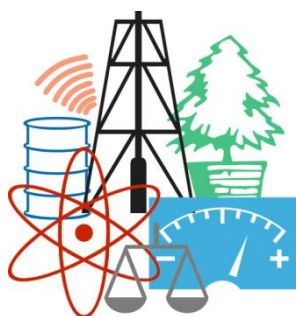


WASTE FORUM



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 2024

No. 2

Pages 76 – 178

Thematic issue/Tematické číslo

***EVALUATION OF WASTE FROM THE AUTOMOBILE INDUSTRY /
ZHODNOCOVANIE ODPADOV Z AUTOMOBILOVÉHO PRIEMYSLU***



Czech Environmental Management Center 2024

OBSAH / INDEX

Úvodní slovo šéfredaktora / Editorial	78
Pro autory / For authors	79
Vývoj novej technológie zhodnocovania odpadovej PUR peny do nových výrobkov Development of a new technology for the recovery of waste slurry into new products <i>Lubomír ŠOOŠ, Miloš MATUŠ, Marcela POKUSOVÁ, Jozef BÁBICS, Stanislav ŽIARAN, Ondrej CHLEBO</i>	80
Textilný odpad z automobilového priemyslu ako východzí materiál pre výrobu zvukovo izolačných produktov Textile waste from the automotive industry as a starting material for the production of sound insulation products <i>Miroslav BADIDA, Tibor DZURO, Kristián PÁSTOR, Lýdia SOBOTOVÁ, Marek MORAVEC, Miriama PIŇOSOVÁ</i>	91
Požiarne vlastnosti nových drevných kompozitov obsahujúcich odpadové plasty z automobilov Fire properties of new wooden composites containing waste plastics from automobiles <i>Iveta ČABALOVÁ, Anna DARABOŠOVÁ, Martin ZACHAR, Jozef KRILEK, Vladimír MANCEL, Mária OSVALDOVÁ, Roman RÉH</i>	99
Kmitanie a hluk komponentov strojných zariadení v čase konca ich životnosti Vibration and noise of machinery components at the end of their lifetime <i>Stanislav ŽIARAN, Ondrej CHLEBO, Lubomír ŠOOŠ</i>	105
Náklady na elektrickú energiu ako determinant udržateľnosti a investičnej atraktivity v automobilovom priemysle Electricity costs as a determinant of sustainability and investment attractiveness in the automotive industry <i>Stanislav ZÁBOJNÍK</i>	112
Identifikácia problémov s odpadom s použitím nástrojov kvality Identifying waste problems using quality tools <i>Barbara CIECINSKA, Aleksandra MAJKA, Lýdia SOBOTOVÁ</i>	120
Assessment of the environmental impacts of wood plastic composites Hodnotenie vplyvov drevoplastových kompozitov na životné prostredie <i>Helena HYBSKÁ, Dagmar SAMEŠOVÁ, Martina MORDÁČOVÁ, Mária GREGUŠOVÁ, Paulína MAŠKOVIČOVÁ</i>	132
Plastový medicínsky odpad: Energetické využitie a environmentálna záťaž Plastic medical waste: Energy use and environmental burden <i>Nikola ČAJOVÁ KANTOVÁ, Radovan NOSEK, Alexander ČAJA, Alexander BACKA, Martin VANTÚCH</i>	138
Recycling of hydrodehalogenation catalyst used for detoxification of halogenated aromatic contaminants based on circular economy principles Recyklace hydrodehalogenačného katalyzátoru použitého v procese premeny toxických halogenovaných aromatických kontaminantů vod na biologicky odbourateľné produkty s využitím princípů oběhového hospodářství <i>Tomáš WEIDLICH, Michal HEGEDŮS, Barbora KAMENICKÁ</i>	144
Analýza používání sanačních technik jako nápravných opatření na kontaminovaných místech v České republice Analysis of the use of remediation techniques as remedial measures at contaminated sites in the Czech Republic <i>Zdeněk SUCHÁNEK, Martin KUBAL, Tomáš CAJTHAML, Ivana KOPECKÁ</i>	151
Pozvánky a nekomerční prezentace / Invitations and non-commercial presentation	
Technika ochrany prostředí TOP 2024 (28. – 30. 10. 2024, Zvolen)	175
Týden výzkumu a inovací pro praxi a životní prostředí TVIP 2024	176

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 2024, 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. 2024. Vychází: 5. 6. 2024



Úvodní slovo šéfredaktora

Vážení čtenáři,

máte před sebou tematické číslo Zhodnocovanie odpadov z automobilového priemyslu. Naprostá většina příspěvků (tedy všechny až na jeden) jsou z konference Technika ochrany prostredia TOP 2023, kterou tradičně pořádá Strojnická fakulta STU v Bratislavě a na jejíž letošní ročník vás také zveme (WASTE FORUM je jejím partnerem).

Stejně tak vás osobně zveme na letošní ročník Týdne výzkumu a inovací pro praxi a životní prostředí TVIP 2024 (12. – 14. 11. 2024, Hustopeče), v jehož rámci se každoročně konají konference APROCHEM, zaměřená na rizikový management, a symposium Výsledky výzkumu a vývoje pro průmyslovou a komunální ekologii ODPADOVÉ FORUM.

Letos navíc v rámci TVIP 2024 pořádáme konferenci POTRAVINÁŘSTVÍ NA CESTĚ K UDRŽITELNOSTI, jejímž je WASTE FORUM rovněž partnerem a moje maličkost programovým garantem. Cílem konference je seznámit účastníky s environmentálními dopady různých potravinářských výrobních odvětví a identifikovat hlavní příležitosti k jejich nápravě nejen v duchu snížení uhlíkové stopy a emisí. Představíme také, jakých pokroků bylo v poslední době dosaženo, na čem se ve výzkumu a vývoji pracuje a kde je nutné hledat potřebná řešení. Konference má ambici propojit potravinářský sektor a jeho potřeby s výzkumnou obcí a vytvořit jakousi platformu pro dialog mezi vědci a výrobci, kteří se snaží vylepšit environmentální kritéria svého ESG reportingu.

Na závěr se chci zde svěřit s tím, jak mne trápí současný mediální humbuk okolo publikování v predátorských časopisech. Nezpochybňuji existenci těchto časopisů, ale šťve mne, že media často (ve většině) kladou na roveň tato příživnická periodika obecně s open-access časopisy. A to se mne a „mého“ časopisu bytostně dotýká. Přitom, kdo někdy ve WF publikoval nebo pro něj recenzoval, může potvrdit, že se v redakci publikační etika dodržuje a každý příspěvek je posuzován dvěma (někdy nedopatřením třemi!) nezávislými a anonymními recenzenty.

Ondřej Procházka

Editorial

Dear readers,

you have in front of you the thematic issue Evaluation of automotive industry waste. The vast majority of contributions (that is, all but one) are from the Technika ochrany prostredia TOP 2023 (Environmental Protection Technology) conference, which is traditionally organized by the Faculty of Engineering of the STU in Bratislava, Slovakia.

Finally, I would like to remind you that 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](#) on www.WasteForum.cz. If this is the case and the paper passes peer review without any problems, it is published within 10 weeks of the editorial deadline!

Regards

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 spoluautor. 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 500 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 2024, další pak 8. října 2024.

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.***

Revenue to cover at least the costs associated with the issuance of the magazine, we select a publication fee **500 CZK per each new page of the paper.**

The deadline of the next issue is on July 8, 2024, more on October 8, 2024.

Vývoj novej technológie zhodnocovania odpadovej PUR peny do nových výrobkov

Lubomír ŠOOŠ, Miloš MATÚŠ, Marcela POKUSOVÁ, Jozef BÁBICS, Stanislav ŽIARAN, Ondrej CHLEBO

Strojnícka fakulta STU v Bratislave, Ústav výrobného inžinierstva a kvality produkcie, Námestie slobody 17, 812 31 Bratislava

e-mail: lubomir.sooš@stuba.sk, marcela.pokusova@stuba.sk,

stanislav.ziaran@stuba.sk, milos.matus@stuba.sk, ondrej.chlebo@stuba.sk, jozef.babics@stuba.sk

Súhrn

Pri zhodnocovaní odpadu zo starých vozidiel vznikajú rôzne typy odpadov. Väčšinu odpadu je možné zhodnotiť s väčším či menším úspechom. Medzi tie problematické odpady patrí molitan. Má veľký objem, nízku hmotnosť a v súčasnosti neexistuje vysoko účinná technológia na zhodnocovanie tohto odpadu a výrobu nových produktov. Cieľom prezentovaného príspevku je analýza stavu spracovania, výskumu, vývoja, dizajnu a testovania skúšobných vzoriek ako podkladu pre výrobu stroja na výrobu nových 3D produktov vyrobených z penového odpadu. Príspevok v úvodnej časti obsahuje analýzu množstva plastového odpadu vznikajúceho v automobilovom priemysle. Popisuje súčasný stav nakladania s uvedeným odpadom, možnosti jeho využitia pri výrobe nových produktov. Jadrom príspevku je výber vhodnej technológie, výroba a overenie experimentálneho merania a hodnotenia vyrobených skúšobných vzoriek pri rôznych teplotách, tlakoch a dĺžke výdrže.

Kľúčová slova: pena, spracovanie, recyklácia

Úvod

Mäkké polyuretánové (PUR) peny zaberajú asi 33 % z celkovej produkcie polyuretánov. Používajú sa v automobilovom priemysle na výrobu sedadiel, ďalej na výrobu matracov, nábytku, na laminovanie textilu, na obalové účely (ochrana proti nárazu), na výrobu izolačných a tesniacich pásov. Využitie nachádzajú aj v stavebníctve. Tým, že sa používajú bežne v priemysle aj ako spotrebný materiál, vzniká otázka ukladania a recyklácia odpadu. Možnosť vzniku odpadu je aj pri samotnej výrobe, kde môže dosiahnuť až 10 % z celkovej produkcie pien. PUR sa môžu používať ako peny, elastoméry, laky, lepidlá, elastické vlákna či ako umelá koža. V automobilovom priemysle je dopyt tvarových produktoch výrobkoch z mäkkých PUR pien. Ich hustota je v rozmedzí hodnôt od $15 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ do $70 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

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

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

Realizovaný projekt je zameraný na efektívny návrh spracovania PUR odpadov zo starých vozidiel. Nakoľko výstupom má byť optimalizovaný návrh technológie materiálového (príp. energetického) zhodnotenia odpadu - PUR pien, je nevyhnutné kvantifikovať množstvá tohto problematického odpadu zo starých vozidiel v SR. V roku 2022 bolo na Slovensku spracovaných 46 354 starých vozidiel. Vychádzajúc z priemernej hmotnosti vozidla 1400 kg a percentuálneho hmotnostného podielu PUR pien

v automobile 1,75 % je možné konštatovať, že len v roku 2022 vzniklo zo starých vozidiel 1135 ton tohto problematického odpadu.

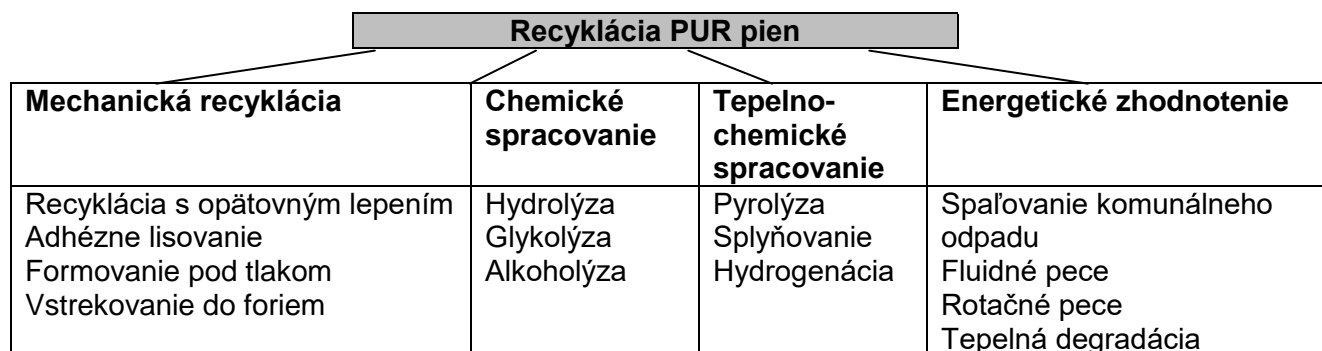
Z hľadiska návrhu a optimalizácie technológie vhodnej na spracovanie a recykláciu takéhoto odpadu zo starých vozidiel je však potrebné sledovať dva ciele:

- recykláciu čistej PUR peny zo sedadiel
- recyklácia PUR peny z ostatných častí vozidla, ktorá má povrchovú vrstvu neoddeliteľnú, t.j. PUR pena vstrekovaná priamo do tvarovaných častí, čalúnenie s nalepenou povrchovou vrstvou - textil, koža, umelá koža (opierky, čalúnenie dverí, strechy atď.)

Analýza technologických možností zhodnocovania PUR pien

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

Výskum, štúdie a testovania viedli k celej rade oblastí a metód recyklácie a využitia polyuretánu, ktoré môžu byť ekonomicky a ekologicky realizovateľné³. Štyri hlavné kategórie⁴ sú: mechanická recyklácia, pokročilá chemická a termo-chemická recyklácia, energetické zhodnocovanie a recyklácia samotného produktu (obrázok. 1). Každý spôsob poskytuje jedinečné výhody, ktoré sú obzvlášť vhodné pre konkrétne aplikácie alebo požiadavky^{5, 6}. Mechanická recyklácia (t.j. recyklácia materiálu) zahŕňa fyzikálnu úpravu, pri chemickej a termo-chemickej recyklácii (t.j. recyklácia suroviny) je odpad transformovaný na vstupné produkty, chemikálie pre chemický priemysel. Energetické zhodnotenie tohto odpadu zahŕňa úplnú alebo čiastočnú oxidáciu materiálu⁷, výrobu tepla a elektrickej energie, a/alebo plyných palív, olejov a uhlia okrem vedľajších produktov akým je popol, ktorý musí byť zneškodnený⁹. Vzhľadom k typicky dlhej životnosti výrobkov obsahujúcich polyuretán, štvrtá možnosť - recyklácia produktu alebo tzv. uzavretá slučka recyklácie, je obmedzená^{8,10}, pretože trhy sa rýchlo menia a pojem "downcycling" alebo "otvorená slučka" recyklácie sa silno vzťahuje na produkty na báze chemikálií ako sú polyuretány. Preto mechanická, chemická a tepelno-chemická recyklácia a energetické využitie, sú jediné tri spôsoby, ako účinne recyklovať polyuretán¹¹.



Obrázok 1: Prehľad možností recyklácie PUR pien

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

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

Mechanická recyklácia

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

Recyklácia lepením s pridaním spojiva patrí medzi najpoužívanejšie procesy recyklácie. Používa sa už 30 rokov. Spočíva v spôsobe spracovania penových vločiek získaných z recyklovaných penových odpadov napr. prebrusovaním. Vločky sa fúkajú zo zásobníkov do bubnových miešačiek. Tu sa vločky miešajú s lepidlom. Takto vzniknutá zmes sa dá farbiť a potom sa zlisuje dopravníkovým lisom. Konečná stabilizácia výrobku sa vykonáva pomocou pary.

Technológia zahŕňa aj vysokú pružnosť a širokú variabilitu v mechanických vlastnostiach hotových výrobkov¹².

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

Tento spôsob formovania pod tlakom, ktorý ako recyklovanú surovinu využíva predovšetkým reakčne vstrekované polyuretány do foriem, je schopný produkovať vysoko kvalitné recyklované produkty. Lisované diely obsahujú 100 % recyklovaného materiálu. Spracovaný odpad je prebrúsený na jemné častice a podrobený vysokým tlakom a teplotám za účelom vytvorenia pevného materiálu, ktorý je ideálny pre mnoho aplikácií v automobilovom priemysle. Formovanie pod tlakom¹⁴ zahŕňa tvarovanie polyuretánových častíc pri dostatočne vysokých teplotách a tlakoch (180 °C, 35 MPa) pre vytvorenie šmykových síl potrebných k nataveniu a spojeniu jednotlivých častíc dohromady, bez potreby ďalších spojív. Technológia sa zameriava na výrobu čalúnenia zo spracovania polyuretánu a polyuretánov získaných zo starých vozidiel. Je vhodná na výrobu pevných a zložitých trojrozmerných dielov, ako sú tvarové obaly čerpadiel a motorov. Týmto spôsobom vyrobené produkty sú vhodné predovšetkým pre automobilový priemysel, pretože dosahujú vysokú tuhosť,⁵.

Technológia vstrekovania do foriem umožňuje čiastočnú recykláciu polyuretánu. Jednou metódou (Bayerove vysokoteplotné lisovanie) sa granulovaný polyuretán o zrnitosti 250 až 1000 µm spracováva pri teplote okolo 180 °C a tlaku väčšom ako 35 MPa, čím je možné vyrobiť teplom tvarované produkty, ako sú napríklad rôzne automobilové diely¹⁵. Spočíva v natavovaní granulátu z odpadových plastov vrátane jemnej frakcie PU v komore extrúdera pôsobením externého ohrevu a následnom vstreknutí tekutého plastu do formy. Vstrekovanie môže prebiehať prostredníctvom jedného extrúdera. Duálne vstrekovanie prostredníctvom dvoch (príp. viacerých) extrúderov umožňuje recykláciu a opätovné použitie odpadových termoplastov a termosetov. Výhody tejto technológie spočívajú v zvýšených mechanických vlastnostiach produktu, vo vyššej kvalite povrchu a v možnosti ľubovoľnej farby produktu.

Návrh vhodnej technológie pre stanovené ciele projektu

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

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

Využitie výrobkov z druhotných surovín

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



Obrázok 2: Izolácia na tlmenie vibrácií v automobiloch

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

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

Experimentálny vývoj a optimalizácia navrhutej technológie

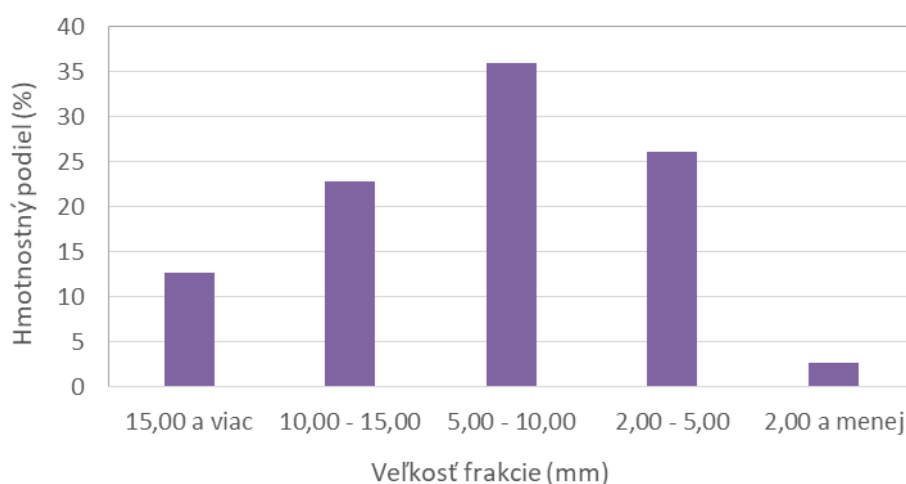
V rámci experimentálneho vývoja technológie pre aplikáciu materiálovej recyklácie odpadových PUR pien predovšetkým zo starých vozidiel je cieľom zadefinovať vhodné (optimálne) technologické podmienky pre produkciu tvarovo zložitých a presných prvkov.



Obrázok 3: Akustická výplň vo vnútorných častiach vozidiel a výplň pre automobilové sedadlá

Pri navrhutej metóde lisovania – formovania – PUR recyklátu za tepla bez pridania lepidla je dôležité podvrvený materiál zohriať na teplotu 180 až 220 °C, kedy táto flexibilná PUR pena zmäkne, natavia sa hrany jednotlivých vložiek a môže tak pôsobením tlaku nastať vzájomné prepojenie častíc. Rozhodujúcimi skúmanými technologickými parametrami v rámci experimentov bol vplyv lisovacej teploty, lisovacieho tlaku a doba výdrže. Ostatné parametre boli pri experimentoch nemenné: drvená frakcia (obrázok 2) s frakčným zložením uvedeným v tabuľke 1, tvar formy, resp. tvarového prvku.

Pre uvedené experimenty bol použitý technologický odpad z výroby PUR peny, ktorý bol drvený vo forme vložiek. Na zistenie frakčného zloženia materiálu bola vykonaná frakčná analýza na zariadení Retsch Vibratory Sieve Shaker AS 200 digit a materiál bol delený na 5 veľkostí frakcie. Frakčné zloženie materiálu je uvedené na obrázku 4.



Obrázok 4: Frakčné zloženie PUR peny

Pre experimenty bola vyrobená tvarová forma (obrázok 5), ktorá umožňuje súčasne produkciu 4 vzoriek. Každá vzorka má tvar kvádra s rozmermi: šírka 50 mm, dĺžka 100 mm, hrúbka je závislá od jednotlivých premenlivých skúmaných parametrov experimentu. Na ohrev je použitá muflova pec. Prázdna forma a závažia sú vložené do pece a ohriate na požadovanú teplotu. Následne je forma plnená drvenou PUR penou (obrázok 6), do každej časti formy sa vloží 25 g materiálu. Po naplnení formy sa materiál každej vzorky zaťaží presne stanoveným tlakom vyvolaným hmotnosťou závaží

(obrázok 7). Plnenie prebieha veľmi rýchlo a za podmienok, aby dochádzalo k veľmi malému ochladeniu formy a závaží. Naplnená a zaťažená forma sa opäť vloží do pece na presne stanovený čas ohrevu. Po vyprázdnení formy (obrázok 8) sa celý postup opakuje pri presne definovaných podmienkach experimentu.



Obrázok 5: Forma a závažia pre výrobu experimentálnych vzoriek



Obrázok 6: Plnenie formy materiálom



Obrázok 7: Zaťaženie vzoriek rôznym lisovacím tlakom



Obrázok 8: Vyberanie hotových vzoriek z formy

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

- Lisovací tlak (2,0 kPa, 4,0 kPa, 6,0 kPa, 8,0 kPa),
- Teplota ohrevu (200 °C, 225 °C, 250 °C),
- Dĺžka ohrevu (10 min., 15 min., 20 min., 25 min., 30 min.).

Skúmané parametre sú vyhodnocované vzhľadom na kvalitatívne parametre vzoriek: hustota vzoriek, tvarová presnosť, stálosť a pevnosť v tlaku. Experimenty zahŕňajú 60 rôznych kombinácií technologických parametrov. Vzhľadom na korektné štatistické vyhodnotenie experimentu bolo vyrobených 10 vzoriek lisovaných tvarových prvkov pri každej kombinácii technologických parametrov (spolu 600 vzoriek).

Výsledky experimentov suchým formovaním PUR peny pod tlakom

Hustota recyklovaných produktov z PUR peny technológiou formovania pod tlakom je závislá od lisovacieho tlaku, teploty ohrevu a dĺžky ohrevu. Uvedené intervaly premenných technologických parametrov boli zvolené na základe analýzy vlastností formovaného materiálu a analýzy výsledkov publikovaných vedeckých prác. Z výsledkov experimentov vyplýva, že pri definovaných intervaloch premenných technologických parametrov má najväčší vplyv na nárast hustoty vzoriek veľkosť zaťažujúceho tlaku. Z absolútnych hodnôt vyplývajúcich z experimentov pri rovnakých intervaloch premenných (tabuľka 1) vyplýva, že práve teplota ohrevu má najmenší vplyv na zmenu hustoty vzoriek. Pri všetkých kombináciách premenných technologických parametrov boli vyrobené skúšobné vzorky dosahujúce rôznu kvalitu. Reprezentatívne vzorky z každého nastavenia experimentu sú uvedené na obrázku 9.



Obrázok 9: Skúšobné vzorky pri experimente suchého formovania pod tlakom

Tabuľka 1: Priemerné hodnoty hustoty vzoriek vyhotovených pri rôznych kombináciách technologických parametrov

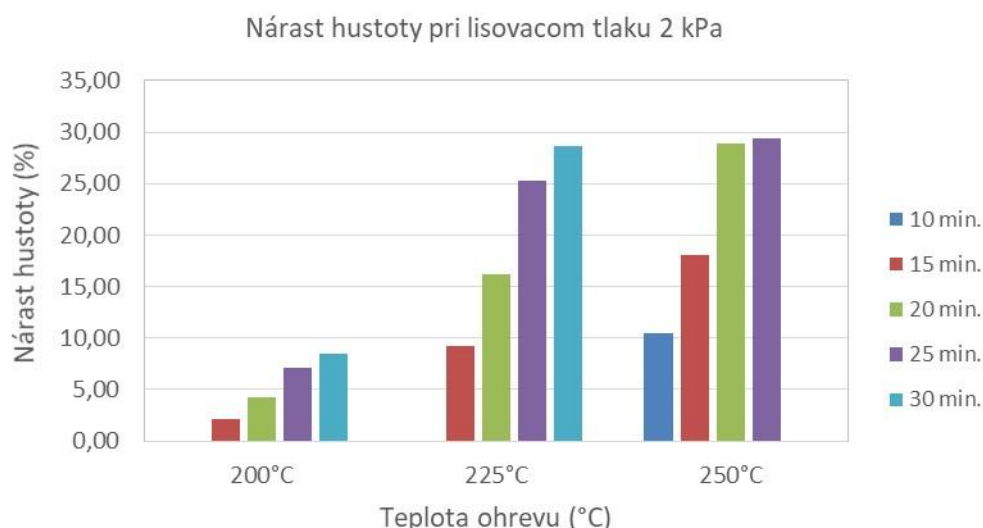
Teplota ohrevu 200 °C					
Doba ohrevu (min)	10	15	20	25	30
Lisovací tlak (kPa)	Hustota (kg.m ⁻³)				
2,00	Nesúdržné, tvarovo nestále	102,10	104,30	107,11	108,49
4,00		131,00	138,93	142,85	147,82
6,00		148,43	157,85	160,65	163,09
8,00		158,31	166,40	171,24	173,98
Teplota ohrevu 225 °C					
Doba ohrevu (min)	10	15	20	25	30
Lisovací tlak (kPa)	Hustota (kg.m ⁻³)				
2,00	Nesúdržné, tvarovo nestále	109,17	116,20	125,33	128,67
4,00		133,55	140,14	147,05	148,15
6,00		148,60	159,78	163,25	166,88
8,00		161,84	172,60	173,18	174,87

Teplota ohrevu 250 °C					
Doba ohrevu (min)	10	15	20	25	30
Lisovací tlak (kPa)	Hustota (kg.m ⁻³)				
2,00	110,4865	118,00	128,90	129,38	Degradácia materiálu, spekanie
4,00	136,2667	141,33	143,77	146,86	
6,00	151,4286	158,46	160,67	163,68	
8,00	165,60	168,00	174,36	175,83	

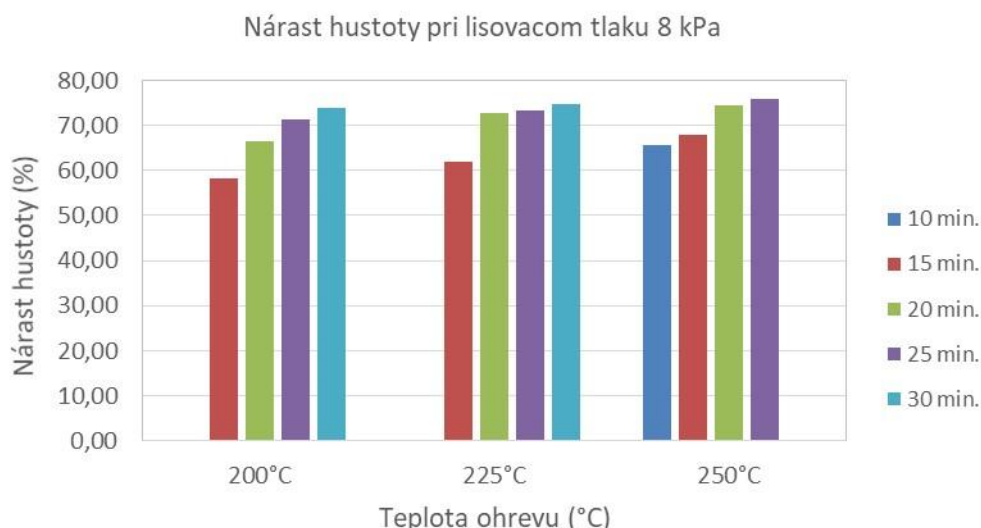
Z výsledkov uvedených v tabuľke 1 vyplýva, že zmena hustoty v závislosti od dĺžky ohrevu je pri jednotlivých teplotách takmer lineárna. Experimenty preukázali, že v skúmanom rozsahu teplôt má na súdržnosť a tvarovú stálosť vzorky zásadný vplyv doba ohrevu. Nakoľko formovaný materiál je tepelný izolant, požadovaná doba ohrevu umožňuje jeho objemové prehriatie a natavenie kontaktných miest medzi jednotlivými vložkami. Nevyhnutná doba ohrevu je závislá od teploty ohrevu. So zvyšujúcou sa teplotou sa minimálna potrebná doba na vytvorenie súdržnej a stabilnej vzorky skraca.

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

Zaujímavým výsledkom výskumu je vplyv jednotlivých technologických parametrov na percentuálny nárast hustoty. Obrázok 10 uvádza výsledky formovania PUR peny pri najmenšom skúmanom lisovacom tlaku 2 kPa. Z výsledkov je zrejмый výrazný vplyv doby ohrevu ako aj teploty ohrevu. Naopak, z výsledkov formovania pri lisovacom tlaku 8 kPa uvedených na obrázku 11 už zmena teploty ohrevu vykazuje minimálny vplyv na zmenu hustoty vzoriek. Pri tejto hodnote lisovacieho tlaku má výraznejší vplyv na zmenu hustoty len doba ohrevu. Z týchto výsledkov je zřejмый, že pri praktických aplikáciách bude potrebné vykonať podrobnú energetickú analýzu, nakoľko teplota ako aj doba ohrevu výrazne ovplyvňujú ekonomiku a konkurencieschopnosť celej technológie.

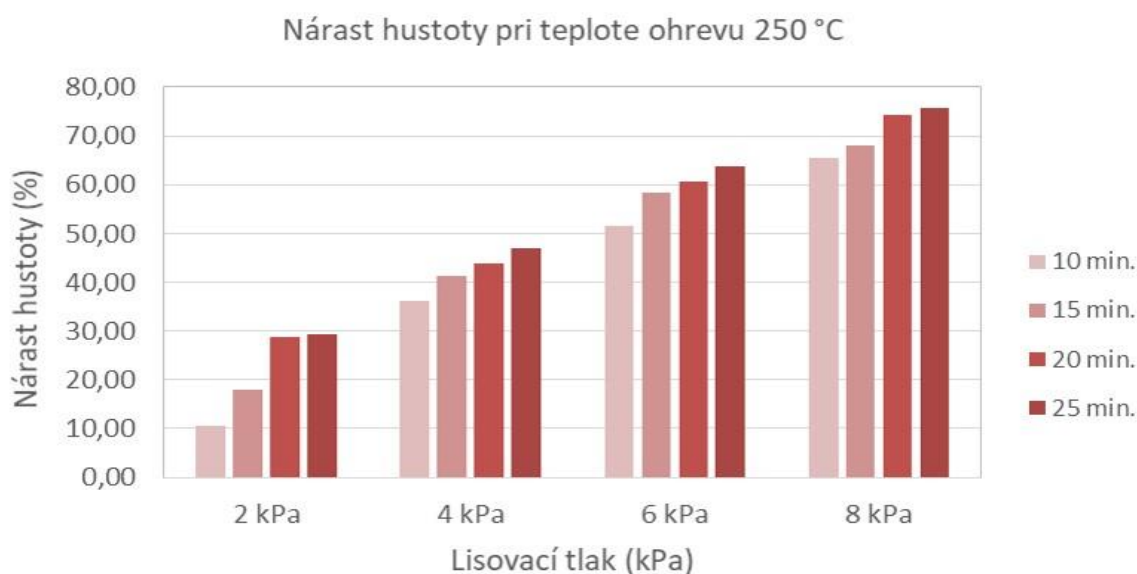


Obrázok 10: Vplyv zmeny hustoty od teploty a doby ohrevu pri lisovacom tlaku 2 kPa



Obrázok 11: Vplyv zmeny hustoty od teploty a doby ohrevu pri lisovacom tlaku 8 kPa

Výsledná hustota vzoriek predstavuje zásadný fyzikálny parameter, ktorý technologické parametre nelineárnym spôsobom ovplyvňujú. Štúdiu výsledkov nárastu hustoty od zmeny jednotlivých parametrov je potrebné venovať značnú pozornosť. Komplexnejší obraz o náraste hustoty vplyvom nárastu lisovacieho tlaku ako aj nárastu doby ohrevu pri teplote 250°C uvádza obrázok 12.

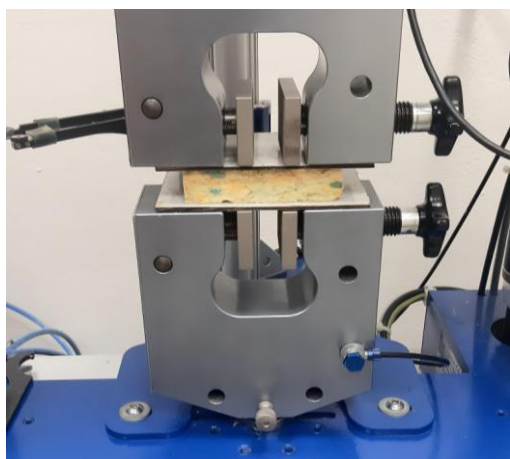


Obrázok 12: Vplyv zmeny hustoty od lisovacieho tlaku a doby ohrevu pri teplote ohrevu 250 °C

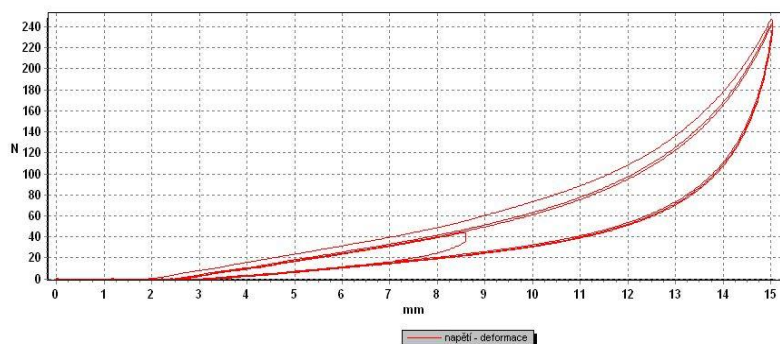
Ďalší vývoj výskumu

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

V súčasnosti prebieha súbor rozsiahlych meraní odolnosti pri stlačení vzoriek PUR peny podľa normy ISO 3386-1. Metóda spočíva v umiestnení vzorky medzi dva ploché povrchy – statickú a pohyblivú dosku (obrázok 13). Vplyvom pohyblivej dosky dochádza k stláčaniu vzorky na príslušnú hodnotu jej hrúbky. V priebehu skúšky dochádza k meraniu zaťaženia vzorky v 4 cykloch. Prvé tri pri stlačení 70 % pôvodnej hrúbky vzorky, pri štvrtom cykle o 40 % hrúbky. V tomto bode je zaznamenaná hodnota lisovacej sily a z príslušných vzťahov je možné definovať hodnotu napätia v tlaku. Grafický priebeh skúšky vzorky formovanej PUR peny pri teplote 225 °C, lisovacou tlaku 2 kPa a dobe ohrevu 20 minút je uvedený na obrázku 14.



Obrázok 13: Meracie zariadenie na meranie odolnosti pri stlačení vzorky



Obrázok 14: Grafický výsledok cyklickej skúšky odolnosti pri stlačení vzorky

Záver

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

Pod'akovanie

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

Literatúra

1. U. Meekum, R. Kenharaj; Comarative studi of polystyrene foam degradation in the open-air and artificial weathering exposure; School of Polymer Engineering, School of Environmental Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology; Thailand
2. Liptáková, T., Alexy, P., Gondár, E., Khunová, V.: Polymérne konštrukčné materiály. 1. vyd. Žilina : EDIS, 2012. 190 s. ISBN 978-80-554-0505-6.
3. G.T. Howard, Biodegradation of polyurethane: a review, Int. Biodeterior. Biodegrad. 49 (2002) 245 – 252.
4. E. Weigand, Properties and applications of recycled polyurethanes, in: J. Branderup, M. Bittner, G. Menges, W. Micheali (Eds.), Recycling and Recovery of Plastics, Hanser Publishers, Munich, Germany, 1996, section 7.10.
5. J. Scheirs, Polymer Recycling, John Wiley & Sons, Chichester, 1998, chapter 10.
6. K.C. Frisch, Advances in Plastic Recycling vol. 1, ISBN 1-56676-737-1-Technomic Publishing, 1999.
7. J. Troitsch, International Plastics Flammability Handbook, Hanser Publishers, Munich, 1990.
8. J. DeGaspari, Mechanical Engineering Magazine (ASME) June 1999.
9. Alliance for the Polyurethanes Industry. <<http://www.polyurethane.org/recycling>>.
10. New Forecasts for Polypropylene, Polystyrene and Polyurethane, Gobi International, May 20, 2002.
11. Huntsman Polyurethanes. <<http://polyurethanes.huntsman.com>>.
12. K. M. Zia, H. N. Bhatti, U. A. Bhatti; Methods for polyurethane and polyurethane composites, recycling and recovery: A review; Reactive & Functional Polymers 67 (2007) 675 – 692.
13. Stone, H., Villwock, R., Martel, B. "Recent technical advances in recycling of scrap polyurethane foam as finely ground powder in flexible foam" Mobius Technologies, presented at Polyurethanes Conference 2000, 7 p.
14. A.J. Hulme, T.C. Goodhead, J. Mater. Proc. Technol. 139 (2003) 322 – 326.
15. S. Held, D.A. Hicks, M. Hart, Proceedings of R'99 Recovery Recycling Re-integration, Geneva (Switzerland) February IV. (1999) 92–97. www.wasteforum.cz.

Development of a new technology for the recovery of waste slurry into new products

Ľubomír ŠOOŠ, Miloš MATÚŠ, Marcela POKUSOVÁ, Jozef BÁBICS, Stanislav ŽIARAN, Ondrej CHLEBO

Institute of Production Engineering and Quality, Faculty of Mechanical Engineering Slovak University of Technology in Bratislava, Slovakia

Summary

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

Keywords: foam, processing, recycling

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

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

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

Súhrn

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

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

Úvod

Rozvoj automobilového priemyslu v Slovenskej republike a v Európe je kľúčový pre celkový rozvoj a prosperitu spoločnosti¹. Na Slovensku sa automobilový priemysel vďaka štyrom (v budúcnosti až piatim) finálnym výrobcam prepracoval na prvú priečku v rámci jednotlivých odvetví priemyslu. Na druhej strane sa to však spája aj s negatívami, ktoré sa spájajú s počtom starých vozidiel a konvenčným prístupom (selektívna a úplná demontáž) k nakladaniu s týmito vozidlami po dobe ich životnosti².

Z dôvodu zhodnotenia alebo znovu použitia materiálov, ktoré sa nachádzajú vo vozidlách po dobe ich životnosti boli vyvinuté rôzne spracovateľské a demontážne techniky³. Problém predstavujú materiály, pre ktoré neexistujú, alebo existujú iba v obmedzenom množstve technologické prevádzky na ich spracovanie. Je potrebné zamerať sa na ich zhodnocovanie so zreteľom na aplikáciu do nových materiálov a uplatnení vzniknutých recyklátov, napríklad do zvukovo a tepelno izolačných produktov a pod. Tým by sa mohla zlepšiť kvalita životného prostredia a ochrana jeho jednotlivých zložiek⁴.

Riešitelia výskumného projektu sa vo svojej práci zamerali na vytypovanie problémových odpadov z hľadiska ich ďalšieho zhodnocovania z automobilov. Dôraz sa kladie na návrh metodiky merania akustických deskriptorov sypaných materiálov a na výskum vybraných akustických deskriptorov vytypovaných kompaktných a sypaných materiálov. Pozornosť sa sústreďuje na vývoj a výrobu prípravkov a zariadenia pre potreby merania akustických deskriptorov sypaných materiálov. Rozsiahla je aj experimentálna časť zameraná na aplikácie a predikciu využitia vybraných problémových odpadov z hľadiska ich zhodnocovania (v kompaktnej a sypanej forme), ako aj na vyhodnotenie vykonaných experimentov s využitím regresnej a korelačnej analýzy do zvukovo izolačných produktov³.

Potenciálne problémové komponenty (materiály) vozidiel po dobe ich životnosti

Analyzovanie procesov, ktoré vychádzajú z recyklácie vozidiel a hodnotenie stavu zhodnocovania a spracovania odpadov z vozidiel po dobe životnosti je dôležité z hľadiska vytvorenia počiatkovej bázy informácií o materiáloch¹. Tieto informácie sú nevyhnutné pre ďalšie výskumné aktivity, ktoré sú smerované k hľadaniu nových techník zhodnocovania odpadov a k minimalizácii ich negatívnych dopadov na životné prostredie.

Úroveň spracovania viacerých materiálov sa dosahuje v množstve prípadoch iba zvýšením energetického zhodnotenia⁵. Na obrázku 1 sú prezentované základné materiály z ktorých je vozidlo zložené.



Obrázok 1: Základné komponenty vozidla¹⁰

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

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

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

Textil použitý na výskum

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

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



Obrázok 2: Kompaktný textilný materiál



Obrázok 3: Rozstrihaný textilný materiál

Návrh metodiky merania akustických deskriptorov sypaných materiálov

Na meranie vybraných akustických deskriptorov (Koeficientu zvukovej pohltivosti a Indexu útlmu)^{6, 7} bola použitá impedančná trubica BSWA TECH SW433 (Výrobca: BSWA Technology Co., Ltd., Peking, Čína) pomocou metódy transformačnej funkcie, ktorá je v súlade s normou STN EN ISO 10534-2⁸.

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



Obrázok 4: Impedančná trubica⁹

Autori príspevku sa nevenovali návrhu metodiky merania „Koeficientu zvukovej pohltivosti (α)“ a „Indexu útlmu (R)“ sypkých materiálov pomocou uvádzanej trubice. Bola navrhnutá originálna metodika merania akustických deskriptorov sypaných materiálov rôznych frakcií (voľne sypaných, respektíve pod určitým tlakom). Navrhnutá metodika je detailne prezentovaná v práci⁵.

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

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

Na začiatku riešenia tejto problematiky, bolo potrebné vyriešiť, ako merať vybrané akustické deskriptory pre sypané materiály v impedančnej trubici, nakoľko ich nie je možné voľne do zariadenia umiestniť. V nadväznosti na rozšírenie týchto možností boli autormi vyvinuté a vyrobené testovacie kazety na rozšírenie možností merania sypaných materiálov v impedančnej trubici¹⁰. Testovacie kazety boli vyrobené na obrábacom CNC stroji a to v piatich dĺžkach – 25, 50, 75, 100 a 125 mm (obrázok 5).

Kazety sú zložené z vonkajšieho závitú na jednej strane a z vnútorného závitú na druhej strane. Uzavreté sú perforovaným sitom, ktorý tvorí najdôležitejšiu časť, nakoľko bráni vysypaniu materiálu z kazety¹¹.



Obrázok 5: Vyvinuté testovacie kazety¹¹



Obrázok 6: Zariadenie na merané plnenie testovacích kaziet¹²

Navrhnutému riešeniu kaziet na rozšírenie možností merania sypkých materiálov v impedančnej trubici bol udelený Úradom priemyselného vlastníctva Slovenskej republiky úžitkový vzor pod číslom dokumentu 9662¹¹.

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

Vyvinutému zariadeniu na merané plnenie testovacích kaziet sypaným materiálom bol udelený Úradom priemyselného vlastníctva Slovenskej republiky úžitkový vzor pod číslom dokumentu 9665¹².

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

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

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

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

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



Obrázok 7: Sypaný recyklovaný textil v troch hrúbkach¹⁰

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

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

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



Obrázok 8: Kompaktný materiál z recyklovaného textilu v troch hrúbkach¹⁰

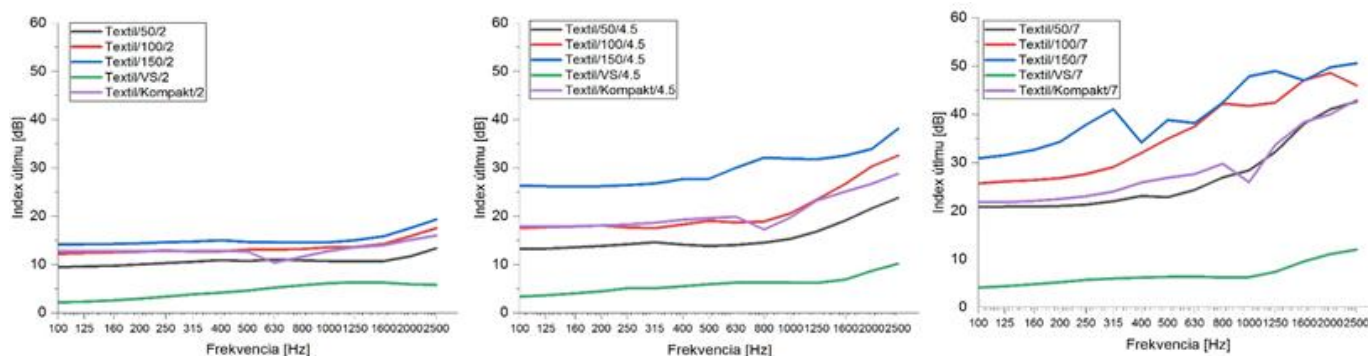
V nasledovnej tabuľke 1 sú uvádzané základné informácie o vzorkách z recyklovaného textilného materiálu z vozidiel po dobe životnosti, ktoré boli použité na meranie vybraných akustických deskriptorov – Koeficientu zvukovej pohltivosti (α) a Indexu útlmu (R).

Tabuľka 1: Základné údaje o vzorkách z recyklovaného textilu

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

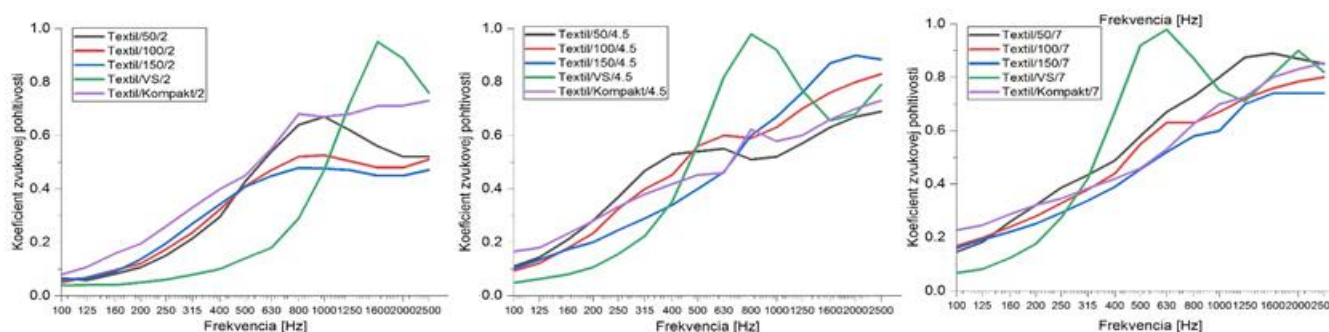
Vyhodnotenie vykonaných experimentov pomocou regresnej a korelačnej analýzy

V tejto časti príspevku sú prezentované výsledky vykonaných meraní vybraných akustických deskriptorov „Koeficientu zvukovej pohltivosti (α)“ a „Indexu útlmu (R)“. V rámci experimentálnej práce bolo vykonaných 5250 meraní, čo možno označiť za významnú experimentálnu vzorku¹³. Grafické znázornenie nameraných hodnôt Indexu útlmu (R) pre vzorky recyklovaného textilu na obrázku 9 a Koeficientu zvukovej pohltivosti (α) pre vzorky recyklovaného textilu na obrázku 10.



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

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



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

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

Diskusia

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

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

Záver

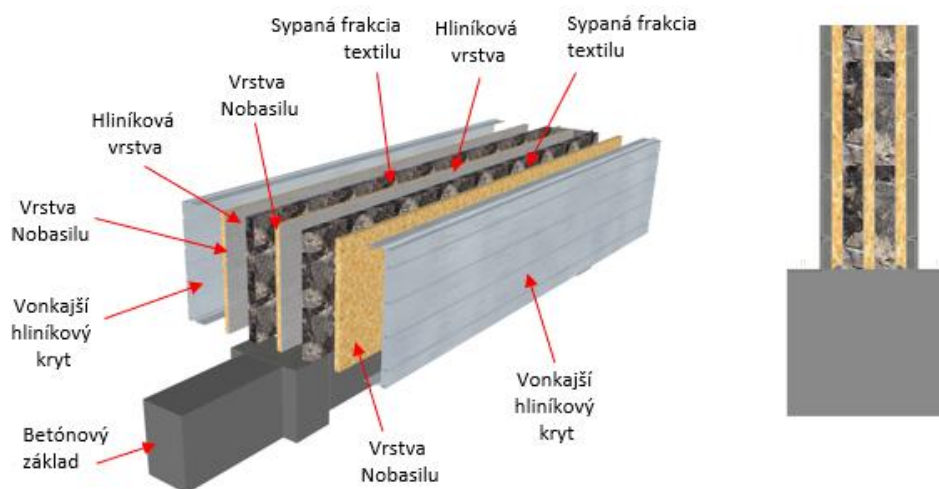
Jednou z možností využitia sypaných materiálov je ich aplikácia do zvukovo izolačných produktov, ako sú napríklad protihlukové steny. Protihlukové steny sa vo všeobecnosti realizujú najviac z dôvodu znižovania hluku z dopravy. V štandardnom type protihlukovej steny je vložený absorpčný materiál tvorený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

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

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

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

Riešiteľmi navrhnutý protihlukový panel je uvedený na obrázku 11.



Obrázok 11: Navrhnutý protihlukový panel

Pod'akovanie

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

Literatúra

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

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

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

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

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

Summary

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

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

Požiarne vlastnosti nových drevných kompozitov obsahujúcich odpadové plasty z automobilov

Iveta ČABALOVÁ^a, Anna DARABOŠOVÁ^a, Martin ZACHAR^b, Jozef KRILEK^c, Vladimír MANCEL^c, Mária OSVALDOVÁ^d, Roman RÉH^e

^a Katedra chémie a chemických technológií, Drevárska fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, T.G. Masaryka 24, 96001 Zvolen;

^b Katedra protipožiarnej ochrany, Drevárska fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, T.G. Masaryka 24, 96001 Zvolen;

^c Katedra environmentálnej a lesníckej techniky, Fakulta techniky, Študentská 26, 96001 Zvolen;

^d Katedra ekonomiky, manažmentu a podnikania, Drevárska fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, T.G. Masaryka 24, 96001 Zvolen;

^e Katedra drevárskych technológií, Drevárska fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, T.G. Masaryka 24, 96001 Zvolen;

e-mail: cabalova@tuzvo.sk

Súhrn

Drevo-plastové kompozity sú materiály, ktoré sa vyrábajú z dreva a syntetických polymérov. Majú množstvo výhod, ako je vysoká odolnosť voči poveternostným vplyvom a dlhá životnosť. Cieľom práce bolo zhodnotiť vplyv plastového plnidla, odpadu z automobilov (lakované, nelakované nárazníky, palivové nádrže) na vybrané požiarne-technické vlastnosti drevotriekových dosiek (DTD) s obsahom plastov. Z požiarne-technických vlastností bola hodnotená teplota vznietenia a rýchlosť odhorievania materiálu. Na základe dosiahnutých výsledkov možno konštatovať, že teplota vznietenia sa u kompozitov s obsahom plastov pohybovala od 433°C do 444°C a priemerný čas do iniciácie od 260 s do 308 s. U DTD bez plnidla bola zistená teplota vznietenia 430 °C a priemerný čas do iniciácie 309 s, čo sú v niektorých prípadoch porovnateľné hodnoty s DTD obsahujúcimi plasty. V prípade drevotriekových dosiek obsahujúcich nelakované nárazníky a palivové nádrže sa čas do iniciácie úmerne znižoval (o 31 % u DTD s nelakovanými nárazníkmi, o 20 % u DTD s palivovými nádržami) so zvyšujúcou sa koncentráciou plnidla. Vzhľadom na výsledky výskumu je potrebné vziať do úvahy nižšiu požiarne odolnosť drevotriekových dosiek s obsahom plastového plnidla. Zvyšovať požiarne odolnosť je možné aplikovaním ochranných prostriedkov zakomponovaných buď do vnútra materiálu alebo na jeho povrch.

Kľúčové slová: drevoplastové kompozity, odpadové plasty, automobilový priemysel, teplota vznietenia, rýchlosť odhorievania materiálu, požiarne bezpečnosť.

Úvod

Drevo-plastové kompozity sú produktom, ktorý zohráva dôležitú úlohu vo svete výroby, konštrukcie a dizajnov. Najčastejšie sú drevoplastové kompozity vyrábané spojením drevej hmoty a termoplastu, ako je polyetylén (PE), polypropylén (PP) a polyvinylchlorid (PVC) ¹. Výsledný produkt je povrchovo podobný prírodnému drevu, ale vnútorná štruktúra je vylepšená o zvýšenú tvrdosť, rezistenciu voči oderu, pevnosť v tlaku, ohybe a biologickú degradáciu ². Vďaka ich unikátnosti a odolnosti ponúkajú flexibilné možnosti pre inžinierov a dizajnérov. Kompozity sa často využívajú v priemysle, na výrobu lietadiel, pre priemyslové technológie, lodné stavby a ľahké konštrukcie. Drevo-plastové kompozity, ktoré sú výsledkom spojenia prírodných drevných vlákien a plastických materiálov, majú množstvo výhod v porovnaní s inými konvenčnými materiálmi a aj so samotnými drevnými kompozitmi. Drevo veľmi ľahko

absorbuje vodu a vlhkosť, je ľahko napadnuteľné hubami, dokáže napúčať, a tým dochádza k jeho degradácii. Avšak v kombinácii s iným materiálom, napr. s gumou (drevo-guma kompozity) dosiahne oveľa lepšie vlastnosti³. Použitím gummy v drevotrieskových paneloch môže dôjsť k poklesu niektorých mechanických vlastností, avšak Ayrilmis et al.⁴ uvádzajú zlepšenie hydrofóbných vlastností. Použitím plastov v drevných kompozitoch dochádza k zníženiu ich požiarnej odolnosti, plastový materiál zvyšuje obsah chemického tepla⁵, no zlepšujú sa iné vlastnosti. Spojením polypropylénu s prírodnými vláknami dochádza k zvýšeniu tepelnej stálosti, odolnosť voči UV žiareniu a rezistencie pri kyslých dažďoch v porovnaní s drevnými kompozitmi. Takéto produkty sa bežne využívajú v stavebníctve, ako strešné krytiny alebo rezivo na vonkajšie terasy².

V automobilovom priemysle sú plastové komponenty najdôležitejším konštrukčným materiálom. Je to pre ich nízku cenu a hmotnosť, beznáterový farebný povrch s rôznym stupňom lesku, pevnosť konštrukčných kompozitov, tvrdosť a odolnosť voči nízkym teplotám. Exteriérové časti osobného automobilu, ako sú nárazníky, maska chladiča, predné svetlá, interiérové časti, ako palubná doska, sedadlá, obloženie dverí a strechy a kufoer, sú vyrobené z plastov⁶. Pri výrobe jedného automobilu sa použije až 13 rôznych druhov plastov. Tie najpoužívanejšie tvoria až 66 %. Medzi túto trojicu patria: PP (32 %), PU - polyuretán (17 %) a PVC (16 %)⁷.

Množstvo rozličných druhov plastov v automobilovom priemysle narastá neustále, tým pádom je vhodné nájsť efektívnejšie separačné metódy a technológie. Keďže každý z týchto materiálov má odlišné chemické zloženie, je potrebné každý plast recyklovať vhodným spôsobom. Jednou z možností je materiálová recyklácia, použiť plast ako súčasť nového produktu.

Táto práca ponúka inovatívne riešenie, a to spojenie odpadových plastov z automobilov a prírodných drevných vlákien do nových kompozitných materiálov - drevotrieskových dosiek, ktoré obsahujú plastové plnidlo. Ako už bolo spomenuté, plast zvyšuje obsah chemického tepla a znižuje požiarne odolnosť drevných kompozitov, z toho dôvodu bolo cieľom tejto práce vyhodnotiť vplyv plastového plnidla, odpadu z automobilov (lakované, nelakované nárazníky, palivové nádrže), na vybrané požiarne-technické vlastnosti kompozitov drevo-plast.

Experimentálna časť

Materiál

Plastový materiál: lakované (PP), nelakované nárazníky (PP) a palivové nádrže (PE) boli získané od firmy Aluex, s.r.o., Zvolen. Jednotlivé plasty boli podrvené pomocou drviča plastov v dielňach Technickej univerzity vo Zvolene na frakciu od 1 – 4 mm. Jednotlivé plasty pochádzali z viacerých autovrakov, preto nie je uvedený bližší popis materiálu a laku.

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

Zloženie adhézneho zmesi: Močovino-formaldehdydová (UF) živica Kronores CB 1100 F (Diakol Strážske s.r.o., Strážske, Slovensko), lepidlo, ktoré bolo použité na spojenie drevených častíc a drvenej gummy má obsah pevnej látky 67,1 %, viskozitu 460 mPa·s, čas kondenzácie 55 sekúnd a hodnotu pH 8,6. Do lepiacej zmesi bol pridaný dusičnan amónny NH₄NO₃ (47 %) ako tvrdidlo. Parafín, použitý ako 35 % hmotnosti vodnej emulzie, bol aplikovaný na častice v množstvách 0,6 %.

Metodika

Výroba drevotrieskových dosiek s obsahom plastov

Na lisovanie jednovrstvových drevotrieskových dosiek s prídavkom drveného plastu (10, 15 a 20 %) bola použitá UF živica. Adhézna zmes bola pridaná k časticiam v množstve 11 % hmotnosti. Jednovrstvová drevotriesková doska s plastovým plnidlom mala rozmery 360 mm x 280 mm x 15 mm a

bola pripravená v laboratóriách Technickej univerzity vo Zvolene. Obsah vlhkosti častíc zmiešaných s UF živícami bol 9,5 %. Drevotrieskové dosky boli pripravené bežnou technológiou, t.j. najprv predlisovaním časticových rohoží za studena na 1 MPa a následným lisovaním za tepla v tlaku (laboratórny lis CBJ 100-11, TOS, Rakovník, bývalá ČSSR) pri maximálnej teplote lisovanie dosiek v lise 230 °C, maximálny lisovací tlak 6,50 MPa a celkový lisovací čas 356 s, ktorý musel byť dlhší ako pri bežnej výrobe celodrevených drevotrieskových dosiek z dôvodu prítomnosti drvených odpadových plastov. Bolo vyrobených 6 dosiek z každého druhu (tabuľka 1) ^{8,9}.

Tabuľka 1: Označenie vzoriek kompozitov

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

Stanovenie teploty vznietenia

Teplota vznietenia sa učí podľa ISO 871 ¹¹. Táto norma špecifikuje laboratórnu metódu na stanovenie teploty vzplanutia a vznietenia v teplovzdušnej peci. Princíp skúšky spočíva v zahrievaní vzorky pri rozdielnych teplotách bez použitia otvoreného ohňa. Teplotný profil sa meria pomocou 0,5 mm termočlánkov a zaznamenáva sa pomocou záznamníka údajov ALMEMO® 710. Teplota vznietenia sa zaznamenáva najnižšou teplotou vzduchu, pri ktorej sa vzorka zapáli počas 10 minút. Celkovo sa skúška opakovala päť krát na každú vzorku.

Stanovenie rýchlosti odhorievania materiálu

Skúmali sa požiarne vlastnosti podľa normy ISO 11925-2 ¹², čo zahŕňalo meranie rýchlosti hmotnostného horenia za použitia zariadenia s elektronickou váhou (presnou na dve desatinné miesta), kovovým držiakom vzoriek, ťažidlom, kovovým nosičom sálavého tepla a 1000 W infračerveného ohrievača. Riešenie spočívalo v umiestnení vzorky v držiaku vzdialenej 30 mm od teplého zdroja a následnom meraní rozdielu hmotnosti každých 10 s počas 600 s. Tepelný tok infračerveného ohrievača bol stanovený na 30 kW/m². Vypočítaná bola absolútna rýchlosť horenia u za stanovený časový interval pomocou vzťahovej rovnice:

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

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

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

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

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

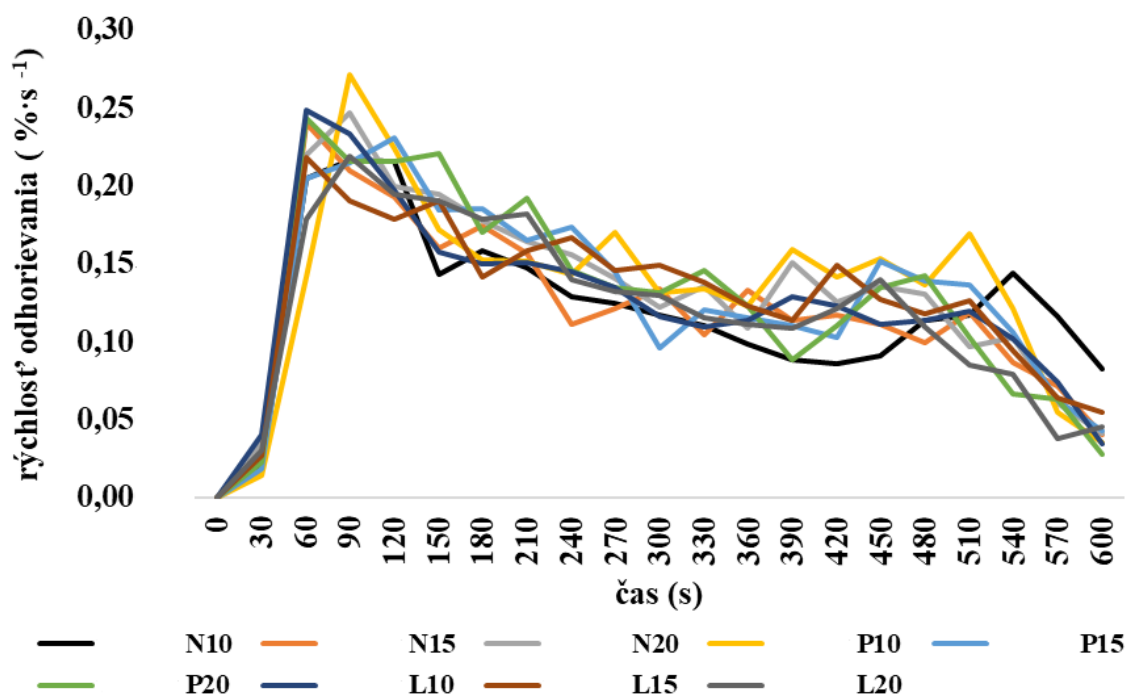
Výsledky a diskusia

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

Teplota vznietenia sa pohybovala od 430,0 °C (DTD) do 442,7 °C (L20). Vo všeobecnosti mali DTD s obsahom plastového plnidla vyššie hodnoty tejto charakteristiky v porovnaní s DTD. U DTD s obsahom lakovaných nárazníkov sa teplota vznietenia so zvyšovaním koncentrácie plnidla zvyšovala (pravdepodobne z dôvodu prítomnosti laku), u palivových nádrží a nelakovaných nárazníkov sa významne nemenila.

Tabuľka 2: Teploty a časy vznietenia drevotrieskových dosák s/bez obsahu plastového plnidla

Vzorka	Čas do vznietenia τ (s)	Teplota vznietenia t (°C)
DTD ³	309±12	430,0±1,2
N10	308±25	442,3±1,8
N15	287±20	443,7±3,9
N20	289±12	442,5±1,3
L10	294±14	433,0±1,5
L15	277±13	435,5±1,7
L20	260±19	442,7±4,2
P10	263±16	436,9±4,2
P15	299±17	436,5±3,1
P20	293±10	438,7±3,3



Obrázok 1: Rýchlosť odhorievania DTD s obsahom plastového plnidla; L- lakované nárazníky, N- nelakované nárazníky, P- palivové nádrže; 10, 15 a 20 – percentuálny podiel plastového plnidla

Na základe výsledkov stanovenia rýchlosti odhorievania materiálu (obrázok 1) môžeme konštatovať, že maximálna rýchlosť odhorievania sa pohybovala v rozmedzí 30 s do 120 s. Najnižší čas do iniciácie bol nameraný u vzorky N20 (27 s) a najvyšší u vzorky P10 (45 s). V prípade DTD s obsahom nelakovaných nárazníkov a palivových nádrží čas do vznietenia úmerne klesal so zvyšujúcou sa koncentráciou plastovej drte v kompozite. Výnimku tvoria vzorky lakovaných nárazníkov L10 a L20, ktoré

majú rovnaký čas do iniciácie. Porovnaním drevotrieskových dosiek s obsahom plastov z lakovaných, nelakovaných nárazníkov a palivových nádrží je možné vidieť, že drevotrieskové dosky s obsahom drte z palivových nádrží dosiahli najvyššiu rýchlosť odhorievania P10 ($0,2714 \% \cdot s^{-1}$). Pri DTD s obsahom lakovaných nárazníkov a palivových nádrží sa s rastúcou koncentráciou plastového plnidla rýchlosť odhorievania znižovala a u DTD s obsahom nelakovaných nárazníkov sa rýchlosť odhorievania zvyšovala.

Záver

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

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

V tejto práci bola zistená vyššia horľavosť DTD s obsahom odpadových plastov z automobilov. Vlastnosti niektorých DTD s obsahom plastov mali porovnateľné požiarne vlastnosti ako bežná DTD, napríklad DTD s 10 %-ným obsahom lakovaných či nelakovaných nárazníkov. Ich horľavosť sa významne nemenila. Bežne sa v komerčne používaných DTD nachádza určité percento plastu z dôvodu využívania recyklovaného dreva. DTD s obsahom automobilového plastu by sa taktiež mohli využívať v nábytkárskom či stavebnom priemysle. Pre zvýšenie požiarnej odolnosti by bolo vhodné aplikovať retardéry horenia (napríklad grafit) do povrchových vrstiev, respektíve pridávať tieto látky medzi drevné častice pred lisovaním drevného kompozitu.

Podakovanie

Táto práca vznikla v rámci projektov a finančnej podpory Agentúry na výskum a vývoj na základe zmluvy č. APVV-22-0034 (50 %), vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva, výskumu, vývoja a mládeže SR VEGA 1/0027/24 (20%), v rámci projektu združenia univerzít, UNIVNET č. zmluvy 0201/0082/19 a jeho finančnej podpory, financované Ministerstvom školstva, vedy, výskumu a športu SR (20 %) a ako výsledok riešenia projektu IPA (Interná projektová agentúra) TUZVO č. 3/2023 – Výskum vybraných fyzikálnych vlastností nových drevoplastových kompozitov (10 %).

Literatúra

1. Tabarsa, T. Khanjanzadeh, H., Pirayesh, H.: Manufacturing of wood-plastic composite from completely recycled materials. Key engineering materials, 2011, Vol. 471-472, pp. 62 – 66. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.471-472.62.
2. Renner J.S., Mensah, R.A., Jiang, L., Xu, Q., Das, O., Berto, F.: Fire Behavior of Wood-Based Composite Materials. Polymers, 2021, Vol. 13, No. 24.
3. Mancel, V. Čabalová, I., Krilek, J., Réh, R., Zachar, M., Jurczyková, T.: Fire resistance evaluation of new wooden composites containing waste rubber from automobiles. Polymers, 2022, Vol. 14, No. 20. DOI: 10.3390/polym13244352.

4. Ayrilmis, N., Buyuksari, U., Avci, E.: Utilization of waste tire rubber in manufacture of oriented strandboard. *Waste Management*, 2009, Vol. 29, No. 9, pp. 2553 – 2557.
DOI: 10.1080/10426910902769376.
5. Papadopolus, A.N.: Advances in wood composites. *Polymers*, 2020, Vol. 12, No. 1.
DOI: 10.3390/polym12010048.
6. Paulíková, A.: Štúdiá recyklácie starých vozidiel - dezintegračné a separačné technológie. In Rusko, M., Balog, K. (Eds.) 2007: Manažérstvo životného prostredia 2007, 711 – 727 zo VII. konferencie so zahraničnou účasťou konanej 5. – 6. 1. 2007 v Jaslovských Bohuniciach
7. Panda, A., Orendáč, P.: Analýza materiálov používaných v automobilovom priemysle. *Trendy a inovatívne prístupy v podnikových procesoch*, 2015, roč. 18, 8 s.
8. Krilek, J., Čabalová, I., Réh, R., Melicherčík, J., Mancel, V.: Drevotriesková kompozitná doska na báze gummy a spôsob jej výroby: patentová prihláška č. 67-2022. 2024a.
9. Krilek, J., Čabalová, I., Réh, R., Melicherčík, J., Mancel, V.: Drevotriesková kompozitná doska na báze plasty a spôsob jej výroby: patentová prihláška č. 66-2022. 2024b.
10. ISO 871: 2022. *Plastics – Determination of ignition temperature using a hot-air furnace.*
11. ISO 11925-2:2020. *Reaction to fire tests — Ignitability of products subjected to direct impingement of flame – Part 2: Single-flame source test.*

Fire properties of new wooden composites containing waste plastics from automobiles

Iveta ČABALOVÁ, Anna DARABOŠOVÁ, Martin ZACHAR, Jozef KRILEK, Vladimír MANCEL, Mária OSVALDOVÁ, Roman RÉH

Faculty of Wood Sciences and Technology, Faculty of Technology, Technical University in Zvolen, T.G. Masaryka 24, 96001 Zvolen, Slovakia, e-mail: cabalova@tuzvo.sk.

Summary

Wood-plastic composites are materials that are made from wood and synthetic polymers and have a number of advantages, such as high weather resistance and long life. The aim of this work was to evaluate the influence of plastic filler, waste from cars (painted, unpainted bumpers, fuel tanks) on selected fire-technical properties of wood-plastic composites. From the fire-technical properties, the ignition temperature, mass burning rate and calorific value were evaluated. The results show that the ignition temperature and the average time to initiation of the composites ranged from 260 s to 308 s and the average temperature from 433 °C to 443 °C. In the case of particleboard containing unpainted bumpers and fuel tanks, the time to initiation decreased proportionally with increasing filler concentration. Considering the results of the research, it is necessary to take into account their fire resistance and to increase it, apply protective means incorporated either inside the material or on its surface.

Keywords: *wood-plastic composites, waste plastics, automotive industry, ignition temperature, the mass burning rate, fire safety.*

Kmitanie a hluk komponentov strojných zariadení v čase konca ich životnosti

Stanislav ŽIARAN, Ondrej CHLEBO, Ľubomír ŠOOŠ

Strojnícka fakulta STU v Bratislave, Ústav výrobného inžinierstva a kvality produkcie, Námestie slobody 17, 812 31 Bratislava

e-mail: stanislav.ziaran@stuba.sk, ondrej.chlebo@stuba.sk,

lubomir.soos@stuba.sk,

Súhrn

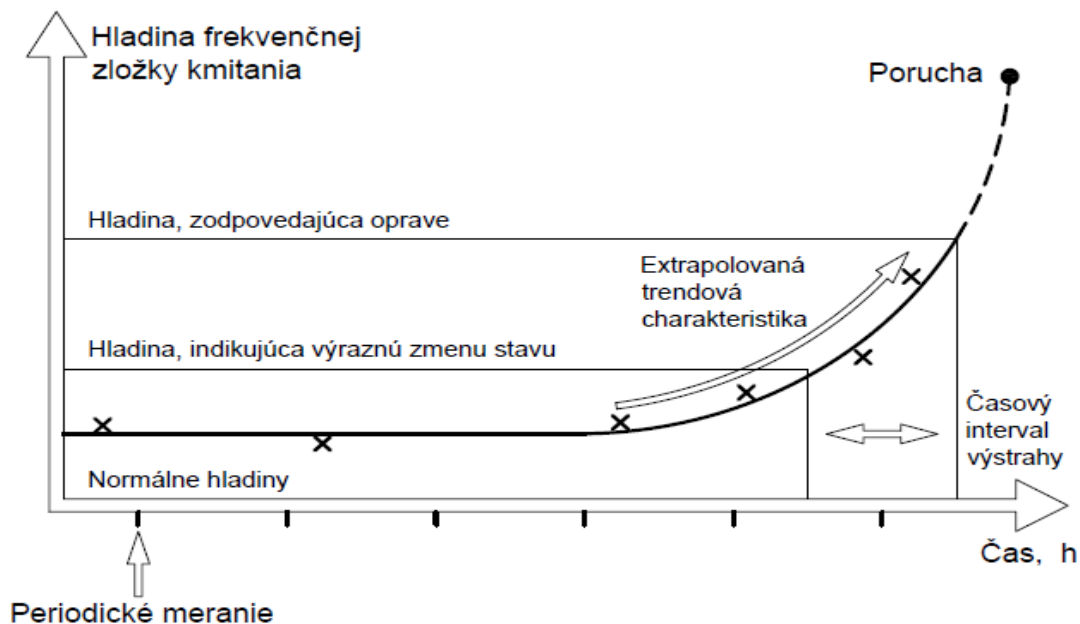
Koniec životného cyklu strojných zariadení, dopravných prostriedkov, zastaranej technológie a podmienok spracovania komponentov, či použitie nevhodných materiálov prispieva k zvyšovaniu kmitania a hluku týchto zariadení, prostriedkov a komponentov. Článok sa zaoberá stanovením prevádzkového stavu strojných zariadení a ich komponentov pomocou spracovania trendových charakteristík meraním mechanického kmitania a hluku, ktoré objektívne určujú koniec životného cyklu komponentov strojov. Sústreďuje sa najmä na oblasť spriadacích vretenníkov, železničných vozňov a ich komponentov, valcovacej linky a ukladania výliskov. Analyzuje príčiny a frekvenčné rozloženie kmitania a hluku ako aj ich decibelové hodnoty. Uvádza aj využitie recyklovaných surovín ako vibro-izolačného a pohltivého materiálu potrebného na redukcii vibro-akustickej energie.

Kľúčové slová: životnosť, hluk, kmitanie, ložiská, trendové charakteristiky

Úvod

V strojoch a strojných sústavách jedným z najdôležitejších komponentov sú ložiská, ktoré umožňujú rotačný pohyb hriadeľa a súčasne prenášajú dynamické sily do konštrukcie stroja a jeho uloženia. Prevádzkyschopnosť a životnosť týchto mechanických sústav je preto do značnej miery závislá od prevádzkového stavu ložísk a od ich životnosti. Pri kvalitných ložiskách a zodpovedajúcom dynamickom zaťažení sa ich životnosť spravidla rovná životnosti stroja, ale pre spriadacie vretenníky to neplatí. Preto u ložísk spriadacích vretenníkov je ekonomicky výhodné sledovať ich trendové charakteristiky kmitania (hluku) a ich včasnou výmenou zabezpečiť, aby neprekročili stanovené prijateľné hranice (obrázok 1). V opačnom prípade dochádza k ich dynamickému preťaženiu, a tým aj k skráteniu ich životnosti. Vibroakustickou diagnostikou možno určiť čas, kedy sa ložisko nachádza tesne pred koncom svojej životnosti a kedy nastáva optimálny čas jeho výmeny⁶. Vylúči sa tým predčasná a zbytočná výmena ložísk vykonaná na základe stanoveného času prevádzkovania a údržby. Diagnostika teda zvyšuje istotu, spoľahlivosť a životnosť, respektíve čas medzi dvomi opravami, čím sa znižujú aj náklady na prevádzku a znižujú sa aj náklady na recykláciu materiálu. Zároveň treba zdôrazniť, že zníženie dynamického zaťaženia stroja zvyšuje životnosť samotného stroja a znižuje sa aj hladina hluku v prevádzke, čo má pozitívny vplyv na zdravie zamestnancov.

Zo skôr uvedených oblastí aplikácie metód vibroakustickej diagnostiky sa možno najčastejšie využívajú metódy na zistenie skutočného prevádzkového stavu ložísk (valivých, klzných), resp. uloženia rotorov na ložiskách. Podľa odhadu je na svete v prevádzke približne 18 miliárd kusov valivých ložísk⁶. Dobrá a účinná diagnostika môže predísť poškodeniam iných častí stroja a v konečnom dôsledku jeho havárii, a tak výrazne znížiť náklady na opravu a recykláciu komponentov stroja. Reprezentatívnym príkladom môžu byť v strojných sústavách, vysokootáčkové spriadacie vretenníky používané v textilnom priemysle, kde hladiny A hluku (frekvenčné vázanie typu A) bežne prekračujú hodnotu 90 dB, a to predovšetkým v závislosti od stupňa poškodenia ložiska, a preto včasná výmena ložísk spriadacej jednotky znižuje hluk v pracovnom prostredí a predlžuje životnosť priradených komponentov daného strojného zariadenia a pri jeho nedostatočnej vibroizolácii aj blízkyh stavebných konštrukcií³.



Obrázok 1: Trendová charakteristika komponentu stroja

Absencia monitorovania alebo nesprávne monitorovanie prevádzkového stavu ložísk môže vyústiť aj do iného extrému, keď sa ložiská predčasne vymieňajú alebo obnovujú (klzné), a to na základe nevhodne určeného časového intervalu medzi opravami. Pri správnej voľbe diagnostickej metódy a/alebo prístroja je dôležité najprv si vyjasniť, aké poškodenia sa môžu vyskytovať pri použití valivých či klzných ložísk, a aký je percentuálny podiel jednotlivých príčin na celkovom počte poškodených ložísk. Najväčší podiel poškodenia ložísk zapríčiňuje mazivo a/alebo spôsob mazania, a to takmer v 55 % z celkového počtu známych príčin⁶.

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

Cieľ, metodika vibroakustických meraní a meracia technika

Cieľ experimentálnych meraní bol zistiť veľkosť dynamického zaťaženia ložiska spriadacích vretenníkov pri rôznych druhoch maziva a rôznej prevádzkovej frekvencie otáčania počas jeho plánovanej životnosti s využitím diagnostických senzorov, ktoré sú priamo v kontakte s vonkajším krúžkom ložiska¹. Pri tejto metóde sa vychádza z predpokladu, že poškodené alebo opotrebené ložisko spriadacieho vretenníka bude vykazovať väčšie dynamické zaťaženie samotnej strojovej sústavy a okolitého prostredia (kmitanie, hluk) a teda aj väčší príkon. To sa okrem zvýšeného dynamického zaťaženia ložiska vretenníka prejaví aj nárastom teploty telesa vretenníka, čo bol dosiaľ jediný ukazovateľ prevádzkového stavu spriadacích jednotiek, no nie úplne spoľahlivý². Cieľ experimentálnych meraní bol aj analýza vplyvu externých zdrojov generujúcich kmitanie ovplyvňujúcich dynamické zaťaženie ložiska spriadacieho vretenníka.

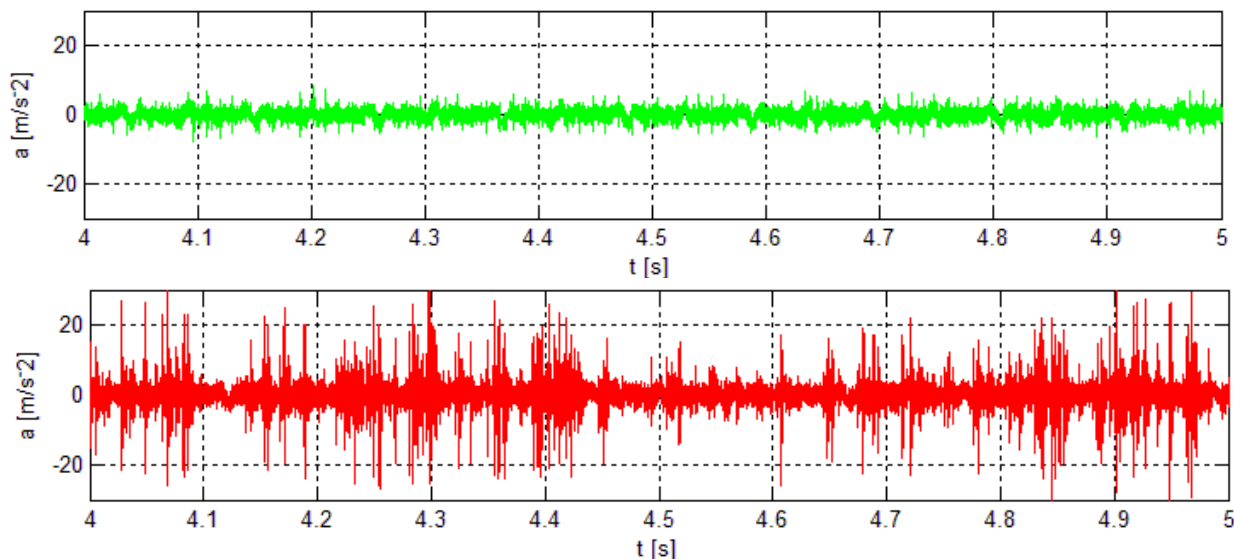
Postup hodnotenia prevádzkovej kvality ložísk z hľadiska ich hlučnosti vychádza z dynamického správania sa ložísk, teda z hodnotenia parametrov veličín mechanickeho kmitania. Cieľ merania zrýchlenia a mohutnosti periodického dynamického zaťaženia (kmitania) bol analyzovať veľkosť kinematických veličín zrýchlenia a rýchlosti kmitania pôsobiacich na prírubu ložiska, resp. jeho uloženie v mechanickej sústave. Z rýchlosti kmitania sa vypočítala hladina akustického výkonu vretenníka, čo umožňuje posúdiť a predikovať akustické prostredie pracoviska⁸. Veličiny kmitania nie sú ovplyvnené okolitým kmitaním tak, ako pri snímaní zvukového signálu, ktorý je viac alebo menej ovplyvnený hlukom pozadia pri stanovení hladiny akustického výkonu samotného spriadacieho vretenníka⁸. V metodikách

sa teda využíva jednoznačná súvislosť medzi mechanickým a akustickým kmitaním. Vykonala sa aj frekvenčná analýza, ktorej cieľ bol zistiť frekvenčné rozloženie výrazného nežiaduceho dynamického zaťaženia zariadenia a pracovného prostredia a jeho príčiny. Metodika hodnotenia kvality namontovaných ložísk rotačných komponentov mechanickej sústavy musí jednoznačne s opakovateľnosťou a/alebo reprodukovateľnosťou spoľahlivo vyhodnotiť vyhovujúce a nevyhovujúce ložiská⁴.

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

Dynamické zaťaženie ložísk a trendové charakteristiky

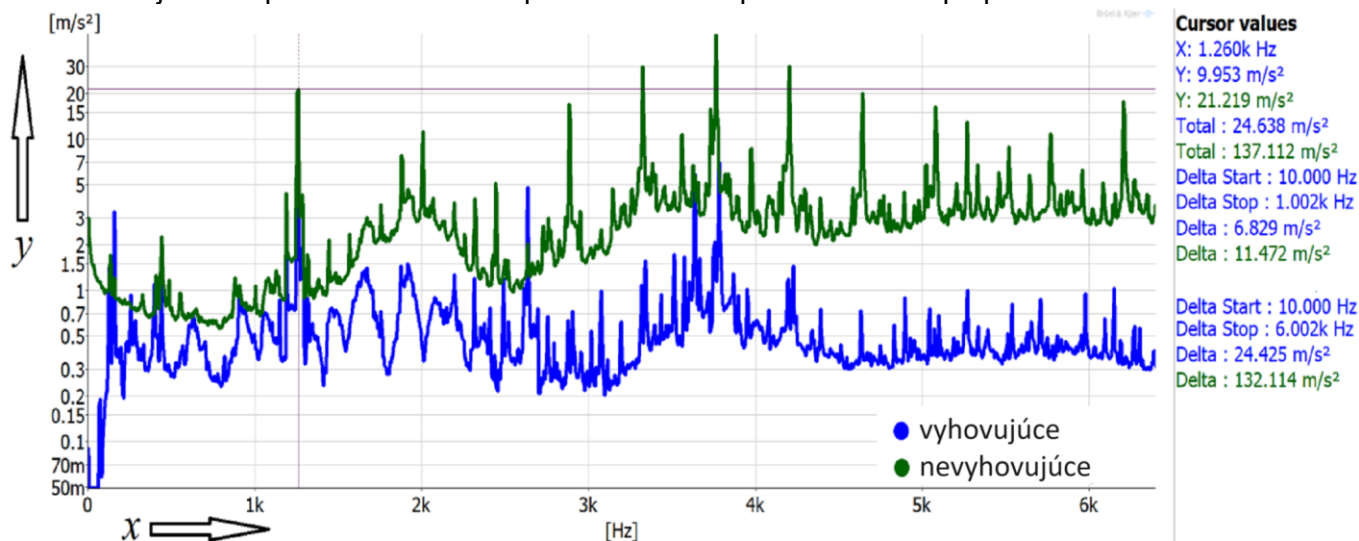
Časové priebehy: Dynamické zaťaženie má vplyv na priebeh generovania hladín kmitania a hluku. Časové priebehy nameraných zrýchlení kmitania nových ložísk (Obrázok 2) reprezentujú výber z významnej štatistickej vzorky od dynamického zaťaženia generovaného vyhovujúcim (hore) a nevyhovujúcim (dole) guľôčkovým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



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

Frekvenčná analýza: Z nameraných časových priebehov sa spracuje frekvenčné spektrum pre identifikáciu presnej frekvencie otáčania, ktorá bola 75 600 r/min (1 260 Hz) pri nastavenej frekvencii otáčania 85 000 r/min (Obrázok 3). Na základe presnej frekvencie otáčania sa vypočítali charakteristické

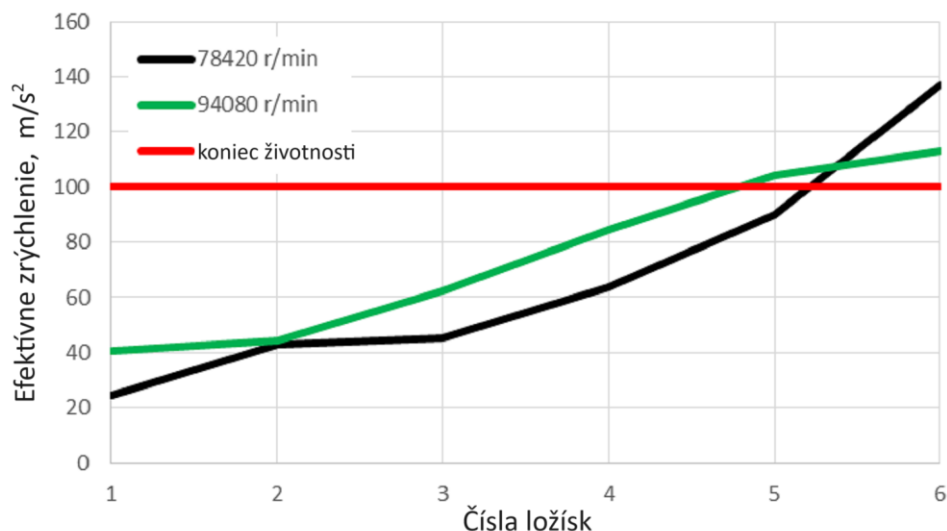
frekvencie prislúchajúce jednotlivým komponentom ložiska a pristúpilo sa k analýze príčin poškodení ložiska. Táto frekvenčná analýza poskytuje výrobcovi a/alebo prevádzkovateľovi vykonať zodpovedajúce opatrenia súvisiace s kvalitou výroby ložísk a u prevádzkovateľa súvisiace najmä s údržbou podľa prevádzkového stavu ložiska. Údržba podľa prevádzkového stavu strojovej sústavy je výrazne ekonomickejšia ako preventívna údržba podľa časového plánu a údržba po poruche⁶.



Obrázok 3: Frekvenčné spektrum ložísk vyhovujúcej a nevyhovujúcej spriadacej jednotky

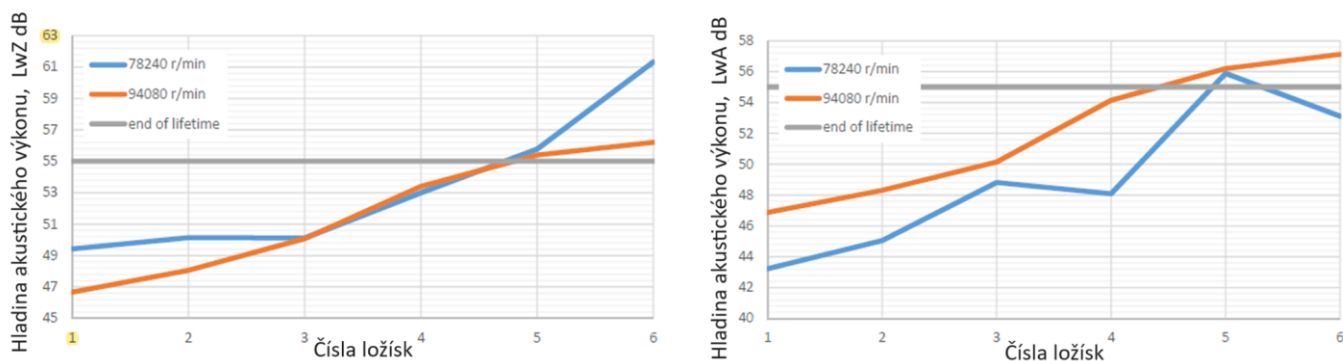
Trendové charakteristiky vretenníkov: Vzchádzajúc z nameraných alebo vypočítaných hodnôt získaných z prevádzkového monitorovania ložísk vretenníkov sa spracujú ich trendové charakteristiky, a to buď na základe nameraných hodnôt kmitania (obrázok 4), alebo na základe vypočítaných hodnôt hladín akustického výkonu z nameranej mohutnosti kmitania (obrázok 5)⁸. Využitie zrýchlenia kmitania je výhodné z hľadiska životnosti ostatných komponentov strojného zariadenia a využitie hladín akustického výkonu z hľadiska zabezpečenia vyžadovaných pracovných podmienok v dôsledku expozície hluku zamestnancov⁷.

Meranie efektívnych hodnôt zrýchlenia kmitania sa vykonalo pre šesť náhodne vybraných vysokootáčkových spriadacích vretenníkov pri presnej frekvencii otáčania 78 420 r/min a v následnom kroku pre presnú frekvenciu otáčania 94 080 r/min. Týchto 6 vretenníkov sa skúšalo pre každú uvedenú frekvenciu otáčania, z jednej a tej istej výrobnéj sady, ktorých skúška sa začala za rovnakých prevádzkových podmienok. Z grafov na obrázkoch 4 a 5 je vidieť rozdielnu úroveň rizika vo vnútri hranice spoľahlivosti určitej zostávajúcej životnosti pre šesť ložísk skúšaných vysokootáčkových spriadacích vretenníkov. Táto skutočnosť charakterizuje kvalitu výroby vretenníkov, ako aj technický prístup k ich mazaniu. S využitím normy ISO 20816-1¹¹ a na základe posúdenia prevádzkového stavu vysokorychlostných spriadacích vretenníkov sa stanovila ich hranica konca životnosti vychádzajúca z efektívneho zrýchlenia kmitania (obrázok 4).



Obrázok 4: Trendové charakteristiky ložísk z merania zrýchlenia kmitania vysokootáčkových spriadacích vretenníkov s odporúčanou hranicou životnosti

Hranice životnosti možno stanoviť aj na základe vypočítanej hladiny akustického výkonu⁸, a to buď s použitím frekvenčného váženia Z alebo A (obrázok 5). Na základe stanovenej hranice životnosti možno konštatovať, že ložisko vretenníka číslo 6 je už za hranicou životnosti a ložisko vretenníka číslo 5 je na hranici životnosti, čo si vyžaduje ich výmenu. Následná analýza ložísk vymenených vretenníkov po ich rozobraní to aj potvrdila.



Obrázok 5: Trendové charakteristiky ložísk z vypočítaných hladín akustického výkonu s vážením Z a A vysokootáčkových spriadacích vretenníkov s odporúčanou hranicou životnosti

Záver

V prípadoch, kde sledované strojné zariadenie zaujíma kľúčové postavenie vo výrobe a má rozhodujúci vplyv na tvorbu produkcie, a teda aj ekonomickú stránku alebo bezpečnosť a zdravie človeka, sa odporúča zavádzať systémy diagnostiky pri sledovaní prevádzkového stavu ložísk strojných zariadení. Monitorovanie kmitania okamžite indikuje zmeny prevádzkového stavu sledovaných strojných zariadení. Prevádzkové monitorovanie prináša viac ako 60 % úspor v rámci údržby⁹. Preto sa odborníkmi zásadne odporúča údržba podľa prevádzkového stavu pretože sa predikuje potenciálna porucha stroja či strojovej sústavy, a to na základe pravidelného monitorovania jeho prevádzkového stavu, pričom údržba sa vykoná v optimálnom čase. Má to ekonomické výhody v porovnaní s údržbou po poruche alebo preventívnou údržbou, ale vyžaduje spoľahlivý prístup pri sledovaní prevádzkového stavu, ktoré meraním kmitania alebo inými metódami technickej diagnostiky je schopné nielen určiť súčasný stav, ale dáva aj racionálne predikcie na zostávajúcu prevádzkovú životnosť¹⁰. Teda, údržbárske práce sa majú vykonávať len vtedy, keď vibroakustické merania ukazujú, že je ich potrebné vykonať.

Pod'akovanie

Výskum prezentovaný v tomto príspevku je výsledkom projektu č. APVV-19-0538 „Progresívny hybridný vysokorýchlostný spriadačí aktuátor“ financovaného Agentúrou pre výskum a vývoj. Výskum prezentovaný v tomto príspevku je výsledkom projektu č. 030STU-4/2022 „RORESA – Aplikácia rozšírenej reality vo vzdelávacom procese obrábacích strojov a výrobných systémov“ financovaného Ministerstvom školstva, vedy, výskumu a športu SR Slovenskej republiky.

Literatúra

1. CHLEBO, O., ŽIARAN, S., ŠOOŠ, Ľ.: Diagnostický senzor vretenníka. Úžitkový vzor 9571, Úrad priemyselného vlastníctva SR, 2022.
2. ŽIARAN, S., CHLEBO, O., ŠOOŠ, Ľ.: Methodology of Objective Evaluation of Quality Bearings by Vibro-Acoustics and Its Comparison with a Subjective Method. *Akustika*. Volume 37, pp. 58 – 66, 2020.
3. ŽIARAN, S., ŠOOŠ, Ľ., CHLEBO, O.: Primary Noise Control in the Work Environment by Increasing the Quality of Bearings and Effective Mounting of Machines. *ARCHIVES OF ACOUSTICS*, Vol. 45, No. 2, pp. 253 – 262, 2020
4. CHLEBO, O., ŠOOŠ, Ľ., ŽIARAN, S., MUSIL, M.: Application of Vibroacoustics in Subjective and Objective Assessment of Bearing Quality. *Proceedings of the International Conference Acoustics 2019 High Tatras 2019*, pp. 203-208, ISBN 978-80-228-3157-4.
5. ŽIARAN, S., MUSIL, M., CHLEBO, O.: Determination of the Bearing Quality by Means of Vibroacoustic Response. *Proceedings of Internoise/ASME NCAD Noise control and acoustics division conference 2015*, Article number: V001T01A004-1.
6. ŽIARAN, S.: *Technická diagnostika. Vedecká monografia*. Vydavateľ STU v Bratislave 2013, str. 332, ISBN 978-80-227-4051-7.
7. ŽIARAN, S.: *Ochrana človeka pred kmitaním a hlukom. Vedecká monografia*. Vydavateľ STU v Bratislave 2008, str. 264, ISBN 978-80-227-2799-0.
8. CEN ISO/TS 7849-1 Acoustics. Determination of airborne sound power levels emitted by machinery using vibration measurement. Part 1: Survey method using a fixed radiation factor. CEN-CENELEC Management centre: Rue de la Science 23, B-1040 Brussels.
9. RANDAL, R. B.: *Vibration-based Condition Monitoring Industrial, Aerospace and Automotive Applications*. John Wiley & Sons, Ltd. 2011.
10. Publikácia fy Bruel & Kjaer: *Machine Condition Monitoring*. DK-2850 Naerum Denmark 1989.
11. ISO 20816-1 Mechanical vibration. Measurement and evaluation of machine vibration. Part 1: General guidelines. ISO, CH-1214 Vernier, Genève 20, Switzerland.

Vibration and noise of machinery components at the end of their lifetime

Stanislav ŽIARAN, Ondrej CHLEBO, Ľubomír ŠOOŠ

Institute of Production Engineering and Quality, Faculty of Mechanical Engineering Slovak University of Technology in Bratislava, Slovakia, e-mail: stanislav.ziaran64stuba.sk

Summary

The end of the lifetime cycle of machinery, vehicles, outdated technology and processing conditions of components, or the use of unsuitable materials contribute to their increase in vibration and noise, as well as to the increase in recycling and non-recycling waste. The article deals with determining the operating condition of machinery and its components by processing trend characteristics through measuring mechanical vibration and noise, which objective determine the end of the lifetime cycle of machine components. It focuses mainly on the area of spinning headstocks and proposes a methodology for permanent monitoring of the dynamic behaviour of the bearings of spinning units. The elaborate the methodology for monitoring bearings leads to an increase in the service lifetime of machinery components and to the creation of a more pleasant environment in terms of decreasing the noise load of employees. It analyses the causes and frequency distribution of vibration and noise as well as their decibel values.

Keywords: lifetime, noise, vibration, bearings, trend characteristics

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

Stanislav ZÁBOJNÍK

Katedra ekonomiky PEDAS, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1,
010 26 Žilina, Slovensko

e-mail: stanislav.zabojnik@uniza.sk

Zhrnutie

Od začiatku pandemického obdobia, ale najmä od zintenzívnenia vojny na Ukrajine v roku 2022, majú náklady na energiu v priemyselnej výrobe vrátane automobilového priemyslu čoraz väčší význam. Článok analyzuje význam nákladov na energiu pri tvorbe pridanej hodnoty v rámci automobilového priemyslu na Slovensku a v krajinách EÚ. Aplikovaním metodiky jednotkových energetických nákladov, konkrétne pre oblasť elektriny, autor kvantifikuje význam nákladov na elektrinu a jej vplyv na konkurencieschopnosť automobilového priemyslu. Čo sa týka Slovenska, parameter je pod hranicou 3 %, čím sú jednotkové náklady na energiu sekundárne dôležitým faktorom pre udržateľnosť automobilovej výroby na Slovensku (v porovnaní s jednotkovými nákladmi práce alebo produktivitou práce). Potenciálna zmena a nárast parametra súvisí s elektromobilitou a produkciou batérií, ktorých energetická náročnosť a význam cien elektriny sú na výrazne vyššej úrovni.

Kľúčová slova: elektrická energia, automobilový priemysel, exportná konkurencieschopnosť, náklady na elektrickú energiu

Úvod

Najmä od roku 2009 slovenský priemysel konfrontuje z hľadiska cenovej konkurencieschopnosti energetická a environmentálna politika EÚ, pod vplyvom ktorej boli zavedené rôzne nové poplatky vybrané od priemyselných producentov prostredníctvom účtov za elektrickú energiu¹. Táto striktná dekarbonizačná politika vstupuje do parametrov investičného prostredia v priemysle, jednotlivých priemyselných odvetviach alebo priamo automobilovom priemysle v rôznej intenzite. Táto rôzna intenzita vyplýva predovšetkým z energetickej náročnosti týchto priemyselných odvetví. Energeticky náročné odvetvia spotrebúvajúce vyšší objem elektrickej energie, ktorá v sebe zahŕňa absolútne vyššie environmentálne poplatky, budú prirodzene vplyvom tejto energetickej politiky strácať na cenovej konkurencieschopnosti na domácom trhu (voči zahraničných konkurentom – potenciálnym importérom) alebo trhoch zahraničných (konfrontácia zahraničných producentov exportom vlastného produktového portfólia produkovaného v SR), viac. Výrazne viac kritiky do rozhodovacích procesov EÚ v oblasti priemyselnej podpory priniesla predovšetkým energetická kríza po masívnej ruskej invázii na Ukrajinu

¹ Tieto poplatky boli spôsobené predovšetkým masívnejšou dekarbonizáciou a implementáciou politik obnoveľných zdrojov energie pri výrobe elektrickej energie (záväzky členských štátov vyplývajúce zo Smernice Európskeho parlamentu a Rady 2009/28/ES z 23. apríla 2009 o podpore využívania energie z obnoviteľných zdrojov energie a o zmene a doplnení a následnom zrušení smerníc 2001/77/ES a 2003/30/ES). Ciele boli stanovené na úrovni EÚ, avšak konkrétny model implementácie je na individuálnom členskom štáte. Takmer každý štát pristúpil k určitému poplatku v rámci účtov za elektrickú energiu (len výnimočne uplatňované environmentálne dane). V prípade vyspelých trhových ekonomík západnej Európy (napr. Nemecko) boli stanovené rôzne podporné schémy, ktoré oslobodzovali od platenia týchto poplatkov tisíce priemyselných podnikov. V menej rozvinutých krajinách EÚ však boli dotácie priemyselným podnikom náročnejšie na rozpočtové úľavy. Napr. v SR preto do roku 2018 boli oslobodené od platieb týchto „zelených“ poplatkov v účtoch za elektrickú energiu len štyri spoločnosti. Navyše, takéto poplatky môžu predstavovať riziko pre konkurencieschopnosť obzvlášť v krajinách, ktorých tvorba HDP je postavená na priemyselnej produkcii (Česká republika, Slovenská republika, Maďarsko, Rumunsko a i.).

začiatkom roku 2022, čo malo za následok vysokú mieru rastu predajných cien priemyselných producentov a menšiu odolnosť voči cenovo orientovaným ázijským producentom.

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

Problém dopadov dekarbonizačných opatrení na konkurencieschopnosť európskeho priemyslu bol predmetom viacerých odborných analýz pre účely Európskej komisie, ale takisto výskumným akademických prác. Výskumné publikácie skúmajúce dopady dekarbonizačných opatrení EÚ ústiach do vyšších cien energií boli frekventovanejšie najmä po roku 2010 (intenzívnejšie konzekvencie environmentálnej politiky v energetike členských štátov). Viaceré štúdie po roku 2010 sa zaoberali dopadom dekarbonizácie a z toho vyplývajúcich energetických nákladov na konkurencieschopnosť exportu a atraktivitu investičného prostredia, avšak limitovane len na celkovej úrovni priemyslu alebo energeticky náročných odvetví¹⁻⁴.

Z významným štúdií The Oxford Institute for Energy Studies možno spomenúť predovšetkým štúdiu D. Buchana z roku 2014⁵, ktorá konštatuje, že EÚ mala vždy energetické náklady vyššie ako USA a napriek tomu dosahujeme dlhodobu prebytok v zahraničnom obchode s tovarmi. Poukazuje však na možné škodlivé účinky intenzívnejšieho boja s klimatickými zmenami v EÚ na vlastných exportérov a ako možnosť riešenia uvádza zavedenie „uhlíkových ciel“ voči tovarom z krajín presadzujúcich ďaleko voľnejšie environmentálne požiadavky.

Vplyv rastúcich cien energií, konkrétne elektrickej energie a ich vplyv na konkurencieschopnosť priemyselného exportu európskych krajín je podnetným javom pre výskum aj v rámci OECD. V roku 2015 vyšla štúdia skúmajúca ich dopad na nemeckú konkurencieschopnosť (Flues-Lutz, 2015⁶). Štúdia konštatuje, že neexistuje výrazný dopad rastúcich cien elektrickej energie na konkurencieschopnosť nemeckého exportu, obratu podnikov, pridanej hodnoty, investícií alebo zamestnanosti. Osobitne posudzovala firmy oslobodené od environmentálnych daní zahrnutých v účtoch za elektrickú energiu a nenašla rozdiel medzi dopadmi na firmy, ktoré nedostávajú takúto úľavu. Autori tým zdôraznili neopodstatnenosť subvencií na úrovni takmer 15 €/MWh, resp. takmer 80% plnej sadzby.

Ďalšou relevantnou analýzou dopadov z dielne Európskej komisie bola štúdia od DG Energy⁷, konkrétne pri cenách elektrickej energie a plynu skúma popri známych parametroch (export, tržby a pod.) aj ziskovosť priemyselných firiem a identifikuje konkrétne odvetvia najviac determinované rastúcimi nákladmi na elektrickú energiu a plyn (produkcia cementu, papierenský priemysel, železo a oceľ). Z hľadiska medzinárodnej komparácie konkurencieschopnosti identifikuje európske ceny elektrickej energie v roku 2014 (110 €/MWh) ako priemerné na globálnom energetickom trhu. Z hľadiska energetickej náročnosti indikuje spotrebovanú elektrickú energiu vo vzťahu k vygenerovanej pridanej hodnote EÚ ako neporovnateľne nižšiu voči ČĽR, avšak vyššiu ako v USA alebo Japonsku vo väčšine priemyselných odvetví. Za najohrozenejšie priemyselné odvetvia považujú autori komoditné produkty, ktoré čelia neporovnateľne väčšiemu konkurenčnému tlaku⁷. O ich celkovej exportnej konkurencieschopnosti však rozhodujú aj iné faktory ako ULC, ceny nerastných surovín, odberateľsko-dodávateľské reťazce, vonkajší ekonomický rast, inštitucionálne prostredie vrátane podmienok pre výskum a vývoj.

Významnou štúdiou na pôde európskych inštitúcií bol verejný hearing (Európsky parlament, 2016) na tému energetických nákladov v EÚ a priemyselnej konkurencieschopnosti. Štúdia od významného európskeho priemyselného experta J. L. Tafalla poukázala na to, že ceny elektrickej energie naprieč EÚ sú veľmi heterogénne – rozdiel medzi najlacnejšou elektrinou pre priemyselných odberateľov vo Švédsku a najdrahšou na Cypre je až trojnásobný. Aj zástupcovia organizácií podporujúcich väčšiu angažovanosť OZE však konštatovali, že oblasť elektrickej energie pre firmy z energeticky náročných

odvetví generuje potrebu inštitucionalizovanej podpory (Európsky parlament, 2016). Podmienkou pre subvencie takýchto firiem boli charakterizované ako „efektívne, cielené, trhovo orientované a vždy v súlade s klimatickými a energetickými plánmi EÚ“⁸.

Kľúčovou analýzou skúmajúcou vzťah energetických nákladov a konkurencieschopnosti na úrovni Európskej komisie predstavil v júni 2017 riaditeľ generálneho direktoriátu pre ekonomického a finančné záležitosti, A. J. Lindén⁸. Metodikou jednotkových energetických nákladov identifikoval, že európsky priemysel dekarbonizáciou neutrpel na konkurencieschopnosti a firmám sa podarilo kompenzovať rastúce ceny energií prostredníctvom progresu v oblasti energetickej náročnosti. Firmy z odvetví, ktoré to dokázali výrazne úspešnejšie zahŕňajú drevársky, papierenský a potravinársky priemysel. Naopak, cenové šoky boli absorbované s menšou mierou úspešnosti v chemickom, kovospracujúcom priemysle. Za výrazný posun vo výskume dopadov možno považovať diferenciaciu dopadov, keďže táto štúdia považuje za negatívnejšie ovplyvnené krajiny Bulharsko, Cyprus, Belgicko, Slovensko a Fínsko. Firmy z týchto štátov na základe ich výskumu sú menej odolné voči cenovým šokom v energetike a naopak, cenové šoky majú najmenej intenzívny dopad na V. Britániu, Dánsko a Írsko.

Za východiskovú a citovanú štúdiu v oblasti dopadov environmentálnej regulácie na konkurencieschopnosť mnohí ekonómovia, nielen v západnej Európe a USA, považujú publikáciu A. Dechezlepretre a M. Sato z London School of Economics (2017). Autori testujú kauzalitu medzi striktnosťou energetickej regulácie v prospech boja proti klimatickým zmenám a ich dopadom na výkonnostné parametre dotknutých firiem. Autori však rozlišujú kategórie dopadov na tri stupne: prvého rádu (produkčné náklady), druhého rádu (odozva firmy a ekonomický dopad) a tretieho rádu (zmena v technológiách, medzinárodná odozva – napr. zahraničný obchod alebo PZI, odozva na životnom prostredí).

V tejto súvislosti bola obdobne kľúčovou štúdiou pre rozlišovanie jednotlivých odvetví analýza identifikujúca vplyv dotácií na kompenzáciu vysokých cien elektriny na úrovni európskych krajín od autorov Faiella a Mistretta⁹⁻¹⁰. Autori kvantifikovali „dekarbonizačné“ výdavky priemyselných podnikov a prostredníctvom modelov predpovedali, ako výška týchto výdavkov ovplyvní schopnosť takýchto firiem vytvárať pridanú hodnotu a zhodnocovať svoju produkciu na zahraničných trhoch (export). Ich závery indikujú UEC (jednotkové energetické náklady) za kľúčový faktor pri skúmaní konkurencieschopnosti. Presnejšie povedané, kauzálna súvislosť medzi jednotkovými nákladmi na energiu a rastom exportu bola jasne preukázaná prostredníctvom panelovej regresie; zvýšenie cien energií o 0,1 % generuje približne 0,12 % pokles exportu, čo predstavuje približne polovicu hodnoty jednotkových nákladov práce – ULC¹¹.

Z týchto prác sa výnimočne práce zaoberajú rôznymi efektmi v rámci krajín EÚ (najmä Faiella a Mistretta¹¹). Štúdia Baláža a Bayera¹² sa venuje konkrétne krajinám CEE, kde je predpoklad negatívneho vplyvu vyšší ako v krajinách s vysokým podielom výdavkov na inovačnú aktivitu. Títo autori hodnotia vplyv rastúcich cien elektriny na výrobné náklady a uvádzajú, že konkurencieschopnosť spoločností EÚ (meraná prostredníctvom exportu aj RCA) neustále klesá.

Autori venujúci sa globálnym hodnotovým reťazcom v rámci regiónu V4 poukazujú na význam energetických nákladov v slovenskom a okolitých klastroch automobilového priemyslu¹³. Niektoré nedávne štúdie dokonca pripúšťajú vplyv energetických nákladov na výber lokality pre nové investičné projekty v automobilovom priemysle, ale konkrétne nekvantifikujú ich hodnotu. Iní autori poukazujú priamo na spojitosť medzi udržateľnosťou a cirkulárnou ekonomikou v automobilovej výrobe a jej pozitívnom vplyve na samotné finančné výsledky výrobcov^{14,15}.

Predložený príspevok si kladie za cieľ kvantifikovať energetické náklady (na príklade elektrickej energie) naprieč európskymi krajinami s dôrazom na SR a identifikovať možný vplyv týchto nákladov na udržateľnosť a investičnú atraktivitu v automobilovom priemysle. Autor skúma tento dopad prostredníctvom parametra jednotkových energetických nákladov v oblasti elektrickej energie a na základe tohoto parametra indikuje možné riziká pre investičnú atraktivitu súčasných a perspektívnych producentov v automobilovom priemysle (najmä energeticky náročnejšie časti hodnotových reťazcov).

Experimentálna časť

Autor príspevku vyhodnocuje energetickú náročnosť pridanej hodnoty tvorenej v automobilovom priemysle („produkcia motorových vozidiel, prívesov a návěsov“) porovnaním jednotkových energetických nákladov na základe metodiky porovnávajúcej náklady na elektrickú energiu pri generovaní pridanej hodnoty automobilového priemyslu v zmysle metodiky Faiellu a Mistretta^{10,11}. Samotní autori zdôrazňujú, že aplikácia tohto postupu umožňuje kvantifikáciu UEC na úrovni jednotlivých priemyselných odvetví. Parameter UEC tak komparuje energetické náklady (pre naše účely náklady na elektrickú energiu) a pridanú hodnotu generovanú v automobilovom priemysle za obdobia od roku 1995 na úrovni jednotlivých európskych krajín. Vzorec pre výpočet jednotkových energetických nákladov je:

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

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

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

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

Výsledky a diskusia

V zmysle uvedeného výpočtu sme použili dáta Eurostat¹⁶ týkajúce sa energetických nákladov firiem v oblasti elektrickej energie a dáta týkajúce sa tvorby pridanej hodnoty¹⁷. Výsledky za automobilový priemysel sú uvedené v nasledujúcej tabuľke:

Tabuľka 1: Jednotkové energetické náklady na pridanej hodnote v automobilovom priemysle

	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Austria	2,22%				1,52%	1,87%	1,93%	1,88%	1,60%	1,45%	1,70%	1,88%	1,92%	1,70%	1,60%	1,55%	1,52%	1,43%	1,75%
Belgium	1,97%	2,07%	1,88%	1,78%	1,85%	2,01%	2,06%	3,09%	3,11%	2,89%	3,53%	3,12%	2,18%	2,02%	2,32%	2,23%	2,42%	2,50%	
Bulgaria						7,56%	6,80%	5,25%	4,40%	5,23%	4,90%	2,98%	3,89%	4,04%	3,57%	2,81%	2,76%	2,69%	2,43%
Croatia							4,59%	3,81%	4,04%	3,89%	3,51%	3,52%	3,55%	3,66%	3,93%	3,31%	3,43%	3,58%	
Cyprus	0,00%	1,31%	1,44%	1,14%	1,27%	1,28%	1,41%	1,68%	1,40%	2,17%	1,65%	2,44%	3,35%	13,88%	13,27%	11,26%	5,81%	4,00%	
Czechia	0,00%	2,05%	1,89%	2,03%	1,94%	2,04%	2,26%	2,77%	2,65%	3,50%	3,95%	3,57%	3,55%	3,61%	3,52%	2,46%	2,29%	1,88%	1,80%
Denmark	1,61%	1,63%	1,69%	1,92%	1,84%	2,11%	2,14%	2,86%	3,19%	3,13%	3,91%	3,39%	2,47%	1,80%	3,01%	1,89%	1,47%	1,47%	1,20%
Estonia				5,48%	5,31%	4,51%	4,53%	5,35%	4,02%	2,36%	3,59%	2,70%	2,94%	4,43%	5,64%	4,60%	4,58%	4,26%	1,38%
Finland	1,89%	1,73%	1,52%	1,43%	1,70%	1,73%	1,64%	1,72%	2,16%	2,12%	2,63%	3,44%	2,42%	2,34%	2,15%	2,22%	2,50%	2,20%	1,97%
France	2,66%	1,91%	1,77%	1,71%	1,79%	1,87%	1,80%	1,73%	1,72%	1,87%	2,01%	1,94%	2,01%	1,98%	2,01%	2,03%	1,95%	1,87%	1,90%
Germany		2,06%	1,88%	1,80%	1,95%	2,09%	2,26%	2,19%	2,20%	2,07%	2,32%	1,89%	1,88%	1,85%	2,04%	1,94%	1,75%	1,52%	
Greece	3,13%	2,54%	2,57%	2,27%	1,92%	1,73%	1,37%	1,19%	1,42%	2,06%	2,09%	2,08%	10,97%	5,39%	6,22%	7,41%	3,76%	1,22%	1,91%
Maďarsko	2,61%	1,12%	2,04%	2,21%	2,22%	2,64%	2,45%	2,22%	2,47%	2,99%	3,64%	2,82%	2,87%	4,65%	4,01%	3,24%	2,79%	2,42%	2,45%
Írsko	2,11%	2,24%	2,18%	2,74%	1,50%	2,08%	2,32%	3,07%	1,75%	2,71%	4,33%	7,83%	8,28%	9,33%	9,07%	9,94%	8,66%	7,68%	7,64%
Taliansko	2,74%	2,53%	2,77%	2,70%	2,87%	2,55%	2,74%	3,05%	3,07%			2,71%	2,85%	3,49%	3,29%	2,98%	2,77%	2,40%	
Lotyšsko						9,27%	8,96%	5,26%	7,63%	5,04%	8,27%	5,35%	5,29%	5,32%	7,39%	4,42%	5,82%	5,31%	
Litva					2,80%	2,06%	1,64%	1,50%	1,69%	1,46%	2,10%	2,07%	2,15%	1,35%	1,19%	1,60%	1,38%	0,90%	
Holandsko	1,56%	1,39%	1,26%				1,44%	1,57%	1,45%	1,36%	2,27%	1,74%	1,36%	1,37%	1,43%	1,41%	1,27%	1,32%	1,10%
Poľsko		3,07%	3,38%	3,43%	3,27%	2,65%	2,73%	2,71%	3,16%	3,73%	2,95%	3,03%	2,55%	2,55%	2,88%	2,39%	2,43%	2,36%	
Portugalsko	3,36%	2,11%	2,08%	2,03%	2,28%	2,29%	2,57%	2,89%	2,98%	3,00%	3,12%	2,76%	2,99%	3,11%	2,77%	2,69%	2,70%	3,20%	
Rumunsko					2,10%	2,45%	2,36%	2,96%	3,03%	2,01%	1,42%	0,86%	1,47%	2,86%	3,18%	3,64%	2,90%	2,02%	1,85%
Srbsko						44,12%		4,63%	4,27%						3,39%	3,14%	3,32%	3,50%	4,34%
Slovenská rep.	4,60%	2,11%	0,87%	1,10%	0,83%	0,95%	1,17%	2,95%	2,97%	4,20%	5,71%	3,79%	4,06%	4,54%	4,36%	5,17%	3,08%	3,23%	2,85%
Slovinsko	0,07%	3,07%	2,85%	2,57%	2,62%	2,27%	2,41%	2,44%	3,07%	3,09%	3,21%	3,23%	3,11%	3,36%	3,10%	2,86%	2,33%	2,42%	2,23%
Španielsko	2,12%	2,23%	1,71%	1,54%	1,57%	1,68%	2,19%	1,86%	1,81%	1,96%	2,07%	1,90%	1,73%	2,01%	2,09%	2,19%	2,10%	2,17%	2,29%
Švédsko		1,12%	1,36%	1,18%	1,70%	1,66%	1,79%	2,06%	1,92%	1,73%	2,04%	1,60%	1,67%	1,60%	1,52%	1,32%	0,86%	0,84%	
Švajčiarsko		14,48%	13,43%	10,82%	17,53%	16,99%	16,72%	17,43%	16,73%	13,10%	9,83%	8,64%	6,84%	6,04%	5,80%	5,08%	3,79%	4,16%	
V. Británia		1,57%	1,54%	1,41%	1,28%	1,22%	1,58%	2,02%	2,42%	2,83%	3,06%	2,54%	2,19%	2,47%	2,21%	2,03%	1,99%	1,80%	

Zdroj: výpočty autora podľa údajov Eurostat^{16,17}

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

Z dôležitejších zistení v rámci analýzy jednotkových energetických nákladov vyplýva, že slovenský automobilový priemysel má výrazne vyššie energetické náklady ako nemecký automobilový priemysel alebo európsky priemer. Tento záver môže byť čiastočnou odpoveďou na relatívne stagnujúce investičné prostredie v regióne CEE pre príchod nových automobiliek a producentov batérií. Aj doterajšia prax a dotazovanie nadnárodných investorov na SARIO preukazuje, že ako kľúčové faktory vplývajúce na konečné rozhodnutie ohľadom lokality ich výroby je dostupnosť energetickej infraštruktúry (VVN a VN siete) a cena elektrickej energie vrátane sieťových poplatkov. Potvrdil to prípad VW a výstavby továrne na výrobu batérií, ktorá skončila rozhodnutím top manažmentu VW o pozastavení tejto investície v regióne V4. Na druhej strane, ukazuje sa, že investičné prostredie SR a parametre cien elektrickej energie neboli problémové pre čínskeho investora, nakoľko sa spoločnosť Gotion High-Tech etablovala v SR koncom roku 2023 napriek relatívne vysokým cenám elektrickej energie, ktorej ceny sú rozhodujúce pri tak energeticky náročnej produkcii, ako sú batérie pre elektromobily.

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

Záver

Dekarbonizácia EÚ má svoj nespochybniteľný spoločenský význam. Z hľadiska udržateľnosti automobilového priemyslu má svoj význam nielen neustále sprísňovanie emisných noriem, ale aj dekarbonizácia na úrovni čistej energie spotrebúvanej v procese výroby automobilového priemyslu, ale aj spotreby čistej elektrickej energie.

Na základe predloženej analýzy jednotkových energetických nákladov možno konštatovať, že sa podarilo splniť stanovený cieľ z úvodnej časti. Autor pomenoval predovšetkým východoeurópske krajiny (najmä SR) ako tie s vyššou mierou jednotkových energetických nákladov v elektrickej energii, čo môže generovať riziká pre investičný nezáujem energeticky náročnejších producentov automobilového priemyslu (napr. produkcia batérií).

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

Pod'akovanie

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

Zoznam symbolov

UEC – jednotkové energetické náklady

UEC_{EE} – jednotkové energetické náklady v oblasti elektrickej energie

Literatúra

1. Buchan, D. (2014). *Costs, Competitiveness and climate policy: distortions across Europe*. Oxford Energy Comment. The Oxford Institute for Energy Studies. Retrieved 11 January 2022, from <https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2014/04/Costs-Competitiveness-and-Climate-Policy.pdf>
2. Lindén, A. J. (2017). Unit Energy costs in Europe, Member States and international partners. DG Economic and Financial Affairs Impact of EU policies on national economies, CEPS.
3. Dechezleprêtre, A. & Sato, M. (2017). The Impacts of Environmental Relugations on Competitiveness. *Review of Environmental Economics and Policy*. 11(2), 183 – 206. <https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1093/reep/rex013>
4. Zábojník, S., Steinhauser, D., & Peštová, V. (2023). DECARBONISATION: DO EU ELECTRICITY COSTS HARM EXPORT COMPETITIVENESS?. *Amfiteatru Economic*, 25(63), 522 – 540.
5. OIES (The Oxford Institute for Energy Studies. *Costs, Competitiveness and climate policy: distortions across Europe*. Oxford Energy Comment, David Buchan. 2014.
6. FLUES, Florens – LUTZ, Benjamin. Competitiveness Impacts of the German Electricity Tax [online]. In: *OECD Environment Working Papers No. 88*. Paris: OECD. 2015. Dostupné na: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/5js0752mkzmv-en.pdf?expires=1584783560&id=id&accname=guest&checksum=FAFB4D730360D84A32C270D493FE2F2A>
7. ECOFYS/FRAUENHOFER. Prices and Cost of EU Energy: Final report for European Commission [online]. 2016. Dostupné na: https://ec.europa.eu/energy/studies/prices-and-costs-eu-energy-%E2%80%93-ecofys-bv-study_en
8. EURÓPSKY PARLAMENT. Energy costs and EU's industry competitiveness. J. L. Tafall: *Public Hearing on Energy Costs and EU industry Competitiveness European Parliament*. 2016.
9. Faiella, I. & Mistretta, A. (2018). Energy costs and competitiveness in Europe. In *Sixth IAERE Annual Conference*. University of Turin, 15 February 2018. Retrieved 21 November 2023, from <https://www.iaere.org/conferences/2018/files/faiella.pdf>
10. Faiella, I. & Mistretta, A. (2020). *Energy Costs and Competitiveness in Europe* (Working Paper No. 1259) Bank of Italy. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3612802>
11. Faiella, I., & Mistretta, A. (2022). The Net Zero Challenge for Firms' Competitiveness. *Environmental and Resource Economics*, 83(1), 85 – 113.
12. Baláž, P. & Bayer, J. (2019). Energy Prices and their Impact on the Competitiveness of the EU Steel Industry. *Prague Economic Papers: Bimonthly Journal of Economic Theory and Policy*. Prague: University of Economics, 28(5), 547 – 566.
13. Černá, I., Élтетő, A., Folfas, P., Kužnar, A., Křenková, E., Minárik, M., ... & Zábojník, S. (2022). GVCs in Central Europe: A perspective of the automotive sector after COVID-19.

14. Rodríguez-González, R. M., Maldonado-Guzman, G., Madrid-Guijarro, A., & Garza-Reyes, J. A. (2022). Does circular economy affect financial performance? The mediating role of sustainable supply chain management in the automotive industry. *Journal of Cleaner Production*, 379, 134670.
15. Saha, A., Pamucar, D., Gorcun, O. F., & Mishra, A. R. (2023). Warehouse site selection for the automotive industry using a fermatean fuzzy-based decision-making approach. *Expert Systems with Applications*, 211, 118497
16. EUROSTAT. (2022). Databáza ohľadom pridanej hodnoty podľa odvetví dostupná na: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nama_10_a64__custom_8566752/default/table?lang=en
17. EUROSTAT. (2022). Databáza ohľadom spotreby energií, cien a energetickej bilancie odvetví dostupná na: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_bal_c__custom_8637394/default/table?lang=en

Electricity costs as a determinant of sustainability and investment attractiveness in the automotive industry

Stanislav ZÁBOJNÍK

Department of Economics, Faculty PEDAS, University of Zilina, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovakia

e-mail: stanislav.zabojnik@uniza.sk

Summary

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

Keywords: *unit energy costs, export competitiveness, automotive industry, electricity costs*

Identifikácia problémov s odpadom s použitím nástrojov kvality

Barbara CIECINSKA^a, Aleksandra MAJKA^a, Lýdia SOBOTOVÁ^{b*}

^a Rzeszow University of Technology, Powstanców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, Polsko, e-mail: barbara.ciecinska@prz.edu.pl, a.majkaa99@gmail.com

^b Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra riadenia podniku a inžinierstva prostredia, Park Komenského 5, 042 00 Košice, Slovensko

* korespondenční autor: e-mail: lydia.sobotova@tuke.sk

Súhrn

Environmentálny manažment sa zaoberá znižovaním negatívneho vplyvu výroby na životné prostredie. Identifikácia negatívnych faktorov môže byť niekedy náročná z dôvodu nízkej informovanosti zamestnancov závodu, nedostatočnej motivácie, neadekvátnej organizácie práce alebo neefektívneho riadenia. Článok uvádza príklad aplikácie nástrojov známych z manažérstva kvality na podporu environmentálneho manažérstva vo vybranom strojárskom podniku. Zamestnanecký prieskum metódou environmentálnej analýzy možných chýb a ich dôsledkov (Environmental Failure Mode and Effect Analysis, E-FMEA) a metódy „5 Prečo“ (5Whys) boli navrhnuté na identifikáciu rôznych problémov súvisiacich s environmentálnou záťažou výroby, a najmä s odpadom. Poukázalo sa na efektívnosť tímovej práce, spoločné napĺňanie cieľa minimalizácie odpadu vrátane nebezpečného. O metóde 5S sa diskutovalo ako o spôsobe organizácie pracovných staníc a uľahčenia neustáleho zlepšovania v súvislosti s odpadom.

Kľúčové slová: nástroje kvality, E-FMEA, 5 Whys, metóda 5S, odpadové hospodárstvo

Úvod

Mnoho spoločností dnes hľadá spôsoby, ako znížiť dopad svojich technológií na životné prostredie. Významným problémom je post- produkčný odpad. Pri použití danej technológie musí spoločnosť znášať dôsledky použitých zariadení, látok a nástrojov. Existuje množstvo stratégií znižovania odpadu, ako je znižovanie pri zdroji alebo opätovné použitie a zhodnocovanie. Redukcia pri zdroji znamená zmeny v produkte realizované nahradením škodlivých látok alebo technológií látkami alebo technológiami šetrnými k životnému prostrediu. Nie vždy je to však možné okamžite, alebo dokonca až po určitom čase z rôznych dôvodov. V takom prípade zostáva technológia zaťažujúca životné prostredie a závod hľadá ďalšie možnosti na zníženie zdravotných a environmentálnych záťaží ¹. Takouto príležitosťou je okrem dodržiavania parametrov procesu, predchádzania stratám či presnej prípravy výroby aj správna separácia tokov odpadov a správne nakladanie s nimi. V kontexte environmentálneho manažmentu existuje množstvo riešení a môžu to byť: systémový manažment podľa normy ISO 14001 alebo neformálny manažment, využívajúci postuláty čistej výroby ². Táto stratégia kladie dôraz na znižovanie znečistenia „pri zdroji“, teda vtedy, keď vzniká vo výrobnom procese. Pre spoločnosť to znamená úsporu materiálov, energie, pre ľudské zdravie a životné prostredie elimináciu alebo zníženie toxických surovín v mieste ich vzniku (napr. v rámci pracovných staníc) a celkové zníženie toxicity technologických procesov ³. Proces minimalizácie odpadu zahŕňa vypracovanie environmentálnej stratégie a vytvorenie organizačnej a technickej štruktúry umožňujúcej kontinuálne a systematické pôsobenie. Táto štruktúra by mala zahŕňať prehľad technológií, látok, foriem a metód aplikácie, ako aj tokov odpadu. Až potom je možné identifikovať možnosti eliminácie alebo zníženia množstva a obťažovania odpadom ⁴.

Vzhľadom na to, že mnohé spoločnosti majú zavedené systémy manažérstva kvality založené na ISO 9001, ako aj techniky Lean Manufacturing (LM) zamerané na udržanie určitej kvality produktov s primeraným tokom materiálov a výrobných činností ⁵, v článku je uvedená prípadová štúdia aplikácie

vybraných nástrojov známych z manažérstva kvality a LM na dosahovanie environmentálnych cieľov v súvislosti s minimalizáciou odpadu. V spoločnosti využívajúcej rôzne technológie bola FMEA aplikovaná v environmentálnom kontexte na identifikáciu problémov s odpadmi a ich klasifikáciu podľa dôležitosti ich vplyvu na životné prostredie. Doplnkom k procesu identifikácie problémov bol vypracovaný zamestnanecký dotazník na získanie predstavy o stave environmentálneho povedomia zamestnancov vo vybranej oblasti a na zistenie existencie ďalších organizačných problémov. Na identifikáciu základných príčin problémov bolo navrhnuté použiť metódu 5 Whys. Na základe výsledkov pozorovaní a analýz boli navrhnuté nápravné riešenia vrátane metódy 5S na dosiahnutie environmentálne priaznivých pracovných podmienok v budúcnosti.

Experimentálna časť

Identifikácia problémov s odpadom

V skúmanom podniku sa vo výrobnom procese využíva množstvo konvenčných pracovísk vybavených rôznymi technologickými zariadeniami. Na obrábanie sa používajú frézky, vŕtačky, sústruhy a brúsky, pri montážnych operáciách lepiace stanice a pri dokončovacích operáciách lakovacie stanice. Všetky technologické zariadenia vyžadujú pre správnu činnosť určité oleje, mazivá, chladiace kvapaliny. Zistilo sa, že spoločnosť používa vo významných množstvách:

- prevodové oleje pre sústruhy, frézky, vŕtačky,
- hydraulické oleje do brúsok,
- chladiace kvapaliny pre sústruhy, frézky a brúsky,
- farby, laky, emulzie, rozpúšťadlá, riedidlá, odmasťovače, antikorózne kvapaliny, kvapaliny na čistenie a údržbu strojov po obrábaní, lepidlá, tvrdidlá.

Rôznorodosť strojového parku a aj iných vykonávaných technologických činností generuje potrebu obrovského množstva chemických látok. Preskúmanie týchto látok ukázalo, že sú často škodlivé pre zdravie a životné prostredie. Mnohé z nich sú aj horľavé. Technologické vlastnosti týchto látok znemožňujú ich vyradenie z výrobného procesu, preto sú mimoriadne dôležité vhodné postupy a zaobchádzanie s týmito látkami. Okrem samotnej látky s nebezpečnými vlastnosťami predstavuje environmentálny problém z hľadiska environmentálnej záťaže nebezpečného odpadu aj zanechaný obal.

Ako prvý krok sa vykonal environmentálny prieskum a overilo sa nakladanie s látkami a ich odpadom. Zistilo sa, že v niektorých prípadoch bola manipulácia neprimeraná. Skladovanie bolo nájdené spôsobom, ktorý umožňoval rozliatie kvapalín, ich zapálenie, navyše boli identifikované neoznačené nádoby (fľaše, téglíky) a iné nádoby ako od výrobcu, vyplývajúce z praxe prelievania tekutín zamestnancami. Zistilo sa, že niektoré pracovné stanice vytvárajú obzvlášť veľké množstvo odpadu. Príkladom je montážna stanica, kde sa používajú rôzne lepidlá, tužidlá, niekedy v integrovaných a objemovo malých baleniach. Najmä na týchto pracoviskách vzniká značné množstvo odpadu po prípravných činnostiach, ako sú brúsny papier, použité brúsne kotúče, miešadlá, kefy, špachtle, hroty extrudérov, rukoväte a komponenty upínadiel. Ide o predmety vyrobené z rôznych materiálov, ktoré ak by boli čisté, tak by boli vhodné na triedený zber odpadu. Využitím pri lepení a znečistením sa však stávajú nebezpečným odpadom. Podobná situácia bola zistená na lakovacích stanicách. Na druhej strane pri obrábaní je spotreba mazív a olejov spôsobená intenzitou práce. Zistilo sa, že nastávajú obdobia zvýšenej spotreby, po ktorých dochádza aj k hromadeniu plastových a sklenených obalov, v ktorých boli zabalené. Okrem kontaminovaných kvapalín, nádob s kvapalinami a prístrojového vybavenia v dôsledku ich používania boli ako nebezpečné identifikované aj látky, papier, znečistený týmito látkami operátormi, príležitostne aj drevené alebo kovové časti znečistené pri preprave počas vykládky. Identifikácia a vyhodnotenie environmentálnych aspektov spoločnosti viedli k záveru, že okrem mnohých iných aspektov (ako je spotreba energie) sú významnými aspektmi: - nedostatok bezpečných pracovných postupov s nebezpečnými látkami - nesprávne skladovanie nebezpečných látok - nadmerná tvorba nebezpečného odpadu (vrátane obalov) - nedostatok správnych postupov nakladania s odpadom.

Environmentálna FMEA

Environmentálna FMEA bola použitá s cieľom minimalizovať alebo eliminovať riziko vystavenia ľudí a životného prostredia toxickým a nebezpečným látkam a záťaže nebezpečným odpadom nachádzajúcim sa na mnohých miestach⁶. Boli prijaté všeobecné kritériá analýzy navrhnuté autormi⁷ a uvedené v tabuľke 1.

Tabuľka 1: Všeobecné kritériá E-FMEA⁷

O Výskyt (Occurrence)	S Dôležitosť, význam (Significance)	D Zisťovanie (Detection)
Normy a environmentálne rozsahy	Normy a environmentálne rozsahy	Používanie systémov a kontrolných opatrení s ohľadom na stroje a zariadenia
Stabilita a porucha strojov a zariadení	Stabilita a porucha strojov a zariadení	Používanie systémov a dozorných opatrení s ohľadom na normy a rozsah environmentálnych procesov

Pravdepodobnosť výskytu nebezpečenstva je popísaná ukazovateľom „O“ v tabuľke 2. Popis sa týka možného rizika vplyvu procesu na životné prostredie vrátane prekročenia noriem, rozsahov ochrany životného prostredia, stanovených sankcií za poruchy procesov a strojov a používané technologické zariadenia, ktoré ovplyvňujú životné prostredie.

Tabuľka 2: Popis hodnôt ukazovateľa „O“⁷

O	O (Occurrence) Výskyt		Popis
1	Nepravdepodobný	Nevyskytuje sa	Vylučuje porušenie stanovených noriem a environmentálnych rozsahov v procese. Stabilná, bezporuchová prevádzka strojov a technologických zariadení.
2	Takmer neveriteľný	Dodanie nevyhovujúceho produktu je takmer nemožné. Veľmi vysoká kvalita procesu a schopnosť stroja.	Takmer je nemožné porušiť stanovené normy a environmentálne rozsahy pre implementovaný proces. Veľmi vysoká istota, že nedôjde k poruche strojov a technologických zariadení.
3	Málokedy	Občas sa vyskytnú nedostatky, ale málokedy. Vysoká kvalita procesu a výkon stroja.	Dochádza ku krátkodobým porušeniam zavedených environmentálnych noriem a rozsahov implementovaných procesov. Vysoká istota absencie poruchy strojových a technologických zariadení.
4 5 6	Priemerný	Vzhľad produktu je veľmi podobný. Proces má dobré kvalitatívne vlastnosti, ale je nestabilný.	Implementácia procesov so zavedenými normami a environmentálnymi rozsahmi, ale dochádza k dočasným porušeniam. Je pravdepodobné, že dôjde k poruche strojov a technologických zariadení.
7 8	Často	Vyskytujú sa časté prestoje. Proces má nízku kvalitu a je nestabilný.	Proces je charakterizovaný častým porušovaním environmentálnych noriem a rozsahov. Časté poruchy strojov a technologických zariadení ovplyvňujúce životné prostredie.
9 10	Veľmi bežný	Zlyhanie je takmer nevyhnutné. Proces má veľmi nízku účinnosť a kvalita je nízka.	Proces sa často vykonáva na úrovni, ktorá nespĺňa stanovené environmentálne normy a rozsahy. Veľmi často sa vyskytujúce poruchy strojov a technologických zariadení ovplyvňujú životné prostredie.

Tabuľka 3: Popis hodnôt ukazovateľa „S“⁷

S	S Dôležitosť/ Význam defektu	Popis	
1	Veľmi malá	Chyba produktu neovplyvní používanie. Procesná chyba žiadnym spôsobom neovplyvní kvalitu produktu/služby.	Poruchy strojov a zariadení v procese neovplyvňujú životné prostredie. Nedochádza k porušovaniu environmentálnych noriem.
2 3	Malá	Porucha je nepatrná a vedie len k miernemu zhoršeniu kvality produktu. Porucha procesu mierne ovplyvňuje kvalitu produktu /služby.	Takmer je nemožné porušiť stanovené normy a environmentálne rozsahy pre implementovaný proces. Veľmi vysoká istota, že nedôjde k poruche strojov a technologických zariadení.
4 5 6	Priemerná	Chyba produktu naznačuje jasnú nespokojnosť. Procesná chyba výrazne ovplyvňuje kvalitu produktu.	Zvyšujúci sa počet porúch strojov a zariadení má jasný vplyv na životné prostredie a vyžaduje prijatie metód na zlepšenie stabilizácie. Proces prestojov je krátky, čo mierne ovplyvňuje plynulosť výroby. Porušenie environmentálnych noriem je zriedkavé a vplyv na životné prostredie je lokálny (v oblasti strojov, zariadení).
7 8	Veľká	Výrobok nie je možné používať podľa určenia. Chyba v procese spôsobuje, že produkt je nekompatibilný.	Vyskytujúce sa poruchy strojov a zariadení majú významný vplyv na životné prostredie a vyžadujú si viac než len štandardné metódy stabilizácie procesov. Prerušený proces vážne ovplyvňuje kontinuitu výroby. Prekračovanie environmentálnych noriem ovplyvňuje prostredie okolo výrobných hál.
9 10	Veľmi veľká	Chyba produktu ohrozuje bezpečnosť užívateľa alebo porušuje zákon. Porucha procesu môže viesť k potrebe opravy produktu.	Poruchy strojov a zariadení majú veľký vplyv na životné prostredie a ľudí a vyžadujú si špecializované metódy stabilizácie procesov vrátane zásahu špecialistov. Proces prerušenia má strategický vplyv na kontinuitu výroby. Prekračovanie environmentálnych noriem ovplyvňuje prostredie väčšie ako len výrobná hala/pracovisko.

Zistiteľnosť porúch sa môže líšiť a môže zahŕňať zariadenia a polohy, ktoré ovplyvňujú životné prostredie. Spôsob výberu hodnoty D indexu je uvedený v tabuľke 4.

Tabuľka 4: Popis použitia ukazovateľa „D“⁷

D	D	Ťažkosti s detekciou	Popis
1 2	Veľmi malé	Aplikované kontrolné opatrenia a poskytnutý dohľad poskytujú takmer istotu, že sa zistí chyba produktu alebo narušenie procesu, ktoré môže spôsobiť chybu.	Použitý systém a opatrenia dohľadu poskytujú takmer úplnú istotu na: - predpovedanie porúch strojov a zariadení a ich ochrana pred vznikom nebezpečenstva; - stabilita procesu zostáva v rámci akceptovaných environmentálnych noriem a rozsahov.
3 4	Malé	Používané kontrolné a dozorné opatrenia a monitorovanie poskytujú dobrú príležitosť na odhalenie chýb produktu alebo narušenia procesu.	Aplikovaný systém a opatrenia dohľadu poskytujú príležitosť: - predvídať poruchu strojov a zariadení a chrániť ich pred nebezpečenstvom; - detekcia nestability procesu v rámci akceptovaných environmentálnych noriem a rozsahov.
5 6	Priemerné	Zavedené kontrolné opatrenia ponúkajú možnosť odhaliť poruchu alebo prerušenie procesu, ale majú obmedzenú schopnosť ho kontrolovať.	Používaný systém a opatrenia dohľadu poskytujú schopnosť predvídať poruchy strojov a zariadení a chrániť ich pred environmentálnymi rizikami.
7 8	Vysoké	Je veľmi pravdepodobné, že kontrolné a dozorné opatrenia neodhalia chybu alebo prerušenie procesu.	Používaný systém a opatrenia dohľadu nedokážu predpovedať poruchu strojov a zariadení a ich ochranu pred vznikom ohrozenia životného prostredia.
9 10	Veľmi veľká	Dá sa s vysokou istotou predpokladať, že prijaté kontrolné opatrenia neodhalia chyby produktu alebo narušenie procesu.	Používaný systém a opatrenia dohľadu umožňujú len veľmi málo predpovedať poruchu strojov a zariadení a ich ochranu pred vznikom environmentálnych rizík.
10	Nemožné	Nie sú známe žiadne kontrolné a dozorné opatrenia na zisťovanie chyby produktu alebo prerušenia procesu.	Neexistujú žiadne dostupné systémové a dozorné opatrenia a dohľad, ktorý by predvídal poruchy strojov a zariadení a chránil ich pred environmentálnymi rizikami.

Environmentálny prieskum, 5 Whys, 5S

V spoločnosti bol vypracovaný prieskum na získanie informácií priamo od zamestnancov o zaužívaných postupoch z dôvodu, že problematika látok, odpadov a najmä odpadov z nebezpečných látok sa opakuje na viacerých pozíciách. Dotazník s 10 otázkami bol distribuovaný zamestnancom každého oddelenia. Formulár prieskumu je uvedený v tabuľke 5.

Tabuľka 5: Environmentálny prieskum zamestnancov

Environmentálny prieskum (Environmental survey)			
No.	Otázky	Áno	Nie
1.	Používate pri svojej práci nebezpečné látky?		
2.	Oboznámili ste sa s kartami bezpečnostných údajov nebezpečných látok, ktoré používate?		
3.	Máte určené miesto na skladovanie týchto látok na pracovnej stanici?		
4.	Považujete súčasné miesto skladovania látok za bezpečné?		
5.	Viete, ako naložiť s odpadom, ktorý zostane na pracovnej stanici?		
6.	Viete, čo sú to nebezpečné odpady?		
7.	Je na vašom pracovisku organizované miesto na odpad?		
8.	Existuje dostatok školení o obťažovaní firemným odpadom?		
9.	Udržiavali by ste poriadok na svojom pracovisku v súvislosti s látkami a odpadom, ak by bolo správne organizované?		
10.	Viete vymenovať látky, s ktorými prichádzate pri práci do kontaktu?	

Poznámka: Na zodpovedanie otázok 1 – 9 musíte označiť jednu odpoveď ÁNO alebo NIE umiestnením X a pre otázku 10 napísať vlastnú odpoveď.

Na určenie základných príčin nedostatkov v súvislosti s nakladaním s nebezpečnými látkami a odpadmi sa použila technika 5 Whys^{8, 9, 10}. V skúmanej spoločnosti prebehol brainstorming tímu zamestnancov z rôznych oddelení a v reakcii na situáciu položili 5 otázok. Na usporiadanie pracovných staníc bola použitá technika 5S10. Tento krok bol dôsledkom výsledkov získaných po predchádzajúcich krokoch. V skúmanom kontexte išlo o zjednodušenú verziu, zaoberajúcu sa len chemickými látkami a odpadmi. Bola vykonaná kontrola a boli vybrané látky potrebné pre procesný krok pracoviska, a to tým, že boli systematizované ich rozdelením na nebezpečné látky a bezpečné (ostatné) látky, ako aj uvedením druhu a nakladania s odpadom po takomto kroku¹¹. Pracovné stanice boli následne vyčistené. Následne bola vykonaná štandardizácia pracovísk a naplánované školenie zamestnancov tak, aby pracoviská zostali upratané, boli určené priestory na skladovanie odpadu a do budúcnosti bol zachovaný bezpečný stav pre zdravie a životné prostredie.

Výsledky a diskusia

Výsledkom E-FMEA bolo získané numerické hodnotenie rizika environmentálneho vplyvu procesu, v skúmanom prípade vplyvu nebezpečných látok a odpadov na životné prostredie. Kritická hodnota RPN (Risk Priority Number) bola stanovená ako súčin troch predpokladaných hodnôt ukazovateľov (O·S·D) podľa popisov uvedených v tab. 2 – 4. Číslo 125 (ako násobok priemerných hodnôt každého ukazovateľa) bolo brané ako kritická hodnota, od ktorej sa majú začať nápravné opatrenia. Výsledky analýzy sú uvedené v tabuľke 6.

Analýza zistila, že pri vŕtaní a brúsení vzniká relatívne malé množstvo odpadu. Vŕtanie, pri ktorom sa vyrábajú napríklad otvory, závitky a podrezania, zahŕňa odoberanie malého objemu materiálu. Tieto operácie nie sú intenzívne a v technologických procesoch sa nevyskytujú vo významnom počte, preto je spotreba nástrojov malá. V dôsledku toho množstvo odpadu tiež nie je významné (skóre RPN = 100). Brúsenie sa na druhej strane vykonáva na vybraných šaržiach výrobkov, aby sa dosiahla zlepšená kvalita povrchu a rozmerová presnosť. Odpad, je najmä prach, ktorý je odvádzaný výfukmi s filtrami a neznečisťuje vzduch, ako aj opotrebované alebo poškodené brúsne kotúče. Stávajú sa odpadom, ale takéto situácie sú sporadické (hodnotenie RPN = 60). Vŕtanie a brúsenie nepredstavuje významný ekologický problém.

Tabuľka 6: E-FMEA pre podnikové procesy v kontexte odpadu

Proces	Defekt/Chyba	Príčina	Efekt	O	S	D	RPN Číslo priority rizika
Sústruženie	- kovový odpad (zvyšky polotovarov, poškodené nástroje, triesky), - odpad z obalov, - tekutý odpad (použité chladiace kvapaliny)	Potreba hrubovania a dokončovania na dosiahnutie požadovaných tvarov a rozmerov dielov	Záťaž priemyselného a nebezpečného odpadu	7	5	4	<u>140</u>
Frézovanie	-kovový odpad (polotovary, triesky), - odpad z obalov, - tekutý odpad (použité chladiace kvapaliny)	Získanie tvaru a rozmerov zo špecifikácií a intenzity procesu rezania	Záťaž priemyselného a nebezpečného odpadu	7	5	4	<u>140</u>
Vŕtanie	- kovový odpad (triesky), - odpad z obalov	Výroba konštrukčných prvkov (diery, závity)	Záťaž priemyselného a nebezpečného odpadu	4	5	4	<u>100</u>
Brúsenie	- keramický odpad, - kovový prach	Obrábanie a opotrebovanie brúsnych kotúčov	Záťaž priemyselného odpadu	3	4	5	<u>60</u>
Lepenie	- zvyšky chemikálií, - obaly po chemikáliách, - kontaminované vybavenie - znečistené čistiace utierky, papier	Špecifiká procesu lepenia v kontexte rôznych konštrukčných materiálov	Záťaž priemyselného a nebezpečného odpadu	9	8	9	<u>648</u>
Lakovanie	- zvyšky farieb a lakov, - obaly z farieb, rozpúšťadiel, - znečistené kefy, valčeky atď. - znečistené čistiace utierky, papier	Technológia lakovania	Záťaž priemyselného a nebezpečného odpadu	9	7	7	<u>441</u>

Sústružnícke operácie sú počiatočnými operáciami v podnikových procesoch. Delia sa na hrubovacie a tvarovacie stupne obrábania. Hrubovanie zvyčajne súvisí s odoberaním značného množstva materiálu, najmä ak polotovar nie je tvarovo veľmi blízky hotovému produktu. Žiaľ, závod, využívajúc nižšiu cenu, vo väčšine prípadov objednáva typické typorozmery polotovarov, čím vzniká obrovské množstvo kovového odpadu vo forme triesok. Tvarovacím štádiom obrábania je odstránenie o niečo menšieho prídavku, no stále je zdrojom značného množstva odpadu. Pri sústružení sa nástroje intenzívne opotrebúvajú a poškodzujú sa aj ostatné súčasti nástrojov (napr. stredy, uchopovacie čeluste skľučovadiel, upínacie platne), čím vzniká kovový odpad. Sú, podobne ako triesky, recyklovateľným odpadom.

Sústruženie sa vykonáva s použitím rezných mazív, zvolených podľa druhu a intenzity spotreby podľa druhu materiálu a parametrov obrábania. Sústružnícky proces je teda zdrojom odpadu v podobe použitých chladív. Tieto by mali byť zlikvidované vhodným spôsobom. Ďalšou záťažou z hľadiska odpadu sú aj plastové obaly týchto tekutín. V analýze je potrebné zlepšiť sústružnícke operácie, získané

hodnotenie RPN = 140. Podobné hodnotenie dostali aj frézovacie operácie, sú podobné charakterom obrábania a vytvárajú podobné druhy odpadu. Ich značné množstvo (najmä kovové triesky) je spôsobené tvarom dielu a vyhybaním sa skladaným výrobkom. V takýchto prípadoch si celistvý výrobok alebo obrobok vyžaduje opracovanie, aby sa odstránili prídavky na obrábanie materiálu. Frézovacie operácie boli hodnotené podobne ako sústruženie (skóre RPN = 140).

Najväčším environmentálnym problémom podľa E-FMEA sú operácie lepenia a lakovania. Lepenie si vyžaduje špeciálne postupy na prípravu povrchov lepených dielov. Tieto postupy sú rôznorodé a ich výber závisí od druhu materiálu a predpokladanej pevnosti spoja. Používajú sa mnohé chemické prípravky, ako sú odmasťovače, rozpúšťadlá, benzín, petrolej, roztoky kyselín, solí, zásad, aktivátory a iné. Vytvorenie spoja zahŕňa použitie zmesi živice a tvrdidla, v závode sa používa veľa lepidiel a tvrdidiel. Po takýchto operáciách zostávajú zvyšky lepidiel, špinavé náradie (špičky mixérov, špachtle, nádoby, kefy, žmýkačky), textilie a papier.

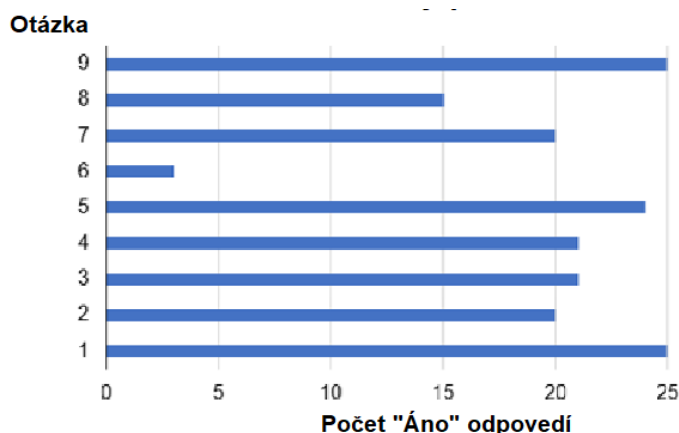
Všetky vyššie uvedené zložky vytvárajú odpad vo forme obalov, jednotlivých plastových, sklenených alebo kovových nádob a hromadných, kartónových, kovových obalov. Samostatným problémom sú kontaminované kvapaliny (napr. po galvanizačných kúpeľoch). Všetky uvedené materiály upravujúce lepenie sú však priemyselným a nebezpečným odpadom. Operácie lepenia boli kriticky hodnotené aj z dôvodu organizácie pracovísk, ktoré nie sú pre pracovníkov bezpečné z dôvodu hromadenia rôznych látok. Kvalifikovali sa na okamžité zlepšenie (skóre RPN = 648). Podobne vzhľadom na použité látky a množstvo problematického odpadu boli hodnotené aj lakovacie operácie (skóre RPN = 441). Použité farby a laky, ktoré nie sú vždy ekologické, sú zdrojom odpadu v podobe zvyškov tekutín, znečistených obalov a zariadení (ako sú štetce, valčeky a maliarske pištoly). Podobne ako pri lepení sú potrebné zmeny v postupe a implementácia vylepšení, aby boli lakovne bezpečné pre životné prostredie a zdravie.

V dôsledku E-FMEA boli sformulované hlavné environmentálne úlohy zamerané na minimalizáciu alebo elimináciu nebezpečného odpadu. Tieto úlohy, respektíve pre skupiny technologických operácií sú uvedené v tabuľke 7.

Tabuľka 7: Environmentálny prieskum zamestnancov

Ciel': minimalizovať alebo eliminovať odpad	
Pracovné stanice a technologické operácie	Úlohy
Obrábanie Abrazívne obrábanie	<ol style="list-style-type: none"> 1. Skontrolujte a zhodnoťte možnosť použitia polotovarov, ktoré sa tvarom viac podobajú hotovým výrobkom (ako sú odliatky, výkovky) 2. Skontrolujte a zhodnoťte možnosť použitia polotovarov kombinovaných výrobkov 3. Pri výbere riešenia z bodu 2 zväžte spôsob spájania taký, ktorý nezvyšuje množstvo odpadu 4. Triedenie odpadu, organizácia skladovania, zneškodňovanie príslušnými spoločnosťami 5. Zvažovať a používať ekologické prípravky, upravovať technologické pokyny
Montáž (lepenie) Lakovanie	<ol style="list-style-type: none"> 1. Školenie o druhoch používaných prípravkov a ich škodlivosti 2. Čistenie pracovísk a organizácia lepenia/lakovania alebo náteru farieb s ohľadom na podmienky bezpečnosti zdravia a životného prostredia 3. Usporiadanie priestoru, výber odpadu a správne skladovanie 4. Realizácia alternatívnych spôsobov lakovania a prípravy povrchu pred lepením 5. Zohľadnenie nevyhnutnosti lepenia a možnosti zmeny technológie lepenia na ekologickú

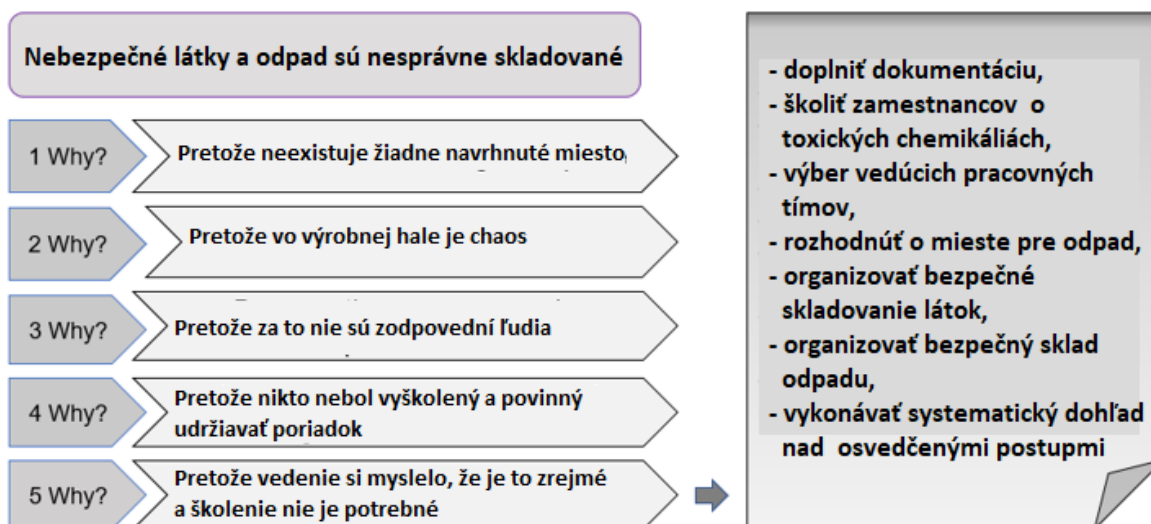
Takto formulované výsledky analýzy je možné použiť na vytvorenie pracovného harmonogramu a po stanovení číselného cieľa, ktorý sa má dosiahnuť, sa stanú environmentálnym programom spoločnosti. Environmentálny prieskum sa uskutočnil medzi 25 zamestnancami a výsledky sú uvedené na obrázku 1.



Obrázok 1: Súhrn výsledkov environmentálneho prieskumu

Prieskum ukazuje, že pracovníci používajú širokú škálu chemikálií (otázka 1, 25/25). Najviac zaťažované pracoviská sú spojovacie a lakovacie pracoviská, kde boli spomenuté prípravky rôzneho použitia: na odstraňovanie korózie, na odmasťovanie, umývanie, aktivovanie, vytváranie oxidovej vrstvy, rozpúšťadlá, farby, laky a mnohé iné (Q10). Väčšina pracovníkov si však neprečítala karty bezpečnostných údajov (Q2, 20/25). Zamestnanci tiež priznali, že nie všetky pracovné stanice majú zorganizovaný priestor pre takéto látky (Q3, 21/25) a podľa názoru väčšiny nie je súčasné miesto, kde sú uskladnené, bezpečné (Q4, 21/25). Analýzou získaných odpovedí je možné vidieť súvislosť medzi neznalosťou vlastností látok a pravidiel zaobchádzania s nimi (z karty bezpečnostných údajov chemického prípravku) a charakteristikami odpadov vznikajúcich po týchto látkach. Ak zamestnanec nevie, že látka má vlastnosť nebezpečnú pre životné prostredie, nemôže ani uviesť, že nebezpečné sú aj predmety, ktoré sú ňou kontaminované. Povedomie o tom, že predmetný odpad je nebezpečný, preukázali len 3 respondenti (Q6, 3/25). V súvislosti s nakladaním s odpadmi sú známe všeobecné pokyny (Q5, 24/25), ale už na vlastnom pracovisku je to problém. Mnoho zamestnancov odpovedalo, že neexistuje žiadne organizované miesto na odpad (Q7, 20/25). Naproti tomu rozsah školení je podľa názoru niektorých zamestnancov dostatočný (Q8, 15/25), hoci sa to nepremiata do každodennej praxe (podľa Q2). Všetci respondenti vyjadrili ochotu dodržiavať osvedčené postupy v súvislosti s odpadom, ak sú pracovné stanice organizované správnym spôsobom (Q9, 25/25).

Technika 5 Whys sa použila na identifikáciu základnej príčiny zlých praktík nedostatočnej segregácie a nesprávneho skladovania látok aj odpadu. Problém bol formulovaný „nebezpečné látky a odpad sú nesprávne skladované“ a diskusiou, zodpovedaním otázok sa zistilo, že pre látky aj odpad je príčina rovnaká (obrázok 2).



Obrázok 2: Výsledky 5 Why / Prečo

Použitím techniky 5 Whys sa pozornosť upriamila na úlohu manažmentu v systéme riadenia spoločnosti. Zamestnanci jednotlivvo vo väčšej či menšej miere preukazujú environmentálne znalosti, ale nie sú osobami oprávnenými iniciovať zmeny. Úlohou manažmentu je udávať smer zlepšovaniu výrobných procesov a najmä komunikovať, delegovať úlohy a dohliadať na ich vykonávanie. V skúmanej situácii chýbalo vedenie a dôležité otázky sa riešili okrajovo. Po analýze sa táto situácia môže priaznivo zmeniť.

Po vykonaní E-FMEA a 5 Whys bolo prirodzeným dôsledkom upratanie pracovných staníc a priestorov na výrobnom podlaží, kde sa teraz nachádza sklad látok a sklad odpadu. Na hladké vykonanie procesu zlepšovania bola použitá technika 5S. V rámci prvého S (Sort, Separate) bol na pracoviskách brúsenia a obrábania identifikovaný odpad vo forme plastových nádob na prevádzkové kvapaliny a chladiace kvapaliny. V niektorých prípadoch nešlo o organické tekutiny. Špecifický charakter obrábania mal za následok aj použité alebo poškodené kovové alebo keramické nástroje, kovové časti skľučovadiel a zvyšky polotovarov, ako aj oddeliteľné triesky. Väčšina odpadu z týchto pracovných staníc je recyklovateľná.

Montážne (lepenie) a lakovne boli určite ekologickejšie. Vybrala sa veľká skupina látok s rôznym účelom, konzistenciou a vplyvom na životné prostredie. Špecifický charakter výroby lepiacich spojov a náterov farieb mal za následok vznik rôzneho odpadu: jednorazové, znečistené kovové alebo plastové štetce, špachtle, aplikátory, kovové, sklenené alebo plastové nádoby na tekutiny, znečistené látky, papier, fólie z jednorazových resp. kolektívne balenie. Mnohé z uvedených predmetov boli kontaminované nebezpečnými prípravkami a predstavovali nebezpečný odpad. Preskúmanie všetkých lokalít poskytlo cenné informácie o rozsahu problému a potrebných ďalších krokoch v odpadovom hospodárstve.

V druhom kroku (Set in order) bola navrhnutá platňa potrebná na skladovanie, navrhnuté alebo zakúpené police a skrinky s následným označením. Stanovila sa pracovná požiadavka na látky zodpovedajúce vykonávanej práci. Overili sa existujúce postupy pri nákupe materiálu a zbere odpadu. Bola stanovená zodpovednosť zamestnancov za činnosti vykonávané s použitím chemických látok.

Následne boli v treťom kroku (Scrub, Shine) zo staníc odstránené prvky, ktoré boli predtým označené ako nepotrebné, a usporiadané potrebné prípravy a vybavenie. V súčasnosti nie je v areáloch neporiadok, odpad sa nepovaľuje na rôznych miestach, ale sú vhodne označené kontajnery, ktoré sa vyprázdňujú v intervaloch stanovených tak, aby kontajner nepretiekol a odpad sa nevysypal. Stojany sú vybavené zariadením na udržanie čistoty.

Štvrtá a piata etapa, teda štandardné práce a udržiavanie rozvinutého stavu, sú kontinuálne etapy, ktoré sú potrebné teraz aj v budúcnosti. Boli skontrolované už existujúce karty bezpečnostných údajov a bola určená osoba zodpovedná za ich aktualizáciu v prípade zmien alebo nákupov. Skontrolovali sa príručky pracovných staníc, posúdili sa riziká látok a stanovili sa zodpovednosti. Od dôslednosti riadenia a postoja zamestnancov k stanoveným pravidlám závisí efektívnosť riadenia skúmanej oblasti podniku.

Záver

Aplikácia nástrojov známych v oblasti manažérstva kvality sa ukázala ako použiteľná a efektívna v kontexte environmentálnych problémov. Originalita práce spočíva vo využití metód E-FMEA a 5 Whys, ich efektívnosti a v snahe odhaľovať a znižovať množstvo odpadov vo výrobnom procese v strojárskych výrobných zariadeniach, zlepšiť prevádzku výroby skladovaním a dopravou materiálov a odpadov a zároveň umožnila identifikovať problémy a ich príčiny vo výrobnej aj organizačnej oblasti.

Použitím techniky 5 Whys bola venovaná pozornosť úlohe manažmentu v systéme riadenia spoločnosti. Manažment zohráva dôležitú úlohu pri rozhodovaní a vytváraní pracovnej kultúry rešpektujúcej životné prostredie a zdravie zamestnancov. Implementácia 5S a ďalšie zlepšovanie výroby umožní v budúcnosti minimalizovať odpad, najmä nebezpečný odpad v závode, posúdiť riziká, určiť zodpovednosť a aktualizovať zmeny v budúcnosti a tým ušetriť výrobné náklady.

Pod'akovanie

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

Literatúra

1. Zasady doboru materiałóv inżynierskich z kartami charakterystyk. (Principles for the selection of Engineering materials with data sheets) ed. Dobrzański L. Silesian University of Technology Publishing, Gliwice, 2001, s. 39
2. ISO 14001:2015 Environmental management systems - Requirements and application guidelines.
3. GIANNETTI, B. F. - AGOSTINHO F. - CABELLO ERAS, J. J. - YANG ZHIFENG - ALMEIDA C.M.V.B.: Cleaner production for achieving the sustainable development goals. Journal of Cleaner Production, s. 271, 2020.
4. OLIVEIRA, J. A. – OLIVEIRA, O. J. – OMETTO, A. R. – FERRAUDO, A. S. – SALGADO, M. H.: Environmental Management System ISO 14001 factors for promoting the adoption of Cleaner Production practices. Journal of Cleaner Production, Volume 133, s.1384 – 1394, 2016.
5. JIMÉNEZ, M. – ROMER, L. – FERNÁNDEZ, J. – ESPINOSA, M. del Mar- DOMINGUEA, M.: Extension of the Lean 5S Methodology to 6S with A Additional Layer to Ensure Occupational Safety and Health Levels. Sustainability, 11, s. 3827, 2019.
6. ROSZAK, M. – SPILKA, M. – KANIA, A.: Environmental Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) – A new approach to methodology, Metalurgija 54, 2, 2015.
7. Wu, Z. – LIU, W. – NIE, W.: Literature review and prospect of the development and application of FMEA in manufacturing industry. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 112, 2021.
8. CARD, A. J.: The problem with `5 whys`. BMJ Quality&Safety, 26, 2017.
9. MIZUNO, S.: Management for Quality Improvement: the 7 new QC tools, 2020.
10. SINGH, J. – RASTOGI, V. – SHARMA, R.: Implementation of 5S practices: A review. Uncertain Supply Chain Management 2, 2014.
11. BADIDA, M. - SOBOTOVÁ, L. - MORAVEC, M. - DZURO, T.: Environmental Engineering. RAM-Verlag, Lüdenscheid, Germany, s.346, ISSN 978-3-96595-027-6.

Identifying waste problems using quality tools

Barbara CIECINSKA^a, Aleksandra MAJKA^a, Lýdia SOBOTOVÁ^{b*}

^a Rzeszow University of Technology, Powstanców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, Polsko
e-mail: barbara.ciecinska@prz.edu.pl, a.majkaa99@gmail.com

^b Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra riadenia podniku a inžinierstva prostredia, Park Komenského 5, 042 00 Košice, Slovensko

* corresponding author: e-mail: lydia.sobotova@tuke.sk

Summary

Environmental management deals with reducing the negative impact of production on the environment. Identification of negative factors can sometimes be difficult due to low awareness of plant employees, lack of motivation, inadequate work organization or ineffective management. The article presents an example of the application of tools known from quality management to support environmental management in a selected machinery enterprise. An employee survey, E-FMEA and 5Whys were proposed for identifying various problems related to production nuisance, and waste nuisance in particular. The effectiveness of teamwork, the joint pursuit of the goal of minimizing waste, including hazardous waste, was pointed out. The 5S method was discussed as a way to organize workstations and facilitate continuous improvement in the context of waste.

Keywords: quality tools, E-FMEA, 5Whys, 5S method, waste management

Assessment of the environmental impacts of wood plastic composites

**Helena HYBSKÁ, Dagmar SAMEŠOVÁ, Martina MORDÁČOVÁ,
Mária GREGUŠOVÁ, Paulína MAŠKOVIČOVÁ**

*Technical University in Zvolen, Faculty of Ecology and Environmental Sciences,
Department of Environmental engineering, T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen,
Slovakia*

e-mail: hybska@tuzvo.sk, samesova@tuzvo.sk

Summary

The best ways to limit the release of plastics, and consequently nanoplastics, into the environment are their reduction, reuse, and primarily recycling. Due to the wide usage of chipboards in both indoors and outdoors, recycling plastic waste from the automotive industry as a substitute for wood in chipboards is one of the current methods of their utilization. This article addresses the assessment of the impacts of wood-plastic composites on aquatic and terrestrial environments. Nine chipboard samples were tested, manufactured with 10 %, 15 % and 20 % proportion of ground granulate from painted and unpainted bumpers and fuel tanks, from which the aqueous leachates were prepared. The pH and COD were determined in the aquatic leachates. The effect of the aqueous leachates from the wood-plastic composites samples was monitored by ecotoxicological tests with the test organisms Lemna minor and Daphnia magna. The results confirmed that an increased content of plastic waste in chipboard leads to a decrease in the content of organic matter in the aqueous leachates in comparison to chipboard without wood replacement.

Key words: *automotive industry, plastic composites, chipboard, ecotoxicological tests, environment*

Introduction

Human activities, including the automotive industry, generate significant waste that harms the environment. Recycling automotive waste materials, such as metals, plastics, and rubber, can help address resource depletion and environmental issues. In Slovakia, there are sufficient facilities to process old vehicles, but finding suitable waste processors remains a challenge. The increasing use of plastics in car production contributes to plastic waste, with plastics primarily used in bumpers, dashboards, seats, fuel tanks, and batteries. Recycling these plastics is vital for sustainability^{1, 2}. Recycling leads to reduced extraction of materials and less landfill deposition, benefiting the environment. Annually, 4.4 million tons of plastics are used in automotive equipment production. Recycled materials from old cars have various applications, such as using rubber granulate from tires in new tire production and producing sound-absorbing materials from recycled car seats, carpets, and airbags. Plastics, being durable and slow to biodegrade, pose environmental risks, including entering the food chain^{3, 4}. Ecotoxicological bioassays assess waste's potential toxic effects at molecular to ecosystem levels. Ecotoxicity, a dangerous waste property, results from its toxic impact on the environment. This article focuses on repurposing plastic waste as a wood substitute in chipboards and uses ecotoxicological tests to evaluate its environmental impact^{5,6}.

Experimental part

Production of wood-plastic boards

The tested single-layer chipboards with the addition of crushed waste plastics were prepared in the laboratories of the Woodworking Faculty of the Technical University in Zvolen, the Department of Chemistry and Chemical Technology and the Department of Wood Technology. The basic material was supplemented with a bumper - unpainted, polypropylene, bumper - painted, polypropylene and fuel tank, polyethylene. Chipboard samples with dimensions of 360 mm x 280 mm x 15 mm were tested. The percentage of plastics in the samples was 10, 15 and 20 % waste plastics. In the article, we use abbreviations: P for painted bumpers, UP for unpainted bumpers and FT for fuel tanks. The numerical value for the index represents the percentage of the component.

Production process

Chipboards were prepared by cold pre-pressing particle mats under a pressure of 1 MPa and then hot pressing under pressure on a laboratory press CBJ 100–11, TOS (manufacturer Rakovník, former Czechoslovakia). The wood particles crushed granulate and resin mixture were mixed in a laboratory application drum. One wooden composite weighed 971 grams after mixing into the mold. The mold was placed in a hydraulic prepress machine for about 2 minutes. Pre-pressing was followed by hot pressing under pressing pressures of 30, 15 and 7.5 MPa at different time intervals. The total pressing time was 6 minutes at a temperature of 240 °C. Due to the higher content of recycled plastics in chipboards compared to the conditions a higher temperature could have been used during their pressing⁷.

Preparation of water extracts

Demineralized water adjusted to pH 3 was used to prepare the extracts. The volume of water in which the samples were leached was calculated according to the procedure resulting from^{8,9}. The samples were infused in glass containers for 24 hours. The chipboards were removed and the leachate was used for testing.

Determination of pH and chemical oxygen consumption

An instrument with a combined electrode was used to determine pH. pHmeter, type InoLab Level 1, WTW Germany¹⁰. The determination method for chemical oxygen consumption is based on STN¹¹.

Ecotoxicological testing

To assess the effects of substances dissolved in water extracts from chipboard samples, we performed preliminary tests: growth inhibition (stimulation) test on *Lemna minor* and acute toxicity test on *Daphnia magna*.

Growth inhibition (stimulation) test on *Lemna minor*:

This test evaluates the toxic effects of substances on freshwater plants. It is a standardized test¹² with the test organism *Lemna minor*¹³.

Acute toxicity test on *Daphnia magna*

Test is most often used to assess the toxic effect of substances in the aquatic environment. Immobilization of the organism is evaluated. The organisms used cannot be older than 24 hours^{14,15}.

Results and discussion

Determination of pH and COD

COD (Chemical Oxygen Demand) serves as an indicator for organic water pollution. In our study, water leachates from chipboard samples used in various environments were simulated to assess their impact on surface water. The COD values in control samples, representing clean chipboards, exceeded the legal limit by 50 times by Regulation of the Government of the Slovak Republic amending Regulation of the Government of the Slovak Republic No. 269/2010 Coll., which establishes requirements for achieving good water status. Interestingly, as the proportion of waste replacing wood increased, the organic substance content extracted into the water decreased, possibly due to the poor solubility of plastics used in chipboards. The pH levels also varied, with the addition of waste plastic resulting in higher pH values. Specifically, the sample containing 20% granulate from painted bumpers had the lowest COD values. This trend was consistent in leachates from boards containing waste rubber from the automotive industry¹⁶.

Table 1: Labeling of samples and their composition

	UP 10	UP 15	UP 20	P 10	P 15	P 20	FT 10	FT 15	FT20	C
COD mg/l	1 305	1209	1 112	1 499	1 209	919	1450	1401	1450	1655
pH	5.16	5.02	5.02	5.09	5.05	4.96	4.85	5.02	5.01	3.66

Lemna minor growth inhibition test

The preliminary test with test organisms *Lemna minor* is negative if the growth inhibition is < 30% compared to the control and positive if the growth inhibition is ≥ 30%^{12,13}.

Table 2: Representation of *Lemna minor* growth inhibition

Sample	I _μ , %				Number of repetitions
	Average	SD	-95.00%	95.00%	
P	81.56	3.10	73.60	89.52	6
P	78.57	1.88	73.74	83.40	6
P	74.06	4.61	62.22	85.90	6
UP	70.08	2.77	62.96	77.20	6
UP	68.87	2.67	61.99	75.74	6
UP	64.54	4.72	52.41	76.68	6
FT	83.40	4.09	72.88	93.92	6
FT	73.09	2.96	65.47	80.70	6
FT	64.05	2.98	56.40	71.71	6

By using plastic waste in the board, growth rate inhibition is reduced. In the pure board sample, the inhibition was 79.18%. Between the tested samples with painted and unpainted bumpers, the difference in inhibition is approximately 10%. The sample with 10% content of fuel tank waste had the highest growth inhibition. *Lemna minor* has been successfully used as a test organism to evaluate the toxic effects of chemicals for several years, which is also confirmed by a study by Hybská et al.¹⁶, where the use of *Lemna minor* to evaluate the toxicity of leachates from waste tires was confirmed.

Acute toxicity test *Daphnia magna*

The *Daphnia magna* preliminary test result is negative if < 50% death or immobilization occurred during the test. The test is positive if death or immobilization is $\geq 50\%$ compared to the control^{14, 15}. The number of immobilized individuals was evaluated after 24 hours and 48 hours. % immobilization after 48 hours is recorded in Table 3.

Table 3: Immobilization (I in %) of *Daphnia magna* after 48 hours

	P 10	P 15	P 20	UP 10	UP 15	UP 20	FT 10	FT 15	FT 20
	70	60	65	60	80	70	55	70	55
	60	75	75	55	65	55	50	65	65
	70	50	75	70	75	65	35	65	65
	52	80	72	75	70	55	25	80	80
Average	63	66	72	65	73	61	41	70	66

The data (Table 3) show that the % of immobilization increases with the increasing proportion of waste plastics in the board. The test result was positive (immobilization $\geq 50\%$), except for the plate leachate with 10% fuel tank content (41.25%). With a higher proportion of waste in the board, there was an increase in immobilization in the leachate. In a study Hybská et al. 2023¹⁶ the toxicity of a board with rubber waste substitute was tested, where all the determined immobilizations were also positive.

Linthner et al.¹⁷ monitored the toxicity of 26 plastic products, made from 5 types of plastics, which were leached in deionized water and tested for acute toxicity to *Daphnia magna*. All leachates from softened PVC and epoxy products were shown to be toxic, and none of the leachates from polypropylene, ABS (acrylonitrile-butadiene-styrene) and rigid PVC products showed toxicity. Toxicity is mainly caused by hydrophobic organic substances and metals were the main cause of toxicity in one leachate (release of metals was also confirmed by chemical analysis).

The study by Hybská et al.⁸ was aimed at evaluating the ecotoxicological impact of waste tires on the environment. They found that the most sensitive test organism was *Daphnia magna*. Furthermore, the influence of the particle size of the waste material, which has a significant impact on ecotoxicity, was found. Samples that contained tire parts < 1 mm in size showed higher toxicity than samples with particle size > 3 mm.

In studies by Wik et al.¹⁸ recommend using the toxicity test method with the test organisms *Daphnia magna* as a basis for environmental labeling of automotive tires.

It follows from the above that *Daphnia magna* are among the frequently used test organisms for their sensitivity. *Lemna minor* is also a sensitive test organism for the aquatic environment. *Lemna minor* is a more accessible aquatic plant and its care is also easier in the laboratory than ensuring the laboratory breeding of *Daphnia magna*.

Conclusion

The article focuses on assessing the impact of chipboards on aquatic environments. Several ekotoxicology biotests were employed for testing. Testing the water leachates from the experimental samples revealed the most significant impact on the growth rate of *Lemna minor* and the immobilization of *Daphnia magna*. The results suggest that bioassays are a suitable tool for assessing environmental impacts compared to results obtained from testing chipboard leachates without wood replacement with plastic. The best methods to limit plastic release into the environment are reduction, reuse, and primarily recycling. Given the widespread use of particleboards indoors and outdoors, recycling automotive plastic waste as a wood substitute in chipboards is a current method of utilization. Utilizing plastic waste as a partial replacement in chipboards is a suitable approach. Experimental studies shown the safe use of chipboards manufactured with wood replaced by automotive plastic waste, compared to pure chipboards.

Acknowledgments

The research presented in this study is the result of the UNIVNET project "University Research Association for Waste Evaluation, especially in the Automotive Industry" financed by The Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic, Slovak Research and Development Agency under the Contract no. APVV-22-0034 and project VEGA 1/0022/22.

References

- 1 SHARMA, P. et al. 2016. Automobile Waste and Its Management. In Research Journal of Chemical and Environmental Sciences. 2016. Vol 4, No. 2, p. 01 – 07. ISSN 2321-1040
- 2 NOVOTNÝ, M., et al., 2021. Analýza súčasného stavu spracovania a zhodnocovania odpadov pochádzajúcich zo starých vozidiel. In Progresívne technológie zhodnocovania odpadov v automobilovom priemysle. Bratislava, UNIVNET, 2021, ISBN 978-80-553-3867-5, p. 12 – 26.
- 3 HALLACK, E. et al. 2022 Systematic Design for Recycling Approach – Automotive Exterior Plastics. In Procedia CIRP. Vol. 105, p. 204 – 209, DOI:10.1016/j.procir.2022.02.034.
- 4 GUO, W. et al. 2022. A sustainable recycling process for end-of-life vehicle plastics: A case study on waste bumpers. In Waste Management. Vol 154 p. 187 – 198, DOI: 10.1016/j.wasman.2022.10.006.
- 5 FARGAŠOVÁ, A. 2009. Ekotoxikologické testy. Bratislava: Perfekt, 2009. ISBN 978-80-8046-422-6.
- 6 HYBSKÁ, H. et al. 2021. Ecotoxicological effects of the leachate from the waste tires on the environment. In: Waste forum: electronic peer-reviewed journal on all topics of industrial and municipal ecology. p. 166 – 175. ISSN 1804-0195
- 7 GARDNER, D.J. et al. 2015. Wood-Plastic Composite Technology. In Current Forestry Reports. Vol. 1, p. 139–150, DOI:10.1007/s40725-015-0016-6
- 8 HYBSKÁ, H. - SAMEŠOVÁ, D. 2014. Procesy úpravy a čistenia vody: návody na cvičenia. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2014. ISBN 978-80-228-2629-7.
- 9 TNI CEN/TR 17105: 2017. Construction products – Assessment of release of dangerous substances – Guidance on the use of ecotoxicity tests applied to construction products; European community for standardization: Brussels, Belgium
- 10 STN EN ISO 19396-1: 2017. Stanovenie hodnoty pH. Časť 1: pH elektródy so sklenenou membránou.
- 11 STN ISO 15705: 2005. Kvalita vody: stanovenie chemickej spotreby kyslíka (CHSK)
- 12 OECD 221: 2006. Lemna sp. Growth Inhibition Test, Doi: 10.1787/9789264016194
- 13 STN EN ISO 20079: 2008. Kvalita vody. Stanovenie toxických účinkov zložiek vody a odpadovej vody na Lemna minor (žaburinku). Skúška inhibície rastu
- 14 EN ISO 6341: 2012. Water quality. Determination of the inhibition of the mobility of Daphnia magna Straus (Cladocera, Crustacea). Acute toxicity test; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland
- 15 OECD 202 I.: 2004. Daphnia sp. Acute Immobilisation Test, DOI: 10.1787/9789264069947
- 16 HYBSKÁ, H., et al. 2023. Ecotoxicological testst of the particleboards containing rubeer waste. In: Wood research, 2023. Volume 68, issue 4, p. 758 – 767, ISSN 1336-4561, DOI10.37763wr.1336-4561/68.4.758767
- 17 LITHNER, D. et al. 2012. Comparative acute toxicity of leachates from plastic products made of polypropylene, polyethylene, PVC, acrylonitrile-butadiene-styrene, and epoxy to Daphnia magna. In Environmental science and pollution research. Vol. 19, Is. 5, p. 1763 – 1772 DOI10.1007/s11356-011-0663-5

- 18 WIK, A. - DAVE, G. 2005. Environmental labeling of car tires – toxicity to *Daphnia magna* can be used as a screening method. In *Chemosphere* Vol. 58, p. 645 – 651
- 19 KESKISAARI, A. - KÄRKI, T. 2018. The use of waste materials in wood-plastic composites and their impact on the profitability of the product, In *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 134, p. 257 – 261, ISSN 0921-3449, DOI: 10.1016/j.resconrec1.

Hodnotenie vplyvov drevoplastových kompozitov na životné prostredie

Helena HYBSKÁ, Dagmar SAMEŠOVÁ, Martina MORDÁČOVÁ, Mária GREGUŠOVÁ, Paulína MAŠKOVIČOVÁ

Technická univerzita vo Zvolene, Fakulta ekológie a environmentalistiky, Katedra environmentálneho inžinierstva, T. G. Masaryka 24, 96001 Zvolen, e-mail: hybska@tuzvo.sk

Súhrn

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

Kľúčová slova: *plastové kompozity, drevotrieková doska, ekotoxikologické testy, životné prostredie, automobilový priemysel*

Plastový medicínsky odpad: Energetické využitie a environmentálna záťaž

Nikola ČAJOVÁ KANTOVÁ, Radovan NOSEK, Alexander ČAJA, Alexander BACKA, Martin VANTÚCH

Žilinská univerzita v Žiline, Výskumné centrum, Katedra energetickej techniky, Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovenská republika

e-mail: nikola.cajovakantova@uniza.sk

Súhrn

Plastového odpadu stále pribúda a zaťažuje naše životné prostredie. Obrovská záťaž prostredia vznikla hlavne počas pandémie COVID-19, kedy množstvo spotrebovaných plastov prudko narástlo (rúška, respirátory, rukavice). V súčasnosti je nevyhnutné hľadať ďalšie spôsoby ako plastový neseparovateľný odpad efektívne likvidovať a využiť v ďalších procesoch. Spaľovanie plastového odpadu môže priniesť isté benefity v podobe energetického zhodnotenia. Ich spaľovanie vedie k produkcii emisií, ktoré negatívne ovplyvňujú životné prostredie a ľudské zdravie. Tento článok sa zaoberá energetickým využitím plastového odpadu v podobe pelet, ktoré boli vytvorené zo smrekových pilín a z 10 %, 20 % a 50 % plastového odpadu. Pelety boli následne spaľované, pričom sa merali ich emisné parametre a skúmala ich environmentálna záťaž. Koncentrácia plyných emisií a tuhých znečisťujúcich látok bola vyhodnotená pre každú vzorku a porovnaná s koncentráciou získanou pri spaľovaní drevných pelet bez plastového obsahu. Na základe výsledkov je možné zhodnotiť, že vyššia prítomnosť plastového odpadu v drevných peletách negatívne ovplyvňuje produkciu emisií a to najmä produkciu tuhých znečisťujúcich látok.

Kľúčové slová: plastový odpad, pelety, spaľovanie, emisie.

Úvod

Plastový odpad zo zdravotníckych zariadení predstavuje značnú výzvu vzhľadom na jeho potenciál kontaminácie infekčnými materiálmi, čo si vyžaduje starostlivé opatrenia na likvidáciu, aby sa zabránilo šíreniu chorôb. Znečistenie plastovým odpadom predstavuje rozsiahle hrozby pre ekosystémy a ľudské zdravie. Chemikálie z plastov sa môžu vylúhovať do vody, čo má vplyv na vodné organizmy a narúša ekosystémy. Plastový medicínsky odpad navyše často sťažuje recykláciu, čo prispieva k zaťaženiu životného prostredia a vyvoláva obavy o dlhodobú udržateľnosť nakladania s odpadom zo zdravotnej starostlivosti¹. Ľudské zdravie je priamo ovplyvnené vystavením chemikáliám vyrobeným z plastov, a to kontamináciou potravinového reťazca a priamym kontaktom. Obavy vyvolávajú aj mikroplasty vo vzduchu a pitnej vode. Okrem zdravotných dopadov má plastové znečistenie aj ekonomické a spoločenské dôsledky so značnými nákladmi na vyčistenie, potenciálne škody na cestovnom ruchu a vyčerpanie prírodných zdrojov. Na zmiernenie znečistenia plastmi je nevyhnutný komplexný prístup, ktorý zahŕňa zníženie spotreby plastov, zlepšenie odpadového hospodárstva a vývoj udržateľných alternatív².

Značné množstvo plastov možno nájsť v osobných ochranných prostriedkoch, ktoré sa používajú na ochranu pred vírusovými infekciami a prenosom. Podľa Svetovej zdravotníckej organizácie sa výroba týchto pomôcok počas pandémie koronavírusu (COVID-19) zvýšila o 40 %. Nakladanie s plastovým odpadom sa preto stávalo problematickejšie v dôsledku veľkého nárastu medicínskeho odpadu spôsobeného pandemiou. Na zamedzenie vírusu sa používali hlavne rúška, respirátory, rukavice, plášte a ďalšie ochranné prostriedky. Polyetylén s vysokou hustotou a polypropylén zohrali významnú úlohu pri výrobe ochranných prostriedkov². Podľa štúdie Svetovej zdravotníckej organizácie (WHO) (marec 2020) bolo na reakciu na COVID-19 každý mesiac potrebných približne 89 miliónov tvárových masiek³, čo viedlo to k zvýšeniu celosvetovej výroby ochranných prostriedkov. Celosvetová výroba a spotreba

osobných ochranných prostriedkov priniesla novú environmentálnu záťaž. V súčasnosti je nevyhnutné hľadať ďalšie spôsoby ako plastový medicínsky odpad, ako aj ďalší neseperovateľný plastový odpad efektívne likvidovať a využiť v ďalších procesoch⁴.

Plastový odpad predstavuje globálny problém. Jeho spaľovanie však môže priniesť isté benefity v podobe energetického zhodnotenia. Vo všeobecnosti je možné odpadové polyméry likvidovať na skládkach, spaľovaním alebo pyrolýzou. Pred ich ďalším použitím sa používajú sterilizačné metódy ako ultrafialové ožarovanie⁵ alebo metóda suchého tepla⁶. Alam a kol.⁷ vyrábali pelety z hydrotermálne upraveného čistého nemocničného odpadu. Vytvorené pelety len z nemocničného odpadu nespĺňali niektoré z požiadaviek európskych noriem. Vhodným zmiešaním 1 % a 1,5 % tohto odpadu so zvyškom sachalinskej jedle však bolo možné tieto normy splniť. Lesná dendromasa je však stále hlavnou surovinou pri výrobe tuhých biopalív, ktoré sú dôležitou surovinou v štruktúre výroby primárnej energie z obnoviteľných zdrojov energie⁸. Rezaei a kol.⁹ sa zaoberali energetickým využitím odpadu z papiera, plastov, domáceho organického odpadu a dreva pomocou pelletizácie. Pelletizácia je účinná úprava na minimalizáciu heterogenity odpadových materiálov¹⁰. Zvýšenie obsahu plastov z 20 % na 40 % viedlo k zníženiu spotreby energie na ich výrobu a k zvýšeniu výhrevnosti peliet⁹.

Tento článok sa zaoberá energetickým využitím plastového odpadu v podobe peliet, ktoré boli vytvorené zo smrekových pilín a z 10 %, 20 % a 50 % plastového odpadu. Pelety boli následne spaľované, pričom sa merali ich emisné parametre a skúmala ich environmentálna záťaž. Koncentrácia plynných emisií a tuhých znečisťujúcich látok bola vyhodnotená pre každú vzorku a porovnaná s koncentráciou získanou pri spaľovaní drevných peliet bez plastového obsahu.

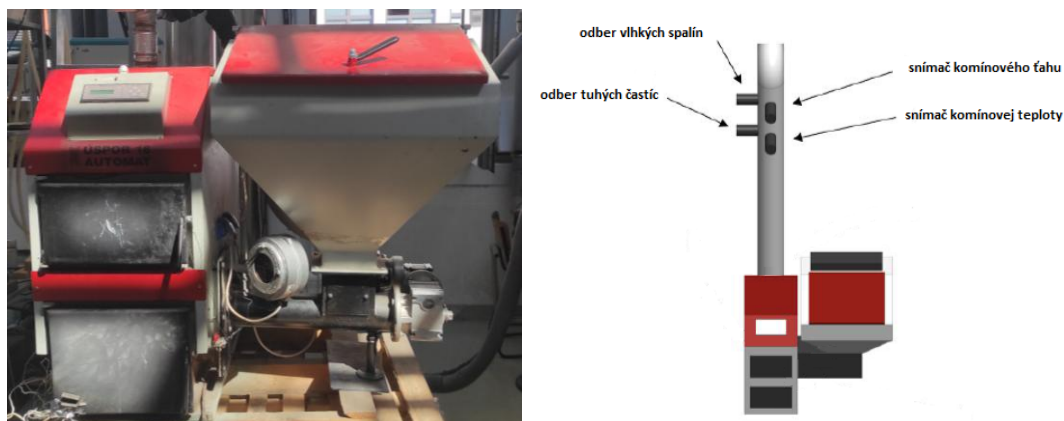
Materiál a metodika

Pelety boli vyrobené zo smrekových pilín ako hlavného materiálu a jednorázových masiek a FFP2 respirátorov ako sekundárneho materiálu. Jednorázové masky a FFP2 respirátory boli podrvené a pridávané v rovnakom pomere s ich obsahom 10 %, 20 % a 50 % k hlavnému materiálu. Tento materiál bol lisovaný na malom lise na pelety Kovo Novák v spolupráci s University of Agriculture in Krakow. Takto vytvorené pelety s priemerom približne 6 mm boli skladované po dobu 20 dní pri teplote 22 °C a relatívnej vlhkosti 40 – 50 %. Palivové vlastnosti, ako výhrevnosť, vlhkosť a elementárne zloženie peliet (C, H, N, S), sú uvedené v tabuľke 1.

Tabuľka 1: Palivové vlastnosti peliet

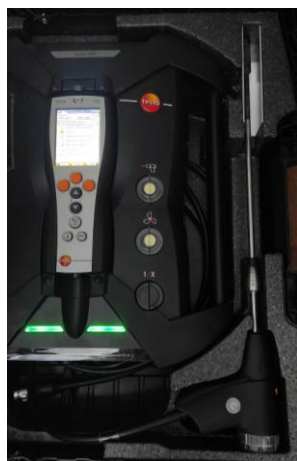
Vzorky	Výhrevnosť (MJ/kg)	Vlhkosť (%)	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)
Drevné pelety	17,91	5,18	44,99	6,15	0,00	0,08
Pelety s 10 % plastového odpadu	19,70	7,62	53,73	7,65	0,02	0,07
Pelety s 20 % plastového odpadu	24,70	5,29	57,31	8,70	0,03	0,07
Pelety s 50 % plastového odpadu	30,90	5,28	61,50	9,85	0,05	0,07

Vzorky peliet boli ďalej spaľované v automatickom kotle na pelety LOKCA ÚSPOR 18 AUTOMAT (obrázok 1) s maximálnym tepelným výkonom 18 kW a s retortovým horákom. Dodávku vzduchu na spaľovanie zabezpečoval ventilátor nastavený na úroveň 4, čomu zodpovedá prietok 108 kg/h. Prívod paliva bol nastavený na pomer 18/25 sekúnd (prívod/státie). Merania prebiehali po dobu 30 minút. Tepelný výkon zdroja tepla bol 11,6 kW pre drevné pelety a dosiahol hodnotu až 14,62 kW pri spaľovaní peliet s 50 % plastového odpadu. Obsah kyslíka v spalinách bol v rozsahu 11,3 – 14,9 %. V komíne boli umiestnené meracie sondy na meranie plynných emisií a tuhých znečisťujúcich látok.



Obrázok 1 Použitý automatický kotol na pelety LOKCA ÚSPOR 18 AUTOMAT

Plynné emisie boli merané analyzátorom spalín TESTO 350 (obrázok 2) počas 30-minútových meraní. Koncentrácia oxidu uhoľnatého CO, oxidov dusíka NO_x a oxidov síry SO_x bola vypočítaná z nameraných jednotiek ppm na vyhodnocovaciu jednotku mg.m⁻³ a prepočítaná na 10% podiel O₂ v spalínach pri atmosférickom tlaku a teplote 0°C.

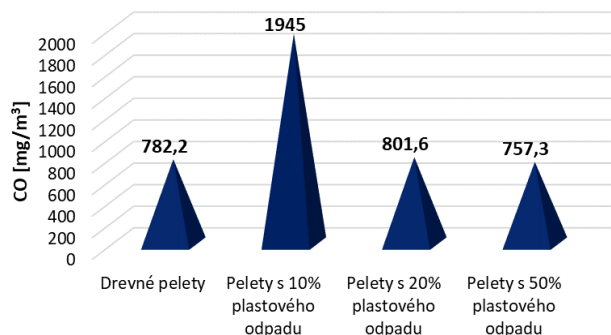


Obrázok 2: Vybavenie na meranie plynných emisií TESTO 350

Tuhé znečisťujúce látky (PM) boli merané gravimetrickou metódou podľa STN ISO 9096. Odber častíc sa realizoval odberovou sondou vhodného tvaru a správnu rýchlosťou podľa izokinetickej podmienky. Na dosiahnutie izokinetickej podmienky bolo potrebné meranie rýchlosti spalín pomocou Pitotovej trubice, ktorá bola pripojená k automatickej odberovej jednotke Tecora. Koncentrácia tuhých znečisťujúcich látok bola počítaná ako podiel hmotnostného rozdielu filtra so zachytenými časticami a bez nich a objemu vzorky¹¹.

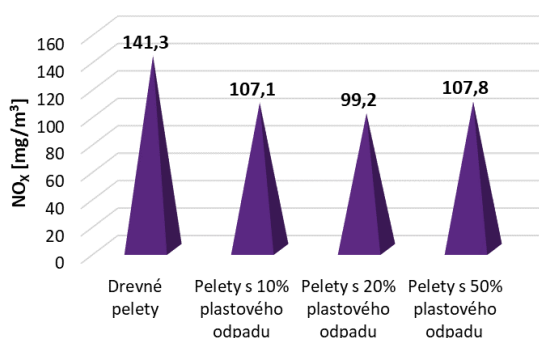
Výsledky meraní

Výsledky detekcie oxidu uhoľnatého CO sú znázornené na obrázku 3. Najnižšiu koncentráciu CO mala vzorka s 50 % plastového odpadu. Táto hodnota však bola veľmi podobná vzorke drevných peliet bez prítomnosti plastového odpadu. Najvyššia koncentrácia CO bola nameraná pri vzorke s 10 % plastového odpadu.



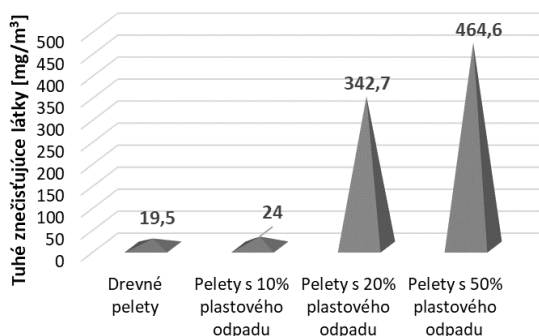
Obrázok 3: Výsledky CO emisií

Výsledky detekcie oxidov dusíka NO_x sú uvedené na obrázku 4. Najnižšiu koncentráciu NO_x mala vzorka s 20 % plastového odpadu. Najvyššia koncentrácia NO_x bola nameraná vo vzorke bez plastového odpadu. Veľmi podobné hodnoty mali vzorky s 10 % a 50 % plastového odpadu.



Obrázok 4: Výsledky NO_x emisií

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



Obrázok 5: Výsledky emisií tuhých znečisťujúcich látok

V norme STN EN 303-5+A1 (2023)¹² sú definované maximálne emisné limity pre koncentráciu CO na základe automatického prikladania a biogénneho paliva. Tieto limity sú kategorizované podľa triedy: trieda 3: 3000 mg.m⁻³, trieda 4: 1000 mg.m⁻³ a trieda 5: 500 mg.m⁻³. Všetky namerané koncentrácie CO spĺňajú triedu 3, avšak triedu 4 nespĺňa vzorka s 10% plastového odpadu a triedu 5 nespĺňa žiadna

vzorka. Podobne pre koncentráciu TZL sú stanovené nasledovné limity: trieda 3: 150 mg.m⁻³, trieda 4: 60 mg.m⁻³, trieda 5: 40 mg.m⁻³. Namerané koncentrácie TZL pri spaľovaní peliet s 20 % a 50 % plastového odpadu nespĺňajú ani jednu z uvedených tried. Avšak drevné pelety a pelety s 10 % plastového odpadu spĺňajú všetky emisné triedy vzhľadom na nameranú koncentráciu TZL.

Záver

Prítomnosť plastového odpadu v drevných peletách ovplyvnila najmä produkciu emisií tuhých znečisťujúcich látok (PM). Zvyšujúce sa množstvo plastového odpadu v peletách spôsobilo zvýšenie koncentrácie tuhých znečisťujúcich látok (z 19,5 mg.m⁻³ na 464,6 mg.m⁻³). Koncentrácia CO bola podobná (757,3 mg.m⁻³ až 801,6 mg.m⁻³) okrem vzorky s 10% plastového odpadu (1945 mg.m⁻³). Koncentrácia NO_x bola tiež podobná pre všetky testované vzorky peliet (najvyššia 141,3 mg.m⁻³ pre vzorku bez prítomnosti plastového odpadu a najnižšia 99,2 mg.m⁻³ pre vzorku s 20 % plastového odpadu). Na základe výsledkov je možné zhodnotiť, že vyššia prítomnosť plastového odpadu v drevných peletách negatívne ovplyvňuje produkciu emisií a to najmä produkciu tuhých znečisťujúcich látok. Z uvedeného dôvodu by bolo vhodné pridávať len malé množstvo plastového odpadu (maximálne 10%), ktoré neovplyvňuje emisie tuhých znečisťujúcich látok vo významnej miere.

Pod'akovanie

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

Literatúra

1. Ganguly, R.K., Chakraborty, S.K.: *Integrated approach in municipal solid waste management in COVID-19 pandemic: perspectives of a developing country like India in a global scenario*. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, 3 (2021), Article 100087.
2. Ganguly, R.K., Chakraborty, S.K.: *Plastic waste management during and post Covid19 pandemic: Challenges and strategies towards circular economy*. Heliyon, Volume 10, Issue 4, 29 February 2024, e25613.
3. World health organization (WHO): *Shortage of personal protective equipment endangering health workers worldwide*, 2020.
4. Čajová Kantová, N., Cibula, R., Szlek, A., Čaja, A., Nosek, R., Belany, P.: *The energy assessment of COVID-19 medical waste as a potential fuel*. Energy Reports, 9 (2023), pp. 4995 – 5003.
5. Hamzavi, I.H., Lyons, A.B., Kohli, I., Narla, S., Parks-Miller, A., Gelfand, J.M., Lim, H.W., Ozog, D.: *Ultraviolet germicidal irradiation: possible method for respirator disinfection to facilitate reuse during COVID-19 pandemic*. Journal of the American Academy of Dermatology, 2020, 82 (6), str. 1511 – 1512.
6. Xiang, Y., Song, Q., Gu, W.: *Decontamination of surgical face masks and N95 respirators by dry heat pasteurization for one hour at 70°C*. American Journal of Infection Control, 2020, 48 (8), str. 880 – 882.
7. Alam, M. T., Lee, J.-S., Lee, S.-Y., Bhatta, D., Yoshikawa, K., Seo, Y.-Ch.: *Low Chlorine Fuel Pellets Production from the Mixture of Hydrothermally Treated Hospital Solid Waste*. Pyrolytic Plastic Waste Residue and Biomass. Energies, 2019, 12, 4390.
8. Stolarski, M.J.; Krzyżaniak, M.; Olba-Zięty, E.; Stolarski, J.: *Changes in Commercial Dendromass Properties Depending on Type and Acquisition Time*. Energies 2023, 16, 7973.

9. Rezaei, H., Panah, F. Y., Lim, C. J., Sokhansanj, S.: *Pelletization of Refuse-Derived Fuel with Varying Compositions of Plastic, Paper, Organic and Wood*. Sustainability 2020, 12, 4645.
10. Križan, P., Šooš, L., Kolláth, L.: *Research of Municipal Waste Material Recovery by Briquetting Technology [Výskum materiálového zhodnocovania komunálneho odpadu technológiou briketovania]*. Waste Forum, Issue 2, str.116 – 132, 2022.
11. Holubčík, M., Čajová Kantová, N., Jandačka, J., Čaja, A.: *The Performance and Emission Parameters Based on the Redistribution of the Amount of Combustion Air of the Wood Stove*. Processes, 2022, 10(8), 1570.
12. STN EN 303-5+A1 (2023): *Vykurovacie kotly. Časť 5: Vykurovacie kotly na tuhé palivá s ručným a automatickým prikladaním paliva s menovitým výkonom do 500 kW. Terminológia, požiadavky, skúšanie a označovanie.*

Plastic medical waste: Energy use and environmental burden

Nikola ČAJOVÁ KANTOVÁ, Radovan NOSEK, Alexander ČAJA, Alexander BACKA, Martin VANTÚCH

University of Žilina, Research Centre, Department of Power Engineering, Univerzitna 1, 010 26 Žilina, Slovakia, e-mail: nikola.cajovakantova@uniza.sk

Summary

Plastic waste is still increasing and burdening our environment. The enormous burden on the environment arose mainly during the COVID-19 pandemic when the amount of plastic used increased significantly (single-used masks, respirators, gloves). Currently, it is necessary to look for other ways to effectively dispose of non-separable plastic waste and use it in other processes. Burning plastic waste can bring certain benefits in the form of energy recovery. Their combustion leads to the production of emissions that negatively affect the environment and human health. This article deals with the energy use of plastic waste in the form of pellets, which were created from spruce sawdust and from 10%, 20% and 50% of plastic waste. The pellets were then combusted, while their emission parameters were measured and their environmental burden was investigated. The concentration of gaseous emissions and particulate matter was evaluated for each sample and compared with the concentration obtained by the combustion of wood pellets without plastic content. Based on the results, it is possible to evaluate that the higher presence of plastic waste in wood pellets negatively affects the production of emissions, especially the production of particulate matter.

Keywords: plastic waste, pellets, combustion, emissions.

Recycling of hydrodehalogenation catalyst used for detoxification of halogenated aromatic contaminants based on circular economy principles

Tomas WEIDLICH, Michal HEGEDÜS, Barbora KAMENICKA

Chemical Technology Group, Faculty of Chemical Technology, University of Pardubice, Studentska 95, 532 10 Pardubice, Czech Republic,
e-mail: tomas.weidlich@upce.cz

Abstract

The presentation deals with the application and facile recycling of commercially available Al-Ni alloy highly effective for the destruction of halogenated recalcitrant aromatic compounds from contaminated aqueous streams. The described destruction of non-biodegradable halogenated aromatic contaminants is based on reductive dehalogenation accompanied by formation of completely dehalogenated biodegradable products even at room temperature and ambient pressure. Mentioned Al-Ni alloy is converted to Raney nickel and soluble aluminate salts during dehalogenation process. Inactivated Raney nickel is efficiently recycled using mechanical activation by milling with Al powder with subsequent thermal processing. The Al-Ni based hydrodehalogenation reaction was applied to the samples of real wastewater showing high efficiency for chlorinated benzenes removal. The recyclable Raney Al-Ni alloy provides an alternative to less efficient bimetallic couples or costly precious metal-based hydrodehalogenation catalysts.

Keywords: hydrodechlorination, chlorobenzoic acid, mechano-thermal synthesis, ball-milling

Introduction

The emissions of halogenated compounds like halogenated aromatics such as polychlorinated or polybrominated dibenzo-p-dioxines, dibenzofuranes (PCDD/Fs, PBDD/Fs), and polychlorinated biphenyls (PCBs) are the most hazardous to living organisms¹.

Despite not leading to complete mineralization of halogen-derivates, reductive dehalogenation has been shown as a powerful method for degradation of halogenated aromatics. Several studies pointed on zero-valent metals (Fe^0 , Cu^0 , Al^0)²⁻⁴ or bimetallic mixtures (Ag-Fe , Cu-Ni , Ni-Fe , Pd-Fe)⁵⁻²³ as suitable candidates for dehalogenation of halogenated aromatics.

The Raney nickel was found to be able to completely dehalogenation of 4-chlorophenol without the use of external reducing agent in slightly acidic environment⁴.

Promising results were also obtained using Ni/Fe or Pd/Fe bimetallic couples, where iron acts as an electron donor and the other metal as a hydrogenation catalyst^{7,10,11}.

One of the most promising and technologically feasible ways of chlorinated contaminants removal is a reductive hydrodehalogenation reaction (HDH) utilizing the Raney Al-Ni alloy (50:50 wt% Al-Ni)¹²⁻³⁰. It is an alternative to costly precious-metal based heterogeneous catalysts. The alloy is an air stable and thus overcomes the storage problems of the Raney nickel or nano zero-valent iron (n-ZVI). Its utilization in basic environment also excludes the leaching of toxic nickel. Its reductive strength may be even higher in dilute NaOH solution, capable of reducing aromatics at room or elevated temperature^{18,20-21}. In specific cases cleavage of the C-C bond was observed²⁹, as well. Using additives enables lowering of the required quantity of the alloy for complete conversion, and to modulate the reaction's kinetics²².

Potential large-scale applicability of the Raney Al-Ni alloy is for now also economically unfavorable; especially in the case for low contaminated waters. The main reason is the cost of the Raney Al-Ni alloy

preparation via the metallurgical route, which requires working with high temperatures and molten metals. Moreover, atomization from the melt must be then utilized to isolate the alloy in a form of powder. Even though the preparation process for Raney Al-Ni alloy is well-known and used world-wide, it can be effectively optimized via mechanical activation; which makes it less demanding and greener. Mechanical activation increases the reactivity of starting mixture what allows to omit additives and to apply lower calcination temperature, and time for subsequent chemical conversion^{27–29}.

In this article, we focused on hydrodechlorination (HDC) of chlorobenzoic acid (Ar-Cl) using commercial Raney Al-Ni alloy and on comparison of HDC action of mechano-thermally prepared Raney Al-Ni alloy.

Experimental part

Materials

The commercial samples of the Raney Al-Ni alloy (50:50 wt% Al-Ni) (99.999%) and NaBH₄ were obtained from Sigma-Aldrich company. For the comparative experiments, nickel (Fichema, 98%) and aluminum (Sigma-Aldrich, 99%) powders were purchased. Halogenated aromatic compounds were obtained in 98% purity (Sigma-Aldrich, Germany).

Mechano-thermal synthesis of the Raney Al-Ni alloy

The Raney Al-Ni alloy (50:50 wt% Al-Ni) was prepared as follows - aluminum (5 g, 0.185 mol) and nickel (or spent Al-Ni from dehalogenation process) (5 g, 0.085 mol) powders were loaded into stainless steel milling chamber of inner volume 250 mL. To this, methanol (0.5 g, 0.015 mol) was added as a process controlling agent along with 100 g of stainless-steel milling balls (ball-to-powder ratio of 10:1). The mixture was then co-milled in an argon atmosphere for 90 min at 500 RPMs in the laboratory planetary mill Pulverisette 6 (Fritsch, Germany). The mixture activated for 90 min was then isothermally treated at 700°C in an argon atmosphere for 15 min for complete crystallization of the alloy. A dark gray microcrystalline powder was obtained.

Hydrodechlorination experiments

The hydrodechlorination reactions were carried out on stock solutions of corresponding Ar-Cl in distilled water. In a typical experiment, 100 mL of freshly prepared 1 mM stock solution of Ar-Cl were placed into 100 mL round-bottomed flask. To this, a corresponding amount of alkaline reagent (NaOH and/or NaBH₄) was added and the mixture was magnetically stirred at 25 °C and 300 rpm till dissolution of solids (see Table 2 for more details). Then, to the resulting basic solution, the appropriate quantity of alloy was added, and the mixture was stirred at 25 °C and 300 rpm for appropriate reaction time (see Table 2 for more details). The obtained reaction mixture was decanted and the undissolved part was used in the next cycle. The decanted solution was acidified using 16% H₂SO₄ to pH ~ 2 – 3 and analyzed using HPLC and NMR spectroscopy.

Analytical techniques

¹H NMR spectroscopy

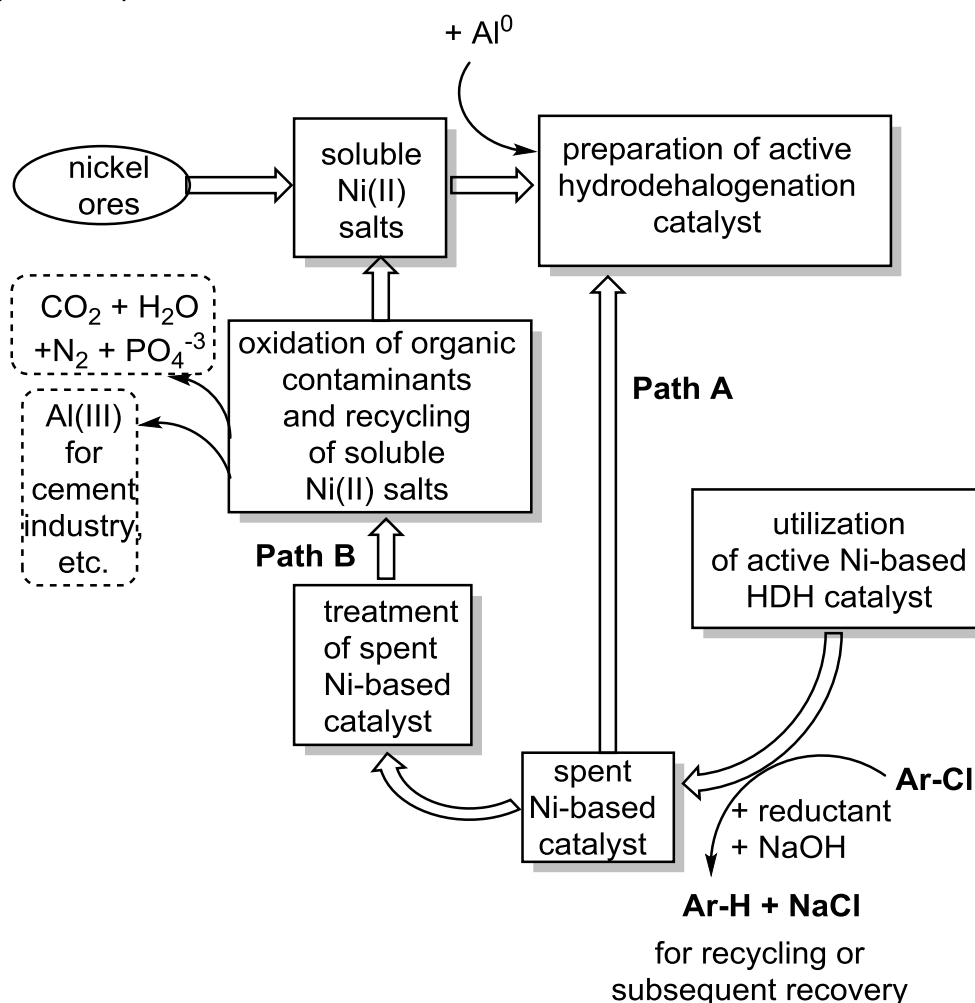
The ¹H NMR spectra were measured using solutions in CDCl₃ on a Bruker Ascend 500 spectrometer (equipped with Z-gradient 5 mm TBI 500 MHz S1 probe) at frequency 500.13 MHz for ¹H and compared with literature data.

Liquid chromatography (HPLC)

The levels of selected compounds were determined by liquid chromatography using the Shimadzu Prominence HPLC machine equipped with a UV–Vis 2-channel detector and the Gemini C6-phenyl 3 μm 100 × 3 mm chromatographic column (Phenomenex, USA) at a flowrate of 1 mL/min. 0.1% aqueous solution of phosphoric acid (solvent A) and acetonitrile (solvent B) were used as mobile phases. Analyses were performed at room temperature (24 – 25 °C) with pre-defined injection volume of 1.3 μL. The compounds were detected at 230 nm. The calibration was performed in the range of 0 – 1 mmol/dm³.

Results and discussion

The recycling of discussed Raney Al-Ni hydrodechlorination catalyst according to the circular economy principles is depicted in Scheme 1.



Scheme 1: Scheme of pathways evaluated for spent Ni-based HDC catalyst.

In our experiments, we started with fresh commercial Raney Al-Ni catalyst. The lifetime of this catalyst is quite limited in described HDC process due to the leaching of oxidized aluminum in the form of soluble (III) salts. It should be mentioned that the commercial Raney Al-Ni is a mixture of two intermetallic phases (Al_3Ni and Al_3Ni_2). However, only aluminum in active Al_3Ni phase works as reductant according to the equation²¹⁻²²:



In order to obtain Al-Ni alloy from powdered metals with requested catalytic properties, several mechanical alloyings in the Al-Ni system were performed utilizing a planetary ball-mill. Even though most of the published studies on mechanical alloying of the Al-Ni system did not suggest the use of a process controlling agent (PCA), it was found that under the studied conditions (see Experimental part), dry milling led to immediate welding of aluminum which then agglomerates on cooling. To avoid this phenomenon, methanol was added to the mixture as a commonly used PCA. However, the formation of new phases Al_3Ni and Al_3Ni_2 in the Al/Ni system was observed even after short annealing at 700 °C.

Despite its powerful reducing ability in a basic environment, the halogenated aromatics removal capability of the Raney Al-Ni alloy is limited by the leachability of aluminum. This is mostly affected by

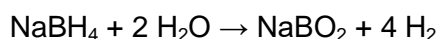
the temperature and particle size of the alloy. The main goal of our study was to verify kinetics and the leachability of aluminum from commercial and mechano-thermally prepared Raney alloy³⁰; see Table 1.

Table 1: Evaluation of the kinetics of the hydrodehalogenation reaction for the studied chlorobenzoic acid removal (using 0.8 g of alloy and 1 g NaOH per mmol of Ar-Cl)³⁰.

Chlorobenzoic acid regioisomer	Pseudo-first order kinetic constant ($\times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$)	
	commercial	mechano-thermal
2-chlorobenzoic acid	8.31	27.96
2,6-dichlorobenzoic acid	5.11	121.20

Reusability of commercial Al-Ni alloy

We demonstrate the reusability of Al-Ni alloy according to Path A using 2-chlorobenzoic acid (2-CBA), when excess of alloy (800 mg per mmol of 2-CBA as Ar-Cl) was repeatedly used for dechlorination in four cycles during max. 30 h operation at different reaction conditions to obtain the best results (Table 2)³⁰. Despite this, after exhaustion of the Raney Al-Ni alloy reducing capability (Table 2, Entry 1, 4th cycle), the formed Raney nickel with a high surface area can further act as hydrodechlorination reagent in the presence of external reducing agent, such as NaBH₄. Freshly activated Raney nickel serves as a hydrogenation catalyst and hydrogen gas is produced by the reaction of NaBH₄ with water according to the equation:



which allows for its utilization in the HDH reaction.

The used rests of Al-Ni alloy obtained after 4th cycle of action were collected, dried on air and used in mechano-thermal synthesis instead of commercial nickel powder. The obtained Al-Ni alloy was tested and successfully proved as effective HDC agent, even with slightly lower HDC durability compared with Al-Ni prepared from fresh metal powders (Table 2, Entry 3). The subsequent recycling of contaminated nickel was performed according to Path B using hydrometallurgical treatment, refining of Ni(II) salt and its recycling was published elsewhere³¹. Dissolved aluminum is removed by neutralization of obtained filtrate with subsequent filtration of insoluble Al(OH)₃. We suppose its utilization in cement production.

Table 2: The removal efficiency for repeatedly used Al-Ni alloy (0.8 g Al-Ni per mmol Ar-Cl was added in the 1st cycle).

Entry	Cycle	Reagent	Dosage (g)	Reaction time (h)	Reaction temp. (°C)	Removal efficiency (%)
1	1 st cycle	NaOH	0.1	2	25	> 99
	2 nd cycle	NaOH	0.2	4	25	> 99
	3 rd cycle	NaOH	0.2	18	25	82 (61 % after 8 h of action)
	4 th cycle	NaOH	0.2	6	40	21
2	1 st cycle	NaOH	0.1	2	25	> 99
	2 nd cycle	NaOH	0.1	4	25	> 99
	3 rd cycle	NaOH	0.2	6	25	97
	4 th cycle	NaBH ₄	0.1	18	40	99
3	1 st cycle	NaOH	0.1	2	25	> 99
	2 nd cycle	NaOH	0.1	4	25	93 (58 % after 2 h of action)
	3 rd cycle	NaOH	0.1	6	25	66
	4 th cycle	NaBH ₄	0.1	18	40	48

Conclusions

An innovative mechano-thermal approach for the Raney Al-Ni alloy preparation and recycling was applied in order to verify the technology as an alternative production way and for the material's dehalogenation efficiency.

The mixture of elemental aluminum and (used) nickel (catalyst), mechanically activated for 90 minutes, was processed by subsequent annealing at 700 °C in argon atmosphere to successfully yield well-crystalline Raney Al-Ni alloy. This consisted of Al₃Ni and Al₃Ni₂ intermetallic phases. Performed experiments proved the robustness of the HDH reaction based on commercial or recycled Al-Ni alloy.

As we demonstrated, only NaOH (eventually NaBH₄) and powdered aluminum metal is consumed within described exhaustive dehalogenation of aromatic halogenated compounds. Corresponding readily biodegradable dehalogenated product (Ar-H), sodium halogenide (eventually sodium borate) and aluminum hydroxide were the sole by-products of this described dehalogenation process. The produced deactivated nickel powder is fully recyclable using described mechano-thermal or mentioned hydrometallurgical process.

The described mechano-thermal Al-Ni synthesis is much less energy consuming compared with conventional Al-Ni alloy production comprising dissolving of metallic nickel in melt aluminum³² at approximately 1000 °C.

Acknowledgment

The authors acknowledge the financial support for excellent technological teams from the Faculty of Chemical Technology, University of Pardubice.

References

1. Alonso F., Beletskaya I. P., Yus M.: Chem. Rev. 102, 4009 (2002).
2. Raut S. S., Kamble S. P., Kulkarni P. S.: Chemosphere 159, 359 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.06.031>.
3. Duan J., Zhu H., Xu F., Zhao J.: Chem. Eng. J. 304, 282 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.06.089>.
4. Raut S. S., Shetty R., Raju N. M., Kamble S. P., Kulkarni P. S.: Chemosphere 250, 126298 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126298>.
5. Yin L., Dai Y., Niu J., Bao Y., Shen Z.: J. Hazard. Mater. 209, 414 (2012). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.01.044>.
6. Wang Z., Huang W., Peng P., Fennell D. E.: Chem. Eng. J. 273, 465 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.03.102>.
7. Shih Y. H., Chen Y. C., Chen M. Y., Tai Y. T., Tso C. P.: Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp. 332, 84 (2009). <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2008.09.031>.
8. Kar P., Mishra B. G.: J. Environ. Chem. Eng. 4, 1962 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.03.025>.
9. Jovanovic G. N., Atwater J. E., Znidarsic-Plazl P., Plazl I.: Chem. Eng. J. 274, 50 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.03.087>.
10. Huang Q., Liu W., Peng P., Huang W.: J. Hazard. Mater. 262, 634 (2013). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.09.015>.
11. Han Y., Li W., Zhang M., Tao K.: Chemosphere 72, 53 (2008). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.02.002>.

12. Xu F., Deng S., Xu J., Zhang W., Wu M., Wang B., Huang J., Yu G.: *Environ. Sci. Technol.* **46**, 4576 (2012). [https://doi.org/ 10.1021/es203876e](https://doi.org/10.1021/es203876e).
13. Weidlich T., Lacina P., Stepankova M.: Effective destruction of (poly)chlorinated aromatic compounds using aluminium alloys, TOP 2018, Tatranske Matliare, 2018.
14. Weidlich T., Krejcova A., Prokes L.: *Monatsch. Chem.* **141**, 1015 (2010). <https://doi.org/10.1007/s00706-010-0362-9>.
15. Weidlich T., Prokes L.: *Cent. Eur. J. Chem.* **9**, 590 (2011). <https://doi.org/10.2478/s11532-011-0033-7>.
16. Weidlich T., Prokes L., Pospisilova D.: *Cent. Eur. J. Chem.* **11**, 979 (2013). <https://doi.org/10.2478/s11532-013-0231-6>.
17. Perko J., Kamenicka B., Weidlich T.: *Monatsch. Chem.* **149**, 1777 (2018). <https://doi.org/10.1007/s00706-018-2230-y>.
18. Liu G., Dai L., Gao X., Li M., Thiemann T.: *Green Chem.* **8**, 781 (2006). <https://doi.org/10.1039/b605261d>.
19. Lieber E., Morritz F. L.: *Adv. Catal.* **5**, 417 (1953). [https://doi.org/10.1016/S0360-0564\(08\)60647-1](https://doi.org/10.1016/S0360-0564(08)60647-1).
20. Liu G. B., Tsukinoki T., Kanda T., Mitoma Y., Tashiro M.: *Tetrahedron Lett.* **39**, 5991 (1998).
21. Weidlich T., Kamenicka B., Melanova K., Cicmancova V., Komersova A., Cermak J.: *Catalysts* **10**, 994 (2020). [https://doi.org/ 10.3390/catal10090994](https://doi.org/10.3390/catal10090994).
22. Weidlich T., Oprsal J., Krejcova A., Jasurek B.: *Monatsch. Chem.* **146**, 613 (2015). <https://doi.org/10.1007/s00706-014-1344-0>.
23. Liu G. B., Zhao H. Y., Zhu J. D., He H. J., Yang H. J., Thiemann T., Tashiro H., Tashiro M.: *Synth. Commun.* **38**, 1651 (2008). <https://doi.org/10.1080/00397910801929762>.
24. Liu G., Zhao H., Zhang J., Thiemann T.: *J. Chem. Res. (S)* **2009**, 342 (2009).
25. Yang B., Zhang F., Deng S., Yu G., Zhang H., Xiao J., Shi L., Shen J.: *Chem. Eng. J.* **209**, 79 (2012). [https://doi.org/ 10.1016/j.cej.2012.07.083](https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.07.083).
26. Yang B., Zhang J., Zhang Y., Deng S., Yu G., Wu J., Zhang H., Liu J *Chem. Eng. J.* **250**, 222 (2014). <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.04.014>.
27. Balaz P. and 13 co-authors: *Chem. Soc. Rev.* **42**, 7571 (2013). <https://doi.org/10.1039/c3cs35468g>.
28. Balaz P.: *Mechanochemistry in Nanoscience and Minerals Engineering*, SpringerVerlag, Berlin 2008. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-74855-7>.
29. Friscic T.: *J. Mater. Chem.* **20**, 7599 (2010). <https://doi.org/10.1039/c0jm00872a>.
30. Hegedüs M., Gaborova K., Weidlich T., Kalivoda P., Briancin J., Tothova E.: *J. Environ. Chem. Eng.* **9**, 105764 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105764>.
31. Weidlich T., Kamenicka B. *Inz. Miner.-J. Pol. Miner. Eng. Soc.* **1**, 177 (2019). <https://doi.org/10.29227/IM-2019-01-34>.
32. Keefer L.K., Lunn G. *Chem. Rev.* **89**, 459 (1989). <https://doi.org/10.1021/cr00093a002>.

Recyklace hydrodehalogenačního katalyzátoru použitého v procesu přeměny toxických halogenovaných aromatických kontaminantů vod na biologicky odbouratelné produkty s využitím principů oběhového hospodářství

Tomáš WEIDLICH, Michal HEGEDÜS, Barbora KAMENICKÁ

Skupina chemických technologií, Fakulta chemicko-technologická, Univerzita Pardubice, Studentská 95, 53210 Pardubice, Česká republika, e-mail: tomas.weidlich@upce.cz

Souhrn

Článek se zabývá možnostmi recyklace použitého hydrodehalogenačního Al-Ni katalyzátoru použitého k rozkladu toxických halogenovaných aromatických sloučenin v kontaminovaných vodách. Halogenované aromatické sloučeniny jsou v popisovaném procesu za běžné teploty a atmosférického tlaku přeměněny na dehalogenované, biologicky odbouratelné produkty. Při procesu vznikající Raneyův nikl je recyklovatelných procesem mletí s práškovým hliníkem a následnou tepelnou aktivací při teplotě tání hliníku.

Klíčová slova: *hydrodechlorace, chlorbenzoová kyselina, mechanicko-termický proces, mletí*

Analýza používání sanačních technik jako nápravných opatření na kontaminovaných místech v České republice

Zdeněk SUCHÁNEK^a, Martin KUBAL^b, Tomáš CAJTHAML^c, Ivana KOPECKÁ^c

^a Česká informační agentura životního prostředí, Moskevská 63, 101 00 Praha 10, e-mail: zdenek.suchanek@cenia.cz

^b Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Fakulta technologie ochrany prostředí, Technická 5, 166 28 Praha 6, e-mail: kubalm@vscht.cz

^c Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Ústav pro životní prostředí, Benátská 2, 128 01 Praha 2, e-mail: tomas.cajthaml@natur.cuni.cz

Souhrn

Analýzou dat o použitých sanačních technikách (ST) obsažených v záznamech Systému evidence kontaminovaných míst (SEKM) byl vytvořen statistický přehled ST využitelný pro budoucí podávání přehledových zpráv o stavu plnění závazků v intencích návrhu Směrnice Evropského parlamentu a Rady o monitorování a odolnosti půdy z července 2023. Použité ST byly charakterizovány z pohledu hlavních odstraňovaných kontaminantů, stavu nápravného opatření (NO) vč. roku ukončení sanace, stávající kategorie priority sanovaného kontaminovaného místa (KM), plochy lokality v m² a odhadu celkových nákladů. V souladu s návrhem směrnice bylo použito členění na 4 druhy ST – fyzikální, biologické, chemické a techniky pro izolaci, zachycení a monitorování, do nichž spadá celkem 22 dílčích ST. Pro všechny druhy ST bylo na 1827 KM se stanovenými NO identifikováno celkem 2131 použití, z toho 1776 (83,3 %) použití spadá do let 2003–2023. Fyzikálních sanačních technik je 627 (29,4 % ze všech), biologických 90 (4,2 %), chemických 618 (29,0 %) a technik pro izolaci, zachycení a monitorování 796 (37,4 %). Pro účely prezentované analýzy dat SEKM byla vypracována metodika výběru záznamů KM podle klíčových slov, tj. názvů sanačních technik, s použitím nástrojů „vyhledávání“ a „filtrování“, které jsou součástí SEKM. Pro potřeby předpokládaného budoucího podávání přehledových zpráv o stavu plnění závazků vyplývajících ze směrnice bude třeba upravit některá nastavení a funkcionality SEKM tak, aby potřebná data, resp. statistiky, byly snadněji zpracovatelné. Každý analyzovaný druh použité ST byl z pohledu stupně jejich rozpracovanosti a uplatnění v praxi v ČR přiřazen do skupiny metod běžných (850 použití), progresivních (89 použití), ve fázi vývoje (1 použití) a ostatních metod a technik (1191 použití).

Klíčová slova: sanační techniky/technologie, terminologie, kontaminovaná místa, nápravná opatření

1. Úvod

Návrh Směrnice Evropského parlamentu a Rady o monitorování a odolnosti půdy¹ z července 2023 obsahuje mj. seznam in situ a ex situ sanačních technik (ST). Poznatky o uplatňování jednotlivých ST co do počtu realizací a změn v jejich uplatňování v čase bude základem pro očekávané podávání přehledových zpráv o stavu plnění závazků vyplývajících ze směrnice. V ČR jsou informace o kontaminovaných místech (KM) soustředěny v Systému evidence kontaminovaných míst (SEKM)² v kompetenci Ministerstva životního prostředí. Záznamy o KM se opírají o odbornou dokumentaci uloženou v Geofondu České geologické služby, o hodnocení odpovědnými zapisovateli a o vyhodnocení potřeby sanace, resp. nápravných opatření nastavenými algoritmy (kategorie priority). Pro vyhledání informací o použité ST není v SEKM nastaven přímý vyhledávací nástroj s číselníkem názvů jednotlivých ST. Využitelná je funkcionality „Filtrování“, kde jedním z přednastavených 82 parametrů je i parametr „Nápravná opatření – sanační metody“. Tento nástroj vyhledává pouze v textech anotací o sanacích v záznamech KM, nikoli v originální odborné dokumentaci. I přesto je možné stav používání ST statisticky vyhodnotit, i když pracně a časově náročně. Pro budoucí podávání

přehledových zpráv o stavu plnění závazků vyplývajících ze směrnice i pro operativnější získávání informací o sanacích státní a veřejnou správou, odbornou i laickou veřejností, v souladu s politikou otevřených dat, je nezbytné stávající systém SEKM doplnit o potřebné nástroje a nastavení. Rešerše použitých ST ze záznamů KM evidovaných v SEKM² využita jako podklad v tomto příspěvku byla připravena v období od října 2023 do února 2024 a slouží pro výběr příkladů hlavních ST používaných v ČR v posledních 20 letech za účelem jejich vyhodnocení a prezentace v edukačním materiálu pro workshop a školení zástupců státní, resp. veřejné správy v rámci projektu TAČR CEVOOH (dílič úkol 2.B.4.1)³.

Poznámka: V českém odborném prostředí se v problematice sanací KM a sanační geologie dominantně používá termín „sanační technologie“, a jen v případech více souvisejících s konstrukčními, stavebními, technickými, měřicími a kontrolními aktivitami také „sanační techniky“. Návrh směrnice o monitorování a odolnosti půdy¹ však používá pouze termín „Remediation techniques“, česky tedy „sanační techniky“.

2. Podklady a metody

2.1 Východiska a podklady pro rešerši dat ze SEKM

Zpracování záznamu do státního informačního systému SEKM a podrobnosti pro práci se systémem jsou stanoveny metodickým pokynem MŽP⁴. Početní stav evidence KM shrnuje tabulka 1, počet záznamů podle stavu NO pak tabulka 2. Počty záznamů jsou vykazovány pro tři různé kombinace stavů. Pro následné vyhledávání záznamů KM z pohledu použitých ST je důležitý počet 1530 záznamů KM, na nichž NO již bylo ukončeno, je přerušeno nebo již bylo zahájeno. Tento počet je maximálním počtem lokalit s evidovanými použitými technikami a představuje 15 % ze všech evidovaných záznamů KM. Pokud připočteme počet 297 dosud nezahájených opatření (z nich část již pravděpodobně byla po posledním inventarizačním odečtu a hromadné aktualizaci záznamů ke konci roku 2021 zahájena), dostaneme počet 1827 KM, pro které byla NO stanovena. Vůči tomuto počtu také můžeme vztahovat data o uplatněných nebo navržených ST.

Tabulka 1: Počty záznamů kontaminovaných míst podle stavů v SEKM

Stav záznamu lokality	Počet záznamů k 30.10. 2023	Počet záznamů k 13. 2. 2024	Počet záznamů k 13. 3. 2024
schváleno	10 082	10 060	10 063
ke schválení	69	88	91
k přijetí	1	1	0
rozpracováno	34	37	32
neaktuální	0	0	0
nepřijato	0	0	0
celkem	10 196	10 186	10 186

Tabulka 2: Stav nápravných opatření podle SEKM k 13. 2. 2024

Stav nápravných opatření	Počet záznamů	%	Počet záznamů	%	Počet záznamů	%	Počet záznamů	%
neznámo	7 364	72,3	7 364	72,3	8 359	82,1	8 656	85,0
NO není nutné	995	9,8	995	9,8				
NO dosud nezahájeno	297	2,9	1 827	17,9	297	2,9	1 530	15,0
NO probíhá	282	2,8			1 446	14,2		
NO ukončeno – vyhovující	1 164	11,4			84	0,8		
NO ukončeno/přerušeno – nevyhovující	84	0,8						
celkem	10 186	100,0	10 186	100,0	10 186	100,0	10 186	100,0

2.2 Metodika výběru záznamů KM podle klíčových slov – názvů sanačních technik

Databáze SEKM poskytuje pro vyhledávání dva základní nástroje – „vyhledávání“ a „filtrování“. V nástroji „vyhledávání“ není bohužel pro ST specializovaná rubrika vytvořena. Tím je znemožněno využití přímého exportu dat ve formátu tabulky (excel) s veškerými údaji a texty v rozsahu tzv. souhrnného formuláře všech relevantních lokalit a možností následného fulltextového vyhledávání v celém rozsahu tabulky. V SEKM je inkorporován (a v analýze byl použit) nástroj „filtrování“, který nabízí mezi 82 parametry i parametr „Nápravná opatření – sanační metody“. V dalším kroku nabízí filtrování podle výrazu nebo textu v poli „hodnota“. Zde je třeba postupně vyhledávat všechny gramatické tvary (pády), což vede ke zvýšeným počtům vyhledaných případů s početnými multiplicitami. Současné použití více filtrovacích parametrů k redukci výsledku nevede. Výsledkem filtrování pro jednotlivý vyhledaný text (název ST ve všech gramatických tvarech) je tabulka záznamů o 7 sloupcích, tedy stručnější, než je struktura souhrnného formuláře (45 sloupců). V následné fázi je třeba tyto seznamy rešeršovaných záznamů překopírovat do excelové tabulky a seznam KM v tabulce očistit od multiplicit pomocí seřídění dle identifikačního čísla záznamu a odmazáním duplicitních záznamů. Pro další práci byla tabulka doplněna 15 zájmovými rubrikami s daty a informacemi potřebnými pro vyhodnocení a výběr použitých ST. Tyto informace byly rešeršovány ze záznamů jednotlivých lokalit v SEKM. Nacházejí se v podobě anotací především v rubrikách „Sanace“ a „Dokumenty“ v náhledu záznamů. Pomocí funkcí tabulkového procesoru Excel „seřadit a filtrovat“ je možno lokality s použitými ST dále rozřadit podle roku dokončení nebo posledního použití dané ST. V naší studii byly lokality rozříděny do tří časových fází – před rokem 1990, 1991 – 2002 a 2003 – 2023. Podle relevance byly nakonec záznamy rozčleněny do tří skupin: KM s uplatněnou ST, KM s navrženou, ale dosud nerealizovanou ST a KM bez uplatnění (bez návrhu ST).

2.3 Seznam kontaminantů vyskytujících se v záznamech SEKM použitých ve studii

V SEKM jsou všechny znečišťující látky na KM pro povrchové vody, podzemní vody a zeminy zařídovány do skupin kontaminantů⁴. V naší studii jsme pro každou lokalitu a médium shrnuli všechny skupiny látek a vyhodnotili četnosti jednotlivých ST. Dle SEKM byly použity a hodnoceny tyto skupiny látek: anorganické ostatní, anorganické více nebezpečné, BTEX (benzen – toluen – ethylbenzen – xylen), CIB (chlorbenzeny a chlorfenoly), CIU (chlorované uhlovodíky), fenoly, freony a halony, herbicidy, kovy, kovy velmi nebezpečné, mikrobiální, NEL (nepolární extrahovatelné látky), organické ostatní, PAU (polycyklické aromatické uhlovodíky), PCB (polychlorované bifenyly), pesticidy, radioaktivita, odpady, PFAS (perfluoroalkylové chemické látky), jiné parametry.

Poznámka: V SEKM jsou někdy uváděny i jednotlivé kontaminanty PCE (tetrachlor, perchlor, tetrachloreten), TCE (trichlor, trichloreten), 1,1 DCEen (dichloreten), 1,2 DCEen (dichlor) skupiny CIU, v níž je také vykazujeme. Ropné uhlovodíky (RU) vykazujeme ve skupině NEL.

2.4 Seznam sanačních technik z návrhu směrnice a jejich výskyt v evidenci KM

V návrhu Směrnice Evropského parlamentu a Rady o monitorování a odolnosti půd¹ je i seznam in situ a ex situ ST. Tabulka 3 shrnuje názvy ST v návrhu směrnice (anglicky modře), překlady do češtiny z návrhu směrnice (červeně jsou označeny ty, které jsou diskutabilní) a termíny/synonyma použité pro ST v SEKM (červeně jsou označeny ty, které se významněji liší od nabízeného překladu v návrhu směrnice).

Názvy ST v české verzi návrhu směrnice (evidentně strojový překlad bez odborné korektury) a podoby termínů a jejich synonym použitých pro ST v záznamech SEKM se v různé míře liší. V dalším projednávání návrhu směrnice vč. české jazykové mutace a v přípravě předpokládané transpozice do českého právního prostředí je překlad terminologie nutno po vhodné odborné diskusi dořešit.

Tabulka 3: ST dle návrhu směrnice a dat v SEKM vč. zjištěných počtů KM s jejich použitím

Český / anglický text návrhu směrnice		Systém evidence kontaminovaných míst (SEKM)		
Druh technik	Název technik	Termíny a synonyma používané v záznamech a dokumentech KM	Počet KM, na nichž byla ST použita	
Fyzikální sanační techniky	a) extrakce par, provzdušňování proudem vzduchu; Vapor extraction, air sparging;	air sparging, venting, air stripping	77	
	b) tepelné ošetření, vstřikování páry , tepelná desorpce, vitrifikace; Heat treatment, steam injection, thermal desorption, vitrification;	termické metody, propařování, vtačování páry	20	
	c) praní a promývání půdy; Soil washing and flushing;	promývání a praní zemín	21	
	d) elektrokinetická extrakce; Electrokinetic extraction;	elektroremediace	1	
	e) odstranění kapalné vrstvy ; Liquid layer removal;	odčerpání / čerpání (kapalné fáze), sčerpání volné fáze, odstranění volné fáze z hladiny podzemních vod, sběr volné fáze	113	
	f) vykopání a vysypání . Dig and dump.	odtěžba, odtěžení, odstranění zeminy, vymístění, demolice, skládkování	395	
Biologické sanační techniky	a) stimulace aerobního nebo anaerobního odbourávání: Stimulation of aerobic or anaerobic degradation	bioremediace, bioremediation ,	bioremediace	59
		biostimulace, biostimulation ,	biostimulace (příklad: biologická reduktivní dechlorace)	1
		bioaugmentace, bioaugmentation ,	bioaugmentace (příklad: biodegradace v kombinaci s kompostováním)	1
		bioventilace, bioventing ,	bioventing	3
	biosparging; biosparging ;	biosparging	2	
	b) fytoextrakce, fytovolatilizace, fytodegradace; Phytoextraction, phytovolatilization, phytodegradation;	-	0	
	c) kompostování, půdní úpravy, landfarming a bioreaktorové systémy; Composting, soil amendments, landfarming, and bioreactor systems;	spolukompostování, bioreaktorové systémy	1	
d) biofiltrace, mokřady pro biologické čištění a tzv. biobeds; Biofiltration, biotreatment wetlands, and biobeds;	kokso-kompostová filtrace, mokřadní systém čištění vod	5		
e) přirozený útlum . Natural attenuation.	přirozená atenuace	18		
Chemické sanační techniky	a) chemická oxidace; Chemical oxidation;	in-situ chemická oxidace, ISCO	49	
	b) chemická redukce a oxidačně-redukční (redoxní) reakce; Chemical reduction and reduction-oxidation (redox) reactions;	in-situ chemická redukce, ISCR, (vč. reduktivní dechlorace)	20	
	c) čerpání a úprava podzemní vody . Pump and treat of groundwater. ¹⁾	sanační čerpání , hydraulická sanace podzemních vod, hydraulická sanace, hydraulická bariéra, dekontaminace podzemních vod, ochranné sanační čerpání, stripping, stripování	549	
Sanační techniky pro izolaci, za-chycení a monitorování	a) stahování horní vrstvy , reaktivní bariéry, zapouzdření; Surface capping, reactive barriers, encapsulation;	zakrytí / překrytí povrchu nepropustnou vrstvou , reaktivní bariéry, enkapsulace	7	
	b) chemická stabilizace, solidifikace a imobilizace; Chemical stabilization, solidification and immobilization;	chemická stabilizace, solidifikace a imobilizace	12	
	c) hydrogeologická izolace a zachycení ; Geo-hydrological isolation and containment;	kontainment; ekokontejnment	3	
	d) fytostabilizace; Phyto-stabilisation ;	fyto-stabilizace	0	
	e) kontrola a následná péče prostřednictvím monitorovacích vrtů. Control and aftercare through monitoring wells.	monitorování, monitoring	776	
celkem			2131	

Komentář k tabulce: ¹⁾ V návrhu směrnice¹ je sanační technika „Čerpání a úprava podzemní vody“ zařazena mezi chemické sanační techniky. Tato technika však většinou využívá fyzikální sanační postupy odstraňování kontaminantů (gravitační separace, stripování, sorpce apod.) a měla by tedy být řazena mezi fyzikální sanační techniky. Za chemickou techniku ji lze označit pouze v případě, že k dekontaminaci čerpané vody jsou použity chemické metody jako oxidace, redukce, neutralizace, srážení apod., což podle zkušeností v české praxi je podružný jev. Vyjednání případné (a autory doporučené) změny v návrhu směrnice je v kompetenci MŽP ČR.

2.5 Hodnocení sanačních technik použitých v ČR v posledních cca 40 letech

ST použité v ČR jsou níže ve studii analyzovány postupně podle seznamu navrhované směrnice¹ a jsou charakterizovány z pohledu hlavních odstraňovaných kontaminantů, stavu NO vč. roku ukončení sanace, plochy lokality v m², odhadu celkových nákladů na sanaci a v SEKM vyhodnocené stávající kategorie priority (A/P/N) sanovaného KM. Dělením a charakteristikou ST se v ČR naposledy zabývali Matějů⁵⁻⁷ a Slouka a Beneš⁸. V návaznosti na projekt CEVOOH³ jsou níže vyhodnoceny analyzované použité ST dle stupně rozpracovanosti a uplatnění v praxi ČR. Hodnocení četnosti použití, místa a formy použití (in situ, ex situ), charakteristik sanovaného KM a období realizace umožňuje dělení do 4 skupin:

1. **běžné metody:** sanační čerpání; venting (vč. air-strippingu); bioremediace (vč. bioventingu, bioextrakce, bioaugmentace, biostimulace, biosanace, biostabilizace); přirozená atenuace.
2. **progresivní metody:** in situ chemická oxidace; in situ chemická redukce; termické metody.
3. **metody ve fázi vývoje** (např. nano-remediace, nano-bioremediace).
4. **ostatní metody a techniky** (např. odtěžení, sanační techniky pro izolaci, zachycení a monitorování).

U cca 50 % KM jsou v záznamech SEKM uváděny náklady/odhady nákladů na sanaci. Zahrnují náklady na všechny práce a ST použité na lokalitě, nikoli pouze náklady na aplikaci dané ST. Údaj tak dává v podobě průměrných nákladů pro seznam KM s konkrétní ST určitou představu o velikosti a komplexnosti sanačních aktivit na lokalitě. Pro každou analyzovanou skupinu KM s konkrétní ST byla vypočítána i průměrná plocha KM, která indikuje celkový rozměr sanačního projektu. Pomocí funkce „Seřadit a filtrovat“ v Excelu je možno lokality s použitými ST dále rozdělit dle roku dokončení nebo posledního použití dané techniky na období před rokem 1990, 1991 – 2002 a 2003 – 2023.

3. Experimentální část - analýza uplatnění ST na KM evidovaných v SEKM

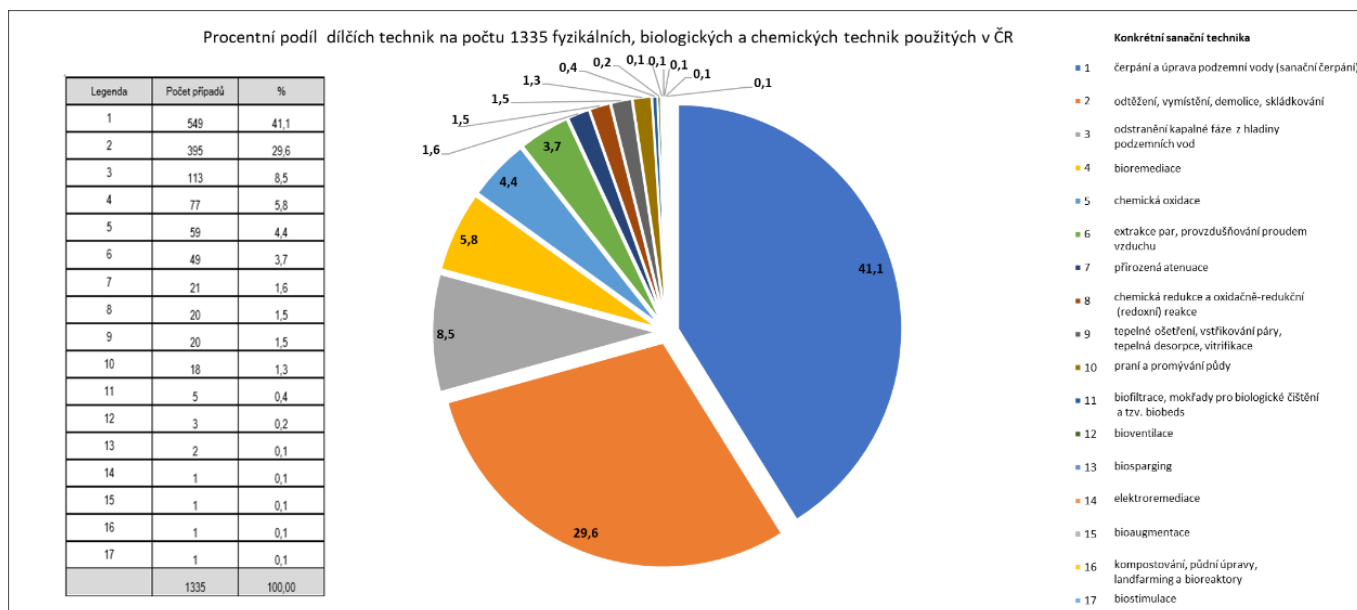
Postupem dle kapitoly 2 byl pro každou ST připraven seznam KM v tabulkovém procesoru Microsoft Excel. Každý řádek (jedno KM) obsahoval mimo identifikační a lokalizační údaje vybrané údaje přínosné pro vyhodnocení použití a významu předmětné ST (nejdůležitější údaje zapsány tučně): **hlavní kontaminant**, **hlavní ST**, **konkrétní použitá ST**, **stav NO vč. roku ukončení sanace**, **aktuálnost – posledních 20 let – ANO/NE**, **stávající kategorie priority (A/P/N)**, **popis v rubrice sanace ANO/NE**; **množství odstraněného kontaminantu**; **objem v m³**; **kontaminovaná plocha v m² (4 kategorie)**; **plocha lokality v m²**; **odhad celkových nákladů**; **fotodokumentace, schémata a mapky**. Pro fyzikální, biologické a chemické techniky bylo vyhodnoceno 17 analýz. Přehled použití ST je uveden v obrázku 1. Názvy uvedených ST jsou pracovní kombinací názvů z návrhu směrnice a termínů z české praxe.

Fyzikální sanační techniky: (1) extrakce par, provzdušňování proudem vzduchu; (2) tepelné ošetření, vtačování páry, tepelná desorpce, vitifikace; (3) elektroremediace; (4) odstranění kapalné fáze z hladiny podzemních vod; (5) praní a promývání půdy; (6) odtěžení, vymístění, demolice, skládkování.

Biologické sanační techniky: (7) bioremediace; (8) biostimulace; (9) bioaugmentace; (10) bioventilace; (11) biosparging; (12) kompostování, půdní úpravy, landfarming a bioreaktory; (13) biofiltrace, mokřady pro biologické čištění a tzv. biobeds; (14) přirozená atenuace.

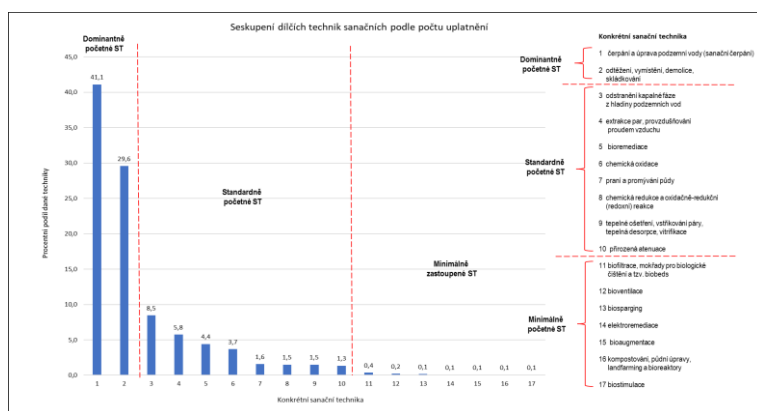
Chemické sanační techniky: (15) chemická oxidace; (16) chemická redukce a oxidačně-redukční (redoxní) reakce; (17) čerpání a úprava podzemní vody (sanační čerpání).

Čtvrtý druh technik, **sanační techniky pro izolaci, zachycení a monitorování**, byl hodnocen odděleně, protože je chápán v praxi jako komplementární technické, konstrukční, stavební, nápravné, nebo kontrolní opatření, nikoliv jako konkurenční technika vůči prvním 3 druhům. Zahrnuje: (a) zakrytí/překrytí povrchu nepropustnou vrstvou, reaktivní bariéry, enkapsulaci; (b) chemickou stabilizaci, solidifikaci a imobilizaci; (c) hydrogeologickou izolaci a zachycení (kontainment / ekokontejnment); (d) fytostabilizaci; (e) monitorování, monitoring.

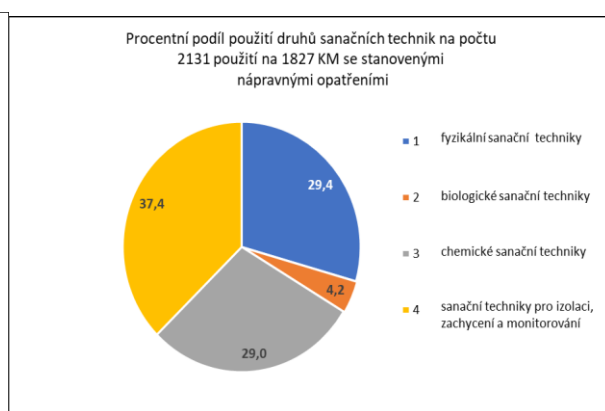


Obrázek 1: Podíl dílčích ST z počtu 1335 fyzikálních, biologických a chemických ST

V obrázku 2 jsou dílčí ST prvních tří druhů seříděny podle velikosti podílu na všech 1335 technikách a jsou seskupeny do tří skupin. Početně **dominantní** jsou dvě ST – čerpání a úprava podzemní vody (dále též sanační čerpání) a odtěžení (vč. demolic, vymístění a skládkování). Dohromady mají 73,5 % podíl na uvedených ST. **Standardní** uplatnění mají ST s podílem od 7,7 do 1,2 % (odstranění kapalně fáze; extrakce par, provzdušňování; bioremediace; chemická oxidace; praní a promývání půdy; chemická redukce a oxidačně-redukční reakce; tepelné ošetření, vstříkávání páry; tepelná desorpce, vitifikace; přirozená atenuace). Početně **minimální** uplatnění mají ST s podílem 0,3 až 0,1 % (biofiltrace, mokřady pro biologické čištění a biobeds; bioventilace; biosparging; elektroremediace; bioaugmentace; kompostování, půdní úpravy, landfarming a bioreaktory; biostimulace). Je zajímavé, že презентаčně oblíbené a účinné chemické ST – chemická oxidace a chemická redukce – mají dohromady pouze 4,7% podíl na všech použitých uvedených 3 druhů ST. Pokud srovnáme počty uplatnění skupin fyzikálních, biologických a chemických ST, tak vidíme, že nejvíce je chemických ST (47,0 %) a nejméně biologických ST (6,7 %). Pro všechny fyzikální, biologické, chemické ST a ST techniky pro izolaci, zachycení a monitorování bylo na 1827 KM se stanovenými NO identifikováno celkem 2131 použití, z toho 1773 použití spadá do let 2003 – 2023 (obrázek 3).



Obrázek 2: Seskupení dílčích fyzikálních, biologických a chemických ST podle počtu uplatnění



Obrázek 3: Podíly druhů ST na 2131 případech použití

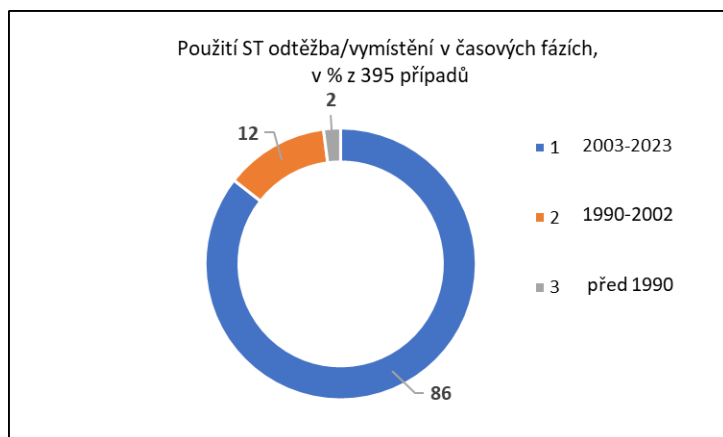
Při interpretaci uvedených dat je třeba mít na paměti, že identifikované použití dané ST je jen u části KM uplatněno jako jediné. Obvykle je totiž na jednom KM použito několik integrovaných sanačních technik řazených sekvenčně (postupně nasazované) nebo paralelně (souběžně využívané)^{6,7}. Také je možno hovořit o integrovaných ST, začleněných jedna do druhé, nebo o sekvenci technologií zapojovaných postupně. Kombinace sanačních technik tak vytváří množství sanačních systémů⁷. V naší statistice se míra integrace projevuje ve větším počtu použití ST (2131) na v SEKM identifikovaném počtu KM (s NO) s použitím nějaké ST. Pro každou z analyzovaných ST jsou v kapitolách níže uvedeny zjištěné počty použití a některé charakteristiky, např. z pohledu hlavních odstraňovaných kontaminantů, stavu NO, stávající kategorie priority (A/P/N) sanovaného KM, plochy lokality v m², odhadu finančních nákladů a uplatnění v časových fázích. V databázi SEKM jsou záznamy KM vyhodnoceny podle Metodického pokynu MŽP⁴. Každé KM je jednoznačně zařazeno do kategorie podle toho, jaký další postup vyžaduje v závislosti na předpokládané či ověřené kontaminaci a na důsledcích či možných důsledcích této kontaminace pro lidské zdraví a životní prostředí. Jsou rozlišovány tři základní kategorie lokalit – lokality kontaminované (A), potenciálně kontaminované (P) anebo nekontaminované (N). Každá z těchto tří základních kategorií je ještě podrobněji členěna. Lokality kategorie A jsou ty, u nichž kontaminace znamená existující a potvrzený problém. U lokalit kategorie P znamená kontaminace problém potenciální, není u nich dostatek informací pro definitivní závěry. Skutečnou závažnost kontaminace musí u této kategorie ověřit průzkum a/nebo analýza rizik. Lokality kategorie N nevyžadují žádný zásah.

3.1 Fyzikální sanační techniky

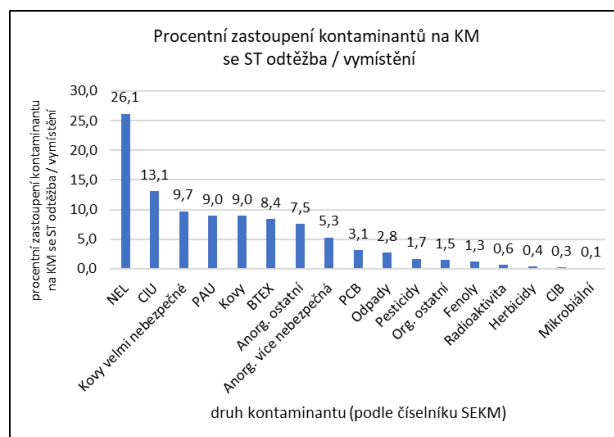
Největší podíl ve skupině fyzikálních ST (627 použití) má odtěžení (odtěžba atd.) – 63 % (resp. 62 % pro 2003–2023). Následují ST odčerpání kapalné fáze (18,0 %, resp. 18,3 % pro 2003 – 2023) a ST extrakce par (venting) – 12,3 % (12,3 % pro 2003 – 2023). Tyto tři ST reprezentují 93,3 % fyzikálních ST (92,5 % pro období 2003 – 2023) a byly dominantně použity v období 2003 – 2023 (546 – tj. 87 %), před rokem 2003 to bylo 81 použití, tj. 13 % ze všech 627 zaznamenaných použití. KM, na nichž byly použity fyzikální ST, mají nejčastěji kategorii priority P (47 %). Výše zmíněné dominantní fyzikální ST jsou níže detailněji popsány, informace a analýzy k ostatním méně často použitým ST v této kategorii (tepelné ošetření; praní a promývání půdy; elektroremediace) budou na vyžádání poskytnuty autory.

3.1.1 odtěžení, odtěžba, vymístění, demolice, skládkování

Tato ST byla použita v 395 případech (63,0 % z fyzikálních ST), z toho v období 2003 – 2023 338krát, v období 1990 – 2003 49krát a v období před rokem 1990 8krát (obrázek 4). Navíc bylo zjištěno 106 případů, kdy použití této ST bylo navrženo nebo doporučeno k aplikaci. ST byla použita na 395 lokalitách s následujícími kontaminanty: NEL, CIU, Kovy velmi nebezpečné, PAU, Kovy, BTEX, Anorg. ostatní, Anorg. více nebezpečná, PCB, Odpady, Pesticidy, Org. ostatní, Fenoly, Radioaktivita, Herbicidy, CIB a Mikrobiální (obrázek 5). Nejčastější jsou kontaminace NEL – 26,1 % z 1113 případů uvedení kontaminantu. NEL společně s CIU jsou kontaminanty v 39,3 % případů. V 167 případech jsou uvedeny celkové náklady všech ST použitých na sanaci daného KM v celkové výši 24,5 mld. Kč. Průměrný náklad je 146 693 681 Kč. Výše nákladů je v rozmezí od 3,5 mld. Kč do 16 tis. Kč. Průměrná plocha sanovaného KM je 1 320 823 m². 94 KM má kat. priority A, 200 kat. P a 101 kat. N. Metoda bývá často kombinovaná s bioremediací on site nebo ex situ, stabilizací a solidifikací či jinou následnou úpravou, jejímž cílem je snížení obsahu či toxicity přítomných kontaminantů či vyjmutí z kategorie „nebezpečný odpad“.



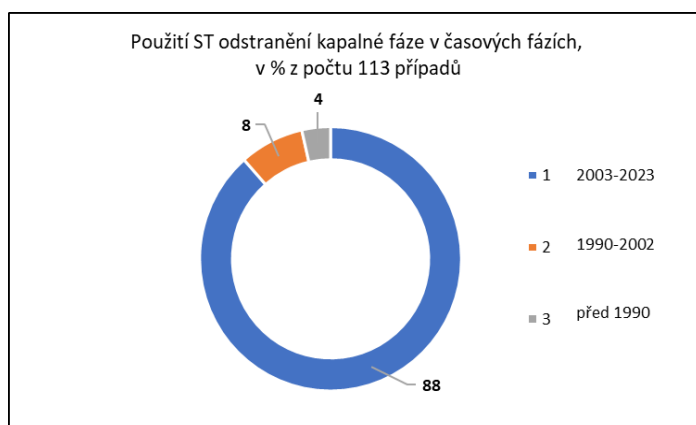
Obrázek 4: Použití ST odtěžba/vymístění v časových fázích



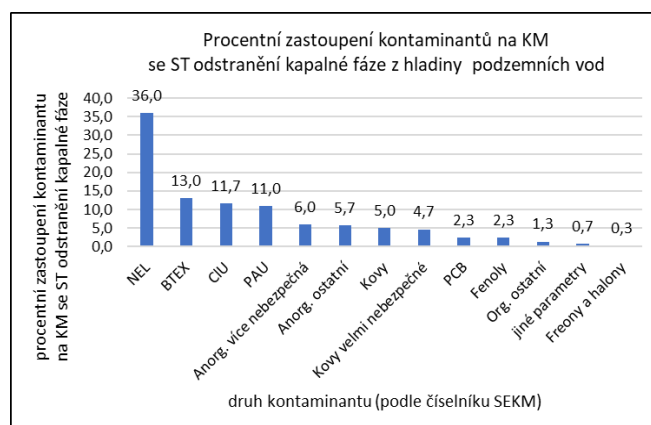
Obrázek 5: Procentní zastoupení z 1113 případů uvedení kontaminantů na 395 KM se ST odtěžba/vymístění

3.1.2 odstranění / odčerpání kapalně fáze z hladiny podzemních vod

Tato ST byla použita ve 113 případech (18,0 % z fyzikálních ST), z toho v období 2003 – 2023 100krát, v období 1990 – 2003 9krát a v období před rokem 1990 4krát (obrázek 6). Použita byla na KM s následujícími kontaminanty: NEL, BTEX, CIU, PAU, Anorg. více nebezpečná, Anorg. ostatní, Kovy, Kovy velmi nebezpečné, PCB, Fenoly, Org. ostatní, Jiné parametry a Freony a halony (obrázek 7). Nejčastější jsou kontaminace NEL – 36,0 % ze 300 případů uvedení kontaminantu. NEL společně s BTEX, CIU a PAU jsou kontaminanty v 71,7 % případů. Za nejčastější typ kapalně / volně fáze tak lze označit produkty vyrobené z ropy (benzín, nafta, letecký petrolej, oleje, mazut a směsi těchto látek). V 57 případech jsou uvedeny celkové náklady všech ST použitých na sanaci daného KM v celkové výši 10,8 mld. Kč. Průměrný náklad je 190 mil. Kč. Výše nákladů je v rozmezí od 0,3 mil Kč do 3,5 mld. Kč. Průměrná plocha sanovaného KM je 14 440 357 m². 41 KM má kategorii priority A, 44 kategorií P a 28 kategorií N.



Obrázek 6: Použití ST odstranění kapalně fáze v časových fázích

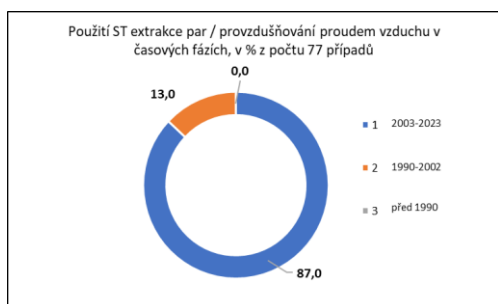


Obrázek 7: Procentní zastoupení z 300 uvedených kontaminantů na 113 KM se ST odstranění kapalně fáze

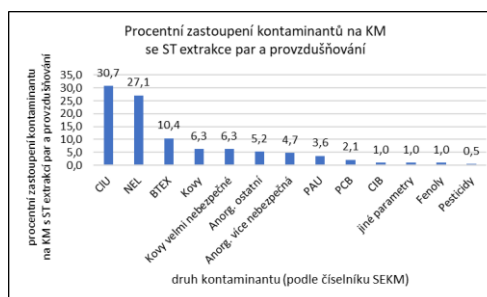
3.1.3 extrakce par, provzdušňování proudem vzduchu

Tato ST, zahrnující i termín venting (vč. air-spargingu) byla použita v 77 případech (12,3 % z fyzikálních ST), z toho 67krát v období 2003 – 2023, 10krát v období 1990–2003 a ani jednou v období před rokem 1990 (obrázek 8). Navíc bylo zjištěno 9 případů, kdy použití této ST bylo navrženo nebo doporučeno k aplikaci (v SEKM nejsou žádné další informace o jejím nasazení). ST byla použita na 77

lokalitách s následujícími kontaminanty: CIU, NEL, BTEX, Kovy, Kovy velmi nebezpečné, Anorg. ostatní, Anorg. více nebezpečná, PAU, PCB, CIB, jiné parametry, Fenoly a Pesticidy (obrázek 9). Nejčastější jsou kontaminace CIU – 30,7 % a NEL – 27,1 % ze 192 případů uvedení kontaminantu. CIU, NEL a BTEX jsou kontaminanty v 68,2 % případů. Technologie ventingu byla v ČR běžná v 90. letech 20. století, později se již používala málo s ohledem na dlouhý čas, který byl obvykle zapotřebí pro dosažení sanačního limitu. Air-sparging využívá v zásadě stejný princip a instalaci jako venting, ale doplňuje ho navíc o systém zatlačovacích vrtů, jejichž prostřednictvím je pod hladinu podzemní vody přiváděn vzduch.³ U 43 případů byl zaznamenán odhad celkových nákladů všech ST použitých na sanaci daného KM, a to v celkové výši 6 884 906 886 Kč. Průměrný náklad je 160 114 113,6 Kč. Výše nákladů je v rozmezí od 60 tis. Kč do 3,5 mld. Kč. Průměrná plocha sanovaného KM je 609 543 m². 31 KM má kategorii priority A, 35 kategorií P a 11 kategorií N.



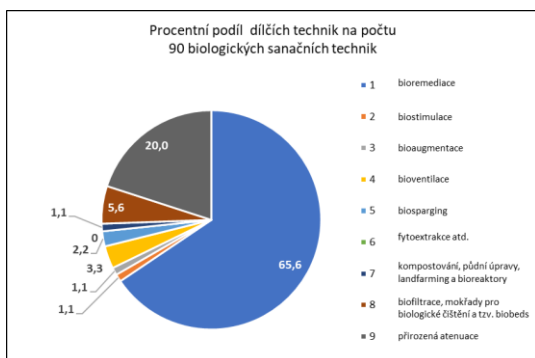
Obrázek 8: Použití ST extrakce par, resp. provzdušňování proudem vzduchu v časových fázích



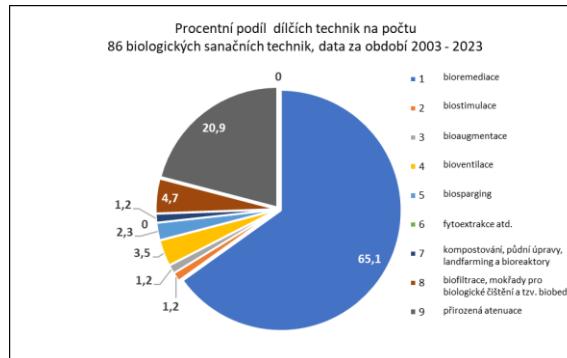
Obrázek 9: Procentní zastoupení ze 192 uvedení kontaminantů na 72 KM se ST extrakce par a provzdušňování

3.2 Biologické sanační techniky

Největší podíl ve skupině biologických ST (90 použití) má ST bioremediace – 65,1 %, pro období 2003 – 2023 je to 65,6 %. Následují ST přirozené atenuace - 20,0 %, resp. 20,9 % ST pro 2003 – 2023, ST biofiltrace (mokřady atd.) – 4,7 %, resp. 5,6 % pro 2003 – 2023 a ST bioventingu – 3,3 %, resp. 3,5 % pro 2003 – 2023. Tyto čtyři ST reprezentují 94,4 % biologických ST, resp. 94,2 % ST pro období 2003 – 2023 (obrázek 10 a 11). Tyto biologické ST byly dominantně použity v období 2003 – 2023 (86 – tj. 95,6 %), před rokem 2003 to byla 4 použití, tj. 4,4 % ze všech 90 zaznamenaných použití. KM, na nichž byly použity biologické ST, mají nejčastěji kat. priority A a P – dohromady 72,2 %. ST **stimulace aerobního nebo anaerobního odbourávání** se skládá z pěti dílčích ST – bioremediace, biostimulace, bioaugmentace, bioventilace a biosparging (viz. podkapitoly 3.2.1 – 3.2.5).



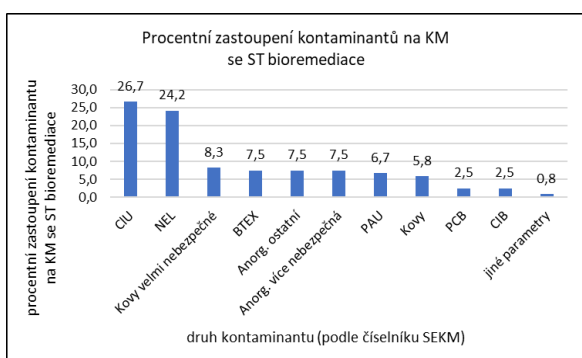
Obrázek 10: Podíly dílčích ST na 90 biologických ST



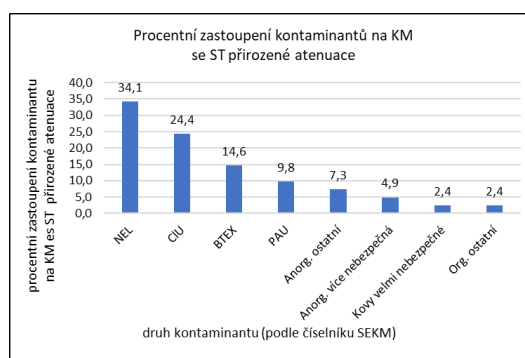
Obrázek 11: Podíly dílčích ST na 86 biologických ST v letech 2003 – 2023

3.2.1 bioremediace

ST technika bioremediace se používá k odstranění nebo detoxikaci ropných látek, aromatických a polyaromatických uhlovodíků a některých chlorovaných látek. V ČR byla použita v 59 případech (65,6 % z biologických ST), z toho v období 2003–2023 56krát, jednou v období 1990 – 2003 a dvakrát v období před rokem. Tato ST byla použita na 59 lokalitách s následujícími kontaminanty: CIU, NEL, Kovy velmi nebezpečné, BTEX, Anorg. ostatní, Anorg. více nebezpečná, PAU, Kovy, PCB, Org. ostatní a jiné parametry (obrázek 12). Nejčastější jsou kontaminace CIU – 26,7 % ze 120 případů uvedení kontaminantu. CIU společně s NEL jsou kontaminanty v 50,8 % případů. V 34 případech jsou uvedeny celkové náklady ST použitých na sanaci daného KM ve výši 2 413 917 795 Kč. Průměrný náklad je 70 997 582 Kč. Výše nákladů je v rozmezí od 0,1 mil. Kč do 416 mil. Kč. Průměrná plocha KM je 256 481 m². 24 KM má kat. priority A, 19 kat. P a 16 kat. N.



Obrázek 12: Procent. zastoupení ze 120 uvedených kontaminantů na 59 KM se ST bioremediace



Obrázek 13: Procent zastoupení ze 41 uvedených kontaminantů na 18 KM se ST přiroz. atenuace

3.2.2 přirozená atenuace

ST je založená na společném působení přirozených dějů, které vedou k úbytku kontaminantu na dané lokalitě a monitorovaný rozklad kontaminantu probíhá prokazatelně tak rychle, že není nutné aktivní technické opatření.³ Referována je v 18 případech (20 % z biologických ST) z období 2003 – 2023, přičemž na 5 lokalitách jde o návrh ST. Použita byla nejčastěji pro kontaminanty typu NEL (34,1 % ze 41 případů uvedení kontaminantu), dále CIU, BTEX, PAU, Anorg. ostatní, Anorg. více nebezpečné, Kovy velmi nebezpečné a Org. ostatní (obrázek 13). NEL, CIU a BTEX jsou kontaminanty v 73,2 % případů. V 9 případech jsou uvedeny celkové náklady všech ST použitých na sanaci daného KM v celkové výši 157,6 mil. Kč. Průměrný náklad je 17,5 mil. Kč. Výše nákladů je v rozmezí od 0,2 mil. Kč do 90 mil. Kč. Průměrná plocha sanovaného KM je 985 723 m². Čtyři KM mají kategorii priority A, 9 kategorií P a 5 kategorií N. V dalších 8 případech je přirozená atenuace součástí monitoringu a vyhodnocení sanace bez označení, že jde o nasazenou ST, 13x pak píše o řízené/podporované/stimulované atenuaci.

3.2.3 bioventilace

ST bioventilace (bioventing) je založena na odsávání půdního vzduchu z nesaturované zóny systémem mělkých vrtů spolu s dávkováním živin podporujících činnost mikroorganismů³. Je použitelná pro těkavé a semitěkavé kontaminanty (benzín, chlorované ethyleny, BTEX, nafta, letecký petrolej, lehčí aromatické uhlovodíky). Dle analýz byla použita v ČR ve třech případech (3,3 % z biologických ST), z toho v období 2003 – 2023 dvakrát a jedenkrát v období před rokem 1990, a to na lokalitách s kontaminací NEL (3x), BTEX (2x), CIU (1x), Anorg.více nebezpečná (1x), Anorg. Ostatní (1x) a Kovy velmi nebezpečné (1x). Ve všech třech případech jsou uvedeny celkové náklady všech ST použitých na sanaci daného KM v celkové výši 423 258 573 Kč Průměrný náklad je 141 086 191 Kč. Výše nákladů je v rozmezí od 1,9 mil. Kč do 416 mil. Kč. Na KM byly realizovány také metody sanačního čerpání, bioremediace / biodegradace, air-spargingu a promývání. Průměrná plocha sanovaného KM je 1 337 002 m². Jedno KM má kategorii priority A, jedno kategorii P a jedno kategorii N.

3.2.4 biostimulace (příklad: biologická reduktivní dechlorace)

Použití ST biostimulace bylo zaznamenáno v jediné lokalitě s kontaminací podzemních vod CIU. Pro cca jednoměsíční aplikaci kyseliny mléčné, síranu železnatého a přípravkem MPCD Navy byla použita speciální injektážní aparatura pro vtláčení do vrtů. Náklad sanace byl 9 500 000 Kč. Na lokalitě proběhla také odtěžba a sanační čerpání. Plocha sanovaného KM je 2225 m². KM má kategorii priority N, NO bylo ukončeno v roce 2016 splněním sanačních limitů pro podzemní vodu. Tato sanační metoda je obvykle zahrnovaná do sanačních technik bioremediace.

3.2.5 bioaugmentace (příklad: biodegradace v kombinaci s kompostováním)

Použití ST bylo zaznamenáno v jediném případě – na lokalitě dřevozpracujícího průmyslu s kontaminací horninového prostředí/podzemních vod kreosotovým olejem (NEL, PAU). Použitá metoda byla v SEKM také označena za ko-kompostování na biostimulační ploše on site. Náklad sanace byl 95,6 mil. Kč. Na lokalitě proběhla také odtěžba, ošetření kontaminovaného podloží metodou chemické oxidace (ISCO) a ochranné čerpání s čištěním podzemních vod metodou fotooxidace. Plocha sanovaného KM je 150 tis. m². KM má kategorii priority N, NO bylo ukončeno v roce 2023 splněním sanačních limitů. Tato sanační metoda je obvykle zahrnovaná do sanačních technik bioremediace.

3.2.6 biosparging

ST biospargingu byla použita ve dvou případech (2,2 % z biologických ST) a to v období 2003 – 2023. Na lokalitách s kontaminací NEL a PCB byly realizovány také metody sanačního čerpání a odtěžby³. V jednom případě je uveden náklad ST použitých na sanaci KM ve výši 100 tis. Kč. Průměrná plocha sanovaného KM je 1 286 488 m². Jedno KM má kat. priority A, a jedno kat. P.

3.2.7 fytoextrakce, fytovolatilizace, fytodegradace

Použití této ST nemá v SEKM ani jeden záznam. Přísluší do skupiny ST „ve fázi vývoje“.

3.2.8 kompostování, půdní úpravy, landfarming a bioreaktory

Použití uvedených ST bylo zachyceno pouze 1x v podobě **bioreaktoru**. Na KM byly realizovány také metody sanačního čerpání, odtěžby a biodegradace in-situ. Navíc v jednom případě se hovoří o ko-kompostování, ke kterému je referováno výše pod ST bioaugmentace. V několika dalších případech je uváděno použití kompostu jako součásti biologické rekultivace. Příkladem může být „kompostování“ (rozprostření biologicky oživitelné vrstvy při rekultivaci) použité v jednom případě v období 2003 – 2023. ST bioreaktorů byla použita na jediném KM s plochou 3745 m². Kontaminanty jsou BTEX, NEL a PAU. Na lokalitě byly realizovány také metody sanačního čerpání a odtěžby a biodegradace in-situ. KM má kategorii priority A.

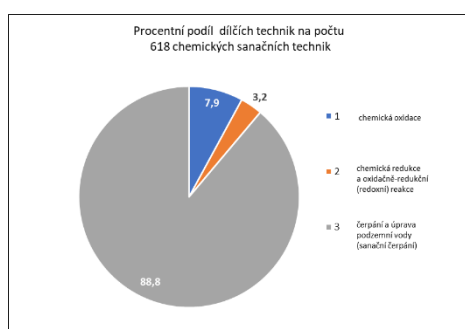
3.2.9 biofiltrace, mokřady pro biologické čištění a tzv. biobeds

ST **biofiltrace a mokřadů** byla použita v pěti případech (5,6 % z biologických ST), z toho v období 2003 – 2023 čtyřikrát a v období před rokem 1990 jedenkrát. Z celkového počtu 29 uvedených kontaminantů šlo o kontaminaci Kovy 5x, Kovy velmi nebezpečnými 5x, PAU 4x, Anorg. ostatní 3x, Anorg. více nebezpečnou 3x, NEL 2x, Pesticidy 2x, Odpady 2x, Org. ostatní 1x, BTEX 1x a CIU x1. Mezi případy nepodchycené v SEKM patří 2 případy použití biofiltru – biologické pračky vzduchu bez souvislosti s konkrétním KM. V prvním případě byl odstraňován aceton z potisku obalů pro masný průmysl, v druhém případě byly odstraňovány deriváty kyseliny stearové z impregnace geotextilií.³ Z výše uvedených 5 užití je ST **mokřady pro biologické čištění** referována ze dvou lokalit, a to z období 2003–2023. Na KM s kontaminací kovy, kovy velmi nebezpečnými, NEL, PAU, CIU a pesticidy

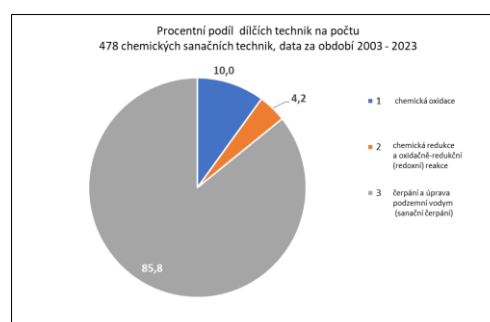
byly realizovány také metody sanačního čerpání, odtěžby, vymístění, překrytí a fytoremediace. Průměrná plocha sanovaného KM je 124 463 m². Jedno KM má kategorii priority A a jedno KM kategorii N. Tato ST je založena na principu filtrace vody skrze vrstvu média tvořeného čistě anorganickým materiálem, jako je kačirek anebo štěrk o různých zrnitostních frakcích, případně směsí anorganického materiálu s organickým. Technologie může být využívána pro širokou škálu kontaminantů a zdrojů vod – přítok odpadních vod ze stokových systémů, zachytávání drenážních vod ze zemědělských oblastí, jímání průsakových vod po těžební činnosti atp.³ Pod názvem „biobeds“ nebyl v SEKM nalezen žádný záznam KM, kde by technologie byla použita. Naopak je v záznamech SEKM uvedena také ST použití kokso-kompostových filtrů v odplyňovacích systémech skládek, která byla identifikována ve třech případech s celkovými náklady všech ST použitých na sanaci daných KM ve výši 77,7 mil. Kč. Průměrný náklad je 25,9 mil. Kč. Výše nákladů je v rozmezí od 6,3 mil. Kč do 49 mil. Kč. Průměrná plocha sanovaného KM je 16 685 m². Všechny 3 KM mají kategorii priority P. Případné přiřazení ke ST biofiltrace je diskutabilní.

3.3 Chemické sanační techniky

Největší podíl ve skupině chemických ST (618 použití) má ST čerpání a úpravy podzemních vod (sanační čerpání) – 549 použití (88,8 %), pro období 2003 – 2023 je to 85,8 %. Následují ST chemické oxidace 49 použití (7,9 %), resp. 10,0 % ST pro období 2003 – 2023 a ST chemické redukce – 20 použití (3,2 %), resp. 4,2 % pro období 2003 – 2023 (obrázek 14 a 15). Tyto chemické ST byly dominantně použity v období 2003 – 2023 (478, tj. 77,3 %), před rokem 2003 to bylo 140 použití, tj. 22,7 % ze všech 618 zaznamenaných použití. KM s použitím chemické ST jsou nejčastěji kategorie P (47,1 %).



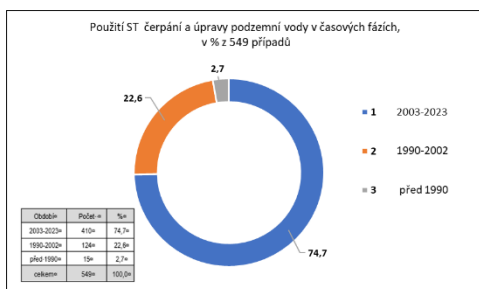
Obrázek 14: Podíly dílčích ST na 618 chemických ST



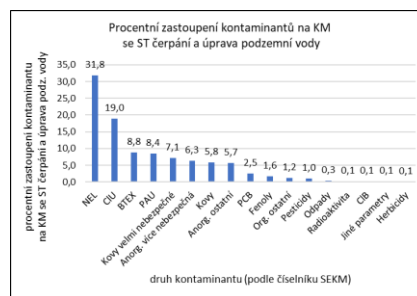
Obrázek 15: Podíly dílčích ST na 478 chemických ST v letech 2003–2023

3.3.1 čerpání a úprava podzemní vody (sanační čerpání)

ST čerpání a úpravy podzemní vody byla použita v 549 případech (90,9 % z chemických ST), z toho v období 2003 – 2023 410krát, v období 1990–2002 124krát a před rokem 1992 15krát (obrázek 16). Tato ST byla použita na 549 lokalitách s kontaminanty: NEL, CIU, BTEX, PAU, Kovy velmi nebezpečné, Anorg. více nebezpečná, Kovy, Anorg. ostatní, PCB, Fenoly, Org. ostatní, Pesticidy, Odpady, Radioaktivita, CIB, Jiné parametry a Herbicidy (obrázek 17). Nejčastější je kontaminace NEL – 31,8 % ze 1361 případů. NEL a CIU společně jsou kontaminanty v 50,8 % případů. Ve 220 případech jsou uvedeny celkové náklady všech ST použitých na daném KM v celkové výši 22 922 822 365 Kč. Průměrný náklad je 104,2 mil. Kč. Výše nákladů je v rozmezí od 3,5 mld. Kč do 50 tis. Kč. Průměrná plocha KM je 822 529 m². 179 KM má kat. priority A, 268 kat. P a 102 kat. N. Jedná se o celou řadu velmi rozšířených nenáročných metod, kdy principem je manipulace a dekontaminace kontaminované podzemní vody obsahující chemické látky (př. průmyslová rozpouštědla, kovy a ropné produkty). Podzemní voda se čerpá ze studní (vrtů) nebo výkopů do nadzemního čistícího systému, který odstraňuje kontaminující látky. Metoda je použitelná pro látky s menší hustotou, než vykazuje voda (zejména produkty z ropy) a látky dobře rozpustné ve vodě.



Obrázek 16: Použití ST čerpání a úprava podzemní vody v časových fázích



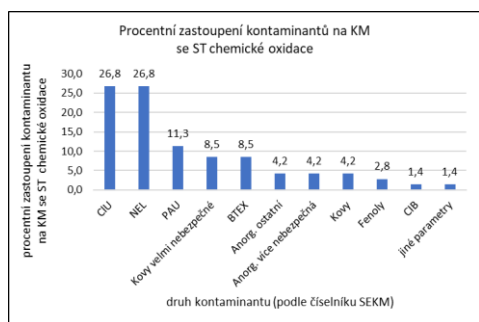
Obrázek 17: Procentní zastoupení z 1361 uvedených kontaminantů na 549 KM se ST čerpání a úprava podzemní vody

3.3.2 chemická oxidace (ISCO)

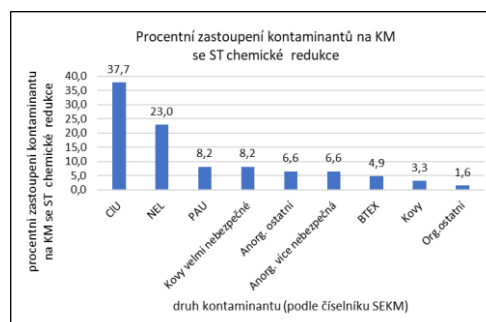
ST chemické oxidace byla použita ve 49 případech (7,9 % z chemických ST), z toho v období 2003 – 2023 48krát a jedenkrát v období 1990 – 2003, a to na lokalitách s následujícími kontaminanty: CIU, NEL, PAU, Kovy velmi nebezpečné, BTEX, Anorg. ostatní, Anorg. více nebezpečná, Kovy, Fenoly, Org. ostatní a jinými parametry (kyanidy) (obrázek 18). Nejčastější jsou kontaminace CIU a NEL – po 26,8 % ze 71 případů uvedení kontaminantu. CIU a NEL společně s PAU jsou kontaminanty v 64,8 % případů. V 32 případech jsou uvedeny celkové náklady všech ST použitých na daném KM v celkové výši 5,7 mld. Kč. Průměrný náklad je 176,9 mil. Kč. Výše nákladů je v rozmezí od 3,5 mld. Kč do 5 mil. Kč. Průměrná plocha sanovaného KM je 710 553 m². 23 KM má kat. priority A, 18 kat. P a 8 kat. N. Principem in situ chemické oxidace je přivedení vodného roztoku silného oxidačního činidla (manganistan, peroxid vodíku, někdy ve formě Fentonova činidla, nově i peroxodvojsíran) do přímého kontaktu s kontaminujícími látkami v horninovém prostředí. Obecně se používá na dekontaminaci oxidovatelných organických látek s dobrou rozpustností ve vodě, nejčastěji na chlorované ethyleny.³

3.3.3 chemická redukce a oxidačně-redukční (redoxní) reakce

ST chemické redukce (atd.) byla použita ve 20 případech (3,2 % z chemických ST) a to pouze v období 2003 – 2023 (v jednom případě byla sanace zahájena před rokem 2003). ST byla použita na 61 KM s následujícími kontaminanty: CIU, NEL, PAU, Kovy velmi nebezpečné, Anorg. ostatní, Anorg. více nebezpečná, BTEX, Kovy a Org. ostatní (obrázek 19). Nejčastější je kontaminace CIU – 37,7 % ze 61 případů uvedení kontaminantu. CIU a NEL společně jsou kontaminanty v 60,7 % případů.



Obrázek 18: Procentní zastoupení ze 71 uvedených kontaminantů na 49 KM se ST chemické oxidace



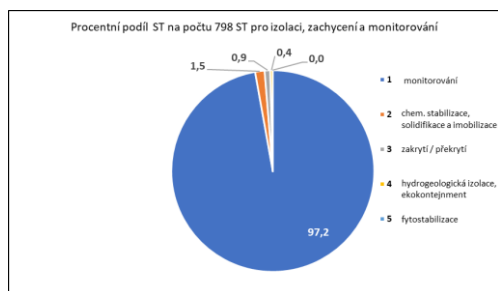
Obrázek 19: Procentní zastoupení z 61 uvedených kontaminantů na 20 KM se ST chemické redukce

V 15 případech jsou uvedeny celkové náklady všech ST použitých na daném KM v celkové výši 485 801 780 Kč. Průměrný náklad je 32 386 785 Kč. Výše nákladů je v rozmezí od 102 mil. Kč do 30 tis. Kč. Průměrná plocha sanovaného KM je 104 904 m². 8 KM má kat. priority A, 5 kat. P a 7 kat. N. Principem metody je přivedení roztoku nebo suspenze silného redukčního činidla do přímého kontaktu s kontaminujícími látkami v horninovém prostředí. Jelikož potřebné reakce probíhají ve vodném

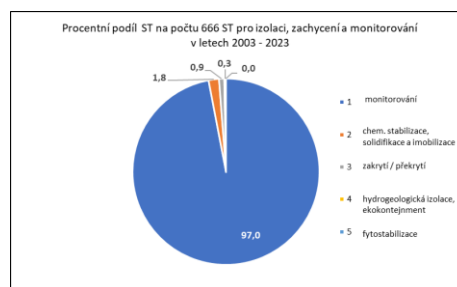
prostředí, je metoda určena v zásadě pro saturovanou zónu. Ve funkci redukčního činidla je nejvíce používáno tzv. elementární nanoželezo, okrajově byl uvažován borohydrid sodný a na lokalitách znečištěných šestimocným chromem byl minimálně jednou použit disiřičitan. Obecně se používá na odstraňování redukovatelných anorganických či organických látek s dobrou rozpustností ve vodě.³

3.4 Sanační techniky pro izolaci, zachycení a monitorování

Největší podíl ve skupině (celkem 796 použití) má technika monitorování (kontrola a následná péče prostřednictvím monitorovacích vrtů) – 776 použití (97,2 %), pro období 2003 – 2023 je to 97 %. Následují ST chemická stabilizace, solidifikace a imobilizace - 10 použití (1,5 %), resp. 1,8 % ST pro období 2003 – 2023, ST zakrytí / překrytí (atd.) – 7 použití (0,88 %), resp. 0,9 % pro období 2003 – 2023 a ST hydrogeologická izolace a zachycení (kontainment / ekokontejnment) – 3 použití (0,4 %), resp. 0,3 % ST pro období 2003–2023. ST fytostabilizace nebyla v záznamech SEKM zjištěna. Podíly těchto dílčích sanačních technik jsou ilustrovány na obrázcích 20 a 21. Tyto ST pro izolaci, zachycení a monitorování byly dominantně použity v období 2003–2023 (666, tj. 83,5 %), před rokem 2003 to bylo 132 použití, tj. 16,5 % ze všech 796 zaznamenaných použití. KM, na nichž byly použity ST pro izolaci, zachycení a monitorování, mají nejčastěji kat. priority P – 472 (59,3 %), následuje kat. N – 171 (21,5 %) a kat. A – 152 (19,1 %). Níže v textu jsou detailně zanalyzovány první 3 zmíněné metody v této kategorii, informace a data k méně častým ST z této skupiny poskytnou autoři na vyžádání.



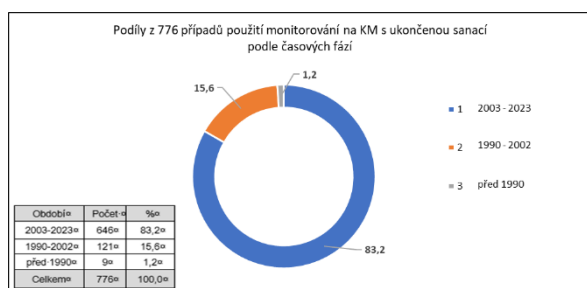
Obrázek 20: Podíly dílčích ST na 796 ST pro izolaci, zachycení a monitorování



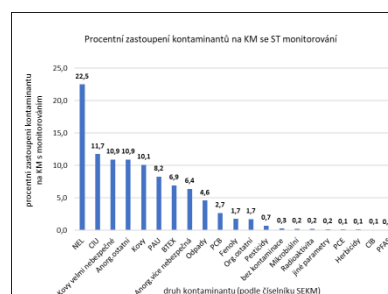
Obrázek 21: Podíly dílčích ST na 666 ST pro izolaci, zachycení a monitorování v letech 2003 – 2023

3.4.1 monitorování / monitoring

ST monitorování byla použita v 776 případech (97,2 % ze 796 ST pro izolaci, zachycení a monitorování), z toho v období 2003 – 2023 646krát, 121krát v období 1990 – 2002 a 9krát v období před rokem 1990 (obrázek 22). Jednalo se o KM se všemi druhy kontaminantů, nejčastěji pak NEL – 22,4 % z 2292 případů uvedení kontaminantu (obrázek 23). 92,3 % z uvedených kontaminantů tvoří NEL, CIU, Kovy velmi nebezpečné, Anorg. ostatní, Kovy, PAU, BTEX, Anorg. více nebezpečná a Odpady. V současnosti dle dat SEKM probíhá monitorování na 589 KM.



Obrázek 22: Použití ST monitorování na evidovaných KM s ukončenou sanací podle let



Obrázek 23: Procentní zastoupení z 2292 uvedených kontaminantů na 776 KM se ST monitorování

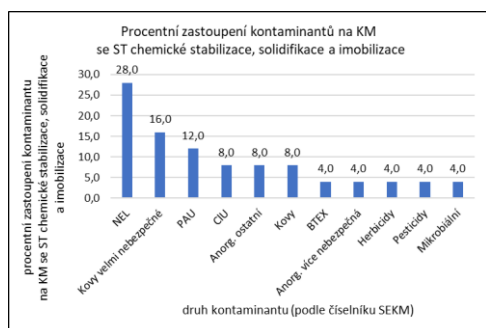
V 285 případech jsou uvedeny celkové náklady všech ST na daném KM v celkové výši 29,3 mld. Kč. Průměrný náklad je 102,7 mil. Kč. Výše nákladů je v rozmezí od 3,5 mld. Kč do 10 tis. Kč. Průměrná plocha sanovaného KM je 4103 m². 144 KM má kat. priority A, 465 kat. P a 167 kat. N. V případě monitoringu je třeba poznamenat, že tento termín a technika se v českém prostředí chápe a používá spíše jako forma procesního, resp. nápravného opatření, ale ne jako „sanační technologie“. V Metodické příručce MŽP⁹ je monitoring definován jako „spojité nebo pravidelně opakované sledování vybraných parametrů, funkcí či změn určitého systému“. Má různé podoby a fáze – např. úvodní / předsanační, provozní / režimní / sanační monitoring, kontrolní a postsanační monitoring. Většina z rešeršovaných forem monitoringu patřila do provozního (atd.) a postsanačního monitoringu. Metodická příručka MŽP¹⁰ člení monitoring na tři druhy: předsanační, sanační a postsanační.

3.4.2 chemická stabilizace, solidifikace a imobilizace

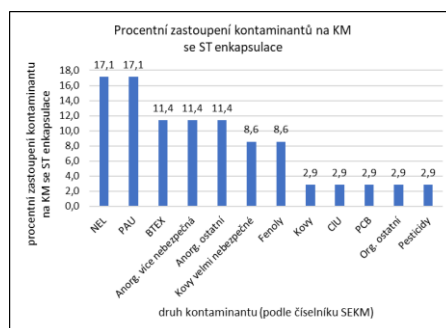
ST chemické stabilizace, solidifikace a imobilizace byla použita ve 10 případech (1,5 % z 796 užití ST pro izolaci, zachycení a monitorování) a to 9krát v období 2003–2023 a jednou před rokem 2003. Tato ST byla použita na 10 lokalitách s následujícími kontaminanty: NEL, Kovy velmi nebezpečné, PAU, CIU, Anorg. ostatní, Kovy, BTEX, Anorg. více nebezpečná, Herbicidy, Pesticidy a Mikrobiální (obrázek 24). Nejčastější je kontaminace NEL – 28,0 % z 25 případů uvedení kontaminantu. NEL, Kovy velmi nebezpečné a PAU společně jsou kontaminanty v 56 % případů. Téměř ve všech případech metoda navazuje na odtěžbu, resp. vymístění. V 7 případech jsou uvedeny celkové náklady všech ST použitých na sanaci daného KM v celkové výši 298 587 664 Kč. Průměrný náklad je 42 655 381 Kč. Výše nákladů je v rozmezí od 79 mil. Kč do 18 mil. Kč. Průměrná plocha sanovaného KM je 12 777 m². 3 KM mají kat. priority A, 3 kat. P a 4 kat. N.

3.4.3 zakrytí / překrytí, reaktivní bariéry, enkapsulace

Tato ST vyhledaná v SEKM pod termínem **enkapsulace** byla použita v 7 případech (0,9 % z 796 užití ST pro zakrytí / překrytí, reaktivní bariéry, enkapsulace), z toho v období 2003 – 2023 to bylo šestkrát a jednou v období 1992 – 2002. Tato ST byla použita na 7 lokalitách s následujícími kontaminanty: NEL, PAU, BTEX, Anorg. více nebezpečná, Anorg. ostatní, Kovy velmi nebezpečné, Fenoly, Kovy, CIU, PCB, Org. ostatní a Pesticidy (obrázek 25). Nejčastější je kontaminace NEL a PAU – po 17,1 % ze 35 případů uvedení kontaminantu. NEL a PAU společně s BTEX, Anorg. více nebezpečná, Anorg. ostatní, Kovy velmi nebezpečné, Fenoly jsou kontaminanty v 85,7 % případů. Metoda enkapsulace se nejčastěji používá pro skládky. Společně s metodou ekocontaineru byla použita na KM SPOLANA v Neratovicích.³ Ve třech případech jsou uvedeny celkové náklady všech ST na daném KM v celkové výši 71 821 771 Kč. Průměrný náklad je 23 940 590 Kč. Výše nákladů je v rozmezí od 40,6 mil. Kč do 6,3 mil. Kč. Průměrná plocha KM je 1 170 261 m². 3 KM mají kat. priority A, 3 kat. P a jedno kat. N.



Obrázek 24: Procentní zastoupení 25 uvedených kontaminantů na 10 KM se ST pro chemickou stabilizaci, solidifikaci a imobilizaci



Obrázek 25: Procentní zastoupení ze 35 uvedených kontaminantů na 7 KM se ST enkapsulace

4. Výsledky a diskuse

4.1 Statistika použití ST vs. výskyt skupin kontaminantů na KM

V SEKM jsou zjistitelné počty uvedení kontaminantu, resp. skupin kontaminantů v záznamech jednotlivých KM, k 13. 3. 2024 se jedná o 33 028 uvedení. Srovnání počtů uvedení skupin kontaminantů ve všech záznamech SEKM s počty uvedení skupin kontaminantů na KM s NO a uplatněnými ST (celkem 5791) v členění na jednotlivé skupiny kontaminantů je v tabulkách 4 a 5 a na obrázku 26. Jak vyplývá z uvedených dat, tvoří počet uvedení skupin kontaminantů z analýzy ST na KM s NO 17,5 % z počtu uvedení skupin kontaminantů v záznamech SEKM (5791 z 33 028 uvedení).

Tabulka 4: Počty a podíly uvedení skupin kontaminantů ve všech záznamech SEKM a počty a podíly uvedení skupin kontaminantů na KM s NO a uplatněnými ST

Skupina kontaminantů	Počet uvedení skupin kontaminantů v záznamech SEKM	%	Počet uvedení skupin kontaminantů z analýzy ST na KM s NO	%
Anorganické ostatní	5762	17,4	474	8,2
Anorganické více nebezpečné	2086	6,3	350	6,0
BTEX (benzen – toluen – ethylbenzen – xylen)	694	2,1	484	8,4
CIB (chlorbenzeny a chlorfenoly)	19	0,1	9	0,2
CIU (chlorované uhlovodíky)	1182	3,6	883	15,2
Fenoly	165	0,5	93	1,6
Freony a halony	12	0,0	1	0,0
Herbicidy	192	0,6	12	0,2
Kovy	5686	17,2	464	8,0
Kovy velmi nebezpečné	5746	17,4	523	9,0
Mikrobiální	341	1,0	8	0,1
NEL (nepolární extrahovatelné látky)	4094	12,4	1528	26,4
Organické ostatní	455	1,4	89	1,5
PAU (polycyklické aromatické uhlovodíky)	978	3,0	498	8,6
PCB (polychlorované bifenyly)	698	2,1	151	2,6
Pesticidy	363	1,1	54	0,9
Radioaktivita	38	0,1	14	0,2
Odpady	4463	13,5	143	2,5
PFAS (perfluoroalkylové chemické látky)	0	0,0	1	0,0
Jiné parametry	54	0,2	12	0,2
Celkem	33 028	100,0	5791	100,0

Níže uvádíme srovnání počtů a podílů zjištěných ST pro jednotlivé skupiny kontaminantů (tabulka 5). Podíly počtů uvedení skupin kontaminantů pro data z naší provedené analýzy ST a pro data za celý datový obsah SEKM se významně liší, což je možné interpretovat z pohledu zastoupení skupin kontaminantů na KM s použitými jednotlivými sanačními technikami a také z pohledu uplatnění konkrétních ST na odstranění nejčastěji identifikovaných skupin kontaminantů.

Nejvíce identifikovaných skupin kontaminantů má ST odstranění kapalné fáze z hladiny podzemních vod (300 skupin kontaminantů, tj. 5,2 % z celkem 5791 uvedení), ST odtěžení, vymístění atd. (1113, tj. 19,2 %); ST čerpání a úpravy podzemní vody (1361, tj. 23,5 %) a ST monitorování (2292, tj. 39,6 %). Celkem tyto 4 ST představují 87,5 % všech zjištěných uvedení skupin kontaminantů.

Z pohledu uplatnění konkrétních ST na odstranění nejčastěji identifikovaných skupin kontaminantů zjišťujeme, že zatímco ve všech záznamech SEKM jsou nejčastější skupiny kontaminantů Anorg. ostatní (17,4 %), Kovy velmi nebezpečné (17,4 %), Kovy (17,2 %), Odpady (13,5 %) a NEL (12,4 %) (sumárně 78 %), tak ve skupině KM s uplatněním ST jsou nečastější skupiny kontaminantů NEL (26,4 %), CIU (15,2 %), Kovy velmi nebezpečné (9,0 %), PAU (8,6 %) BTEX (8,4 %) Anorg. ostatní (8,2 %), Kovy (8,0 %) a Anorg. více nebezpečné (6,0 %) (sumárně cca 90 %) (viz tabulky 4 a 5).

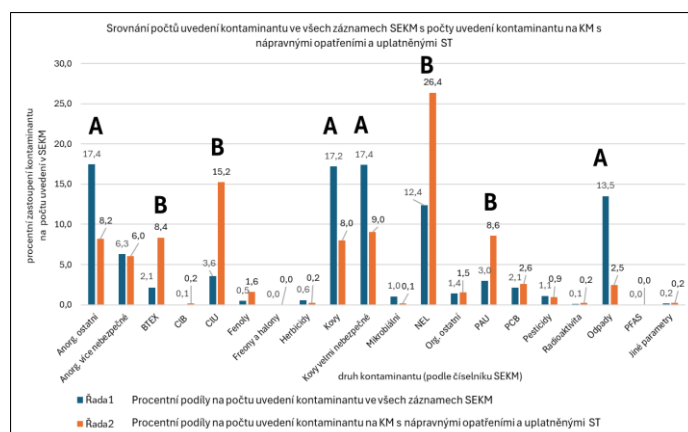
Pokud srovnáme podíly pěti nejčastějších skupin kontaminantů identifikovaných ve všech záznamech SEKM (78 %) s podíly stejných skupin kontaminantů na KM s uplatněním ST, tak ty mají podíl pouze 54,1 %. Lze to interpretovat tak, že na sanovaných KM s vysokým stupněm poznání jsou oproti celku KM SEKM nadprůměrně často (mimo dominantní NEL) identifikovány i následující zbyvajících skupiny kontaminantů – CIU, BTEX, PAU a Anorg. více nebezpečné. K obdobnému rozřídění dojdeme interpretací poměrů procentních podílů skupin kontaminantů z jejich uvedení v SEKM vs v analýze ST (tabulka 5), kde jsou poměry SEKM/Anal. ST a Anal. ST/SEKM barevně rozříděny podle tříd pod 1,00, 1,00 – 1,99, 2,00 – 2,99 a nad 3,0.

Pro celou skupinu SEKM jsou typické převažující skupiny kontaminantů Mikrobiální a Odpady (podružněji Herbicidy, Anorg. ostatní, Freony a halony, Kovy) a to nad poměry ve skupině z analýzy ST. Pro skupinu KM s použitými ST jsou naopak typické převažující skupiny kontaminantů CIU, BTEX a CIU (podružněji PAU, CIB, NEL a Radioaktivita). To odpovídá skutečnosti, že mezi nedostatečně prozkoumanými a nesanovanými KM převažují KM typu skládek a malých průmyslových a zemědělských kontaminací, oproti prioritně v minulosti i současnosti sanovaným KM s průmyslovým znečištěním chemickými látkami (především ropnými uhlovodíky).

Tabulka 5: Srovnání mezi podíly uvedení kontaminantu v záznamech SEKM a na KM s NO a uplatněnými ST v členění pro skupiny kontaminantů

Skupina kontaminantů	% z uvedení kontaminantu ve všech záznamech SEKM	% z uvedení kontaminantu z analýzy ST	poměr % SEKM/ST	poměr % ST/SEKM
Anorg. ostatní	17,4	8,2	2,1	0,5
Anorg. více nebezpečné	6,3	6,0	1,0	1,0
BTEX	2,1	8,4	0,3	4,0
CIB	0,1	0,2	0,4	2,7
CIU	3,6	15,2	0,2	4,3
Fenoly	0,5	1,6	0,3	3,2
Freony a halony	0,0	0,0	2,1	0,5
Herbicidy	0,6	0,2	2,8	0,4
Kovy	17,2	8,0	2,1	0,5
Kovy velmi nebezpečné	17,4	9,0	1,9	0,5
Mikrobiální	1,0	0,1	7,5	0,1
NEL	12,4	26,4	0,5	2,1
Org. ostatní	1,4	1,5	0,9	1,1
PAU	3,0	8,6	0,3	2,9
PCB	2,1	2,6	0,8	1,2
Pesticidy	1,1	0,9	1,2	0,8
Radioaktivita	0,1	0,2	0,5	2,1
Odpady	13,5	2,5	5,5	0,2
PFAS	0,0	0,0	0,0	0,0
Jiné parametry	0,2	0,2	0,8	1,3
Celkem	100,0	100,0		

V obrázku 26 jsou rozdíly v podílech nejpočetnějších skupin kontaminantů označeny písmeny A (vyšší zastoupení v SEKM než v analýze ST) a B (vyšší zastoupení v analýze ST než v SEKM).



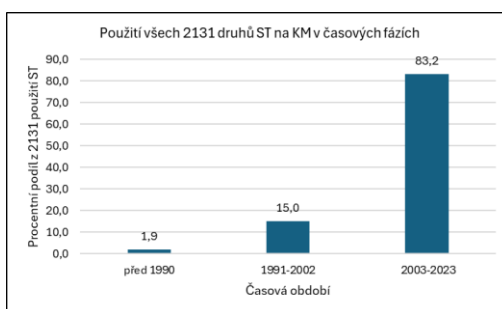
Obrázek 26: Srovnání počtů uvedení kontaminantu ve všech záznamech SEKM s počty uvedení kontaminantu na KM s NO a uplatněnými ST

Na 10 186 KM evidovaných v SEKM bylo zjištěno 33 028 uvedení skupin kontaminantů (průměr 3,2 skupin kontaminantů/KM). Z celkového počtu evidovaných 10 186 KM jsme studovali skupinu 1827 KM, pro které byla NO stanovena. Ve zbývajících skupině 8316 KM jsou lokality, kde NO jsou teprve plánována nebo nejsou zapotřebí. Poznatky o kontaminaci jsou u části těchto KM známy z provedených studií a rizikových analýz, ale jsou jen rámcové, průzkum nebyl dokončen nebo sanační projekt nebyl zahájen.

Ve skupině 1827 KM se stanovenými NO bylo zjištěno 5791 uvedení skupin kontaminantů, což představuje identifikaci v průměru 3,2 skupin kontaminantů na jednom KM. Tyto shodné průměrné hodnoty identifikace skupin kontaminantů na KM za celý SEKM a ve skupině se stanovenými NO naznačují, že spektrum vytipovaných kontaminantů u KM bez dostatečného průzkumu či analýz rizik se po provedení sanace příliš nemění, což dokládá dobrou expertní úroveň pořizovatelů dat do SEKM.

4.2 Časová analýza uplatnění jednotlivých ST na KM evidovaných v SEKM

Pro druhy ST i jednotlivé ST techniky jsme výše v kapitole 3 zaznamenali použití ST v časových fázích – před rokem 1990, v době od 1991 do 2002 a v době od 2003 do 2023. Souhrnné vyhodnocení je uvedeno v obrázku 27.



Obrázek 27: Použití všech 2131 druhů ST na KM v časových fázích

Z celkem 40 použití ST v období před rokem 1990 připadá 15 (37,5 %) na sanační čerpání, 9 (22,5 %) na monitoring a 8 (20 %) na odtěžbu. Rovněž v období 1991 – 2002 (celkem 319 ST) jsou tyto tři ST nejčastější – sanační čerpání 124 (38,9 %), monitoring 121 (37,9 %) a odtěžba 49 (15,4 %).

Pro období 2003 – 2023 je podíl jednotlivých ST uveden v tabulce 6. Nejčastěji použité ST (90,8 % ze všech v tomto období) jsou žlutě zvýrazněny. Mimo tři ST (sanační čerpání, monitoring a odtěžba), které byly dominantní již v předcházejících obdobích se častěji nebo nově uplatňují ST odstranění kapalné

fáze z hladiny podzemních vod, ST bioremediace a ST chemické oxidace. To plně koresponduje s expertním hodnocením uplatňování sanačních metod s postupem času za posledních cca 40 let, kdy se k tzv. běžným sanačním metodám (sanační čerpání, venting, bioremediace, přirozená atenuace) v posledních 20 letech intenzivněji nasazují tzv. progresivní metody (chemická oxidace, chemická redukce, termické metody).^{3,7}

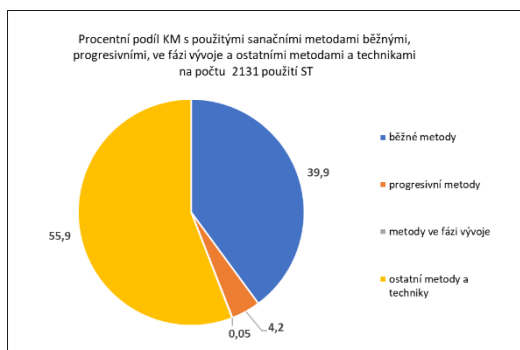
Tabulka 6: Počty a podíly druhů ST na 1772 ST použitých v období 2003 – 2023

Č. ST	Sanační technika	Počet	%
1	extrakce par, provzdušňování proudem vzduchu	67	3,8
2	tepelné ošetření, vstřikování páry, tepelná desorpce, vitrifikace	20	1,1
3	praní a promývání půdy	20	1,1
4	elektroremediace	1	0,1
5	odstranění kapalné fáze z hladiny podzemních vod	100	5,6
6	odtěžení, vymístění, demolice, skládkování	338	19,1
7	bioremediace	56	3,2
8	biostimulace	1	0,1
9	bioaugmentace	1	0,1
10	bioventilace	2	0,1
11	biosparging	2	0,1
12	kompostování, bioreaktorové systémy	1	0,1
13	biofiltrace, mokřady pro biologické čištění a tzv. biobeds	4	0,2
14	přirozená atenuace	18	1,0
15	chemická oxidace	48	2,7
16	chemická redukce a oxidačně-redukční (redoxní) reakce	20	1,1
17	čerpání a úprava podzemní vody (sanační čerpání)	410	23,1
18	zakrytí / překrytí, reaktivní bariéry, enkapsulace	6	0,3
19	chemická stabilizace, solidifikace a imobilizace	9	0,5
20	kontainment; ekokontejnment	2	0,1
21	fyto-stabilizace	0	0,0
22	monitorování, monitoring	646	36,5
Celkem		1772	100,0

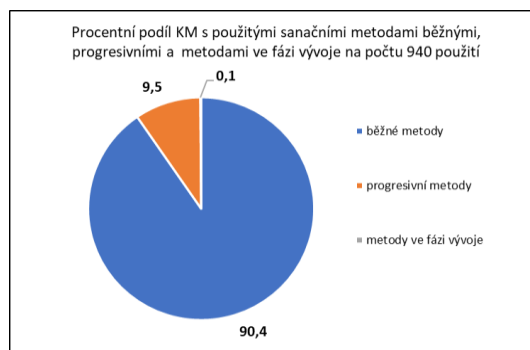
Pro zařazení sanovaných KM do časových fází byly použity údaje o dokončení sanací na dané lokalitě. Tato časová analýza má však jistou nepřesnost, spočívající v nedostatku informací v záznamech SEKM o skutečném zahájení sanačních prací. Je velmi pravděpodobné, že část sanačních prací byla zahájena již v předcházející fázi, ale je vykázána podle dokončení až ve fázi následující.

4.3 Sanační metody z pohledu stupně rozpracovanosti a uplatnění v praxi ČR

Z pohledu stupně rozpracovanosti a uplatnění v praxi ČR byl každý analyzovaný druh použité ST (z 2131 použití) přiřazen do některé ze skupiny: běžných metod (celkem 850 použití), progresivních metod (celkem 89 použití), metod ve fázi vývoje (jedno použití) a ostatních metod a technik (1191 použití) (obrázek 28). V uvedeném členění početně dominuje skupina ostatních metod a technik (cca 56 %) a v ní pak technika monitorování tvoří 36,4 % ze všech metod a technik. Pokud se zaměříme na vlastní sanační metody (techniky, resp. technologie), bude poměr mezi třemi skupinami uplatněných metod odlišný (obrázek 29).



Obrázek 28: Procentní podíly KM s použitými metodami běžnými, progresivními, ve fázi vývoje a ostatními metodami a technikami na počtu 2131 použití ST



Obrázek 29: Procentní podíly KM s použitými metodami běžnými, progresivními a metodami ve fázi vývoje na celkovém počtu 940 použití

Běžné metody – sanační čerpání, venting, bioremediace a přirozená atenuace – se velmi pravděpodobně budou stále v nezmenšené míře uplatňovat na KM připravovaných k sanaci, neboť na řadu budou přicházet lokality s nižší prioritou (riziky) a obvykle s méně komplikovanými poměry a intenzitou znečištění. Nicméně, ve zmenšující se skupině zbývajících KM s vysokou kategorií priorit a s komplexními a komplikovanými sanačními podmínkami se budou také intenzivně uplatňovat progresivní metody - in situ chemická oxidace, in situ chemická redukce a termické metody. Metody ve fázi vývoje budou možná používány jen pro speciální případy, kdy budou výhodnější než metody běžné a progresivní nebo budou předmětem pilotních či výzkumných projektů.

4.4 ST a metody z pohledu druhů kontaminantů, místa uplatnění, počtů, nákladů a sanovaných ploch

Z přehledu 22 analyzovaných ST (tabulka 7) můžeme usuzovat na obecnější charakteristiky uplatňování jednotlivých technik, resp. metod a na obvyklé parametry KM a sanačních projektů. Typické odstraňované kontaminanty (skupiny kontaminantů) jsou zde uvedeny pro celé KM sanované s použitím dané metody / ST, která je však obvykle zacílena jen na část z nich. Ze SEKM (a z v něm zanesených anotací) není možno přímo extrahovat přesnější informace o vztahu mezi metodou / ST a zacíleným kontaminantem. To je možné pouze studiem archivní dokumentace uložené (a většinou nedigitalizované) v Geofondu České geologické služby. Počet skupin kontaminantů identifikovaných pro danou metodu / ST koresponduje s počtem KM, na nichž byla metoda / technika použita, s tím, že je obvykle 2krát až 3krát větší.

Z přehledu průměrných nákladů na sanaci celých lokalit všemi aplikovanými metodami / ST nelze přímo usuzovat na nákladovost nasazení dané metody / techniky. Nicméně lze najít souvislost některých z nich s vysokými průměrnými náklady na sanaci KM. V tabulce 7 je těchto 7 případů s náklady vyššími, než je průměr průměrných nákladů (113 mil. Kč) barevně označeno. Jsou to metody / techniky extrakce par a provzdušňování proudem vzduchu, praní a promývání půdy, odstranění kapalné fáze z hladiny podzemních vod; odtěžení / vymístění, bioventilace, chemické oxidace a hydrogeologické izolace a zachycení (ekokontejnment). Ve všech těchto případech jde o aplikaci in situ, u 4 z nich i případně o nasazení ex situ.

Průměrné plochy sanovaných KM vykazované pro KM s použitím jednotlivých metod / ST mají velký rozptyl – od jednotek tis. m² po 14 mil. m². Pro studované metody / ST byly v tabulce 7 barevně odznačeny případy převyšující průměr průměrných ploch (1131 tis. m²): extrakce par a provzdušňování proudem vzduchu; praní a promývání půdy; odstranění kapalné fáze z hladiny podzemních vod; odtěžení / vymístění; bioventilace; biosparging; zakrytí / překrytí / reaktivní bariéry / enkapsulace. Čtyři případy z uvedených 6 případů nadprůměrných ploch korespondují se čtyřmi případy ze 7 případů nadprůměrných nákladů, což odpovídá očekávanému růstu nákladů s plochou sanovaného KM.

Tabulka 7: Přehled druhů kontaminantů, místa uplatnění, počtů, nákladů a sanovaných ploch

Sanační technika ¹	Skupina sanačních metod ³	Typické odstraňované kontaminanty (skupiny kontaminantů) ² na KM sanovaných s použitím dané metody / techniky	Počet skupin kontaminantů	Místo a forma použití ST	Četnost použití - počet KM	Průměrný san. náklad v mil. Kč	Průměrná plocha san. KM v tis. m ²
1	běžné	CIU, NEL, BTEX	192	<i>in situ</i> , výjimečně <i>ex situ</i>	77	160	610
2	progresivní	CIU, NEL, BTEX, PAU	58	<i>in situ</i> i <i>ex situ</i>	20	100	174
3	běžné	NEL, BTEX, CIU, PAU	61	<i>in situ</i> i <i>ex situ</i>	21	457	1200
4	ve vývoji	CIU, NEL	2	<i>in situ</i>	1	29	49
5	běžné	NEL, BTEX, CIU, PAU	300	<i>in situ</i>	113	190	14 000
6	ostatní	NEL, CIU, Kovy velmi nebezpečné, PAU, Kovy, BTEX, Anorg. ostatní	1113	<i>in situ</i> , <i>on site</i> , <i>ex situ</i>	395	147	1300
7	běžné	CIU, NEL	120	<i>in situ</i> i <i>ex situ</i>	59	71	256
8	běžné	CIU	1	<i>in situ</i>	1	9,5	2,2
9	běžné	NEL, PAU	2	<i>on site</i>	1	95,6	150
10	běžné	NEL, BTEX, CIU	9	<i>in situ</i>	3	141	1300
11	běžné	NEL a PCB	2	<i>in situ</i> , výjimečně <i>ex situ</i>	2	0,1	1300
12	běžné	BTEX, NEL, PAU	3	<i>in situ</i> , výjimečně <i>ex situ</i>	1	0	3,7
13	běžné	kovy, kovy velmi nebezpečné, PAU, anorg. ostatní, anorg. více nebezpečné, NEL a pesticidy	29	<i>in situ</i>	5	0	124
14	běžné	NEL, CIU, BTEX	41	<i>in situ</i>	18	17,5	985
15	progresivní	CIU, NEL, PAU	71	<i>in situ</i>	49	177	711
16	progresivní	CIU, NEL	61	<i>in situ</i>	20	32	105
17	běžné	NEL, CIU	1361	<i>in situ</i>	549	104	823
a	ostatní	NEL, PAU, BTEX, anorg. více nebezpečná, anorg. ostatní, kovy velmi nebezpečné, fenoly	35	<i>in situ</i>	7	24	1200
b	ostatní	NEL, kovy velmi nebezpečné, PAU	25	<i>in situ</i> i <i>ex situ</i>	10	43	13
c	ostatní	NEL, BTEX, CIU, PAU, PCB, anorg. ostatní, anorg. více nebezpečné, kovy, kovy velmi nebezpečné, org. ostatní a pesticidy	13	<i>in situ</i> , výjimečně <i>ex situ</i>	3	251	565
d	ve vývoji		0		0	0	0
e	ostatní	NEL, CIU, kovy velmi nebezpečné, anorg. ostatní, kovy, PAU, BTEX, anorg. více nebezpečná, odpady	2292	<i>in situ</i> , <i>on site</i>	776	103	4,1
Celkem			5791		2131	2151,7	24875,0
Průměr						113,2	1130,7

Vysvětlivky: Sanační technika: 1 - extrakce par, provzdušňování proudem vzduchu; 2 - tepelné ošetření, vstříkávání páry, tepelná desorpce, vitrifikace; 3 - praní a promývání půdy; 4 - elektroremediace; 5 - odstranění kapalně fáze z hladiny podzemních vod; 6 - odtěžení, vymístění, demolice, skládkování; 7 - bioremediace; 8 - biostimulace; 9 - bioaugmentace; 10 - bioventilace; 11 - biosparging; 12 - kompostování, půdní úpravy, landfarming a bioreaktory; 13 - biofiltrace, mokřady pro biologické čištění a tzv. biobeds; 14 - přirozená atenuace; 15 - chemická oxidace; 16 - chemická redukce a oxidačně-redukční (redoxní) reakce; 17 - čerpání a úprava podzemní vody (sanační čerpání); a) - zakrytí / překrytí, reaktivní bariéry, enkapsulace; b) - chemická stabilizace, solidifikace a imobilizace; c) - hydrogeologická izolace a zachycení (kontainment / ekokontejnment); d) - fytostabilizace; e) - monitorování, monitoring.

4.5 Kategorie priority KM s uplatněnými ST

Studovaná KM s uplatněnými (nebo navrhovanými) ST jsou v systému SEKM vyhodnocována vícekritériálním algoritmem a zařizována do kategorie priority (A/P/N). Pro jednotlivé studované ST i skupiny ST jsou kategorie priority KM v kapitolách výše statisticky vyhodnoceny. Tyto údaje ozřejmují, jak velká část sanovaných KM je ve stadiu přípravy nebo provádění sanace (kat. A), ve fázích průzkumu nebo plánování průzkumu, resp. analýzy rizik (kat. P) nebo že na KM není třeba zásah (kat. N). Do kat. N však spadají i četná KM, na nichž již byla sanace úspěšně provedena a na lokalitu je poté nahlíženo jako na nekontaminovanou. V nastavení SEKM nelze bohužel tyto případy statisticky odlišit od KM kat. N, u nichž se po prozkoumání vyhodnotilo, že nevyžadují žádný zásah. U jednotlivých KM je však rozlišení mezi N = „sanované KM“ a N = „zásah není nutný“ možné po prostudování záznamů nebo dokumentace. Přehled zařazení s KM s uplatněním ST je uveden v tabulce 8.

Tabulka 8: Přehled podílu kategorií priorit u KM s uplatněním ST (Zdroj: SEKM)

Kategorie priority KM s uplatněnou ST	Počet KM				% podíl	
	Fyzikální ST	Biologické ST	Chemické ST	ST pro izolaci, zachycení a monitorování	celkem	celkem
A	182	32	210	152	576	27,0
P	294	33	291	472	1090	51,1
N	151	25	117	171	465	21,8
Celkem	627	90	618	796	2131	100,0

5 Závěr

Analýzou dat o použitých sanačních technikách obsažených v záznamech Systému evidence kontaminovaných míst (SEKM) byl vytvořen statistický přehled o sanačních technikách aplikovaných v České republice, jako podklad využitelný pro budoucí podávání přehledových zpráv o stavu plnění závazků vyplývajících ze směrnice v intencích návrhu Směrnice Evropského parlamentu a Rady o monitorování a odolnosti půdy z července 2023.

Použité ST jsou pro potřeby podávání přehledových zpráv charakterizovány z pohledu hlavních odstraňovaných kontaminantů, stavu nápravného opatření vč. roku ukončení sanace, stávající kategorie priority (A/P/N) sanovaného KM, plochy lokality v m² a odhadu celkových nákladů.

V souladu s návrhem směrnice bylo použito členění na 4 druhy ST – fyzikální, biologické, chemické ST a techniky pro izolaci, zachycení a monitorování, do nichž spadá celkem 22 dílčích sanačních technik. Bylo identifikováno použití 627 (29,4 % ze všech) fyzikálních ST, 90 (4,2 %) biologických ST, 618 (29,0 %) chemických ST a 796 (37,4 %) technik pro izolaci, zachycení a monitorování. Pro všechny fyzikální, biologické, chemické ST a ST techniky pro izolaci, zachycení a monitorování bylo na 1827 KM se stanovenými nápravnými opatřeními identifikováno celkem 2131 použití, z toho 1776 (83,3 %) použití spadá do let 2003 – 2023.

Pro potřeby předpokládaného budoucího podávání přehledových zpráv o plnění navrhované směrnice EU o monitorování a odolnosti půdy bude potřeba upravit některá nastavení a funkcionality SEKM tak, aby potřebná data, resp. statistiky byly snadněji zpracovatelné. Ve stávajícím nastavení filtračních, vyhledávacích a exportní nástrojů SEKM si podrobná rešerše typů ST vyžádala několikaměsíční rešeršní práci. Stávající pracovní překlad názvů ST v návrhu směrnice v řadě případů neodpovídá spektru termínů používaných v praxi v České republice^{11, 12}. V zájmu konsolidace české terminologie ST (metod, technologií) by měla urychleně proběhnout podrobná odborná terminologická diskuse, nejlépe v rámci některých z tematických odborných konferencí.

Seznam vybraných zkratk

KM	kontaminované místo
NO	nápravné opatření
SEKM	Systém evidence kontaminovaných míst
ST	sanační technika
Seznam zkratk kontaminantů – viz podkapitola 2.3	

Poděkování

Příspěvek byl vypracován v projektu SS02030008 Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost v Programu Prostředí pro život TA ČR a MŽP.

Zdroje a literatura

1. Evropská komise: Návrh Směrnice Evropského parlamentu a Rady o monitorování a odolnosti půdy (právní rámec pro monitorování půdy). COM(2023) 416 final, 2023/0232 (COD). Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/HIS/?uri=COM%3A2023%3A416%3AFIN>
2. SEKM – Systém evidence kontaminovaných míst. MŽP. Dostupné z: <https://www.sekm.cz/>
3. Cajthaml T., Innemanová P., Kopecká I., Kubal M., Suchánek Z., Šereš M.: WP 2.B Kontaminace horninového prostředí. Souhrnná výzkumná zpráva 2.B.4.1. Interní publikace projektu, Centrum environmentálního výzkumu – Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH), Projekt TAČR SS02030008, Praha, 2023, 1 – 41. Dostupné z: <https://cevooh.cz/wp-content/uploads/2024/02/V96.pdf>
4. Ministerstvo životního prostředí: Metodický pokyn MŽP pro práci se systémem SEKM 3. Věstník MŽP, ročník XXXI, leden 2021, částka 1, Metodické pokyny a dokumenty, 1–11. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/\\$FILE/OFDN-metodiky_pokyn_pro_praci_sekm.zip](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/$FILE/OFDN-metodiky_pokyn_pro_praci_sekm.zip)
5. Matějů V. et al.: Kompendium sanačních technologií. Vodní zdroje Ekomonitor spol. s.r.o., Chrudim, 2006, ISBN: 80-86832-15-5, 1 – 260.
6. Matějů V.: Náprava ekologických škod. 1. část Základní pojmy a principy sanačních technologií. Prezentace v rámci projektu OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, 2012. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1431/podzim2012/ENV008/um/Cast_1_2012.pdf
7. Matějů, V.: Integrované sanační technologie. Vodní zdroje Ekomonitor spol. s.r.o., Chrudim, 2016. ISBN978-80-86832-91-3. 1 – 267.
8. Slouka, J., Beneš, P.: Základy remediace kontaminovaného horninového prostředí. Vodní zdroje Ekomonitor spol. s.r.o., Chrudim, 2016. ISBN: 978-80-86832-97-5, 1 – 96.
9. Ministerstvo životního prostředí: Metodická příručka ZÁKLADNÍ PRINCIPY HYDROGEOLOGIE. MŽP, 2010: 1-37. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/\\$FILE/OES-Hg_prirucka_TT-20100801.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/$FILE/OES-Hg_prirucka_TT-20100801.pdf)
10. Ministerstvo životního prostředí: Metodická příručka pro použití reduktivních technologií in situ při sanaci kontaminovaných míst. MŽP 2007: 1 - 79. al. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/\\$FILE/MP_reduktivni_technologie_def.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/$FILE/MP_reduktivni_technologie_def.pdf)
11. Suchánek Z.: Návrh směrnice o monitorování a odolnosti půdy a problém terminologie sanačních technik. Odpadové fórum, CEMC, Praha, 4/2024, 10 – 11.
12. Suchánek Z.: Terminologie sanačních technik a technologií. Sborník konference Sanační technologie XXVI, Uherské Hradiště. Vodní zdroje Ekomonitor, 2024, 16 – 22.

Analysis of the use of remediation techniques as remedial measures at contaminated sites in the Czech Republic

Zdeněk SUCHÁNEK^a, Martin KUBAL^b, Tomáš CAJTHAML^c, Ivana KOPECKÁ^c

^a Czech Environmental Information Agency, Moskevská 63, 101 00 Prague 10, Czech Republic, e-mail: zdenek.suchanek@cenia.cz

^b University of Chemistry and Technology Prague, Faculty of Environmental Technology, Technická 5, 166 28 Prague 6, Czech Republic, e-mail: kubalm@vscht.cz

^c Charles University, Faculty of Science, Institute for Environmental Studies, Benátská 2, 128 01 Praha 2, Czech Republic, e-mail: tomas.cajthaml@natur.cuni.cz

Summary

By analysing the data on used remediation techniques contained in the records of the Contaminated Sites Registration System (SEKM), a statistical overview of remediation techniques was created that can be used for future EU reporting for the purposes of the proposal for the Directive of the European Parliament and the Council on soil monitoring and resilience from July 2023. Used remediation techniques were characterized from the point of view of the main contaminants to be removed, the state of remedial measures incl. the year of completion of remediation, the existing priority category of the remediated contaminated site, the area of the site in m² and the estimate of total costs. In accordance with the draft directive, a division into 4 types of remediation techniques was used – physical, biological, chemical remediation techniques and remediation techniques for isolation, containment and monitoring, which include a total of 22 partial remediation techniques. For all 4 types of remediation techniques, a total of 2,131 uses were identified at 1,827 contaminated sites with prescribed remedial measures, of which 1,776 (83.3%) uses fall between 2003 and 2023. There are 627 physical remediation techniques (29.4% of all), biological 90 (4.2%), chemical 618 (29.0%) and isolation, containment and monitoring techniques 796 (37.4%). For the purposes of the presented SEKM data analysis, a methodology was developed for selecting KM records according to keywords - the names of remediation techniques, using two basic tools - "search" and "filtering". For the needs of the expected future reporting on the fulfilment of the proposed directive, it will be necessary to adjust some settings and functionalities of SEKM so that the necessary data, or statistics were easier to process. From the point of view of the degree of their development and application in the practice in the Czech Republic, each analysed type of remediation technique was assigned to the group of common methods (850 uses), progressive methods (89 uses), methods in the development phase (one use) and other methods and techniques (1191 use).

Keywords: remedial techniques/technologies, terminology, contaminated sites, corrective remedial measures



POZVÁNKA na 28. ročník medzinárodnej vedeckej konferencie

TECHNIKA OCHRANY PROSTREDIA TOP 2024

„Cirkulárna ekonomika - silný nástroj pre udržateľnosť priemyslu“.

28. - 30. OKTÓBER 2024

TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE, SLOVENSKO

Hlavné témy konferencie

1. **Progressívne technológie na zhodnocovanie priemyselného odpadu**
2. **Technológie zhodnocovania materiálov a pokročilé technológie recyklácie**
3. **Energetické zhodnocovanie odpadu – „Energia odpadu“**
4. **Protipožiarna ochrana a bezpečnosť**

e-mail: top2024@tuzvo.sk

web: <https://konferencie.tuzvo.sk/top2024/>

TVIP 2024

Týden vědy a inovací pro praxi a životní prostředí

www.tvip.cz

Vážení příznivci aplikovaného výzkumu, dovoluujeme si vás pozvat na další ročník **Týdne výzkumu a inovací pro praxi a životní prostředí – TVIP 2024**, který proběhne ve dnech 12.–14. 11. 2024 v Hustopečích u Brna.

Letošní TVIP opět zastřešuje dvě tematicky specializovaná odborná setkání: konferenci **APROCHEM** a symposium **ODPADOVÉ FÓRUM**. Letos se k symposiu přidává samostatná konference **POTRAVINÁŘSTVÍ NA CESTĚ K UDRŽITELNOSTI**.

12.–14. 11.

Hustopeče u Brna
www.tvip.cz

ODPADOVÉ FÓRUM

Výsledky výzkumu a vývoje pro průmyslovou a komunální ekologii – 18. ročník:

- VĚDA A VÝZKUM PRO OBĚHOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ
- OVZDUŠÍ
- ODPADY
- VODA

APROCHEM

Rizikový management – 32. ročník:

- POSUZOVÁNÍ A ŘÍZENÍ RIZIK
- MANAGEMENT ŘEŠENÍ HAVARIJNÍCH SITUACÍ
- PREVENCE ZÁVAŽNÝCH PRŮMYSLOVÝCH HAVÁRIÍ
- ZKUŠENOSTI Z ODSTRAŇOVÁNÍ NÁSLEDKŮ HAVÁRIÍ
- RIZIKA VYPLÝVAJÍCÍ Z NOVÝCH VÝZEV
- BEZPEČNOST A HYGIENA PRÁCE

KONFERENCE POTRAVINÁŘSTVÍ NA CESTĚ K UDRŽITELNOSTI

Cílem konference je zmapovat environmentální dopady potravinářských odvětví a identifikovat hlavní příležitosti k jejich nápravě. Představit dosažené pokroky i aktuální výzkum.

- Problémy, aktuální výzvy a trendy
- Výsledky VaV a příklady správné praxe
- Udržitelná výroba (ESG, LCA, uhlíková stopa...)
- Minimalizace odpadů a využívání vedlejších produktů
- Čištění odpadních vod a recyklace složek
- Kompostování a anaerobní digestce

DŮLEŽITÉ TERMÍNY

Termín konání
12.–14. 10. 2024

Termín přihlášek příspěvků
do 30. 9. 2024

Termín plných textů
do 15. 10. 2024

Termín přihlášek účasti
do 15. 10. 2024

VÁŽENÍ PŘÍZIVCI 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 **12. – 14. listopadu 2024 v Hustopečích** u Brna. Nový ročník opět zastřešují dvě tradiční specializovaná odborná setkání: konference APROCHEM a symposium ODPADOVÉ FÓRUM. Tyto dvě akce doplní letos konference **POTRAVINÁŘSTVÍ NA CESTĚ K UDRŽITELNOSTI**.

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

<ul style="list-style-type: none"> ☐ Posuzování a řízení rizik ☐ Prevence závažných průmyslových havárií ☐ Zkušenosti z odstraňování následků havárií ☐ Rizika při nakládání s chemickými látkami a přípravky 	<ul style="list-style-type: none"> ☐ 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: 18. ročník symposia pokračuje v prezentaci výsledků výzkumných projektů z celé oblasti průmyslové a komunální ekologie s tím, že od letošního ročníku chceme v samostatné konferenci věnovat zvýšenou pozornost jedné významné skupině odpadů. Letos to budou Odpady z potravinářství (*více níže*).

<h4>VODA</h4> <ul style="list-style-type: none"> ☐ Čištění průmyslových odpadních vod ☐ Získávání cenných látek z odpadních vod ☐ Recyklace vody ☐ Nakládání s kaly, kapalné odpady 	<h4>OVZDUŠÍ</h4> <ul style="list-style-type: none"> ☐ Čištění odpadních plynů a spalin ☐ Snižování a měření emisí ☐ Doprava a lokální zdroje ☐ Kvalita ovzduší a zdravotní dopady znečištění ovzduší
<h4>ODPADY</h4> <ul style="list-style-type: none"> ☐ Systémové otázky odpadového hospodářství ☐ Materiálové, biologické a energetické využití ☐ Nebezpečné odpady, odstraňování odpadů ☐ Sanace ekologických zátěží a následků havárií 	<h4>VĚDA A VÝZKUM PRO OBĚHOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ</h4> <ul style="list-style-type: none"> ☐ Šance a bariéry cirkulární ekonomiky ☐ Nové zdroje surovin a energie ☐ Inovativní technologické postupy a technologie ☐ Nové materiály a jejich aplikace (bio- a nanomateriály)

POTRAVINÁŘSTVÍ NA CESTĚ K UDRŽITELNOSTI: Od minulého ročníku chceme v rámci TVIP věnovat zvýšenou pozornost některému významné skupině odpadů či průmyslovému odvětví a věnovat mu samostatnou konferenci. Letos to bude **Potravinářství**, kdy se chceme zaměřit na nejdůležitější environmentální aspekty tohoto odvětví, na snižování jeho uhlíkové a vodní stopy, využíváním vedlejších produktů a odpadů apod.

Udržení konkurenceschopnosti není jen o výrobních nákladech, ale i o společenské odpovědnosti firmy, kterou může vykazat v ESG reportu, jehož jsou environmentální dopady nedílnou součástí

KLÍČOVÉ TERMÍNY

Přihlášky příspěvků	30. 9. 2024
Zaslání plných textů do sborníku	15. 10. 2024
Přihlášky účasti	15. 10. 2024
Termín konání	12. – 14. 11. 2024

CENY VLOŽNÉHO

Plné vložné	5 600 Kč
Dvoudenní vložné	5 000 Kč
Jednodenní vložné	4 350 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. 9. 2024**. 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. 10. 2024**. 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.

V případě článků s tematikou související s odpady z potravinářství plánujeme na začátku roku vydat tematické číslo časopisu WASTE FORUM s tímto zaměřením.

PŘIHLÁŠKY ÚČASTI

K účasti na TVIP se přihlašuje prostřednictvím formuláře na www.tvip.cz. Jeho součástí je i specifikace objednaného ubytování a rozsahu stravování. Bližší informace na stránkách internetu. **Termín pro přihlášení je 15. 10. 2024** 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 CIRKULÁŘ A DALŠÍ INFORMACE

Druhý cirkulář s předběžným programem bude rozeslán v polovině srpna. 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. Vladimír Študent, hlavní garant – studentv@cemc.cz
- ▣ Ing. Ondřej Procházka, CSc., programový garant OF a Potravinářství na cestě k udržitelnosti, šéfredaktor WASTE FORUM – prochazka@cemc.cz
- ▣ Ing. Jiří Študent, programový garant AP – student@cemc.cz