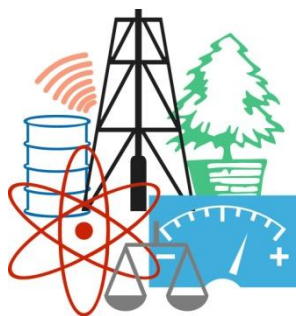


WASTE FORUM



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

RECENZOVANÝ ČASOPIS PRO VÝSLEDKY VÝZKUMU A VÝVOJE
Z OBLASTI PRŮMYSLOVÉ A KOMUNÁLNÍ EKOLOGIE

YEAR 2025

No. 2

Pages 128 – 165

Patron of the issue / Patron čísla

[ODPADOVÉ FORUM 2025](#) (12. – 14. 10. 2025, Hustopeče)

Symposium pro výsledky výzkumu a vývoje pro průmyslovou a komunální ekologii



Czech Environmental Management Center 2025

OBSAH / INDEX

Úvodní slovo šéfredaktora / Editorial	130
Pro autory / For authors	131
Analýza recyklačního potenciálu hliníkových tlakových aerosolových nádobek	132
Analysis of the recycling potential of aluminum pressurized aerosol containers	
<i>Tomáš LANK, Martin KUBAL, Pavel KURÁŇ</i>	
Využití postupov inteligentného priemyslu pre zvýšenie efektívnosti spracovania hliníkového odpadu	145
Use of smart industry practices to increase the efficiency of aluminum waste processing	
<i>Erika SUJOVÁ, Alžbeta KLIMENTOVÁ, Jozef KRILEK</i>	
Pyrolýza odpadových kalov z automobilového priemyslu	153
Pyrolysis of waste sludge from the automotive industry	
<i>Marek PATSCH, Peter PILÁT, Lucia MACÁKOVÁ</i>	
Pozvánky a nekomerční prezentace / Invitations and non-commercial presentations	
Symposium ODPADOVÉ FORUM 2025 – 1. cirkulář / Call for papers	164

WASTE FORUM – recenzovaný časopis pro výsledky výzkumu a vývoje pro průmyslovou a komunální ekologii
WASTE FORUM – electronic peer-reviewed and open-access journal on all topics of industrial and municipal ecology

ISSN: 1804-0195; www.WasteForum.cz. Vychází čtvrtletně.

Vychází od roku 2008, od roku 2017 je indexován v databázi SCOPUS.

Ročník 2025, číslo 2

Vydavatel: CEMC – České ekologické manažerské centrum, z.s., 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

Redakční rada: Ing. Vratislav Bednařík, CSc.; doc. Ing. Vladimír Čablík, Ph.D.; prof. Dr. Ing. Miroslav Černík, CSc.; prof. Ing. Tomáš Havlík, DrSc.; prof. Ing. František Hrdlička, CSc.; Ing. Slavomír Hredzák, CSc.; doc. Ing. Emília Hroncová, Ph.D.; prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.; prof. Ing. František Kaštánek, CSc.; 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 Punčochář, CSc., DSc.; Ing. Klára Slezáková, Ph.D.; Ing. Lenka Svecova, Ph.D.; doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.; prof. Ing. Lubomír Šooš, Ph.D.; prof. dr. hab. inž. Barbara Tora, Ing. Hana Urbancová, Ph.D., doc. Ing. Pavla Vrabcová, Ph.D.

Web-master: Ing. Vladimír Študent

Redakční uzávěrka: 8. 4. 2025. **Vychází:** 8. 6. 2025

Patron of the issue / Patron čísla: Symposium ODPADOVÉ FORUM 2025 (12. – 14. 10. 2025, Hustopeče, Česká republika)

ISSN: 1804-0195; www.WasteForum.cz

WASTE FORUM 2025, číslo 2, strana **129**



Úvodní slovo šéfredaktora

Vážení čtenáři,

toto číslo je poněkud chudší, zvláště ve srovnání s minulým číslem. Přitom v době redakční uzávěrky to vypadalo na 10 článků. Nevím, jestli tentokrát byli recenzenti obzvláště přísní, ale nakonec jejich sítem prošly bez problému jen tři. Ostatní autoři přepracovávají a doplňují. Takže je šance, že příští číslo bude zase nabitě.

Pokud se oba recenzenti ve svém názoru na článek víceméně shodnou, tak to mám jednoduché. Ale nezřídka jeden navrhne článek přepracovat, v horším případě dokonce odmítnout, a druhý s ním problém nemá, má jen nějaké připomínky. (Pokud nemá vůbec žádné připomínky, tak to mi je podezřelé a hledám třetího

recenzenta.) V takovém případě přikládám větší váhu tomu přísnějšímu vyjádření a onoho přísného recenzenta posléze žádám o vyjádření, zda článek v přepracovaném znění již může být dle jeho názoru publikován.

I když mám jistý okruh osvědčených recenzentů, tak zároveň se průběžně snažím tento okruh rozšiřovat. Většina oslovených bývá vstřícná, pod čímž rozumím i to, že mi obratem napíší, že nemají čas nebo že je článek mimo jejich obor. Problém je s těmi, co nereagují. Protože nevím, zda hrají „mrtvého brouka“ či mou žádost pouze přehlédli. Což obvykle zjistím, až po připomenutí se. Jenže mezitím se krátí čas pro náhradního recenzenta. A ne úplně výjimečně se mi stává, že se nakonec sejdou na jeden článek i tři recenze, když se mi nakonec „bez varování“ ozve jeden takový „mrtvý brouk“. Z hlediska kvality článku to nakonec není na škodu, ale je to nadstandardní.

Patronem tohoto čísla je symposium Výsledky výzkumu a vývoje pro průmyslovou a komunální ekologii ODPADOVÉ FORUM 2025. Vedle standardních sekcí ODPADY, VODA, OVZDUŠÍ máme letos tři specializované sekce, a to VEDLEJŠÍ PRODUKTY A ODPADY Z A PRO STAVEBNICTVÍ, OEEZ a TEXTIL. Co je ale nejdůležitější, že termín pro přihlášky příspěvků je již k 30. 6. 2025.

Na závěr připomínám, že nejbližší redakční uzávěrka je 8. 7. (další pak 8. 10.) a pokud váš článek bez problému projde recenzí, tak bude spolu s číslem vystaven do 10 týdnů od redakční uzávěrky, tj. začátkem měsíce září (v případě dalšího čísla pak počátkem prosince).

Ondřej Procházka

Editorial

Dear readers,

This issue is somewhat poorer, especially compared to the previous issue. At the time of the editorial deadline, there were 10 articles. I don't know if the reviewers were particularly strict this time, but in the end, only three passed through their filter without any problems. The other authors are reworking and adding. So there is a chance that the next issue will be full again.

Finally, I would like to remind you that the nearest editorial deadline is July 8th (the next one is October 8th) and if your paper passes the review without any problems, it will be published together with the issue within 10 weeks of the editorial deadline. The papers submitted for publication must be the author's own work and may not have been previously published elsewhere or sent to another publisher at the same time. For more, see [Publication Ethics](https://www.WasteForum.cz) on www.WasteForum.cz.

Ondřej Procházka

Pro autory

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 se zabudovanými obrázky a tabulkami, tak zvaně „**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 dále 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, abychom příjmově pokryli náklady spojené s vydáváním časopisu, vybíráme publikační poplatek ve výši 1000 Kč za každou stránku (bez DPH). V případě nepublikování příspěvku v důsledku negativního výsledku recenzního řízení je tato částka poloviční.

Uzávěrka nejbližšího čísla časopisu WASTE FORUM je 8. července 2025, další pak 8. října 2025.

For authors

WASTE FORUM is an open access 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. Papers submitted for publication must be the author's own work and may not have been previously published elsewhere or sent to another publisher at the same time. For more, see [Publication Ethics](#).

Manuscripts for publication in the journal WASTE FORUM should be sent only in **electronic form** to the e-mail address prochazka@cemc.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. **The paper, if it is of good quality and passes the review, is published no later than 10 weeks after the editorial deadline.**

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

Publication of the journal is not subsidized by anyone. Therefore, in order to cover the costs associated with publishing the magazine, we charge a publication fee of CZK 1,000 or 50 USD per page (excluding VAT). If the contribution is not published due to a negative result of the review process, this amount is halved.

The deadline of the next issue is on July 8, 2025, more on October 8, 2025.

Patron of the issue / Patron čísla: Symposium ODPADOVÉ FORUM 2025 (12. – 14. 10. 2025, Hustopeče, Česká republika)

Analýza recyklačního potenciálu hliníkových tlakových aerosolových nádobek

Tomáš LANK, Martin KUBAL, Pavel KURÁŇ

Univerzita J. E. Purkyně, Katedra environmentální chemie a technologie,
Pasteurova 3632/15, 400 96 Ústí nad Labem
E-mail: tomas.lank@ujep.cz

Souhrn

Odpadní aerosolové nádoby představují specifický typ odpadu, u kterého se v České republice potkává několik velmi dobrých předpokladů pro úplnou materiálovou recyklaci s několika komplikujícími faktory, v jejichž důsledku zatím k této recyklaci nedochází. V textu jsou analyzovány technické, ekonomické a legislativní aspekty recyklace aerosolových nádobek a jsou naznačeny cesty, po kterých by bylo možné se k plné a bezpečné materiálové recyklaci odpadních aerosolových nádobek přiblížit a vrátit tak do užívání poměrně významné množství hliníku.

Klíčová slova: aerosolová nádoba, hliník, recyklace, specifický typ odpadu

Úvod

Termín „recyklační potenciál“ bývá v odborné literatuře typicky používán pro označení souboru technických faktorů umožňujících recyklaci určitého materiálu nebo výrobku.^{1, 2} Zde je daný termín použit v širším významu a autoři v jeho rámci analyzují nejen technické, ale i netechnické faktory determinující proces recyklace jednoho velmi specifického typu hliníkového obalu. Termín „tlaková aerosolová nádoba“ je potom použit pro označení širokého spektra obalových forem dlouhodobě používaných v kosmetice, hygieně, farmacii, stavebnictví, zdravotnictví a dalších oblastech. V evropských předpisech se také někdy vyskytují jmenovitě pouze jen jako aerosoly, což není zcela přesné označení, které může vycházet z nepřesnosti překladu.

Specifický charakter odpadních aerosolových nádobek je zejména daný častou přítomností zbytkových obsahů hořlavých a výbušných látek. Odpadní aerosolová nádoba, třeba i jediná, snadno může způsobit překvapivě vysoké potíže a škody³. Aerosolová nádoba budí na první pohled dojem dobře recyklovatelné komodity a obecné povědomí o jejím hliníkovém základu tento dojem ještě zvyšuje. Na úrovni jednotlivce dále existuje vysoká schopnost odpadní aerosolovou nádobku poznat, vysoká ochota po jistou dobu ji přechovávat a posléze dobrá disciplína v předávání na vyhrazené místo (např. do lékárny nebo na sběrný dvůr) napomáhá také značení materiálového provedení ALU nebo číselné označení 41, tedy hliník. Již na komunální úrovni, a zejména potom na úrovních vyšších, potkáváme řadu komplikací, které dosud skutečnou, plnou a bezpečnou materiálovou recyklaci odpadních aerosolových nádobek neumožňují.

Konstrukce aerosolových nádobek

Samotný princip aerosolového rozprašovače je známý již od první poloviny 19. století, globálního rozšíření se potom tlakové aerosolové nádoby dočkaly až ve druhé polovině dvacátého století, když k jejich výrobě začal být používán hliník⁴. Narůstající obecný tlak na recyklaci odpadů, zejména potom odpadů obsahujících kritické či draze získávané kovy, vede k potřebě specifického shromažďování a recyklace také v případě aerosolových nádobek.

Konstrukce tlakových aerosolových nádobek vychází ze dvou základních principů. Účinná složka může být ve formě aerosolu vynášena mechanickým pumpováním nebo může být vynášena za pomoci hnací látky. Ve druhém případě může být hnací látka s účinnou složkou smíchána, nebo zde mohou existovat dva prostory oddělené flexibilní membránou. Aerosolové nádoby mohou být vyrobeny z řady materiálů – typově se jedná o kov, plast nebo sklo, přičemž v případě kovových nádobek převažuje v použití pro výrobu hliníků. Celkovou strukturu hliníkové aerosolové nádoby potom doplňují bilančně již méně významné segmenty z jiných kovů nebo plastové díly, doplňky a nátěry^{5,6,7,8}. Funkci hnací látky může obecně zastávat řada chemických sloučenin. V minulosti byly jako hnací plyny používány dnes již zakázané freony⁹, které byly posléze nahrazovány těkavými hořlavými uhlovodíky (propan-butan, n-butan, isobutan a dimethyléter). Používají se také nehořlavé plyny, jmenovitě vzduch, CO₂, F-plyny (pro medicínské výrobky).

A

Bilance hliníku, hliníkových obalů a hliníkových tlakových nádobek v rámci ČR

Na území České republiky se nenachází využitelné množství primárních surovin pro výrobu hliníku¹¹. Česká republika také nikdy nedisponovala technologickým zázemím pro výrobu hliníku z primárních surovin. Za doby bývalého Československa byl nicméně tento typ výroby situován do Žiaru nad Hronom do podniku budovaného od roku 1951 pod původním názvem Závod Slovenského národního povstania¹². Elektrolytická výroba hliníku se zde opírala o dovážené primární suroviny.

Primární surovinu pro výrobu hliníku představují bauxitické a nebauxitické oxidické rudy, které v sobě nesou značný podíl nežádoucích příměsí. Tyto příměsi (sloučeniny železa, křemíku, galia, titanu a vanadu) se musí nejprve z výchozí rudy odstranit buď rozpouštěním v koncentrovaném roztoku hydroxidu sodného, nebo spékací metodou. Touto předúpravou je získán oxid hlinitý, ze kterého je následně v tavenině s kryolitem elektrolyticky získáván hliník s dvou – až tří-devítkovou čistotou¹³. Předúprava bauxitu, a zejména potom elektrolytické vylučování hliníku z taveniny, jsou mimořádně náročné na spotřebu energie. Na výrobu jednoho kilogramu čistého hliníku je uváděna spotřeba 47,5 kWh¹⁴. Vysoká spotřeba energie při výrobě hliníku je jedním z důvodů, proč je recyklace tohoto kovu ekologicky i ekonomicky výhodná, neboť recyklace spotřebuje až o 95 % méně energie než primární výroba. Z předúpravy primárních rud dále vzniká velké množství toxických odpadů, které se běžně ukládají na deponie a mohou přinášet vysoké riziko. Provalení ochranné hráze v blízkosti maďarské obce Kolontár v roce 2010 vedlo k řadě úmrtí a ohromným majetkovým škodám^{15, 16, 17}.

Při absenci vlastní výroby a současně dlouhé životnosti hliníku můžeme přibližnou výchozí představu o množství tohoto kovu používaného na území státu získat porovnáním vývozu a dovozu. Data, jejichž výchozím zdrojem jsou databáze Českého statistického úřadu pro roky 2016 – 2022, jsou shrnuta v tabulce 1. Zde uvedené hmotnosti dováženého a vyváženého surového hliníku, hliníkového odpadu a šrotu jsou sice značně vysoké, nepokrývají ale téměř s jistotou skutečně celkové množství

A Vybraná odborná literatura z aerosolového odvětví:

Komplexním zdrojem informací pro profesionály v oblasti aerosolové technologie je „The Aerosol Handbook“, odborná publikace zaměřená na technologii aerosolů, kterou napsal Montfort A. Johnsen ve spolupráci s Wayne E. Dorlandem a Eleanore Kanar Dorlandovou. První vydání vyšlo v roce 1972 u vydavatelství W. E. Dorland Company v Caldwellu, New Jersey, USA, a obsahovalo 630 stran.

The Science and Technology of Aerosol Packaging je odborná publikace, která poskytuje komplexní přehled o vědeckých a technických aspektech aerosolového balení, včetně různých typů aerosolových systémů a fyzikálně-chemických aspektů aerosolové technologie.

Kompedium der Aerosoltechnik je odborná publikace, kterou napsal W. Tauscher a vydalo nakladatelství Ziolkowsky v Augsburgu v roce 1984. Kniha se zaměřuje na technologii aerosolů, poskytuje podrobný přehled o vědeckých a technických aspektech aerosolové techniky a je často citována v odborné literatuře zabývající se kosmetickým průmyslem a souvisejícími oblastmi.

Aerosol and Spray Report byla odborná publikace zaměřená na aerosolovou technologii, vydávaná nakladatelstvím Dr. Alfred Hüthig Verlag GmbH v Heidelbergu v letech 1962 až 1991. V roce 1991 došlo k přejmenování na „Aerosol-Spray-Report“, které vycházelo až do roku 1999. Po roce 1999 byla publikace přejmenována na „Aerosol Europe“ a je stále aktivní¹⁰.

hliníku pohybujícího se na území České republiky. Je jistě mnoho cest, po kterých se hliník do uvedených bilančních dat nemusí propsat. Běžným případem je výroba motorových a konstrukčních dílů, kde hliník tvořící pouze součást výsledného výrobku, takto není v přeshraničním pohybu identifikovatelný. V obecném kontextu tohoto článku jsou ale zejména významné údaje k vývozu hliníkového odpadu a šrotu. U těchto číselných dat bude reálná vypovídací schopnost vysoká a lze tak konstatovat, že každoročně opouští území České republiky cca 70 – 80 000 tun hliníkového odpadu, který zde nebyl recyklován.

Specifickou skupinu hliníkových výrobků představuje široké spektrum obalů a obalových materiálů. Smyslem jejich existence je dočasná ochrana důležitějšího a cenově hodnotnějšího produktu. Skutečná množství hliníkových obalů a obalových materiálů mohou uniknout z výrobních statistik a jejich hmotnostní množství lze pak identifikovat teprve v okamžiku, kdy se stanou odpadem ve smyslu zákona č. 541/2020 Sb. Ministerstvo životního prostředí ČR publikovalo k celkové produkci hliníkových obalů data ukázaná v tabulce 2.

Tabulka 1: Bilance dovozu a vývozu hliníku a hliníkového odpadu^{11,18}

		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
DOVOZ v tunách	surový Al	295 863	304 932	290 073	284 918	221 026	278 655	277 035	276 646
	odpad a šrot	120 131	115 096	119 634	124 700	122 686	116 463	125 165	107 204
	Σ dovoz	415 994	420 028	409 707	409 618	343 712	395 118	402 200	383 850
VÝVOZ v tunách	surový Al	96 482	97 885	97 784	105 219	107 704	121 792	109 683	99 546
	odpad a šrot	75 176	74 533	72 361	68 531	61 783	80 133	75 828	79 781
	Σ vývoz	171 658	172 418	170 145	173 750	169 487	201 925	185 511	179 327
(DOVOZ – VÝVOZ)		244 336	247 610	239 562	235 868	174 225	193 193	216 689	204 523

Tabulka 2: Produkce hliníkových obalů a jejich recyklace v ČR^{11,18, 50}

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Al obaly (v tunách)	9 141	9 086	9 697	10 697	10 116	11 751	13 260
materiálová recyklace (v tunách)	2 293	2 628	2 586	2 342	4 674	2 844	2 667

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Al obaly (v tunách)	15 511	16 879	18 121	18 623	24 305	27 548	27 184
materiálová recyklace (v tunách)	3 121	4 829	4 053	6 051	6 496	7 945	8 122

V rámci skupiny hliníkových obalů (tabulka 2) můžeme posléze identifikovat specifickou podskupinu, kterou představují hliníkové aerosolové tlakové nádoby. Lze důvodně předpokládat, že tyto nádoby se posléze v prakticky stejném množství stanou odpadem. Bez předchozí úpravy spočívající ve zbavení zbytkového vnitřního tlaku a v odstranění původní náplně se potom jedná o nebezpečný odpad. Přesná a doložitelná číselná data k množství odpadních hliníkových aerosolových odpadů vznikajících v ČR nejsou bohužel k dispozici. Čistě teoreticky by bylo možné toto množství odvodit z výrobní sféry, nicméně domácí trh zásobují jak místní výrobci, tak i dovozci z EU a přesné množství údajů k dispozici nejsou. Kvalifikovaný odhad pracuje s číslem 2 000 tun/rok odpadních aerosolových sprejů. Odhaduje se, že jiné státy EU spotřebovávají 4 až 8 ks spreje/na občana/rok. V ČR se toto číslo odhaduje na 3 až 4 ks/na občana/rok.

Recyklační potenciál hliníkových aerosolových nádobek

Recyklační potenciál hliníkových aerosolových nádobek můžeme hodnotit ze čtyř různých pohledů: 1) technického, 2) legislativního, 3) logistického a 4) ekonomického.

Technické aspekty recyklace

Hliník je kov s vysokou korozní odolností. Za běžných atmosférických podmínek je jeho povrch plně chráněn pasivní oxidickou vrstvou, kterou naruší až kyselé či alkalické podmínky ve vodním prostředí, vysoké koncentrace solí nebo elektricky vodivý kontakt s některými jinými kovy¹⁹. Výrobky z hliníku a jeho slitin se obecně vyznačují velmi dlouhou životností, která je jedním ze základních předpokladů recyklovatelnosti. V případě kusových hliníkových výrobků (například odlitků, drátů, či profilů) vychází recyklace z prostého přetavení, které usnadňuje relativně nízký bod tání čistého hliníku 660 °C. V tomto případě se plně zachová skutečná materiálová hodnota a recyklovaný hliník se může opět použít pro výrobu stejných kusových produktů, ze kterých byl přetaven. Pokud je případně u kusových výrobků použita ochrana či úprava povrchu, jedná se o bilančně málo významný podíl, který proces přetavení významněji neomezuje.

Technicky odlišná je ale situace u hliníkových obalů. Zde se typicky jedná o tenkostěnné tažené nebo lisované tvary, na jejichž povrch se z ochranných či reklamních důvodů aplikují nátěry, postřiky a nálepky, někdy ve složitě laminátové struktuře²⁰. U hliníkových obalů bývá podíl nehmotné složky podstatně větší než u kusových výrobků, což zásadním způsobem komplikuje recyklační proces. Jednoduché přetavení zde zpravidla neumožňuje získání materiálu s původními vlastnostmi. Tlakové aerosolové nádoby představují ve skupině hliníkových obalových materiálů a produktů velmi specifickou podskupinu. Vedle již naznačené komplikované struktury povrchové úpravy samotného obalu se zde přidávají nehmotné konstrukční materiály a zcela zásadní problém „vnitřní náplně“ obsahu, který tlaková nádoba chrání. Na druhé straně bývá tloušťka stěny aerosolové nádoby větší z důvodu odolnosti vůči vnitřnímu tlaku, nejběžněji 12 bar oproti například nápojovým plechovkám, a možnost přetavení tedy může připadat v úvahu.

V rámci technického provedení recyklace použitých aerosolových nádobek je nutné zvážit dva odlišné zpracovatelské stupně. V prvním stupni musí být provedeno odstranění případných zbytkových obsahů (příslušná technologie musí být v zásadě schopna pracovat se zbytkovým obsahem v rozmezí 0 – 100 %), přičemž toto vymístění bývá výhodně spojeno s dezintegrací a případně další mechanickou úpravou (např. lisováním). Teprve v dalším stupni probíhá vlastní materiálová recyklace konstrukčního materiálu nádoby.

Legislativní aspekty recyklace

Použité tlakové aerosolové nádoby vykazují či mohou vykazovat řadu nebezpečných vlastností ve smyslu zákona o odpadech č. 541/2020 Sb. Na použitou tlakovou nádobku je potom preventivně nutno nahlížet jako na plnou, neboť i v této podobě se může snadno stát odpadem. Prakticky z hlediska původu odpadu lze rozlišit odpadní aerosolové nádoby vznikající v rámci průmyslové činnosti, dále nádoby pocházející od fyzických osob z komunální sféry odděleně soustřeďované a pak ty, které tvoří součást běžného směsného komunálního odpadu. Specifický typ odpadních aerosolových nádobek představují lékařské inhalátory a některé farmaceutické výrobky produkováné ze zdravotnických zařízení jako součást nemocničního odpadu.

V rámci běžné průmyslové praxe jsou odpadní aerosolové nádoby zpravidla uváděny pod katalogovými čísly 08 01 11*, 15 01 10*, 15 01 11* a 16 05 04*. Nejednotný přístup lze ale zaznamenat také v komunální sféře. Odpadní aerosolové nádoby mohou být právnickou nebo podnikající fyzickou osobou předány provozovateli zařízení oprávněnému k nakládání s tímto odpadem nebo na sběrný dvůr, kde připadá v úvahu zařazení pod kódy 08 01 11* nebo 15 01 10*. Pro občany nejsou ve skupině 20 (komunální odpad) v nabídce jasně definované kódy. Praxe sběrných dvorů při příjmu použitých aerosolových nádobek nebývá jednotná, což je důsledek rozdílného přístupu při dalším nakládání s tímto odpadem.

V případě multikomoditního sběru v obci, pro který jsou zpravidla využívány žluté kontejnery, jsou pak od občanů aerosolové spreje přidávány jako součást ostatního odpadu a evidovány před dotříděním dle katalogového čísla převládajícího odpadu nejpravděpodobněji katalogovým číslem odpadu 20 01 39. Nevýhoda pro soustřeďování odpadních aerosolových sprejů prostřednictvím multikomoditního sběru spočívá v podmínce, že do kontejnerů pro ostatní odpady budou občanem vyhazovány pouze aerosolové nádoby zbavené nebezpečných vlastností (tedy zůstatkové plynové náplně, a tedy v perforovaném stavu, protože pouhým vystříkáním spreje nikdy nedojde k jeho úplnému vyprázdnění), protože zákon o odpadech v § 7 odst. 1 písmeno c) nepřipouští možnost, aby celkový objem naplněné nádoby určené pro multikomoditní sběr zůstal ostatním odpadem po vhození nebezpečného odpadu z aerosolových sprejů. Takový odpad by pak v celém svém objemu byl dle definice zákona odpadem nebezpečným „c) je smísen s některým z odpadů uvedených v písmenu b) nebo je jím znečištěn.“ V případě sběru kovů „šedé kontejnery“ jsou odpadní spreje jako ostatní odpad s katalogovým číslem 20 01 40. V případě nevytřídění občanem jsou jako ostatní odpad součástí směsného komunálního odpadu s katalogovým číslem 20 03 01 „nejčastěji černé kontejnery“. Z hlediska správného zařazení odpadu ve skupině 20 vyhlášky č. 8/2021 Sb. Vyhláška o Katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů (Katalog odpadů) buďto chybí ekvivalentní druh odpadu k odpadu 15 01 10*, jaký se produkuje z výrobní sféry, tedy varianta pro nebezpečný obal mezi kovovými obaly například jako poddruh u druhu odpadu 20 01 40 (chybí poddruh jako kovový obal uvedený s hvězdičkou „*“). Nebo je nutno tento odpad zařazovat pod kategorii O/N^B a dále dle jeho skutečných vlastností s ním poté takto nakládat.

Obec je povinna určit místa pro oddělené soustřeďování komunálních nebezpečných odpadů (tedy i odpadních aerosolových sprejů, pokud nejsou perforovány a zbaveny vnitřní náplně), což je ustanovení vyplývající z § 59 odst. 2 zákona č. 541/2020 Sb. a zavazuje obce k povinnosti vytvoření systému pro nakládání také s tímto specifickým druhem odpadu. Problém tak zůstává u občana a často je pak využívána nesprávná a zákonem o odpadech (dle § 13 odst. písm. c) zakázaná možnost vhození do směsného komunálního odpadu 20 03 01. Plynové kartuše, jako například kempingové plynové kartuše nebo zásobníky pro N₂O, zpravidla nejsou přijímány na sběrných dvorech vůbec pro nemožnost následného předání tohoto druhu odpadu (neexistuje koncové zařízení). Aerosolové spreje získané ze sběrných dvorů jsou bez recyklačních technologií skládkovány, protože ve spalovnách způsobují ekonomické škody²¹.

Do roku 2025 byl hliník zařazován pouze jako druh odpadu 17 04 02 Hliník, nebo byl součástí druhu 19 12 03 Neželezné kovy. Jako odpad je hliník od 1. 1. 2025 v podmínkách České republiky nově sledovatelný v produkci odpadů prostřednictvím nově zavedených poddruhů odpadů například (12 01 03 02 Hliník, 19 12 03 02 Hliník, 20 01 40 02 Hliník).

Logistické aspekty recyklace

Základní logistickou podmínkou jakékoli efektivní recyklace je zajištění stabilního přísunu recyklovatelného materiálu²². V kontextu této práce to potom specificky vyžaduje znalost množství výrobků distribuovaných na trh v tlakových aerosolových nádobkách, zajištění spolehlivého a bezpečného systému sběru odpadních nádobek a zajištění transferu k recyklační technologii.

Výše v textu již byl uveden údaj 2 000 tun/rok, který představuje kvalifikovaný minimální odhad množství odpadních aerosolových nádobek na území ČR. Jedná se o číselně nevýznamný podíl ve srovnání s celkovým množstvím hliníkových odpadů, případně potom hliníkových odpadních obalů. Situaci ovšem mění fakt, že se jedná o nebezpečný odpad. S ohledem na výše uvedené skutečnosti existuje zřejmá potřeba bezpečného separovaného sběru aerosolových nádobek (oddělené od jiných odpadů či jiných kovových materiálů), potřeba odděleného bezpečného transportu pak již zajištěna je, a to Dohodou o mezinárodní silniční přepravě nebezpečných věcí (dále jen ADR), a specifického způsobu technologické úpravy spočívající v bezpečném odstranění případných kapalných a plyných zbytků. Teprve po provedení těchto kroků můžeme k aerosolovým nádobkám přistupovat jako k jiným

^B odpady, kterým byla kategorie nebezpečný odpad přiřazena v souladu s § 7 odst. 1 písm. a) a c) zákona a nemají v Katalogu odpadů katalogové číslo označené symbolem „*“, se označují jako „O/N“.

(množstevně většinovým) hliníkovým odpadům. Tedy se jeví jako nezbytně nutné zavedení jednotného systému třídění tohoto odpadu před jeho následnou recyklací.

Existují dva jednoduché výchozí předpoklady, od kterých se musí odrazit systém separovaného sběru odpadních aerosolových nádobek: 1) hliníkovou aerosolovou nádobku prakticky každý pozná a 2) odpadní nádobku je nutné preventivně považovat za plnou. První z uvedených předpokladů je samozřejmě mimořádně výhodný, neboť na úrovni jednotlivce dává při dobré dostupnosti míst k soustřeďování tohoto odpadu šanci na účinnost sběru blížící se 100 %. Druhý předpoklad vyžaduje ovšem složitější výklad, neboť v hraničním případě, kdy vyhazují nepoužitý výrobek, může nádobka – výrobek – mít totožné vlastnosti s nádobkou – odpadem.

Výrobková legislativa specificky nařízení vlády 194/2001 Sb.^c stanoví²³: *Aerosolový rozprašovač je nádobka určená pro jedno použití vyrobená z kovu, skla nebo plastu, která obsahuje stlačený, zkapalněný nebo rozpuštěný plyn pod tlakem, samotný nebo ve směsi s kapalinou, pastou nebo práškem, s uzávěrem, který umožňuje vypouštění obsahu jako směs pevných nebo kapalných částic v plynu, ve formě pěny, pasty, prášku nebo v kapalném stavu.*

Z hlediska požadavků pro přepravu se aerosolové spreje zařazují dle ADR²⁴ jak v režimu výrobku, tak v režimu odpadu pod UN 1950, což výslovně uvádí mnohostranná dohoda M329²⁵. Proto pokyn pro balení P207 dohody ADR výslovně uvádí, že obaly musí být zkonstruovány a vyrobeny tak, aby zamezily nadměrnému pohybu aerosolů a jejich neúmyslnému vyprázdnění za normálních podmínek přepravy. Pokyn pro balení LP200 pak navíc nařizuje, aby přepravní obal byl přiměřeně větrán, aby se zabránilo vytváření nebezpečného ovzduší a hromadění tlaku. K tomuto účelu existují na trhu speciální prostředky určené k soustřeďování odpadu z aerosolových sprejů s certifikací UN 1950 AEROSOLS, flammable²⁶.

FEA²⁷ Evropská aerosolová federace zřejmě proto uvádí na svých webových stránkách sdělení, že během sběru odpadu, přepravy a manipulace na zařízeních pro materiálové zpracování (MRF= Material Recycling Facility) je riziko požáru nebo výbuchu z prázdných aerosolových nádob nízké a snadno zvládnutelné, pokud nejsou soustředěny odděleným sběrem. Což kontrastuje s povinností potenciálně nebezpečné aerosolové nádoby v režimu odpadu třídít. Pokud ale jsou soustředěny odděleným sběrem, a to pro potřeby následné recyklace dle zákonných požadavků na oddělené soustřeďování odpadů s cílem umožnit jejich následnou recyklaci, pak riziko výbuchu a následného požáru není vyloučeno. Uvedená instrukce pro zacházení s odpadními aerosolovými spreji od FEA kontrastuje s povinností komunální odpady třídít (odděleně soustřeďovat jejich recyklovatelné složky) a cíli SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2018/851, ze dne 30. května 2018, kterou se mění směrnice 2008/98/ES o odpadech, jenž ukládá povinnost zvýšit do roku 2035 úroveň přípravy k opětovnému použití a recyklace komunálního odpadu nejméně na 65 % hmotnosti. Tento cíl pak v podání českého zákona o odpadech č. 541/2020 Sb. přechází v cíle obcí, které mají povinnost zajistit, aby odděleně soustřeďované recyklovatelné složky komunálního odpadu tvořily do roku 2035 a následujících letech alespoň 70 % z celkového množství komunálních odpadů. Odpad z aerosolových sprejů a jim podobných tlakových nádobek tedy bude ve snaze vytrít komunální odpady stále viditelnější a potřeba zavedení systému pro nakládání s ním bude sílit.

Ekonomické aspekty recyklace

Stanovisko²⁸ Ministerstva životního prostředí podle § 32 písm. m) zákona č. 477/2001 Sb. *Zákon o obalech a o změně některých zákonů (zákon o obalech)* sděluje, že aerosolová nádobka je obalem, pokud je naplněna, nebo je uzavřena, nebo se stane součástí prodejní jednotky nebo skupiny prodejních jednotek. Při uvádění na trh vzniká povinnost odvádět poplatek společnosti EKO-KOM, a.s., autorizovaná obalová společnost zabývající se provozem systému třídění a využití odpadu, což umožňuje získání finanční podpory od této společnosti pro sběr a na podporu zařízení, která příslušný odpad vytrídí a případně pro jeho následné zpracovatele.

Z hlediska aktuálně platných a dlouhodobě nepřilíš významně měnících se výkupních²⁹ cen hliníkového odpadu se jedná o zajímavou komoditu na významných cenových hladinách. Výkupní ceny se zde pohybují v rozmezí od přibližně 25 000 Kč/t za hliníkové třísky, nápojové plechovky, hliník

^c <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-194>

s obsahem jiných kovů a hliníkové chladiče až do přibližně 60 000 Kč/t za nové dráty a profily a hliníkové plechy. V rámci položky „nápojové plechovky“ bývají zahrnuty také hliníkové aerosolové nádobky, což je dáno strukturou systému odděleného soustředování tohoto odpadu v podmínkách ČR. Cenu na trhu lze sledovat na některém z burzovních portálů, například na webu Londýnské burzy kovů³⁰, který poskytuje informace o obchodování s hliníkem, včetně specifikací kontraktů, aktuálních a historických cen a tržních dat nebo se lze jednoduše na aktuální cenu dotázat obchodníka s kovovým šrotem.

Zahraniční zdroje a zkušenosti

Na tomto místě je zapotřebí nejprve zmínit nové nařízení EU „Packaging and Packaging Waste Regulation“ (PPWR³¹). Nařízení v článku 6 ukládá, aby všechny obaly byly povinně recyklovatelné, což vyžaduje splnění následujících podmínek:

- 1) Obaly jsou navrženy pro materiálovou recyklaci, která umožňuje využití vzniklých sekundárních surovin dostatečné kvality, jež ve srovnání s původním materiálem mohou nahradit primární suroviny.
- 2) Když se obaly stanou odpadem, mohou být odděleně sbírány, tříděny do specifických toků odpadu, aniž by ovlivňovaly recyklovatelnost jiných toků odpadu, a recyklovány ve velkém měřítku.

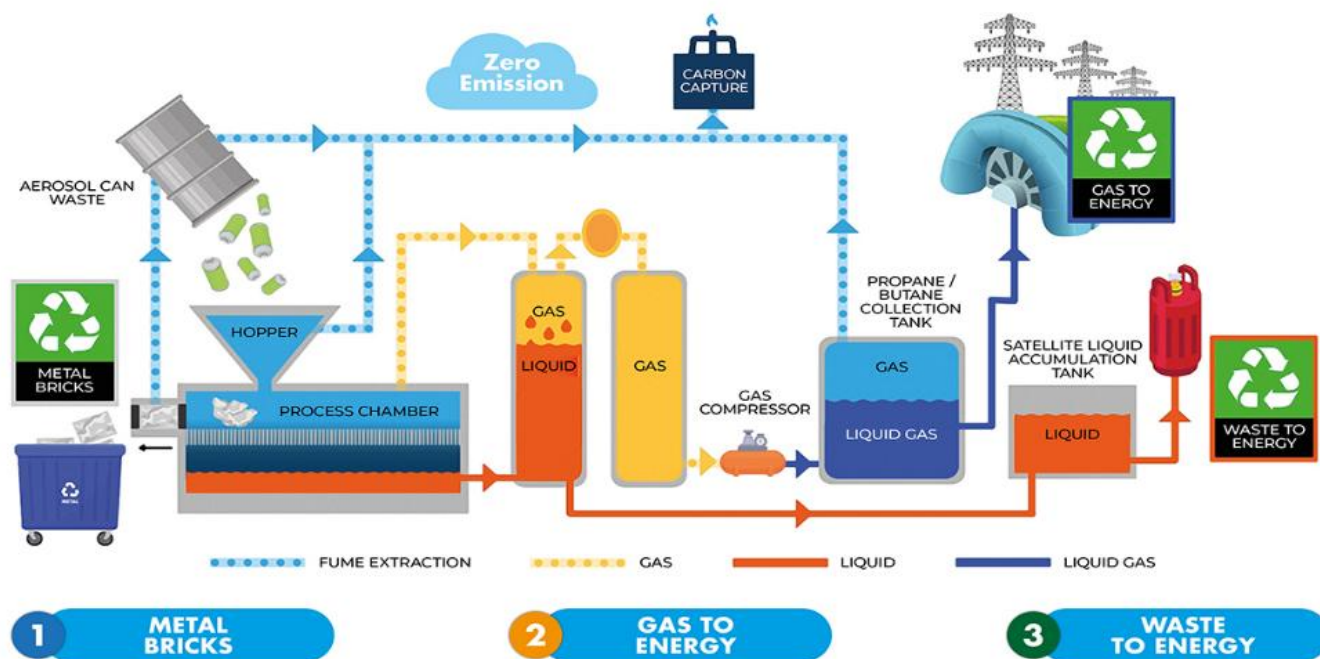
Cíle pro hliník jsou stanoveny do 31. prosince 2030 dle minimálních procentuálních podílů hmotnosti konkrétního materiálu obsaženého ve vyprodukovaných obalových odpadech na 60 %. Indikativní seznam obalových materiálů, typů a kategorií uvedených v článku 6 a dále vyjmenovaný v příloze nařízení vyjmenovává mezi kovovými hliníkovými obaly také aerosoly, tedy nádobky aerosolových rozprašovačů³².

Řadou reprezentativních zahraničních pramenů (zde ilustrativně odkazy z EU, Velké Británie, Austrálie a USA)^{33, 34, 35, 36} lze doložit potřebu bezpečného separovaného sběru odpadních aerosolových nádobek. Tato potřeba je podložena nezpochybnitelným rizikem požáru nebo výbuchu při neopatrné manipulaci s aerosolovou nádobkou a bývá dokládána mnoha reálnými příklady. Za bezpečný sběr se v citovaných odkazech považuje takový soubor technických opatření, při kterých je omezeno a nejlépe eliminováno nebezpečí požáru či výbuchu. Mezi uživatelem a recyklačním zařízením musí tedy být zajištěna cesta, při které nebude docházet k neřízeným únikům zbytkových obsahů nádobek. Za prokazatelně funkční separovaný sběr odpadních aerosolových nádobek lze považovat sběrný dvůr vybavený speciálními nádobami stejně, jako tuto službu nabízí například sběrný dvůr v Berlíně³⁷.

Zásadní podmínkou bezpečného separovaného sběru aerosolových nádobek je racionálně vedená a v čase stabilní informační kampaň směrem k veřejnosti, zejména potom na místní úrovni. Základem je zde poskytování jednoduchých a srozumitelných informací. Dobrým příkladem zde mohou být webové stránky "Recycle Coach"³⁸, které jasně definují pět chybných kroků (nevypřázdňování nádobky, vyhazování nepoužitých výrobků, ignorování místních pravidel, odstraňování víček a uzávěrů a míchání se směsným odpadem). Jedním z nejnovějších článků k aerosolovému odpadu³⁹ je od Alaina D'haese z ledna 2023 publikovaný v časopisu World aerosols⁴⁰.

Autor ve svém článku zdůrazňuje, že pro harmonizaci systémů separovaného sběru Evropská komise navíc posoudí proveditelnost celoevropského označování, které by usnadnilo správné třídění obalového odpadu u zdroje. Autor výslovně říká, že cílem FEA je zaměřit se na klíčové problémy aerosolového průmyslu a propojit výrobce, plniče a dodavatele.

Technické provedení recyklace separovaných aerosolových nádobek potom v principu spočívá ve dvou krocích, jak již bylo uvedeno. Vhodným navazujícím krokem může být lisování a předání dalšímu zpracovateli nebo pokračující dezintegrace a separace nehliníkových segmentů^{41, 42, 43, 44}. Ilustrativním příkladem recyklační jednotky může být zařízení od společnosti DESPRAY Environmental od holandského výrobce.



Obrázek 1: Schéma technologických procesů recyklačního zařízení DESPRAY, Zdroj: <https://despray.com/how-it-works/>, rok 2025.

Při recyklaci může být jedním systémem oddělený sběr a recyklace obalů od polyuretanových pěn a druhým systémem je pak řešen sběr všech ostatních aerosolových produktů.

Aerosolové produkty jsou většinou osvěžovače vzduchu, oleje na vaření, dózy na kosmetiku včetně make-upu, opalovacích krémů, deodorantů, biocidní spreje, odledňovače, leštěnky na podlahy s nízkým obsahem vosku, mazací oleje a třeba i lékařské inhalátory. Pro informaci jen v ČR se každoročně prodá 3,6 milionů kusů inhalátorů⁴⁵, což generuje přes 130 tun odpadu. Dále jsou to minerální oleje, penetranty, farmaceutické výrobky, propanbutanové lahve, dezinfekční prostředky, barvy ve spreji, průmyslová mazadla, tekutá těsnění, auto&cyklo kosmetika, repelenty a mnoho dalších. Ve vyspělých státech v Evropě se tyto obaly od aerosolů separují od ostatních odpadů a recyklují se u firem, jako je například REMONDIS⁴⁶. Firmy a obce využívají mnoho typů speciálních kontejnerů na aerosolové obaly⁴⁷.

Například v sousedním Německu se ročně spotřebuje přibližně 25 milionů kusů nádobek s polyuretanovou pěnou. Německá firma PDR Recycling GmbH + Co KG přišla s řešením, které je dimenzováno na celoplošný výkup všech autorizovaných sprejů s polyuretanovou pěnou. PDR logistický tým sbírá nádobky od polyuretanové pěny po celém Německu. Tato služba zpětného odběru plechovek je zahrnuta v prodejní ceně plechovek, a proto je v Německu zdarma. V recyklačním závodu v Thurnau má PDR speciální zařízení na opětné zhodnocení použitých sprejů s polyuretanovou pěnou⁴⁸. PDR⁴⁹ musela vybudovat samostatnou recyklační logistiku ve spolupráci s Deutsche Bahn, ABX Logistics (dříve Bahntrans), Interseroh Deutschland a s Deutsche Post.

Stávající přístup k aerosolovým nádobkám v České republice

Nejednotnost v přístupu k zařazování do druhů odpadů a jejich následného odděleného soustředování, které je povinností každého dle § 13 odst. 1 písm. c) zákona č. 541/2020 Sb., o odpadech, je způsobena ve velké míře nejednotností výkladu a aplikace aktuálně platných právních předpisů. Skutečné vlastnosti tohoto odpadu z něj dělají nebezpečný odpad, což omezuje jeho nakládání s ním prostřednictvím systémů zřízených pro odpady ostatní, jako jsou například veškeré běžně dostupné prostředky k soustředování odpadů instalované pro občany v obcích a městech jako jsou barevné kontejnery pro separovaný odpad. Vyhláška č. 273/2021 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady pak v § 5 odst. 1 písm. b) výslovně ukládá povinnost používat k soustředování odpadu

prostředky, které splňují technické požadavky k nakládání s chemickými látkami a směsmi se stejnými vlastnostmi, jako mají odpady, pro které jsou určeny. To je vzhledem k fyzikálním vlastnostem hořlavých propelentů, které jsou navíc těžší než vzduch a v případě úniku se shromažďují v nádobě, ve které je odpad soustředěn, nutnou podmínkou k dodržení jako prevenci následných nehod a mimořádných událostí. Takovými mohou být zahoření, případně až výbuch.

Nejednotnost ve výkladu při nakládání s tímto odpadem vede také ke značně rozdílnému sdělování instrukcí, jak s tímto odpadem správně nakládat prostřednictvím hromadných sdělovacích prostředků. Jako pro obal musí pro tento odpad existovat systém, což vyplývá ze skutečnosti, že si na tento systém přispívají všichni ti, kteří platí poplatek za uvedení tohoto obalu na trh. Takový systém musí počítat se skutečnými nebezpečnými vlastnostmi tohoto odpadu a z logiky věci se musí jednat o systém separovaného sběru. V České republice se zatím účinná recyklace odpadních aerosolových obalů neprovádí a není pro ni vytvořen systém bezpečného sběru, přitom případy o vzniklých škodách na majetku a zdraví jsou mediálně prezentované a doložitelné. Odborná veřejnost přitom zřetelně chápe potřebu zavedení funkčního systému sběru tohoto odpadu a potřebu jeho recyklace. Stejně tak běžný občan vnímá, že by tento odpad měl být vytřídován, proto se tyto odpady objevují jako příměs v nádobách určených pro separované složky komunálních odpadů, kam jsou ale paradoxně soustřeďovány nesprávně a mohou způsobovat škody při následném nakládání s nimi.

Pro předcházení vzniku nehod, kdy odpad z tlakových nádob a aerosolových sprejů způsobuje materiální škody na majetku a může způsobovat i ohrožení zdraví těch, kteří s tímto odpadem dále nakládají, je nutné vést jednotnou výkladovou praxi, případně mediální kampaň a musí být široké veřejnosti sdělované pouze platné informace vycházející z platné legislativy.

Shrnutí a závěr

Použité tlakové aerosolové nádoby jsou odpadem, jehož recyklační potenciál je mimořádně vysoký. Nezpochybnitelná výhodnost plné materiálové recyklace je dále posílena jasnou potřebou předřazené úpravy odpadních nádobek spočívající v bezpečném odstranění zbytkových plynných a kapalných obsahů. Efektivní recyklační strategie je podmíněna funkčním systémem separovaného sběru a jednotným výkladem při nakládání s tímto odpadem a vyjasněním instrukcí ke správnému nakládání s aerosolovými nádobkami a spreji prostřednictvím hromadných sdělovacích prostředků. Do budoucna by možná stálo za zvážení otevřít diskusi na téma finanční motivace uživatelů k recyklaci tohoto typu odpadu například jeho zálohováním.

Výše uvedené shrnutí vyplývá z následujících skutečností:

- Dominantním konstrukčním materiálem aerosolových nádobek je hliník. S výjimkou nátěrů a postřiků jsou další minoritní segmenty jako plast, železo a sklo po dezintegraci separovatelné. Tloušťka stěny hliníkové nádoby je relativně velká a dává dobrou šanci na případné pyrometalurgické zpracování.
- Zásadní podmínkou plné materiálové recyklace odpadních aerosolových nádobek je bezpečné odstranění zbytkových obsahů, které musí být provedeno tak, aby bylo eliminováno nebezpečí požáru nebo výbuchu. Výhodou je pak možnost energetického využití jak získaných odpadních plynů, tak kapalin.
- Technicky realizovatelná a ekonomicky udržitelná recyklace aerosolových nádobek je primárně podmíněna funkčním systémem separovaného sběru, který zajistí shromažďování nádobek od fyzických či právnických osob na vybraných místech a do vhodných nádob.

Poděkování

Tato publikace je výsledkem projektu ESURET – Evaluce netradičních odpadních surovin pokročilými recyklačními technologiemi, reg. č. CZ.02.01.01/00/23_021/0009163, který je spolufinancován Evropskou unií a Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy v rámci výzvy OP JAK Mezisektorová spolupráce pro ITI.

Reference

1. Graedel T.E., Erdmann L.: Will metal scarcity impede routine industrial use?, MRS Bulletin , Volume 37 , Issue 4: Materials for sustainable development , April 2012 , pp. 325 – 331, doi: <https://doi.org/10.1557/mrs.2012.34>
2. Henckens T.: Governance of The World's Mineral Resources - Beyond the Foreseeable Future, chapter 7.1.6, Elsevier 2021. ISBN: 9780128238868
3. <https://medium.seznam.cz/clanek/prazske-sluzby-a-s-vybusne-tema-prazskych-sluzeb-horlave-spreje-40921>, Staženo 19. 1. 2025.
4. <https://mpo.gov.cz/cz/podnikani/standardizace/normalizace-zkusebnictvi-a-akreditace/zakladni-fakta-o-aerosolech--148105/>, Staženo 19. 1. 2025.
5. https://openlibrary.org/books/OL5318935M/The_aerosol_handbook, Staženo 18. 1. 2025.
6. <https://www.thehcpa.org/hcpa-mourns-the-death-of-aerosol-industry-expert-montfort-johnsen>, Staženo 18. 1. 2025.
7. <https://www.abebooks.com/science-technology-aerosol-packaging-Sciarra-John/9390759201/bd?>, staženo 18. 1. 2025.
8. Tauscher W.: Kompendium der Aerosoltechnik. Ziolkowsky, Augsburg 1984.
9. https://cs.wikipedia.org/wiki/Aerosolov%C3%BD_rozpra%C5%A1ova%C4%8D, Staženo 19. 1. 2025.
10. <https://www.facebook.com/aerosoleurope>, Staženo 19. 1. 2025.
11. Starý J. a kol.: Surovinové zdroje České republiky, Nerostné suroviny 2021, Česká geologická služba, str. 449-454, <https://cgs.gov.cz/sites/geology/files/extranet/publikace/online/surovinove-zdroje/surovinove-zdroje-ceske-republiky-2021.pdf>, Staženo 19. 1. 2025.
12. Bartošíková T.: Sto rokov výstavby hliníkární – Případová štúdia tovární v Kinlochleven, Žiari nad Hronom a Dunkerque, ALFA 1/2016, str. 12 – 23. https://www.fad.stuba.sk/buxus/docs/casopisy/ALFA_1-2016_3Bartosikova.pdf, staženo 19. 1. 2025.
13. Jandová J.: Metody výroby neželezných kovů a zpracování odpadů, str. 187 – 194, ISBN 978-80-7592-026-3.
14. <https://www.enviweb.cz/91971>, Staženo 19. 1. 2025.
15. Sarlos G., Szondi G.: Crisis communication during the red sludge spill disaster in Hungary—a media content analysis-based investigation, Journal of Public Affairs (2014) Published online in Wiley Online Library, DOI: 10.1002/pa.1526.
16. Winkler D., Bidló A., Bolodár-Varga B., Erdő Á., Horváth A. : Long-term ecological effects of the red mud disaster in Hungary: Regeneration of red mud flooded areas in a contaminated industrial region, Science of The Total Environment, Volume 644, 10 December 2018, Pages 1292 – 1303.
17. Mayes W. M. a kol.: Advances in Understanding Environmental Risks of Red Mud After the Ajka Spill, Hungary: J. Sustain. Metall. (2016) 2:332 – 343, DOI 10.1007/s40831-016-0050-z.
18. https://apl.czso.cz/pll/stazo/STAZO_ZO.STAZO, Staženo 19. 1. 2025.
19. Vargel Ch.: Corrosion of Aluminium, str. 81-109, Elsevier Science 2004, ISBN 978-0-08-044495-6.
20. Kores S., Turk J., Medved J., Vončina M.: Development of aluminium alloys for aerosol cans Razvoj aluminijevih zlitin za aerosol doze, Materials and technology 50 (2016) 4, 601 – 605. doi:10.17222/mit.2015.330.
21. <https://www.prahain.cz/zivot-ve-meste/velke-tlakove-lahve-jsou-jako-bomby-zpusobuji-problemy-v-malesicich-20483.html>, Staženo 19. 1. 2025.
22. League of Women Voters Education Fund: The Garbage Primer, Lyons Press, 1993, 192 s.
23. <https://mpo.gov.cz/cz/podnikani/standardizace/normalizace-zkusebnictvi-a-akreditace/zakladni-fakta-o-aerosolech--148105/> --148105 Staženo 19. 1. 2025.
24. [https://md.gov.cz/Dokumenty/Silnicni-doprava/Nakladni-doprava-a-mezinarodni-osobni-doprava/Nakladni-doprava-\(1\)/Preprava-nebezpecnych-veci-dohoda-adr](https://md.gov.cz/Dokumenty/Silnicni-doprava/Nakladni-doprava-a-mezinarodni-osobni-doprava/Nakladni-doprava-(1)/Preprava-nebezpecnych-veci-dohoda-adr), Staženo 19. 1. 2025.

25. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclclefindmkaj/https://md.gov.cz/getattachment/Dokumenty/Silnicni-doprava/Nakladni-doprava-a-mezinarodni-osobni-doprava/Nakladni-doprava-(1)/Preprava-nebezpecnych-veci-dohoda-adr/Mnohostranne-dohody-dle-1-5-1-ADR-(1)/M329-Preprava-urcitych-odpadu-obsahujicich-nebezpecne-veci.pdf.aspx, Staženo 19. 1. 2025.
26. <https://www.denios.de/transport-und-sammelbehaelter-mit-un-zulassung-fuer-leere-spraydosen-10300500401220/271768>, Staženo 19. 1. 2025.
27. <https://www.aerosol.org/regulatory-policy-affairs/environment/recycling/>, Staženo 19. 1. 2025.
28. Stanovisko Ministerstva životního prostředí Čj. OODP/3672/04.
29. Ceník barevných kovů KOVOŠROT GROUP CZ s.r.o. ze dne 19. 11. 2024.
30. <https://www.lme.com/en/Metals/Non-ferrous/LME-Aluminium#Summary>, Staženo 18. 1. 2025.
31. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclclefindmkaj/https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:de4f236d-7164-11ed-9887-01aa75ed71a1.0022.02/DOC_1&format=PDF, Staženo 18. 1. 2025.
32. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CONSIL%3APE_73_2024_REV_1&qid=1735059411245, ‘
Staženo 18. 1. 2025.
33. <https://recyclingnearyou.com.au/aerosols/>, Staženo 19. 1. 2025.
34. <https://www.asm-recycling.co.uk/blog/how-to-dispose-of-aerosol-cans-in-the-uk/>, Staženo 19. 1. 2025.
35. <https://bama.co.uk/library/75>, Staženo 19. 1. 2025.
36. <https://dam.assets.ohio.gov/image/upload/epa.ohio.gov/Portals/32/pdf/UW%20QA-Aerosol%20Cans.pdf>, Staženo 19. 1. 2025.
37. <https://www.berlin-recycling.de/entsorgung/weitere-entsorgungen/haushalt/spraydosen-entsorgen>, Staženo 19. 5. 2025.
38. <https://www.recyclecoach.com/blog/5-mistakes-to-avoid-when-recycling-aerosol-cans>, Staženo 19. 1. 2025.
39. <https://www.calameo.com/read/0054848444826e3c25d45>, Staženo 19. 1. 2025.
40. https://worldaerosols.com/latest_magazine/, Staženo 19. 1. 2025.
41. <https://www.justrite.com/news/how-to-dispose-of-aerosol-cans/>, Staženo 19. 1. 2025.
42. https://www.ijmem.ro/vol1no12021/04_Niemiec_Katarzyna.pdf, Staženo 19. 1. 2025.
43. <https://earth911.com/recycling-guide/how-to-recycle-aerosol-cans/>, Staženo 19. 1. 2025.
44. <https://www.rosipa.com/policy/home-safety/advice/product/aerosol-safety>, Staženo 19. 1. 2025.
45. <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/prazdne-inhalatory-pro-astmatiky-se-uz-mozna-brzy-dockaji-recyklace?>, Staženo 19. 1. 2025.
46. <https://www.recyclingtoday.com/news/remondis-respray-aerosol-recycling/>, staženo 19. 1. 2025.
47. <https://www.bauer-suedlohn.de/en/hazardous-materials-containers/special-waste-container-for-aerosols>, Staženo 19. 1. 2025.
48. <https://odpady-online.cz/recyklace-a-logistika/>, Staženo 19. 1. 2025.
49. <https://www.pdr.de/>, Staženo 19. 1. 2025.
50. <https://www.tretiruka.cz/news/pristup-cr-k-hlinikovym-plechovkam-je-neudrzitelny/>, Staženo 19. 1. 2025.

Analysis of the recycling potential of aluminum pressurized aerosol containers

Tomáš LANK, Martin KUBAL, Pavel KURÁŘ

J. E. Purkyně University, Faculty of Environment, Department of Environmental Chemistry and Technology, Pasteurova 3632/15, 400 96 Ústí nad Labem

e-mail: tomas.lank@ujep.cz

Summary

Waste aerosol containers represent a specific type of waste in the Czech Republic, where several favorable conditions for complete material recycling exist alongside complicating factors that currently prevent this process. This text analyzes the technical, economic, and legislative aspects of aerosol container recycling and outlines possible approaches to achieving full and safe material recycling. Implementing these solutions could return a significant amount of aluminum to circulation.

Keywords: aerosol container, aluminum, recycling, specific waste type

Využitie postupov inteligentného priemyslu pre zvýšenie efektívnosti spracovania hliníkového odpadu

Erika SUJOVÁ, Alžbeta KLIMENTOVÁ, Jozef KRILEK

Technická univerzita vo Zvolene, Fakulta techniky, Študentská 26, 960 01 Zvolen,
e-mail: erika.sujova@tuzvo.sk

Súhrn

Inteligentný priemysel (Industry 4.0) so sebou prináša požiadavku na komplexnú digitalizáciu podnikových procesov, na ktorú reagujú všetci výrobcovia, ktorí chcú držať krok s modernými postupmi. Témou príspevku je návrh zvýšenia efektívnosti výrobných procesov prostredníctvom postupov inteligentného priemyslu. Výskum bol uskutočnený v podniku zaoberajúcom sa spracovaním hliníkového odpadu na separačnej linke hliníkovej drte. Po prvotnej analýze linky bol na základe reálnych údajov vytvorený simulačný model reflektujúci všetky zariadenia a postupy zahrňujúce triediaci proces. Simulačný model bol vytvorený prostredníctvom softvéru Siemens Tecnomatix Plant Simulation. Pre lepšie znázornenie procesov boli vytvorené štatistické grafy efektivity zariadení triediacej linky. V ďalšom kroku bola v simulačnom modeli pôvodnej linky navrhnutá konštrukčná úprava s predpokladom zvýšenia kapacity vibračného triediča. Po následnom vyhodnotení štatistík z inovovaného modelu linky bolo zistené zvýšenie objemu výroby o 8 %. Výskum realizovaný za pomoci vytvorenia simulačných modelov a testovania výsledkov simulácií na reálnom a inovovanom modeli predstavuje jeden z postupov digitalizácie výrobných procesov v kontexte Inteligentného priemyslu. Predmetom ďalšieho výskumu bude vytvorenie digitálneho dvojčata analyzovanej linky, ktoré vytvorí reálne informačné prepojenie reálnych zariadení – komponentov separačnej linky a jej simulačného modelu s cieľom jej monitoringu a následného riadenia.

Kľúčové slová: simulačný model; separačná linka; hliníkový odpad; efektivita výrobných procesov

Úvod

Stojíme na prahu technologickej revolúcie, ktorá zásadným spôsobom zmení spôsob, akým žijeme, pracujeme a vzájomne komunikujeme. Vo svojej miere, rozsahu a komplexnosti bude táto transformácia pre ľudstvo tak zásadná, ako žiadna iná technologická zmena z minulosti. Stratégia Industry 4.0 je postavená na tom, že ľudia, stroje, zariadenia, logistické systémy a produkty dokážu navzájom priamo komunikovať a spolupracovať¹. Všetko speje k totálnemu zosieťovaniu. Dôvodom je využitie obrovského množstva doteraz nezachytiteľných informácií na podstatne rýchlejšie a správnejšie rozhodovanie. Tesné prepojenie produktov, zariadení, ľudí zvyšuje efektívnosť výrobných strojov a zariadení, znižuje náklady a šetrí zdroje². Inteligentné sledovanie a transparentné procesy poskytujú spoločnostiam neustály prehľad, ktorý im umožní pružne a rýchlo reagovať na zmeny na trhoch.

Hlavnou myšlienkou inteligentného priemyslu (Industry 4.0) je počítačové prepojenie výrobných strojov, opracovávaných výrobkov a polotovarov a ďalších systémov a subsystémov priemyselného podniku (vrátane ERP systémov, obchodných systémov atď.)^{3,4}.

Identifikovaných bolo niekoľko základných princípov, na ktorých je koncepcia Inteligentného priemyslu založená, a ktoré je nutné rešpektovať pre dosiahnutie jej realizácie:

- Interoperabilita = schopnosť kyberneticko-fyzikálnych systémov CPS, ľudí, výrobkov a všetkých systémov a podsystémov Smart Factories vzájomnej komunikácie na rozhraní IoT a IoS⁵.
- Virtualizácia = schopnosť prepájania fyzických systémov s virtuálnymi modelmi a simulačnými nástrojmi⁶.
- Decentralizácia = skutočnosť, že rozhodovanie prebieha autonómne a paralelne v jednotlivých subsystémoch.

- Práca v reálnom čase = dodržanie požiadavky informácií v reálnom čase je kľúčovou podmienkou pre komunikáciu, rozhodovanie a riadenie v systémoch reálneho sveta.
- Orientácia na služby = preferencie výpočtovej filozofie ponúkajú a využívajú štandardných služieb, to vedie na architektúry typu SOA (Service Oriented Architectures).
- Modularita a rekonfigurabilita systémov = schopnosť systému autonómnej rekonfigurácie na základe rozpoznania danej situácie a vlastností modularity systémov ⁷.

Jednou z najmodernejších technológií, ktorá významnou mierou prispieva k zvyšovaniu konkurencieschopnosti a efektívnemu riadeniu výrobných podnikov je počítačová simulácia. Možnosti jej nasadenia sú veľmi široké, od testovania súčiastok vo fáze vývoja až po simuláciu komplexných výrobných systémov, akým je digitálny podnik ⁸.

Simulácia je reprodukciou reálneho systému a jeho dynamických procesov v modeli. Cieľom je nájdenie prenosných zistení pre realitu. V širšom slova zmysle simulácia znamená prípravu, implementáciu a vyhodnocovanie špecifických experimentov za použitia simulačného modelu⁹. Počítačové simulácie tak veľmi účinne vyplňajú medzeru medzi teóriou a experimentom. Teoretické podklady založené na jednoduchých modeloch môžu byť použité pre zložitejšie systémy namodelované pomocou počítačových simulácií ¹⁰.

Projektovanie výrobného systému zahŕňa 3D simuláciu toku produktu, materiálov, informácií a nastavenia kľúčových parametrov výrobného procesu. V prostredí konceptu Priemyslu 4.0 ide primárne o nastavenie a funkčnú databázu reálnych dát o výrobe pre simuláciu fyzikálneho sveta vo virtuálnom modeli, ktorý zahŕňa stroje, výrobky a človeka. To umožňuje operátorovi testovať a optimalizovať nastavenie strojnej technológie pre danú výrobnú linku vo virtuálnom svete ešte pred fyzickým pretypovaním a nastavením výrobného zariadenia do požadovaného stavu ¹¹.

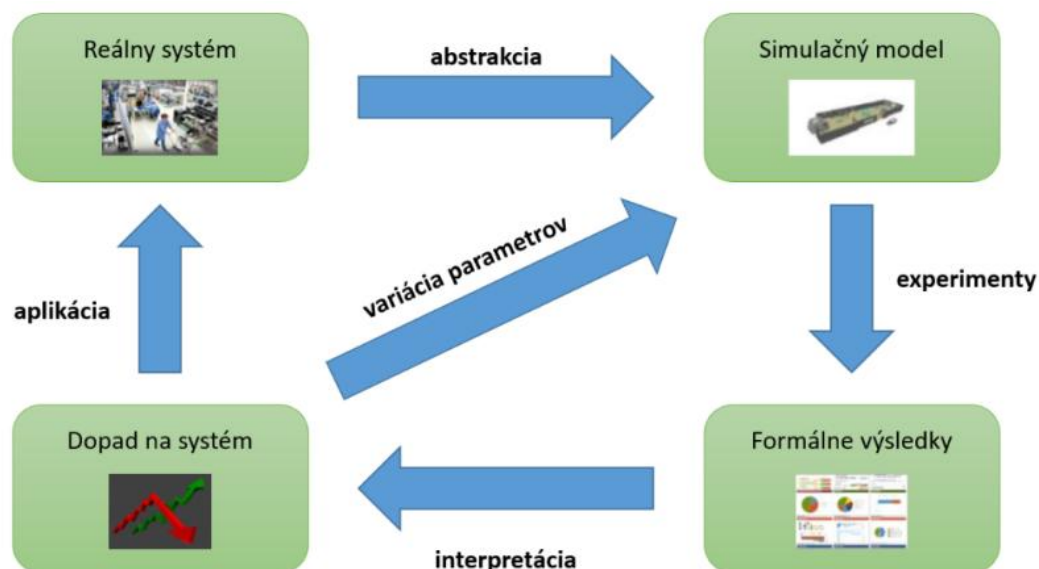
Cieľom článku je navrhnúť možnosti zvýšenia efektívnosti výrobných procesov prostredníctvom postupov inteligentného priemyslu. Výskum bol uskutočnený v podniku zaoberajúcom sa spracovaním hliníkového odpadu na separačnej linke hliníkovej drte. Výskum bol realizovaný prostredníctvom vytvorenia simulačných modelov a testovania výsledkov simulácií na reálnom a inovovanom modeli, čo predstavuje jeden z postupov digitalizácie výrobných procesov v kontexte Inteligentného priemyslu.

Experimentálna časť

Témou uskutočneného výskumu ¹² bolo využitie postupov inteligentného priemyslu (Industry 4.0) pre zefektívnenie výrobných procesov. Predmetom analýzy bola triediaca linka, ktorá slúži na separáciu správnej frakcie hliníkovej drte. Po prvotnej analýze linky bol na základe reálnych údajov vytvorený simulačný model reflektujúci všetky zariadenia a postupy zahrňujúce triediaci proces.

Simulačný model linky bol vytvorený prostredníctvom softvéru Siemens Tecnomatix Plant Simulation. Je to softvér na simuláciu a optimalizáciu podnikových procesov. Pomocou simulácie sa vyhodnocujú zložité a dynamické podnikové pracovné postupy ¹³. Počítačový model umožňuje užívateľovi vykonávať experimenty a prechádzať scenáre typu „čo keby“ bez toho, aby musel experimentovať so skutočným produkčným prostredím.

Všeobecne sa analýza toku materiálu používa, keď prebiehajú diskkrétne výrobné procesy. Tieto procesy sú charakterizované nestálymi materiálovými tokmi, čo znamená, že súčiastka je alebo nie je, posun prebieha alebo neprebieha, stroj pracuje bez chýb alebo hlási poruchu. Všetky tieto procesy je možné nasimulovať v softvéri Tecnomatix Plant Simulation. Princíp simulácie reálneho výrobného systému, vytvorenie simulačného modelu, experimentovanie s ním a interpretáciu výsledkov ilustratívne znázorňuje schéma na obrázku 1.



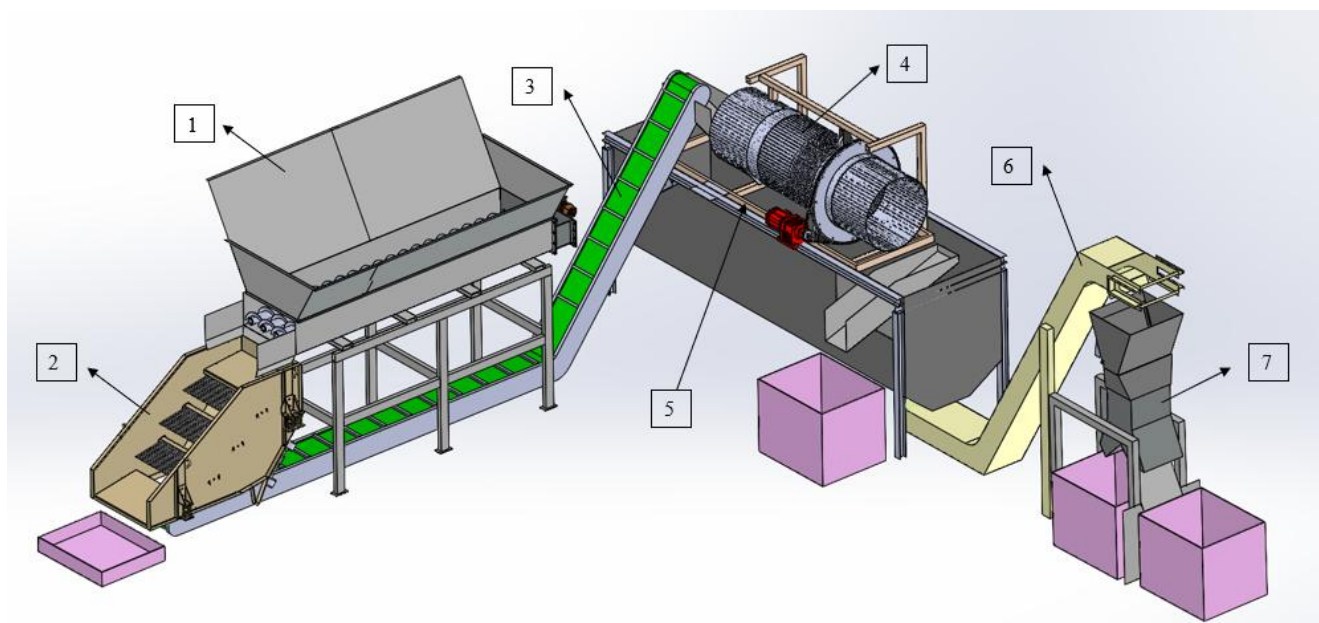
Obrázok 1: Princíp simulácie výrobného systému (spracované podľa Gregor, 2006)

Výskum¹² sa uskutočnil v spoločnosti Confal a.s. Slovenská Ľupča, ktorá je najväčším recyklátorom hliníka na Slovensku. Spoločnosť sa primárne zameriava na výrobu hliníkových zliatin pretavovaných z hliníkového odpadu. Takmer 100 % hliníkovej suroviny, ktorú používajú vo výrobe, je druhotná surovina – odpad. Vďaka pokročilej a ekologickej technológii spracovávajú všetky druhy odpadov z hliníka, od výrobných odpadov z podnikov spracovávajúcich a opracovávajúcich hliník až po odpad z demolácie a likvidácie a zberový odpad z domácností a obalové materiály. Recykláciou jednej tony zliatiny ušetrí približne 4 tony bauxitu a až 95 % energie, ktorá by inak bola potrebná pri výrobe hliníka z prírodnej suroviny. Confal a.s. je tiež recyklátorom hliníkových výrobných odpadov s výrobnou kapacitou 15 000 ton zliatin ročne.

Opis analyzovanej separačnej linky

Pre vypracovanie simulácie bola vybraná linka na separáciu hliníkovej triesky, na ktorej prebieha jeden z hlavných procesov podniku, triedenie hliníkového odpadu dodávaného vo forme rôznorodých triesok (obrázok 2). Do násypky sa nakladacím zariadením nasype vstupný materiál – hliníková trieska. Súčasťou násypky sú štyri závitokové dopravníky, ktorých úlohou je prepraviť nasypáný materiál do vibračného separátora. Vibračný separátor vytriedi materiál od chuchvalcov a hrubých kusov hliníka nachádzajúcich sa v materiálu. Nevhodný materiál je automaticky posunutý vibračným pohybom do boxu na to určeného. Vytriedená vhodná frakcia prepadne na vynášací reťazový dopravník, idúci do rotačného triediaceho bubna, kde znovu prebehne triedenie, hrubé frakcie sa znovu odseparujú sitom. Pod triediacim bubnom sa nachádza zásobník triesok. V zásobníku sa nachádza závitokový dopravník, ktorý plynulo dávkuje hliníkové triesky na reťazový dopravník s lopatkami a ten dopraví materiál až k magnetickému separátoru. Magnetický separátor odstráni nežiadúce železné časti z triesky. Zvyšovanie množstva železa spôsobuje zvyšovanie rozmerov defektov a pórovitosť odliatkov, čo sa rovnako prejaví poklesom ťažnosti. Železná trieska je odseparovaná v kontajneri. Hliníkový materiál putuje do kontajnera, kde je pripravený na ďalšie použitie.

Výstupom z linky je čistá hliníková trieska. Vytriedená hliníková trieska sa môže použiť na briketovanie, lisovanie alebo ako priamy vstupný materiál do taviacej pece. Na obrázku 2 je znázornené 3D vyobrazenie analyzovanej separačnej linky. Objem triedenia v separačnej linke je nastavený na jednu tonu vytriedeného materiálu za hodinu. Na zostavenie simulácie separačnej linky potrebujeme poznať presné údaje o zariadeniach, ktoré sú jej súčasťou.



Obrázok 2: 3D model separačnej linky hliníkového odpadu¹²

Pozície: 1 - Násypka so zabudovanými závitkovými dopravníkmi č. 1; 2 - Vibračný separátor; 3 - Vynášací reťazový dopravník č.1; 4 - Rotačný triediaci bubon; 5 - Závitkový dopravník č. 2; 6 - Vynášací reťazový dopravník č.2; 7 - Magnetický separátor

Postup tvorby simulačného modelu linky

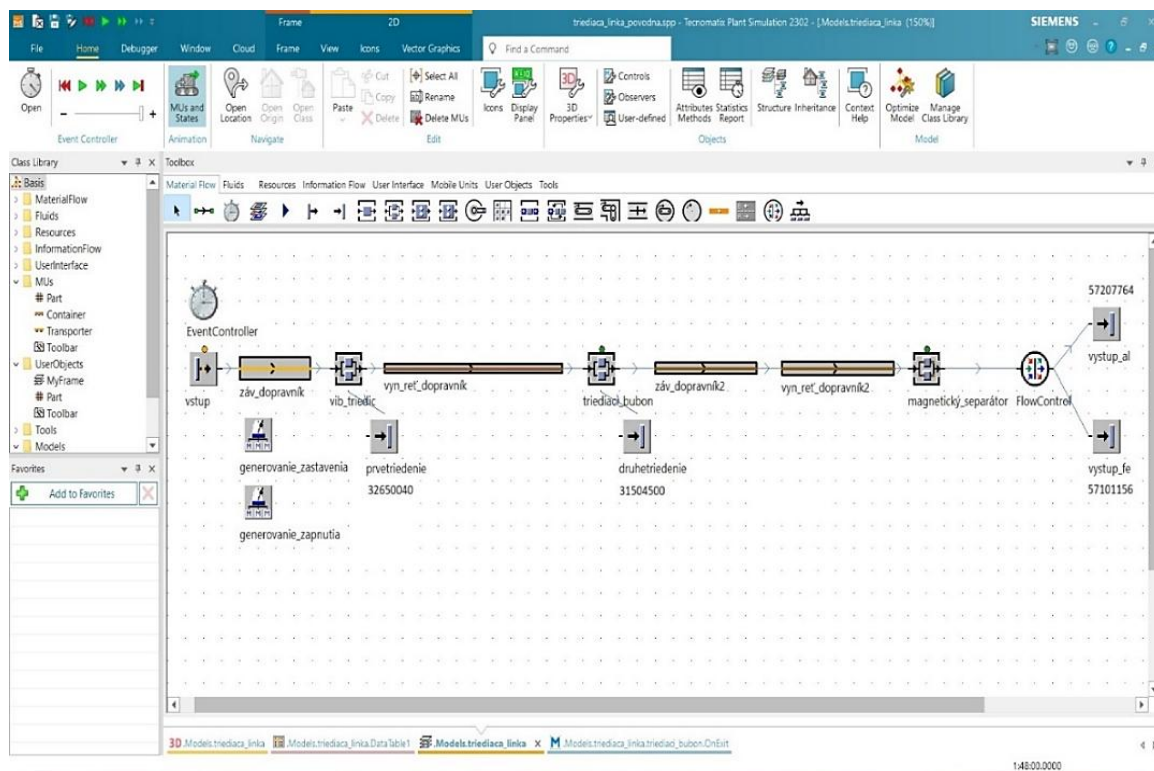
Pri tvorbe simulačného modelu je najdôležitejšou úlohou presne definovať parametre prvkov modelu, ktoré zobrazujú reálne výrobné zariadenia. V našom prípade bolo na úvod potrebné exaktne identifikovať vstupy do linky, čo bola veľmi špecifická úloha. Vstup do linky sme charakterizovali diskretnou hodnotou – číslami, ktoré reprezentujú približný počet hliníkových triesok spracovaných linkou za 1 hodinu. Simulačnú hmotnosť priemernej hliníkovej triesky sme určili na $0,01 \cdot 10^{-3}$ kg. Potrebné bolo aj definovať jednotlivé frakcie triedeného odpadu.

V tabuľke 1 uvádzame parametre triediacej linky, ktoré boli použité pri tvorbe simulačného modelu a boli zadané ako data vstupy do jeho jednotlivých prvkov.

Tabuľka 1: Parametre zariadení simulovanej triediacej linky

Parameter	Hodnota	Jednotka
Čas výrobnej dávky = čas simulácie	1:48:00	h:min:s
Hmotnosť výrobnej dávky	1 800	kg
Podiel vytriedených frakcií hliníkovej triesky	60:20:20	%
Dĺžka závitkového dopravníka č.1	3,9	m
Rýchlosť závitkového dopravníka č.1	43	m.s ⁻¹
Dĺžka vynášacieho reťazového dopravníka č.1	9,85	m
Rýchlosť vynášacieho reťazového dopravníka č.1	43	m.s ⁻¹
Dĺžka závitkového dopravníka č.2	5,6	m
Rýchlosť závitkového dopravníka č.2	43	m.s ⁻¹
Dĺžka vynášacieho reťazového dopravníka č.2	6,2	m
Rýchlosť vynášacieho reťazového dopravníka č.2	43	m.s ⁻¹

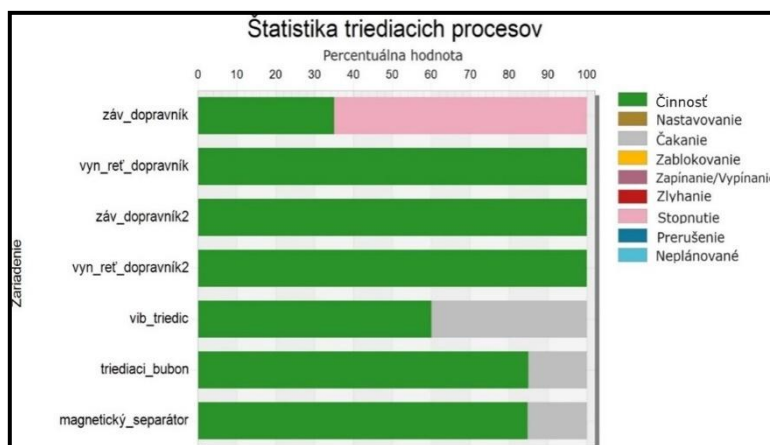
Vstupom do linky, označovaný aj ako „MU = mobile unit“, je teda hliníková trieska, ktorá bude prebiehať cez všetky objekty v procese. Vstup hliníkovej triesky sme rozdelili percentuálne na 20 % – 20 % – 60 % (20 a 20 % odpadové frakcie – 60 % správna frakcia) na základe dlhodobého pozorovaného reálneho podielu frakcií spracovávaného odpadu. To znamená, že prvým triedením neprejde 20 % z celkového množstva materiálu, pri druhom triedení bude percento rovnaké, v magnetickom triediči sa vytriedi posledných 60 % hliníkovej triesky, ktoré považujeme za správnu frakciu. Uvedené údaje sme zadali do tabuľky „DataTable“, odkiaľ sú generované dáta pre simulačný model.



Obrázok 3: Simulačný model pôvodnej triediacej linky¹²

Výsledky a diskusia

Na základe simulačného modelu a priebehu simulácie môžeme vyhodnotiť efektívnosť triediacej linky. Údaje zo simulačného procesu nám poskytli štatistické vyhodnotenie celého triediaceho procesu. Obrázok 4 znázorňuje ako efektívnosť jednotlivých zariadení triediacej linky. Dĺžka stĺpca grafu znázorňuje percentuálnu hodnotu simulovaného času. Percentuálna hodnota 100 % predstavuje jednu hodinu a štyridsaťosem minút, čo bol nastavený čas simulácie a zároveň čas spracovania jedenej výrobnéj dávky.



Obrázok 4: Graf výkonnosti pôvodných simulovaných zariadení

Z prezentovaných výsledkov (obrázok 4) môžeme konštatovať, že najviac vyťažené – konkrétne na hodnotu 100 % simulovaného času, boli zariadenia vynášací reťazový dopravník č.1, závitkový dopravník č.2 a vynášací reťazový dopravník č.2. Zariadenia triediaci bubon a magnetický separátor boli vyťažené na 86 %. Zvyšných 14 % času čakali na materiál. Zariadenie vibračný triedič pracoval podľa grafu 60 % času, zvyšných 40 % čakal na materiál. Závitkový dopravník pracoval zo všetkých zariadení najmenej efektívne, pracoval len 35 % z času, a zvyšných 65 % času bol stopnutý. Je to z kapacitných dôvodov, závitkový dopravník musí byť prerušovane púšťaný len na 8 sekúnd. Zvyšných 12 sekúnd stojí.

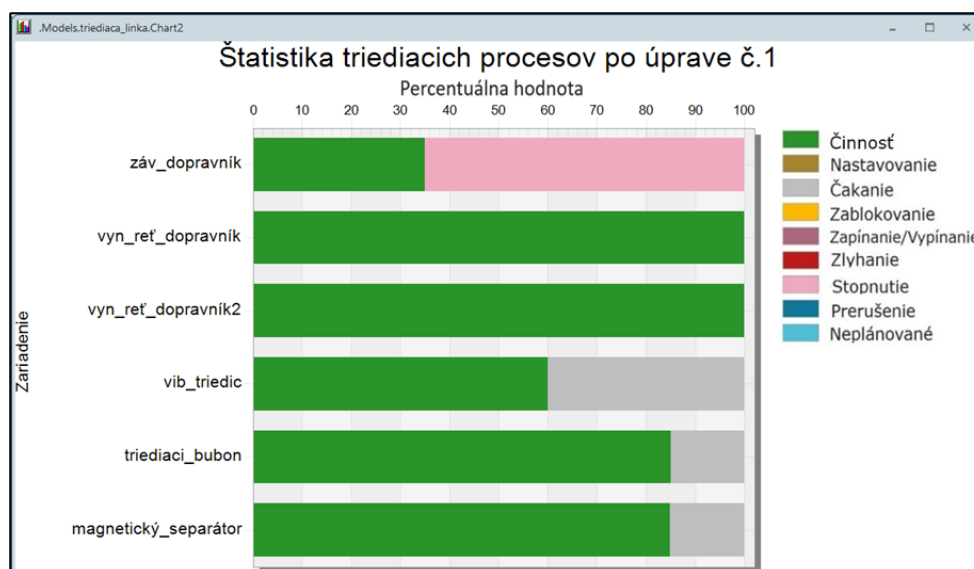
Návrh riešenia pre zvýšenie efektívnosti linky

Návrh zvýšenia efektívnosti triediacej linky spočíval v technickom riešení, ktorého účinky boli overené simuláciou v nových podmienkach. Navrhujeme nahradiť závitkový dopravník č.2 spolu s vynášacím reťazovým dopravníkom č.2 za jeden dlhý vynášací reťazový dopravník. Predpokladáme, že riešenie by zjednodušilo transport výrobkov po triediacej linke, ktorý bude viac kontinuálny. Taktiež by to mohlo znížiť čas triedenia, respektíve zvýšiť celkovú výrobnú kapacitu triediacej linky. Predpoklady boli overené a potvrdené následne pri vyhodnotení štatistík zo simulačného modelu.

Návrh nahradiť závitkový dopravník č.2 s vynášacím reťazovým dopravníkom č.2 za jeden dlhý vynášací reťazový dopravník bol odsimulovaný tak, že sme odstránili prvok: *záv_dopravník2*, a pre prvok: *vyn_reť_dopravník2* sme nastavili dĺžku dopravníka na dĺžku 11,8 m, čo predstavuje dĺžku potrebnú na prepojenie triediaceho bubna a magnetického separátora. Rýchlosť dopravníka zostáva počas simulácie nezmenená.

Simulácia triediacej linky pri implementovaní zmeny ukázala, že pri vymenení dvoch dopravníkov za jeden dlhší dopravník dokážeme pri nezmenenom čase simulácie vytriediť 1943 kilogramov hliníkovej triesky. Oproti pôvodnému stavu triediacej linky, predstavujúcom 1800 kilogramov vytriedených za hodinu, je to rozdiel o 143 kilogramov v prospech návrhu. V percentách nám tento návrh nám oproti pôvodnému stavu prinesie osem percentné navýšenie kapacity výroby.

Výsledky simulácie sú zobrazené v grafe výkonnosti zariadení triediacej linky po implementovaní návrhu (obrázok 5). Z výsledkov je zrejma aj vyťaženosť oboch vynášacích reťazových dopravníkov, ktorá je 100%, tzn. pracujú kontinuálne a sú plne vyťažené.



Obrázok 5: Graf výkonnosti zariadení triediacej linky po implementovaní návrhu

Záver

Cieľom článku bolo opísať využitie postupov inteligentného priemyslu (inak aj Industry 4.0), pre zefektívnenie výrobných procesov. Zamerali sme sa na vytvorenie simulačných modelov triediacej linky na hliníkový odpad s pôvodným reálnom stave a aj v upravenom stave, kde bola navrhnutá konštrukčná úprava dopravníku. Vytvorením simulačných modelov reálnej triediacej linky a zakomponovaním technického riešenia do nového modelu sme si overili, ako sa zvýši efektívnosť triedenia po realizácii technickej zmeny na zariadeniach.

Simulačné modely umožňujú experimentovanie s ich jednotlivými komponentami a prediktívne overenie si výsledkov prezentovaných v štatistikách modelu^{14,15}.

Pod'akovanie

Autori d'akujú agentúre KEGA, ktorá cez projekt KEGA 007TU Z-4/2023 „Inovácia a edukačná podpora predmetov v oblasti technickej diagnostiky poľnohospodárskej a lesníckej techniky s orientáciou na prax“ podporila vznik článku.

Táto publikácia je výsledkom realizácie projektu „Progresívny výskum úžitkových vlastností materiálov a výrobkov na báze dreva (LignoPro)“, ITMS 313011T720 podporeného z Operačného programu Integrovaná infraštruktúra (OPII) financovaného z ERDF.

Literatúra

1. Gregor, T.: Budúce výrobné koncepty. In: ProIn: Productivity and innovation. 2018. ISSN 1339-2271
2. Lee J., Kao H-A., Shanhu Yang S.: Service Innovation and Smart Analytics for Industry 4.0 and Big Data Environment. Procedia CIRP. Volume 16, 2014, Pages 3 – 8. ISSN 2212-8271. DOI:10.1016/j.procir.2014.02.001
3. Dalenogare L. S., Benitez G.B., Ayala N.F., Frank A.G.: The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. International Journal of Production Economics. Volume 204, October 2018, Pages 383 – 394. ISSN: 1873-7579. DOI: 10.1016/j.ijpe.2018.08.019
4. Industry4.sk: K Industry 4.0 – Technologie. Available: <http://industry4.sk/technologie/>. Stiahnuté 21. 9. 2024
5. Thoben K.-D., Wiesner S., Wuest, T.: "Industrie 4.0" and Smart Manufacturing – A Review of Research Issues and Application Examples. International Journal of Automation Technology. Vol.11 No.1 pp. 4 – 16. ISSN: 1883-8022. DOI: 10.20965/ijat.2017
6. Brettel M., Friederichsen N., Keller M., Rosenberg M.: How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. International Journal of Information and Communication Engineering. Vol:8, No:1, 2014. ISSN: 2010-4049. DOI: 10.5281/zenodo.1336426
7. Mařík, V.: Je Industry 4.0 opravdu revolucí? <<https://docplayer.cz/23871995-Je-industry-4-0-opravdu-revoluci.html> > Stiahnuté 18. 9. 2024
8. Gregor, M., Grznár, P., Gregor, M. a kol.: Digitálny podnik. Žilina : Slovenské centrum produktivity, 2006. 139 s. ISBN 80-969391-5-7.
9. Bangsow, S.: Tecnomatix Plant Simulation: Modeling and Programming by Means of Examples. Switzerland: Springer International Publishing, 2015. ISBN 978-3319-19502-5.
10. Nemanjic, B., Navenka S.: Computer simulations: technology, industrial applications and effects on learning. Hauppauge, NY: Nova Science Publisher's, 2013. ISBN 9781622575800.
11. Chromjaková, F., Tuček, D., Bobák, R.: Projektování výrobních procesů pro Průmysl 4.0. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2017. ISBN 9788074546808.
12. Klimentová, A.: Využitie postupov Inteligentného priemyslu (Industry 4.0) pre zefektívnenie procesov: diplomová práca. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. Fakulta techniky. 2024.

13. Grznár, P., Gregor, M., Mozol, Š.: Tecnomatix Plant Simulation: prezentácia. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2024.
14. Kunath, M., Winkler, H.: Integrating the Digital Twin of the manufacturing system into a decision support system for improving the order management process. 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.192>
15. Wang S., Wan J., Li D., Zhang Ch.: Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. International Journal of Distributed Sensor Networks 2016 b(4):1 – 10. ISSN: 1550-1477.
DOI: 10.1155/2016/3159805

Use of smart industry practices to increase the efficiency of aluminum waste processing

Erika SUJOVÁ, Alžbeta KLIMENTOVÁ, Jozef KRILEK

Technical University of Zvolen, Faculty of Technology, Študentská 26, 960 01 Zvolen, Slovak Republic
e-mail: erika.sujova@tuzvo.sk

Summary

The concept of Smart Industry (Industry 4.0) introduces the necessity for the comprehensive digitalization of business processes, a development to which manufacturers are responding in order to keep pace with modern industrial practices. This article addresses the proposal to enhance the efficiency of production processes through the application of Smart Industry methods. The topic of the article is the proposal to increase the efficiency of production processes through Smart Industry methods. The research was conducted in a company engaged in the processing of aluminium waste, on a separation line for aluminium granules. After an initial analysis of the line, a simulation model reflecting all the equipment and procedures involved in the sorting process was created based on real data. The simulation model was created using Siemens Tecnomatix Plant Simulation software. To better illustrate the processes, statistical charts of the efficiency of the sorting line equipment were created. In the next step, a structural modification was proposed in the simulation model of the original line, with the assumption of increasing the capacity of the vibrating sorter. After evaluating the statistics from the upgraded line model, an 8% increase in production volume was found. The research carried out with the help of creating simulation models and testing the simulation results on a real and upgraded model represents one of the approaches to digitalizing production processes in the context of Smart Industry. The subject of further research will be the creation of a digital twin of the analysed line, which will create a real information link between the real devices – components of the separation line and its simulation model, with the aim of monitoring and subsequently managing it.

Keywords: Simulation model, Separation line, Aluminium waste, Efficiency of production processes

Pyrolýza odpadových kalov z automobilového priemyslu

Marek PATSCH, Peter PILÁT, Lucia MACÁKOVÁ

Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovensko,
e-mail: marek.patsch@fstroj.uniza.sk

Súhrn

Možnosti energetického a materiálového zhodnocovania odpadových kalov pyrolýznym procesom boli riešené pre oblasť odpadových kalov z automobilového priemyslu, konkrétne pre oblasť výroby karosérií automobilov. Vo všeobecnosti sa tento kal zaraďuje medzi nebezpečné odpady, najmä pre svoje chemické zloženie, a to určuje spôsoby a možnosti ich následného nakladania a likvidácie. Pre uskutočnenie výskumu boli vzorky kalov odobraté priamo na mieste ich vzniku, v závode Volkswagen Bratislava. Vzorky boli podrobené prvotnej analýze, počas ktorej boli hodnotené: vlhkosť, výhrevnosť a chemické zloženie. Pri hodnotení chemického zloženia sa hodnotili obsahy chemických zlúčenín a jednotlivých chemických prvkov. Chemický rozbor poukázal napríklad na obsah ťažkých kovov vo vzorkách, ktorý spôsobuje komplikácie pri klasickom termickom nakladaní s odpadom, napríklad spaľovaním. Výsledky poukázali na vhodnosť či nevhodnosť vzoriek kalu na ďalšie energetické zhodnocovanie procesom pyrolýzy.

Dve najperspektívnejšie vzorky s najvyššou výhrevnosťou boli použité v laboratórnej experimentálnej pyrolýze, čím sa získal pyrolýzny plyn, kondenzát a pevný zvyšok. Kondenzát, ktorý by mal mať najvyšší energetický potenciál, obsahoval pyrolýzny olej, no ten bol kontaminovaný skondenzovanou vlhkosťou zo vzorky a ďalšími vylúhovanými látkami. Následnou separáciou pyrolýzneho oleja sa vyhodnotili podiely produktov pyrolýzneho spracovania. Analýza výhrevnosti získaných pyrolýznych olejov potvrdila predpoklad významného energetického obsahu týchto vzoriek. Chemické rozbor pyrolýzneho oleja potvrdili, že ťažké kovy a iné nebezpečné látky z pôvodnej vzorky zostali v pevnom zvyšku a neuvoľnili sa do kvapalných produktov pyrolýzy.

Kľúčové slová: Pyrolýza, odpadové kaly, pyrolýzny olej, energia z odpadu.

Úvod

Priemyselné odpadové kaly možno zaradiť do kategórie priemyselných odpadov, ktoré vznikajú v rôznych procesoch výroby. Do kategórie priemyselných odpadov patria napríklad zvyšky produktov, prach z pecí, trosky, popol, kaly a pod. Väčšina priemyselného odpadu pochádza z troch typov priemyselných odvetví: metalurgický, nemetalurgický a potravinársky priemysel¹. Priemyselný odpad sa môže v jednotlivých odvetviach líšiť podľa použitých surovín, výrobných procesov a výstupných produktov. V katalógu odpadov môže byť priemyselný odpad podľa druhu a zloženia zaradený do kategórie N (nebezpečný odpad) aj kategórie O (ostatný odpad). Priemyselné kaly sú vo svojej podstate suspenziou tuhej látky s kvapalinou.

Pri riešení tejto výskumnej úlohy sa riešiteľský kolektív zameriaval na zhodnocovanie priemyselných kalov z automobilového priemyslu, kde je možné identifikovať rôzne typy kalov, ktoré sú spájané s rôznymi fázami výroby automobilov a ich súčastí, údržby výrobných liniek alebo demontáže. V tomto riešení výskumnej úlohy bolo zámerom posúdiť možnosť energetického a materiálového využitia kalov vznikajúcich pri výrobe automobilov, konkrétne pri procese výroby karosérií, výrobného automobilového závodu. Tu vznikajúce kaly patria podľa katalógu odpadov do kategórie nebezpečných, katalógové číslo odpadu 06 05 02 – kaly zo spracovania kvapalného odpadu v mieste jeho vzniku obsahujúce nebezpečné látky. V súčasnosti je s ním nakladané podľa kategórie D1 – Zneškodňovanie uložením do zeme alebo na povrchu zeme (napríklad skládka odpadov)¹. Pri úspešnom riešení výskumnej úlohy by nakladanie s týmto odpadom mohlo prejsť zo zneškodňovania odpadov na zhodnocovanie odpadov, napríklad do kategórie R1 – Využitie najmä ako palivo alebo na získanie energie iným spôsobom, R2 – Spätné získavanie alebo regenerácia rozpúšťadiel, R3 – Recyklácia alebo spätné získavanie

organických látok, ktoré sa nepoužívajú ako rozpúšťadlá (vrátane kompostovania a iných biologických transformačných procesov, patrí sem aj splyňovanie a pyrolýza využívajúce zložky ako chemické látky), prípadne iné zhodnocovanie.

Keďže sa jedná o nebezpečný odpad, zo spôsobov energetického zhodnocovania je možné uvažovať o spaľovaní alebo spoluspaľovaní s inými palivami, napríklad v spaľovaniach priemyselných odpadov s následným využitím uvoľnenej tepelnej energie, alebo v cementárenských peciach, kde je teplo využité v procese výroby cementu a tuhý zvyšok ako súčasť výsledného produktu. Pre svoje chemické zloženie, najmä obsah nebezpečných prvkov, ako sú napríklad ťažké kovy, je nutné uvažovať s následným použitím systémov čistenia a neutralizácie vznikajúcich spalín. Z progresívnejších metód energetického zhodnocovania takéhoto druhu odpadu sa javí ako výhodné použiť buď splyňovanie alebo pyrolýzu. Pri týchto procesoch by tieto nebezpečné látky mali ostať v tuhom zvyšku po procese^{2,3}. V procese pyrolýzy a splyňovania sú odpadové kaly spracovávané pri teplotách nad 350 °C bez prístupu vzduchu pre pyrolýzu, alebo s obmedzeným prístupom vzduchu pre splyňovanie, s cieľom získať pyrolýzny plyn, kondenzát a tuhý zvyšok. Výhodou týchto technológií oproti spaľovaniu je možnosť získavať aj iné produkty, ktoré majú iné využitie, môžu byť napríklad spracované na palivá (vykurovací olej, motorová nafta a benzín) alebo v chemickom priemysle. Pyrolýzny plyn býva najčastejšie využívaný na energetické účely, teplo je využívané na ohrev pyrolýzneho alebo splyňovacieho reaktora, prípadne na sušenie vstupnej suroviny. Kondenzát, nazývaný aj pyrolýzny olej, obsahuje skondenzované vyššie uhľovodíky z pyrolýzneho plynu, využiteľný je buď priamo ako palivo, alebo na výrobu syntetických ušľachtilých palív – benzínu, nafty, petroleju a pod., prípadne spracovaním v chemickom priemysle na výrobu úplne iných materiálov, napríklad plastov. Tuhý zvyšok obsahuje veľký podiel tuhého uhlíka a je taktiež možné ho energeticky využiť napríklad v tepelných elektrárňach a teplárňach. Pre svoje chemické zloženie, najmä možný obsah nebezpečných prvkov, ako sú napríklad ťažké kovy, je nutné poznať jeho presné chemické zloženie a uvažovať s následným použitím systémov čistenia a neutralizácie vznikajúcich spalín. Vo všeobecnosti pyrolýza a splyňovanie značne znižuje hmotnosť a objem kalu, bezpečne v ňom ničí veľkú väčšinu mikropolutantov, patogénnych látok a organizmov. Výhodou pyrolýzneho a splyňovacieho spôsobu spracovania odpadových kalov je, že pri využití správneho postupu dokážeme do veľkej miery imobilizovať ťažké kovy v odpadových kaloch, ktoré ostávajú v tuhom zvyšku^{4,5} a taktiež sa napríklad zbavíme veľkého množstva mikroplastov⁶ oproti napríklad ukladaniu týchto kalov na skládky odpadov.

Produkty pyrolýzy:

- **Pyrolýzny plyn:** označovaný tiež ako „syngas“ zo spracovania odpadových kalov sa skladá najmä z oxidu uhoľnatého, oxidu uhličitého, metánu a plynného vodíka. V závislosti na zložení vstupného odpadového kalu sa môžu objaviť aj iné nižšie uhľovodíky, ktoré za podmienok ochladzovania neskondenzovali. Všetky zložky pyrolýzneho plynu (okrem CO₂) vieme premeniť na tepelnú energiu, prípadne ho vieme využiť aj ako vstupnú surovinu pri výrobe chemikálií. Je použiteľný ako náhrada konvenčných palív (zemného plynu alebo iných fosílnych palív), či už v procese sušenia odpadových kalov, ohrevu pyrolýzneho reaktora, v priemyselných procesoch, alebo napríklad v kogenerácii (na združenú výrobu elektrickej a tepelnej energie). Novým využitím pyrolýzneho plynu je aj priame poháňanie vodíkových palivových článkov; vodík je jednoducho zachytávaný z pyrolýzneho plynu, čistený a rafinovaný na použitie v palivových článkoch⁷.
- **Pyrolýzny olej:** vzniká ochladením, teda kondenzáciou primárneho pyrolýzneho plynu, je to kvapalina zvyčajne tmavohnedej farby s charakteristickým zápachom. Je to viaczložková zmes, ktorú je možné frakčnou destiláciou rozdeliť na jednotlivé zložky a úpravou získať napríklad benzín a naftu, vykurovací olej a pod., prípadne spracovaním v chemickom priemysle získať úplne iné nové materiály, ktoré sa bežne vyrábajú z ropy. Pyrolýzny olej a palivá z neho vyrobené, sú vhodné pre spaľovanie v kotloch a peciach, vznetrových motoroch a spaľovacích turbínach v kogeneračnej výrobe elektrickej energie a tepla.
- **Tuhý zvyšok:** je tvorený najmä uhlíkom, svojimi adsorpčnými vlastnosťami je podobný aktívnemu uhlíu, má vysokú pórovitosť povrchu, širokú mikroštruktúru, účinnú schopnosť zadržiavať vodu a preto vo svojej čistej podobe má široké uplatnenie v priemysle. Jedinou nevýhodou tohto materiálu je, že obsahuje aj iné látky, ktoré sú v ňom po pyrolýze viazané, ako už spomínané ťažké kovy^{8,9},

preto je jeho likvidácia v prevažnej miere uložením na skládku odpadu. V závislosti na zložení vstupného odpadového kalu, tvorí tuhý zvyšok po pyrolýznom procese približne 8 až 15 % pôvodnej hmotnosti, čím je účinne eliminovaný objem a hmotnosť odpadového kalu⁷. Keďže hlavnou zložkou tuhého zvyšku je uhlík, je taktiež možné jeho energetické zhodnotenie spaľovaním.

Procesy pyrolýzy a splyňovania pre spracovanie odpadov sú známe a priemyselne aplikované, zameriavajú sa najmä na spracovanie odpadovej biomasy a vytriedených jednodruhových odpadových plastov. Štúdiom dostupnej literatúry nebol nájdený obdobný prístup a použitie pyrolýzneho procesu na zhodnocovanie takto špecifického odpadu – odpadových kalov z výroby karosérií automobilov.

Experimentálna časť

Vzorky odpadových kalov boli odobrané z lakovne karosérií automobilového závodu, zo šiestich stanovišť, kde sú kaly zbierané do veľkokapacitných kontajnerov. Odpadové kaly sú suspenziou tuhých látok v kvapaline, obsahujú napríklad zvyšky z plničov, tmelov, základných a vrchných náterov karosérií. Vo výrobnom automobilovom závode je na zachytávanie častíc využívaná mokrá technológia striekacích kabín, s vodnou clonou. Pred expedíciou do kontajnerov sú kaly čiastočne odvodnené použitím kalolisov. Výsledná vlhkosť kalov je závislá od taktu a vyťaženia výrobnéj linky a tým aj od vyťaženia kalolisov.

Vlhkosť odpadových kalov bola určovaná termogravimetrickou metódou použitím sušiacej váhy, podľa platnej normy STN EN ISO 21660-3. Norma stanovuje postup odobratia a prípravy vzorky, jej homogenizácie a postup sušenia. Celkový obsah vlhkosti sa stanoví vážením vzorky paliva pred a po sušení v kontrolovanom prostredí a hmotnostný rozdiel udáva množstvo prítomnej vlhkosti.

Spalné teplo a výhrevnosť odpadových kalov a produktov pyrolýzy boli určované pomocou kalorimetra s kalorimetrickou bombou, podľa platnej normy STN EN ISO 21654. V kalorimetrickej bombe je v čistej kyslíkovej atmosfére spaľovaná vzorka paliva, uvoľnené teplo je absorbované vodným kúpeľom a spalné teplo je určené výpočtom podľa nárastu teploty v kalorimetri.

Dôležitým sledovaným parametrom bolo chemické zloženie vzoriek odpadových kalov. Pre každú vzorku boli stanovené obsahy uhlíka, vodíka, dusíka a kyslíka (CHNO analýza), obsah ostatných chemických prvkov a chromatografická analýza.

Pre realizáciu pyrolýzneho procesu bol použitý experimentálny diskontinuálny pyrolýzny reaktor s kondenzačným výmenníkom (obrázok 1), proces možno charakterizovať ako pomalú nízkotepelnú pyrolýzu. Laboratórny pyrolýzny reaktor je dvojkomorové zariadenie, vnútorná komora predstavuje pracovný priestor v podobe valcovej nádoby uzavretej vekom s tesneniami a prírubami, do nádoby je umiestňovaná vzorka odpadu pre spracovanie, voľný priestor nad vsádzkou je vyplnený inertným plynom. Priestorom medzi stenami vonkajšej a vnútornej nádoby prúdia spaliny pre ohrev pracovného priestoru. Vsádzka je ohrievaná spalinami z blokového horáku, kde je spaľovaná zmes zemného a pyrolýzneho plynu. Zariadenie je osadené meracou, regulačnou a zabezpečovacou technikou. Merané parametre procesu sú najmä pracovné teploty (teplota spalín z blokového horáku a v komíne, teplota v pyrolýznej komore, teploty v kondenzačnom výmenníku), hmotnosti (vsádzky a kondenzátu), prietok plynu blokovým horákom a prietok chladiaceho média kondenzačným výmenníkom. Merané veličiny boli zaznamenávané meracou ústredňou s prepojením na merací notebook. Plyn vznikajúci pri ohreve vsádzky prechádzal chladeným kondenzátorom, kondenzát bol zachytávaný v zbernej nádobe a nekondenzovateľná časť pyrolýzneho plynu bola spaľovaná buď so zemným plynom v blokovom horáku alebo samostatne na fakli. Hlavné technické parametre pyrolýzneho reaktora sú:

- Spôsob ohrevu: zemný plyn alebo zmes zemného a pyrolýzneho plynu
- Maximálna pracovná teplota: 800 °C
- Objem pracovného priestoru: $3,1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$
- Inertná atmosféra: N_2
- Chladenie kondenzátora: prietočná voda alebo priemyselný prietokový chladič



Obrázok 1: Experimentálny pyrolýzny reaktor

Pre každú vzorku odpadového kalu bol zvolený rovnaký experimentálny postup. Pracovný priestor reaktora bol naplnený presne odváženým množstvom odpadového kalu, uzavretý vekom s tesneniami, prírubovým spojom pripojený kondenzačný výmenník, ktorý bol následne pripojený k prietokovému chladiču a naplnený chladiacim médiom. Voľný priestor nad vsádzkou je vyplnený inertnou atmosférou N_2 , ktorá zabraňuje vznieteniu. Po rozbehnutí pyrolýzneho procesu – keď nastane produkcia primárneho pyrolýzneho plynu, ktorý nedovolí vstup atmosférického vzduchu do pracovnej komory, je inertný plyn vypnutý. Kondenzátor je protiprúdny výmenník chladený prietokovým chladičom, ktorý je riadený podľa teploty meranej na vstupe a výstupe chladiaceho okruhu. Teplota pyrolýzneho plynu meraná na výstupe z kondenzátora bola v intervale 18 až 25 °C. Rýchlosť ohrevu vsádzky na pracovnú teplotu bola 2 °C.min⁻¹, pracovná teplota bola 450 °C a doba výdrže na pracovnej teplote pyrolýzneho procesu bola 50 minút aj s krátkym prehriatím na 550 °C na konci procesu. Počas experimentov boli zaznamenávané hmotnosti vstupnej vsádzky, vzniknutého kondenzátu a po experimente bol odvážený aj tuhý zvyšok, množstvo vzniknutého nekondenzovateľného pyrolýzneho plynu bolo dopočítané.

Výsledky a diskusia

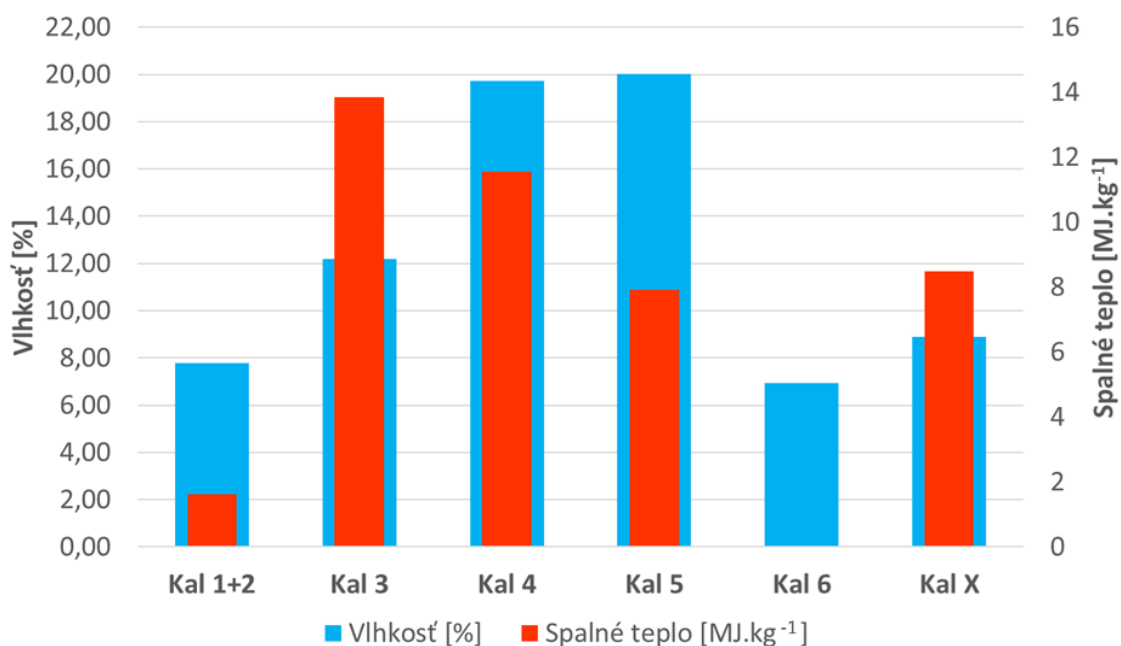
Zberné kontajnery a potom aj vzorky boli označené číslami 1 až 6 a X. Každé odberné miesto 1 až 6 prislúcha inej technologickej operácii výroby automobilových karosérií, kontajner označený X slúži na zber zvyškov z čistenia všetkých zberných kontajnerov, preto obsahuje zmes všetkých vzoriek. Vzorky kalov 1 a 2 sú z identického odberného miesta, preto boli analyzované spolu. Technologické operácie, z ktorých odpadové kaly pochádzajú podliehajú priemyselnému tajomstvu – neboli autorom presnejšie špecifikované, čo však nemá vplyv na výsledky analýz a experimentov. Ako už bolo spomenuté vyššie, odobrané vzorky boli podrobené analýzám a vybrané vzorky aj pyrolýznemu procesu s vyhodnotením.

Získané priemerné hodnoty vlhkosti vzoriek v hmotnostných percentách a priemerné spalné teplo ukazuje tabuľka 1 a obrázok 2. Maximálna priemerná vlhkosť predstavuje 20,01 % pre vzorku Kal 5, čo je porovnateľné s odporúčanou hodnotou vlhkosti dreva pre energetické účely. Vysoká vlhkosť odpadových kalov spôsobuje zvýšené energetické a technologické nároky a tým aj zvýšené ekonomické náklady pyrolýzneho procesu z dôvodu nutnosti ich sušenia. Hodnotením energetického obsahu vzoriek, teda spalného tepla, boli stanovené vzorky, ktoré sú najvhodnejšie pre spracovanie pyrolýznym

procesom. Za energeticky najvýznamnejšie vzorky boli určené Kal 3 (priemerné spalné teplo $13,850 \text{ MJ.kg}^{-1}$) a Kal 4 (priemerné spalné teplo $11,542 \text{ MJ.kg}^{-1}$), hodnoty sú porovnateľné napríklad so spalným teplom hnedého uhlia¹² a sú vyššie ako spalné teplo komunálneho odpadu¹², ktorý je energeticky využívaný v spaľovniach komunálneho odpadu.

Tabuľka 1: Priemerná vlhkosť a spalné teplo vzoriek odpadových kalov

	Priemerná vlhkosť [%]	Priemerné spalné teplo [MJ.kg^{-1}]
Kal 1+2	7,78	1,616
Kal 3	12,20	13,850
Kal 4	19,71	11,542
Kal 5	20,01	7,921
Kal 6	6,94	0,015
Kal X	8,88	8,491



Obrázok 2: Priemerná vlhkosť a spalné teplo vzoriek odpadových kalov

Pre všetky vzorky kalov boli vykonané analýzy chemického zloženia: CHNO analýza, analýza obsahu ostatných vybraných chemických prvkov a chromatografická analýza. Priemerný obsah uhlíka, vodíka, dusíka a kyslíka je ukázaný v tabuľke 2. Najvyšší obsah uhlíka a vodíka pre vzorky Kalov 3 a 4 sú obrazom vysokého spalného tepla ukázaného v tabuľke 1. CHNO analýzy boli vykonané na prvkovom analyzátoze ThermoFischer Scientific FLASH 2000 CHNS/O, ktorý využíva princíp spaľovania vzorky s následným prechodom cez GC kolónu a detektor tepelnej vodivosti.

Pre všetky vzorky bola vykonaná analýza obsahu aj ostatných chemických prvkov. Analýzy boli vykonané na energiovo-disperznom röntgenovom fluorescenčnom spektrometri - Thermo ARL QuantX, ktorý využíva bezštandardový program UniQuant pre analýzu prvkov.

Tabuľka 2: CHNO analýza – suchý stav

	C [m/m%]	H [m/m%]	N [m/m%]	O [m/m%]	CHNO [m/m%]
Kal 1+2	10,22	1,64	0,00	55,15	67,00
Kal 3	47,54	6,89	2,90	27,88	85,20
Kal 4	51,20	7,20	4,85	25,87	89,11
Kal 5	20,76	2,81	1,17	44,28	69,00
Kal 6	1,12	0,46	0,00	57,04	58,61
Kal X	28,73	3,99	1,99	35,50	70,20

Podľa výsledkov prezentovaných vyššie, boli v tejto fáze výskumu pre svoj vysoký energetický obsah pre následné pyrolýzne zhodnocovanie vybrané vzorky kalov 3 a 4. Pre tieto okolnosti sú v tabuľke 3 prezentované len výsledky analýzy priemerného obsahu vybraných chemických prvkov pre vzorky Kalov 3 a 4. Ako ukazuje tabuľka, zastúpené sú chemické prvky, ktoré sú typické pre náterové látky a úpravy povrchov karosérií, sú používané napríklad ako pigmenty vo farbách a pre ich obsah je možné považovať tieto odpadové kaly za nebezpečný odpad.

Tabuľka 3: Analýza priemerného obsahu vybraných chemických prvkov

Kal 3		Kal 4	
Chemický prvok	m/m%	Chemický prvok	m/m%
Ti	7,670	Ti	3,860
Al	2,450	Si	2,010
Si	1,990	Ca	1,340
Mg	0,978	Ba	1,120
Ca	0,902	Mg	0,972
Fe	0,244	Al	0,813
Sx	0,163	Sx	0,337
Cl	0,135	Fe	0,135
Ba	0,069	Cl	0,113
K	0,0625	Br	0,518
Sn	0,0413	K	0,0504
Cr	0,0316	Sr	0,0438
Zr	0,0292	Zr	0,013
Cu	0,0151	Cu	0,0105
Sr	0,0102	Sn	0,0104
Br	0,0057	Bi	0,0088

Vybrané vzorky boli energeticky zhodnotené pyrolýznym procesom. Pyrolýza prebiehala pri teplotách približne 450 °C. Pracovná náplň reaktora mala vždy približnú hmotnosť 3 kg, jej ohrevom vznikol pyrolýzny plyn, ktorý prechádzal kondenzátorom za tvorby kvapalnej fázy, po procese pyrolýzy v reaktore ostával tuhý zvyšok. Počas experimentu boli zaznamenávané hmotnosti vstupnej vsádzky, kondenzátu a tuhého zvyšku, množstvo vzniknutého nekondenzovateľného pyrolýzneho plynu bolo dopočítané. Priemerné hmotnostné percentuálne zastúpenie jednotlivých zložiek je ukázané v tabuľke 4. Výsledný podiel tuhého zvyšku ukazuje na významné zredukovanie množstva pôvodného tuhého odpadového kalu. Porovnaním s výsledkami pyrolýzneho spracovania iných druhov odpadov, napr. odpadových plastov¹³ je možné konštatovať, že bolo získané vyššie množstvo kondenzátu a tuhého zvyšku a nižšie množstvo pyrolýzneho plynu. V porovnaní so spracovaním odpadových kalov napr. z čistiarne odpadových vôd³ bolo získané menšie množstvo tuhého zvyšku.

Tabuľka 4: Výsledky pyrolýzneho procesu – obsah kondenzátu, pyrolýzneho plynu a tuhého zvyšku

Kal 3		Kal 4	
Vsádzka	100 %	Vsádzka	100 %
Kondenzát	62,38 %	Kondenzát	66,30 %
Pyrolýzny plyn	16,11 %	Pyrolýzny plyn	19,52 %
Tuhý zvyšok	21,52 %	Tuhý zvyšok	14,17 %

V počiatočnej fáze, pri nižších teplotách, vznikol kondenzát tvorený najmä vodným roztokom, neskôr pri vyšších teplotách vznikol pyrolýzny olej. Obe tieto zložky boli zachytávané do spoločnej zbernej nádoby a oddeľované po pyrolýznom procese, kedy vzniklo fázové rozhranie, ľahší pyrolýzny olej sa usadil na povrchu vodného roztoku (obe frakcie boli aj rozdielneho sfarbenia, pyrolýzny olej tmavý, zvyškový vodný roztok skoro priesvitný). Priemerné hmotnostné percentuálne zastúpenie zložiek kondenzátu je ukázané v tabuľke 5, ktorá ukazuje pomerne malý podiel získaného pyrolýzneho oleja, ktorý je žiadaný pre svoj energetický a materiálový potenciál. Pri porovnaní hmotnostného percenta obsahu vlhkosti vstupného materiálu v tabuľke 1 a hmotnostného percenta zvyškového vodného roztoku v tabuľke 5 je zrejmé, že ho netvorí len vlhkosť zo vsádzky, ale aj iné vyplavené chemické látky, ktoré mohli vzniknúť pri procese pyrolýzy. Pre potvrdenie tejto hypotézy je nutné vykonať analýzu chemického zloženia. Množstvo získaného pyrolýzneho oleja je omnoho menšie ako napríklad pri spracovaní odpadových plastov¹³, ale vyššie ako pri spracovaní odpadových kalov z čistiarní odpadových vôd³, kde je hlavným produktom pyrolýzny plyn.

Tabuľka 5: Výsledky pyrolýzneho procesu – obsah pyrolýzneho oleja a zvyškovej kvapaliny

Kal 3			Kal 4		
	Z hmotnosti kondenzátu	Z hmotnosti vsádzky		Z hmotnosti kondenzátu	Z hmotnosti vsádzky
Pyrolýzny olej	11,00 %	6,86 %	Pyrolýzny olej	8,00 %	5,30 %
Zvyšková kvapalina	89,00 %	55,52 %	Zvyšková kvapalina	92,00 %	61,00 %

Pre obe oddelené zložky kondenzátu – pyrolýzny olej a zvyškovú kvapalinu, boli následne vykonané analýzy energetického obsahu, výsledná priemerná hodnota spalného tepla je ukázaná v tabuľke 6. Výsledky ukazujú značný nárast energetického obsahu vzniknutého pyrolýzneho oleja oproti hodnote spalného tepla vstupnej suroviny, spalné teplo zvyškovej kvapaliny je zanedbateľné, prakticky nulové a možno konštatovať, že je v hodnotách chyby merania.

Tabuľka 6: Priemerné spalné teplo produktov pyrolýzy

	Priemerné spalné teplo [MJ.kg ⁻¹]
Pyrolýzny olej – Kal 3	25,513
Pyrolýzny olej – Kal 4	21,889
Zvyšková kvapalina – Kal 3	0,005
Zvyšková kvapalina – Kal 4	0,001

Porovnaním so spalným teplom pyrolýzneho oleja získaného pri pyrolýznom spracovaní odpadových plastov¹³ je možné konštatovať, že nami získaný pyrolýzny olej má nižší energetický obsah priemerne o 8 MJ.kg⁻¹. Pre získaný pyrolýzny olej bola urobená analýza priemerného obsahu vybraných chemických prvkov (tabuľka 7), niektoré hodnoty sú nízke a blížia sa k hranici rozlišovacej schopnosti analyzátoru. Porovnaním hodnôt obsahu vybraných chemických prvkov v pôvodnom materiáli (tabuľka 3) a v pyrolýznom oleji (tabuľka 7) možno konštatovať, že pôvodná hypotéza bola potvrdená a došlo k značnému poklesu ich obsahu. Ďalšie analýzy neboli vykonané, pre nízky výťažok pyrolýzneho oleja možno považovať pyrolýzne spracovanie odpadových kalov za energeticky a ekonomicky nevýhodné a výskum v tejto oblasti bol ukončený.

Tabuľka 7: Analýza priemerného obsahu vybraných chemických prvkov

Kal 3	
Chemický prvok	m/m%
Ti	0,0250
Al	0,0079
Si	0,0065
Mg	0,0032
Ca	0,0029
Fe	0,0008
Sx	0,0005
Cl	0,0004
Ba	0,0002
K	0,0002
Sn	0,0001
Cr	0,0001
Zr	0,0001
Cu	0,0000
Sr	0,0000
Br	0,0000

Kal 4	
Chemický prvok	m/m%
Ti	0,0134
Si	0,0069
Ca	0,0047
Ba	0,0039
Mg	0,0034
Al	0,0028
Sx	0,0012
Fe	0,0005
Cl	0,0004
Br	0,0018
K	0,0002
Sr	0,0001
Zr	0,0000
Cu	0,0000
Sn	0,0000
Bi	0,0000

Záver

Výskumná úloha bola orientovaná na posúdenie možnosti energetického zhodnotenia odpadových kalov z automobilového priemyslu, konkrétne z lakovne výrobného automobilového závodu. Tieto kaly sú charakteristické svojim špecifickým chemickým zložením a najmä vlhkosťou.

Analýzou vlhkosti vzoriek odpadových kalov bolo zistené, že odvodnenie na kalolisochoch je účinné a maximálna priemerná vlhkosť bola okolo 20 %, čo je prijateľná hodnota pre následné energetické zhodnotenie. Maximálna priemerná vlhkosť je porovnateľná napríklad s odporúčanou hodnotou vlhkosti palivového dreva¹².

Analýzou spalného tepla vzoriek odpadových kalov boli určené vzorky, ktoré sú vhodné na ďalšie energetické zhodnotenie. Vzorky kalov 3 a 4 dosahovali najvyššie priemerné spalné teplo (Kal 3 – priemerné spalné teplo 13,850 MJ.kg⁻¹, Kal 4 – priemerné spalné teplo 11,542 MJ.kg⁻¹), porovnateľné napríklad s hnedým uhlím. Vzorky kalov 5 a X dosahujú hodnoty spalného tepla porovnateľné napríklad s komunálnym odpadom, vzorky kalov 1+2 a 6 sú prakticky energeticky nevýznamné (s prihliadnutím na ich vlhkosť, ktorej odstránenie spotrebuje viac tepla, ako by sme získali ich energetickým zhodnotením). Hodnotením spalného tepla boli vybrané vzorky kalov 3 a 4 na ďalšie výskumné aktivity v oblasti ich energetického zhodnocovania.

Pre všetky vzorky boli vykonané analýzy chemického zloženia, analyzované boli obsahy uhlíka, vodíka, dusíka a kyslíka, obsah iných vybraných chemických prvkov a chromatografické analýzy. Analýzy poukázali na energetický potenciál vybraných vzoriek pre energetické zhodnocovanie. Obsah iných vybraných chemických prvkov potvrdil opodstatnenie zaradenia tohoto druhu odpadu medzi nebezpečný odpad.

Pyrolýznym procesom boli získané produkty: pyrolýzny plyn, kondenzát a tuhý zvyšok, Kondenzát bol po procese pyrolýzy rozdelený na pyrolýzny olej a zvyškovú kvapalinu, pre ktoré boli následne vykonané analýzy spalného tepla. Priemerné spalné teplo pyrolýzneho oleja zo vzoriek kalu 3 bolo 25,513 MJ.kg⁻¹ a zo vzoriek kalu 4 bolo 21,889 MJ.kg⁻¹. Z celkovej hmotnosti vsádzky bolo zo vzoriek kalov 3 získané 6,86 % pyrolýzneho oleja a zo vzoriek kalov 4 bolo získané 5,30 % pyrolýzneho oleja. Tieto hodnoty poukazujú na značný nárast energetického obsahu vyprodukovaného pyrolýzneho oleja oproti spalnému teplu vstupných vzoriek odpadových kalov, avšak nízke hmotnostné percento zastúpenia pyrolýzneho oleja naznačuje energetickú a ekonomickú neefektívnosť energetického zhodnocovania odpadových kalov pyrolýznym procesom.

Porovnaním obsahov vybraných chemických prvkov vo vstupnom materiáli a v získanom pyrolýznom oleji bola potvrdená hypotéza, že tieto chemické prvky neprechádzajú do výsledného kvapalného produktu. Porovnanie výťažnosti pyrolýzneho oleja, napríklad pri spracovaní odpadových plastov¹³, taktiež ukazuje nízku výťažnosť pyrolýzneho oleja a vysokú energetickú a tým pádom aj ekonomickú náročnosť spracovania tohto druhu odpadu. Okrem nízkej výťažnosti pyrolýzneho oleja je problematické pre energetické zhodnocovanie tohto druhu odpadu aj jeho vysoká vlhkosť, ktorá predstavuje dodatočné energetické a ekonomické náklady pri spracovaní. Pre vyššie spomenuté dôvody je nutné pre tento druh odpadu hľadať iný spôsob ako ho spracovať a nakladať s ním.

Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol za pomoci projektu UNIVNET 0201/0003/20

Literatúra

1. ISOH – Informačný systém odpadového hospodárstva, 2024, URL <https://www.isoh.gov.sk>
2. Karagiannidis, 2012. Waste to energy, Opportunities and Challenges for Developing and Transition Economies. Springer, 2012.
3. Brigwater, 2002. Pyrolysis and Gasification of Biomass and Waste, Proceeding of an Expert Meeting. Strasbourg, France, 30 September – 1 October 2002. CPL Press, 2002.

4. Lu, T., Yuan, H., Wang, Y., Huang, H., Chen, Y. 2016. Characteristic of heavy metals in biochar derived from sewage sludge. *J Mater Cycles Waste Manag* 18. 2016, 725 – 733.
5. Wang, Z., Liu, S., Liu, K., Ji, S., Wang, M., Shu, X. 2021. Effect of temperature on pyrolysis of sewage sludge: biochar properties and environmental risks from heavy metals. *E3S Web of Conferences* 237. 2021.
6. Ni, B., Zhu, Z., Li, W., Yan, X., Wei, W., Xu, Q., Xia, Z., Dai, X., Sun, J. 2020. Microplastics Mitigation in Sewage Sludge through Pyrolysis: The Role of Pyrolysis Temperature. *Environmental Science & Technology Letters*, 7(12). 2020, 961 – 967.
7. Wang, C., Luo, D., Zhang, X., Huang, R., Cao, Y., Liu, G., Zhang, Y., Wang, H. 2022. Biochar-based slow-release of fertilizers for sustainable agriculture: A mini review. *Environmental Science and Ecotechnology*, 10. 2022.
8. Wang, Z., Shen, R., Ji, S., Xie, L., Zhang, H. 2021. Effects of biochar derived from sewage sludge and sewage sludge/cotton stalks on the immobilization and phytoavailability of Pb, Cu, and Zn in sandy loam soil. *Journal of Hazardous Materials* (419). 2021.
9. Wang, J., Fu, R., Xu, Z. 2017. Stabilization of heavy metals in municipal sewage sludge by freeze-thaw treatment with a blend of diatomite, FeSO_4 , and Ca(OH)_2 . *Journal of the Air & Waste Management Association*, 67 (8). 2017, 847 – 853.
10. STN EN ISO 21660-3 – Stanovenie vlhkosti paliva
11. STN EN ISO 21654 – Určenie spalného tepla a výhrevnosti paliva
12. Jandačka, J. a kol. 2014. Energetické využitie komunálneho odpadu. Uniza-EDIS, 2014.
13. Šooš, L., Patsch, M. 2023. Progresívne technológie zhodnocovania odpadov – hlavný pilier obehového hospodárstva. *SPEKTRUM STU*, 2023.
14. Sun, Y., Jin, B.S., Huang, Y.J., Zuo, W., Jia, J.Q., Wang, Y.Y.; Distribution and characteristics of products from pyrolysis of sewage sludge ; (2013) *Advanced Materials Research*, 726 – 731, pp. 2885 – 2893., ISBN: 978-303785742-7
15. Werther J.; Ogada T.; Sewage sludge combustion; *Progress in Energy and Combustion Science* Volume 25, Issue 1, Pages 55 – 116, 1999, Elsevier, ISSN 03601285
16. Zhang, J., Zhong, S., Li, Ch., Shan, R., Yuan, H., Chen, Y. 2024. Co-pyrolysis mechanism of waste vehicle seats derived artificial leather and foam. *Journal of Cleaner Production*, Volume 434, Article number 140436, 2024, Elsevier, ISSN 09596526
17. Chang, H., Yuan, J., Zhao, Y., Bisinella, V., Damgaard, A., Christensen, T. 2025. Carbon footprints of incineration, pyrolysis, and gasification for sewage sludge treatment; *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 212, Article number 107939, Elsevier B.V., ISSN 09213449

Pyrolysis of waste sludge from the automotive industry

Marek PATSCH, Peter PILÁT, Lucia MACÁKOVÁ

University of Žilina, Faculty of mechanical engineering, Department of power engineering

Summary

The possibilities of energy recovery of waste sludge by pyrolysis process were solved for the area of waste sludge from the automotive industry, specifically for the area of car body production. In general, this sludge is classified as hazardous waste, mainly due to their chemical composition, and this determines the methods and possibilities for their subsequent handling and disposal. In order to carry out the research, the sludge samples were taken directly at the place of their origin, in the Volkswagen Bratislava. Samples were subjected to initial analysis, during which they were evaluated: moisture content, calorific value and chemical composition. When evaluating the chemical composition, the contents of chemical compounds and individual chemical elements were evaluated. Chemical analysis pointed out, for example, the content of heavy metals in the samples, which causes complications in conventional energy recovery, for example by incineration. The results pointed to the suitability or unsuitability of sludge samples for further energy recovery through the pyrolysis process. The two most perspective samples with the highest calorific value were used in the laboratory experimental pyrolysis, resulting in the obtaining of synthesis gas, condensate and solid residue. The condensate, which should have the highest energy potential, contained pyrolysis oil, but it was contaminated with condensed moisture from the sample and other leached substances. By subsequent separation of the pyrolysis oil, the proportions of the pyrolysis processing products were evaluated. Analysis of the calorific value of the obtained pyrolysis oils confirmed the assumption of a significant energy content of these samples. Chemical analysis of the solid residue confirmed that heavy metals and other hazardous substances from the original sample remained in the solid residue and were not released into other pyrolysis products.

Keywords: *pyrolysis, waste sludge, pyrolysis oil, waste to energy*

ČESKÉ EKOLOGICKÉ MANAŽERSKÉ CENTRUM, z.s.

zve na 19. ročník symposia

ODPADOVÉ FORUM 2025

zaměřeného na výsledky
aplikovaného výzkumu z oblasti průmyslové a komunální ekologie

Symposium je určeno:

- k prezentaci výsledků výzkumu z celé oblasti průmyslové a komunální ekologie, tedy nejen z oblasti nakládání s odpady, ale také vodního hospodářství, ochrany ovzduší, sanací ekologických zátěží a havárií a v neposlední řadě na snižování dopadů lidské činnosti na změny klimatu;
- pro zástupce podnikatelské sféry, aby se seznámili s výzkumnými tématy a projekty, na kterých se v ČR a SR pracuje, s cílem eventuálního převzetí nebo dalšího rozvinutí dosažených výsledků v praxi, případně k navázání spolupráce s výzkumnými pracovišti;
- pro zástupce veřejné správy, aby se seznámili s výzkumnými tématy, na kterých se v ČR a SR pracuje a zvyšovali si tím svou kvalifikaci.

Při organizaci symposia nám jde nejen o to poskytnout řešitelům projektů prostor k prezentaci výsledků jejich práce, ale také o rozšíření kontaktů mezi výzkumnou sférou a praxí.

Mediálním i odborným partnerem symposia je časopis



WASTE FORUM

Symposium se koná spolu s konferencí APROCHEM v rámci

Týdne výzkumu a inovací pro praxi a životní prostředí TVIP 2025

14. – 16. 10. 2025, Hustopeče, hotel Amande

VÁŽENÍ PŘÍZNIVCI APLIKOVANÉHO VÝZKUMU A RIZIKOVÉHO MANAGEMENTU, dovolujeme si vás pozvat na další ročník Týdne výzkumu a inovací pro praxi a životní prostředí (TVIP), který letos proběhne v termínu 14. – 16. října 2025 v Hustopečích u Brna. Nový ročník opět zastřešuje dvě tradiční specializovaná odborná setkání: konferenci **APROCHEM** a symposium **ODPADOVÉ FÓRUM**. Symposium se mimo aktuální projekty z oblasti odpadů, ochrany vod a ovzduší, blíže zaměří na odpady ze stavebnictví, textilního průmyslu a elektroodpad.

APROCHEM: Konference tematicky pokrývá oblast řízení rizik a bezpečnosti. Zaměřuje se zejména na **řízení průmyslových rizik a rovněž na rizika při správě regionů, měst a obcí**. Konference odráží význam výzev vyplývajících ze změn ovlivňujících naši společnost v oblasti širokého spektra rizikového managementu (mezinárodní bezpečnostní situace, bezpečnost kritické infrastruktury v souvislosti s uplatňováním nových technologií, rozšiřováním energetického mixu o alternativní zdroje energie, změnami klimatu atd.).

RIZIKOVÝ MANAGEMENT A PREVENCE A ODSTRAŇOVÁNÍ HAVÁRIÍ

□ Posuzování a řízení rizik □ Prevence závažných průmyslových havárií □ Zkušenosti z odstraňování následků havárií □ Rizika při nakládání s chemickými látkami a přípravy	□ Rizika související s nanomateriály (např. ve vztahu k potravinám) □ Rizika vyplývající z nových výzev (změna klimatu, nástup chytrých technologií, využití alternativních zdrojů energie a dopady geopolitických změn) □ Bezpečnost a hygiena práce
--	---

ODPADOVÉ FÓRUM: 19. ročník symposia pokračuje v prezentaci výsledků výzkumných projektů z celé oblasti průmyslové a komunální ekologie z oblasti **odpadů, ochrany vod a ovzduší**. Navíc budeme věnovat zvýšenou pozornost výzkumu cílícímu na aplikaci principů cirkulární ekonomiky a udržitelnosti ve **stavebnictví, textilním průmyslu a elektrických a elektronických zařízeních**.

AKTUÁLNÍ PROJEKTY: ODPADY – VODA - OVZDUŠÍ	ODPADY ZE A PRO STAVEBNICTVÍ
□ Cirkulární ekonomika, inovativní metody a přístupy (ecodesign, LCA, uhlíková a vodní stopa) □ Prevence, materiálové, biologické a energetické využití odpadů □ Průmyslové a komunální odpadní vody, kaly, získávání fosforu, recyklace vody □ Čištění odpadních plynů a spalín, snižování a měření emisí	□ Udržitelná výstavba □ Efektivní využití surovin a cirkulární ekonomika □ Předcházení vzniku odpadů □ Recyklace a downcyklace □ Využití vedlejších produktů a odpadů z jiných průmyslových odvětví □ Inovativní přístupy a materiály □ Brownfieldy
ODPADNÍ TEXTIL	OEEZ A ELEKTROPRŮMYSL
□ Udržitelná textilní výroba a spotřeba □ Možnosti využití použitého textilu □ Bezpečnostní a zdravotní aspekty recyklátů □ PFAS a jejich dopady na životní prostředí □ Uživatelské chování a marketing	□ Ecodesign a jeho aplikace □ Postupy demontáže a recyklace □ Získávání a recyklace kritických surovin □ Toxické látky a kontaminované materiály

KLÍČOVÉ TERMÍNY

Přihlášky příspěvků	30. 6. 2025
Zaslání plných textů do sborníku	15. 9. 2025
Přihlášky účasti	30. 9. 2025
Termín konání	14. – 16. 10. 2025

CENY VLOŽNÉHO

Plné vložné	6 500 Kč
Jednodenní vložné	5 000 Kč

PŘIHLÁŠKY PŘÍSPĚVKŮ A PREZENTACE PŘEDNÁŠEK

Příspěvky na TVIP mohou mít povahu přednášky v odborné sekci (15 min. přednáška a 5 min. diskuse) nebo vývěsky. Vývěsky mohou být až do formátu A0 na výšku, větší rozměry je třeba konzultovat s pořadatelem.

Termín přihlášek příspěvků je **30. 6. 2025**. Přihlášky je možné zasílat výhradně prostřednictvím elektronického [formuláře](#) na www.tvip.cz. Pořadatel potvrzuje přijetí přihlášky a vyhrazuje si právo konečného rozhodnutí o přijetí příspěvku, formě jeho prezentace a zařazení do konkrétní sekce a programu.

Po uvedeném datu je možno přihlásit příspěvek buď po výzvě přípravného výboru, nebo do naplnění kapacity (sestavení konečného programu). Jednací jazyk je čeština a slovenština. Zahraniční přednášející (i posluchači) jsou vítáni, ale tlumočení nezajišťujeme. Komerční prezentace na konferenci je možná, více na www.tvip.cz.

PLNÉ TEXTY PŘEDNÁŠEK

Autory všech příspěvků, přednášek i vývěsek žádáme o včasné předání konečného, graficky upraveného plného textu příspěvku v elektronické podobě v MS Word nejpozději do **15. 9. 2025**. Požadavky na grafickou úpravu textů do sborníku jsou uvedeny na internetových stránkách TVIP, kde je rovněž i vzorová šablona pro psaní textů. Sborník TVIP je vydáván v elektronické formě s označením ISBN.

PUBLIKACE VE WASTE FORUM

Časopis WASTE FORUM, který je dlouholetým mediálním i odborným garantem TVIP, je od roku 2017 indexován v databázi SCOPUS. V případě zájmu o publikaci příspěvku ze symposia v časopisu je toto možné. Publikací jazyk je angličtina, čeština a slovenština. Redakční uzávěrky jsou pravidelně 8. 1., 8. 4., 8. 7. a 8. 10. Text je třeba upravit podle redakčních zvyklostí (více na www.wasteforum.cz/ v sekci [Pro autory](#)). Příspěvky jsou posuzovány minimálně dvěma nezávislými recenzenty. Hotové číslo bývá vystaveno na internetu zhruba 10 – 11 týdnů po redakční uzávěrce. Všechna čísla časopisu (aktuální i archivní) jsou volně ke stažení na stránkách www.wasteforum.cz.

PŘIHLÁŠKY ÚČASTI

K účasti na TVIP se přihlašuje prostřednictvím [formuláře](#) na www.tvip.cz. Jeho součástí je i specifikace objednávaného ubytování a rozsahu stravování. Bližší informace na stránkách internetu. **Termín pro přihlášení je 30. 9. 2025** K účasti se přihlašují (a platí vložné) i autoři příspěvků, přednášky nejsou honorované. Za neodpřednášenou přednášku či za nevystavený poster fakturujeme poplatek 1000 Kč za zařazení příspěvku do programu a uveřejnění textu ve sborníku.

DRUHÝ CÍRKULÁŘ A DALŠÍ INFORMACE

Druhý cirkulář s předběžným programem bude rozeslán v polovině září. Veškeré, průběžně aktualizované informace k TVIP naleznete na internetových stránkách www.tvip.cz. Konkrétní dotazy a připomínky adresujte buď na níže uvedené guaranty, nebo na společnou adresu tvip@cemc.cz.

POŘADATEL

České ekologické manažerské centrum, z.s.
28. pluku 524/25, Praha 10, PSČ 101 00
www.tvip.cz, tvip@cemc.cz
Tel.: (+420) 274 784 417
IČO: 45249741, DIČ: CZ45249741
Číslo účtu: 27534061/0100

KONTAKTY

- ▣ **Ing. Ondřej Procházka, CSc.**, programový guarant symposia OF, šéfredaktor WASTE FORUM – prochazka@cemc.cz
- ▣ **Ing. Jiří Študent**, programový guarant APROCHEM – student@cemc.cz
- ▣ **Ing. Vladimír Študent**, hlavní guarant – studentv@cemc.cz