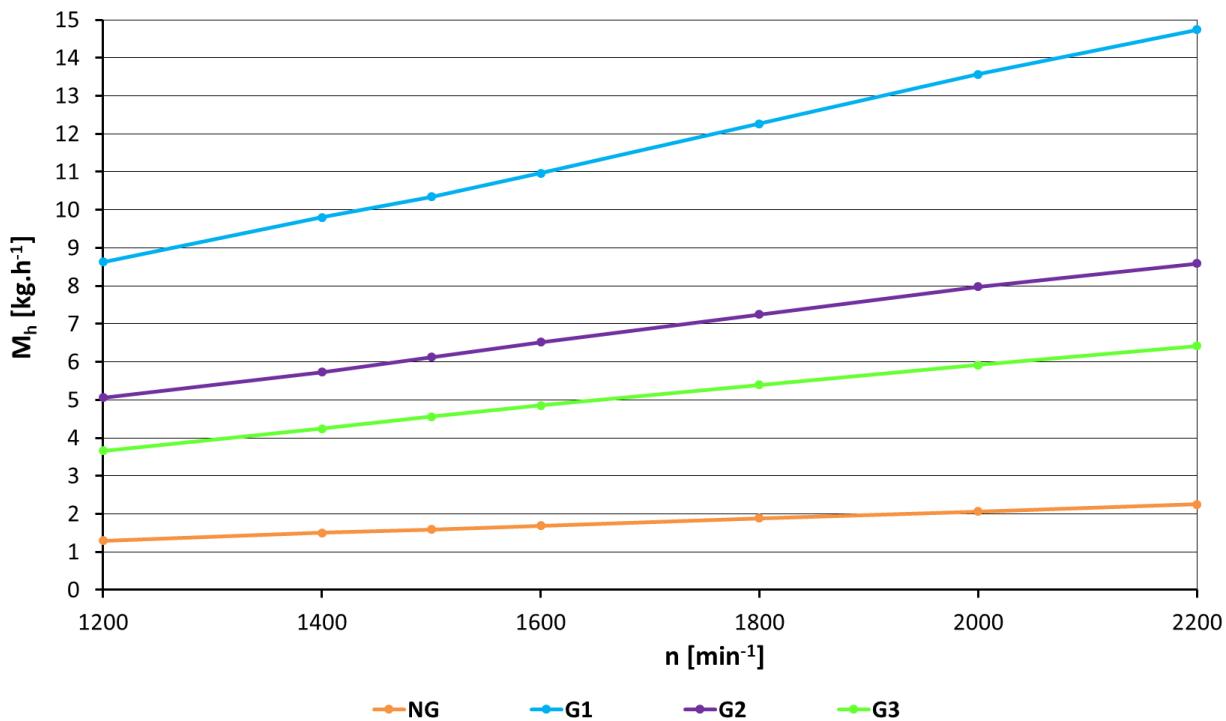


Figure 3: Course of hourly fuel consumption (M_h) in the engine speed characteristics

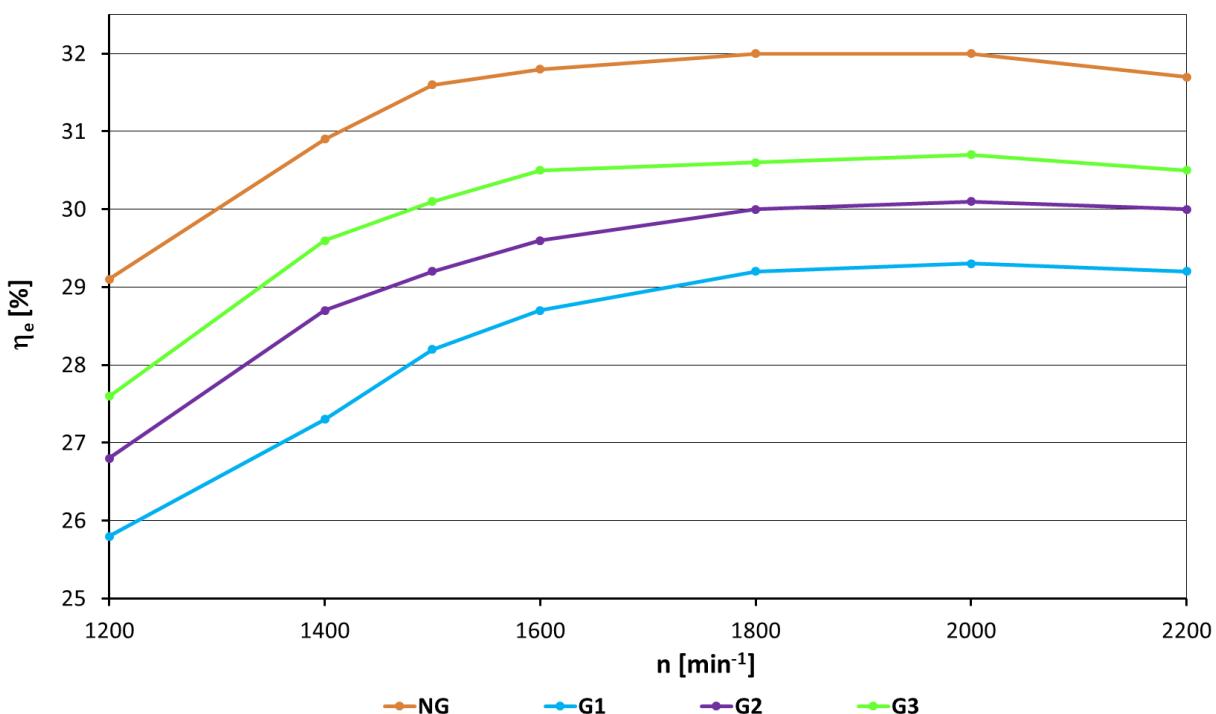


Figure 4: Course of engine effective efficiency (η_e) in the engine speed characteristics

Conclusions

From the measured results we can draw the following conclusions:

1. The performance parameters of the combustion engine (Figure 1, Figure 2) for all measured gases closely follow the values of volumetric heating value of the stoichiometric mixture (LHV_{mixture}, Table 1). In other words, the gas with the lowest volumetric heating value reaches the lowest power and vice versa. In actual percentages, comparisons to NG show that at 1500 min⁻¹ the power and torque with G3 have dropped by 9 %, with G2 by 22 % and with G1 by 34 %. Similar differences have been measured in the whole range of the engine speed.
2. The amount of synthesis gas in the stoichiometric mixture of this gas with air (Fuel in mixture, Table 1) indicates the trend in fuel consumption. With increasing amount of synthesis gas in the stoichiometric mixture the overall fuel consumption also increases when the fuel is burned in the engine. Compared to NG at 1500 min⁻¹, the consumption is higher for G3 gas by 186 %, for G2 gas by 285 %, and for G1 gas by 550 %. Purification of synthesis gases from their inert components can significantly decrease these differences.
3. The effective efficiency of conversion of the energy bonded in the fuel to the mechanical energy utilised at the engine crankshaft (Figure 4) is even with synthesis gases rather high. The highest percentage is for synthesis gas G3 and reaches 30.1 % at 1500 min⁻¹. Compared to NG, the percentage is only 1.6 % lower. Even in this case the direct dependence for the volumetric heating value of the stoichiometric mixture applies as valid, i.e. the higher is the heating value the higher is the effective efficiency achieved.
4. Setting of gasification technology results in varied composition of synthesis gases (e.g. see Table 1). As to energy and economic utilisation, it seems advantageous to analyze and optimize the composition of synthesis gases to meet parameters of engines, or possibly parameters of cogeneration units that can be found in small naturally aspirated or supercharged spark-ignition engines, and use the results of optimised composition of synthesis gases also for larger power units.

Acknowledgments

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under Contract-No. APVV-0015-12 and Contract-No. APVV-14-0399 and was also supported by the Scientific Grant Agency under the Contract-No. VEGA 1/0301/17.

References

1. Document: Through knowledge towards prosperity – Research and Innovation Strategy for Smart Specialisation of the Slovak Republic (Poznatkami k prosperite – Stratégia výskumu a inovácií pre inteligentnú špecializáciu SR - RIS3 SK). Approved by the Government of the Slovak Republic on November 13, 2013 by Resolution No. 665/2013.
2. Documents of the Government of the Slovak Republic: Energy Policy of the Slovak Republic dated November 5, 2014 and the Program: Waste management in the Slovak Republic for the years 2016 – 2020 from October, 2015. (Dokumenty Vlády Slovenskej republiky: Energetická politika Slovenska z 5.11.2014 a Program odpadového hospodárstva SR na roky 20016 – 2020 z októbra r. 2015).
3. Act No. 223/2001 Coll. on wastes of the National Council of the Slovak Republic, Act No. 70/1998 and No. 251/2012 Coll. on energetics. (Zákon NR SR č. 223/2001 Z. z. o odpadoch, Zákon č. 70/1998, č.251/2012 Z. z. o energetike.)
4. EU Directives: 2003/54 / EC, 2004/8 / EC, 2009/28 / EC (on the promotion of energy from RES) and 2012/27 / EU (on energy efficiency).
5. Paris Climate Conference COP 21 - Global Climate Agreement (30. 11. – 12. 12. 2015).
6. T. Lieuwen, V. Yang, R. Yetter: Synthesis Gas Combustion. Fundamentals and Applications. CRC Press, Taylor and Francis Group, 2010, ISBN 978-1-4200-8534-1

7. Šooš Ľ., Koleják M., Urban F.: Biomasa - obnoviteľný zdroj energie. STU v Bratislave, Strojnícka fakulta. Vydavateľstvo VERT, Rustaveliho 9, 83106 Bratislava. 2012, ISBN 978-80-970957-3-4.
8. F. Janíček, I. Daruľa, J. Gaduš, E. Regula, M. Smitková, Ľ. Polonec, J. Ľudvík, J. Kubica: Obnoviteľné zdroje energie 1. Technológie pre udržateľnú budúcnosť. FEI STU v Bratislave. 2007. ISBN 978-80-969777-0-3
9. Umberto Arena: Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review. Waste Management 32 (2012) 625 – 639, ISSN: 0956-053X
10. Sharmina Begum, M. G. Rasula, David Cork and Delwar Akbar: An experimental investigation of solid waste gasification using a large pilot scale waste to energy plant. 10th International Conference on Mechanical Engineering, ICME 2013. Procedia Engineering 90 (2014) 718 – 724.

Spaľovací motor a energetické zhodnocovanie komunálneho odpadu

Marián POLÓNI^{*}, Andrej CHRÍBIK, Ján LACH

Slovenská vysoká škola technická v Bratislave, Strojnícka fakulta, Námestie slobody 17, 812 31 Bratislava, Slovenská republika

e-mail: marian.poloni@stuba.sk, andrej.chribik@stuba.sk, jan.lach@stuba.sk

* korešpondujúci autor

Súhrn

Smernice EU požadujú od jej členských štátov stále väčší podiel výroby energie z obnoviteľných zdrojov a odpadov sledujúc líniu odpad-palivo-energia. V „Programe odpadového hospodárstva SR na roky 2016 – 2020“ strategickým cieľom odpadového hospodárstva SR zostáva zásadné odklonenie odpadov od ich zneškodňovania skládkovaním obzvlášť pre komunálne odpady. Tieto pri tom predstavujú najväčší potenciál pre ich energetické zhodnocovanie. V SR sa v r. 2013 približne 10 % komunálneho odpadu energeticky zhodnocovalo a 69 % sa skládkovalo. Jednou z alternatív energetického zhodnocovania odpadov sú aj technológie ich splynovania a vyrobené syntézne plyny je potom možné využiť ako alternatívne palivo pre spaľovací motor a cestou kogenerácie kombinované, technológiou KVET, vyrábať elektrickú a tepelnú energiu.

Predkladaný článok analyzuje výsledky výkonových a ekonomických parametrov spaľovacieho motora s pohonom na rôzne druhy syntéznych plynov, ktoré reprezentujú rôzne technológie splynovania komunálneho odpadu bez asistencie plazmy. Dolná výhrevnosť vybraných a nečistených plynov je v rozsahu 6 až 16 MJ.kg⁻¹. Spolu tri rôzne zloženia syntéznych plynov označené ako G1, G2 a G3 dávajú predstavu o vplyve rôznych zložiek plynu, resp. o vplyve nastavenia technológie výroby plynu na celkové dosahované parametre motora prípadne kogeneračnej jednotky.

Kľúčové slová: spaľovací motor, zhodnotenie energie, komunálny odpad, syntézne plyny

Study of the possibilities of processing dust from polypropylene waste

Jana REPKOVÁ, Ernest GONDÁR, Ľudovít KOLLÁTH

Faculty of Mechanical Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava,
Nám. Slobody 17, 812 31 Bratislava, Slovak Republic

e-mail: xrepkova@gmail.com, ernest.gondar@stuba.sk, ludovit.kollath@stuba.sk

Abstract

By sintering of a dusty mixture from polypropylene we were able to prepare compacts with low porosity, good hardness and absorbency as in the original polypropylene. Electrostatic surface charge prevented the use of the dusty thermoplastic waste intended for 3D printing. While preparing the composites with a wood flour, the biggest problem were wooden particles that prevented a wetting of the polypropylene with a melt. From the practical point of view, with the technology used, there is a real preparation of the wood-plastic composite, which contains up to 15 % of the wood flour. Second type of composite was prepared from powder mixture of polypropylene with 30 % graphite. The waste graphite from pyrolysis was used considering to the beneficial antistatic action what is desirable for pre 3D printing technology. The hardness of the composite with graphite slightly dropped and the sliding characteristics have greatly improved.

Keywords: polypropylene, graphite, sintering, dust particles

Introduction

Extensive use of thermoplastics is currently linked to more areas. The consumer area is mainly represented by packaging technology, but thermoplastics are increasingly represented in technical and even in design applications. Significant increase in plastic products increases demands for recycling. Plastic recycling is categorized for material recycling, substance recycling and energy recycling. Part of the material recycling is also primary recycling which is aimed at the processing of technological waste at production. Thermoplastic rubbish from recycling mills is uncontaminated raw material with properties practically identical to the original material.¹ Therefore, it is often used in the manufacture of original products. Milling of technological waste creates not only a plastic pulp, but also a dusty waste. It is characterized by similar properties like the plastic pulp, but the small particle size prevents its processing by conventional injection and extrusion processes. One of the possibilities of efficient use of the dust fraction is the preparation of a particles composite materials. A binder phase is formed from the starting dust particles. The aim of this paper is to study the possibilities of processing the polypropylene waste in the preparation of plastics and WPC composites.

Experimental part

For the composite experiment we used a polypropylene dust fraction with a grain size of less than 0.25 mm. From the detail of the dusty plastic particles, their scaly two-dimensional character is evident (Figure 1).

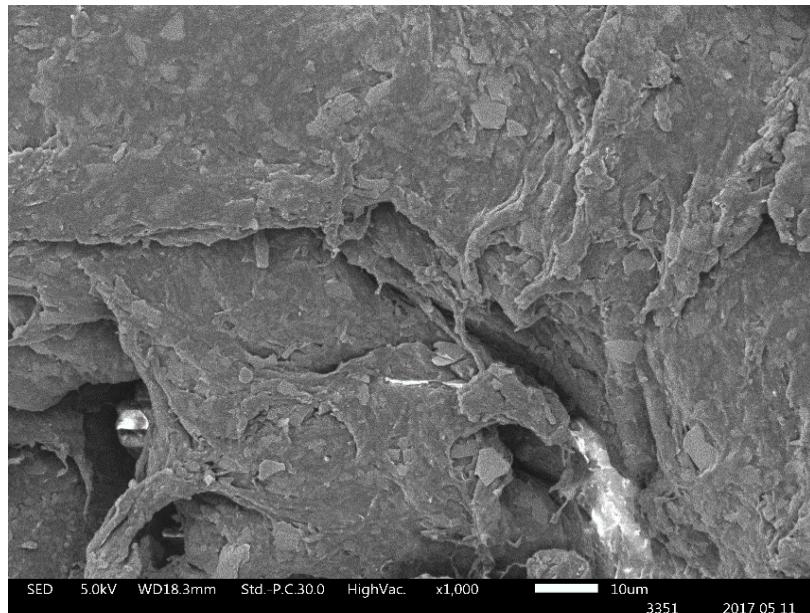


Figure 1: Polypropylene at 10000 magnification

In Figure 2, the wood particles are captured on a 0.25 mm mesh screen which was used in the preparation of the mixture. It can be seen from the figure that the particles of wood have an irregular elongated shape and a fiber character.

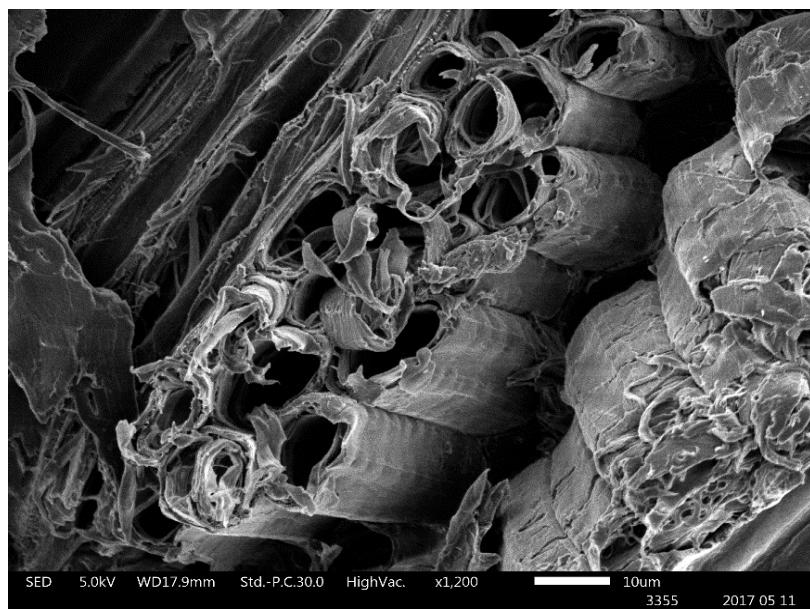


Figure 2: Wood at 10000 magnification

Another experimental material was composite material from PP mixture and graphite, which was obtained as pyrolysis waste with a grain size of less than 0.2 mm and a scaling similar to that of polypropylene. The shape and particle size was measured using a Morphology G3 instrument. The instrument measures the range of morphological properties for each particle. Individually stored gray-shaded images for each particle provide qualitative verification of quantitative results (Figure 3).



Figure 3: Shapes of particles the graphite dusty waste

Measured samples had a relatively narrow particle size distribution which was evaluated on the basis of their volume (Figure 4).

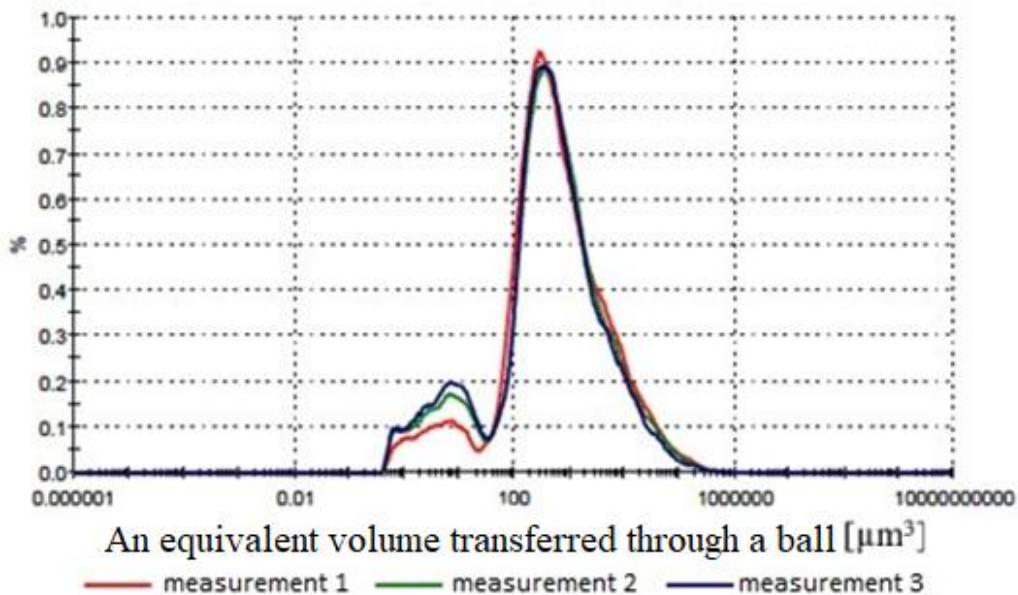


Figure 4: The distribution of particles measured at based on their volume

The amount of binder phase was made by computing, with respect to previous works.² We considered a 10μm layer, which took account of the irregularity of the filler.

The powder blends were homogenized in the air stream and then sintered at 230 °C.

Due to the assumed use of the composite materials, the properties for WPC absorbability and hardness were observed. For the polypropylene and graphite composites, the hardness and sliding properties determined by the Pin-on-Disc method were observed.

Results and discussion

The results of determining the amount of binder phase according to the thickness of the coating layer were 58.65 % of polypropylene and the amount of wood phase was 41.35 %. Based on these results, we prepared the first mixture at a percentage of plastic waste to 60:40 wood waste.

A total of 9 samples were prepared, the designation of which can be seen in Table 1.

Sample designation	Proportions		
	dust polypropylene	wood particles	additive
1	60	35	5
2	55	40	5
3	65	30	5
4	100 %	0	0
5	100 %	0	0
6	50	40	10
7	60	30	10
8	50	40	10
9	80	15	5

Table 1: The designation of samples

In the samples with designation 1, 2, 3, 6, 7, 9 was like compatibilizer used additive Melamine. In the samples with designations 4 and 5 an additive was not used. The sample 8 is prepared form mixture where was used an additive VUCHTALINK BMI/6 – 80. The sample 4 is from dusty polypropylene which was sieved and it is a fraction that was captured on a 0.25 mm mesh sieve. The sample 5 is the material which was not sieved and contains a different fractions.

The samples which was prepared by us had almost 10 % lower hardness compared with a polypropylene regranulat which was prepared by injection molding.³ The cause is the porosity of the sintering samples. In a wood plastic composites were even more pronounced differences in the hardness registered. The wood plastic composites prepared by extrusion with the almost no defects in structure had up to 30% more hardness. The cause is the porosity caused mainly by poor wetting of the wood particles with polypropylene. The adsorption decreases evenly with the decreasing proportion of wood flour. The non-absorbability was confirmed on the samples 4 and 5. The absorbability lower than 1 % can be explained by the porosity of samples, the material from a particles which were not sieved has higher absorbability because the higher porosity.

Figure 5 shows the structure of sample 4. which is from sieved polypropylene. From the picture it is clear that there is a relatively good sintering between the powders with different kinds of polypropylene (area 1). Porosity is relatively low, the pores are rounded and discontinuous.

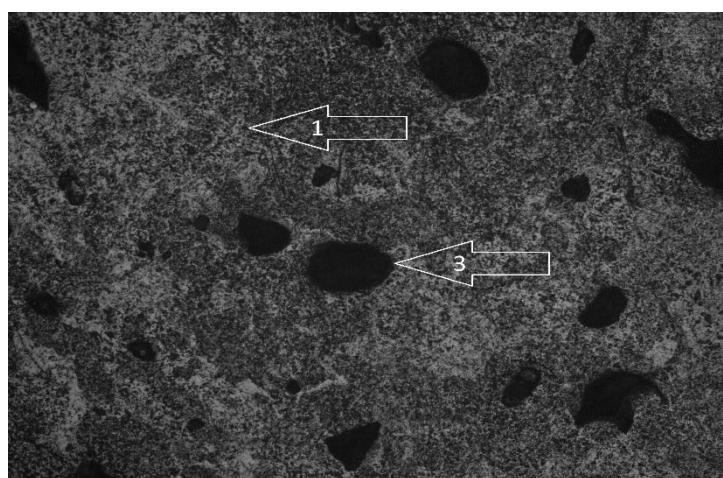


Figure 5: Sample structure No. 4

In the Figure 5 we can see the structure of the sample 9 which contains 80 % of polypropylene and 15 % of wood flour. The high contain of polypropylene did not ensure full coverage the parts of wood flour (area 2). Substantial increase of the porosity is mainly due to the lost (fall) of the particles of wood flour (area 4) and also because the porosity on the plastic – wood interface (area 5). The lost of wood particles has been caused by the formation of agglomerates of wood pulp caused by electrostatic charge on the surface of the particles.⁴

The samples with a higher content of wood particles did not comply because the lost particles and a low wettability.

For composite materials with graphite particles, a coefficient of friction was determined for three different loadings on two samples. The first sample contains a dusty portion of polypropylene and the second sample contains 80 % of polypropylene particles and 20 % of graphite particles. At the lowest load, the difference between the friction coefficient of the samples was about 26 %. At the higher loads, the differences between the friction coefficient was minimal and gradually declined. The friction coefficients both samples are in compare to PTFE in the figure 6.

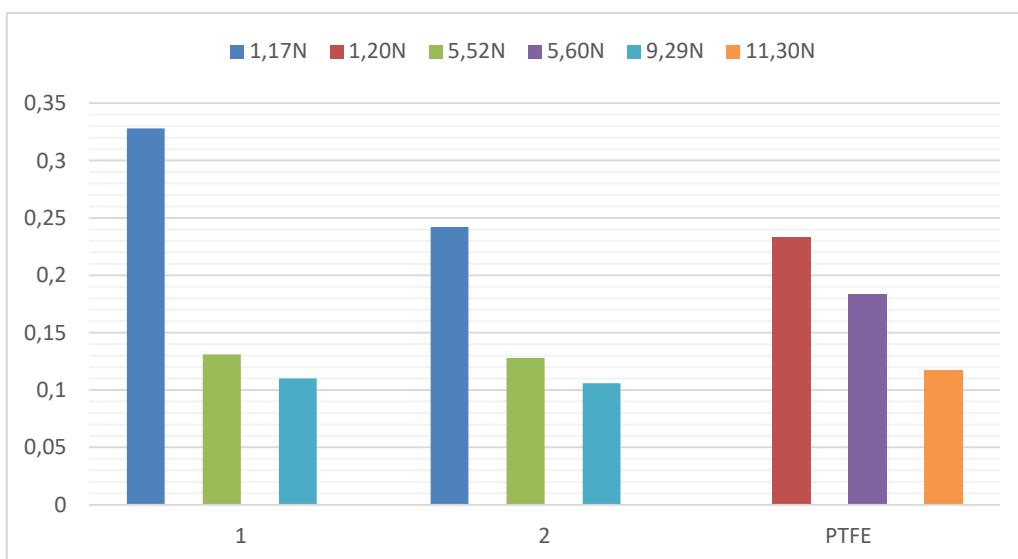


Figure 6: Graphical dependence of friction on load forces for comparing materials

The hardness values measured on both samples can be seen in Table 2. The composite material containing graphite exhibited slightly lower hardness and in both samples was measured hardness after 15 seconds lower than the hardness measured immediately.

Table 2: The hardness values measured

Measurement	Polypropylene		Polypropylene (80 hm.%) + graphite (20 hm.%)	
	Immediately hardness [HSh]	Hardness after 15 sek. [HSh]	Immediately hardness [HSh]	Hardness after 15 sek. [HSh]
1	59	49	53	42
2	59	50	58	48
3	61	51	52	42
4	62	52	58	45
5	61	51	50	41
6	62	52	51	41
Average	60,7	50,8	53,7	43,2

Conclusions

Compacts obtained by sintering of dusty parts of polypropylene showed limited closed porosity. The result was a slightly decreased in hardness compared to original polypropylenes and negligible increased of absorbability. The absorbability lower than 1 % was due to pores on the surface of the samples.

The use of polypropylene dust in the preparation of WPC was limited by the high electrostatic charge of the starting particles, which caused clumps of wood flour in the compacts. As a result, it was acceptable to prepare a WPC composite with a 15 % wood content. Higher levels have resulted in the formation of clumps of wood flour in prepared samples.⁵

PP-graphite composites exhibited a reduced friction coefficient compared to polypropylene at reduced hardness. The values of the friction coefficient of the PP + 20 % graphite composite were comparable to Teflon.

References

- [1] Gondár, Ernest; Žuffová, Simona. Vplyv množstva recyklátu na vlastnosti polypropylénu Midilena. In. TOP, zborník z prednášok, STU Bratislava 2009, s. 177 – 182. ISBN 978-80-227-3096-9.
- [2] Kolláth, Ľudovít; Krčová, Jana – Gondár, Ernest. The possibility of using recycled polypropylene SUPOL HT345E. In. MM Science Journal. Vol. 2017, March (2017), s. 1789 – 1792. ISSN 1803 – 1269 (P).
- [3] Repková, Jana; Gondár, Ernest. Vplyv množstva regranulátu dvoch typov polypropylénu na vybrané mechanické vlastnosti. In. Kvalita, technológie, diagnostika v technických systémoch, SPU Nitra 2017, s. 86 – 91, ISBN 978-80-552-1672-0.
- [4] Repková, Jana; Gondár, Ernest; Repka, Viliam. Modified 3D printer for SLS Method, PRO-TECH-MA 207, Bardejov 20-23.6.2017.
- [5] Gondár, Ernest; Gábrišová, Zuzana; Brusilová, Alena; Krčová, Jana. Spekacia hlava na 3D tlač z kompozitných práškových materiálov a jej použitie. Úžitkový vzor č. 7830, schválený dňa 22.5.2017.

Štúdium možností spracovania prašného podielu z polypropylénového odpadu

Jana REPKOVÁ, Ernest GONDÁR, Ľudovít KOLLÁTH

Strojnícka fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Námestie Slobody 17, 812 31 Bratislava, Slovenská republika

e-mail: xrepkova@gmail.com, ernest.gondar@stuba.sk, ludovit.kollath@stuba.sk

Souhrn

Spekaním prašnej zmesi z polypropylénu sme boli schopní pripraviť kompakty s nízkou pôrovitosťou, dobrou tvrdosťou a nasiakavosťou ako pri pôvodnom polypropyléne. Elektrostatické povrchové napätie spôsobovalo problémy pri použití prašného termoplastického odpadu určeného pre 3D tlač. Pri príprave kompozitov s drevnou múčkou spôsobovali najväčší problém drevené častice, ktoré zabráňovali zmáčaniu polypropylénu s taveninou. Z praktického hľadiska je pri použití technológií vhodná príprava drevoplastového kompozitu, ktorý obsahuje 15 % drevnej múčky. Druhý typ kompozitu bol pripravený z práškovej zmesi polypropylénu s 30 % grafitu. Odpadový grafit získaný z pyrolyzy bol použitý vzhľadom na priaznivé antistatické pôsobenie, čo je žiaduce pre technológiu 3D tlače. Tvrdosť kompozitu s grafitom mierne klesla a kĺzne charakteristiky sa výrazne zlepšili.

Klíčová slova: polypropylén, grafit, spekanie, prašné častice

Duté sklené mikroguličky pripravené z odpadového automobilového skla

Peter ŠIMURKA ^a, Štefan ŠKULTÉTY ^a, Jozef KRAMNER ^b

^a Slovenská sklárska spoločnosť, Sklárska 117, 02061 Lednické Rovne,
Slovenská republika

^b VITRUM LAUGARICIO, Spoločné pracovisko UACH SAV, TnU AD a FCHPT
STU, Študentská 2, 911 50 Trenčín, Slovenská republika

e-mail: psimurka@gmail.com, skultety@zvsp.sk, kraxnerjozef@gmail.com

Súhrn

Duté sklenené mikroguličky patria medzi nové ľahké anorganické nekovové materiály vyvinuté v posledných rokoch. Sú ultra-ľahké, majú dutú štruktúru a patria medzi všeestranné, vysoko výkonné nové kompozitné materiály 21. storočia. Je to vysoko-objemový materiál s nízkou hmotnosťou, nízkou tepelnou vodivosťou, vysokou pevnosťou v tlaku, ľahkou mobilitou apod. Vďaka svojim unikátnym vlastnostiam majú duté mikroguličky široké použitie. Sú vhodné na použitie ako plníva pre rôzne organické a anorganické matrice, môžu nájsť aplikácie v oblasti medicíny, na výrobu ľahkých kompozitných materiálov, vznášadiel, tepelných izolačných materiálov resp. na skladovanie plynu.

V prezentovanej práci boli metódou plameňovej syntézy pripravené mikroguličky z odpadového automobilového skla. Morfológia mikrogulôčok bola skúmaná metódou SEM, chemické zloženie odpadového automobilového skla metodou XRF ako aj EDX. Vzhľadom na prípravu mikrogulôčok z odpadového automobilového skla je zaujímavá možnosť ich použitia ako plnivo do plastov umiestnených v nových automobiloch. Využitím mikrogulôčok pri výrobe nového výrobku použitého v automobile by sa tak zrealizoval cyklus odpad z automobilu - nový výrobok v automobile.

Kľúčové slová: mikroguličky, odpadové, sklo, automobilové, duté, plameňová syntéza

Úvod

Recyklácia viacvrstvových skiel je zložitejšia ako recyklácia sklenených fliaš z dôvodu ich konštrukcie. Čelné sklo automobilu je vytvorené z dvoch vrstiev skla a jednej vrstvy plastovej fólie z PVF (polyvinylbutyral). Aby bolo možné sklo z okna automobilu recyklovať je nevyhnutné oddeliť plastovú fóliu od skla. Proces recyklácie zahŕňa drvenie čelných skiel na prach, a v ďalšom kroku oddelenie plastovej fólie od sklenených črepov alebo drveného skla. Na Slovensku sa vývoju technológie oddelovania vrstvených skiel venovali na Ústave výrobných systémov, enviromentálnej techniky a manažérstva kvality SjF STU v Bratislave¹. Výsledkom štvoretapového procesu spracovania vrstvených skiel je oddelenie plastovej fólie od skla. Avšak jednoduché použitie odpadového plochého skla používaného v automobilovom priemysle nie je vo výrobe obalového skla možné. Problémom aplikácie takéhoto odpadového skla nie je chemické zloženie, ale jeho vhodná granulometria.

Okrem využitia skleneného odpadu vo forme druhotej suroviny pri výrobe skla, existuje mnoho alternatívnych spôsobov jeho efektívneho využitia. Upravený sklenený odpad je možné využiť tak na nahradu rôznych materiálov, ako aj na výrobu nových výrobkov so špecifickými vlastnosťami. V práci² sú vymenované hlavné alternatívy využitia odpadového skla spolu s materiálmi, ktoré môžu nahradiť s ich výhodami resp. nevýhodami.

Duté mikroguličky patria medzi všeestranné a vysoko výkonné nové kompozitné materiály dvadsiateho prvého storočia so širokým využitím. Prezentovaná práca ukazuje spôsob prípravy dutých mikrogulôčok v laboratórnom merítku, ich charakterizáciu ako aj možnosť využitia odpadového skla z automobilov na ich výrobu.

Duté mikroguličky

Duté sklenené mikroguličky patria medzi nové ľahké anorganické nekovové materiály vyvinuté v posledných rokoch. Sú ultra-ľahké, majú dutú štruktúru a patria medzi všeestranné, vysoko výkonné nové kompozitné materiály 21. storočia. Je to vysoko-objemový materiál s nízkou hmotnosťou, nízkou tepelnou vodivosťou, vysokou pevnosťou v tlaku, ľahkou mobilitou a pod. Môžu byť použité vo farbách a povlakoch, gume, plaste, umelých kameňoch, tmeloch a iných produktoch, ako sú plnivá a hmotnosť znižujúce činidlá. Taktiež môžu byť použité ako stabilizátor emulzných výbušnín.

Duté sklenené mikroguličky vďaka svojim vlastnostiam znižujú viskozitu a vnútorné napätie v živiciach, v dôsledku čoho sa vyvíja v kompozitných materiáloch menej tepla. Zaberajú menej povrchovej plochy, majú nízku rýchlosť vstrebávania oleja a rovnomerný rozptyl v zmesi. Ich ľahká stlačiteľnosť a integrácia umožňuje zabezpečiť vysokú úroveň plniva. To výrazne znižuje spotrebu živice, zvyšuje množstvo plniva, a tak znižuje náklady. Vďaka nízkemu zmršteniu a deformácii duté sklenené mikroguličky môžu výrazne zlepšiť húževnatosť výrobkov, ich odolnosť voči nárazu a povrchovú tvrdosť. Vzhľadom k ich vysokej tlakovnej pevnosti, sa používajú na výrobu vysoko-pevných cementov s nízkou hustotou a kvapalín s nízkou hustotou pri vŕtaní v ropnom a plynárenskom priemysle³⁻⁵. Ďalšou možnosťou aplikáciou je uskladnenie vodíka v nádržiach automobilov jazdiacich na vodík^{6,7}, ako aj v medicíne⁸.

Štúdia⁹, v ktorej sa porovnávali ekonomicke a ekologické aspekty používania súčasných kompozitných materiálov pri výrobe palubných dosiek v automobilovom priemysle a kompozitného materiálu vystuženého dutými mikrogulôčkami, ukázala, že z ekologickeho hľadiska je lepšie použitie dutých mikrogulôčok.

Experimentálna časť

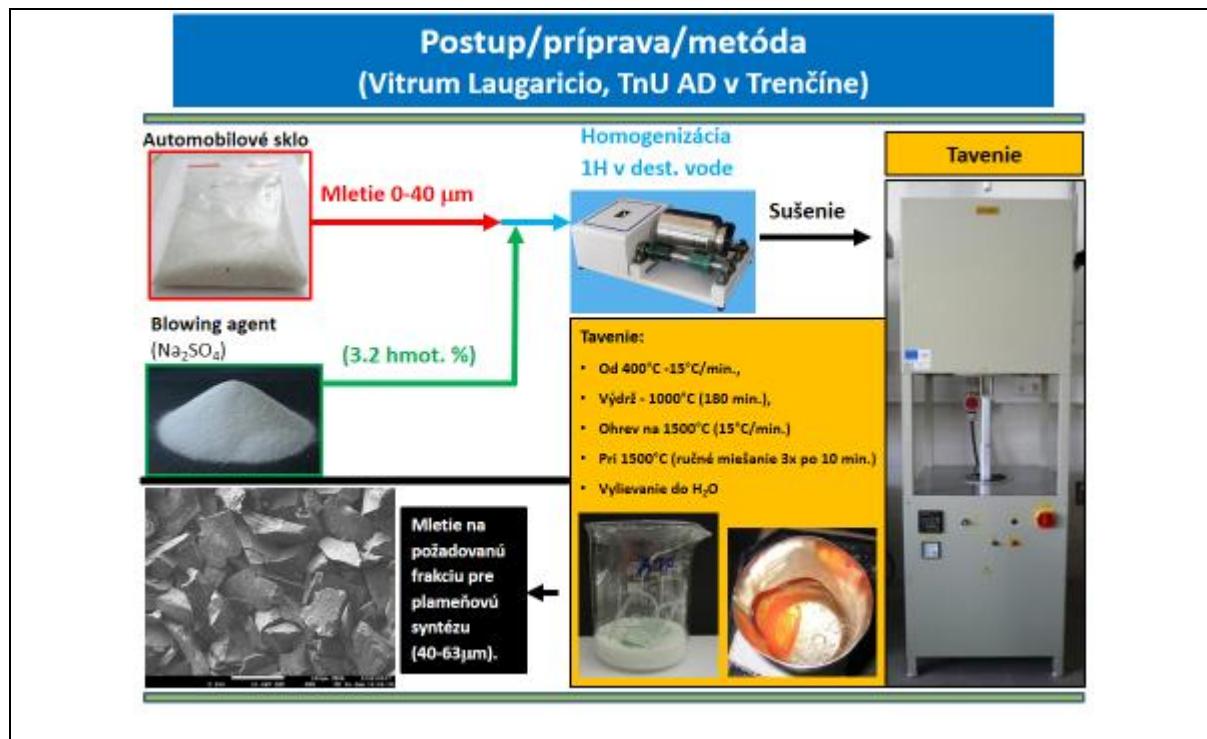
Na prípravu mikrogulôčok bolo použité odpadové automobilové sklo, spracované na SjF STU Bratislava. Z automobilového skla bola odseparovaná fólia, a sklo bolo sitovaním rozdelené na jednotlivé frakcie.

Z uvedeného skla bola urobená analýza chemického zloženia, tak XRF ako aj EDX metódou.

S cieľom získania čo najväčšieho podielu dutých mikrogulôčok bol do skla pridaný Na₂SO₄, tak aby tvoril hmotnosťný podiel 3,2 % z celkovej hmotnosti zmesi. Táto bola homogenizovaná po dobu 1 hodiny v destilovanej vode a po vysušení tavená v kantalovej peci. Podmienky tavby:

- od 400 °C nárast teploty 15°C/min.,
- pri 1000 °C výdrž – 180 min.,
- ohrev na 1500 °C s nárastom teploty 15 °C/min.,
- pri 1500 °C ručné miešanie 3x po 10 min.,
- vylievanie do H₂O.

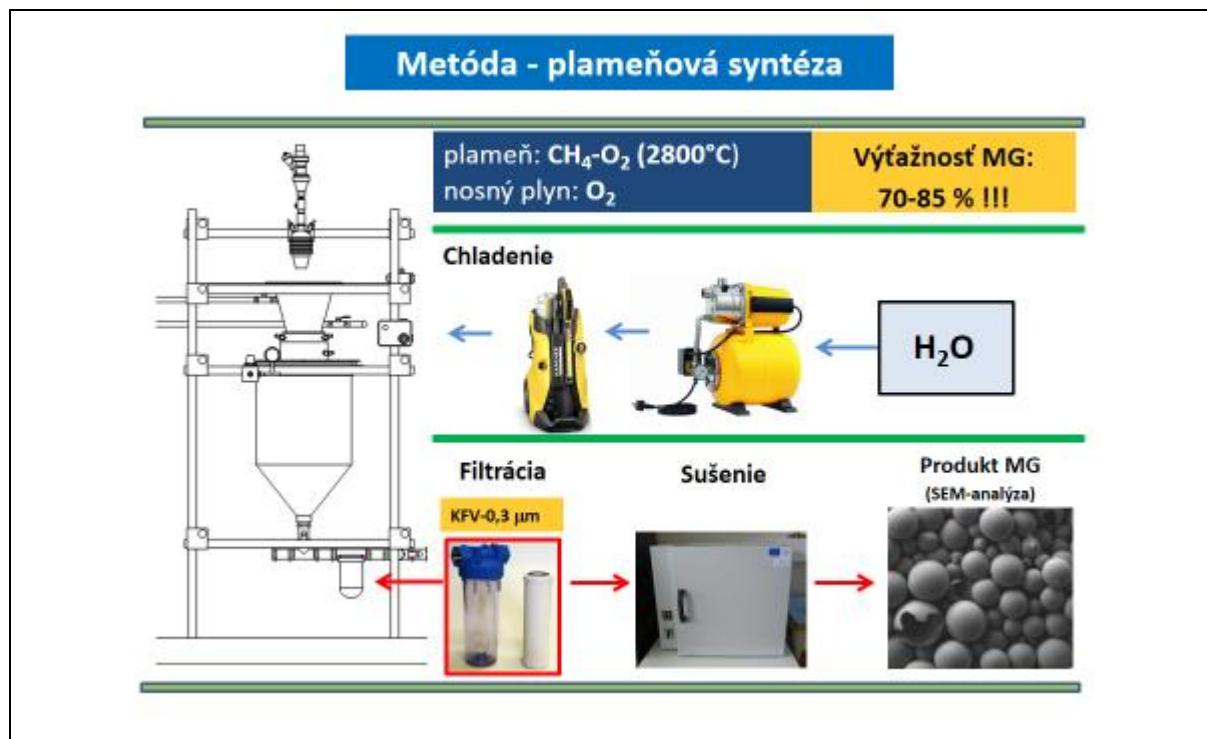
Po vysušení bolo pripravené sklo (A1P) mleté a presitované na požadovanú frakciu pre plameňovú syntézu 40 – 63 µm. Schéma prípravy skla pred prípravou mikrogulôčok je znázornená na obrázku 1.



Obrázok 1: Schéma prípravy skla pred prípravou mikrogulôčok

Mikroguličky boli pripravené plameňovou syntézou na pracovisku VITRUM LAUGARICIO, Trenčín. Schéma prípravy je uvedená na obrázku 2.

Plameňovou syntézou boli pripravené mikroguličky tak plné ako aj duté. Tieto sa odseparovali vo vode. Duté plávali na hladine, zatiaľ čo plné klesli na dno.



Obrázok 2: Schéma prípravy mikrogulôčok plameňovou syntézou

Na obrázku 3 je vidieť separáciu mikrogulôčok vo vode ako aj rozdiel v rozmere – duté mikroguličky sú objemovo väčšie.



Obrázok 3: Mikroguličky po separácii vo vode

Výsledky a diskusia

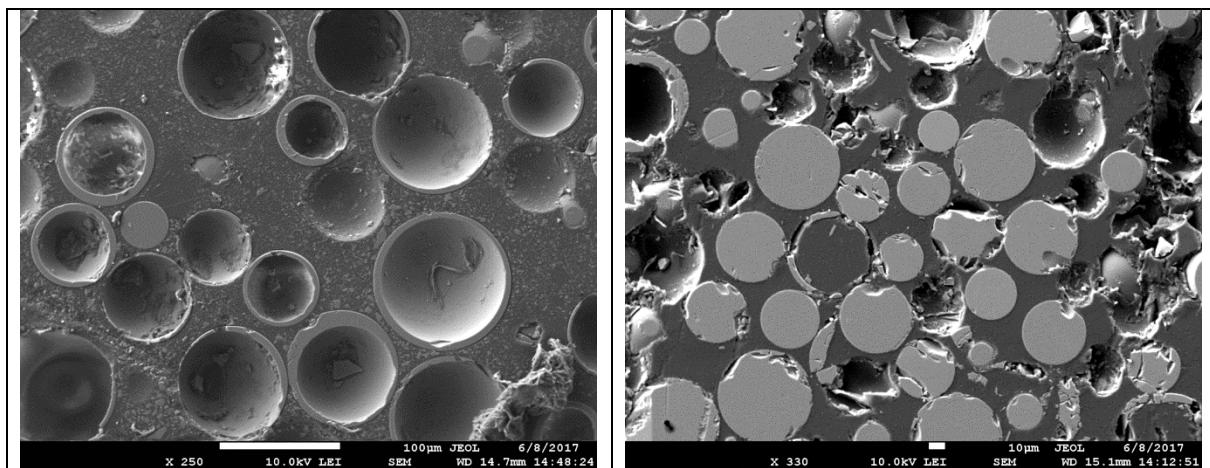
Chemické zloženie odpadového automobilového skla pred úpravou ako aj po pretavení s prídavkom Na₂SO₄ (A1P) je uvedené v tabuľke 1.

Tabuľka 1: Chemické zloženie odpadového skla stanovené XRF a EDS analýzou (hm. %),
A1P – sklo po pretavení

Oxid	XRF	EDS	EDS A1P
SiO ₂	72,25	73,89	71,38
Al ₂ O ₃	0,77	0,82	0,99
Fe ₂ O ₃	0,32	-----	
TiO ₂	0,04	-----	
CaO	8,52	8,08	7,98
MgO	3,92	3,85	3,68
Na ₂ O	13,80	12,90	14,77
K ₂ O	0,38	0,46	0,34
SO ₃			0,77

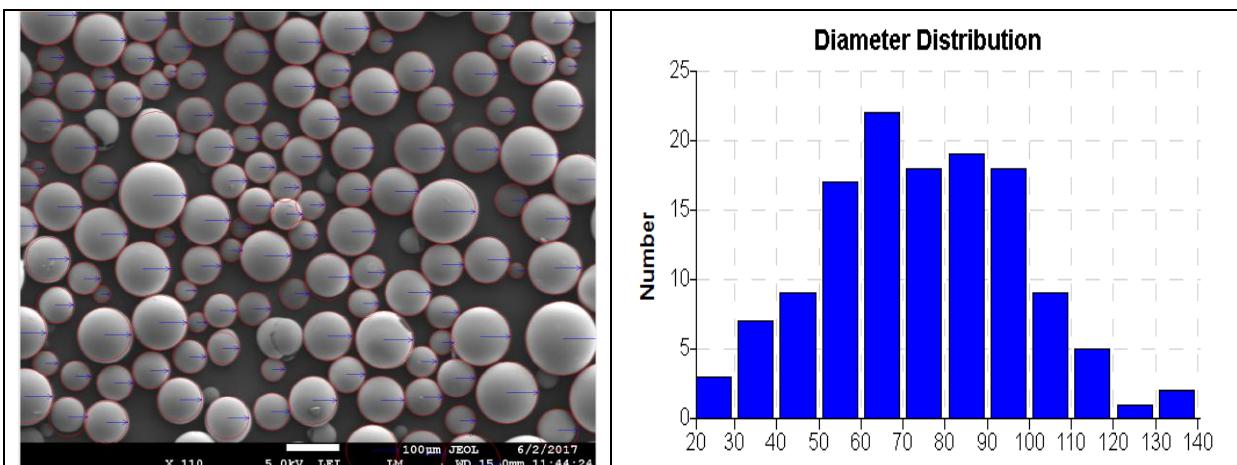
Výťažnosť prípravy mikrogulôčok zo skla plameňovou syntézou bola 70 – 85 %, pričom podiel dutých mikrogulôčok z celkového množstva mikrogulôčok bol 48 hm. %.

Na obrázku 4 sú porovnané v reze duté a plné mikroguličky.



Obrázok 4: Porovnanie dutých a plných mikrogulôčok v reze

Na obrázku 5 je znázornená distribúcia rozmerov dutých mikrogulôčok. Priemer prevažnej väčšiny dutých mikrogulôčok bol v rozsahu od 50 do 100 µm.



Obrázok 5: Rozdelenie veľkosti častíc dutých mikrogulôčok v µm

Jednou z možností využitia dutých sklenených mikrogulôčok pripravených z odpadového automobilového skla je ich použitie ako plnívo do plastov tvoriacich časti nového automobilu.

Použitím dutých mikrogulôčok sa

- zníži reálna hmotnosť dielu o 10 –15 %,
- skráti sa cyklus času vstrekovania o 10 %,
- zlepší sa rozmerová stabilita výrobku,
- znížia sa problémy s rovinnosťou dielov,
- materiál bude homogénnejší v porovnaní s chemickým napeňovaním.

Využitím mikrogulôčok pri výrobe nového výrobku použitého v automobile by sa tak zrealizoval cyklus odpad z automobilu – nový výrobok v automobile.

Záver

Metódou plameňovej syntézy boli z odpadového automobilového skla pripravené tak plné ako aj duté mikroguličky. Výťažnosť prípravy mikrogulôčok zo skla bola v rozmedzí od 70 do 85 %. Podiel dutých mikrogulôčok z ich celkového množstva bol 48 %. Priemer dutých mikrogulôčok bol väčší v porovnaní s plnými mikroguličkami, pričom výrazná väčšina mala rozmer v rozmedzí 50 – 100 µm.

Vďaka svojim unikátnym vlastnostiam majú duté mikroguličky široké použitie. Vzhľadom na ich prípravu s odpadového automobilového skla je zaujímavá možnosť ich použitia ako plnivo do plastov umiestnených v nových automobiloch. Využitím mikrogulôčok pri výrobe nového výrobku použitého v automobile by sa tak zrealizoval cyklus odpad z automobilu – nový výrobok v automobile.

Literatúra

1. [Šooš L., Pokusová M., Matúš M., Čačko V., Ondruška J., Bábics J. \(2016\)](#), Experimentálny výskum dekompozície lepených skiel, 1. vyd., STU Strojnícka fakulta
2. Pascoe R.D., Barley R.W., Child P.R. (2001) Autogenous grinding of glass cullet in a stirred Mill, In: Recycling and reuse of glass cullet, Thomas Telford, 15 – 27
3. Amos S. E., Yalcin B.: Hollow Glass Microspheres for Plastics, Elastomers, and Adhesives Compounds, Copyright _ 2015 Elsevier Inc., ISBN: 978-1-4557-7443-2
4. [www.3m.com](#)
5. [www.cnglassbead.com](#)
6. [www.nbcnews.com/id/5343023/ns/us_news-environment/t/future-glass-hydrogen-economy/](#)
7. Mohtadi R., Matsunaga T., Heung K., Schumacher R., Wicks G. (2011): Hollow Glass Microspheres as Micro Media for Complex Metal Hydrides Hydrogen Storage Compounds, J. South Carolina Acad. Sci 9(1) 3
8. Carr B.I. (2004): Hepatic Arterial 90Yttrium Glass Microspheres (Therasphere) for Unresectable Hepatocellular Carcinoma: Interim Safety and Survival Data on 65 Patients, Liver Transplantation, Vol 10, No 2, Suppl 1 (February), pp S107 – S110
9. Delogu M., Zanchi L., Maltese S., Bonoli A., Pierini M. (2016) Environmental and economic life cycle assessment of a lightweight solution for an automotive component: A comparison between talc filled and hollow glass microspheres-reinforced polymer composites, J. Clean Production, 139, 548 – 560

Hollow Glass Microspheres Produced from the Automotive Waste Glass

Peter ŠIMURKA^a, Štefan ŠKULTÉTY^a, Jozef KRAMNER^b

^a Slovak Glass Society, Sklárská 117, 02061 Lednické Rovne, Slovakia

^b VITRUM LAUGARICIO, Joint Glass Centre of the IIC SAS, TnU AD and FCHFT STU, Študentská 2, 911 50, Trenčín, Slovakia

E-mail: psimurka@gmail.com, skultety@zvsp.sk, kraxnerjozef@gmail.com

Summary

High-performance hollow glass microsphere is a kind of ultra-lightweight inorganic non-metallic material with hollow structure, and it is a versatile and high-performance new lightweight material developed in recent years. It will be the new composite materials at twenty-first century. Hollow glass microspheres are a unique class of materials with number of various applications. They are desirable in many industries for use as fillers for various organic and inorganic matrices, or can find applications in the medical field, for fabrication of lightweight composite materials, buoyancy materials, thermal insulation materials and for gas storage. This paper illustrates the production of hollow glass microspheres by flame synthesis from automotive waste glass. The morphology of the microspheres was examined by scanning electron microscopy (SEM) and their composition was determined by Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX). With regard to the preparation of microspheres from waste automotive glass, it is interesting to use them as a filler in plastics placed in new cars. By using microspheres in the production of a new product used in an automobile, a cycle of car waste - a new car product - would be realized.

Keywords: hollow, glass, microspheres, waste, automotive, flame synthesis

Recyklace stavebních a demoličních odpadů v ČR v podmírkách novelizované legislativy

Miroslav ŠKOPÁN

Vysoké učení technické v Brně, FSI, Technická 2, 616 69 Brno,
e-mail: skopan@fme.vutbr.cz

Souhrn

Článek analyzuje ve své první části způsoby nakládání se stavebními a demoličními odpady v ČR v letech 2007 až 2015. Poukazuje také na anomálie při sběru dat produkce a nakládání s nimi v legislativních podmírkách ČR. Dále jsou uvedeny některé legislativní problémy, které omezují možnost dalšího rozšiřování recyklace stavebních a demoličních odpadů zejména s ohledem na limitní hodnoty škodlivin. Tyto hodnoty jsou porovnány s limitními hodnotami shodných škodlivin v Rakousku.

Klíčová slova: recyklace, stavební a demoliční odpady, druhotná surovina, limitní hodnoty škodlivin.

Úvod

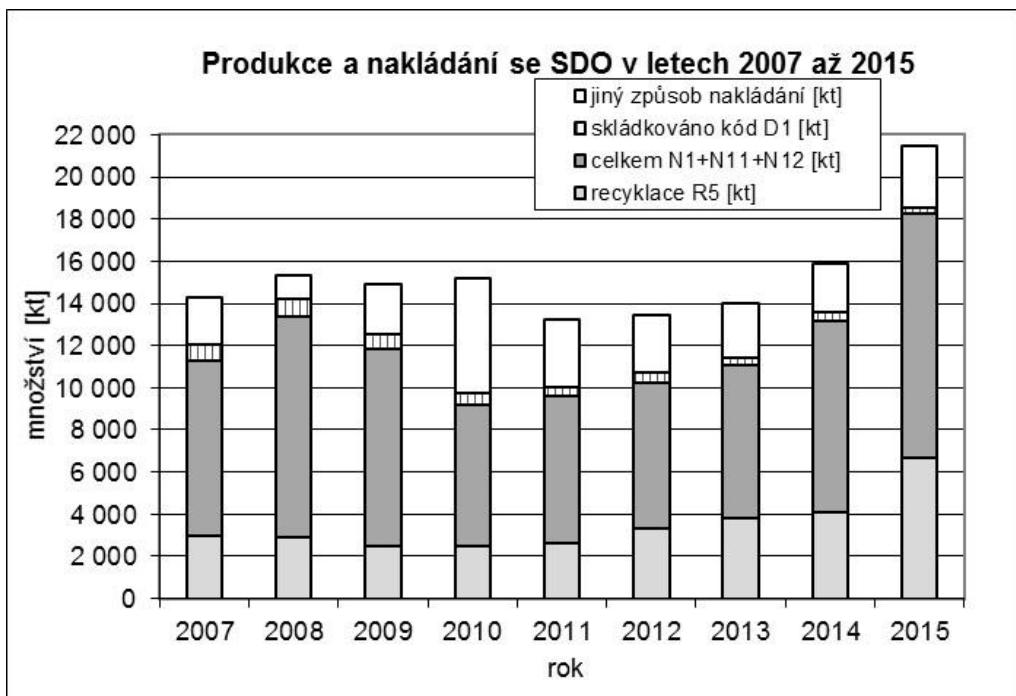
Produkce stavebních a demoličních odpadů je neoddělitelně spjata s takřka jakoukoliv stavební činností a výrobou. Vzniká jich značné množství a jejich recyklací vznikají produkty, které jsou schopny ve většině případů nahradit primární nerostné suroviny. K tomu je však nezbytné zvládnutí a řízení kvality technologie dekonstrukce staveb i výroby recyklovaného kameniva, a to jak po stránce stavebně technologické, tak i ohleduplnosti k životnímu prostředí.

Analýza produkce a nakládání se stavebními a demoličními odpady v ČR

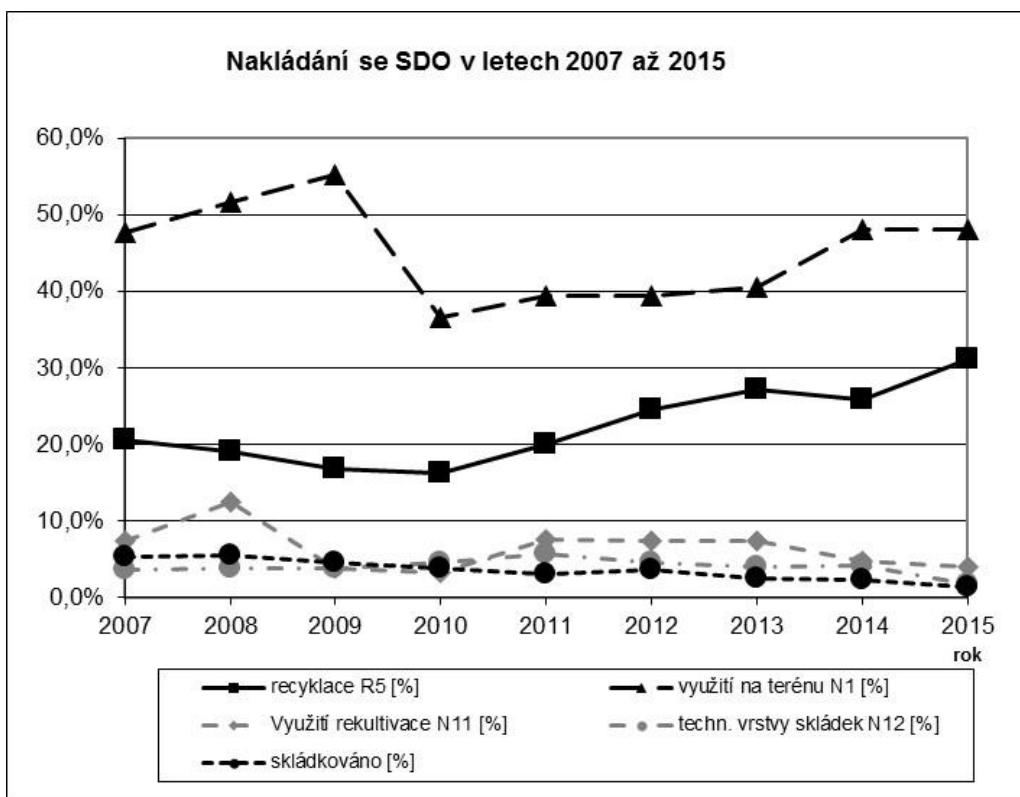
Tato část článku analyzuje produkci a způsoby nakládání se stavebním a demoličním odpadem na základě dat získaných z databáze Ministerstva životního prostředí (MŽP). Druhým subjektem v ČR, který zpracovává data o produkci a nakládání s odpady (včetně stavebních a demoličních odpadů) je Český statistický úřad. Ten data získává na základě statistických výkazů jednotlivých právnických a případně i fyzických osob. Odchylky dat v oblasti vzniku a nakládání se stavebními a demoličními odpady jsou v jednotlivých letech dosti značné. Příčiny tohoto stavu jsou mimo jiné zejména v odlišné metodice sběru a vykazování dat od jednotlivých subjektů. Tato problematika je nad rámec tohoto příspěvku.

Skutečná produkce stavebních a demoličních odpadů je však ještě vyšší, než uvádějí data MŽP. Totéž se týká i produkce recyklovaných stavebních materiálů. Je to dáno zejména dílcí zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech v aktuálním znění, který v odst. 1, § 3 uvádí: „Odpad je každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit.“. Pokud zmíněná osoba (ať již právnická nebo fyzická) nemá úmyslu se odpadu zbavit, protože jej hodlá dále využívat, byť v přepracované a recyklované podobě, není povinna takovýto „odpad“ do hlášení uvádět. Podmínkou je jen to, že tento materiál neohrožuje dle odst. 4 § 3 životní prostředí,

Toto se projevuje velmi významně právě u stavebních a demoličních odpadů v případech, kdy původce odpad využije pro sebe. Jako typický příklad lze uvést např. demolici nadzemní stavby, recyklaci vzniklé sutě a její využití ve stejně lokalitě např. pro účely budovaného parkoviště apod.



Obrázek 1: Celková produkce a nakládání se SDO v letech 2007 až 2015



Obrázek 2: Způsoby nakládání se SDO v letech 2007 až 2015

Na obrázku 1 je graf, který ukazuje na produkci a způsob nakládání se stavebním a demoličním odpadem. Z grafu je zřejmé, že produkce stavebních a demoličních odpadů se v uváděných letech 2007 až 2014 pohybovala v rozmezí 13 až 16 milionů tun ročně, v roce 2015 byl vykázán velmi vysoký nárůst na hodnotu 21 milionů tun. Tento skokový růst MŽP nijak nekomentovalo a může být způsoben důslednějším sběrem dat. Rozhodně však tento růst neodpovídá vývoji produkce stavební výroby v roce 2015, jak ji uvádí ČSÚ. S ohledem na způsoby nakládání se vzniklými SDO je třeba mít na zřeteli

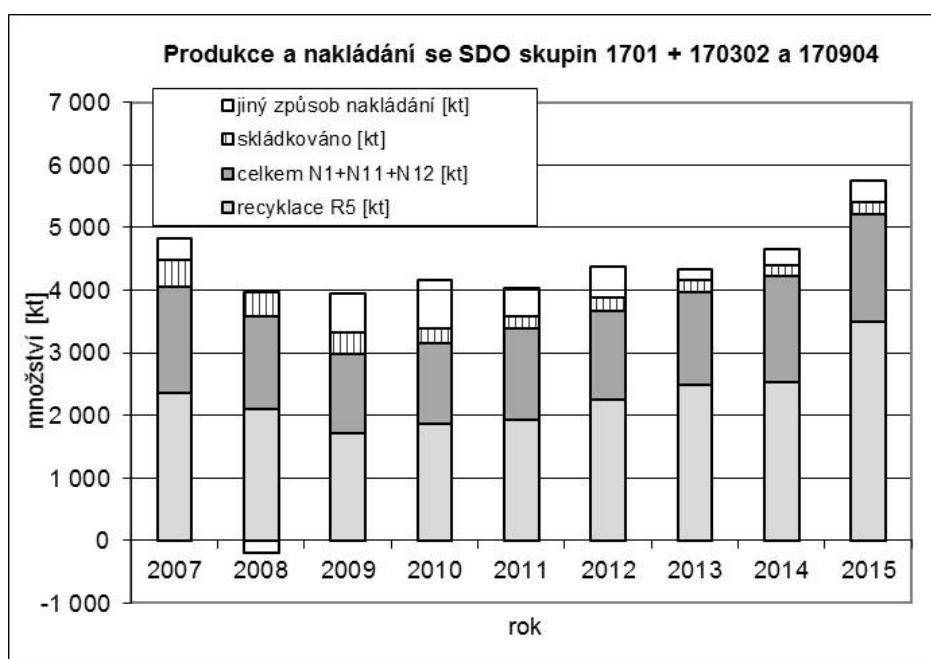
skutečnost, že největší množství z nich představují výkopové zeminy a hlušiny, které v jednotlivých letech tvoří 67 až 71 % celkového vykazovaného množství.

Spodní část jednotlivých sloupců v grafu uvádí množství recyklovaných materiálů (kód R5), nad ní je část s materiály využitými k terénním úpravám, rekultivacím a technologickým úpravám skládek (kódy N1, N11 a N12), dále množství skládkovaných stavebních odpadů (svisele šrafováno) a prázdné horní části sloupců uvádějí množství, která nejsou ve výše popsaných způsobech nakládání zachycena.

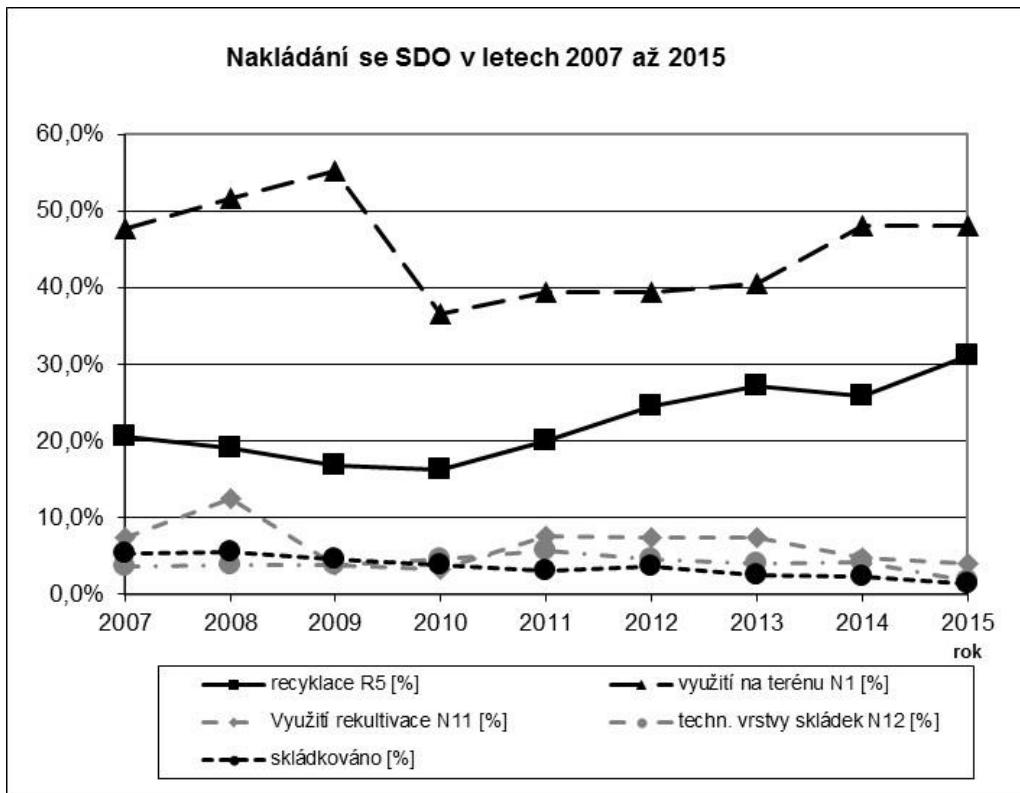
Byla provedena analýza produkce jednotlivých druhů SDO (obrázek 2). Za 100 % v každém roce je považována celková produkce stavebních a demoličních odpadů. Z obrázku je jednoznačně prokazatelné, že dominantním způsobem nakládání se SDO je jeho využití v neupravené podobě k terénním úpravám (N1). Tímto způsobem je využito ca 40 až 50 % vzniklých SDO. Druhý nejčastější způsob nakládání se SDO je jejich recyklace, která se za období let 2010 až 2015 zvýšila ze 17 % na takřka 31 %, tedy vůči stavu roku 2010 o více než 80 %. Další způsoby nakládání se SDO – tedy využití k rekultivacím (N11) a využití jako technologické vrstvy skládek (tedy využití neupraveného SDO) činí v jednotlivých letech 5 až 8 %. Skládkování SDO v letech 2007 až 2015 postupně klesalo z ca 6 % na hodnotu 1,3 %, což prokazuje, že SDO nejsou takřka vůbec skládkovány.

Jak je výše uvedeno, dominantní složkou SDO je výkopová zemina a hlušina. Z pohledu možnosti využití SDO jako kvalitního recyklovaného kameniva využitelného pro další stavební výrobu, jsou rozhodující složkou odpady skupiny 1701, tedy zejména betony, cihelné zdivo a keramika a jejich směsi. Dále jsou to odpady z rekonstrukcí komunikací – zejména skupina 170302 – asfaltové směsi bez nebezpečných vlastností. Dále je pro svoji velikost k tomu započtena i skupina 170904 (směsný stavební a demoliční odpad bez nebezpečných vlastností), který na základě praktických poznatků zpravidla v sobě zahrnuje odpady skupin 1701 a 170302.

Produkce a způsoby nakládání s odpady výše popsané skupiny je patrná z obrázku 3, který je strukturován obdobně jako obrázek 1. Spodní část jednotlivých sloupců v grafu uvádí množství recyklovaných materiálů (kód R5), nad ní je část s materiály využitými k terénním úpravám, rekultivacím a technologickým úpravám skládek (kódy N1, N11 a N12), dále množství skládkovaných stavebních odpadů (svisele šrafováno) a prázdné horní části sloupců uvádějí množství, která nejsou ve výše popsaných způsobech nakládání zachycena.



Obrázek 3: Celková produkce a nakládání s vybranými skupinami SDO v letech 2007 až 2015



Obrázek 4: Způsoby nakládání s vybranými skupinami SDO v letech 2007 až 2015

Z grafu na obrázku 3 je zřejmé, že produkce uvedených skupin SDO činila v jednotlivých sledovaných letech 4 až 4,5 milionu tun, v roce 2015 to bylo takřka 6 milionů tun. Je jednoznačně patrné, že dominantním způsobem nakládání s odpadními betony, cihlami, keramikou, asfaltovými směsí a směsí z uvedených materiálů je recyklace. Množství recyklovaných materiálů z těchto skupin se pohybovalo v rozmezí od 1,8 milionu tun v roce 2009 do 3,4 milionu tun v roce 2015. S ohledem na množství produkce stavebního kamene, které se pohybuje kolem 40 milionů tun ročně a písků a štěrkopísků, jejichž roční produkce činí dalších ca 30 milionů tun ročně, se jedná o množství relativně nízké, které ovlivňuje produkci přírodních nerostných surovin z ca 5 %.

Relativní grafy na obrázku 4 znázorňují způsoby nakládání s vybranými skupinami SDO (obdobně jako obrázek 2). Míra recyklace betonů, cihel, keramiky a asfaltových směsí a jejich směsí se v letech 2007 až 2015 pohybovala v rozmezí 43 % až 61 %. Prokazuje se, že i přes nárůst produkce stavebních a demoličních odpadů vhodných k recyklaci zvládá toto odvětví vzniklé odpady recyklovat.

Některé legislativní podmínky při produkci recyklovaných stavebních materiálů

Současná legislativa relativně podporuje proces recyklace SDO. Od 1. 1. 2017 platí vyhláška č. 387/2016 Sb., kterou se mění vyhláška č. 294/2005 Sb., o podmírkách ukládání odpadů a jejich využívání na povrchu terénu.

Hlavní změnou ve vyhlášce č. 294/2005 Sb., která se týká způsobů nakládání se stavebními a demoličními odpady, je zrušení výjimky pro jejich využívání v neupravené podobě na povrchu terénu. V § 12 odst. 1 je nyní mimo jiné uvedeno: „Na povrchu terénu dále nelze využívat stavební a demoliční odpady s výjimkou zeminy, jalové horniny, hlušiny, sedimentů, recyklátu ze stavebního a demoličního odpadu a vybouraných betonových nebo železobetonových bloků využívaných jako náhrada za lomový kámen k účelům, pro které není technicky možné využít recyklát ze stavebního a demoličního odpadu.“

Zákaz využívání stavebních a demoličních odpadů podle tohoto odstavce se nevztahuje na jejich využívání při uzavírání skládek k vytváření uzavírací těsnící vrstvy skládky.“ Z toho je patrné, že stavební a demoliční odpady, jako jsou betony, cihly, keramika a jejich směsi, případně i asfaltové směsi bez obsahu dehtu, lze ukládat na povrch terénu pouze ve formě recyklátu.

Protože vyhláška pracuje s pojmem recyklát, je tento materiál definován v § 2 této vyhlášky. Zde se v odstavci v) uvádí: „**recyklát ze stavebního a demoličního odpadu** – materiálový výstup ze zařízení k využívání a úpravě stavebních a demoličních odpadů kategorie ostatní odpad a odpadů podobných stavebním a demoličním odpadům, spočívající ve změně zrnitosti a jeho roztržidění na velikostní frakce recyklovaného umělého kameniva v zařízeních k tomu určených.“

Z této díkce je zcela zřejmé, že vytvořit recyklát ze stavebního a demoličního odpadu lze pouze v zařízení k tomu určeném, které má udělený souhlas místně příslušného krajského úřadu a dalších institucí, který je nezbytný k nakládání s tímto materiélem v souladu s platnou legislativou.

Jeden z hlavních problémů využívání recyklátů ve stavebnictví však spočívá v tom, že z hlediska možných škodlivých účinků jsou jejich vlastnosti stále posuzovány podle přílohy 10 zmíněné vyhlášky. Jde zejména o limitní hodnoty některých škodlivin v sušině odpadů (tab. 10.1. vyhlášky). Z hlediska dodržení limitních hodnot je dosti problematická nízká limitní hodnota arsenu (10 mg/kg) a polyaromatických uhlovodíků PAU (6 mg/kg). Tabulka naprosto nezohledňuje skutečnost, pro jaký účel budou vyrobené recykláty využity, což je zcela nelogické. Jeden příklad za všechny – odfrézovaná asfaltová vrstva z vozovky obsahuje zpravidla více PAU, než udává limitní hodnota. Tato skutečnost je typická u všech asfaltů a vyhláška nedokáže zohlednit, zda bude materiál uložen v sypkém stavu v hydrogeologicky citlivém místě, nebo zda bude teplou cestou zpracován do nové pokládkové asfaltové směsi. V sousedním Rakousku je dle platné legislativy vždy zohledněno to, jakým způsobem lze materiál s konkrétními hodnotami škodlivin využít. Obecně lze konstatovat, že rakouské předpisy [3, 4] mají pro využívání recyklovaných stavebních materiálů stanoveny vyšší dovolené limitní hodnoty škodlivin než v ČR. Další zcela nelogickou skutečností nové vyhlášky je i stanovení limitní hodnoty obsahu arsenu v sušině pro kaly z ČOV – 30 mg/kg. Tyto kaly jsou přitom určené k aplikaci na zemědělskou půdu, což představuje prokazatelně výrazně vyšší ohrožení životního prostředí než drcený recyklát použitý jako podkladní vrstva při stavbě komunikací nebo plnivo do betonu. Přehled některých problémových a diskutabilních limitních hodnot je v tabulce 1.

Tabulka 1: Porovnání limitních hodnot škodlivin dle různých předpisů

		Limitní hodnoty			
Dle předpisu		Vyh. Č. 294/2005 Sb.	Rakouská vyhláška ¹⁾	U-A ²⁾	U-B ³⁾
Ukazatel	jednotka	odpady	kaly	U-A ²⁾	U-B ³⁾
Arsen (As)	mg/kg	10	30	nestanovuje	nestanovuje
Pb	mg/kg	100	100	150	150/500 ⁴⁾
Cr	mg/kg	200	200	90/300 ⁴⁾	90/700 ⁴⁾
Hg	mg/kg	0,8	0,8	0,7	0,7
Nikl	mg/kg	80	80	60/100 ⁴⁾	60 ⁵⁾
PAU ⁶⁾	mg/kg	6	6	12	20

1) Viz literatura [3, 4]

2) Pro nestmelené propustné krycí nebo nosné vrstvy, plnivo do betonu a asfaltových směsí

3) Pro nestmelené nepropustné krycí nebo nosné vrstvy, plnivo do betonu a asfaltových směsí

4) Platí v případě vyšší hodnoty přírodního pozadí

5) Při vyšší hodnotě přírodního pozadí bez omezení

6) V ČR se provádí PAU Σ 12, v Rakousku je to PAU Σ 16 – obsahuje tedy o 4 látky více

Závěr

Stavební a demoliční odpady jako jeden z hlavních hmotnostních proudů v materiálovém toku odpadů představují i významný zdroj druhotních surovin. Pro jejich smysluplné využití v další výstavbě bylo v uplynulých letech věnováno nemálo úsilí jak ze strany řady dotčených orgánů státní správy, ale zejména ze strany firem, které se touto činností zabývají. Navíc v oblasti výzkumu bylo dosaženo řady výsledků, které jednoznačně prokazují, že recyklované stavební materiály lze s řadou výhod využít i ve stavební výrobě.

Současné legislativní podmínky však v sobě obsahují řadu omezujících podmínek, které dalšímu rozvoji recyklace brání. Tuto nepříznivou situaci by bylo možno zlepšit pouze přijetím komplexní legislativy upravující podmínky pro vznik a nakládání se SDO, obdobně jak to bylo učiněno v letech 2015 a 2016 v Rakousku.

Poděkování

Děkujeme Českému ekologickému manažerskému centru za umožnění vydávat tento recenzovaný časopis.

Literatura

1. M. Škopán, Recykláty z inertních stavebních a demoličních odpadů. in Odpadové Fórum 3/2017. ISSN 1212-7779. 14 – 17.
2. M. Škopán, Podmínky pro rozvoj využívání recyklovaných stavebních materiálů ve stavebnictví. In Sborník konference RECYCLING 2017, vydalo VUT v Brně, ISBN 978-80-214-5485-9, (2017) 20 – 25.
3. 181/2015 181. Verordnung: Recycling-Baustoffverordnung. Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Pflichten bei Bau- und Abbruchtätigkeiten, die Trennung und die Behandlung von bei Bau- und Abbruchtätigkeiten anfallenden Abfällen, die Herstellung und das Abfallende von Recycling-Baustoffen. Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich. Juni 2015
4. 290/2016 Verordnung: Änderung der Recycling-Baustoffverordnung. Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich. Oktober 2016

Recycling of construction and demolition waste in the Czech Republic under the current low conditions

Miroslav ŠKOPÁN

Brno University of Technology, FME, Technická 2, CZ - 616 69 Brno.

Summary

The article analyzes in its first part the methods of handling of construction and demolition waste in the Czech Republic in the years 2007 to 2015. It also points to the anomalies in the collection of production data and their handling in the legislative conditions of the Czech Republic. There are also some legislative issues that limit the possibility of further expansion of the recycling of construction and demolition waste, especially with regard to the limit values of pollutants. These values are compared with Austria's limit values for the same pollutants.

Keywords: recycling, construction and demolition waste, secondary raw material, limit values of dangerous substances

Prototyp tlakového uzáveru výstupu suchých kalov proti úniku pary

Juraj ONDRUŠKA^a, Lubomír ŠOOŠ^a, Jozef BABICS^a, Iveta ONDEROVÁ^a, Jerzy CHOJNACKI^b

^a Slovenská technická univerzita v Bratislave, Strojnícka fakulta, Nám. slobody 17, 812 31 Bratislava, Slovenská republika

^b Koszalin University of Technology, Koszalin, ul. Śniadeckich 2, 75-453 Koszalin, Poland

e-mail: juraj.ondruska@stuba.sk, lubomir.soos@stuba.sk, jozef.babics@stuba.sk, iveta.onderova@stuba.sk, jerzy.chojnacki@tu.koszalin.pl

Súhrn

Téma článku sa zaoberá vývojom konštrukčného riešenia tlakového uzáveru na princípe briketovania. Prototyp tlakového uzáveru umožňuje efektívnejsie sušenie kalov ČOV pomocou pary. Základom procesu vývoja boli teoretické znalosti fyzikálnych a mechanických parametrov kompaktovaných materiálov a merané parametre za rôznych podmienok na funkčnom modeli zariadenia. Determinujúcim faktorom bolo pochopenie vplyvu a kontextu nameraných fyzikálnych parametrov na návrh zariadenia.

Na závitovkej lisovacej komore uzáveru bolo vykonaných niekoľko meraní. Pozorované parametre boli krútiaci moment, otáčky v reakcii na konštrukčné parametre klieštiny zariadenia. Počas skúšok sa merala aj hustota brikety, ktorá sa vyhodnocovala v závislosti od prevádzkových parametrov procesu. Na základe výsledkov bola vytvorená unikátna konštrukcia tlakového uzáveru. V procese merania a vyhodnocovania boli použité vhodné štatistické metódy. Použitím progresívnych metód konštruovania bola navrhnutá jedinečná konštrukcia. Návrh bol overený fyzikálnymi výpočtami a metódami MKP. Funkčný model bol experimentálne overený. Aktuálne prebiehajú prevádzkové testy u zákazníka.

Kľúčové slová: tlakový uzáver, briketovanie, sušenie parou, kal z ČOV, závitovka, klieština, klapka

Úvod

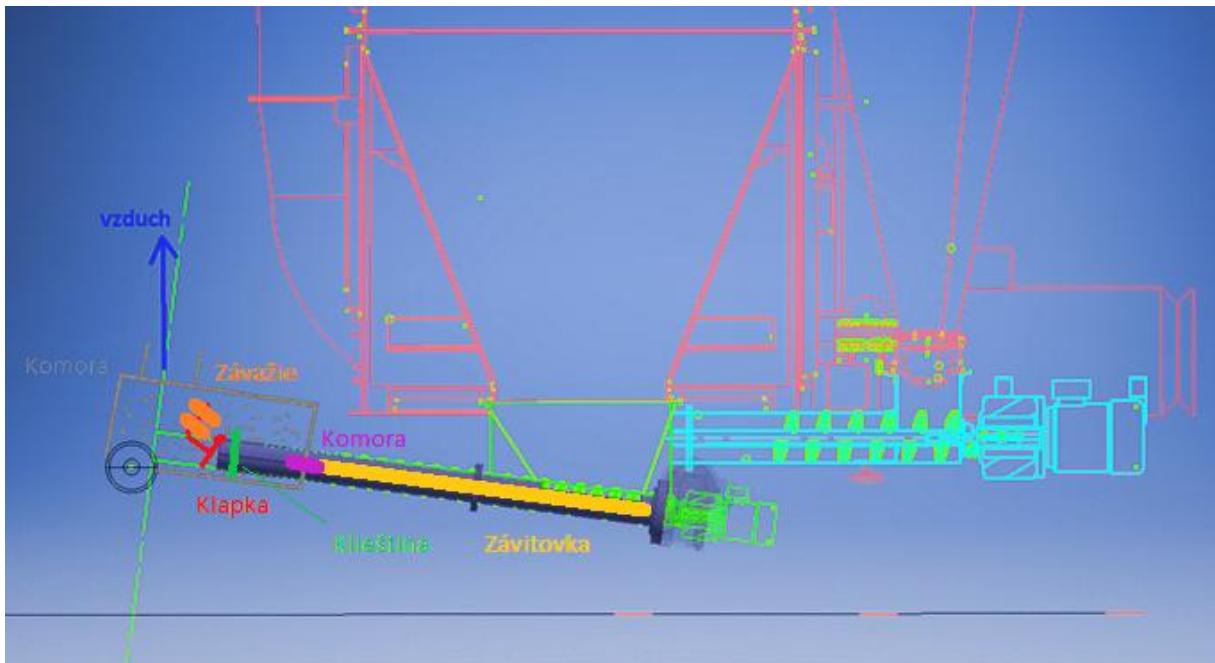
V článku popisujeme niektoré kľúčové poznatky získané pri vývoji a optimalizácii kontinuálneho tlakového uzáveru. Súčasťou opisovaného vývoja je súbor meraní a ich vyhodnotenie. V zariadení sa predpokladá celoročná prevádzka, t.j. 8000 prevádzkových hodín ročne. Prostredie je korozívne. Pri procese sušenia sa zo sušeného materiálu uvoľňuje vlhkosť v podobe beztlakových vodných párov a uvoľňujúcich sa látok vzniknutých pri sušení v priestore dopravy kalov. Dopravovaná surovina je vysoko abrazívna s veľkým obsahom jemného prachu.

Z prvotnej prípravnej fázy vývoja sme zistili, že pri mimoriadnych prevádzkových stavoch môže materiál obsahovať aj častice do 20 mm, cesty môžu byť zaplavene vodou. Materiál má tendenciu nalepovať sa na vnútornej konštrukcii vrátane presypov. Pri chladnutí má tendenciu tuhnúť a tvrdnúť. Pri vyšších lisovacích tlakoch dochádza k tvorbe pevných a kompaktných štruktúr zlisovaného materiálu, ktoré upcpávajú dopravné trasy. Prevádzkový režim zariadenia je nepretržitý, s občasnými prerušeniami v prevádzkových odstávkach. Maximálny surovinový tok predstavuje celkom 550 kg/h, t.j. 1,32 m³/h. Vysušené haly dosahujú teplotu až 120 °C, obvykle 90 st. °C.

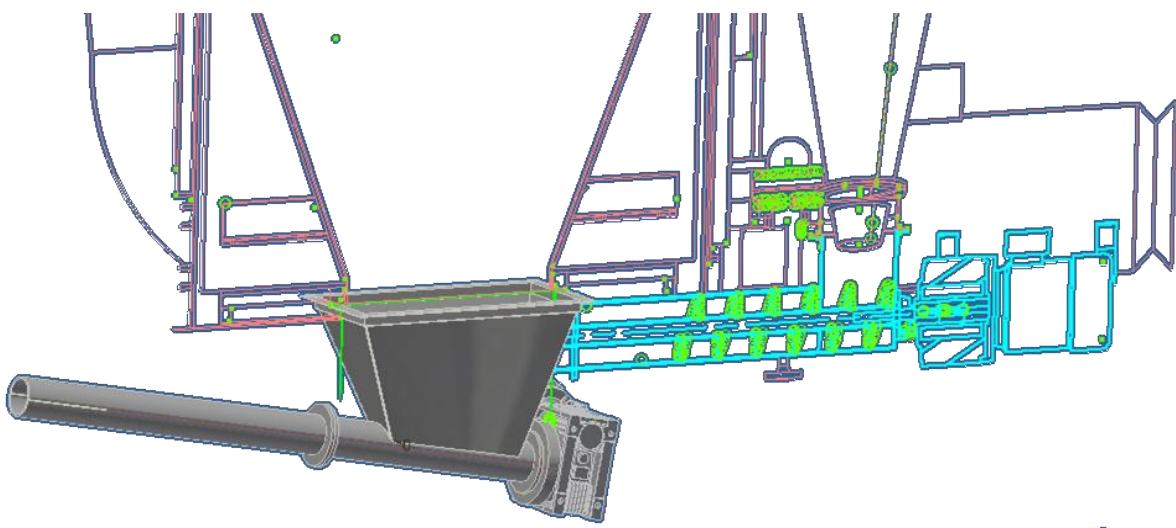
Návrh koncepčného riešenia

Cieľom prvej etapy vývoja bol návrh koncepčného riešenia celého zhutňovacieho modelu ako uzáveru pretlakového priestoru sušiarne a jeho implementácia do existujúcej technologickej linky sušenia kalov pretlakovou parou v uzavretom cykle odlučovania prebytočnej vody. Výstupom riešenia bol návrh celkového usporiadania zhutňovacej jednotky. Pre túto jednotku sme navrhli vhodný pohon, spôsob automatickej regulácie protitlaku, odsávania pary, či chladenia. Vývojová práca zariadenia

zahrňuje koncepcný návrh komponentov ako sú: lisovacia závitovka, lisovacia hubica, lisovacia komora, klieština so systémom regulácie protitlaku, pohon. V rámci riešenia úlohy bola navrhnutá logika riadenia a stabilizácie procesu.



Obrázok 1: Koncepcné usporiadanie prvkov tlakového uzáveru



Obrázok 2: Implementácia zariadenia do prevádzky sušiarne

Výroba funkčného prototypu

V rámci našich dielenských možností s podporou digitálnych modelov, výpočtov, simulácií aj ručných náčrtkov prebehla komplexná výrobcno-montážna fáza prvého prototypu experimentálneho zariadenia. Na obrázku 1 je skúšobný prototyp zariadenia.

Vychádzajúc z nameraných výsledkov zlisovateľnosti materiálu za studena pri jednoosovom lisovaní a dodaných parametrov linky sme určili vhodný priemer ako i stúpanie závitovky. Vnútorný priemer komory bol určený na \varnothing 85 mm, závitovka \varnothing 85 mm so stúpaním 1:1 a otáčky 110 ot/min s výkonom 2,2 kW. Východiskový stav dĺžky lisovacej komory voči priemeru bol navrhnutý v pomere 1:1. Na základe

prvých skúšok v dôsledku vysokých tlakov a nedostatočného regulačného rozsahu klieštiny bola dĺžka komory skrátená na vhodný rozmer, pričom Klieština sa predížila. Požadovaná dĺžka (dosiahnutý tlak v komore) bol stanovený na základe vlastností výstupnej „brikety“. Dostatočný regulačný rozsah klieštiny bol považovaný za správny, ak bolo možné pohon v experimentálnych otáčkach zastaviť len zvýšením odporu na výstupe a následne pri uvoľnení klieštiny a zvýšení momentu na 200 Nm bolo možné proces briketovania naštartovať do stabilného stavu prevádzkových momentov a otáčok pri správnej kvalite výstupu.



Obrázok 3: Základný skúšobný prototyp zariadenia na STU, kvalita výstupu.

Verifikačné poloprevádzkové skúšky

Po úpravách konštrukcie do stavu schopného udržať stabilný chod lisovania bolo nutné overiť správanie konštrukcie v podmienkach podobných reálnej prevádzke. Na základe našich skúseností a v minulosti realizovaných výskumných a vedeckých poznatkov sme predpokladali, že teplota bude mať zásadný vplyv na proces tvorby tlakového uzáveru, požadované parametre pohonu a samotný výkon zariadenia z hľadiska priemernej hmotnosti materiálu spravovaného za 1 h. Prvotné merania na jednoosovom lise v uzavretej komore sa pre tento prípad nedali považovať za dostatočné pre konštrukčnú optimalizáciu prototypu. Pred fázou merania nebolo možné jasne určiť aký výkon v kg/h bude mať tlakový uzáver. Pred skúškami v prevádzke bolo preto nutné overiť funkčnosť, výkon, možnosti regulácie zastavovania a rozbehu. Na obrázku 3 je upravený prototyp zariadenia a pracovná závitovka.

Posledné skúšky na pôde STU boli zamerané na verifikáciu funkčnosti zostavy experimentálneho prototypu, stanovenie predpokladaného výkonu zariadenia pri prevádzkových teplotách a vhodnej kvalite výstupu. Ďalším cieľom bolo určiť tendenciu zmeny výkonu a hustoty výlisku s narastajúcou teplotou. Dôvodom zisťovania tendencie boli zadávateľom uvedené informácie o predpokladanej teplote v lisovacej komore, ktorá sa môže pohybovať od 90 do 120 °C. Vzhľadom na náročnosť simulovania prevádzky zariadenia pri teplote vyššej ako 90 °C s prípadným vplyvom prevádzkových pár bolo nutné určiť predpokladaný trend zmeny vlastností so stúpajúcou teplotou, abysme vedeli predvídať správanie sa systému počas reálnej prevádzky.

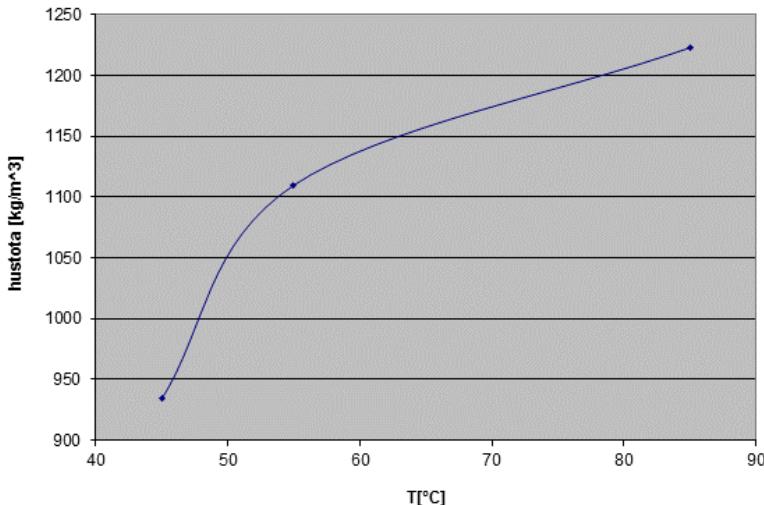
Z hľadiska minimalizácie rozdielov vo vlhkosti lisovanej suroviny bol dodaný kal uzavretý v nádobách tak, aby sa zachovala jeho prevádzková vlhkosť. Lisovacia komora bola vopred nahriata na 45 °C, 55 °C a 85 °C. Kal na vstupe sa ohreval v uzavretých nádobách pomocou mikrovlnného ohrevu na 45 °C, 55 °C a 85 °C aby sa minimalizovala zmena vlhkosti suroviny na vstupe. Abysme kompenzovali vplyv pretlaku prevádzkových párov v procese reálnej prevádzky 6,5 kPa pri plnení, tak sme na materiál v násypke tlačili ekvivalentnou silou na primeranú plochu. Meranie bolo kontinuálne. Vzorky sa odoberali v stabilnom režime extrúzie. Vzhľadom na obmedzený objem suroviny sme meranie „hodinového“ výkonu zariadenia stanovili len pri teplote najpodobnejšej prevádzkovej, čo je 85 °C. Aby bolo možné zabezpečiť efektívny ohrev suroviny, otáčky sme museli obmedziť na maximálnu hodnotu 5,6 ot/min. Namerané a odvodené hodnoty sú v tabuľke 1.



Obrázok 4: Vzorky pri rôznych teplotách. Pk [mm] - stúpanie po kompresii, pôvodné stúpanie závitovky Pz = 80 mm

Tabuľka 1: Zistovanie vplyvu teploty na hustotu výlisku a určenie výkonu zariadenia prie teplote 85 °C

Vzorka	T[°C]	Dĺžka vzorky L [mm]	Hmotnosť m [g]	Čas extruzie vzorky t[s]	Pohon ot [1/min]	Krútiaci moment Mk [Nm]	Priemer lis. kom. D [mm]	výkon [kg/h]	objemové zhutnenie	objem výlisku V [dm³]	hustota výlisku [kg/m³]	pomer zlisovaní a v osi x	x-rozmer závitu po zlisovaní	Stúpanie závitovky P[mm]
1	45	60	318					1,4	0,34	934	3,3	24,5		
2	55	140	882					1,7	0,79	1110	4,0	20		
3	85	145	1006,8	120,8	5,6	200	85	30,016	1,9	0,82	1224	4,7	17	80



Obrázok 5: Orientačná závislosť hustoty brikety od teploty

Na obrázku 5 je vidieť zhutnenie v smere osi lisovania v podobe parametrov stopy po závitie. Miera zhutnenia v smere osi lisovania je výrazne vyššia, ako je objemové zhutnenie. Stúpanie závitovky je 80 mm, ale po zlisovaní hrúbka zlisovania na jeden závit nezodpovedá objemovému pomeru zhutnenia.

Vzhľadom na obmedzené technické a materiálové zabezpečenie vyhradené na tento verifikačný experiment je potrebné výsledky bráť len ako orientačné. Určenie presnejších závislostí plánujeme určiť z hodnôt nameraných priamo v reálnej prevádzke, kde je prototyp dlhodobo skúšaný. Tam je možné odobrať väčší počet vzoriek a nebudeme obmedzený výkonom mikrovlnného ohrevu.

Na základe nameraných výsledkov boli určené požiadavky na pohon pri požadovanom výkone zákazníkom 550 kg/h. Aproximované otáčky pohonu pre požadovaný výkon sú približne $550/30 \cdot 5,6 = 102,66 \text{ ot/min}$, tomu zodpovedá výkon motora $P = 2 \cdot \pi \cdot 200 \cdot 102,66 / 60 = 2,150 \text{ kW}$. Približne takéto parametre boli považované za akceptovateľné pri skúške v reálnej prevádzke. Pri prevádzkovej teplote 90 – 120 °C sa na základe trendu zvyšovania hustoty s teplotou a predpokladaného znižovania požadovaných krútiacich momentov pri stabilizovanej extrúzii v prevádzke určil pohon s motorom 2,2 kW, otáčkami 1395 ot/min s prevodovkou s prevodovým pomerom $i = 15$. Nominálne otáčky pohonu pri 60 Hz sú 93 ot/min, ale pomocou frekvenčného meniča je možné ich zvyšovať na požadovanú hodnotu.



Obrázok 6: Prototyp zariadenia so skúšobným pohonom 2,2 kW; 93 ot/min, prevodovkou $i=15$ a frekvenčným meničom

Prototypové skúšky v prevádzke

Po dokončení všetkých prípravných fáz a finalizácii spojenou s inštaláciou zariadenia do komplexnej technológie bolo zariadenie doručené zadávateľovi. Prvotnú predmontáž a prípravu realizoval zadávateľ vo vlastnej réžii. Pri finalizácii montáže a prvom nábehu zariadenia boli aktívne účastníci pracovníci STU.



Obrázok 7: Implementácia tlakového uzáveru v prevádzke

V rámci prebiehajúcich experimentov bol riešený aj nábeh a dobeh systému, čo sa pri týchto zariadeniach považuje vždy za kritický prevádzkový stav. K nábehu zariadenia bola navrhnutá samoregulačná klapka, kde činnosť je zabezpečená množstvom závažia vyvolávajúceho protitlak na vychádzajúcu surovinu, pokiaľ nedôjde k zhutneniu na potrebnú hustotu. Po ustálení hustoty brikety sa klapka dvíha a naďalej napomáha regulácii procesu zhutňovania v súčinnosti s klieštinou. Pri dobehu zariadenia je potrebné odľahčiť klapku a následne nechať dobehnuť proces až po vyprázdnenie celej komory, kedy už klieština stráca účinnosť a materiál ostáva sypký.

Rozmer celého dopravníka so zhutňovaním bol prispôsobený k technologickej linke. Vyrobila sa nová násypka podľa rozmerových požiadaviek s možnosťou napojenia sekundárneho toku materiálu z cyklónového odlučovača.



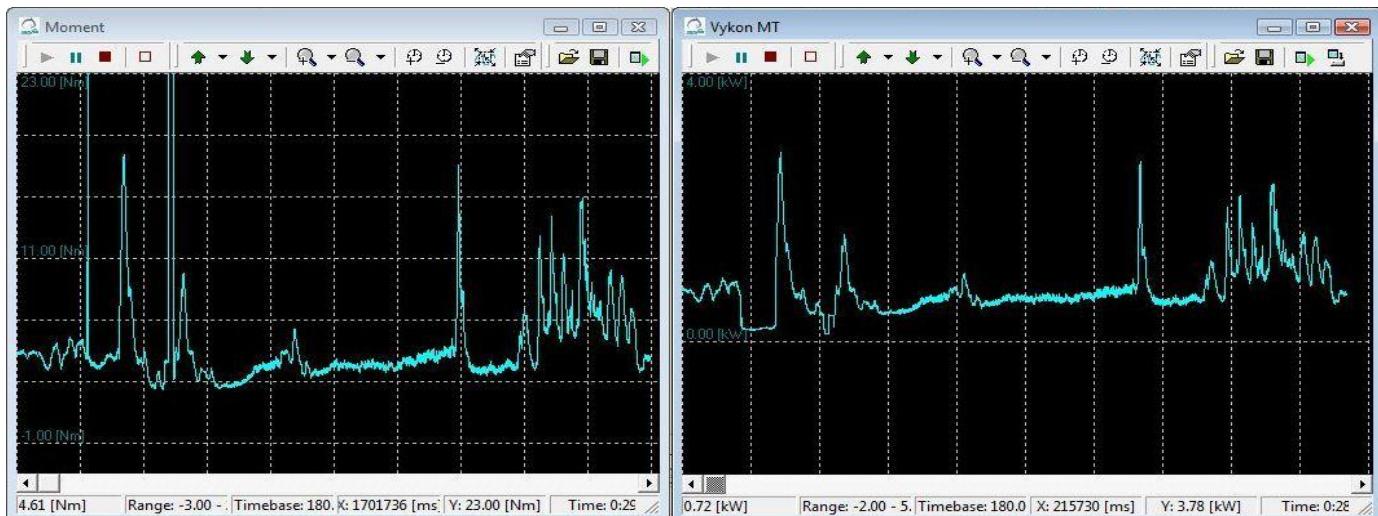
Obrázok 8: Regulačná klapka

Po montáži zariadenia na technologickú linku sme urobili základné merania pri plnej prevádzke. Na nasledujúcom obrázku je záznam momentu motora a výkonu motora. Z priebehov je vidno prudké nárasty momentu (výkonu) zapríčinené príliš hustou briketou, ktorá narážala do závitovky ďalšieho dopravníka a pokiaľ nedošlo k rozrušeniu, sila rástla. Po zmene hustoty sa parametre na určitú dobu ustálili, ale potom opäť nastalo pozvoľne zvyšovanie zhutňovania a následné narážanie brikety do závitovky ďalšieho dopravníka. Následne bolo potrebné určiť potrebné nastavenie regulačnej klieštiny a klapky.

V rámci implementácie zariadenia do prevádzky bolo upravené riadenie celej linky. Údaje v nasledovnom grafe boli prevzaté z riadiacej jednotky linky na sušenie kalov. V počiatočnom stave bola komora zariadenia zaplnená materiálom, v klieštine bola briketa. Pri rozbehu je vidno prudký nárast

Patronem tohto čísla je Týden výzkumu a inovací pro praxi a životní prostředí TVIP 2018, 6. – 8. 3. 2018, Hustopeče

výkonu, ktorý je potrebný na prekonanie tretieho odporu brikety vo výstupnej komore a klieštine. Postupne dochádza k ustáleniu, pričom frekvencia sa udržuje na 25 Hz vzhľadom na malé množstvo dodávaného materiálu. Po nábehu na plný výkon linky je vidieť zakolísanie výkonu a z logiky riadenia i frekvencie. Následne však dochádza k ustáleniu parametrov pri plnej prevádzke linky. Výkon pri ustálenom chode sa pohybuje medzi 0,4 kW až 0,6 kW. Pri odstávke linky treba zabezpečiť plynulý dobeh, aby sa materiál v klieštine uvolnil, v opačnom prípade dochádza po vychladení k nadmernému vytvrdnutiu brikety a prilepeniu ku klieštine, ktorú je potrebné pracne mechanicky uvoľňovať.



Obrázok 9: Priebeh momentu



Obrázok 10: Časový priebeh výkonu a frekvencie pohonu dodávaného zariadenia počas skúšobnej prevádzky; f [Hz], P [kW]

Záver

V súčasnosti prebiehajú dlhodobé skúšky zariadenia s cieľom získať informácie potrebné pre jeho optimalizáciu. Ako bolo aj plánované komerčné riešenie zariadenia si bude vyžadovať dlhodobejšie skúšky a aplikáciu drobných inovácií pre zabezpečenie požadovanej kvality procesu, ceny a životnosti zariadenia. Samotné zariadenie funguje a je možné ho dostatočne riadiť v rámci požiadaviek na verifikáciu funkčnosti a spoločalivosti. Účelom zariadenia je vytvárať kontinuálny tlakový uzáver v podobe brikety brániacej úniku technologickej pary zo systému. Funkčnosť sa potvrdila v plnom rozsahu. V rámci ďalšieho vývoja plánujeme optimalizovať konštrukciu zariadenia do podoby realizačnej výkresovej dokumentácie a výroby prototypu zariadenia určeného pre komerčnú priemyselnú aplikáciu. Na súčasnom prototype sa plánujú zosúladiť požiadavky na riadenie a automatizáciu s aktuálnym stavom celkovej technológie, nárokov na obsluhu.

Literatúra

ONDRUŠKA, Juraj, ONDEROVÁ, Iveta CHOJNACKI, Jerzy, ŠOOŠ, Lubomír, BUJACZEK, Robert, BÁBICS, Jozef. Development of a continuous pressure closure in a steam drying process. In *TOP 2017 : proceedings of abstract of the 23rd annual international scientific conference Engineering for environment protection, Šamorín, SR, 20. – 22. 9. 2017.* 1. vyd. Bratislava : SPEKTRUM STU, 2017, s. 50. ISBN 978-80-227-4731-8.

ŠOOŠ, Lubomír, KRIŽAN, Peter, MATÚŠ, Miloš, ONDRUŠKA, Juraj, BÁBICS, Jozef. Vývoj tlakového uzáveru výstupu suchých kalov proti úniku pary. *Tenza, a.s.* 1. vyd. Bratislava Strojnícka fakulta STU 2018.

Podčakovanie

Výsledky výskumu prezentované v tomto článku boli spolufinancované z projektu APVV-16-0485 "Biomass compacting tools cast from the advanced wear-resistant cast irons", ktorý podporuje Slovenská agentúra pre vedu a výskum.

Prototype of a continuous pressure closure in a steam drying process Juraj ONDRUŠKA^a, Lubomír ŠOOŠ^a, Jozef BABICS^a, Iveta ONDEROVÁ^a, Jerzy CHOJNACKI^b

^a Institute of Manufacturing Systems, Environmental Technology and Quality Management, Faculty of Mechanical Engineering, STU in Bratislava, Nám. Slobody 17, 812 31, Bratislava, Slovakia

^b Koszalin University of Technology, Koszalin, ul. Śniadeckich 2, 75-453 Koszalin, Poland
e-mail: lubomir.soos@stuba.sk, juraj.ondruska@stuba.sk, jozef.babics@stuba.sk, iveta.onderova@stuba.sk

Abstract

The theme article is a structural design pressure shutter on the principle of briquetting. The prototype of the pressure shutter allows more efficient drying the sewage sludge produced from the wastewater treatment plants with steam. The basis of the development process are the theoretical knowledge of the physical and mechanical parameters of the compacted materials and the measured parameter on the functional model under different conditions. The essence of the development was to understand the impact and context of measured physical parameters to design the device. On pressing chamber with a screw were realized several measurements. The observed parameters were the torque, the speed in response to the design parameters of the collet device. During the test, the density of the briquette of the cap where also evaluated, depending on the operating parameters of the process. Based on the results, a unique construction of the pressure cap where designed. In the process of evaluation measurement, data were used appropriate statistical methods. Unique design was been developed by using progressive engineering methods. Design where verified by physical calculations and FEM methods. Functional model was been experimentally verified. Currently ongoing operational tests at the customer.

Keywords: Pressure shutter, briquetting, drying with steam, sludge from WWTP, screw, collet device, pressure cap

Nová technológia dekompozície lepených skiel

Lubomír ŠOOŠ^a, Marcela POKUSOVÁ^a, Miloš MATUŠ^a, Pavel KOVAČ^b

^a Slovak Technical University, Faculty of Mechanical Engineering, Námestie slobody 17, 812 31 Bratislava 1, Slovakia

^b University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Institute for Production Engineering, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia,
e-mail: lubomir.soos@stuba.sk, marcela.pokusova@stuba.sk,
milos.matus@stuba.sk, kovacp@uns.ac.rs

Súhrn

V automobilovom a stavebnom inžinierstve sa zvyšuje významnosť dekompozície lepených skiel. Oddelené priečladné sklo, fólia alebo kovové časti sú zaujímavými materiálovými komoditami. V súčasnosti je tento odpad spracovávaný mechanickou dezintegráciou s následnou separáciou. Ziskosť čistých materiálových komodít je približne 55 – 65 percent. Neseparovaný odpad zo skla je prakticky nepoužiteľný a v značnej miere končí na skládkach.

Cieľom práce je navrhnuť nový spôsob rozkladu lepeného skla. Základom opísaného princípu je kombinácia mechanickej a chemicko-tepelnej technológie.

Kľúčové slová: lepené sklo, progresívna technológia, dekompozícia

Úvod

Tak v automobilovom ako aj v stavebníctve vzrástá význam dekompozície lepených skiel. V automobilovom priemysle ročne vzniká len na Slovensku približne 3 000 ton vrstvených čelných skiel, v stavebníctve to bolo v minulom roku 13 700 ton vrstvených skiel¹. Tieto množstvá odpadov najmä v stavebníctve radikálne narastajú. Vyseparované čisté sklo, fólia, či kovové časti sú pritom zaujímavé materiálové komodity. Problém spočíva v čistote vyseparovania jednotlivých frakcií. Odpad z lepených skiel v stave v akom sa nachádza nie je možné spracovať u jediného recyklátora odpadového skla v SR - vo Vetropack Nemšová, s.r.o. Problémom je čistota vyseparovaného skla. V súčasnosti sa tento odpad spracováva mechanickou dezintegráciou s následnou separáciou jednotlivých frakcií. Výsledkom takejto technologickej úpravy je odstránenie nežiaducich komponentov, s ktorými je sklo spojené.

Problémom pri úprave skla je percento využiteľnosti čistých frakcií. Pri súčasne dostupných technológiách je táto využiteľnosť maximálne 55 – 60 %. Neseparovaný sklenený odpad je praktický nerecyklovateľný a v prevažnej väčšine končí na skládkach. Určité množstvo sklenenej frakcie z vrstveného skla sa využíva pri výrobe penového skla, ktoré spĺňa požiadavky noriem EN 13 055-1 a EN 13 055-2 ako zásypový materiál, alebo ako prísada v reflexných farbách. PVB fólie je možné využiť namiesto syntetického latexu².

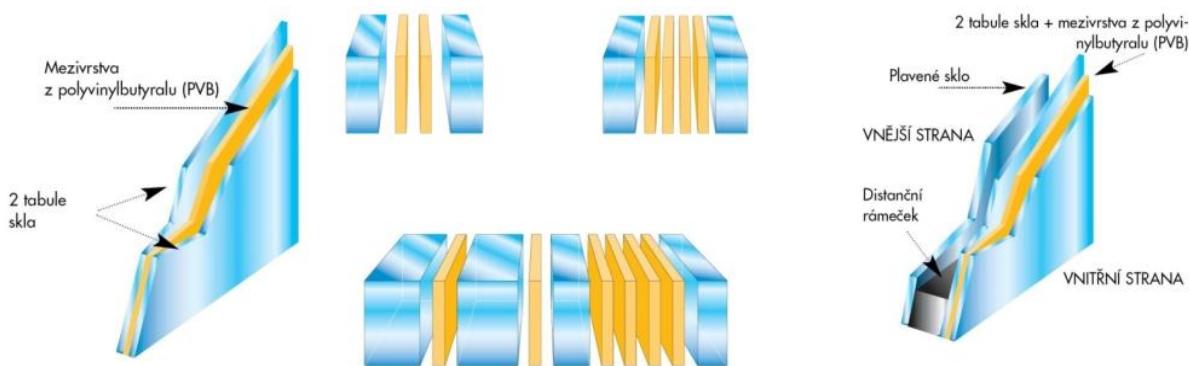
Cieľom príspevku je návrh progresívnej technológie dekompozície lepených skiel. Základom novej technológie je kombinácia mechanickej a chemicko-termickej technológie. Podmienkou pri tom je aby sme pri separácii nedošlo k podriveniu vrstveného skla, ale len k jeho polámaniu, tak aby sme fóliu získali pokial možno v celku a tým zabezpečili maximálnu účinnosť separácie.

Experimentálna časť

Súčasné technológie výroby vrstveného skla

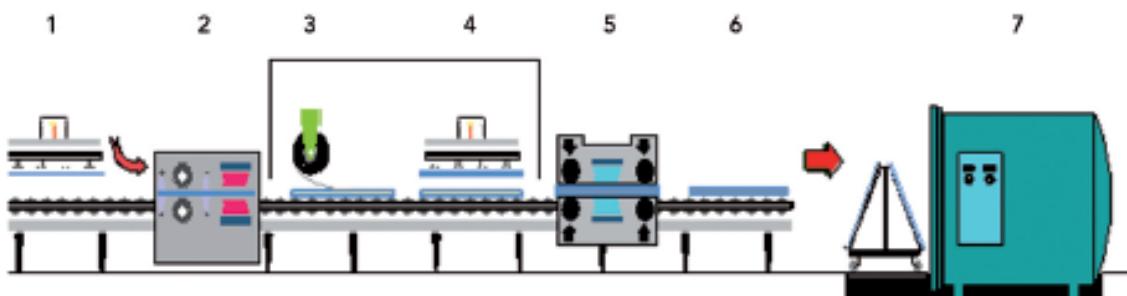
Bezpečnostné tepelne tvrdene sklo je určené pre zníženie rizika zranenia osoby pri nehode. Jeho využitie je pri aplikácii na predné, zadné a bočné sklá vozidla. Vytvrdzovanie má za následok fragmentáciu skla na malé úlomky pri rozbití.

Vrstvené (laminátové) sklo je jedným z najvýznamnejších výrobkov, s ktorým sa stretávame pri ďalšom spracovaní základného skla. Jedná sa o celú skupinu výrobkov, ktorá je určená pre najrôznejšie aplikácie v dopravných prostriedkoch, architektúre a spotrebičoch. Základnou myšlienkou je vrstvenie dvoch alebo viacerých tabúľ plochého skla a ich spojenie pomocou prílnavej elastickej medzivrstvy (obrázok 1), čím sa zaistí bezpečné správanie sa skla po jeho rozbití alebo sa zvýší odolnosť zasklenia voči násilnému vniknutiu.



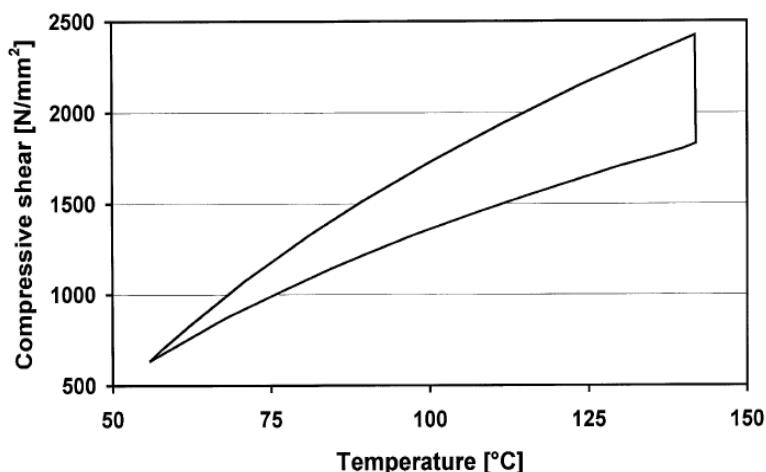
Obrázok 1: Príklady vrstveného plochého skla³

Pri výrobe vrstveného skla sa používa ploché sklo, vzorované sklo liate alebo výrobky odvodene z týchto základných skiel, ktoré môžu byť ďalej upravené napr. tepelne tvrdene (kalené) sklo. Bežne používanými materiálmi sú polyvinylbutyral (PVB) so základnou hrúbkou 0,38 mm, etylvinylacetát (EVA) alebo ionoplast SentryGlassPlus (SGP). Samotná technológia výroby laminátového skla závisí na použitom type medzivrstvy. Laminátové sklá s PVB fóliou sa obvykle vyrábajú za vysokého tlaku a teploty v autokláve (obrázok 2).



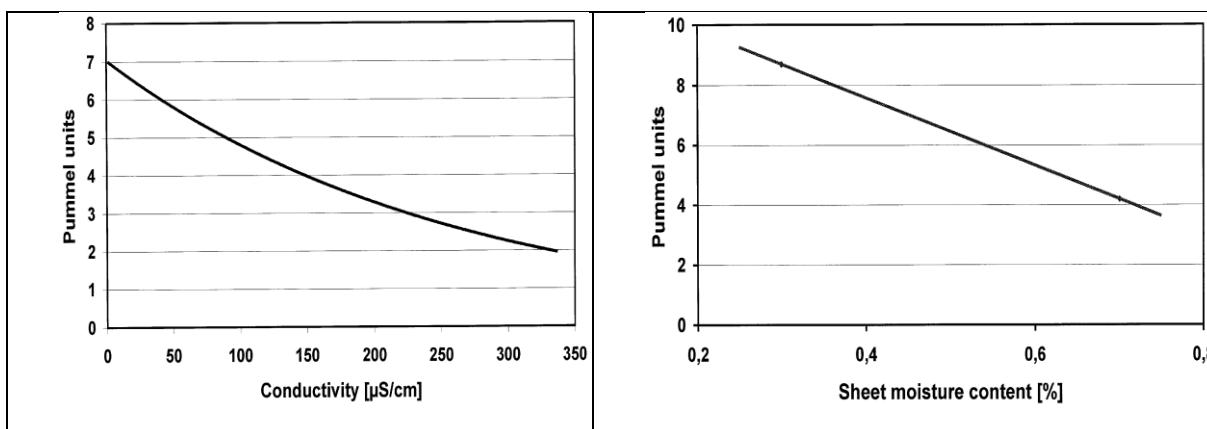
Obrázok 2: Schéma postupu výroby vrstveného skla: 1 – ukladanie skla, 2 – umývanie, 3 – aplikácia PVB fólie, 4 – položenie horného skla, 5 – predlisovanie, 6 - preloženie na stojan, 7 – autokláv

V autokláve prebieha tento proces pri danom tlaku a výdrži pri dostatočne vysokých teplotách, aby sa proces dokončil a dosiahol sa maximálny stupeň adhézie v závislosti od druhu skla a použitéj PVB fólie. Na obrázku 3 je dokumentovaná závislosť pevnosti adhéznej väzby na teplote spracovania v autokláve.³



Obrázok 3: Závislosť pevnosti v šmyku od teploty spracovania v autokláve

Ak sa v zariadení na pranie/oplachovanie používa voda s vysokým obsahom solí môžu nastať výrazné výkyvy v priľnavosti, keďže iónové znečistujúce látky prítomné na rozhraní „fólia PVB – sklo“ väčšinou narušujú väzbový mechanizmus². Táto závislosť je dokumentovaná na obrázku 4a, kde vysoký obsah solí rozpustených v oplachovej vode je vyjadrený prostredníctvom iónovej vodivosti. Naopak na priľnavosť systému „fólia PVB – sklo“ má významný vplyv aj obsah vody v samotnej fólii. PVB je hygroskopický materiál, ktorý zvyšuje svoj obsah vody, ak je vystavený vlhkosti. Aj keď odporúčaný obsah vody v samotnej fólii laminátu by sa mal pohybovať okolo 0,4 %, za nepriaznivých podmienok sa môže zvýšiť až na úroveň 2 %, v dôsledku čoho dochádza k progresívnomu zníženiu pevnosti adhéznej väzby, ako to dokumentuje obrázok 4b.



a) od vodivosti

b) obsahu vody vo fólií

Obrázok 4: Závislosť adhézie

Známe technológie oddelovania vrstveného skla

Pri recyklácii vrstvených skiel je potrebné hľadať efektívny spôsob ako od seba oddeliť jednotlivé vrstvy rôznych materiálov. Literárny a patentový prieskum^{3,4} ukázal, že obecne sa uplatňujú štyri spôsoby, a to mechanické, termodynamické, chemické a ich vzájomná kombinácia. V linkách na recykláciu laminovaných skiel prevažuje aplikácia buď samotného mechanického alebo kombinovaného oddelovania v závislosti od požadovaného výsledného produktu a jeho kvality.

Z hľadiska pracovných médií prítomných v separačnom procese je možné spôsoby a z nich vyplývajúce technológie zoskupiť do dvoch kategórií, tzv. suché (mechanické alebo termodynamické oddelovanie) a mokré spôsoby (napr. chemická separácia)⁴.

Mechanický spôsob oddelovania

Pri aplikácii postupu iba suchého - mechanického oddelovania je vrstvené sklo podrvené na vstupnej linke vybavenej drvícom schopným rozdrvíť sklo. Drvina potom ďalej prechádza sústavou dopravníkov a separátorov, kde sa vytriedia kovy a ostatné nečistoty. Drobné časti skla sú transportované cez zónu optických senzorov, kde sa z prechádzajúcej drviny skla oddelia nečistoty, časti autofólie, tesniacej gumeny, atď.

Princíp mechanickej separácie je predmetom patentu EP0249094(A2), US8220728, či slovenským patentom SK286370, ktorý využíva princíp valcov otočne uložených okolo pozdĺžnej osi s upraveným povrchom. Mechanický spôsob oddelovania predstavuje jednoduché, ale iba relatívne priaznivé environmentálne riešenie, pretože jeho využívanie je vo všeobecnosti spojené s vysokou prašnosťou. Vznikajúci produkt – sklený prach môže byť kontaminovaný cudzími látkami a pre sklársky priemysel tak nepredstavuje čistú surovinu vhodnú na ďalšie spracovanie a získaný recyklát PVB fólie tiež nedosahuje 100% čistotu, čo limituje jeho ďalšie využitie.

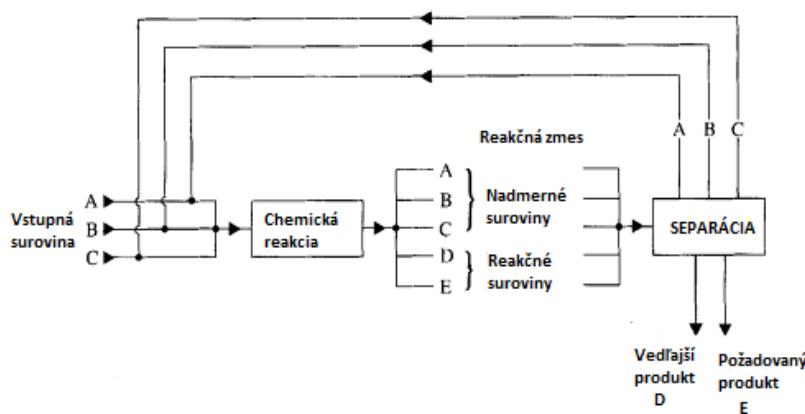
Mechanickej recykláciou vrstveného skla a PVB fólie z čelných autoskiel, ako aj z laminovaného architektonického a stavebného skla sa úspešne zaoberá aj dánska spoločnosť **Shark Solution A/S**, ktorá má patentovanú technológiu založenú na mechanickej separácii. Slovenská spoločnosť **MAVEBA s.r.o** Vranov nad Topľou v spolupráci so Strojníckou fakultou STU v Bratislave vyvinula zariadenie, ktoré je viac menej prototypom na recykláciu autoskiel.

Termodynamické oddelovanie

Pomocou tepelných procesov sú zmesi spracované tak, aby sa získali suroviny v požadovanej čistote a mohli byť zrecyklované. Tepelné oddelovacie procesy sú operácie s prenosom hmoty, kedy môžu byť oddelené homogénne (jedna fáza) alebo heterogénne (dvoj alebo viacfázové) zmesi. Nevyhnutné hybné sily procesu, koncentračné a teplotné gradienty vznikajú ako dôsledok vstupu pomocnej fázy.

Tepelné oddelovanie zmesi prebieha v troch fázach. V prvej fáze sa do systému dodáva energia alebo pridá pomocná látka. Pridaním alebo odobraním energie dochádza k výmene hmoty a tepla medzi jednotlivými fázami zmesi. Proces prebieha až dovtedy, kým sa neoddelia jednotlivé fázy zmesi. Poradie tepelných separačných procesov je uvedené na obrázku 5. Tepelná separácia umožňuje súčasne získať na výstupe vhodnú surovinu v podobe čistého skla a fólie, avšak za cenu vysokej energetickej náročnosti a nepriaznivej environmentálnej charakteristiky.

Princíp tepelných separačných procesov



Obrázok 5: Princíp tepelných separačných procesov⁶

Chemické oddelovanie

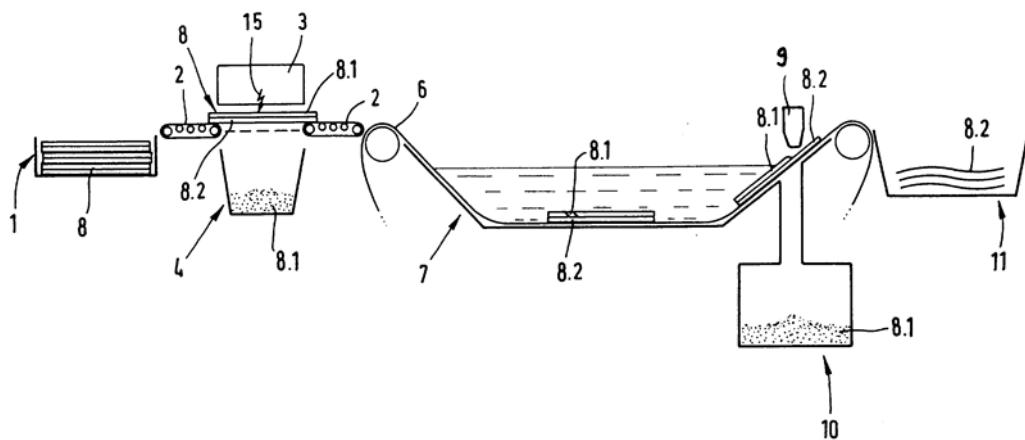
Chemické oddelovanie možno klasifikovať ako mokrý spôsob separácie skla a PVB fólie. Proces je založený na využití rozdielov v chemických alebo fyzikálnych vlastnostiach oddelovaných materiálov, akými sú veľkosť, tvar, hmotnosť, hustota, ktoré sa používajú na dosiahnutie oddelovania. Existuje množstvo charakteristík, podľa ktorých sa oddelovanie uskutočňuje, napr. rozpustnosť, prchavosť, absorpcia, elektrické a magnetické účinky, atď. Procesy spadajúce tejto kategórii dokážu zaistiť získanie čistého skla alebo fólie v závislosti od aplikovaných reakčných činidiel, ktoré však na druhej strane môžu mať aj negatívny vplyv na životné prostredie.

Je o mnoho priateľnejší ako mechanické (suché) spôsoby oddelovania, pretože napríklad vodné roztoky sú schopné zaistiť výrazne efektívnejšie odplavenie sklenených častíc a so zvyšujúcou sa teplotou vykazuje retardačný efekt na silu vodíkovej väzby, ktorá je zodpovedná za intenzitu adhézneho spoja medzi -OH skupinami na reťazci polyméru a polárnym sklom. Je však potrebné vziať do úvahy tiež fakt, že vyšší obsah vody spôsobuje relativne veľkú zmenu mechanických, fyzikálnych a chemických vlastností PVB fólie. Chemický postup oddelenia vrstiev skla a PVB fólie využíva aj patent EP0567876 (A1).

Kombinované oddelovanie

Postupy recyklácie vrstveného skla založené na kombinovanom oddelovaní využívajú viacero spôsobov oddelovania v jednom slede, napr. mechanické s chemickým alebo mechanické s termickým, s cieľom zefektívniť separačný proces, dosiahnuť vyššiu kvalitu výsledného produktu alebo eliminovať niektoré nevýhody jednotlivých spôsobov oddelovania.

Rôzne kombinácie výšie uvedených spôsobov sú podstatou väčšiny patentov. Východiskovou operáciou riešení je proces fragmentácie vrstvy skla realizovaný buď jednoduchým drvením alebo napr. drvením vysokoenergetickými pulzami (EP 0792730 (A2)), po ktorom je zaradený proces separovania skla z fólie v kvapalnom prostredí s rôznym zložením a teplotou. Patent EP 0792730 (A2) pracuje s vodným roztokom zahriatym na teplotu 40 až 70°C, v ktorom sa sklo zohrieva 10 až 30 minút na zníženie adhézie medzi vrstvami, a v samotnom procese separácie sa využíva vysokotlakový prúd vody (až do 6 barov) a škrabka (obrázok 6). Výsledkom procesu podľa nemeckého patentu EP 0792730 (A2) je skленená drvina a celistvá fólia.



Obrázok 6: Proces separácie vrstveného skla podľa patentu EP 0792730 (A2): 3 – drvič pracujúci na princípe vysokoenergetických pulzov; 8 – vrstvené sklo; 8.1 – sklo; 8.2 – fólia; 9 – škrabka; 7 – kúpeľ horúcej vody; 10 – zberná nádoba na sklo

Koncepcia navrhovaného postupu recyklácie vrstveného skla

Charakteristika mechanizmu adhézie systému „sklo – PVB fólia“ a vplyvu vybraných faktorov ovplyvňujúcich kvalitu príľavosti v negatívnom zmysle⁴, sa stali teoretickým východiskom pre návrh jedného z možných riešení problému recyklácie vrstvených autoskiel tzv. mokrou cestou, ktorý by umožnil oddeľovanie nielen väčších úlomkov skla v súlade s požiadavkami sklárskeho priemyslu, ale súčasne aj získanie kompaktnejších kusov PVB fólie vhodných na ďalšiu recykláciu.

Východisková koncepcia recykláčného procesu vrstveného skla predpokladala oddelenie vrstiev skla a PVB fólie, pričom z hľadiska recyklovateľnosti týchto materiálov mali byť splnené základné ohraňujúce podmienky:

1. pri recyklácii vrstiev skla sa vyžaduje minimalizácia podielu prachovej frakcie skla po delaminačnom procese,
2. možnosť použitia recyklátu PVB fólie je podmienená obsahom zostatkových nalepených častíc skla na fólii, a to do 100 ppm.

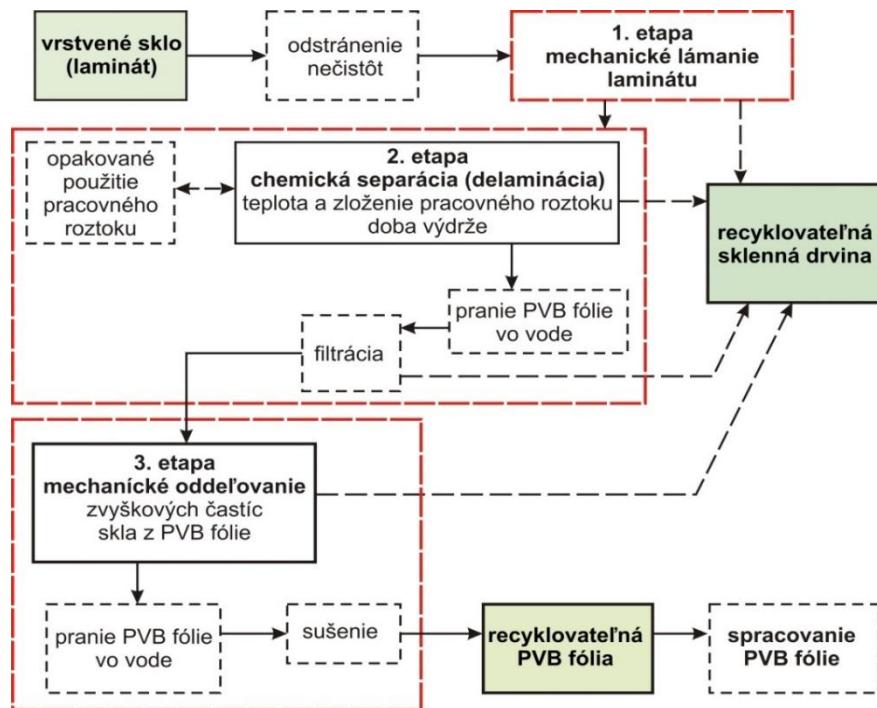
S cieľom splniť vyššie stanovené podmienky pri zachovaní pôvodných fyzikálnych vlastností PVB fólie. Navrhovaná koncepcia predpokladá trojetapový recykláčný proces spracovania vrstvených skiel:

Prvá etapa predpokladá realizáciu rovnomerného popraskaní alebo nalámania vrstvy skla laminátu za účelom zabezpečenia maximálnej plochy priameho kontaktu polymérovej matrice (PVB fólie) s delaminovacím prostredím. Popraskanie musí byť rovnomerné po celej ploche skla s veľkosťou častic do 0,5 mm a minimalizáciou prachových častíc.

Druhá etapa musí zaistiť redukciu adhéznej pevnosti medzi vrstvami PVB fólie a skla rozrušením adhéznych väzieb prostredníctvom vodného kúpeľa so zvýšenou teplotou, ktorá podľa literatúry urýchľuje degradačné procesy, a alkalického prostredia (roztok alkalických solí vo vode) pri atmosférickom tlaku. V delaminačnom kúpeli by malo dochádzať k pohybu a ohybu vrstveného skla vo všetkých smeroch, aby sa zaistil efektívny prístup alkalického delaminizačného média prienikom cez otvárajúce sa praskliny. Pohyb a ohýbanie vrstveného skla v kúpeli má ďalej podporiť aj samotné oddeľovanie častíc skla od PVB fólie. V rámci plánovaných experimentov sa predpokladá aj testovanie miery vplyvu prebublávania na zintenzívnenie a urýchlenie procesu delaminácie. V rámci realizácie projektu sú skúmané a stanovené optimálne podmienky a parametre delaminačného procesu akými sú druh a koncentrácia alkalickej soli, teplota kúpeľa, dĺžka kúpeľa, spôsob premiešavania, prebubľovanie atď..

V tretej etape sme navrhli zaradiť odlupovanie a oškrabovanie zvyškového skla z fólie. Adhézia PVB sa chemickým procesom delaminácie výrazne zredukuje a preto v treťom stupni bude potrebné odlupovaním odstrániť len minimálnu zvyškovú adhéziu. Podmienkou pre použitie vhodnej technológie tretieho stupňa je zabezpečenie, že nedôjde ku kontaminácii PVB iným materiálom. Vyseparovaná PVB fólia bude prepraná a neutralizovaná v slabom kyselinovom roztoku, pričom budú odstránené aj posledné zvyšky skla z jej povrchu. Následne dôjde k vysušeniu PVB fólie.

Navrhované technologické spracovanie vrstvených skiel delaminačným procesom má umožniť efektívny spôsob oddelenia skla od PVB fólie a zabezpečiť vhodnú kvalitu výstupných materiálov pre ďalšiu recykláciu. Proces by mal zabezpečiť separáciu PVB fólie s obsahom príľnutého skla do 100 ppm. Toto zvyškové množstvo skla je už akceptovateľné pre priemyselnú recykláciu PVB fólií. Takto oddelená PVB fólia bude pripravená pre opäťovnú extrúziu a výrobu novej PVB fólie pre viacvrstvové sklá. Celková koncepcia technológie na spracovanie vrstvených skiel je pre lepšie znázornenie uvedená na obrázku 7.

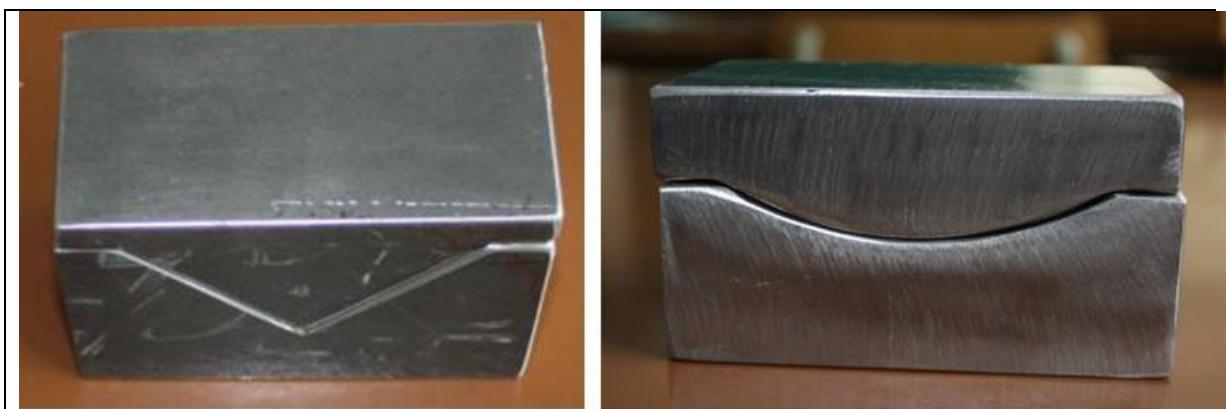


Obrázok 7: Návrh koncepcie technológie na spracovanie vrstvených skiel⁴

Laboratórne skúšky dekompozície vrstveného autoskla

Pevnostné skúšky vrstveného autoskla a testovanie vhodnosti tvaru nástroja

V tejto časti sme sa zaoberali pevnostnými skúškami na vzorkách čelného autoskla, pričom boli testované na rôznych druhoch razníkov⁷, obrázok 8. Razník 1 s profíkom v tvare „V“ bol vyrobený, aby bolo možné testovať vplyv koncentrácie tlaku na zmenu účinnosti drvenia vrstveného autoskla, ktorá sa následne porovnávala s razníkom 2. Razník 2 bol vyhotovený podľa návrhu valca s rádiusom $R = 70$ mm. Pri pokuse bol použitý lis VEB Werkstoffprüfmaschinen. Presnosť zariadenia bola verifikovaná aj ciachovaných silomerom.

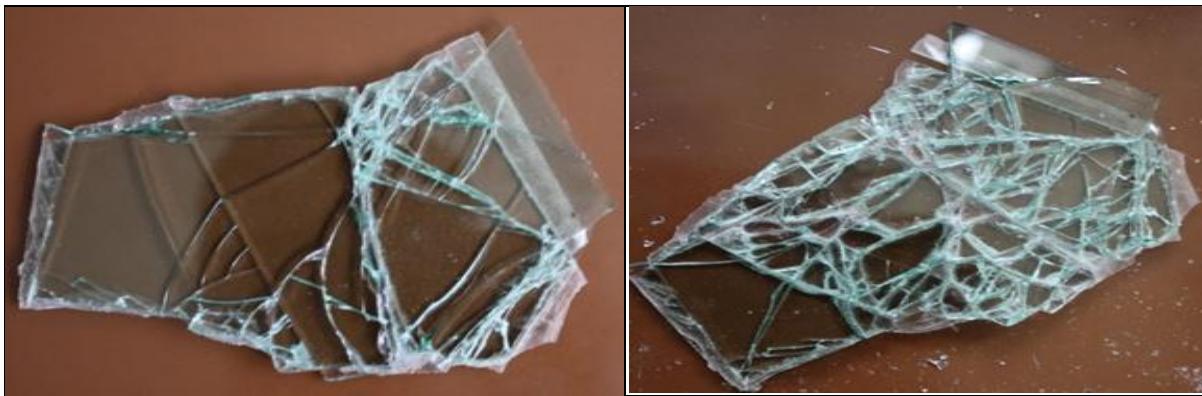


a) razník 1 s profíkom v tvare „V“

b) razník 2 s rádiusom $R = 70$ mm

Obrázok 8: Testovacie razníky

Pri testovaní sme použili vopred pripravené kusy narezané z čelného autoskla. Použitie razníka 1 s profilom v tvare „V“ (obrázok 8a) ukázalo, že vrstva skla bola v najväčšej miere porušená v oblasti hrane razníka, pričom ostatné časti vzorky skla boli len mierne popraskané. Z vyhodnotenie zaznamenaných údajov vyplynulo, že pri použití razníka 1 na popraskanie skla bola potrebná sila väčšia 0,05 kN a na začatie procesu drvenia sila vyššia až 2 kN.



a) pri použití razníka 1

b) pri použití razníka 2

Obrázok 9: Vzorky skla

Oddelovanie zvyškového skla prídavným ohrevom

Na oddelovanie skla podrveného razníkom 2, ktoré ostalo priľnuté k fólii, bolo testované použitie teplovzdušnej pištole ako prídavného zdroja tepelnej energie⁷ (obrázok 10). Plocha skla bola zohrievaná pištoľou po dobu niekoľkých sekúnd na približne 40 °C, aby sa nepresiahla Vicatova teplota mäknutia, pretože by sa fólia začala topiť a nedala by sa so 100% úspešnosťou oddeliť od skla. Po nahriatí skla sa polámané kúsky skla s rozmermi menšími ako 5 x 5 mm dali ľahko oddeliť od fólie, avšak kúsky skla s rozmermi väčšími ako 5 x 5 mm sa oddelovali od fólie ľahšie alebo sa nedali oddeliť vôbec.



a) teplovzdušná pištoľ

b) vzorky skla po ohreve

Obrázok 10: Prídavný ohrev testovanej vzorky

Okrem opísaných skúšok sme oddelovanie skla od fólie testovali zohrievaním teplovzdušnou pištoľou a následným rýchlym ochladzovaním v tekutine s teplotou až -25 °C. Tekutinu sme na rozrušené sklo nanášali injekčnou striekačkou medzi vrstvy skla a fólie. Ďalší test bol zameraný na skúmanie možnosti odstraňovania zvyškových sklenených úlomkov z fólie PVB pôsobením tepla a vodného roztoku CaCl₂. Pripravený roztok vody s CaCl₂ (700 ml H₂O, 280 g CaCl₂) bol v práčke zohriatý na teplotu v intervale 50 až 70 °C. Následne sme do práčky vložili skúšobné vzorky a nechali sme práčku pracovať 15 minút. Čistota vypranej fólie bola veľmi vysoká.



Obrázok 11: Fólia po vypratí

Skúšky mechanického oddel'ovania vrstvy skla od PVB fólie

Druhá etapa experimentálnych prác zameraných na skúmanie procesu mechanického oddel'ovania vrstiev skla a fólie PVB pokračovala realizovaním skúšok na laboratórnom vibračnom skúšobnom modeli, ktorý sme pre tento prípad skonštruovali, obrázok 12a. Funkčný model sa skladá z dvoch platní. Na jednej platni je upevnený valec vibrujúci pomocou vibračného elektromotora umiestneného na druhej strane platne. Na druhej platni, v polohe oproti vibračnému valcu, je privarených 8 kusov tyčí betonárskej ocele typu Roxor s charakteristickým členitým povrchom, ktoré slúžia na drvenie a zároveň odlupovanie skla. Vlastné merania sa uskutočnili na 3 testovacích vzorkách, ktoré mali približne rovnaké rozmerky. Každá vzorka vrstveného autoskla bola cez vibračné zariadenie prepúšťaná 3krát z každej strany. Na vzorkách bola zisťovaná ich hmotnosť po jednotlivých drveniach a hmotnosť jednotlivých frakcií skla po meraní. Skúšobná vzorka mala rozmer 400x295 mm a hmotnosť 1300 g pred testovaním⁷.



a) skúšobný model

b) fólia po prechode vibračným modelom

Obrázok 12: Stroj na odlupovanie skla od PVB

Výsledky a diskusia

Namerané hmotnosti vzorky 1 po 6 cykloch drveniach, t.j. 3 cykly z každej strany vrstveného skla, sú uvedené v tabuľke 1.⁸

Tabuľka 1: Vývoj úbytku hmotnosti vzorky 1 počas sekvencie 6 cyklov drvenia

	Pôvodná hmotnosť [g]	1. drvenie [g]	2. drvenie [g]	3. drvenie [g]	4. drvenie [g]	5. drvenie [g]	6. drvenie [g]
vzorka 1	1300	862	558	396	307	192	99

Odseparované sklo zachytené na zbernom plechu bolo podrobenej granulometrickej analýze na určenie hmotnosti a podielu skla v 5 veľkosťných frakciách – frakcia I. (nad 4 mm), frakcia II. (2 – 4 mm), frakcia III. (1 – 2 mm), frakcia IV. (0,5 – 1 mm) a frakcia V. (pod 0,5 mm). Na triedenie sklenej drviny – sitový rozbor bol použitý sitovací prístroj Retsch AS 200. Výsledky granulometrickej analýzy sú uvedené v tabuľke 2, z ktorých vyplýva, že najväčší, až 36% podiel má frakcia II. s časticami veľkosti 2 – 4 mm.

Tabuľka 2: Granulometrická analýza vzorky 1

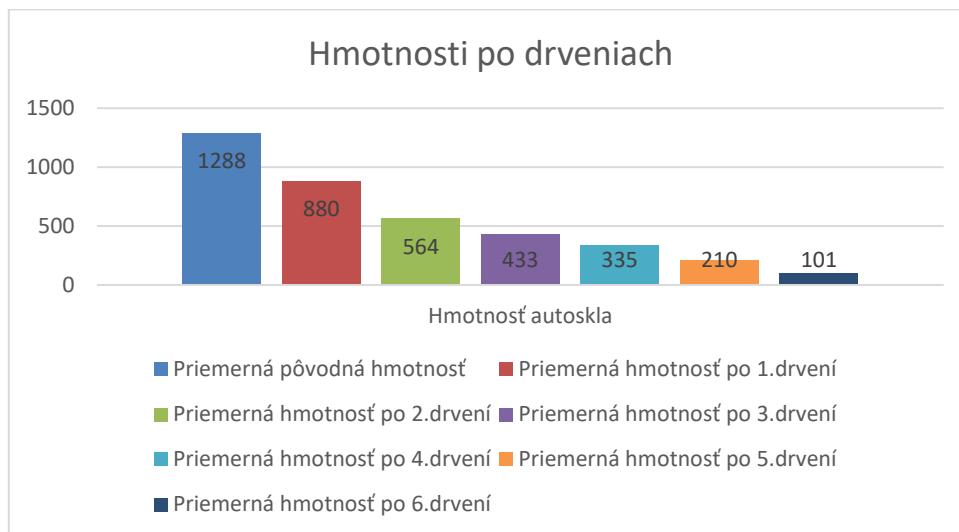
	Frakcia I. (nad 4 mm)	Frakcia II. (2 - 4 mm)	Frakcia III. (1 - 2 mm)	Frakcia IV. (0,5 - 1 mm)	Frakcia V. (pod 0,5 mm)
Hmotnosť [g]	42	423	342	164	212
Podiel [%]	3	36	29	14	18



Obrázok 13: Jednotlivé frakcie skla vzorky 1 po sitovom rozboore

Sumárna hmotnosť mechanicky odseparovaného skla zo vzorky 1 tak dosiahla 1183 g. Ak sa k hmotnosti skla pripočíta zvyšková hmotnosť vyseparovanej PVB fólie 99 g, celková výsledná hmotnosť vzorky 1 po procese mechanického drvenia je 1282 g. Rozdiel medzi pôvodnou hmotnosťou vzorky 1 (tabuľka 1) a celkovou hmotnosťou po recyklácii predstavuje 18 g, čo je strata približne 1,4 %, ktorá mohla vzniknúť počas procesu drvenia, keď oddelované sklo odskočilo mimo záchytný plech. Jednotlivé frakcie skla po sitovom rozboore sú uvedené na obrázku 13.⁸

Rovnaký postup a podmienky priebehu experimentu boli aplikované aj pri ďalších 2 vzorkách odobratých z vrstveného skla. Priemerný úbytok hmotností po jednotlivých operáciách je zrejmý z obrázku 14.⁷



Obrázok 14: Vyhodnotenie úbytku priemerných hmotností⁷

Vyhodnotenie výsledkov experimentálnych prác II. etapy

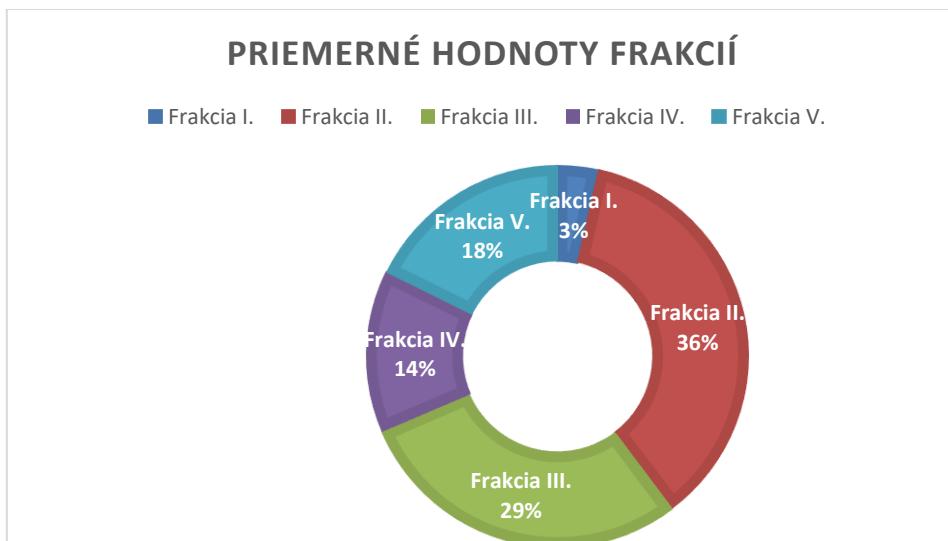
Na základe známych údajov o fólii PVB, ako sú jej hustota ρ , hrúbka fólie v lepenom autoskle h , rozmery, bolo možné vypočítať približnú hmotnosť m pôvodnej čistej PVB fólie:

$$m = \rho \cdot h \cdot (a \cdot b) = 1,07 \cdot 0,076 \cdot (39,5 \cdot 29,5) = 94,56 \text{ g}$$

kde ρ je hustota PVB fólie, $\rho = 1,07 - 1,2 \text{ g.cm}^{-3}$, pre výpočet bola zvolená najnižšia,
 h je hrúbka fólie v autoskle, $h = 0,76 \text{ mm} = 0,076 \text{ cm}$,
 a, b je priemerný rozmer vzorky s fóliou PVB, $a = 39,5 \text{ cm}$, $b = 29,5 \text{ cm}$.

Pri nami očistenej fólii je priemerná hmotnosť 101 g, čo je o 6 gramov viac ako hmotnosť fólie pred laminovaním medzi sklá.

Namerané a vypočítané hodnoty granulometrickej analýzy pre všetky 3 vzorky, ktoré sa podrobili mechanickej recyklácií potvrdzujú predchádzajúce zistenie, že najväčší priemerný, približne 36% podiel v objeme odseparovaného skla má frakcia II. s časticami s veľkosťou 2 – 4 mm a najmenší podiel, približne 3 %, pripadá na frakciu I. s časticami skla nad 4 mm, obrázok 15.



Obrázok 15: Vyhodnotenie frakcií⁷

Záver

Cieľom predloženého príspevku je testovanie možných technológií dekompozície vrstvených lepených skiel a na základe experimentálnych laboratórnych skúšok a poznatkov získaných z literatúry a patentov navrhnuť novú progresívnu technológiu. V článku boli verifikované rôzne technologické princípy a na základe výsledkov laboratórnych skúšok bola navrhnutá ich optimálna kombinácia tak, aby sme dosiahli maximálny stupeň zhodnotenia dekompozície vrstvených skiel pri akceptovateľnej ekonomickej efektívnosti. Výsledkom experimentov laboratórnych skúšok je okrem návrhu optimálnej technológie aj potvrdenie pracovnej hypotézy, že maximálnu čistotu jednotlivých komodít dosiahneme vtedy, keď vrstvené sklo nebudeme drvíť ale ho len popraskáme tak aby fólia zostala celistvá. Významným výsledkom predloženého príspevku je aj poznatok, že prvýkrát bola pri dekompozícii vrstvených skiel s úspechom aplikovaná vibračná mechanická technológia.

Literatúra

- [1] Novotný M.: Zhodnocovanie lepených autoskiel – I. etapa. Etapová správa. Bratislava: ZAP SR, november 2015
- [2] Svoboda J.: Kandidátska dizertačná práca. Studium vlastností polyvinylbutyralových fólií, Fakulta technologická VUT, Brno 1987.
- [3] <http://xinology.com:888/Glass-Processing-Equipments-Supplies-Consumables/glass-recycling/laminated-glass-recycling-system/introduction.html>
- [4] Šooš L. a kol.: Expertná analýza možnosti aplikácie nových technológií v procese spracovávania odpadového skla nespracovateľného bežnými technológiami. Etapová správa riešenia úlohy č. P 11701/2015, 65s., Bratislava STU, Bratislava, november 2015.
- [5] Keller U., Mortelmans H.: *Glass Processing Days*, Tampere, 1999. Adhesion in Laminated Safety Glass – What makes it work?
- [6] BORONAT DE FERRATER C.: Study and Design of a Recycling Process for Safety Glass Waste.
- [7] Šooš a kol.: Mechanická a chemicko-termická úprava v procese spracovávania odpadového viacvrstvového skla nespracovateľného bežnými technológiami. Etapová správa riešenia úlohy č. P11701/2015. Bratislava: STU, február 2016.
- [8] Makeš P.: Bakalárska práca. Separovanie odpadov vrstvených lepených skiel. SjF STU, Bratislava 2016.

New technology decomposition of bonded glasses

Lubomír ŠOOŠ^a, Marcela POKUSOVÁ^a, Miloš MATUŠ^a, Pavel KOVAČ^b

^a Slovak Technical University, Faculty of Mechanical Engineering, Námestie slobody 17, 812 31 Bratislava 1, Slovakia,

^b University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Institute for Production Engineering, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia

Summary

In both automotive and civil engineering, the importance of de-composition of bonded glasses increases. Separated clear glass, foil or metal parts are interesting material commodities. At present, this waste is treated by mechanical disintegration followed by separation. The profitability of clean material commodities is approximately 55-65 percent. Unscheduled glass waste is practically unusable and largely ends at landfills.

The aim of the paper is to propose a new way of decomposition of glued glass. The basis of the described principle is a combination of mechanical and chemical-thermal technology.

Keywords: glued glass, progressive technology, decomposition

The possibilities of practical use for recycled concrete in structures

Jan VODIČKA, Alena KOHOUTKOVÁ, Hana HANZLOVÁ, Tereza HLAVÁČOVÁ

CTU in Prague, Faculty of Civil Engineering, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, Czech Republic,

*e-mail: jan.vodicka@fsv.cvut.cz, akohout@fsv.cvut.cz,
hana.hanzlova@fsv.cvut.cz, tereza.hlavacova@fsv.cvut.cz*

Summary

The paper deals with a porous, composite material made completely of recycled aggregate concrete. In the case of a limited amount of binder being used, the composite has a porous structure. The composite gaps can be filled by other materials, preferably secondary raw materials. The possibilities of composite gap filling which have already been researched and its intended practical use are described in the paper.

Keywords: Fibre reinforced concrete (FRC), recycled concrete, one fraction, secondary raw materials.

Introduction

Recycled concrete should be considered a secondary raw material suitable for building practice. Demolition of buildings insufficient to the development of society and the development of new industrial technologies are an unlimited source for recycled concrete production.

In every building demolition, there will be concrete, which has become one of the main building materials since the invention of cement. It goes without saying that the secondary, used, recycled material must meet the required criteria, especially chemical purity. The fact is that the criteria for chemical purity is, in some cases, so strict that they make it difficult or even prevent its use for selected applications.

Concrete is considered to be natural aggregate due to its structure, therefore the recycling product - concrete recyclate - may be included in the group of natural aggregate too.

In standards, there is concrete recyclate termed "recycled aggregate", which is not the official name. Proper naming results directly from the modified form of concrete waste, ie concrete recyclate, reflecting the origin of recycled aggregate. Naming this product concrete recyclate will make it clearer that the replacement of natural aggregate by concrete recyclate can be complete or partial. Right at the beginning of this paper it can be said that concrete recyclate can be used as:

- substitution of natural aggregates in the subbase and backfill,
- partial to full replacement of natural aggregate in the same fractions when designing construction concrete for a dense composite production
- full replacement of natural aggregates in the creation of new structures of cement composites without sorting concrete recycle into fractions.

This paper deals with composite formation using only one recycled concrete fraction, wide fraction, limited by the maximum suitable grain size for the intended application¹.

Experimental part

Structure of composite using concrete recycle of one fraction

As stated in the introduction, the idea of creating concrete composites of one fraction, limited only by the maximum grain size of aggregate, has proven to be promising for a meaningful use of concrete recyclate.

The resulting composite structure will always be porous. The size of the gaps is dependent on the maximum grain of used concrete recycle and the machinery that converts the concrete waste (secondary raw material) into concrete recycle material.

The volume of the spaces and their uniform distribution in the compacted composite structure's volume can be achieved only by designing the mix structure and by fresh composite processing technology with appropriate consistency. Only the rolling or stamping process ensures a uniform distribution of the gaps in the composite structure. Cement does not fill the free volume of the gaps. It is only designed to wrap the grains of the recycled aggregate.

The mentioned compaction methods primarily involve the joining of recycled material with coarse grains, the formation of the supporting structure² and the determination of free volumes, which can be filled by other suitable waste materials.

The description of the composite structure based only on the grain size of concrete recyclate and on the limited volume of cement, shows that cement binder serves only to further fix the bond between recyclate grains. Therefore, any volumetric changes caused by shrinkage or creep, as in the case of conventional dense concrete, is not be expected in these structures.

Possible use of porous structures

As the formation of the composite structure shows, the volume of the spaces in the structures can be very variable. It is up to future devisers which waste converted into secondary raw material fills the volume of these gaps.

The first utilization of the porous composite structure was the use of synthetic fibres made industrially and fibres cut from waste PET bottles. These fibres have predominantly interconnected, coarse grains of recycled material and thus the structure of the composites was reinforced. Composites using only these fibres were called gap-fibre reinforced concrete, as well as fibre reinforced concrete, which was similarly named in the case of dense concrete with fibres.

Results and discussion

Proven characteristics on test samples also resulted in identification of areas for the practical utilization of this gap-fibre concrete³.

Table 1: Basic characteristics of fibre reinforced concrete with recycled materials⁴

Characteristics		Concrete recyclate	Brick recyclate
Volume weight	[kg/m ³]	2000 – 2200	1800 – 2100
Compression strength	[MPa]	12 – 30	12 – 28
Strength in transverse tension	[MPa]	1.6 – 2.5	1.5 – 3.3
Tensile strength in bending	[MPa]	1.6 – 2.5	1.5 – 2.8
Modulus of elasticity	[GPa]	13 – 18	11 – 15

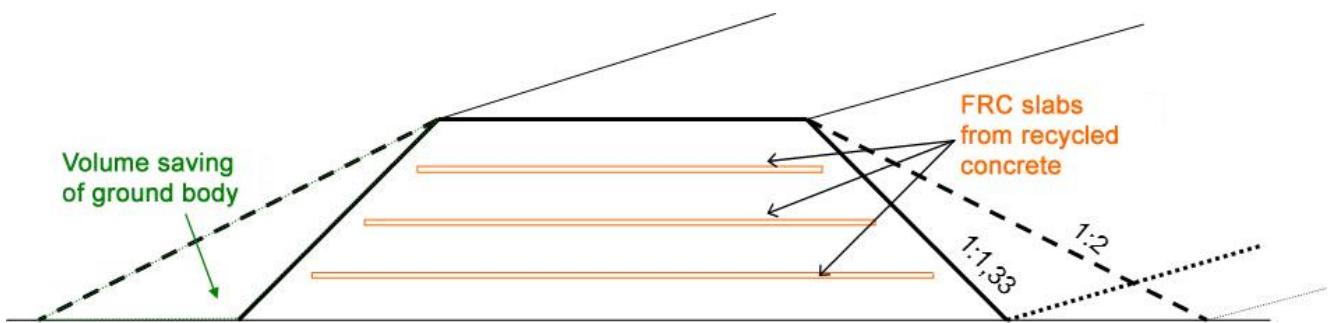


Figure 1: FRC slabs from composite with recycled concrete in bank

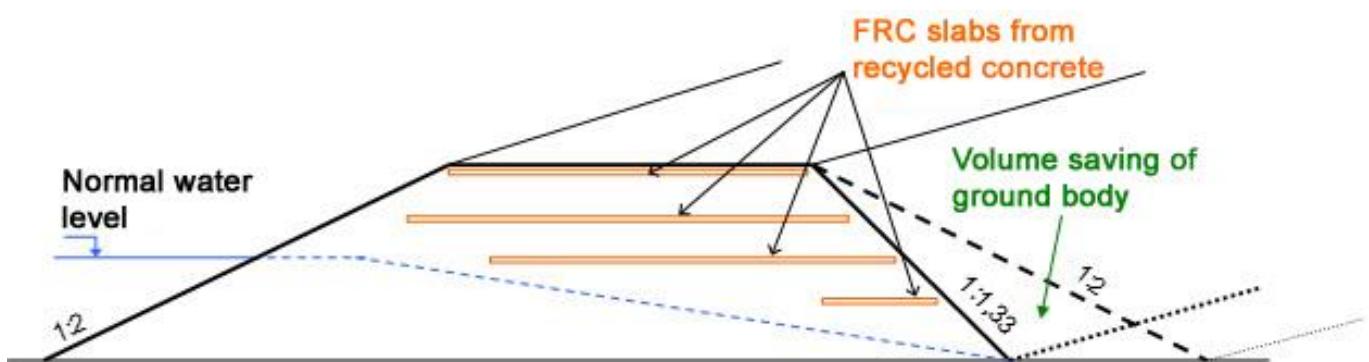


Figure 2: FRC slabs from composite with recycled concrete in ground dam

The applicability of these constructions can be demonstrated by the model of flood control dam resistant against overtopping (Figure III), which was presented at the international exhibition and its functionality was proved - resistance to flooding during floods.



Figure 3: Flood control dam resistant against overtopping – model

During the search process for suitable recycled waste which could fill the gaps, the STERED textile pulp was identified. Concrete proofing tests have shown both in the technological area and in strength characteristics that it is a composite which may have wide application in practice in the future. More details about STEREDBETON, as the composite was called, are contained in a separate STEREDBETON papers, which were presented on conferencies dealing with recyclate issue.

Production of composites with brick recyclate as load-carrying material of the structure will be recommended provided that the origin of the brick recyclate is verified. It is a reality that bricks placed in old buildings were burnt, while brick used in new buildings are "baked". The question of composite durability enters in the case of using such composites in applications.

Conclusion

This paper discusses composites solely made from concrete recyclate, in addition in the simplest form, limited only by the maximum grain size of aggregate. Direct consumption of recycled concrete from recycling centre depots, sorted by maximum grain sizes, depends on the type and size of the planned use.

The entire text of the paper shows that the utilization of one fraction concrete recyclate gives the possibility to develop new composites and find waste suitable for recycling. Composites of different characteristics, which will be developed in the future, can gain multilateral application in building practice. This will reduce the landfill of construction waste, which will contribute to the improvement of the environment with each new application

Acknowledgements

This paper was financially supported by a grant to the Development of prefabricated parts intended for the construction of prefabricated airport runways, No. TACR TH02010375, from the Technology Agency of the Czech Republic (TACR), and project GA16-08937S „State of stress and strain of fibre reinforced composites in interaction with the soil environment”.

References

1. Vodička J., Šeps K., Fládr J.: Betonové kompozity s recyklovaným kamenivem In: 13. konference Speciální betony 2016. Sekurkon, Praha 2016.
2. Šeps K., Fládr J., Broukalová I.: Resistance of recycled aggregate concrete to freeze-thaw and deicing salts In: Sborník příspěvků z 20. konference Výzkumného ústavu stavebních hmot, a.s.. VUSTAH - Výzkumný ústav stavebních hmot, Brno 2016.
3. Vodička J., Šeps K.: Charakteristiky vláknobetonů s recykláty důležité k praktickému využití recyklátů v zemních konstrukcích In: TOP 2013 Technika ochrany prostředí. Slovenská technická univerzita, Bratislava 2013.
4. Šeps K.: Properties of Cement Based Composites with Secondary Products In: PhD Workshop - Full Text. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra betonových a zděných konstrukcí, Praha 2016.

Možnosti využití betonového recyklátu ve stavební praxi

Jan VODIČKA, Alena KOHOUTKOVÁ, Hana HANZLOVÁ, Tereza HLAVÁČOVÁ

Fakulta stavební, ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29, Praha 6, Česká republika.

Souhrn

Příspěvek pojednává o mezerovitém kompozitu, vyrobeném výlučně z betonového recyklovaného kameniva. Při limitním využití pojiva má tento kompozit mezerovitou strukturu. Využití mezer v kompozitu lze nabídnout k využití dalších materiálů, s výhodou druhotných surovin. Jsou zde popsány dosud zkoumané možnosti vyplnění mezer v kompozitu a jeho zamýšlené praktické využití.

Klíčová slova: vláknobeton, betonový recyklát, široká frakce, druhotné suroviny.

Here are six great reasons why to study at FME STU:

1. Tradition and Quality

The Slovak University of Technology boasts the longest history in teaching engineering subjects in Slovakia. Its tradition is reflected by its excellent ranking among Slovak faculties and its international reputation.

2. Professional Career Building During your Study

We will assist you in planning and starting your professional career. The faculty cooperates with dozens of top industrial enterprises, trade organizations, institutions, and universities in Slovakia and abroad.

3. Graduates with a Future to be Envied

After successfully completing their study program, our graduates will have no problem in finding lucrative jobs. Apart from industrial enterprises, they are also in demand in other production branches, information technologies, educational and research institutions, local government, and trades.

4. Study in English

International students are welcome to enrol onto one of two Bachelor and two Engineering programmes delivered through the medium of English during the academic year 2017/18.

5. Excellent Location

The Faculty is located in Bratislava City centre which has a rich and diverse cultural background and sporting activities within walking distance. It justifies its title of Little Big City and it is included among the six most attractive cities in Europe, and lies at the epicentre and within easy travelling to Vienna and Budapest. All in all, being a student in Bratislava is a great experience.

6. Student Accommodation for Everyone

Students are provided with comfortable lodgings in renovated student hostels, along with the option of private flat rental. Numerous extra-curricular leisure time activities are available: gyms, swimming pools, athletic stadiums, cinemas and clubs.

Contacts	
Foreign students interested in study in <u>English language</u> :	Foreign students interested in study in <u>Slovak language</u> : <i>Please note that communication with this office is possible in Slovak language only.</i>
Slovak University of Technology Faculty of Mechanical Engineering	Strojnícka fakulta STU v Bratislavě Pedagogické oddelenie Namestie slobody 17, 812 31 Bratislava Slovak Republic Tel.: + 421 915 851 799 E-mail: admissions@sjf.stuba.sk Website: http://www.sjf.stuba.sk/english
Vice-Dean for International Relations and PR: Doc. Ing. Juraj Beniak, PhD.	E-mail: pedagogicke@sjf.stuba.sk Website: http://www.sjf.stuba.sk



Institute of Manufacturing Systems, Environmental Technology and Quality Management (IETM)

Head of IETM: Assoc. Prof. Peter Križan, PhD.

email: peter.krizan@stuba.sk; usetm.sjf.stuba@gmail.com

Nám. Slobody 17, 812 31 Bratislava, tel.: +421 2 572 96 539, mobil: +421 918 681 446

List of Scientific and Professional Activities of IETM

Offer for cooperation in following areas:

1.) Engineering, design and project activities

- design, engineering and production of tools,
- design, engineering and production of measuring devices and systems,
- engineering design of metal structures, manipulators, single-purpose machines, conveyors,
- designing of technological plants for waste treatment and solid biofuels production,
- drawings and technical documentation development,
- design and creation of technological procedures,
- simulations, calculation analysis, dynamic analysis, strength calculations, FEM,
- simulation and optimization of dynamic systems.

2.) Research & Development

- testing of friction materials (e.g. car brakes, etc.),
- investigation of dynamic instability, measurement of dynamic properties of structures, measurement of tension, temperature and vibration of structures,
- vacuum casting of plastics or low melting temperature materials into a silicone molds,
- electrolytic-plasma technology for the treatment of metal surfaces,
- research into the recovery of different types of waste (material and energy recovery and treatment technologies),
- research into the efficient use of renewable energy sources (biomass, etc.),
- research in the field of Rapid Prototyping technology, Reverse Engineering, 3D scanning,
- research in the field of biomass-plastics composites.

3.) Professional trainings and education

- programming of robots and production systems,
- industrial maintenance (tribodiagnosis, thermodiagnosis, vibro-diagnosis, machine diagnostics, maintenance systems),
- hydraulic and pneumatic systems,
- programming of CNC machines,
- CAD/CAM software trainings (SolidWorks, CATIA, AutoCAD, Inventor, etc.);
- professional training for Witness or PlantSimulation.