



# **Progresívne technológie zhodnocovania odpadov v automobilovom priemysle**

**Editor**

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

Bratislava, 2021

## Progresívne technológie zhodnocovania odpadov v automobilovom priemysle

UNIVNET - Univerzitná a priemyselná výskumno-edukačná platforma recyklujúcej spoločnosti

### Členovia združenia UNIVNET:

Slovenská technická univerzita v Bratislave

Ekonomická univerzita v Bratislave

Technická univerzita v Košiciach

Žilinská univerzita v Žiline

Technická univerzita vo Zvolene

Zväz automobilového priemyslu SR

**Editor:** Dr.h.c. mult. prof. Ing. Miroslav BADIDA, PhD.

### Recenzenti:

prof. Ing. Dušan Šebo, PhD., SEBEX Slovakia, s.r.o., Košice, (SK)

prof. Mgr. Juraj Ladomerský, CSc., European Science and Research Institute, Zvolen, (SK)

prof. Ing. Vladimír Hlavňa, PhD. Nám. Ľ. Fullu 14, 010 08 Žilina okres: Žilina, (SK)

**Návrh obálky:** Ing. Tibor Dzuro, PhD., Sjf TUKE

**Technická úprava:** Ing. Tibor Dzuro, PhD., Sjf TUKE

**Grafická úprava:** Ing. Tibor Dzuro, PhD., Sjf TUKE

**Vydala:** Slovenská technická univerzita v Bratislave vo Vydavateľstve SPEKTRUM  
STU

**ISBN:** 978-80-553-3867-5

UNIVNET, Bratislava, apríl 2021

**OBSAH**

ÚVOD.....	9
<b>1 ANALÝZA SÚČASNÉHO STAVU SPRACOVANIA A ZHODNOCOVANIA ODPADOV POCHÁDZAJÚCICH ZO STARÝCH VOZIDIEL .....</b>	<b>12</b>
1.1 Úvod.....	12
1.2 Súčasnú ročnú kapacitu spracovateľov starých vozidiel .....	13
1.3 Úroveň spracovania - zhodnotenia odpadov.....	14
1.4 Prúd odpadu recyklovateľných materiálov - odberatelia .....	17
1.5 Prúd odpadu nebezpečných materiálov - odberatelia .....	18
1.6 Materiály určené na skládku, ktoré sa nedajú ekologicky zhodnotiť .....	18
1.7 Spolupráca s OZV (organizácie zodpovednosti výrobcov) .....	19
1.8 Ekonomická efektívnosť spracovania starých vozidiel - podmienky pre jej dosahovanie .....	20
1.9 Pripomienky k súvisiacej legislatíve .....	23
1.10 Odporúčanie .....	24
1.11 Príloha č.1 Prieskumné listy spracovateľov .....	25
1.12 Zoznam použitej literatúry.....	26
<b>2 EKONOMICKÉ EFEKTY ŽIVOTNÉHO CYKLU AUTOMOBILOV V SR .....</b>	<b>31</b>
2.1 Úvod.....	31
2.2 Štrukturálne efekty automobilového priemyslu SR.....	32
2.2.1 Základné štrukturálne súvislosti .....	34
2.2.2 Multiplikačné efekty na produkciu .....	35
2.2.3 Efekty na pridanú hodnotu.....	38
2.3 Kľúčové technologické zmeny (v hodnotovom reťazci) výroby automobilov v SR za r. 2013 a 2017.....	39
2.4 Potenciál prúdov odpadov z prevádzky a zo spracovania vozidiel po dobe životnosti ...	44
2.4.1 Prevádzka a spracovanie vozidiel po dobe životnosti ako súčasť obehového hospodárstva.....	45
2.4.2 Kovové materiály zo spracovania ELV v SR a ich hodnota.....	48
2.4.3 Ľahké recyklovateľné materiály zo spracovania ELV v SR a ich hodnota .....	49
2.4.4 Oleje a mazivá z používania a zo spracovania ELV v SR a ich hodnota.....	51



---

2.5	Využitie kvadratického priradovacieho problému pri rozmiestňovaní spracovateľov ELV a nadväzujúcich spracovateľov .....	52
2.5.1	Kvadratický priradovací problém.....	53
2.5.2	Využitie kvadratického priradovacieho problému pri rozmiestňovaní autovrakovísk a spracovateľov druhotných surovín.....	55
2.5.3	Riešenie kvadratického priradovacieho problému pomocou GAMS.....	56
2.6	Vzorové hodnotenie ekonomickej efektívnosti investície pre spracovanie vybranej odpadovej komodity z recyklácie automobilov .....	57
2.6.1	Materiálové východiská .....	58
2.6.2	Technológia premeny pneumatík na kvapalné palivá .....	59
2.6.3	Zhodnotenie ekonomickej efektívnosti investície .....	59
2.6.4	Podnikateľský plán .....	61
2.7	Záver.....	63
2.8	Zoznam použitej literatúry .....	64
<b>3</b>	<b>SMARTODPADY II. - INTEGROVANÁ INFORMAČNÁ A INOVAČNÁ PLATFORMA RECYKLAČNÝCH TECHNOLOGIÍ.....</b>	<b>67</b>
3.1	Automobilový priemysel a odpadové hospodárstvo – symbióza sa začala? .....	67
3.2	SR a materiálové toky v kontexte obehového hospodárstva .....	67
3.3	Integrovaná platforma SmartOdpady ako nástroj podpory zhodnocovania odpadov.....	73
3.4	Integrovaná platforma „Smart Odpady“ - subsystém „Inovácie“ .....	79
3.5	Záver.....	81
3.6	Zoznam použitej literatúry .....	82
<b>4</b>	<b>RECYKLÁCIA VRSTVENÉHO SKLA - ANALÝZA TECHNICKÝCH A TECHNOLOGICKÝCH MOŽNOSTÍ.....</b>	<b>85</b>
4.1	Úvod.....	85
4.2	Teoretické východisko navrhovaného postupu recyklácie vrstveného lepeného skla.....	86
4.3	Analýza súčasných technológií zhodnocovania lepených skiel.....	88
4.3.1	Metódy oddeľovania vrstvených skiel .....	88
4.3.2	Mechanické oddeľovanie .....	88
4.3.3	Termodynamické oddeľovanie .....	89
4.3.4	Chemické oddeľovanie.....	90
4.3.5	Kombinované oddeľovanie .....	91
4.4	Laboratórna analýza známych technológií .....	91

---

4.4.1	Predpokladaný výskum v danej oblasti .....	92
4.4.2	Silné a slabé stránky jednotlivých technológií.....	92
4.5	Laboratórny výskum .....	93
4.5.1	Plán experimentov.....	93
4.5.2	Príprava materiálu a experimentálnych zariadení.....	94
4.6	Realizácia experimentov.....	95
4.6.1	Drvenie skla kladivom o valec.....	95
4.6.2	Vodný kúpeľ - chemicko-termické oddeľovanie .....	96
4.6.3	Drvenie lisom medzi ryhovanými platňami .....	97
4.6.4	Lisovanie skla medzi guľčkami .....	98
4.6.5	Drvenie stĺpovým hydraulickým lisom.....	98
4.6.6	Skúška pevnosti vrstveného autoskla a testovanie vhodnosti tvaru nástroja ..	99
4.6.7	Oddeľovanie zvyškového skla prídavným ohrevom .....	102
4.6.8	Oddeľovanie zvyškového skla ochladzovaním kvapalinou .....	103
4.6.9	Zohrievanie a pranie fólie PVB.....	104
4.7	Vyhodnotenie experimentov a analýza výsledkov .....	104
4.8	Funkčné vibračné skúšky .....	106
4.8.1	Vyhodnotenie výsledkov vibračných skúšok .....	107
4.9	Návrh funkčných modulov.....	110
4.9.1	Podstata navrhovaného riešenia.....	110
4.9.2	Popis jednotlivých modulov.....	111
4.10	Záver .....	118
4.11	Zoznam použitej literatúry.....	119
<b>5</b>	<b>MATERIÁLOVÁ RECYKLÁCIA LÍTOVÝCH AUTOMOBILOVÝCH TRAKČNÝCH AKUMULÁTOROV .....</b>	<b>121</b>
5.1	Úvod.....	121
5.2	Postupy spracovania vyradených Li akumulátorov .....	122
5.2.1	Technológia Retriev .....	122
5.2.2	Technológia Sumitomo–Sony .....	123
5.2.3	Technológia Recupyl.....	123



---

5.2.4	Technológia Akkuser .....	124
5.2.5	Technológia Umicore Valéas™ .....	125
5.2.6	Technológia BatRec.....	126
5.2.7	Technológia Inmetco .....	127
5.2.8	Technológia Accurec .....	127
5.2.9	Technológia Battery Resources.....	128
5.2.10	Technológia LithoRec.....	129
5.2.11	Technológia OnTo .....	131
5.2.12	Zhrnutie priemyselných recyklačných procesov LiA .....	132
5.3	Experimentálna časť - počiatočná fáza .....	135
5.3.1	Vybíjanie zvyškových napätí vyradených Li akumulátorov .....	136
5.4	Zhrnutie a záver .....	141
5.5	Zoznam použitej literatúry .....	143
<b>6</b>	<b>VÝVOJ TECHNOLOGIÍ A TECHNIK NA ZHODNOCOVANIE ODPADOV DO ZVUKOVO A TEPELNOIZOLAČNÝCH PRODUKTOV.....</b>	<b>145</b>
6.1	Úvod.....	145
6.2	Materiály a frakcie získané z procesov recyklácie .....	145
6.3	Technológie výroby zvukovo pohltivých materiálov, resp. prvkov .....	153
6.3.1	Technológia výroby zvukovo pohltivých prvkov z pneumatík .....	153
6.3.2	Technológia výroby zvukovo pohltivých prvkov z molitanu (polyuretanových pien) .....	158
6.4	Vývoj a výskum akustických vlastností materiálov .....	159
6.4.1	Výber materiálov pre experimentálnu časť .....	160
6.4.2	Príprava skúšobných vzoriek.....	160
6.4.3	Metodika merania vybraných akustických deskriptorov .....	162
6.4.4	Prístrojové, softvérové a ďalšie vybavenie .....	162
6.4.5	Výsledky a použitie materiálov v praxi .....	162
6.5	Návrh produktov vyrobených na báze sypaných granulátov.....	166
6.5.1	Návrh testovacích kaziet pre meranie akustických vlastností sypaných materiálov.....	168

6.5.1.1	Návrh testovacích kaziet pomocou 3D tlačiarne .....	169
6.5.1.2	Návrh testovacích kaziet prostredníctvom obrábacieho CNC stroja .....	171
6.5.1.3	Návrh plniaceho zariadenia pre testovacie kazety na meranie akustických vlastností sypaných materiálov .....	174
6.6	Návrh merateľných výskumných a akademických ukazovateľov pre ďalšie riešenie.....	177
6.7	Záver .....	178
6.8	Zoznam použitej literatúry.....	179
<b>7</b>	<b>RECYKLÁCIA A ZHDNOCOVANIE GUMY, KAUČUKU A PLASTOV DO NOVÝCH VÝROBKOV - MOŽNOSTI SPRACOVANIA A VYUŽITIA ODPADOVEJ GUMY A PLASTOV Z AUTOMOBILOV, POSÚDENIE ICH EKOTOXICITY .....</b>	<b>184</b>
7.1	Opis výskumnej úlohy .....	184
7.2	Ciele výskumnej úlohy .....	185
7.3	Materiál a metódy merania .....	186
7.3.1	Materiál .....	186
7.3.2	Experimentálne metódy spracovania .....	189
7.4	Výsledky a vyhodnotenie.....	198
7.4.1	Napäťovo-deformačná analýza drviča.....	198
7.4.2	Koncepcia business plánu výroby protihlukových panelov na báze gumy.....	205
7.4.3	Ekotoxikologické vlastnosti pneumatík .....	213
7.4.4	Biodegradácia odpadovej drte pneumatík.....	214
7.4.5	Terciálna a quartérna recyklácia vybraných plastových materiálov a gumy z pneumatík .....	214
7.5	Záver .....	215
7.6	Plán na rok 2021 .....	216
7.7	Zoznam použitej literatúry.....	218
<b>8</b>	<b>ENERGETICKÉ ZHDNOCOVANIE ODPADOV Z AUTOMOBILOVÉHO PRIEMYSLU - TERMICKÉ ZHDNOCOVANIE ODPADOV .....</b>	<b>223</b>
8.1	Úvod.....	223
8.2	Spaľovanie a spoluspaľovanie.....	224
8.2.1	Možnosti spaľovania odpadov.....	226
8.2.2	Tuhé alternatívne palivo (TAP, TDP).....	230
8.2.3	Výsledky experimentálnych meraní spaľovania TAP .....	232



---

8.3	Splyňovanie a pyrolýza.....	237
8.3.1	Splyňovanie.....	237
8.3.2	Pyrolýza.....	238
8.4	Koncepčný návrh zariadenia pre energetické zhodnocovanie odpadu z automobilového priemyslu .....	239
8.4.1	Technológie potrebné pre splyňovanie a pyrolýzu.....	242
8.4.1.1	Drviace, navážacie a dávkovacie zariadenie .....	242
8.4.1.2	Splyňovacie a pyrolýzne zariadenie .....	243
8.4.1.3	Zariadenia na úpravu a využitie syntézneho plynu .....	244
8.4.2	Koncepčný návrh komplexného malého zariadenia na energetické zhodnocovanie plastového odpadu .....	245
8.5	Laboratórne experimentálne zariadenie .....	246
8.5.1	Umiestnenie experimentálneho zariadenia.....	246
8.5.2	Experimentálny reaktor .....	248
8.6	Výsledky experimentálneho hodnotenia fyzikálno-chemických vlastností plastového odpadu .....	250
8.6.1	Popis jednotlivých druhov plastov .....	252
8.6.1.1	Polypropylén (PP).....	252
8.6.1.2	Polyetylén (PE) .....	253
8.6.1.3	Polyuretán (PUR).....	254
8.6.1.4	Akronitrilbutadiénstyrén (ABS) .....	255
8.6.1.5	Polyamid (PA).....	255
8.6.1.6	Polyetylénteraftalát (PET) .....	255
8.7	Záver.....	256
8.8	Zoznam použitej literatúry .....	257
	<b>ZOZNAM OBRÁZKOV.....</b>	<b>258</b>
	<b>ZOZNAM TABULIEK .....</b>	<b>264</b>