

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

Progresívne technológie zhodnocovania odpadov v automobilovom priemysle

OBSAH

ÚVOD 9

1 ANALÝZA SÚČASNÉHO STAVU SPRACOVANIA A ZHODNOCOVANIA ODPADOV POCHÁDZAJÚCICH ZO STARÝCH VOZIDIEL 12

1.1 Úvod 12

1.2 Súčasné ročné kapacity 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 ekologický 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

2 EKONOMICKÉ EFEKTY ŽIVOTNÉHO CYKLU AUTOMOBILOV V SR 31

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 priraďovacieho problému pri rozmiestňovaní spracovateľov ELV a nadväzujúcich spracovateľov ... 52
2.5.1 Kvadratický priraďovací problém ... 53
2.5.2 Využitie kvadratického priraďovacieho problému pri rozmiestňovaní autovrakovísk a spracovateľov druhotných surovín ... 55
2.5.3 Riešenie kvadratického priraďovacieho 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
3 SMARTODPADY II. - INTEGROVANÁ INFORMAČNÁ A INOVAČNÁ PLATFORMA RECYKLAČNÝCH TECHNOLÓGIÍ ... 67
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
4 RECYKLÁCIA VRSTVENÉHO SKLA - ANALÝZA TECHNICKÝCH A TECHNOLOGICKÝCH MOŽNOSTÍ ... 85
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 guličkami ... 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
5 MATERIÁLOVÁ RECYKLÁCIA LÍTIOVÝCH AUTOMOBILOVÝCH TRAKČNÝCH AKUMULÁTOROV ... 121
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
6 VÝVOJ TECHNOLÓGIÍ A TECHNÍK NA ZHODNOCOVANIE ODPADOV DO ZVUKOVO A TEPELNOIZOLAČNÝCH PRODUKTOV 145
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
7 RECYKLÁCIA A ZHODNOCOVANIE GUMY, KAUČUKU A PLASTOV DO NOVÝCH VÝROBKOV - MOŽNOSTI SPRACOVANIA A VYUŽITIA ODPADOVEJ GUMY A PLASTOV Z AUTOMOBILOV, POSÚDENIE ICH EKOTOXICITY 184
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
8 ENERGETICKÉ ZHODNOCOVANIE ODPADOV Z AUTOMOBILOVÉHO PRIEMYSLU - TERMICKÉ ZHODNOCOVANIE ODPADOV 223
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
ZOZNAM OBRÁZKOV ... 258
ZOZNAM TABULIEK ... 264

ÚVOD

Vážení čitatelia,
Vážení priatelia,

dostáva sa vám do rúk publikácia, ktorú vypracovalo združenie „Univerzitná a priemyselná výskumno-edukačná platforma recyklujúcej spoločnosti (ďalej „UNIVNET“), ako už v poradí druhú štúdiu zameranú na progresívne technológie zhodnocovania odpadov v automobilovom priemysle SR. UNIVNET vznikol na základe podpisu dohody medzi MŠVVaŠ a lídrom združenia - Slovenskou technickou univerzitou v Bratislave (STU BA). Okrem STU BA (Strojnícka fakulta STUBA) sú členmi združenia ďalšie univerzity a to: Technická univerzita v Košiciach (Strojnícka fakulta TUKE, Fakulta materiálov, metalurgie a recyklácie TUKE), Ekonomická univerzita v Bratislave (Národohospodárska fakulta EUBA, Fakulta hospodárskej informatiky EUBA), Žilinská univerzita v Žiline (Strojnícka fakulta ŽUŽ), Technická univerzita vo Zvolene (Fakulta techniky TUZVO) a Zväz automobilového priemyslu Slovenskej republiky. Hlavným cieľom združenia sú prognostické a výskumno-vývojové aktivity pri hľadaní nových technológií a techník maximálne efektívneho zhodnocovania odpadov, najmä v automobilovom priemysle, s cieľom minimalizovať negatívne dopady na životné prostredie a šetriť primárne energetické a surovinové zdroje.

Tvorba odpadov je logicky, aj keď nežiaduci dôsledok antropogénnej činnosti súvisiacej s tokom energie a materiálov. Odpady vznikajú v celom spoločenskom reprodukčnom procese, počnúc ťažbou surovín, ich úpravou, technologickým spracovaním na výrobky a produkty a využívaním výrobkov. Po spotrebovaní hodnôt (ukončení životného cyklu výrobku) sa stávajú odpadom aj samotné výrobky.

Otázka obmedzenia vzniku odpadov a spôsobov ich bezpečného, ekologicky a ekonomicky výhodného zhodnotenia, resp. zneškodnenia patrí dnes k jednému z najdôležitejších hospodárskych aj politických problémov na celom svete. Americký chemik G.T.Seaborg, nositeľ Nobelovej ceny za chémiu, pred niekoľkými rokmi vyhlásil, že nie je ďaleko doba, keď materiálová situácia bude doslova obrátená. Všetok odpad, ktorý sa produkuje, sa stane hlavným zdrojom surovín a prírodné nenačaté zdroje budú rezervou spotreby pre budúcnosť.

Dôležitou etapou v napredovaní EÚ smerom k trvalej udržateľnosti a recyklujúcej spoločnosti bolo prijatie programu Smerom k obehovému hospodárstvu: **Program nulového odpadu pre Európu**.

Základnou víziou, definovanou v Stratégii environmentálnej politiky Slovenskej republiky do roku 2030, je dosiahnuť lepšiu kvalitu životného prostredia a udržateľné obehové hospodárstvo, založené na dôslednej ochrane zložiek životného prostredia a iba minimálnom využívaní neobnoviteľných prírodných zdrojov a nebezpečných látok. Medzi prioritné výzvy životného prostredia na Slovensku a preferované oblasti environmentálnej politiky do roku 2030 patrí aj problematika odpadového hospodárstva.

Vážení kolegovia, odborníci, technická a laická verejnosť,

spracovaná monografia je tematickým pokračovaním monografie vydanej v roku 2020 pod názvom „Stav a vízie zhodnocovania odpadov z automobilového priemyslu SR“. Nadväzujúcu monografiu s názvom „Progresívne technológie zhodnocovania odpadov v automobilovom priemysle“ tvorí osem kapitol, ktoré obsahovo a logicky na seba nadväzujú. Prvá kapitola je venovaná súčasnému stavu spracovania odpadov pochádzajúcich zo starých vozidiel a otázkam súvisiacich s ekonomickou efektívnosťou spracovania starých vozidiel. V druhej kapitole sa autori zamerali na ekonomické efekty životného cyklu automobilov v Slovenskej republike. Zdôrazňuje sa potenciál prúdov odpadov z prevádzky a zo spracovania vozidiel po dobe ich životnosti, ako aj dôležitosť rozmiestnenia spracovateľov vozidiel. Tretia kapitola je venovaná vyvíjanému informačnému systému „Smart odpady“ - Integrovaná informačná a inovačná platforma recyklačných technológií. Autori kapitoly prezentujú tento nástroj, ako nástroj podpory zhodnocovania odpadov. Problematike recyklácie vrstveného skla sa venuje v monografii štvrtá kapitola, kde sú analyzované doteraz známe technológie, prezentuje sa autormi navrhnutá technológia recyklácie, jednotlivé funkčné moduly zariadení, ako aj výsledky zrealizovaných experimentov v laboratórnych podmienkach. V piatej kapitole spracovanej monografie sa rozoberá materiálová recyklácia lítiových automobilových a trakčných akumulátorov. Prezentujú sa postupy spracovania vybraných Li akumulátorov, ako aj postupy a výsledky experimentálnych prác riešiteľov súvisiacich s vybíjaním zvyškových napätí vyradených Li akumulátorov. Vývoju technológií a techník zhodnocovania odpadov do zvukovo a tepelnoizolačných produktov je venovaná šiesta kapitola monografie. Pozornosť sa sústreďuje na výber vhodných automobilových komponentov, resp. materiálov z týchto komponentov, technológie výroby zvukovo a tepelnoizolačných materiálov, vývoj a výskum akustických vlastností materiálov, ako aj samotný návrh produktov vyrobených na báze takýchto materiálov. V ďalšej kapitole sa autori zamerali na recykláciu a zhodnocovanie gumy, kaučuku a plastov do nových výrobkov. Dôraz kladú na možnosti spracovania a využitia odpadovej gumy a plastov z automobilov po dobe ich životnosti. Rozoberajú sa aj otázky ekotoxicity týchto materiálov, resp. výrobkov z nich vyrobených. Záver monografie je venovaný problematike energetického zhodnocovania odpadov z automobilového priemyslu. Dôraz sa kladie na jak na spaľovanie a spoluspaľovanie, tak aj na splyňovanie a pyrolýzu. Prezentuje sa koncepčný návrh zariadenia pre energetické zhodnocovanie odpadu z automobilového priemyslu.

Verím, že monografia zaujme čitateľov, zorientuje ich v danej problematike a možno sa aj stane určitou inšpiráciou pre tých, ktorí sa zaoberajú zhodnocovaním a recykláciou automobilov po ukončení ich doby životnosti, ale aj iných.

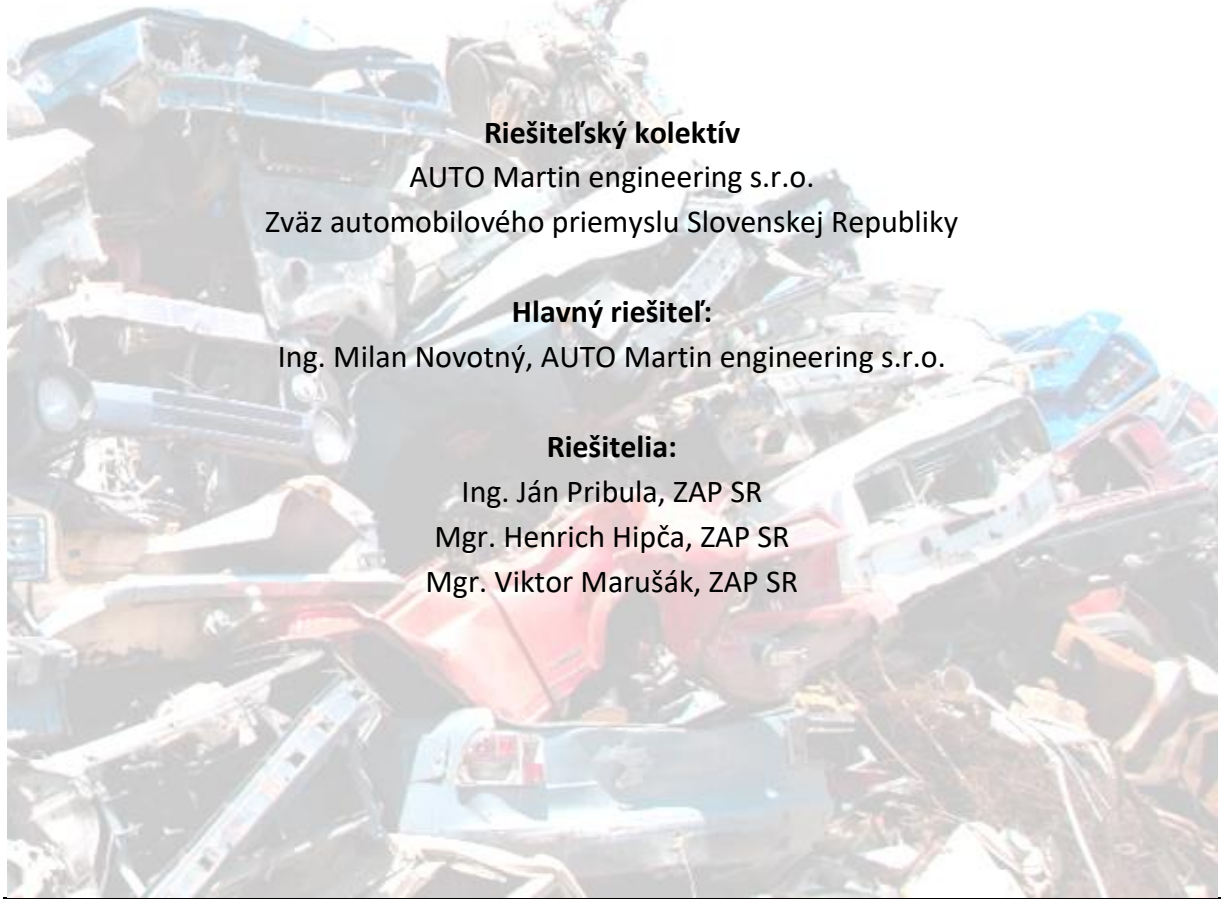
Dr.h.c. mult. prof. Ing. Miroslav BADIDA, PhD.
Editor

MINISTERSTVO ŠKOLSTVA, VEDY, VÝSKUMU A ŠPORTU SLOVENSKEJ REPUBLIKY

univnet

STU SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE

Analýza súčasného stavu spracovania a zhodnocovania odpadov pochádzajúcich zo starých vozidiel



Riešiteľský kolektív

AUTO Martin engineering s.r.o.

Zväz automobilového priemyslu Slovenskej Republiky

Hlavný riešiteľ:

Ing. Milan Novotný, AUTO Martin engineering s.r.o.

Riešitelia:

Ing. Ján Pribula, ZAP SR

Mgr. Henrich Hipča, ZAP SR

Mgr. Viktor Marušák, ZAP SR

1 ANALÝZA SÚČASNÉHO STAVU SPRACOVANIA A ZHODNOCOVANIA ODPADOV POCHÁDZAJÚCICH ZO STARÝCH VOZIDIEL

1.1 Úvod

Analytická štúdia pod názvom „Analýzy procesov recyklácie starých vozidiel a stavu spracovania a zhodnocovania odpadov zo starých vozidiel“ vytvára prvotnú údajovú základňu nevyhnutnú k plneniu úloh v rámci združenia UNIVNET - Univerzitná a priemyselná výskumno-edukačná platforma recyklujúcej spoločnosti. Zväz automobilového priemyslu Slovenskej republiky (ZAP SR) je jedným z partnerov združenia UNIVNET, ktoré bolo zo strany MŠVVaŠ SR, Ministerstvom hospodárstva SR a Úradu podpredsedu vlády SR pre investície a informatizáciu uznané ako národná platforma pre oblasť recyklácie a zhodnocovania odpadov s ich aplikačnými výstupmi do odvetví priemyslu. Štúdia prispieva k realizácii prognostických a výskumno-vývojových aktivít pri hľadaní nových technológií a techník maximálne efektívneho zhodnocovania odpadov najmä v automobilovom priemysle, s cieľom minimalizovať negatívne dopady na životné prostredie a šetriť primárne energetické a surovinové zdroje.

Štúdia bola realizovaná v dvoch etapách. Etapa č. 1 Analýza materiálového zloženia a jeho následné využitie - recyklácia resp. likvidácia. Materiál spracovaný v prvej etape obsahuje údaje o environmentálnych a spoločenských prínosoch recyklácie starých vozidiel, predpokladaných počtoch vyraďovaných vozidiel ročne určených na spracovanie, materiálovom zložení jednotlivých dielov a ich objem, technologických zariadeniach potrebných na spracovanie resp. likvidáciu odpadov, logistike zberu a prepravy materiálov na ďalšie spracovanie, a námet na vytvorenie informačného systému sledovania toku odpadov zo starých vozidiel.

V rámci Etapy č. 2 boli v období august - november 2020 zozbierané údaje od spracovateľov starých vozidiel, ktorým bola udelená autorizácia MŽP SR. Cieľom bola analýza súčasného stavu spracovania a zhodnocovania odpadov pochádzajúcich zo starých vozidiel v rámci prípravy na pracovné rokovanie ZAP SR s ministrom životného prostredia, pánom Jánom Budajom. Boli naplánované osobné návštevy všetkých 46 spracovateľov starých vozidiel za účelom zistenia údajov o reálnych ročných kapacitách každého spracovateľa starých vozidiel, úrovni spracovania/zhodnotenia odpadov, o prúde odpadu nebezpečných látok a materiálov (odberatelia), prúde odpadu ostatných materiálov (odberatelia). Boli zisťované údaje o materiáloch určených na skládku, materiáloch, ktoré sa nedajú v súčasnej dobe ekologicky zhodnotiť a o ekonomickej efektívnosti spracovania starých vozidiel - podmienkach pre jej dosahovanie. Ďalej v druhej etape bol zisťovaný stav spolupráce spracovateľov s organizáciami zodpovednosti výrobcov (OZV). Boli zozbierané aj pripomienky a námety od spracovateľov k súvisiacej legislatíve. Podarilo sa zozbierať aktuálne údaje od 37 spracovateľov.

1.2 Súčasné ročné kapacity spracovateľov starých vozidiel

Tab. 1 Súčasné ročné kapacity spracovateľov starých vozidiel

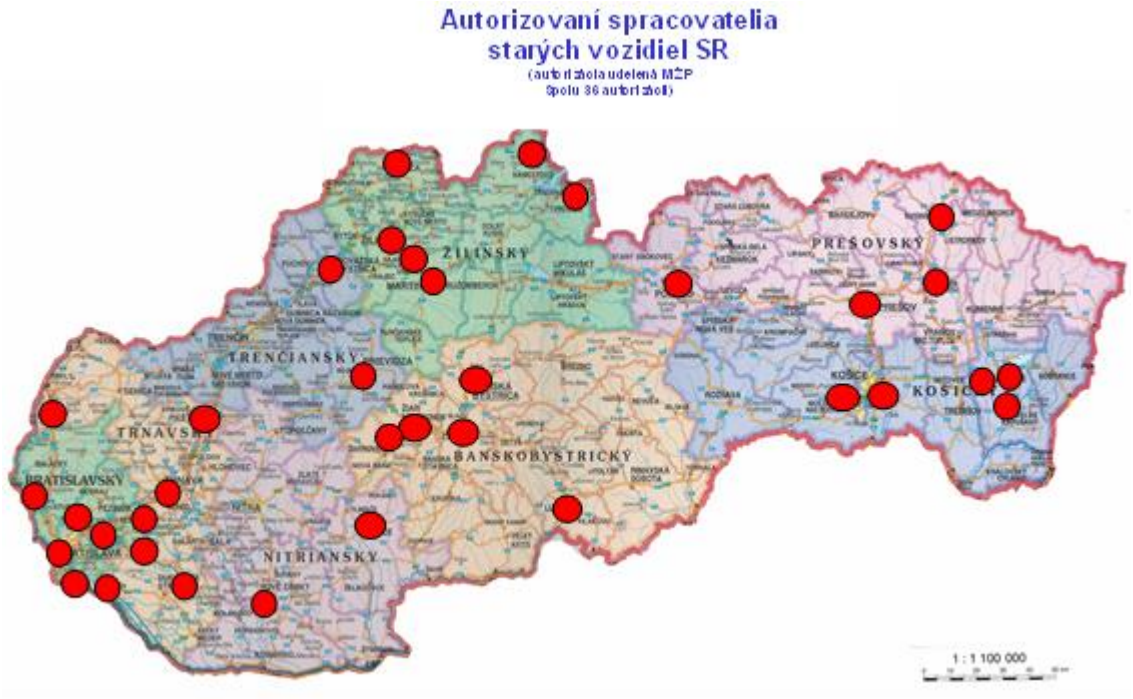
Názov spracovateľa starých automobilov	Počet v ks	Názov spracovateľa starých automobilov	Počet v ks
ALUEX	1 000	JOZEF FIGEĽ	10 000
AUTO MAX Šurany	1 000	KOLOMAN	3 000
AUTOLALUCH	1 000	KOVOSTAVBY	neuviedli
AUTOVRAKOVISKO	neuviedli	KOVOŠROT VAŠIN	3 000
AUTONOVOTNY	500	KOVOZBER	1 500
AUTOVRAKY	15 000	MARIÁN ONDRÍK - MONSO	3 000
AUTO- AZ	0 ks	MARTIN AUGUSTÍN	600
CARS IQ	300	MAVEBA	6 000
CSOKO	700	P+K	1 200
De-S-Pe	4 500	PETER POPIVĆÁK	500
DOPRAVA A SLUŽBY	1 000	PIECAUTO	450
EAST-WEST SK	neuviedli	PROTAN	1 000
ECO-RECYCLING Holič	1 000	RADES	400
Fe- MARKT	2 000	STAVPOČ	1 000
FINAL-FORUM	12 000	ŠTEFAN NÉMETH-NEOF	800
G+G	1 500	WAMP	1 000
GALIMEX EKO	1 500	WIP Autovrakovisko	2 400
HELPECO	2 600	ZELKOV	5 000
HOTIS	800	ZSNP RECYKLING	2 000
INGEMAR	0 ks	ŽOS-EKO	6 000
JÁN DŽUNDA	900	ŽP EKO QELET	10 000

Materiál je spracovaný z podkladov od spracovateľov
AUTO MARTIN ENGINEERING, s.r.o.
Bratislava, november 2020
Ing. Milan Novotný

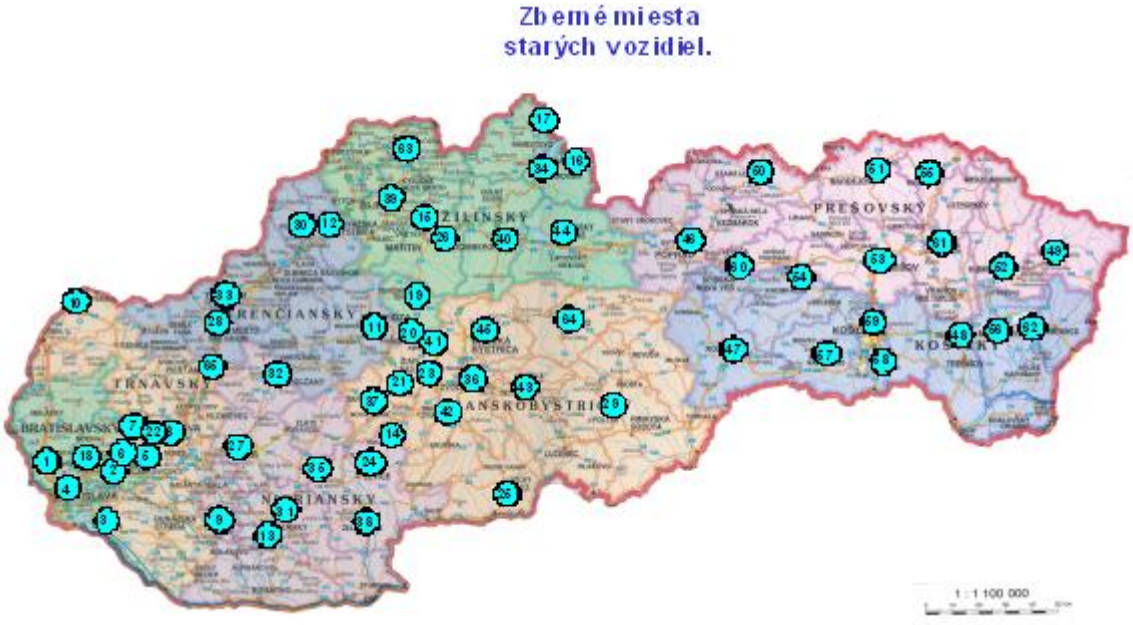
Celková ročná kapacita spracovania je: 106 150 ks starých vozidiel

V prípade potreby môžu kapacitu niektorí spracovatelia zvýšiť pokiaľ to dovolí stav technologického vybavenia. Problémom je aj pracovná sila - nie je to síce kvalifikovaná práca no, pracovné prostredie dosť znečistené a mzda je na dolnej hranici. Čím viacej vozidiel tým viacej odpadu, s ktorým majú už v súčasnej dobe spracovatelia problémy. Pokiaľ sa týka technologického vybavenia, mnohí si ho zaobstarali za pomoci zdrojov z recyklačného fondu. Zariadenie je už v mnohých prípadoch opotrebované a zdroje pri súčasných cenách predajných položiek spracovatelia nemajú. Treba sa vážne zaoberať udržateľnosťou celého systému. Vnímať len objem súčasných kapacít, že ich máme dostatok nesmie viesť k uspokojenie a neriešeniu problémov. V tomto materiáli spracovatelia jasne naznačujú, kde vidia problémy a aké by bolo optimálne riešenie.

Dostupnosť spracovateľov pre majiteľov starých vozidiel ako i počet a rozmiestnenie zberných miest ako ukazujú mapky je postačujúca.



Obr. 1 Autorizovaní spracovatelia starých vozidiel SR



Obr. 2 Zberné miesta starých vozidiel

1.3 Úroveň spracovania - zhodnotenia odpadov

Dodržanie predpísaných parametrov recyklácie je v súčasnej dobe komplikované. Neboli zriadené technologické prevádzky na všetky materiály resp. tie čo boli zriadené nepracujú, alebo odoberajú len limitné množstvá (Tab. 2). Spracovatelia sa rôznym spôsobom zbavujú materiálov, ktoré nemajú druhotného spracovateľa. Riešenie ako sa vysporiadajú s týmito materiálmi je rôzne a je v každom regióne závislé na možnostiach a podmienkach daného

regiónu. Niekde sa skládkujú, niekde spaľujú a niektorí ich skladujú s nádejou, že sa nájde riešenie.

Tab. 2 Technologické prevádzky na jednotlivé materiály

Materiál	Odberateľ áno nie	Recyklácia áno nie
Kovy – Hliník – Meď – Katalyzátor – Batéria – Sklo – Pneumatiky		
Gumy		Odpad
Koberce		STERED ?
Textílie		STERED ?
Tapacíry		Odpad
Svietidlá		Odpad
Izolačné materiály		Odpad
Molitany		Odpad
Hadice		Odpad
Palubné dosky		Odpad
Plasty		INGEMAR ?



Obr. 3 Množstvo materiálu a odpadu z váhy vozidla v %

Záväzná direktíva stanovila dosiahnuť zhodnotenie 95 % z toho 10 % energeticky. Pri demontáži starých vozidiel vzniká druhotná surovina - recyklovateľný odpad a odpad, ktorý sa nedá využiť a ide na energetické zhodnotenie, alebo na skládku (Obr. 3).

Technológie na demontáž starých vozidiel máme na pomerne dobrej úrovni, no horšie je to s technológiami na spracovanie materiálov a to s plastmi, purpenami, textíliami, gumami, tapacírmi a rôznymi izolačnými materiálmi. Odborné kapacity by sa mali sústrediť na riešenie práve týchto materiálov. V spolupráci s pôvodnými výrobcami hľadať riešenie na ich opätovné použitie. Buď do pôvodných výrobkov, alebo na iné nové výrobky.

V minulosti boli zriadené niektoré technologické pracoviská na spracovanie vyššie uvedených materiálov no buď nepracujú, alebo odoberajú len limitné množstvá a to za vysoké poplatky.

Pneumatiky	DRON, VODS
	Ladce, Rohožník, Turňa nad Bodvou - spaľovanie
Plasty	CASTROL POLUX - vyhorel nepracuje
	INGEMAR Senec?
	SIBIN - Haniská
Sklo	Zber realizuje Eko smart Zvolen, problém sú lepené
	Šelpice- problémy s lepeným sklom
	Vetropack Nemšová len nelepené
Textílie	Krajné

Spracovatelia vykazujú 95 - 97 % úrovne spracovania, údaj zodpovedá záväznej direktíve no jeho dosahovanie je v mnohých prípadoch dosiahnuté zvýšeným podielom energetického zhodnotenia, prípadne regionálnou možnosťou, keď sa tam nachádza spracovateľ napr. plastov a ten miestnemu spracovateľovi tieto plasty odoberie (napr. v Poprade).

Je nesporné, že spracovatelia sa musia snažiť nájsť spôsob ako sa vysporiadať s limitom. Podpísali zmluvu s OZV a pri jej neplnení by museli skončiť s činnosťou a vystavovali by sa sankciám zo strany dozorujúcich orgánov. Na strane druhej nie je reálne, aby každý individuálne vyriešil v svojom pôsobení likvidáciu - recykláciu materiálov na čo zatiaľ nenašli odpoveď ani odborníci z univerzít. Ak sú aj nejaké možnosti napr. pneumatiky prípadne PP a PL plasty tak vždy to je za nemalú odplatu, ktorá sa z roka na rok zvyšuje. Vstupujú do toho aj prepravné náklady, dočasné skladovanie čím sa stáva vysporiadanie sa s týmito materiálmi z roka na rok nákladnejšie. Mnohí tieto materiály skladujú v nádeji, že „čas“ nájde riešenie. Otvorene treba skonštatovať, že za posledných päť rokov sme sa dopredu nepohli. Je nevyhnutné sa ísť pozrieť do okolitých štátov, komunikovať s výrobcami, ktorí zodpovednosť preniesli na OZV a tie na spracovateľov.

Tab. 3 Základné materiálové zloženie vozidla

Druh materiálu			Spracovateľ druhotnej suroviny áno nie	
Kovy	karoséria			
	nápravy			
	motor			
	prevody			
	disky			
	sedačky			
	štartér			
	alternátor			
	motorčeky			
Meď	káble			
	motorčeky			
	štartér			
	alternátor			
	elektronika			
Hliník	motor			
	prevodovka			
	alternátor			
	disky			
Batérie	batéria			
Katalyzátory	katalizátor			
Kvapaliny	nafta, benzín			
	olej			
	nemrznúca			
	kvap. ostrekovače			
	brzdová kvap.			
Plasty	plasty pri motore			
	nárazníky, nádrže			
	plasty interiér			
Gumy	pneumatiky			
	hadice			
	tesnenia			
Ostatné diely	izolácie			
	koberce			
	molitan			
	textílie			
	tapacíry			
	sklo			
	reflektory			
	airbagy			



Obr. 4 Kam s týmto odpadom?

1.4 Prúd odpadu recyklovateľných materiálov - odberatelia



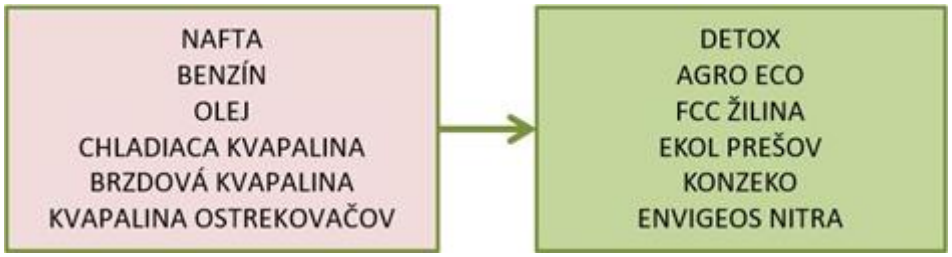
Obr. 5 Prúd odpadu recyklovateľných materiálov - odberatelia

Aj keď tieto materiály (Obr. 5) majú odberateľov na druhotné spracovanie, alebo energetické zhodnotenie sú aj tu určité limity. U kovov, medi a hliníkov sú to cenové otázky, pneumatiky DRON nie vždy odoberá ako i VODS a za tonu sa platí 80 – 120,- EUR. Nárazníky vykupuje MAGNA LIBEREC v ČR – vzdialenosť 500 km z BB. Nádrže Poliaci čo je tiež okolo 500km, v obidvoch prípadoch sú vysoké prepravné náklady. STERED Krajné odoberal textílie a koberce no v súčasnosti odoberá len limitné množstvá pre svoje odbytové problémy a tak tento materiál končí v spaľovniach, alebo na skládkach. U týchto materiálov chýba systémové riešenie, zatiaľ každý individuálne hľadá ako sa zbaviť týchto materiálov.

1.5 Prúd odpadu nebezpečných materiálov - odberatelia

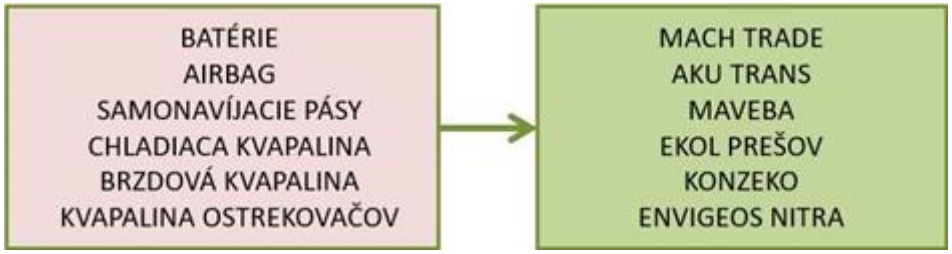
Vozidlo určené na recykláciu prejde u autorizovaného spracovateľa úkonmi:

- demontáž štartovacej batérie,
- vypustenie pohonných hmôt a demontáž palivovej nádrže,
- demontáž nádrže na skvapalnený plyn a jej demontáž,
- vypustenie všetkých prevádzkových kvapalín - motorový a prevodový olej, olej v tlmičoch, prevodovke riadenia, brzdovú a chladiacu kvapalinu, kvapalinu do ostrekovačov a klimatizácie,
- neutralizácia výbušných komponentov- nafukovacie vaky, pyrotechnické súčasti napínačov pásov,
- odstránenie všetkých súčastí obsahujúcich ortuť.



Obr. 6 Druhy nebezpečných látok a ich odberatelia

Na tento druh nebezpečných látok je dostatok odberateľov a spracovatelia odovzdávajú tým, ktorých majú v regióne (Obr. 6).



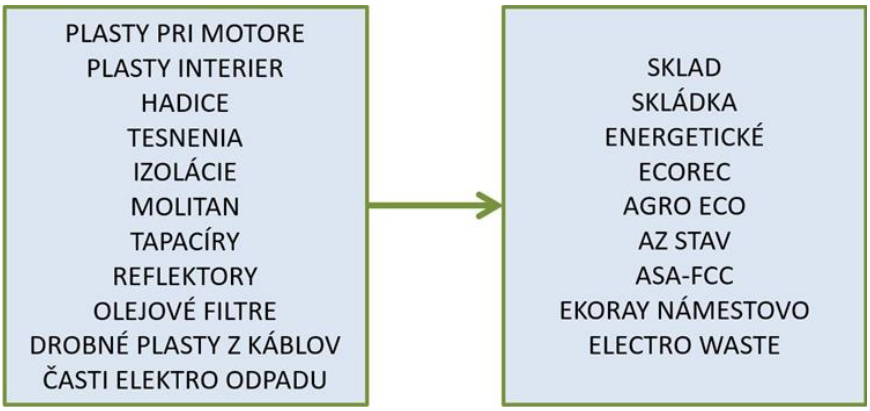
Obr. 7 Druhy nebezpečných látok a ich odberatelia

Airbagy niektorým odoberá MAVEBA na likvidáciu, niektorí ich zneškodňujú sami (Obr. 7). AL materiál odpredajú a textília ide na skládku. Podobne je to aj so samonavíjacími pásmi. Majitelia často odovzdávajú autá na spracovanie bez akumulátorov s argumentom, že ho nedávno kúpili. Odpredajú ho zberateľom, ktorí chodia po obciach a títo ich vykupujú.

1.6 Materiály určené na skládku, ktoré sa nedajú ekologický zhodnotiť

Nadpis tejto kapitoly je nepresný, nakoľko to, ktoré materiály majú ísť na skládku žiaden dokument, alebo predpis neurčuje. Sú to materiály, ktoré nemajú odberateľa na druhotné spracovanie a každý ich likvidáciu rieši individuálne podľa regionálnych možností. Prevažne

končia na skládkach a uvádza to 85 % spracovateľov, cca 15 % využíva energetické zhodnotenie. Pre niektoré materiály sa asi v reálnom čase nenájde spôsob použitia ako druhotnej suroviny a preto treba definovať dočasné riešenie. Každý s materiálov má v sebe nejaký potenciál energie a preto (navrhujú spracovatelia) je ekologickejšie a aj ekonomické využiť tento potenciál energetickým zhodnotením. K tomu však treba zodpovedajúce zariadenia, aby sme nepoškodili ovzdušie. Pokiaľ by neboli takéto zariadenia v každom regióne bude to náročnejšie na logistiku. Jedná sa o nezanedbateľné množstvo nakoľko v jednom aute sa nachádza takýchto materiálov 70 - 100 kg, čo pri spracovaní 50 000 aut predstavuje cca 5 000 ton.



Obr. 8 Materiály určené na skládku, ktoré sa nedajú ekologický zhodnotiť

1.7 Spolupráca s OZV (organizácie zodpovednosti výrobcov)

Spracovatelia vychádzajú zo zákona kde sa cituje v bode5 zodpovednosť OZ: Vytvorenie, financovanie, prevádzkovanie a udržiavanie funkčného systému združeného nakladania s vyhradeným prúdom odpadu preukazuje organizácia zodpovednosti výrobcov počas celej doby jej oprávneného pôsobenia ministerstvu....

Aby mohli vykonávať činnosť spracovateľa starých vozidiel museli podpísať zmluvu aspoň z jednou OZV. Aj napriek tomu, že sú v trvalom kontakte s OZV považujú takúto zmluvu za jednostrannú vychádzajúc z citácie zákona o odpadoch bod č. 5 – viď. vyššie. Za spracovanie kompletného starého auta dostanú od OZV 25,- EUR a tým to končí.

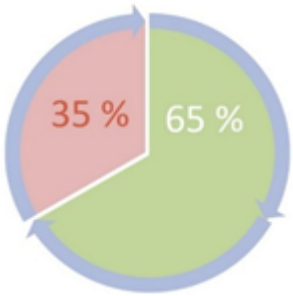
Zabezpečiť spracovanie v zmysle platného zákona, ale hlavne vysporiadať sa materiálmi za ktoré musia platiť odberateľovi a vysporiadať sa z materiálmi, ktoré nemajú reálneho odberateľa. V tomto smere pociťujú slabú pomoc hlavne v tom, že je žiaduce niektoré problémy riešiť koordinovane, komplexne a v prospech všetkých.

Za nelogický považujú postoj Škodovky, WV a Porsche, keď aj napriek s nimi neuzatvoreným zmluvám musia tieto značky prevziať a spracovať ich bez nároku na recyklačný príplatok. Pritom tieto značky predstavujú 35 – 45 % zo všetkých spracovaných starých automobilov. Na reklamáciu tohto počínania dostali od menovaných značiek odpoveď – aby našli najbližšieho spracovateľa, s ktorým majú zmluvu a staré auto tam previezli na svoje náklady. V konečnom dôsledku spracovatelia zazmluvnení s Auto Recyclingom za poplatok od Auto Recyclingu, spracovávajú aj iné značky bez recyklačného poplatku, čiže na jedno auto majú

recyklačný poplatok cca. 12 – 20,- EUR Túto anomáliu treba zosúladiť nakoľko je v rozpore nie len s dobrými mravmi, ale j s obchodným zákonníkom.

1.8 Ekonomická efektívnosť spracovania starých vozidiel - podmienky pre jej dosahovanie

Základ ekonomiky spracovania tvoria položky 65 % váhy vozidla výnosové materiály. Ceny týchto materiálov v predošlých rokoch vytvárali spracovateľom primeraný zisk k čomu pomohli aj zdroje na technológie z Recyklačného fondu (RF). Postupne došlo k radikálnemu poklesu cien predajných materiálov a zvýšeniu nákladov na likvidáciu nerecyklovateľných a nepredajných materiálov, zvýšila sa cena energií ako i mzdy a finančná pomoc z RF na obnovu technológií skončila. Piati uvažujú pre stratovú činnosť s recykláciou skončiť.



65 % - výnosový materiál: kovy, hliníky, meď, batérie, katalyzátory

35 % - nákladový materiál: plasty, gumy, svietidlá, textil, palubné dosky

Obr. 9 Podiel výnosových a nákladových materiálov vozidiel

Tab. 4 Vývoj ceny kovov a farebných materiálov

MATERIÁL	CENA v r. 2013	CENA v r. 2020
Fe ťažké	210,- EUR/tona	110,- EUR/tona **-47 %**
Hliník	900,- EUR/tona	400,- EUR/tona **-65 %**
Meď	4 500,- EUR/tona	3 500,- EUR/tona **-32 %**
Akumulátor	300,- EUR/tona	500,- EUR/tona **+60 %**

Tento pokles výrazne poznamenal ekonomiku spracovateľov nakoľko to boli jediné materiály, ktoré sa dali efektívne speňažiť. Súčasne narástli aj náklady na materiály, ktoré boli určené na energetické zhodnotenie, alebo na skládkovanie (viď. Tab. 4).

Tab. 5 Náklady na – energetické zhodnotenie, alebo skládkovanie na jedno auto

MATERIÁL	Cena/tona	Cena/vozidlo
Pneumatiky	120,- EUR/tona	3,70 EUR
Kvapaliny	460,- EUR/tona	10,- EUR
Nárazníky, nádrže	60,- EUR/tona	3,- EUR
Plasty a iné odpadové mat.	125,- EUR/tona	9,30 EUR
Náklady spolu:		**26,- EUR**

Ďalej uvádzajú spracovatelia nasledovné náklady:

Administratívne personálne náklady:	8,33 EUR
Personálne náklady na spracovanie 1 ks auta:	96,88 EUR
Náklady na zber a zvoz automobilov:	68,30 EUR
Náklady na energetické a skládkovanie materiálu:	26,00 EUR
Spolu náklady:	**199,51 EUR**

Tab. 6 Materiálový potenciál (materiálové zhodnotenie)

Škoda Felicia	kg	Jednotková cena		Hodnota suroviny
		+	-	+/-
Fe do 4 mm	430	0,11		45,20
Fe nad 4 mm	170	0,13		22,10
Akumulátor	20	0,40		8,-
Káble	15	1,40		21,-
Olej	10	0,-		0,-
Hliník	40	0,50		20,-
Elektroodpad	25	0,14		3,40
Zinok	2	0,-		0,-
Meď	2	3,30		6,60
Katalyzátor	5	6,-		30,-
Plast nádrž, nárazník	30	0,15		4,50

Príjem z predaja materiálu:	**134,80 EUR**
Náklad:	**199,50 EUR**
Strata:	**64,70 EUR**

Z týchto poskytnutých údajov, ktoré sú od jedného spracovateľa sa nedá jednoznačne určiť v akej výške je strata zo spracovania jedného starého auta. Vo výnosoch nie je uvedená výška príjmu z predaja náhradných dielov a príspevok 25,- EUR, avšak len od Auto Recycling na strane druhej nie sú uvedené režijné materiály a odpisy základných prostriedkov. Napriek neúplnosti údajov sa ukazuje, že ekonomika – výnosnosť je na hranici únosnosti a preto aj mnohí spracovatelia, čo je uvedené v priložených listoch, zvažujú s ukončením. Spracovatelia, ktorí sú šrotári sú na tom lepšie nakoľko šrot s automobilov ktoré sami spracovávajú nevykupujú majú ho akoby zadarmo. Pritom im však náklady na ostatné materiály ostávajú ako každému spracovateľovi. Rozdiely ako bolo zistené pri osobných rozhovoroch sú aj podľa regiónov a možností, ktoré v regióne na vysporiadanie sa s „odpadovým materiálom“ sú. Taktiež pozitívne, alebo negatívne na náklady majú prepravné vzdialenosti napr. Je rozdiel viezť pneumatiky so Stakčína, alebo Košíc do Dunajskej Stredy – DRON. Mnohí zistili, že obdobie primerane dobrého zisku skončilo a premýšľajú či tiež neskončiť. Prevzali na seba okrem biznisu aj zodpovednosť vysporiadať sa aj s odpadom a ako postupne zistili,

že to nie je jednoduché, nákladné a v niektorých prípadoch na hrane ekológie. Dosť prevažuje stanovisko, 25,- EUR nerieši naše problémy - pomôžte nám zbaviť sa odpadu!

Podľa údajov dosahuje na jedno spracované staré auto zisk 34,60 EUR (Tab. 7). Pri návšteve sme videli, že spracováva väčšie autá čo do hmotnosti a príjem z predajných materiálov je vyšší a podľa údajov z uvedenej tabuľky odoberajú od neho niektoré materiály bezplatne. Mzdové náklady na všetky činnosti sú pravdepodobne podhodnotené ako i nepriame náklady. Podklady sú od dvoch od seba vzdialených spracovateľov, ktorí majú len túto činnosť, prvý spracuje ročne cca 2 000 starých automobilov a druhý cca 600 – 700. Z týchto údajov sa nedá spraviť jednoznačný univerzálny záver no 90 % spracovateľov si sťažovalo na nedostatok finančných zdrojov získaných predajom kovov a farebných materiálov, vysoké náklady na likvidáciu odpadu a žiadne investície na obnovu. Prevažná väčšina spracovateľov sa zaoberá inou hlavnou činnosťou a spracovanie starých automobilov pribrala ako doplnkovú činnosť – hlavne šrotári a servisy. Títo nedostatok zdrojov z recyklácie riešia dofinancovaním z iných činností z nádejou, že sa to zlepší. Sme presvedčení, že ani jeden z finálnych výrobcov automobilov nevie ako sa recyklujú ich autá vyrobené z „recyklovateľných materiálov“. Že niektorí chcú skončiť, ako uviedli pri rokovaniach, nemôžeme zobrať na vedomie s uspokojením sa, že máme dostatok kapacít, čo je uvedené v 1. časti správy [1]. Je to signál, že systém nie je stabilný a začína mať existenčné problémy.

Nejedná sa len o zdroje pre spracovateľov, ale aj zdroje na podporu vybudovania zariadení, v ktorých sa spracujú - zrecyklujú druhotné suroviny. Spotrebitelia už berú recyklačný poplatok ako samozrejmosť a pri kúpe tovaru ho bez námietok uhradia. Cenník pre rok 2020 na elektro zariadenia stanovil recyklačný poplatok za chladiace zariadenie nad 140 kg na 35,40 EUR za zariadenie s uhlopriečkou nad 60" 4,20 EUR. Za auto, o váhe cca 1 200 – 1 600 kg s materiálovou rozmanitosťou je poplatok 25,- EUR. Čo týmto symbolickým poplatkom chránime?

Nemáme obavy, že by zákazník pri kúpe auta za cca 12 000,- EUR nezaplatil napr. 100,- EUR recyklačný poplatok. Na jeden kilogram váhy by to bolo 0,083 EUR pričom pri elektro zariadeniach je to 0,25 EUR. Kde je rozšírená zodpovednosť výrobcov a zákonná povinnosť OZV. V žiadnom prípade nie je cieľom tohto materiálu obhajovať spracovateľov ale poukázať na nevyváženosť celého systému spracovania starých áut, ktorý sa nám podarilo v rekordne krátkom čase vybudovať no začali sme stagnovať.

Je žiadúce, aby gestor automobilového priemyslu ZAP SR spolu s OZV Auto Recycling a ostatnými značkami, ako i vybranými spracovateľmi k tomuto problému sadli a bez interných záujmov našli riešenie pre udržateľnú funkčnosť ekologického a ekonomického spracovania starých automobilov.

V rokoch, kedy sme rozbiehali systém sme navštívili niekoľko krajín EÚ a zisťovali aký je stav v spracovaní. Treba s uznaním konštatovať, že to čo oni rozbiehali niekoľko rokov my sme zrealizovali v pomerne krátkom čase. Pomohla tomu však aj široká podpora nie len technická a napriek mnohým nedostatkom aj finančná. Bolo by žiadúce opäť sa pozrieť po okolí, kam sa posunuli, ako to organizujú.

Tab. 7 Údaje od ďalšieho spracovateľa

Fe plech	**cca 500 kg**	**8,- EUR/t = 40,- EUR**	
Fe ťažké	cca 230 kg	110,- EUR/t = 25,30 EUR	
Hliník	cca 30 kg	400,- EUR/t = 12,- EUR	
Cu autokáble	cca 5 kg	1 500,- EUR/t = 7,50 EUR	
Akumulátor	cca 10 kg	500,- EUR/t = 5,- EUR	
Al chladič	cca 7 kg	500,- EUR/t = 3,50 EUR	
Alternátor + Štartér + klima kompresor	cca 12 kg	450,- EUR/t = 5,40 EUR	
Katalyzátor		priemer 30,- EUR/kus	
Plast (nárazníky, nádrž)	cca 20 kg	bezodplatne	
Sklo	cca 35 kg	bezodplatne	
Textil	cca 10 kg	bezodplatne	
Pneumatiky	cca 20 kg	bezodplatne	
Olej	cca 6 kg		100,- EUR/t = **0,60 EUR**
Kvapaliny (chladiaca, ostrekovač)	cca 6 kg		300,- EUR/t = **1,80 EUR**
160122 – (spaľovňa) • **palubná doska** • **molitan** • **tapacír** • **všetka guma** • **plasty interiéru** • **plasty okolo motora**	cca 70 kg		120,- EUR/t = **8,70 EUR**
Náhradné diely		30,- EUR	
Mzdové náklady: • **rozobratie vozidla** • **dotrieďovanie a úprava odpadov** • **administratíva, účtovníctvo (všetky mzdové mesačné náklady deleno počet sprac. vozidiel)**			**100**,- **EUR**
Energie			**5**,- **EUR**
Príspevok za spracovanie		priemer = 12,- EUR	
Nepriame náklady: • **náklady na odťahy starých vozidiel** • **amortizácia náradia a strojov** • **náklady na odvoz odpadov**			**20,- EUR**
SPOLU		+170,70 EUR	-136,10 EUR
Zisk			**34,60 EUR**

1.9 Pripomienky k súvisiacej legislatíve

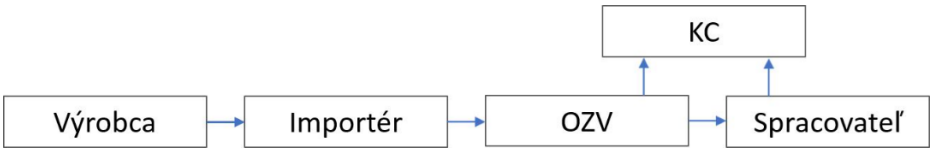
Počas osobných návštev spracovateľov starých vozidiel v období august - november 2020 boli zozbierané údaje od spracovateľov starých vozidiel, ktorým bola udelená autorizácia MŽP SR.

Zhrnutie pripomienok a námetov od spracovateľov starých vozidiel k súvisiacej legislatíve:

- predĺžiť spracovanie na dlhšie obdobie 2 - 3 rok,
- kde sú zdroje z RF, ktoré boli vybrané na podporu recyklácie automobilov,
- mesačná evidencia prúdu odpadu a Q hlásenia časovo náročné,
- povinnosť odobrať a spracovať nezazmluvnené značky je nezákonné,
- kam dávať plasty recyklácia PP a PL plastov,
- v každom regióne vytvoriť pracoviská na likvidáciu odpadu,
- vytvoriť fond na prežitie a podporu,
- vytvoriť pracovnú skupinu ZAP, OZV, MŽP STUBA, spracovatelia,
- dať do zákonu aj nákladné vozidlá a polnotechniku,
- recyklačný poplatok 25,- EUR nič nerieši, je malý,
- chýbajú podklady od výrobcov - materiálové zloženie,
- evidencia ND zbytočne náročná,
- doriešiť plasty a iné nerecyklovateľné materiály,
- vysoké poplatky za likvidáciu odpadu - koberce, plasty a pod.,
- zdroje na obnovu zariadení?
- ekonomická efektívnosť nulová,
- zodpovednosť OZV žiadna,
- zlikvidovať nelegálne auto vrakoviská,
- oslobodiť spracovateľov od dane z nehnuteľnosti,
- odovzdávanie dokladov na políciu - likvidovať u spracovateľa ako tabuľky,
- nerecyklovateľné plasty zhodnocovať energeticky,
- viď. Príloha č. 2 - List ŽP EKO QELET.

1.10 Odporúčanie

Systém je založený na delegovaní zodpovednosti v zmysle zákona (Obr. 10).



Obr. 10 Systém delegovania zodpovednosti: OZV – organizácia zodpovednosti výrobcov, KC – koordinačné centrum, Spracovateľ – spracovateľ odpadov

Rozšírená zodpovednosť výrobcov: Výrobca vyhradeného výrobku znáša všetky finančné náklady spojené so zberom, prepravou, prípravou na opätovné použitie, zhodnotením, recykláciou, spracovaním a zneškodnením oddelene vyzbieraného odpadu patriaceho do vyhradeného prúdu odpadu.

Organizácia zodpovednosti výrobcov: Vytvorenie, financovanie, prevádzkovanie a udržiavanie funkčného systému združeného nakladania s vyhradeným prúdom odpadu.

V zmysle zákona sa musia všetci dotknutí, aj keď v zastúpení, zúčastniť aktívne procesu ekologického a ekonomického procesu spracovania starých vozidiel. Prioritne treba riešiť ekológiu a ekonómiu spracovania, prehodnotiť recyklačný poplatok, vytvoriť zdroje na pomoc pri obnove zariadení a cenových dopadov, zamedziť nelegálnemu spracovaniu (nelegálne auto vrakoviská), vytvoriť pracovnú skupinu a navrhnúť opatrenia udržateľnosti.

Poďakovanie

Táto práca vznikla v rámci projektu združenia univerzít, UNIVNET č. zmluvy 0201/0082/19 a jeho finančnej podpory.

1.11 Príloha č.1 Prieskumné listy spracovateľov

V období august - november 2020 boli počas osobných návštev spracovateľov starých vozidiel zozbierané údaje od spracovateľov starých vozidiel, ktorým bola udelená autorizácia MŽP SR. Zisťované boli údaje o reálnych ročných kapacitách každého spracovateľa starých vozidiel, úrovni spracovania/zhodnotenia odpadov, o prúde odpadu nebezpečných látok a materiálov (odberatelia), prúde odpadu ostatných materiálov (odberatelia). Ďalej údaje o materiáloch určených na skládku, materiáloch, ktoré sa nedajú v súčasnej dobe ekologicky zhodnotiť a o ekonomickej efektívnosti spracovania starých vozidiel - podmienkach pre jej dosahovanie. Boli zozbierané aj pripomienky a námety od spracovateľov k súvisiacej legislatíve (viď. časť 1.9). Podarilo sa zozbierať aktuálne údaje od 37 spracovateľov.

1.12 Zoznam použitej literatúry

[1]. NOVOTNÝ, M. et al.: Analýza procesu recyklácie starých vozidiel. In: Stav a vízie zhodnocovania odpadov z automobilového priemyslu SR, Vydavateľstvo SPEKTRUM STU Bratislava, 2020, s. 1 – 19, 285 str. ISBN 978-80-227-5039-4.

ŽP EKO QELET

ŽP EKO QELET a.s., Československej armády 1694, 036 01 Martin, Slovenská republika
Vybavuje: **Ing. Roman Veverka,** GSM: **+421 903 546 078**, E-mail: **veverka@ekoqelet.sk**
Tel.: **+421 (0)45 / 676 27 20**

AUTO Martin engineering, s.r.o.
Ing. Milan Novotný
Bystrička 58
038 04 Bystrička

Hliník nad Hronom, 03.08.2020

Príprava podkladov.

Dovoľte mi, aby som sa ešte raz poďakoval za Vašu návštevu v ústredí našej spoločnosti a zároveň aby som vyslovil nádej, že informácie, ktoré na nej odzneli, pomôžu posunúť oblasť spracovania starých vozidiel na Slovensku tým správnym smerom.

Ako som Vám na stretnutí avizoval, posielam niektoré námety na zlepšenie terajšieho systému zberu a spracovania starých vozidiel.

1. **Obnovenie evidenčných povinností pri preprave nebezpečného odpadu – starých vozidiel (SV).**

Pôvodné znenie nového zákona č. 79/2015 odstránilo v segmente SV zbytočnú byrokratickú záťaž a do znenia § 26 vnieslo pre spracovateľov SV vítané zjednodušenie, konkrétne odsek 6:
(6) Povinnosti uvedené v odseku 2 písm. b) a v odsekoch 3 až 5 sa nevzťahujú na prepravu starých vozidiel z miesta zberu starých vozidiel a z určeného parkoviska ku spracovateľovi starých vozidiel.

Po roku tento odsek novela nahradila iným znením a byrokracia okolo sprievodných listov nebezpečných odpadov (SLNO) nadobudla abnormálne rozmery. Pre ilustráciu Vám popíšem súčasný stav pri odvoze SV zo zberného na spracovateľské miesto v našich podmienkach.

Administrátor na našej výkupni pri prevoze SV vytlačí 8 (osem) vyhotovení SLNO – prvé paré si necháva na zberni a robí z neho 3 kópie. Jednu posiela na okresný úrad, pod ktorý pripadá sídlo zberne. Druhú posiela na okresný úrad, ktorý vydal povolenie na prepravu SV, v našom prípade je to Banská Bystrica. Tretiu posiela na okresný úrad, ktorý vydal povolenie na spracovanie SV, v našom prípade je to Žiar nad Hronom. Paré 2 až 8 posiela administrátor po vodičovi na spracovateľské miesto, kde po potvrdení zostáva vyhotovenie 2 a 3 (sme prepravca), paré 4 posielame späť na naše zberné miesto, paré 5 na okresný úrad sídla zberne, paré 6 na okresný úrad, ktorý vydal povolenie na spracovanie SV (v našom prípade je to Žiar nad Hronom), paré 7 na okresný úrad, ktorý vydal povolenie na prepravu SV (v našom prípade je to Banská Bystrica), paré 8 zostáva na našom spracovateľskom mieste.

ŽP EKO QELET a.s., Československej armády 1694, 036 01 Martin, Slovenská republika
Vybavuje: **Ing. Roman Veverka,** GSM: **+421 903 546 078,** E-mail: **veverka@ekoqelet.sk**
Tel.: **+421 (0)45 / 676 27 20**

Pokiaľ som to nenapísal správne, ospravedlňujem sa, ale z púheho popisu administratívnych povinností je viac než zrejmé, že sa jedná o úplne prebyrokratizované, značne neprehľadné a zbytočné papierovanie.

2. **Odovzdávanie a preberanie technických preukazov na oddeleniach PZ SR.**

Rozšírením práv a povinností pre subjekty oprávnené zbierať a preberať SV, vznikla pre ne okrem povinnosti odhlásiť odovzdané SV z evidencie, aj povinnosť prevziať originály dokladov o evidencii vozidla, ktoré sa následne odovzdávajú na najbližšie oddelenie PZ SR. Stáva sa nám, že niektoré policajné oddelenia nechcú doklady preberať, prípadne odmietnu preberať doklady vozidiel, ktoré boli prihlásené do evidencie v iných okresoch. Ani jedno, ani druhé nemá oporu v legislatíve, a tak tieto prípady musíme riešiť cez krajských riaditeľov PZ SR, čo je značne časovo náročné a v niektorých prípadoch to vyvolalo opačný efekt zo strany miestnych oddelení.

3. **Elektronické zasielanie dokumentov o SV na oddelenia PZ SR.**

Ide o ďalšiu legislatívnu povinnosť zberateľa SV, kedy máme povinnosť zasielať preskenované protokoly o prevzatí SV a jeho odhlásení z celoštátnej evidencie v systéme ERSV. Táto povinnosť je zbytočná, pretože všetky potrebné údaje navádzajú naši administrátori v reálnom čase do systému ERSV, do ktorého majú prístup aj pracovníci PZ SR. Častokrát sme vyzývaní priamo z príslušných oddelení PZ SR, aby sme im tieto dokumenty neposielali, lebo im zahlcujú mailové schránky.

4. **Prepojenie systému ERSV a nášho systému NIS.**

Možnosť prepojenia oboch systémov by odstránila duplicitné navádzanie údajov zo strany našich administrátorov. Pri počte odhlasovaných SV (cez 10 tisíc kusov ročne), by išlo o ohromné uľahčenie administratívnych úkonov pre našich zamestnancov.

5. **Zvýšenie pomoci pre spracovateľov SV zo strany OZV a výrobcov vozidiel.**

Pri neustálom zvyšovaní nákladov na spracovanie vozidiel, predovšetkým v posledných troch rokoch, by sme ocenili vyššiu formu pomoci zo strany OZV a výrobcov vozidiel. Jeden zo spôsobov by mohla byť koordinácia a zabezpečenie spracovania balastových častí SV, ako sú pneumatiky, oleje, sklo, plasty, textil a molitany na náklady výrobcov a OZV. Tiež by sme uvítali kompenzáciu za prepravné SV zo zberných do spracovateľských miest. V neposlednom rade očakávame väčšie angažovanie sa OZV a výrobcov pri zavádzaní nových postupov pri spracovaní SV – napríklad doteraz nepoznáme pracovno-bezpečnostné postupy pri spracovaní elektromobilov, nehovoriac o neexistencii koncového spracovateľa elektrobatérií.

Budem rád, pokiaľ sa zodpovedným inštitúciám a subjektom podarí uľahčiť nám, spracovateľom SV, komplikované a nákladné procesy spojené s našimi činnosťami.

ŽP EKO QELET a.s., Československej armády 1694, 036 01 Martin, Slovenská republika
Vybavuje: **Ing. Roman Veverka,** GSM: **+421 903 546 078,** E-mail: **veverka@ekoqelet.sk**
Tel.: **+421 (0)45 / 676 27 20**

Zároveň chcem veriť, že Vaša návšteva prinesie pre spracovateľov želaný efekt a bude prínosom pre zlepšenie spolupráce medzi výrobcami vozidiel, OZV a spracovateľmi.

S pozdravom

.....
Ing. Roman Veverka
predseda predstavenstva
a generálny riaditeľ

Ekonomické efekty životného cyklu automobilov v SR

Riešiteľský kolektív
Ekonomická univerzita v Bratislave
Národohospodárska fakulta a Fakulta hospodárskej informatiky

Hlavný riešiteľ:
prof. Ing. Pavol Ochotnický, CSc.

Riešitelia:
doc. Ing. Martin Lábaj, PhD., Ing. Erika Majzlíková, PhD., prof. Ing. Pavol Ochotnický, CSc.
Štrukturálne efekty automobilového priemyslu SR
prof. Ing. Pavol Ochotnický, CSc., Ing. Marek Engel
externá spolupráca: Andrea Prokešová,
Potenciál prúdov odpadov z prevádzky a zo spracovania vozidiel po dobe životnosti
prof. Ing. Ivan Brezina, PhD., prof. Ing. Juraj Pekár, PhD.
Využitie kvadratického priraďovacieho problému pri rozmiestňovaní spracovateľov ELV a nadväzujúcich spracovateľov
Dr.h.c. prof. Ing. Rudolf Sivák, CSc., doc. Ing. Katarína Belanová
Vzorové hodnotenie ekonomickej efektívnosti investície pre spracovanie vybranej odpadovej komodity z recyklácie automobilov
externá spolupráca: Ing. Miloš Hofreiter

2 EKONOMICKÉ EFEKTY ŽIVOTNÉHO CYKLU AUTOMOBILOV V SR

2.1 Úvod

Proces adaptácie ekonomík na nové globalizačné procesy a stratégie je životne dôležitý aj pre automobilový najmä v súvislosti s poklesom zásob neobnoviteľných zdrojoch energií a surovín, ale aj so zámerom redukovať emisie spojené so životným cyklom automobilov (ŽCA) a špeciálne s redukciou „uhlíkovej stopy". Podľa OICA sa výr*oba automobilov vo svete* zvýšila z 58,3 mil. vozidiel v r. 2000 na 91,8 mil. ks vozidiel v r. 2019. Kým dynamika produkcie automobilov v Európe skôr stagnovala, Slovenská republika naproti tomu zaznamenala vďaka zahraničným investíciám do automobilového priemyslu dynamický nárast výroby automobilov - zo 181 tis. v roku 2000 na 1 mil. (plus jedno vozidlo) v roku 2015 a na 1 milión stotisíc automobilov v r. 2019.

Štruktúra dodávateľských odvetví, zánik firiem a vznik nových podnikateľských ideí je poznačený najmä inováciami a dynamickými technologickými zmenami hlavne vo výrobe automobilov, ale aj v celom ŽCA a súvisiacimi zmenami konkurencieschopnosti národných ekonomík. Tieto sa prejavujú tak v zmene štruktúry dopytu materiálových, energetických, pracovných a ďalších vstupoch, ako aj v odlevoch/príleve zahraničných investícií a vzniku nových firiem v celom ŽCA.

Z hľadiska technológie výroby a použitých vstupov v rámci ŽCA prevládajú dva hlavné impulzy. Je to jednak vývoj nových životné prostredie šetriacich pohonných jednotiek automobilov. Tento determinuje celý rad nových súvisiacich podnikateľských šancí tak v oblasti výroby, ako aj v prevádzke a v budúcnosti aj pri spracovaní starých – dnes nových vozidiel. Druhým impulzom je (podľa predchádzajúcich záverov štúdií kolektívu EUBA[1]) použitie ľahkých plastov a kompozitných materiálov v automobilovom priemysle, a to najmä na úkor poklesu kovových častí vo vozidlách. Toto sa deje v dôsledku legislatívnych zmien, ale aj spotrebiteľských požiadaviek na nižšiu hmotnosť a na nižšiu spotrebu pohonných hmôt vozidiel. Substitučným zmenám v materiálovej štruktúre automobilov sa tak pripisuje zníženie priemernej hmotnosti vozidla o 200 kg. V niektorých prípadoch sú plasty náhradou ťažších kovových materiálov. Plasty a kompozitné materiály sú pridávané z dôvodu jednak vyššieho spotrebiteľského komfortu. Okrem toho plasty sú ľahké, sú často odolnejšie voči viacerým vplyvom (napr. korózie) a sú ľahko tvarovateľné.

Z hľadiska procesov výroby, tvorí automobilový priemysel vo svete a v SR významné percento dopytu po plastoch, ale nielen po týchto vstupoch. Tradičné „spillover" efekty na dopyt po vstupoch do automobilového priemyslu v SR sa prejavili až v posledných rokoch, pričom významne a dynamicky zasiahli do prudkého rozvoja dodávateľských odvetví v SR, resp. dovozov takýchto vstupov.

Efekty nárastu podielu plastov na úkor ťažších materiálov boli v podkladových štúdiách vo svete odhadované v podobe redukcie hmotnosti o 10 % a tým aj vo zvýšení účinnosti palív o 3 % až 7 %. Zároveň dopady tejto štrukturálnej zmeny na životné prostredie nie považované za jednoznačne priaznivé. Rastúce využívanie umelých hmôt presúva kladné pôsobenie

[1] Pozri štúdie tímu EUBA napr. [8] alebo publikácie UNIVNET..

na životné prostredie skôr na fázu používania automobilov (najmä cez zníženie emisií), než ku koncu životnosti vozidiel. Závery niektorých štúdii vo svete ukázali, že vplyv pre životné prostredie zo znižovania váh automobilov dokonca môže mať negatívny dopad.

Súčasné prúdy odpadov z používania a spracovania starých automobilov sú generované materiálovým zložením vozidiel, vyrobených v predchádzajúcich dekádach. Pre ilustráciu uvádzame, že kým v roku 1965 z celkovej hmotnosti priemerného európskeho vozidla predstavovali železné a neželezné kovy 82 % (z toho hliník 2 %) a plasty iba 2 %, tak v polovici 80. rokov bol tento pomer už 75 % (z toho hliník 4,5 %) k 8 % a v roku 1998 už 67,5 % (z toho hliník 8 %) k 9,3 %. Z hľadiska najvýznamnejších zmien sa zvýšil percentuálny podiel plastov na hmotnosti priemerného vozidla zo 6 % v roku 1970 na 16 % v roku 2010, pričom vybrané štúdie očakávali, že v roku 2020 dosiahne ich podiel 18 %.

Aj podľa najnovšej štúdie OECD [1] je automobilový priemysel SR silným vyzývateľom o výskum, ekologické inovácie a to najmä pokiaľ ide o vývoj ľahkých materiálov, znižovanie emisií CO_2 a iné. Podľa OECD nájdenie týchto výskumných kooperácií a synergií medzi ekonomickými, environmentálnymi cieľmi a komparatívnou výhodou Slovenska v automobilovom priemysle by mohlo viesť k ďalšiemu prelievaniu podnikateľských aktivít v priemysle, k aj v iných inovačných oblastiach. Z odvetvového hľadiska analýza OECD poukazuje na význam odvetví výroby a služieb, najmä v súvislosti s automobilovým priemyslom na preskúmanie potenciálu obehového hospodárstva. Tento potenciál sa rysuje nielen v rámci samotného automobilového priemyslu ale aj v rámci celého klastra ŽCA.

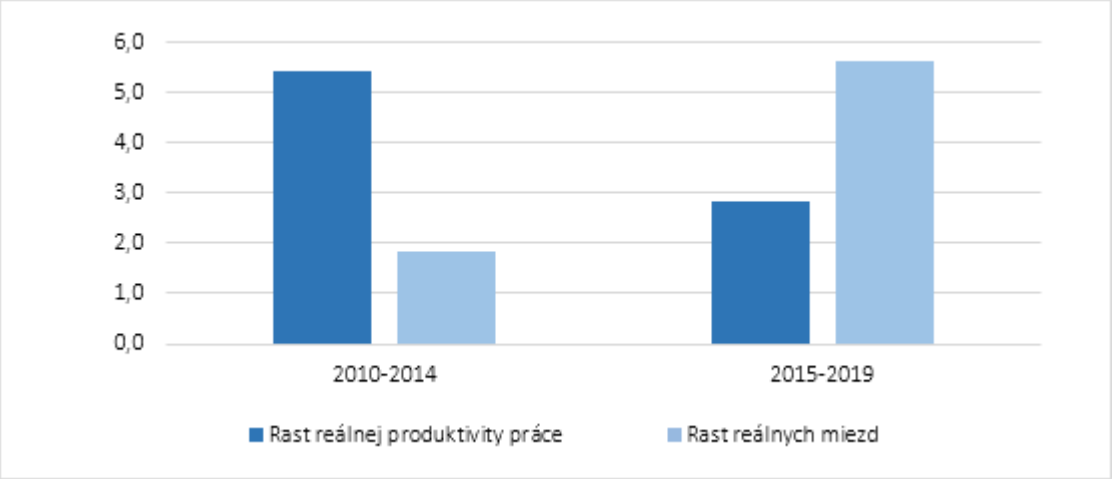
Viaceré štúdie a aj prístup výrobcov automobilov [2, 3, 4] sa pri uvádzaní nových automobilov na trh, zameriavajú aj na environmentálne správanie a zlepšenie dopadov automobilov v kontexte tak automobilového dizajnu, inovácií, výroby a celého ŽCA pre životné prostredie. Účelom hodnotenia celého výrobného procesu a celého životného cyklu je odvodiť merateľné technické ciele LCA (hodnotenia životného cyklu). Tento prístup sa dá aplikovať na inovácie všetkých technologických postupov a vývoj automobilov, počnúc technickými cieľmi dizajnu, cieľmi zníženia hmotnosti, zníženia spotreby paliva na úrovni vozidla a aj použitia druhotných materiálov, energií alebo recyklovaných vstupov a pod. LCA je súčasne užitočný nástroj na podporu životného prostredia a inovácií. Nielen v rámci ŽCA, ale dáva aj impulzy pre nové inovačné a podnikateľské aktivity v rámci celého ŽCA a pre súvisiace výrobné odvetvia, ktoré sú závisle na automobiloch a pre dekarbonizáciu procesov v celom klastri súvisiacich odvetví ekonomiky SR.

2.2 Štrukturálne efekty automobilového priemyslu SR

Zatiaľ čo v roku 2000 výraznejšie nedominovalo žiadne z odvetví a približne rovnakou mierou prispievali k tvorbe pridanej hodnoty výroba potravín a nápojov, veľkoobchod okrem motorových vozidiel, výroba a spracovanie kovov, výroba textílií, výroba motorových vozidiel a výroba strojov, v roku 2014 už jasne dominoval automobilový priemysel. Zaujímavým je aj zvýšený podiel efektov generovaných spracovateľským priemyslom na pridanú hodnotu v službách. Konečné použitie priemyselných výrobkov začalo nepriamo vytvárať pridanú hodnotu a zamestnanosť aj v odvetví účtovníckych a právnických služieb, v odvetví IT

a informačných služieb a v odvetví administratívnej podpory, v ktorých pôsobia aj tzv. centrá zdieľaných služieb, ktoré sa stávajú významnými z hľadiska tvorby pracovných miest na Slovensku. Aj v prípade zamestnanosti možno za posledných pár rokov pozorovať určité zmeny v štruktúre. K najväčšiemu skoku dopredu došlo nepochybne v prípade výroby motorových vozidiel. Zvýšil sa aj význam odvetvia výroby kovových konštrukcií a výroby strojov a zariadení pre tvorbu zamestnanosti a došlo k upevneniu pozície obchodu [5].

Po roku 2015 došlo v spracovateľskom priemysle k výraznej zmene vo vývoji vzťahu medzi produktivitou práce a mzdovým vývojom. Podľa štúdie [6] situácia na trhu práce už v roku 2014 naznačovala, že môžeme očakávať výraznejšie zmeny v strednodobom vývoji v oblasti zamestnanosti a miezd s dopadmi na výkonnosť firiem naprieč odvetviami. Po dlhých rokoch vysokých mier nezamestnanosti pribúdali okresy a odvetvia, v ktorých sa začínal prejavovať nedostatok pracovníkov so špecifickým typom zručností a kvalifikáciou. Podľa autorov štúdie, k týmto zmenám došlo v situácii, keď mnohé firmy stratili priestor pre ďalšie razantné zvyšovanie produktivity práce bez výraznej reorganizácie výroby a transformácie výrobných procesov.



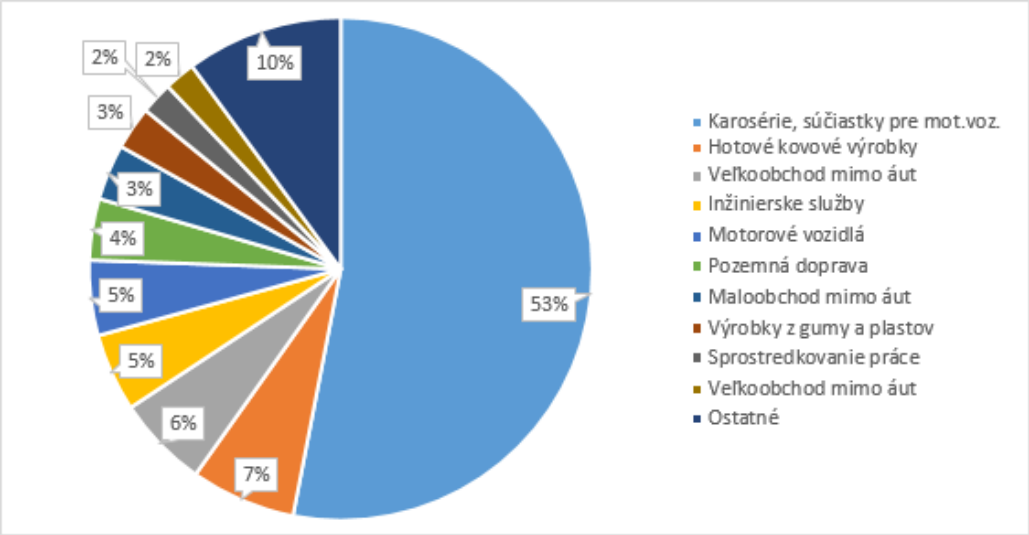
Zdroj: Frank, K. – Morvay, K. a kol. (2020), vlastné úpravy.

Obr. 11 Vzťah medzi reálnym rastom hodinovej produktivity práce a rastom reálnych hodinových miezd v spracovateľskom priemysle (stále ceny roku 2015 a harmonizovaný index spotrebiteľských cien)

Spracovateľský priemysel v roku 2017 tvoril 37 % celkovej produkcie vrátane dovozu na Slovensku. V prípade samotnej domácej produkcie išlo o 32 %. Produkcia odvetvia výroby motorových vozidiel (29.1) vrátane dovozu dosahovala hodnotu 15 mld. EUR (8 % celkovej produkcie), pričom samotná domáca produkcia predstavovala približne tretinu (3 % celkovej produkcie). V rámci automobilového priemyslu registrujeme aj výrobu karosérií a súčiastok pre motorové vozidlá (komponenty pre automobilový priemysel – 29.2 + 29.3), ktorej produkcia predstavovala v roku 2017 viac než 10 mld. EUR (5 % celkovej produkcie), z toho domáca produkcia mala hodnotu 3,4 mld. EUR (2 % celkovej produkcie).

2.2.1 Základné štrukturálne súvislosti

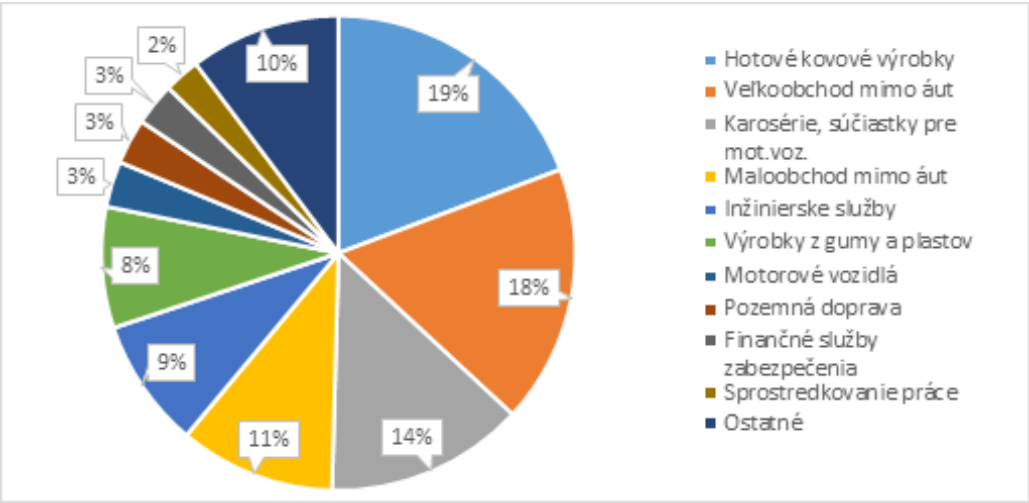
Na štruktúru domácej produkcie odvetví automobilového priemyslu (odvetvie 29.1)[2] sa bližšie pozrieme na Obr. 12 a Obr. 13. Viac než polovicu domácej produkcie výroby motorových vozidiel predstavovali komponenty do áut. Ďalej išlo najmä o hotové kovové výrobky a veľkoobchod a maloobchod mimo áut. Samotné motorové vozidlá predstavovali len 5 % domácej produkcie tohto odvetvia (Obr. 12).



Zdroj: Vlastné výpočty na základe input–output tabuliek pre slovenskú ekonomiku za rok 2017.

Obr. 12 Štruktúra domácej produkcie odvetvia 29.1

Pri pohľade na Obr. 13 možno vidieť rovnomernejšie rozdelenú štruktúru domácej produkcie.



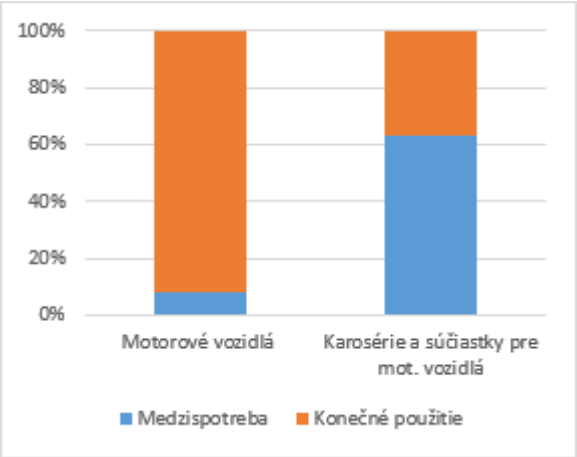
Zdroj: Vlastné výpočty na základe input–output tabuliek pre slovenskú ekonomiku za rok 2017.

Obr. 13 Štruktúra domácej produkcie odvetvia 29.2 + 29.3

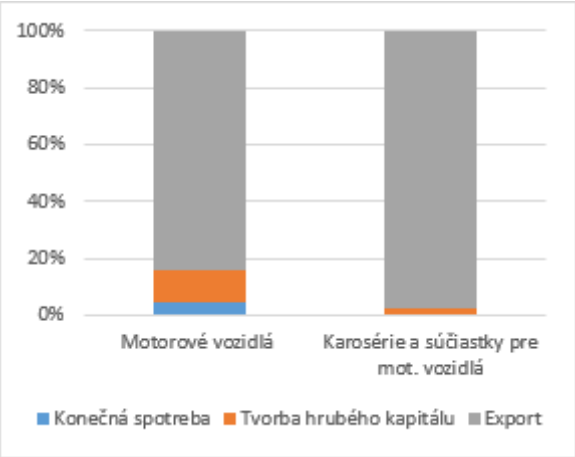
[2] Odvetvie a komodita NACE/CPA 29_*motorové vozidlá, prívesy a návesy* boli rozdelené na 29.1_*Motorové vozidlá* a 29.2+29.3_*Karosérie motorových vozidiel, prívesy a návesy; časti, súčasti a príslušenstvo motorových vozidiel*.

Významnú časť výroby komponentov pre automobilový priemysel tvoria hotové kovové výroby (19 %), veľkoobchod mimo áut (18 %) a samotné komponenty pre motorové vozidlá, teda karosérie a súčiastky (14 %). Dôležitou súčasťou domácej produkcie odvetvia 29.2 + 29.3 sú aj maloobchod, inžinierske služby či výrobky z gumy a plastov.

Z použitia jednotlivých produktov zas vidíme, že drvivá väčšina motorových vozidiel je priamo určená na konečné použitie a len 8 % putuje do medzispotreby. Opačné zloženie pozorujeme v prípade komponentov pre automobily, z ktorých viac než 60 % postupuje do ďalšej výroby.



Obr. 14 Použitie produktov 29.1 a 29.2+29.3



Obr. 15 Konečné použitie produktov 29.1 a 29.2+29.3

Zdroj: Vlastné výpočty na základe input–output tabuliek pre slovenskú ekonomiku za rok 2017.

Prevažná časť oboch skupín produktov je určená pre export. V prípade motorových vozidiel je to 84 % a pri karosériách a súčiastkach až 98 % celkového konečného použitia týchto produktov. Hlavné priame a nepriame efekty generované exportom týchto komodít sú vyčíslené detailnejšie v podkladovej štúdii EUBA.

2.2.2 Multiplikačné efekty na produkciu

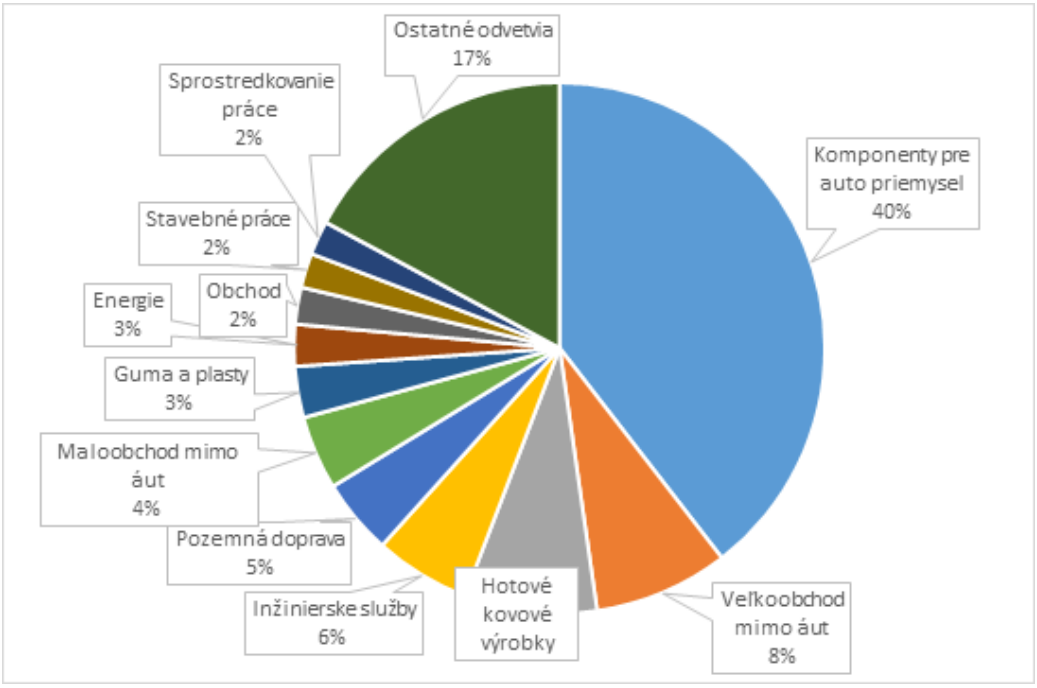
Multiplikačné efekty v nasledujúcej Tab. 8 sú uvedené špeciálne za multiplikátory produkcie, pridanej hodnoty a zamestnanosti, a to pre produkty spracovateľského priemyslu na Slovensku.

Tak výroba motorových vozidiel, ako aj komponentov pre automobilový priemysel, majú jedny z najvyšších multiplikátorov produkcie vrátane dovozu. Motorové vozidlá celkovo najväčší (4,18). Výroba komponentov pre automobilový priemysel (3,75) je hneď za výrobou počítačov, elektronických a optických zariadení (3,95). Vývoz automobilov v hodnote 1 milióna eur tak generoval priamo a nepriamo 4,18 mil. eur produkcie, vrátane dovozu. Z toho efekty na domácu ekonomiku predstavovali iba 1,57 mil. eur. Potenciál na zlepšenie sa skôr znížil. Poklesli aj multiplikátory pridanej hodnoty a zamestnanosti.

Tab. 8 Multiplikátory produktov spracovateľského priemyslu na Slovensku, 2017

CPA	Názov	Multiplikátory:			
		Produkcie (s dovozom)	Produkcie (bez dovozu)	Pridanej hodnoty	Zamestnanosti
10	Potravinárske výrobky	2,98	1,83	0,58	25
11	Nápoje	2,70	1,73	0,61	19
12	Tabakové výrobky	1,95	1,46	0,81	20
13	Textílie	2,65	1,45	0,58	24
14	Odevy	2,10	1,35	0,71	42
15	Usne a výrobky z usní	3,25	1,51	0,40	30
16	Drevo a výrobky z dreva a korku, okrem nábytku	2,15	1,62	0,77	29
17	Papier a výrobky z papiera	2,92	1,74	0,58	17
18	Tlač a reprodukcia záznamových médií	2,45	1,65	0,70	24
19	Koks a rafinérske ropné produkty	3,53	1,17	0,25	3
20	Chemikálie a chemické výrobky	3,08	1,37	0,43	9
21	Základné farmaceutické výrobky a farmaceutické prípravky	2,53	1,53	0,64	21
22	Výrobky z gumy a plastov	2,98	1,49	0,49	15
23	Ostatné nekovové minerálne výrobky	2,71	1,72	0,63	19
24	Základné kovy	3,05	1,44	0,39	11
25	Hotové kovové výrobky okrem strojov a zariadení	2,82	1,48	0,54	19
26	Počítače, elektronické a optické zariadenia	3,95	1,35	0,28	9
27	Elektrické stroje a prístroje	3,20	1,41	0,43	15
28	Stroje a zariadenia i. n.	3,15	1,48	0,44	17
29.1	Motorové vozidlá	4,18	1,57	0,26	7
29.2+29.3	Karosérie, súčiastky pre mot. voz.	3,75	1,51	0,33	12
30	Ostatné dopravné zariadenia	2,93	1,58	0,53	19
31	Nábytok	2,68	1,54	0,56	24
32	Ostatné výrobky	2,52	1,45	0,61	26
33	Oprava a inštalácie strojov a prístrojov	2,64	1,76	0,69	22

Zdroj: Vlastné výpočty na základe SIOT pre slovenskú ekonomiku za rok 2017.



Zdroj: Vlastné výpočty na základe SIOT pre slovenskú ekonomiku za rok 2017.

Obr. 16 Štruktúra produkcie generovaná exportom motorových vozidiel v ostatných odvetviach v %

Značné rozdiely v multiplikátoroch produkcie s dovozom a bez dovozu sú popri výrobe automobilov a ich komponentov, veľké aj pre výrobu počítačov a elektroniky, výrobu koksu a rafinérske ropné produkty, výrobu ušní, elektrických strojov a prístrojov, či strojov a zariadení.

Export motorových vozidiel generuje 40 % nepriamych efektov na produkciu vo výrobe komponentov pre automobilový priemysel. Z odvetví spracovateľského priemyslu generuje značnú časť efektov na produkciu hotových kovových výrobkov, výrobkov z gumy a plastov a pri oprave a inštalácii strojov a zariadení.

Tab. 9 Produkcia v ostatných odvetviach generovaná exportom motorových vozidiel, mil. EUR

PA	Názov	29.1 Motorové vozidlá
29.2+29.3	Karosérie, súčiastky pre mot. voz.	2808,5
46	Veľkoobchod okrem motorových vozidiel a motocyklov	583,9
25	Hotové kovové výrobky okrem strojov a zariadení	573,1
71	Architektonické služby a inžinierske služby; technické skúšky a analýzy	415,2
49	Pozemná doprava a doprava potrubím	328,9
47	Maloobchod, okrem motorových vozidiel a motocyklov	319,2
22	Výrobky z gumy a plastov	221,4
35	Elektrická energia, plyn, para a studený vzduch	181,2
45	Veľko- a malo- obchod a služby v oblasti opravy mot. voz.	159,3
43	Špecializované stavebné práce	149,1
78	Sprostredkovanie práce	147,0
64	Finančné služby, okrem poistenia a dôchodkového zabezpečenia	116,5
77	Prenájom a lízing	115,7
52	Skladové a vedľajšie činnosti v doprave	111,6
82	Administratívne, pomocné kancelárske a iné obchodné pomocné služby	102,9
68	Služby v oblasti nehnuteľností	90,6
33	Oprava a inštalácie strojov a prístrojov	81,7

Zdroj: Vlastné výpočty na základe SIOT pre slovenskú ekonomiku za rok 2017.

Mimo výroby komponentov a modulov pre automobily, je podstatná časť generovaných efektov exportu automobilov v službách. Mimo obchodu v inžinierskych službách, doprave, špecializovaných stavebných prácach, či v sprostredkovaní práce, finančných službách, prenájme a iných administratívnych a obchodných službách. Export komponentov pre automobily je taktiež vo výraznej miere previazaný s výrobou hotových kovov, obchodom, inžinierskymi službami, či produkciou výrobkov z gumy a plastu a pozemnou dopravou.

Celkovo sú pri generovaných efektoch pomerne málo zastúpené iné odvetvia spracovateľského priemyslu a oveľa viac ako v minulosti, dominujú odvetvia služieb. Uvedený vývoj naznačuje, že aj výroba automobilového priemyslu na Slovensku je charakteristická rastúcou fragmentáciou produkčného reťazca nad rámec hraníc jednotlivých krajín. Veľká časť medziproduktov spracovateľského priemyslu tak pochádza z dovozu.

Tab. 10 Produkcia v ostatných odvetviach generovaná exportom automobilových komponentov, mil. EUR

CPA	Názov	29.2+29.3 Komponenty pre auto priemysel
46	Veľkoobchod okrem motorových vozidiel a motocyklov	563,9
25	Hotové kovové výrobky okrem strojov a zariadení	543,0
47	Maloobchod, okrem motorových vozidiel a motocyklov	309,2
71	Architektonické služby a inžinierske služby; technické skúšky a analýzy	285,9
22	Výrobky z gumy a plastov	215,8
49	Pozemná doprava a doprava potrubím	163,9
35	Elektrická energia, plyn, para a studený vzduch	128,9
64	Finančné služby, okrem poistenia a dôchodkového zabezpečenia	109,0
43	Špecializované stavebné práce	108,2
29.1	Motorové vozidlá	90,4
78	Sprostredkovanie práce	82,7
82	Administratívne, pomocné kancelárske a iné obchodné pomocné služby	79,2
45	Veľko- a malo- obchod a služby v oblasti opravy mot. voz.	71,8
68	Služby v oblasti nehnuteľností	71,0
52	Skladové a vedľajšie činnosti v doprave	64,3
33	Oprava a inštalácie strojov a prístrojov	59,3

Zdroj: Vlastné výpočty na základe SIOT pre slovenskú ekonomiku za rok 2017.

2.2.3 Efekty na pridanú hodnotu

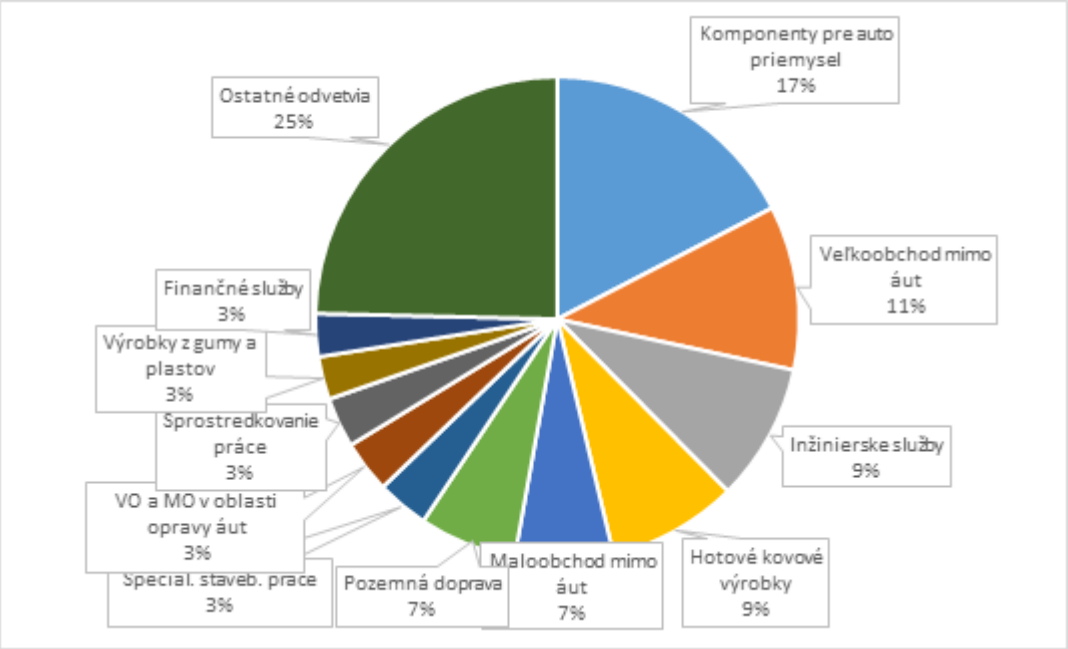
Priama pridaná hodnota v spracovateľskom priemysle predstavovala 20,5 % celkovej pridanej hodnoty v národnom hospodárstve, pričom priamo a nepriamo generovaná pridaná hodnota tvorila až 31,4 %. Automobilový priemysel tvoril priamo 3,6 % pridanej hodnoty a generovane až za 8 %. V porovnaní s výsledkami štúdie z roku 2013 ide o mierny pokles pri priamej pridanej hodnote (o 0,4 p.b.) a o niečo výraznejší rozdiel v prípade generovaných efektov (- 3 p.b.). Export automobilov a komponentov v súčasnosti generuje ešte väčšie efekty na domácu ekonomiku než pred necelými desiatimi rokmi (7,8 % celkovej pridanej hodnoty v roku 2017 oproti 6,5 % v roku 2012).

Tab. 11 Efekty konečného dopytu a exportu príslušných produktov na pridanú hodnotu na Slovensku, 2017

Názov	Priama PH	Podiel na celk. PH	Generovaná PH dopytom po príslušných produktoch	Podiel na celk. PH	Generovaná PH exportom príslušných produktov	Podiel na celk. PH
Poľnohospodárstvo, lesníctvo a rybolov	1985	2,6	1339	1,8	694	0,9
Ťažba a dobývanie	370	0,5	141	0,2	117	0,2
Spracovateľský priemysel	15541	20,5	23775	31,4	22124	29,2
z toho:						
29.1 Motorové vozidlá	1151	1,5	3496	4,6	3338	4,4
29.2+29.3 Komponenty pre auto priemysel	1589	2,1	2572	3,4	2558	3,4
Energie	2987	3,9	2400	3,2	542	0,7
Stavebníctvo	7361	9,7	6497	8,6	84	0,1
Obchod	7979	10,5	5994	7,9	909	1,2
Finančné a ostatné služby	39566	52,2	35644	47,0	5926	7,8

Zdroj: Vlastné výpočty na základe SIOT pre slovenskú ekonomiku za rok 2017.

Okrem vlastného odvetvia generuje výraznú časť pridanej hodnoty v komponentoch pre automobilový priemysel (17 %). Podobne v štúdii z roku 2016 možno pozorovať nepriame prepojenie na služby, v tomto prípade najmä na obchod, opravu áut, inžinierske a tiež finančné služby (Obr. 17).



Zdroj: Vlastné výpočty na základe SIOT pre slovenskú ekonomiku za rok 2017.

Obr. 17 Štruktúra pridanej hodnoty generovaná exportom motorových vozidiel v ostatných odvetviach v %

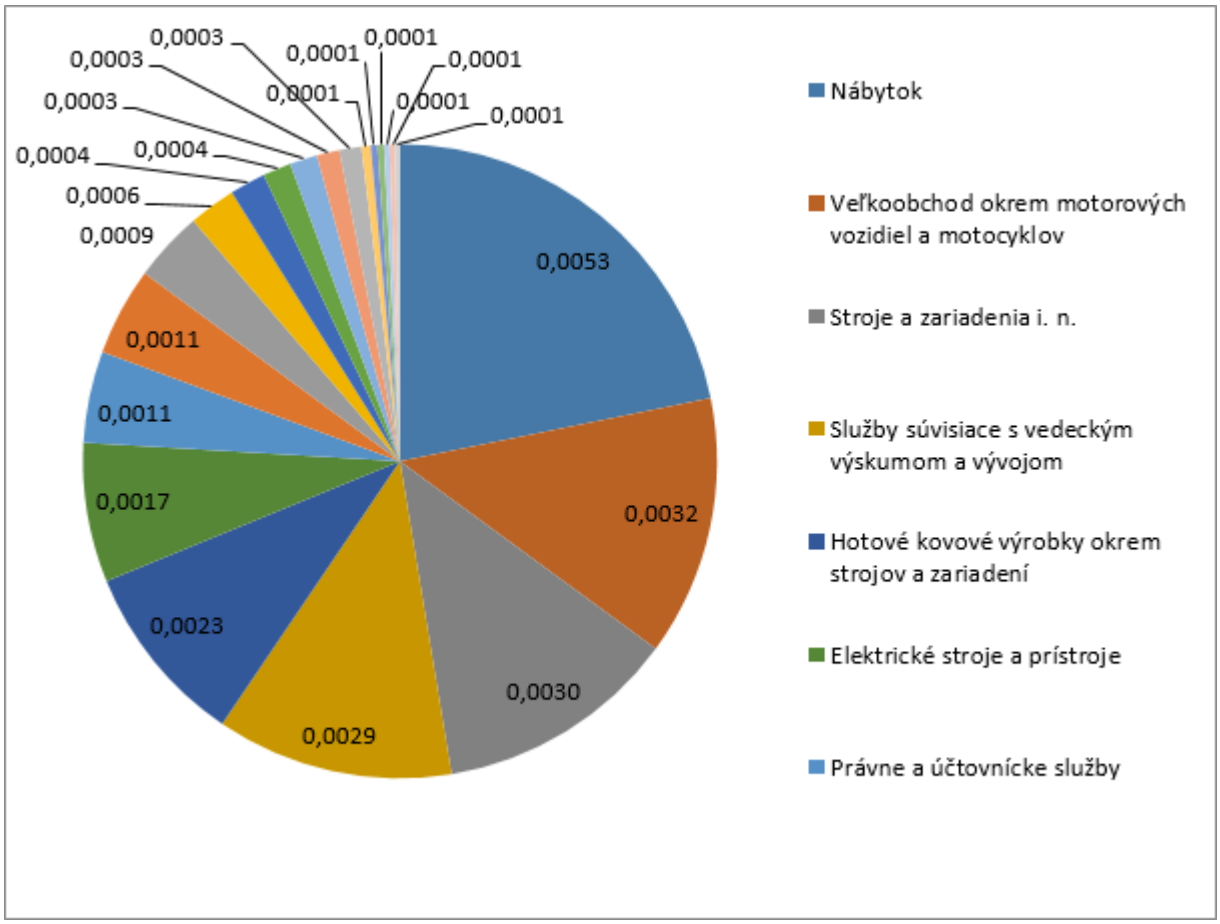
Služby, a to najmä veľkoobchod a maloobchod, majú silné zastúpenie aj pri pohľade na štruktúru pridanej hodnoty generovanej exportom automobilových komponentov v ostatných odvetviach Okrem efektov v rámci vlastného odvetvia a obchodu vytvára export komponentov významnú časť pridanej hodnoty aj pri hotových kovových výrobkoch (13 %), inžinierskych službách (10 %), či pozemnej doprave a výrobkoch z gumy a plastov (po 5 %). Medzi ostatnými službami podobne ako v prípade exportu automobilov vynikajú nepriame väzby s viacerými odvetviami služieb.

2.3 Kľúčové technologické zmeny (v hodnotovom reťazci) výroby automobilov v SR za r. 2013 a 2017

Zmeny technológie výroby, ale aj konkurenčného postavenia ekonomiky rezultujú do zmien v objemoch produkcie dodávateľských odvetví pre automobilový priemysel. K akým kľúčovým zmenám došlo v SR za roky 2013 až 2017 došlo z hľadiska celkového dopytu po vstupoch ukazujú výsledky nasledujúceho porovnania.

Najväčší dodávateľ pre automobilový priemysel (vrátane dovozov) bolo v r. 2013 samotné odvetvie automobilového priemyslu podľa SIOT odvetvie 29 - Motorové vozidlá, prívesy a návesy. Na základe tzv. priamych technologických koeficientov náročnosti produkcie, ktoré sú uvedené ďalej, boli vybrané odvetvia, ktorých dodávky komponentov pre automobilový

priemysel predstavovali minimálne podiel na úrovne technologického koeficientu 0,0001. V rámci súčtu koeficientov tejto skupiny odvetví, vyvolalo odvetvie automobilové priemyslu v r. 2013 najväčšie priame štrukturálne efekty na odvetvia výroby: Nábytok, Veľkoobchod okrem motorových vozidiel a motocyklov, Stroje a zariadenia, Služby súvisiace s vedeckým výskumom a vývojom, Hotové kovové výrobky okrem strojov a zariadení, Elektrické stroje a prístroje, Právne a účtovnícke služby, Základné kovy, Architektonické služby a inžinierske služby; technické skúšky a analýzy, Výrobky z gumy a plastov, Zber, spracúvanie a likvidácia odpadov; recyklácia materiálov, Počítače, elektronické a optické zariadenia, Sprostredkovanie práce, Ostatné dopravné zariadenia, Pozemná doprava a doprava potrubím, Služby v oblasti nehnuteľností, Skladové a vedľajšie činnosti v doprave, Elektrická energia, plyn, para a studený vzduch, Prenájom a lízing, Maloobchod, okrem motorových vozidiel a motocyklov.

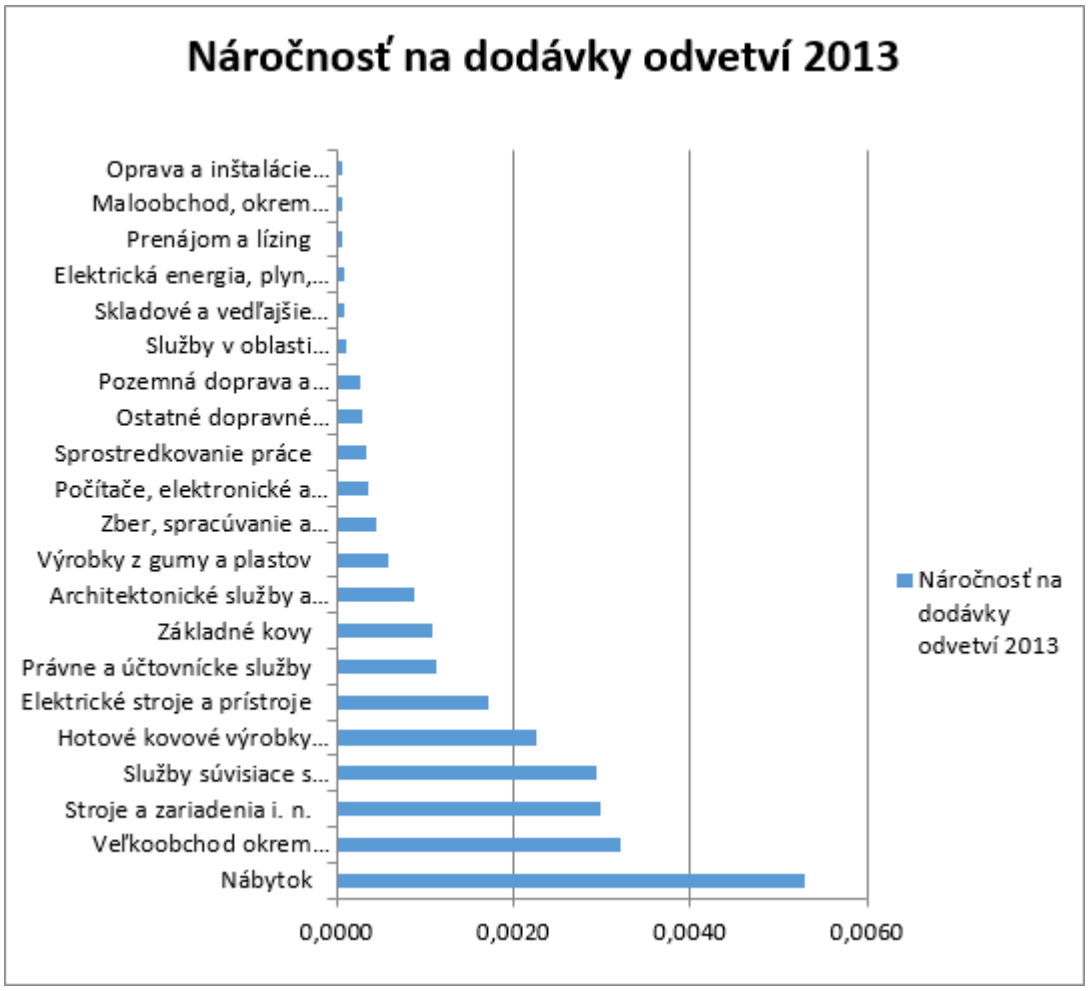


Zdroj: Vlastné spracovanie na základe údajov SIOT 2013.

Obr. 18 Štruktúra najväčších dodávateľov komponentov r. 2013 (s podielom nad hodnotu 0,0001 technologických koeficientov na produkcii odvetvia automobilového priemyslu)

Skutočné a konkrétne hodnoty náročnosti výroby na komponenty dodávateľských odvetví (koeficienty priamej technologickej náročnosti) za rok 2013 obsahuje Obr. 19[3].

[3] Vyššie a skutočné hodnoty podielov dodávateľov komponentov na odvetví automobilového priemyslu oproti grafu 3.1 sú dané už uvedeným, že graf 3.1 zobrazuje len odvetvia, kde súčet odvetví je tvorený odvetviami, kde priamy technologický koeficient bol vyšší ako 0.0001.



Zdroj: Vlastné spracovanie na báze SIOT 2013.

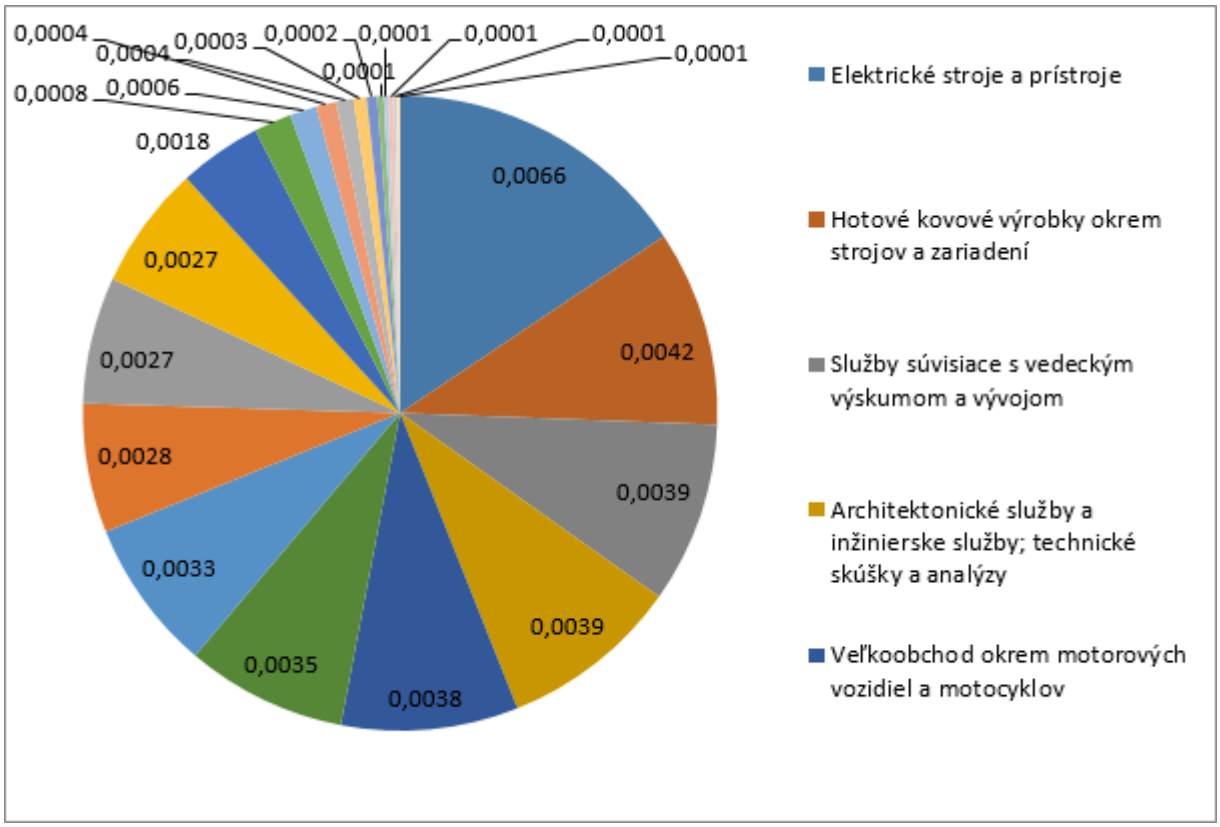
Obr. 19 Podiel najväčších dodávateľov komponentov pre odvetvie automobilového priemyslu podľa priamych technologických koeficientov za rok 2013

Aj v roku 2017 sa technológie výroby automobilov v SR prejavili najväčšími dodávkami komponentov v rámci samotného odvetvia automobilového priemyslu[4]. Na základe tzv. priamych technologických koeficientov náročnosti produkcie odvetví, ktorých dodávky komponentov pre automobilový priemysel predstavovali minimálne podiel na úrovne technologického koeficientu 0,0001 boli za rok 2017 identifikovaní najväčší dodávatelia komponentov automobilového priemyslu.

Za najväčšie štrukturálne zmeny možno považovať, že na popredných miestach dodávateľov komponentov pre automobilový priemysel sa v roku 2017[5] už figurujú iné odvetvia ako v roku 2013. Ide najmä o nasledujúce odvetvia, zoradené podľa najvyššieho vplyvu na dodávkach pre automobilový priemysel: Elektrické stroje a prístroje, Hotové kovové výrobky okrem strojov a zariadení, Služby súvisiace s vedeckým výskumom a vývojom, Architektonické služby a inžinierske služby; technické skúšky a analýzy, Veľkoobchod okrem

[4] Vrátane dovozov.
[5] Opäť len za súčet odvetví, kde koeficient priamej náročnosti produkcie dosiahol vyššiu hodnotu ako 0,0001.

motorových vozidiel a motocyklov, Ostatné nekovové minerálne výrobky, Výrobky z gumy a plastov, Textílie, Stroje a zariadenia, Základné kovy.

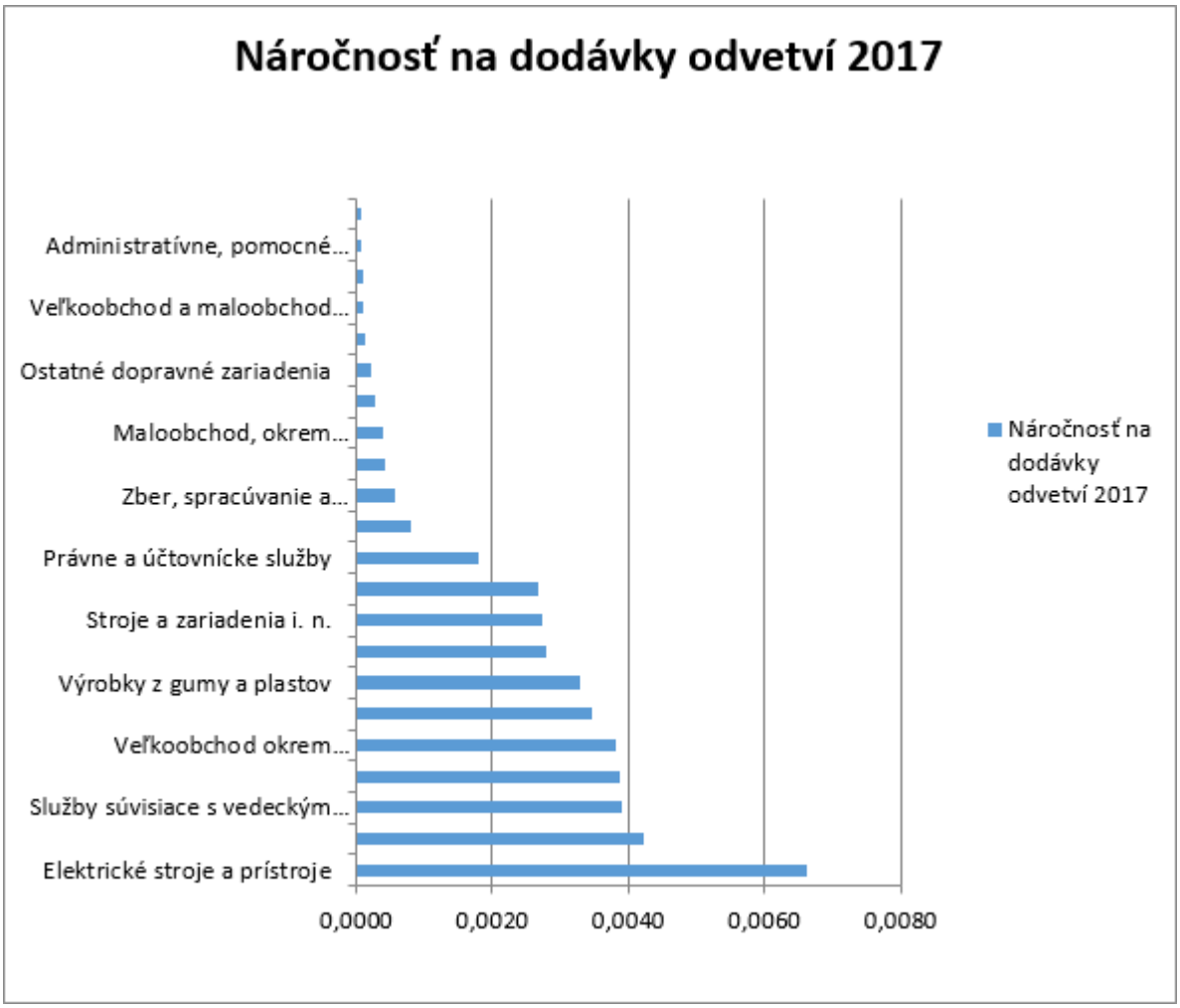


Zdroj: Vlastné spracovanie na báze SIOT 2017.

Obr. 20 Štruktúra najväčších dodávateľov komponentov v r. 2017 (s podielom nad hodnotu 0,0001 technologických koeficientov na produkcii odvetvia automobilového priemyslu)

Skutočné a konkrétne hodnoty náročnosti výroby na komponenty dodávateľských odvetví pre automobilky (koeficienty priamej technologickej náročnosti) za rok 2017 obsahuje nasledovný Obr. 21 a prehľadnejšiu ilustráciu štrukturálnych zmien, ktoré nastali v r. 2017 oproti r. 2013 v rámci dodávateľských reťazcoch automobilového priemyslu, obsahuje nasledujúca Tab. 12. Tvoria ju 3 skupiny odvetví, kde index zmien dodávok (podľa priamych technologických koeficientov):

a) prudko rástol, lebo skupinu tvoria odvetvia, ktorých význam bol v roku 2013 minimálny a preto majú najvyššiu dynamiku rastu,
b) rástol a tvoria ju odvetvia, ktoré dosiahli vyšší podiel na dodávkach (priamych technologických koeficientov) pre automobilový priemysel v roku 2017 oproti 2013,
c) klesol, teda tvoria ju odvetvia, ktoré dosiahli nižší podiel na dodávkach (priamych technologických koeficientov) pre automobilový priemysel v roku 2017 oproti 2013.



Zdroj: Vlastné spracovanie na báze SIOT 2017.

Obr. 21 Podiel najväčších dodávateľov komponentov pre odvetvie automobilového priemyslu podľa priamych technologických koeficientov za rok 2017

Tab. 12 Najväčšie zmeny v štruktúre dodávok 2017 oproti 2013

Názov dodávateľského odvetvia	Index technologických koeficientov 2017/2013
Ostatné nekovové minerálne výrobky	*
Textílie	*
Reklama a prieskum trhu	*
Vedenie firiem; poradenstvo v oblasti riadenia	1111,859
Oprava a inštalácie strojov a prístrojov	719,3961
Administratívne, pomocné kancelárske a iné obchodné pomocné služby	641,9088
Maloobchod, okrem motorových vozidiel a motocyklov	599,4892
Výrobky z gumy a plastov	562,4956
Architektonické služby a inžinierske služby; technické skúšky a analýzy	445,1487
Elektrické stroje a prístroje	383,7348
Základné kovy	244,6085

Počítače, elektronické a optické zariadenia	230,6064
Hotové kovové výrobky okrem strojov a zariadení	186,0268
Právne a účtovnícke služby	157,6949
Služby súvisiace s vedeckým výskumom a vývojom	133,4956
Zber, spracúvanie a likvidácia odpadov; recyklácia materiálov	130,6192
Skladové a vedľajšie činnosti v doprave	119,7842
Veľkoobchod okrem motorových vozidiel a motocyklov	118,9155
Motorové vozidlá	98,14129
Stroje a zariadenia	91,32729
Ostatné výrobky	82,8982
Papier a výrobky z papiera	82,00549
Ostatné dopravné zariadenia	80,0095
Služby v oblasti nehnuteľností	63,16131
Pozemná doprava a doprava potrubím	50,66825
Elektrická energia, plyn, para a studený vzduch	40,58593
Sprostredkovanie práce	4,022033

**Neporovnateľný udaj z hľadiska dynamiky. Zdroj: Vlastné spracovanie.*

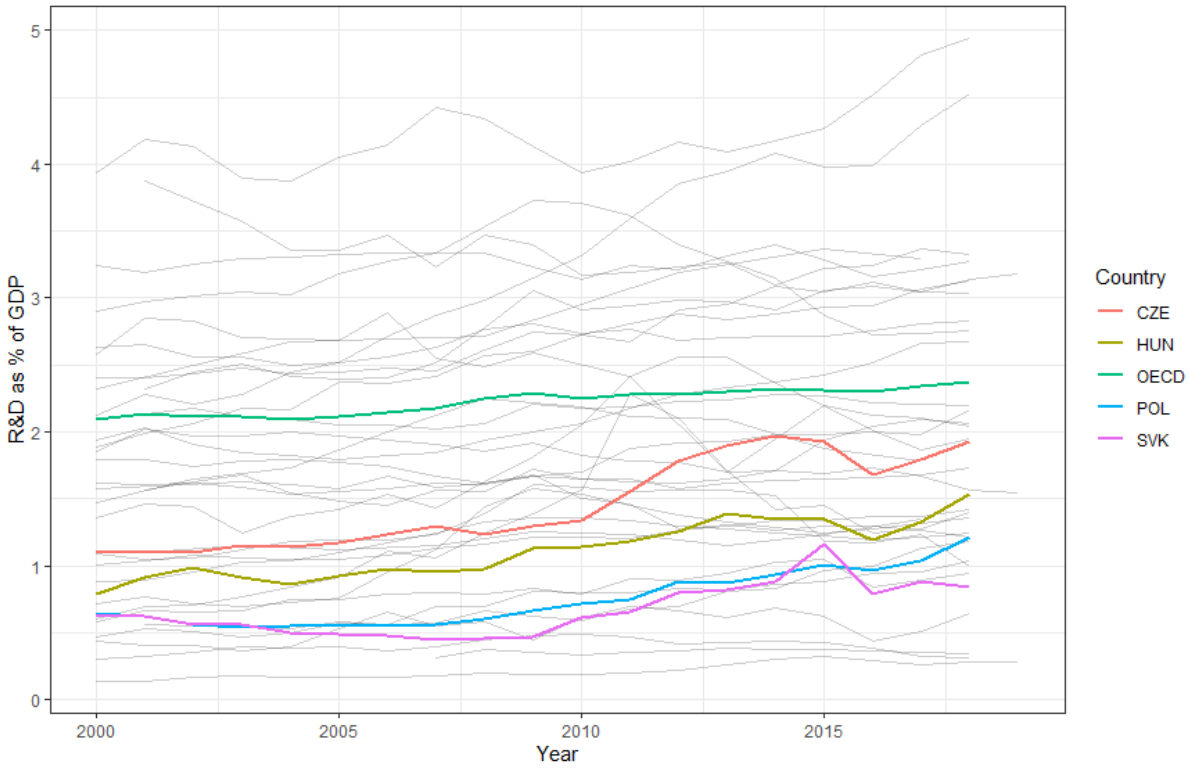
2.4 Potenciál prúdov odpadov z prevádzky a zo spracovania vozidiel po dobe životnosti

Schopnosť efektívne zhodnocovať materiálové zdroje, ale aj schopnosť ich opäť využívať ako vstupy v rámci celého cyklu odpadového hospodárstva budú pre najbližšie roky jednou zo strategických priorít pre vyspelé ekonomiky. Ale aj priestorom na inovácie, či rozvoja malých a stredných firiem.

Kým celková materiálna produktivita Slovenska podľa OECD [7] dosiahla v roku 2019 2,6 USD/kg, čo bolo najvyššie spomedzi krajín Vyšehradskej štvorky, zatiaľ čo materiálna produktivita Českej republiky predstavovala 2,3 USD/kg, 1,8 USD/kg v Maďarsku a 1,7 USD/kg v Poľsku. Materiálna produktivita Slovenska vo všeobecnosti rastie, rovnako ako v prípade ostatných krajín V4, s výnimkou Maďarska, ktorého materiálová produktivita od svojho vrcholu v roku 2012 klesá. Slovenská materiálová produktivita sa uzavrela, ale zostala pod úrovňou OECD (na 2,9 USD/kg) a pod úrovňou produktivity materiálu v Európe (3,1 USD/kg). Preto sa javí, že Slovensko je oproti svojim susedom na dobrej ceste.

Horšie vyznieva postavenie SR z pohľadu výdavkov na výskum a vývoj. To prirodzene ovplyvňuje aj relatívne nízku výkonnosť VaV Slovenska. A to nielen medzi krajinami OECD, ale aj v rámci Vyšehradskej štvorky. Výdavky na výskum a vývoj v percentách HDP predstavovali v roku 2018 v SR 0,8 %. Poľsko bolo podľa OECD v roku 2018 porovnateľne s 1,2 % a v Maďarsku takmer dvojnásobné s 1,5 % a v Českej republike 1,9 %. Tieto hodnoty sú však oveľa nižšie ako priemer OECD, na úrovni 2,4 % HDP a predstavujú iba zlomok najvýkonnejších krajín, ako napríklad Izrael s takmer 5 % HDP a Kórea so 4,5 % HDP.

Z hľadiska konkurencieschopnosti a udržateľného rastu vytvára táto situácia silný spoločenský dopyt pre zvyšovanie vládnych rozpočtov na výskum a vývoj v SR. Ale ja pre vytváranie potrebného politického prostredia na podporu investícií do výskumu a vývoja v súkromnom sektore, a to vrátane odpadového hospodárstva.



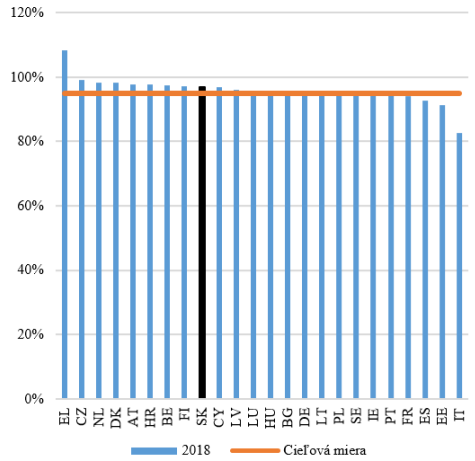
Zdroj: OECD

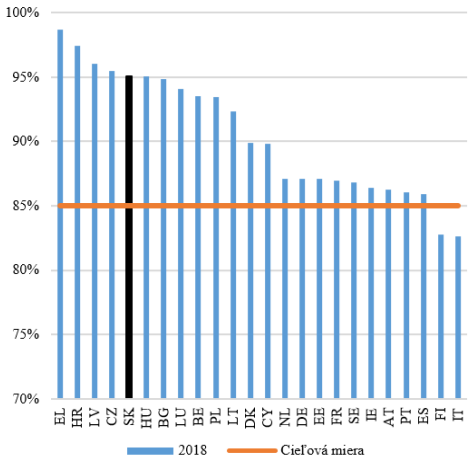
Obr. 22 Výdavky na vedu a výskum (R&D) ako % HDP (2000 - 2018)

Cieľom tejto časti štúdie tímu EUBA je nadviazanie na predchádzajúce zistenia a prognózy prúdov odpadov [8], ktoré vznikajú v SR z prevádzky a spracovania vozidiel po dobe životnosti (ELV). Výsledkom je odhad hodnoty jednotlivých odpadov a hodnotové vyčíslenie potenciálu pre ďalšie zhodnotenie prúdov odpadov.

2.4.1 Prevádzka a spracovanie vozidiel po dobe životnosti ako súčasť obehového hospodárstva

Prevádzka a spracovanie vozidiel po dobe životnosti predstavuje významný zdroj surovín a materiálov, ktorý má potenciál znižovať ťažbu najmä neobnoviteľných, limitujúcich surovín vo svete a v SR. Pri efektívnom, ekologickom spracovaní a pri dobre nastavenej legislatíve sú tieto „odpady“ jednou z možností, ako životný cyklus automobilov môže prispieť k udržateľnejšiemu rozvoju ekonomiky SR, založenom na podpore inovácie v rámci obehového hospodárstva. Aj Európska politika napr. Smernica Európskeho Parlamentu a Rady č. 2000/53/ES z 18. septembra 2000 (Smernica o vozidlách po dobe životnosti - ELV) stanovuje rámec harmonizácie národných politík v tejto oblasti. Cieľom je v súlade s architektúrou Jednotného trhu a environmentálnymi cieľmi znižovania spotreby energie a prechodu k obehovému hospodárstvu. Zároveň stanoviť ambiciózne záväzné ciele pre materiálové zhodnotenie odpadu a podporiť zvýšenie zhodnocovania materiálov v súlade s odpadovou hierarchiou.





Zdroj: Eurostat, 2020

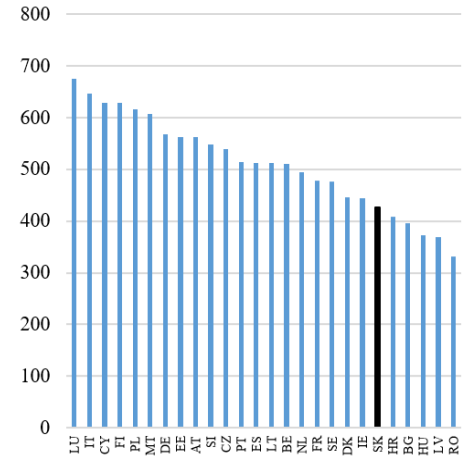
Obr. 23 Miera opätovného využitia ELV, 2018

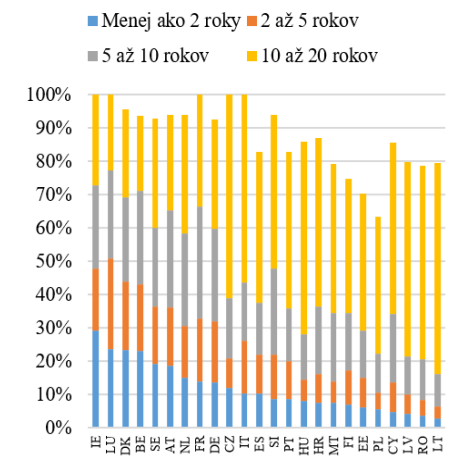
Obr. 24 Miera zhodnotenia ELV, 2018

V roku 2018 dosiahla cieľ pre mieru opätovného využitia ELV (opätovné využitie + zhodnotenie) stanovený od roku 2015 prevažná časť európskych krajín s výnimkou piatich, najmä z juhu Európy. Cieľovú mieru zhodnotenia (recyklácia + energetické zhodnotenie) dosiahli všetky krajiny, ku ktorým sú dostupné dáta, okrem Talianska a Fínska. Európa je výrazne motorizovaným svetadielom vďaka vysokej priemernej životnej úrovni, avšak z historických a kultúrnych dôvodov sa intenzívne využíva aj verejná doprava [9, 10].

Východná Európa má v priemere staršiu automobilovú flotilu, čo je spôsobené aj rozdielmi v disponibilných príjmoch na obyvateľa. Pomerne významný je obchod s jazdenými vozidlami, ktoré smerujú zo západoeurópskych krajín na východ [11]. Mnohé z krajín, ktoré zaznamenali medzi rokmi 2009 až 2018 najvyššie medziročné tempá rastu motorizácie, vykazujú zároveň vysoké podiely automobilov, ktoré sú v prevádzke viac ako 10 rokov. V strednodobom horizonte to môže vytvoriť nerovnomerný tlak na odpadové spracovateľské kapacity vo východoeurópskych štátoch.

Súčty v nasledovnom Obr. 26 netvoria spolu 100 %, keďže štatistika s takýmto rozdelením intervalov nie všetky automobily v národných flotilách zachytáva.





Zdroj: vlastné spracovanie podľa Eurostat, 2020

Obr. 25 Motorizácia európskych krajín na 1000 obyvateľov, 2018

Obr. 26 Podiely skupín automobilovej flotily podľa veku vozidla, 2018

Vysoký podiel kovových častí v automobiloch, ale aj niektorých druhov nebezpečných odpadov, vytvára podmienky pre vysoké miery materiálového zhodnotenia v súlade s environmentálnymi požiadavkami. Viaceré časti automobilov je možné opätovne využiť či repasovať [12]. Odstránené pneumatiky môžu byť zhodnocované pyrolýzou a opätovne využité ako surovina vo výrobnom procese [13]. Kovy sú vhodné na recykláciu vďaka ich trhovej hodnote [14] a vlastnostiam, kvôli ktorým obsah recyklovanej zložky neznižuje hodnotu recyklovaného výrobku [15]. Napriek tomu nie je miera ich recyklácie dostatočná [16] a v prípade vzácnejších prvkov z elektroniky je nerentabilná [17]. Recyklácia je uplatniteľná aj pri skle, kde je ale spojená s vysokou energetickou náročnosťou procesu [18].

Nebezpečné odpady ako napr. ropné deriváty je nevyhnutné zneškodniť čo najskôr [12] aby sa predišlo poškodeniu zdravia či životného prostredia. Prekážkou pre opätovné využitie či recykláciu aj v prípade automobilov sú nečistoty znehodnocujúce jednotlivé materiály. Konkrétne technologické postupy spracovania ELV sa môžu líšiť. Proces je vo všeobecnosti možné rozdeliť do niekoľkých fáz. V každej z týchto fáz existuje priestor pre inovácie, pre zvýšenie[6] účinnosti technológií, úspory energií, zníženie znečistenia a emisií.

Tab. 13 Orientačný priebeh procesu spracovania ELV

Fáza spracovania ELV	Komponenty, materiály a postupy
1. Rozoberanie	Oleje, kvapaliny, komponenty ako napr. motory, prevodovky, katalyzátory, batérie, pneumatiky, karoséria, sklá, svietidlá
2. Spracovanie rozobratých komponentov a materiálov	Nebezpečné odpady, kovové časti komponentov, opätovne využiteľné diely
3. Drvenie	Rozdrvenie komponentov, triedenie prúdom vzduchu a magnetizmom
4. Spracovanie rozdrvených častí	Kovová, nekovová a zmiešaná zložka, vyhradené prúdy odpadu
5. Energetické zhodnotenie a spracovanie zvyškov hmoty	Materiály určené na energetické zhodnotenie, spaľovanie a opätovné využitie v stavebnom priemysle
6. Spracovanie kovov	Opätovné využitie vo výrobnom procese, osobitné nakladanie s vzácnymi kovmi, resp. materiálmi s nízkym výskytom v ELV

Zdroj: Andersson et al., 2016

Všeobecný proces a hierarchiu odpadového hospodárstva ilustrujú ciele Smernice 2000/53/ES, ako aj s nadnárodnými a národnými cieľmi v oblasti obehového a odpadového hospodárstva:

[6] Ako vyplýva napr. z konzultácií a z dotazníka, získaných od zástupcu WIP Vrakovisko, s.r.o. p. Andrea Prokešová.



Obr. 27 Hierarchia odpadového hospodárstva

V súlade s prognostickými a ďalšími štúdiami [19] v kontexte európskej odpadovej legislatívy spracovali vývoj automobilovej flotily, počtu spracovaných vozidiel v kategórii do 3,5 tony a ich priemernej hmotnosti. Následne množstvá jednotlivých prúdov odpadov zo spracovania VŽP. Časť výsledkov je použitá vo výpočtoch potenciálnej hodnoty materiálov, ktoré majú vysoký kumulatívny podiel na množstvách odpadov.

2.4.2 Kovové materiály zo spracovania ELV v SR a ich hodnota

Ako vstup boli použité objemy kovových materiálov podľa vyššie uvedených štúdií. Hodnota je určená na základe vývoja výkupných cien na rozvinutom britskom trhu v porovnaní s európskymi a ázijskými trhmi (najmä Rusko a Turecko). Tieto výkupné ceny[7] sú sledované v mesačných intervaloch ako indikatívne hodnoty transakcií za výkup materiálov bez jeho spracovania.

Tab. 14 Predikované množstvo ocele (v tonách) a jeho potenciálna hodnota (v eurách)

Rok	2016	2017	2018	2019	2020
B2 Predikované množstvo ocele	18 251,13	18 817,92	19 363,79	19 888,54	20 391,99
B2 Hodnota množstva ocele	3 755 254,71	4 856 625,38	5 579 462,03	5 217 581,50	5 013 710,99

Zdroj: vlastné spracovanie podľa Ochotnický a kol., 2016, Engel, M. podľa dát z britského trhu 2020.

Pre odhad hodnoty sme vybrali kovy s najvýznamnejším zastúpením v neželeznej kovovej zložke. Hliník a jeho zliatiny tvoria približne 8 % zložky, mosadz 12 %, kým meď je zastúpená 5 % a olovo spolu s ostatnými kovmi tvorí zvyšných približne 5 %. Odhad hodnoty zmiešanej zložky sme vážili relatívnymi podielmi jednotlivých kovov s prislúchajúcimi cenami. Relatívne nižšia absolútna hodnota pri výrazne nižších množstvách neželeznej zložky je spôsobená vyššími cenami farebných kovov. Cena hliníka vykazuje v porovnaní medzinárodných dát mimoriadne vysokú variabilitu. Cena je mimoriadne závislá od konkrétnej podoby druhotného

[7] Cena indikuje, akú sumu je možné získať výlučne za predaj oceľového šrotu. Nezahŕňa teda náklady na jeho transport, recykláciu a ďalšie potenciálne spracovanie. Pre vyrovnanie variability sme využili jednoduchý ročný priemer hodnôt.

materiálu a horná hranica cenového intervalu môže byť až šesťnásobkom spodnej hranice (0,25 GBP až 1,50 GPB za kg na britskom trhu).

Tab. 15 Ročná priemerná indikatívna cena neželezných kovov (v eurách za tonu)

Rok	2016	2017	2018	2019	2020
Priemerná cena hliníka	825,26	964,66	1116,12	964,38	827,92
Priemerná cena olova	1142,45	1355,02	1436,34	1330,31	1171,95
Priemerná cena mosadze	2220,31	2689,20	3033,01	2716,23	2337,35
Priemerná cena medi	2857,59	2955,79	3053,52	3137,02	3186,53

Zdroj: Engel, M. 2020 podľa dát z európskych a ázijských trhov.

Tab. 16 Predikované množstvo neželezných kovov (v tonách) a ich potenciálna hodnota (v eurách)

Rok	2016	2017	2018	2019	2020
B2 Predikované množstvo neželezných kovov	836,55	862,52	887,54	911,60	934,67
B2 Hodnota množstva neželezných kovov	928 688,56	1 113 238,05	1 294 943,50	1 186 473,47	1 069 433,39

Zdroj: spracovanie podľa Ochotnický a kol., 2016, Engel, M. podľa uvedených trhov.

Batérie a akumulátory sú typickým vyhradeným prúdom odpadu, pre ktorý je zavedená rozšírená zodpovednosť výrobcov. Subjekt uvádzajúci na trh teda musí financovať aj spätný odber vyradených produktov a ich zhodnotenie. Priemerná výška poplatkov za tonu pre výrobcov je v porovnaní s inými prúdmi vysoká, zber je v mnohých krajinách podľa Eurostat 2020 pomerne málo účinný.

Tab. 17 Ročná priemerná indikatívna cena batérií (v eurách za tonu)

Rok	2016	2017	2018	2019	2020
Priemerná cena batérií	585,59	666,74	669,72	623,34	504,75

Zdroj: vlastné spracovanie podľa dát z britského trhu

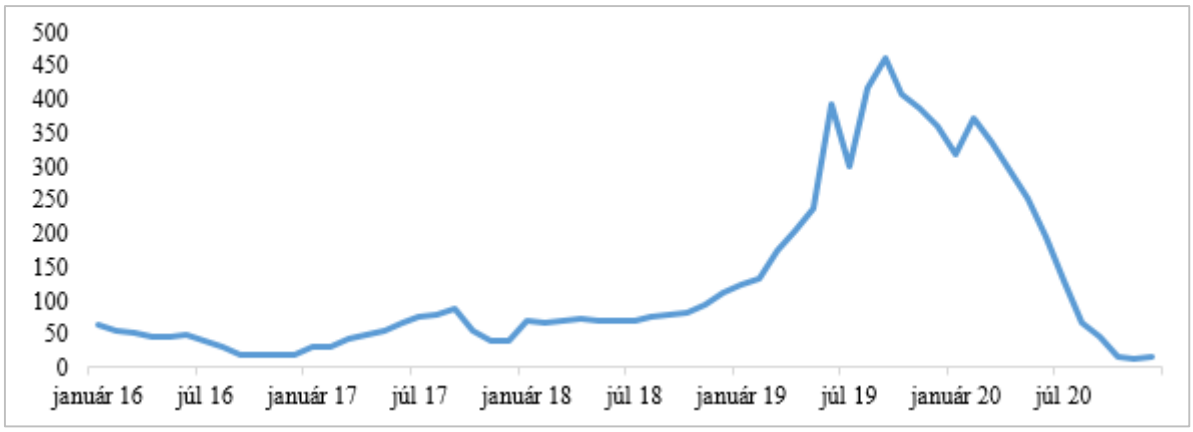
Tab. 18 Predikované množstvo batérií (v tonách) a ich potenciálna hodnota (v eurách)

Rok	2016	2017	2018	2019	2020
B1 Predikované množstvo batérií	145,34	151,98	158,22	164,08	169,58
B1 Hodnota množstva batérií	85 109,32	101 331,55	105 963,14	102 277,82	85 595,74

Zdroj: spracovanie podľa Ochotnický a kol., 2016, Engel, M. podľa uvedených trhov.

2.4.3 Ľahké recyklovateľné materiály zo spracovania ELV v SR a ich hodnota

Zdrojom variability cien pri plastoch je ich heterogénnosť aj geopolitické dopadu politiky Čínskej ľudovej republiky. Európske spracovateľské kapacity neboli pripravené na príjem plastového odpadu, ktorý sa v predošlom období vyvážal do Číny.



Zdroj: vlastné spracovanie Engel, M. podľa dát z britského trhu

Obr. 28 Vývoj indikatívnych cien skla (v eurách za tonu)

Typy polymérov v závislosti od ich reťazcov najčastejšie nadobúdajú formy:

- HDPE (polyetylén s vysokou hustotou),
- LDPE (polyetylén s nízkou hustotou),
- PET (polyetyléntereftalát),
- PP (polypropylén),
- PS (polystyrén),
- PU (polyuretán),
- PVC (polyvinylchlorid).

Vyššie podiely v automobiloch majú najmä PP, PU a PVC (European Recycling Industries' Confederation, 2020). Celkové náklady na recykláciu tony plastov v rozvinutých krajinách Európy dosahujú 300 - 600 eur.

Tab. 19 Ročná priemerná indikatívna cena plastov (v eurách za tonu)

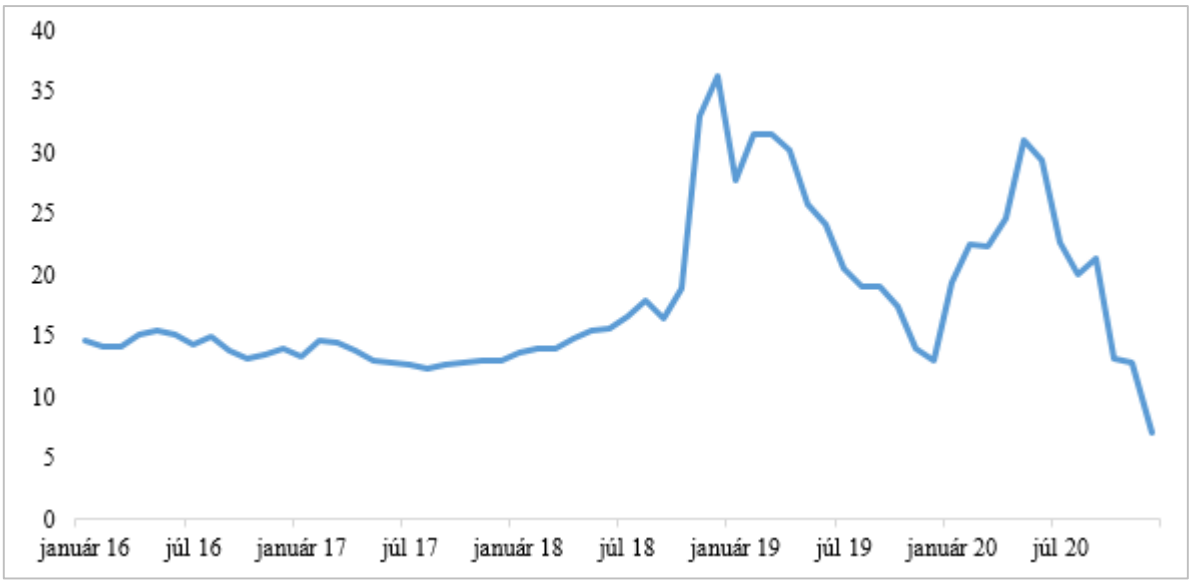
Rok	2016	2017	2018	2019	2020
Priemerná cena plastov	39,07	54,62	77,33	300,10	171,38

Zdroj: vlastné spracovanie podľa dát z európskych a ázijských trhov

Tab. 20 Predikované množstvo plastov (v tonách) a ich potenciálna hodnota (v eurách)

Rok	2016	2017	2018	2019	2020
B1 Predikované množstvo plastov	407,30	425,89	443,38	459,81	475,22
C1 Predikované množstvo plastov	122,64	127,72	132,60	137,28	141,76
B1 Hodnota množstva plastov	15 913,28	23 260,16	34 288,46	137 987,12	81 442,65
C1 Hodnota množstva plastov	4 791,57	6 975,48	10 254,52	41 197,17	24 294,66

Zdroj: vlastné spracovanie podľa Ochotnický a kol., 2016



Zdroj: vlastné spracovanie Engel, M. podľa dát z britského trhu

Obr. 29 Vývoj indikatívnych cien skla (v eurách za tonu)

Tab. 21 Ročná priemerná indikatívna cena skla (v eurách za tonu)

Rok	2016	2017	2018	2019	2020
Priemerná cena skla	14,35	13,23	18,89	22,82	20,56

Zdroj: vlastné spracovanie podľa dát z európskych a ázijských trhov

Tab. 22 Predikované množstvo skla (v tonách) a jeho potenciálna hodnota (v eurách)

Rok	2016	2017	2018	2019	2020
B1 Predikované množstvo skla	319,45	334,03	347,74	360,63	372,71
B1 Hodnota množstva skla	4 583,98	4 417,68	6 570,21	8 230,99	7 661,30

Zdroj: vlastné spracovanie podľa Ochotnický a kol., 2016 a Engel, M.

2.4.4 Oleje a mazivá z používania a zo spracovania ELV v SR a ich hodnota

Podobne ako v prípade batérií sú aj oleje vyhradeným prúdom odpadu v rámci systému rozšírenej zodpovednosti výrobcov. Určenie ich trhovej hodnoty ako druhotnej suroviny je komplikované, keďže služba bezplatného odberu olejov zabezpečovaná samosprávami je štandardnou službou. V niektorých krajinách si môžu odberné miesta účtovať jednotkové poplatky za prevzatie použitých olejov od spotrebiteľov. Keďže tento trh nie je taký dostupný ako v prípade ostatných druhov odpadov, cena bola odhadnutá na základe poplatkov úhrad za množstvá uvedené na trh, keďže schémy rozšírenej zodpovednosti vo viacerých prípadoch negenerujú dostatok zdrojov, ktorý by bol potrebný aj na spracovanie.

Tab. 23 Ročné množstvo kvapalín (v tonách) a ich potenciálna hodnota (v eurách)

Rok	2016	2017	2018	2019	2020
B1 Predikované množstvo kvapalín	94,54	98,86	102,92	106,73	110,31
C1 Predikované množstvo kvapalín	16,8	17,49	18,16	18,8	19,41
B1 Hodnota množstva kvapalín	18 324,97	19 545,58	20 755,25	21 954,06	23 144,26
C1 Hodnota množstva kvapalín	3 256,39	3 457,94	3 662,22	3 867,11	4 072,43

Zdroj: vlastné spracovanie Engel,M. podľa Ochotnický a kol., 2016

Záverečná tabuľka zobrazuje odhad ročného objemu množstva olejov, ktoré generuje používanie motorových vozidiel v SR a odhad ich hodnoty.

Tab. 24 Ročné množstvo olejov (v litroch) a ich potenciálna hodnota (v eurách)

Odhad životnosti	Dolný odhad životnosti	Priemerný odhad životnosti	Horný odhad životnosti
Motorový olej (l)	5 425 686	4 316 568	3 906 494
Predovodový olej (l)	502 507	410 210	335 005
Hustota motorového oleja (kg/l)		0,88	
Hustota prevodového oleja (kg/l)		0,84	
Hodnota motorového oleja (EUR)	838 231,96	666 880,69	603 527,02
Hodnota prevodového oleja (EUR)	74 105,13	60 494,02	49 403,47

Zdroj: spracovanie Engel, M. podľa Ochotnický a kol., 2016

2.5 Využitie kvadratického priraďovacieho problému pri rozmiestňovaní spracovateľov ELV a nadväzujúcich spracovateľov[8]

Druhotné spracovanie surovín z likvidovaných automobilov sa realizuje u rôznych špecializovaných spracovateľoch, čoraz viac však toto spracovanie komplikujú chýbajúce kapacity na ďalšie špecializované materiálové a surovinové spracovanie v SR. Ich vzdialenosť od zberných miest a intenzita prepravy spracovávaného materiálu (celkové prepravné náklady) ovplyvňuje efektívnosť spracovania druhotných surovín, ale sú aj zdrojom záťaží pre životné prostredie. Politika odpadového hospodárstva v krajinách Európskej únie je už viac ako tridsať rokov aplikovaná prostredníctvom akčných plánov jednotlivých krajín. Na tieto akčné plány nadväzujú aj aktivity v oblasti likvidácie starých automobilov a recyklácie ich súčiastok, či už „na výrobu obdobných súčiastok, alebo iných použiteľných výrobkov“.

[8] Príspevok bol spracovaný v rámci riešenia projektu „Stav a vízie zhodnocovania odpadov z automobilového priemyslu SR“, združenie UNIVNET.

Niektoré druhy odpadu možno síce z likvidovaných áut vyseparovať, ale vznikajú problémy z ich ďalším zhodnotením, pričom počet spracovateľov práve tohto typu odpadov da čoraz viac znižuje. Podľa rôznych zdrojov sa na Slovensku ročne likviduje približne 50 - 60 tisíc, resp. podľa Spektrum 60 - 90 tisíc starých automobilov (v rámci Európy predstavuje tento počet 15 až 16 miliónov automobilov). Na Slovensku však recykláciu však čoraz viac komplikujú chýbajúce kapacity na ďalšie špecializované materiálové a surovinové spracovanie [20].

Na Slovensku podľa Spektrum v súčasnosti v jednotlivých regiónoch pôsobí 46 autorizovaných spracovateľov starých vozidiel, ktorí majú zriadené zberné miesta, z ktorých privážajú staré automobily na ďalšie spracovanie. Druhotné spracovanie surovín z likvidovaných automobilov sa realizuje u rôznych špecializovaných spracovateľoch. Ich vzdialenosť od zberných miest a intenzita prepravy spracovávaného materiálu (celkové prepravné náklady) ovplyvňuje efektívnosť spracovania druhotných surovín.

Všeobecne by bolo možné konštatovať, že počet spracovateľov starých automobilov je relatívne veľký. Je však zrejmé, že nie každý autorizovaný spracovateľ dokáže spracovať každú komoditu, z ktorých sa automobil skladá, pretože sa skladá z kovov, plastov, tekutín, gumy, skla, textilu. Kovy môžu smerovať priamo do zberných surovín, ktoré sú k dispozícii v každom okresnom meste, resp. priamo do hutníckej prvovýroby, ale napríklad pre ďalšie spracovanie starého oleja sú potrebné veľké objemy a špeciálna chemická technológia (bežný spracovateľ nemá k dispozícii špeciálnu linku na starý olej), preto je potrebné vytvoriť systém, v ktorom pôsobí koncový spracovateľ realizujúci spracovanie takéhoto druhu odpadu. Takýchto koncových spracovateľov je však čoraz menej a celkovo chýba logistický systém, do ktorého by boli zapojení tak spracovatelia likvidovaných automobilov, ako aj spracovatelia druhotných surovín [20].

Podľa Spektrum pri spracovaní 50 000 likvidovaných automobilov ročne vzniká približne 60 000 ton rôzneho materiálu, čo predstavuje potrebu prepraviť približne 200 až 240 ton tohto materiálu pri použití 20 až 24 tonových nákladných vozidiel. Z tohto dôvodu je potrebné vytvoriť zodpovedajúci logistický systém, ktorý by minimalizoval náklady zodpovedajúce prepravným vzdialenostiam a intenzite prepravy medzi zodpovedajúcimi lokalitami, v ktorých pôsobia spracovatelia likvidovaných automobilov a spracovatelia druhotných surovín.

Práve táto optimalizácia prepravných nákladov pri určitej intenzite prepravy, ktorá je spojená s časovými, resp. vzdialenostnými ohodnoteniami medzi jednotlivými lokalitami viedli k idei použiť na riešenie tohto problému metodológiu a riešenie kvadratického priraďovacieho problému. Štúdia prezentuje možné riešenie kvadratického priraďovacieho problému ako potenciálneho nástroja na optimalizáciu siete spracovateľov druhotných surovín na báze existujúceho umiestnenia autovrakovísk prostredníctvom optimalizačného programového systému GAMS.

2.5.1 Kvadratický priraďovací problém

Všeobecne možno kvadratický priraďovací problém (*Quadratic Assignment Problem - QAP*) zaradiť do skupiny náročných optimalizačných kombinatorických úloh, ktorých cieľom je nájsť jednoznačné priradenie prvkov dvoch množín tak, aby bolo toto priradenie najlepšie

zo všetkých možných. Ako prví prezentovali zodpovedajúci model matematického programovania v roku 1957 [21] ako matematický model na umiestnenie nedeliteľných ekonomických aktivít.

V kvadratickom priraďovacom probléme sú definované dve množiny, napríklad množinu *n* lokalít (L_1, L_2, ... L_s, ..., L_n) a množinu *n* zariadení (Z_1, Z_2, ... Z_r, ..., Z_n), ktorých prvky treba vzájomne priradiť. Cieľom QAP je pritom identifikovať také priradenie všetkých *n* prvkov jednej množiny ku všetkým *n* prvkom druhej množiny s dosiahnutím optimálnej hodnoty zodpovedajúcej účelovej funkcie, pričom treba dodržať primárnu podmienku priraďovacieho problému, teda skutočnosť, že každému prvku jednej množiny je priradený práve jeden prvok druhej množiny [22].

Za týmto účelom je vhodné definovať binárne premenné x_{rs} tak, že ak platí $x_{rs} = 1$, prvok *r* je priradený prvku *s*, $x_{rs} = 0$, prvok *r* nie je priradený prvku *s*. Pretože obe množiny obsahujú *n* prvkov, ide o jednoznačné priradenie.

Podmienky, že *r*-tý prvok z množiny (Z_1, Z_2, ..., Z_n) je priradený práve jednému prvku z množiny (L_1, L_2, ..., L_n) a *s*-tému prvku množiny (L_1, L_2, ..., L_n) je priradený práve jeden prvok z množiny (Z_1, Z_2, ..., Z_n) zabezpečia sústavy rovníc $\sum_{s=1}^{n} x_{rs} = 1, \quad r = 1, 2, ..., n$, resp. $\sum_{r=1}^{n} x_{rs} = 1, \quad s = 1, 2, ..., n$.

Ako uvádza [23], v úlohách QAP sú identifikované dve matice, maticu **D** = {d_{ij}}, *i* = 1, 2, ..., *n*, *j* = 1, 2, ..., *n*) a maticu **C** = {c_{kl}}, *k* = 1, 2, ..., *n*, *l* = 1, 2, ..., *n*). Prvky d_{ij} vyjadrujú vzdialenosť (časové, vzdialenostné ...) medzi *i*-tym a *j*-tým prvkom množiny (L_1, L_2, ..., L_n). Prvky c_{kl} udávajú vzájomný intenzitu interakcií medzi prvkami množiny (Z_1, Z_2, ..., Z_n).

Vzdialenosť d_{ij}, ktorá reprezentuje fyzickú vzdialenosť realizovanej prepravy realizovanej medzi lokalitami (prvkami) *i* a *j* a hodnota c_{kl} intenzitu prepravy medzi lokalitami *k* a *l*. Účelovú funkciu reprezentujúcu prepravné náklady v závislosti od intenzity prepravy možno formulovať ako sumu vynaložených prepravných nákladov $\min f(\mathbf{X}) = \sum_{k=1}^{n}\sum_{l=1}^{n}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} c_{kl} d_{ij} x_{ki} x_{ij}$

Kvadratický priraďovací model ako úlohu matematického programovania potom možno formulovať ako:

$$\min f(\mathbf{X}) = \sum_{k=1}^{n}\sum_{l=1}^{n}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} c_{kl} d_{ij} x_{ki} x_{ij}$$

$$\sum_{s=1}^{n} x_{rs} = 1, \quad r = 1, 2, ..., n$$

$$\sum_{r=1}^{n} x_{rs} = 1, \quad s = 1, 2, ..., n$$

$$x_{rs} \in \{0, 1\} \quad r, s = 1, 2, ..., n.$$

2.5.2 Využitie kvadratického priraďovacieho problému pri rozmiestňovaní autovrakovísk a spracovateľov druhotných surovín

Uvažujme ďalej problém existujúcej siete *n* autorizovaných spracovateľov starých vozidiel, ktorí majú zriadené zberné miesta (v súčasnosti pôsobí v SR 46 autovrakovísk) – (L_1, L_2, ... L_s, ..., L_n). Treba vytvoriť sieť spracovateľov druhotných surovín, ktorí môžu pôsobiť v tých istých lokalitách ako sú umiestnené autovrakoviská, potom ich počet je *n*, zodpovedajúca množina je (Z_1, Z_2, ... Z_r, ..., Z_n). V prípade, ak by bolo možné umiestniť spracovateľ druhotných surovín aj do inej lokality ako je množina autovrakovísk, treba do modelu zaviesť fiktívne autovarkoviská, aby boli prvky oboch množín totožné.

Binárne premenné x_{rs} reprezentujú skutočnosť, či je na *s*-té autovrakovisko priradený *s*-tý spracovateľ druhotných surovín. Prvky matice **D** = {d_{ij}}, *i* = 1, 2, ..., *n*, *j* = 1, 2, ..., *n*) vyjadrujú vzdialenosť (časové, vzdialenostné ...) medzi *i*-tym autovrakoviskom a *j*-tou lokaliltou, v ktorej má pôsobiť *j*-ty spracovateľ druhotných surovín. Prvky matice **C** = {c_{kl}}, *k* = 1, 2, ..., *n*, *l* = 1, 2, ..., *n*) reprezentujú vzájomný intenzitu interakcií medzi autovrakoviskami a spracovateľmi druhotných surovín, teda množstvo napr. prepravných kontajnerov, resp. nákladných automobilov prepravovaných denne z *k*-teho autovrakoviska k *l*-tému spracovateľovi druhotných surovín.

Ako ilustračný príklad budeme ďalej uvažovať s existenciou 8 autovrakovísk v určitých lokalitách (*n* = 8) a s vybudovaním 8 špecializovaných liniek na spracovanie druhotných surovín (*n* = 8). Je pritom známy denný počet nákladných automobilov (intenzita prepravy), ktoré zabezpečujú prepravu z existujúcich autovarkovísk k potenciálnym spracovateľom druhotných surovín. Pre zjednodušenie budeme uvažovať, že pôsobenie spracovateľov druhotných surovín je možné len v lokalitách, v ktorých pôsobia autovrakoviská (ako sme už uviedli na začiatku tejto časti, úprava úlohy o umiestnenie aj v iných lokalitách je veľmi jednoduchá).

Známe sú pritom vzdialenosti medzi jednotlivými lokalitami dané maticou **D** = {d_{ij}}, *i* = 1, 2, ..., 8, *j* = 1, 2, ..., 8):

	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
L1	0	207,8	212,8	119,4	195,3	141,5	165,8	88,5
L2	207,8	0	390,7	88,4	403,1	126,5	47	199,9
L3	212,8	390,7	0	302,3	35	302,5	348,7	230,4
L4	119,4	88,4	302,3	0	314,7	84,7	46,4	140
L5	195,3	403,1	35	314,7	0	293	361,1	220,9
L6	141,5	126,5	302,5	84,7	293	0	78	73,4
L7	165,8	47	348,7	46,4	361,1	78	0	151,4
L8	88,5	199,9	230,4	140	220,9	73,4	151,4	0

Denný počet nákladných automobilov reprezentuje intenzita prepravy (predpokladané toky medzi autovrakoviskami a spracovateľmi druhotných surovín) a je daný maticou intenzity prepravy **C** = {c_{kl}}, k = 1, 2, ..., 8, l = 1, 2, ..., 8):

	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
Z1	0	10	0	0	0	0	0	0
Z2	0	0	0	0	0	0	0	9
Z3	0	0	0	0	7	0	0	0
Z4	0	0	0	0	0	0	0	0
Z5	0	0	0	0	0	0	4	0
Z6	7	0	0	5	0	0	0	0
Z7	0	0	8	0	0	0	0	0
Z8	0	0	0	0	0	5	0	0

Strategické rozhodovanie je postavené na rozhodnutí o umiestnení spracovateľov druhotných surovín do jednotlivých lokalít tak, aby celkové náklady vyplývajúce z rozmiestnenia spracovateľov druhotných surovín boli minimálne.

2.5.3 Riešenie kvadratického priraďovacieho problému pomocou GAMS

Jedným z možných softvérových nástrojov na vyriešenie úlohy kvadratického priraďovacieho problému je programový systém GAMS. Pri zápise úlohy budeme pre jednotlivé lokality zapisovať maticu vzdialeností v tvare **D** = {d_{ij}}, i = 0, 1, ..., 7, j = 0, 1, ..., 7) a takisto maticu intenzity prepravy **C** = {c_{kl}}, k = 0, 1, ..., 7, l = 0, 1, ..., 7).

Kód programu GAMS na riešenie uvažovaného ilustratívneho príkladu je nasledujúci:

```
Sets
i index uzla /0*7/
alias (i,j,k,l)
table c(k,l)
```

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	10	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	9
2	0	0	0	0	7	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	4	0
5	7	0	0	5	0	0	0	0
6	0	0	8	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	5	0	0

```
table d(i,j)
```

0	1	2	3	4	5	6	7
0 0	207,8	212,8	119,4	195,3	141,5	165,8	88,5
1 207,8	0	390,7	88,4	403,1	126,5	47	199,9
2 212,8	390,7	0	302,3	35	302,5	348,7	230,4
3 119,4	88,4	302,3	0	314,7	84,7	46,4	140
4 195,3	403,1	35	314,7	0	293	361,1	220,9
5 141,5	126,5	302,5	84,7	293	0	78	73,4
6 165,8	47	348,7	46,4	361,1	78	0	151,4
7 88,5	199,9	230,4	140	220,9	73,4	151,4	0

```
Binary Variable x(i,j);
Variables f;
Equations
ohr1(i)
ohr2(j)
ucel;
ucel.. f=e=sum((i,j,k,l),c(k,l)*d(i,j)*x(i,k)*x(j,l));
ohr1(i).. sum(j,x(i,j))=e=1;
ohr2(j).. sum(i,x(i,j))=e=1;
Model qap /all/;
Solve qap using miqcp minimizing f;
```

Riešenie: $x_{03}= x_{16}= x_{24}= x_{37}= x_{40}= x_{55}= x_{62}= x_{71}=1$, ostatné nadobúdajú nulové hodnoty, hodnota účelovej funkcie je 4977,7 jednotiek.

Z riešenia vyplýva, že do lokality 0 bude umiestnený tretí spracovateľ druhotných surovín, do lokality 1 šiesty spracovateľ druhotných surovín, do lokality 2 štvrtý spracovateľ druhotných surovín, do lokality 3 siedmy spracovateľ druhotných surovín, do lokality 4 nultý spracovateľ druhotných surovín, do lokality 5 piaty spracovateľ druhotných surovín, do lokality 6 druhý spracovateľ druhotných surovín a do lokality 7 prvý spracovateľ druhotných surovín.

2.6 Vzorové hodnotenie ekonomickej efektívnosti investície pre spracovanie vybranej odpadovej komodity z recyklácie automobilov

Predmetom príspevku je zhodnotenie efektívnosti investície do nových podnikateľských aktivít, ktoré súvisia so spracovaním odpadov z automobilového priemyslu. Uvažujeme ***založenie spoločnosti špecializovanej na spracovanie pneumatík na vykurovací olej.*** Hodnotiť budeme, za aký čas sa spoločnosti vráti investícia do obstarania pyrolíznej linky. Samotný investičný projekt predstavuje jedno z možných perspektívnych riešení nakladania s odpadovými materiálmi z automobilu. Súčasťou spracovanej časti sú aj vzorové výkazy, ktoré spracovali riešitelia v prostredí Excell.

2.6.1 Materiálové východiská

Základné suroviny, ktoré sa pri výrobe plášťov pneumatík používajú sú:

- elastoméry (kaučuky – syntetické alebo prírodné),
- prísady pridávané do kaučukovej zmesi,
- kordy zo syntetických alebo prírodných vlákien (bavlna, polyamid a i.),
- kordy z oceľových vlákien,
- oceľový drôt (pätné plátno).

Jednotlivé typy materiálov pochádzajúcich z automobilu je možné následne ďalej spracovať využitím rôznych metód. Existuje niekoľko možností na recykláciu pneumatík:

a. Mletie na drobky,
b. Obnova pneumatík,
c. Pyrolíza,
d. Úplné zničenie spálením.

Pri zvážení rôznych kritérií, či ekonomických, technologických alebo environmentálnych, uvažujme, že najlepším spôsobom v oblasti recyklácie a spracovania materiálov bude pyrolýza [25]. Pyrolýzu môžeme zaradiť medzi BAT technológie, pretože svojimi účinkami nepoškodzuje životné prostredie:

- v porovnaní s horením, emisie škodlivých látok do ovzdušia sú minimálne, navyše sa podrobujú ďalšiemu čisteniu,
- všetky produkty získané počas procesu sú ďalej využiteľné a nie je potrebné vynakladať ďalšie výdavky na zneškodnenie zvyškov,
- nízka spotreba energie - zariadenia zvyčajne spotrebúvajú jeden až niekoľko kilowattov elektrickej energie za hodinu,
- samotné zariadenie si poskytuje palivo pomocou vyrobeného plynu.

Vzhľadom na perspektívnosť tohto druhu podnikania sme si zvolili na hodnotenie ekonomickej efektívnosti práve obstaranie pyrolíznej linky.

Prostredníctvom pyrolýznej linky je možné získať po spracovaní jednotlivých druhov vstupných surovín rozličné výstupné produkty. K jednotlivým produktom získaných pyrolýzou patria:

- sadza,
- pyrolízny olej,
- oceľový kord,
- plyn.

Tieto produkty majú širokospektrálne využitie, napr. samotnú sadzu možno aplikovať ako tuhé palivo, sorbent, farbivo pri lakoch a farbách. Pyrolízny olej môže byť použitý v priemyselných peciach, generátoroch tepla, kotolniach. Okrem toho sa pyrolýzna kvapalina môže ďalej spracovať na získanie kvalitnejšieho vykurovacieho oleja, motorovej nafty alebo benzínu. Plyn získaný z pyrolýzneho procesu sa používa pri zabezpečovaní nepretržitého chodu pyrolýznej linky.

2.6.2 Technológia premeny pneumatík na kvapalné palivá

Celá technológia založená na pyrolýze sa vykonáva automaticky a proces je rozdelený do nasledujúcich etáp:

- Triedenie surovín dodávaných do dielne.
- „Rezanie“ pneumatík.
- Drvené suroviny sa v reaktore rozkladajú pod vplyvom vysokých teplôt.

Po všetkých technologických etapách sa na výstupe získava niekoľko spomínaných polotovarov - plyn, oceľový kord, kvapalné palivo.

Ako tiež bolo uvedené, každý produkt získaný v procese spracovania si nájde svoju vlastnú aplikáciu. Plyn sa znovu použije v nasledujúcich cykloch, čím sa šetria náklady na palivo. Oceľový kord a nafta sú odoslané na skladovanie s následnou expedíciou k zákazníkom.

Spracovanie pyrolýzou sa vykonáva pomocou špeciálnych liniek, ktorých štandardné vybavenie je nasledovné:

- nádoby na skladovanie surovín,
- pyrolýzna jednotka,
- dopravníky,
- separátory na čistenie oceľového kordu.

Najdrahším zariadením je zariadenie na pyrolýzu. Za ňu platí podnikateľ, ktorý ňou vybavuje dielňu na spracovanie pneumatík na pyrolízny olej.

2.6.3 Zhodnotenie ekonomickej efektívnosti investície

Pri ekonomickom hodnotení je potrebné rozlišovať jednotlivé typy nákladov podľa špecifických vstupov. K základným typom nákladov zaraďujeme **investičné náklady a prevádzkové náklady**. Medzi investičné náklady zaraďujeme kúpu strojných a manipulačných zariadení, infraštruktúru, stavebné objekty, kancelárske vybavenie a sociálne zariadenia.

Dôležité je vybrať si správnu lokalitu pre stavebné objekty v súlade s požiarnymi a sanitárnymi normami pri zabezpečení dodávky elektrickej energie, vody, tepla a kanalizácie.

Počítať treba pritom so skladom surovín, úsekom prípravy a spracovania surovín a skladom hotových výrobkov. Budeme uvažovať dva varianty:

a. Prenajatie haly, napríklad nejakého priemyselného skladu,
b. Vybudovanie úplne novej haly.

Na samotný výpočet toto variantné zvažovanie nemá vplyv, nakoľko pri prenajatí dielne len „odpadajú“ niektoré investičné náklady, t.j. všetko je možné riešiť v rámci jedného výpočtu. Čo sa týka potrebného vybavenia, potrebovať budeme zariadenie na drvenie pneumatík (hydraulické nožnice), reaktor a optimálne dve nádrže na výsledné produkty. Počítať treba aj s dodávkou a inštaláciou zariadení, ďalšími náradiami a materiálom a ďalšími súvisiacimi nákladmi.

Pri prevádzkových nákladoch boli do úvahy vzaté nasledovné parametre: energie, voda, režijné náklady a náklady na údržbu, odpisy, náklady na zberné miesta, poistenie, náklady na spotrebnú daň z pyrolýzneho oleja. Na údržbu zariadenia na horizontálnu pyrolízu (spracovanie odpadu z pneumatík) sú potrební 3 – 4 ľudia v čase nakládky (3 – 5 hodín, v závislosti od objemu) a pracovník počas prevádzky.

Predmetné typy nákladov boli vypočítané na obdobie jedného roka. Rovnako pracujeme s ročnou produkciou, ktorá predstavuje príjem pre spoločnosť.

Na hodnotenie ekonomickej efektívnosti obstarania pyrolíznej linky budeme aplikovať metódu doby návratnosti investície. Postup jej výpočtu vyjadruje nasledujúci vzťah:

$$N = \left(\frac{IN}{P - PN}\right)$$

Kde: *N* - doba návratnosti investície,
IN - investičné náklady,
P - dodatočné príjmy generované investíciou,
PN - prevádzkové náklady investície.

všetky hotovostné toky, ktoré nevstupujú do výpočtu výsledku hospodárenia. Postup výpočtu prevádzkového CASH FLOW za dané obdobie (spravidla 1 rok) je nasledovný:

EBIT (zisk pred zdanením a úrokmi)
+ odpisy, tvorba rezerv a opravných položiek
- rozpustenie rezerv a opravných položiek
- dodatočné výdavky investičného charakteru
- prírastok viazaného pracovného kapitálu[9] vyvolaného investíciou
= prevádzkový CASH FLOW

[9] Viazaný pracovný kapitál = stav zásob + stav pohľadávok z obchodného styku – stav záväzkov z obchodného styku.

Pri dobe návratnosti ako kritériu ekonomickej efektívnosti obstarania pyrolíznej linky, resp. investičných variantov vo všeobecnosti, je vhodné zvoliť investíciu (resp. investičný variant) s kratšou dobou návratnosti. Zvažovaná investícia nie je zmysluplná, ak je výsledkom výpočtu záporné číslo (t.j. v prípade ak je prevádzkový CASH FLOW negatívny), prípadne ak je vypočítaná doba návratnosti dlhšia ako očakávaná životnosť technológie (v tomto prípade pyrolíznej linky).

Uskutočníme dva prepočty:

a. Prepočet sa bude týkať zhodnotenia efektívnosti investície bez započítania výdavkov na dlhovú službu. Podnikateľovi tak ukáže, či sa samotná investícia oplatí a za aký čas sa „splatí“. V tomto prípade predpokladáme, že investíciu bude podnikateľ financovať vlastným kapitálom. Ak sa však podniku podarí získať dotáciu na tento projekt, potom sa mu navyšuje peňažný príjem z investície a jej výška vstupuje do výpočtu prevádzkového CASH FLOW (t.j. dotáciu berieme do úvahy už pri prepočte 1).
b. Do výpočtu zakomponujeme **výdavky na dlhovú službu**[10] a zistíme komerčnú životaschopnosť projektu, t.j. či podnikateľ bude schopný splatiť túto investíciu.

2.6.4 Podnikateľský plán

V prípade, ak sa podnik pri obstaraní investície do pyrolíznej linky uchádza o externé zdroje financovania (dotácie z verejných zdrojov, bankový úver), je vhodné a často aj nevyhnutné zvažovanú investíciu predstaviť financujúcemu subjektu spolu s podnikateľským plánom za podnik ako celok. Podnikateľský plán by mal v prehľadnej podobe prezentovať jasnú predstavu podnikateľa o tom, akým spôsobom chce vykonávať podnikateľskú činnosť. Je vhodné, aby boli prezentované čo možno najkonkrétnejšie informácie o produktoch spoločnosti, celkových nákladoch a ich štruktúre, existujúcich aj potenciálnych odberateľoch. Nevyhnutnou súčasťou podnikateľského plánu je finančný plán a v rámci toho aj plán cash flow. Kvalitné riadenie a plánovanie finančných tokov je pre úspešnú podnikateľskú činnosť prinajmenšom natoľko dôležité, ako samotný originálny podnikateľský zámer.

V ďalšom texte je prezentovaná odporúčaná štruktúra podnikateľského plánu. Nie je nutné, aby bol podnikateľský plán príliš formálny a rozsiahly – neexistuje žiadna jednotná predpísaná forma. Je však potrebné, aby boli prezentované konkrétne informácie.

A. Zhrnutie najdôležitejších faktov ("Executive summary")

Informácia o tom kto sme, čo chceme vyrábať a komu chceme predávať. V odvetví recyklácie odpadov je vhodné „marketingovo“ vyzdvihnúť aj environmentálne dopady, najmä ak sa uchádzame o externé financovanie (fondy EÚ, grantové schémy, a pod.).

[10] Výdavky na dlhovú službu je potrebné zvažovať zvlášť. Celkové finančné náklady investičného projektu závisia od spôsobu obstarania investície. Môže ísť o financovanie vlastným kapitálom (vtedy postačuje prepočet 1), bankovým úverom (vtedy je potrebné započítať aj splátku istiny a úrokov, poplatok za poskytnutie úveru, za vedenie úverového účtu), lízingom (do úvahy pripadá akontácia, pravidelná lízingová splátka), resp. iné formy financovania či ich kombinácia.

B. Identifikácia spoločnosti, eventuálne história spoločnosti a/alebo jej kľúčových manažérov.

Základné identifikač0né údaje (názov, právna forma, IČO, osoby konateľov a kľúčových manažérov). Ak ide o už existujúcu spoločnosť, je vhodné uviesť stručnú históriu (dátum vzniku, doterajší predmet činnosti), dosiahnuté výsledky a najdôležitejšie finančné ukazovatele za posledných 3-5 rokov (podľa možností), počet zamestnancov, a pod.

C. Identifikácia produktu spoločnosti

Konkrétne určenie produktov a ich potenciálneho využitia odberateľmi v automobilovom priemysle / iných odvetviach. Napr. recykláty z odpadov z vozidiel po dobe ich životnosti / v priebehu ich životnosti (odpady zo servisu vozidiel) / recykláty z odpadov masívnej výroby sektora automotive v SR.

D. Identifikácia trhu daného trhu, eventuálne v štruktúre podľa Portera (tzv. Päť trhových síl):

a. *intenzita konkurencie v SR a v blízkom okolí* – identifikácia významných konkurentov v rozumnej geografickej dostupnosti.
b. *identifikácia dodávateľov a ich trhovej sily* / štruktúra trhu potenciálnych dodávateľov a lokálny trh práce; uviesť eventuálne už dohodnuté kontrakty s dodávateľmi. Je tiež výhodné, ak má podnik možnosť voľby medzi viacerými dodávateľmi a nie je tak pod tlakom dominantného dodávateľa. Je tiež potrebné zabezpečiť plynulé dodávky nevyhnutných vstupov výroby.
c. *identifikácia potenciálnych odberateľov a ich trhovej sily / štruktúra trhu potenciálnych odberateľov v SR a v blízkom okolí.* Je vždy lepšie, ak už sú dohodnuté kontrakty s odberateľmi, prípadne aspoň uzatvorené rámcové dohody.
d. *hrozba substitúcie* – môže byť môj produkt z hľadiska potrieb odberateľov ľahko nahradený iným produktom? (napr. v prípade recyklátov výrobkami zo základných komodít v prípade ich cenového poklesu, alebo iným typom recyklátu).
e. *hrozba vstupu nových konkurentov na trh / bariéry vstupu nových konkurentov na trh* a v nadväznosti na to identifikácia kľúčových konkurenčných výhod predmetného podnikateľského subjektu. Nakoľko je náročné začať podnikateľskú činnosť v danom odvetví z hľadiska „know-how“ a investičných potrieb? Zodpovedanie tejto otázky je nevyhnutné jednak z hľadiska identifikácie vlastných potrieb pred začatím podnikania v danej oblasti, ale tiež z hľadiska posúdenia možností vstupu nových konkurentov na trh. Súčasťou je aj identifikácia vlastnej konkurenčnej výhody v porovnaní s existujúcimi / potenciálnymi konkurentmi.

E. Stratégia a plán jej implementácie.

Identifikácia hlavných cieľov z hľadiska marketingu a finančnej výkonnosti (napr. trhový podiel, objem tržieb. Ciele by mali byť merateľné so stanoveným časovým horizontom ich dosiahnutia.

F. Manažérsky tím / kľúčoví manažéri.
Niekoľkými vetami zhrnutie doterajších skúseností a úspechov kľúčových pracovníkov (max. 3-5, v prípade SZČO postačuje osoba podnikateľa).

G. Finančný plán v obvyklej štruktúre: súvaha, výkaz ziskov a strát, plán cash flow.
Osnova finančného plánu uvedená v priložených xls súboroch. Je vhodné mať finančný plán zostavený prinajmenšom na obdobie 3 rokov aby bolo zrejmé, že máme predstavu akým smerom sa bude spoločnosť z finančného hľadiska uberať. Odporúča sa dôsledná cenová kalkulácia jednotlivých nákladových položiek a následne stanovenie predajných cien, ktoré musia byť realizovateľné na trhu. Z nákladovej a cenovej kalkulácie vyplýva aj minimálny objem produkcie, ktorý zabezpečí pokrytie nielen variabilných, ale aj fixných nákladov, t.j. v konečnom dôsledku zisk z podnikateľskej činnosti.

Prílohou k finančnému plánu môže byť aj investičný plán a plán využitia externých zdrojov financovania (bankový úver, grantové schémy, fondy EÚ, a i.).

2.7 Záver

V súlade s cieľmi UNIVNET výskumný tím EUBA v rámci etapy v roku 2020 spracoval:

- *aktualizáciu štrukturálnych dopadov automobilového priemyslu na ekonomiku SR a porovnanie zmien v dodávateľských reťazcoch , ktorá opäť potvrdila význam toho odvetvia pre tvorbu priadnej hodnoty a ďalšie indikátory výkonnosti ekonomiky SR,*
- *odhad hodnoty vybraných druhov surovín a materiálov, ktoré vznikajú v SR pri spracovaní vozidiel po dobe životnosti sčasti aj počas používania automobilov, ktorých hodnota sa v dôsledku objemov nejaví oproti očakávaniam až takým významným zdrojom úspory materiálových či energetických vstupov v SR,*
- *zostavenie modelu logistiky rozmiestnenia spracovateľov (prvotných a nadväzujúcich reťazcov), ktorý vie simulovať a minimalizovať záťaže životného prostredia v procese spracovania materiálov a surovín z vozidiel po dobe životnosti, ktorý by v ďalšej etape umožnil odhadnúť možnosti redukcie emisií pri lepšej organizácii spracovateľských uzlov,*
- *zostavenie príkladu vzorového podnikateľského plánu a návratnosti investície pre podnikateľa pôsobiaceho alebo začínajúceho podnikať v rámci obehového hospodárstva a LCA.*

Poďakovanie

Táto práca vznikla v rámci projektu združenia univerzít, UNIVNET č. zmluvy 0201/0082/19 a jeho finančnej podpory.

2.8 Zoznam použitej literatúry

[1]. Technical support for the preparation of circular economy roadmap for the Slovak Republic. Draft Background Report OECD November 2020.

[2]. The Life Cycle Approach at Volkswagen_ATR_Jan'13.indd 44, 2015.

[3]. SONNEMANN, M. MARGNI (eds.), Life Cycle Management, LCA Compendium – The Complete World of Life Cycle Assessment, DOI 10.1007/978-94-017-7221-1_23, 2015,

[4]. F. BROCH, J. WARSEN, S. KRINKE: Implementing Life Cycle Engineering in Automotive Development as a Helpful Management Tool to Support Design Volkswagen AG, Environmental Affairs Product, Letter box 011/1774, 38436 Wolfsburg, Germany, In. Sonnemann, M. Margni (eds.), Life Cycle Management, LCA Compendium – The Complete World of Life Cycle Assessment, DOI 10.1007/978-94-017-7221-1_23

[5]. STRACOVÁ, E. 2018. Ostane budúcnosť Slovenska v rukách priemyslu? In Monitor hospodárskej politiky. Bratislava: Ekonomická univerzita v Bratislave, č. 1, s. 10-13.

[6]. FRANK, K. – MORVAY, K. a kol. 2020. Hospodársky vývoj Slovenska v roku 2019. Ekonomický ústav SAV: Bratislava. 2020. 126 s. ISBN 978–80–7144–312–4.

[7]. NORBERT MONTI, OECD, Reviewed by Katarina Svatikova, Peter Börkey and Shardul Agrawala: Technical support for the preparation of circular economy roadmap for the Slovak Republic. Draft Background Report (November 2020) OECD.

[8]. OCHOTNICKÝ a kol. 2016 in: Súhrnná správa tímu Ekonomickej univerzity v Bratislave vo výskumnej platforme, Bratislava jún 2017 projektu „ INTEGROVANÁ VÝSKUMNÁ PLATFORMA ZHODNOCOVANIA JEDNOTLIVÝCH PRÚDOV ODPADOV NAJMÄ Z AUTOMOBILOVÉHO PRIEMYSLU“

[9]. BERRI, A. (2009). A Cross-country Comparison of Household, Car Ownership: A Cohort Analysis. IATSS Research, 21-38.

[10]. VERBAVATZ, V., & BARTHELEMY, M. (2020). Access to Mass Rapid Transit in OECD Urban Areas. Scientific Data.

[11]. MEHLHART, G., MERZ, C., AKKERMANS, L., & JORDAL-JORGENSEN, J. (2011). European Second-hand Car Market Analysis. Darmstadt: Oeko-Institut.

[12]. PETRONIJEVIĆ, V., DORDEVIĆ, A., STEFANOVIĆ, M., ARSOVSKI, S., KRIVOKAPIĆ, Z., & MIŠIĆ, M. (2020). Energy Recovery through End-of-Life Vehicles Recycling in Developing Countries. Sustainability, 1-26.

[13]. ANTONIOU, N., & ZABANIAOTOU, A. (2013). Features of an Efficient and Environmentally Attractive Used Tyres Pyrolysis with Energy and Material Recovery. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 539-558.

[14]. SOEDERHOLM, P., & EKVALL, T. (2019). Metal Markets and Recycling Policies: Impacts and Challenges. Mineral Economics, 257-272.

[15]. BROADBENT, C. (2016). Steel's Recyclability: Demonstrating the Benefits of Recycling Steel to Achieve a Circular Economy. The International Journal of Life Cycle Assessment, 1658-1665.

[16]. REUTER, A. M. (2012). Challenges of Metal Recycling.

[17]. ANDERSSON, M., SOEDERMAN, L. M., & SANDÉN, A. B. (2017). Are Scarce Metals in Cars Functionally Recycled? Waste Management, 407-416.

[18]. LANDI, D., GERMANI, M., & MARCONI, M. (2019). Analyzing the Environmental Sustainability of Glass Bottles Reuse in an Italian Wine Consortium. Procedia CIRP (s. 399-404). West Lafayette: CIRP.

[19]. OCHOTNICKÝ, P, KÁČER, M. AND ALEXY, M (2018) Sustainability of the ELV processing system in the Slovak Republic and forecasting of waste streams from the operation of passenger motor vehicles. Waste Forum (5). pp. 452-467. ISSN 1804-0195.

[20]. PREPIAK, P. (2020). Kapacity na spracovanie materiálov zo starých vozidiel postupne vypadávajú. Retrieved 16.06. 2020, from https://www.odpady-portal.sk/Dokument/105392/pavol-prepiak-kapacity-na-spracovanie-materialov-zo-starych-vozidiel-postupne-vypadavaju.aspx

[21]. KOOPMANS, T.C. & BECKMANN, M.J. (1957). Assignment Problems and the Location of Economic Actities. Econometrica, 25, 53–76.

[22]. BREZINA, I., & PEKÁR, J. (2018). Úvod do operačného výskumu I. Bratislava: Letra Edu.

[23]. PELIKÁN, J. (2001). Diskrétní modely v operačním výzkumu. Praha: Professional Publishing.

[24]. ŠOOŠ, Ľ. (ed.) (2020). *Stav a vízie zhodnocovania odpadov z automobilového priemyslu SR*. Bratislava: Spektrum STU.

[25]. JÁMBOROVÁ, M. - LUMNITZER, E.: Konštrukčné riešenie spracovania vybraných druhov odpadových komodít z recyklácie automobilov. In: Globálne existenciálne riziká 2016. - Žilina : STRIX, 2016 str. 81-87. ISBN 978-80-89753-10-9.

MINISTERSTVO ŠKOLSTVA, VEDY, VÝSKUMU A ŠPORTU SLOVENSKEJ REPUBLIKY

univnet

STU SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE

SmartOdpady II.
Integrovaná informačná a inovačná platforma recyklačných technológií

STU SjF SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE STROJNÍCKA FAKULTA



Riešiteľský kolektív
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Strojnícka fakulta STU

Hlavný riešiteľ:
prof. Ing. Ľubomír Šooš, PhD.

Riešitelia:
prof. Ing. Marcela Pokusová, CSc.
doc. Ing. Miloš Matúš, PhD.
doc. Ing. Juraj Beniak, PhD.
Ing. Iveta Onderová, PhD.
Ing. Jozef Babics

3 SMARTODPADY II. - INTEGROVANÁ INFORMAČNÁ A INOVAČNÁ PLATFORMA RECYKLAČNÝCH TECHNOLÓGIÍ

3.1 Automobilový priemysel a odpadové hospodárstvo – symbióza sa začala?

Vývoj materiálovej štruktúry súčasných automobilov reflektuje stratégiu EÚ vyrábať energeticky úsporné vozidlá vrátane zavádzania prelomových technológií vo vozidlách s mimoriadne nízkymi emisiami uhlíka. Požiadavky kladené na súčasné vozidlá vedú k tomu, že sa v ich konštrukcii uplatňujú komplexné funkčné materiály, ktoré sú v mnohých prípadoch problematicky recyklovateľné. Výrazný rast podielu elektroniky a nástup sériovej výroby elektrických vozidiel zo sebou prináša nové výzvy aj v oblasti recyklácie. Surovinová politika EÚ jednoznačne určuje trend zvyšovania podielu druhotných surovín s dôrazom na zvyšovanie úrovne recyklácie surovín minerálneho pôvodu a efektívneho materiálového či energetického zhodnotenia organických odpadov [1].

Slovenská ekonomika stále spotrebúva viac zdrojov ako je jej prírodná kapacita, a preto je jej ekologická stopa negatívna. Máme však významný potenciál na zlepšenie využívania existujúcich zdrojov, ktorý sa ukrýva v nakladaní s odpadmi, preto je potrebné sústrediť pozornosť na podporu výskumu a vývoja moderných recyklačných technológií nielen v oblasti komunálneho odpadu, ale aj priemyselného odpadu, ako aj na výstavbu recyklačných kapacít pre tie komodity, kde recyklačné kapacity chýbajú alebo sú nedostatočné [1].

Funkcionality integrovanej platformy „SmartOdpady“ majú umožniť identifikovať súčasné i budúce kritické oblasti a úzke miesta v technológiách spracovania odpadov, ktoré budú východiskom pre definovanie výskumných, vývojových a inovačných projektov. Aktívne využívanie funkcionalít zainteresovanými stranami podporí:

a) vývoj a inovácie v oblasti environmentálne priaznivých technológií zhodnocovania odpadov,
b) efektívny prenos výsledkov výskumu a inovácií do praxe,
c) podporu využívania recyklátov pri výrobe eko-inovatívnych produktov,
d) získavanie kritických strategických surovín spracovaním odpadov.

3.2 SR a materiálové toky v kontexte obehového hospodárstva

Materiálové toky v obehom hospodárstve je možné hodnotiť pomocou dvoch nástrojov, Sankey diagramu materiálových tokov a mierou cirkularity, ktorá vyjadruje mieru využitia tzv. obehových materiálov. Zmyslom obehového hospodárstva je udržať hodnotu výrobkov, materiálov a zdrojov čo najdlhšie, cez ich opakované vrátenie do výrobného procesu po tom ako dosiahli koniec svojho životného cyklu, a zároveň minimalizovať tvorbu odpadu. Z životného prostredia sa na výrobu výrobkov alebo energie získavajú materiály ako biomasa, kovy, minerály a fosílne palivá. Po skončení ich životného cyklu môžu byť výrobky recyklované, spaľované alebo zneškodnené ako zvyškový odpad na skládkach. Tieto materiálne toky sú podstatnou súčasťou obehového hospodárstva, aj keď nie jedinou. Čím menej výrobkov

sa zneškodní a čím viac je ich recyklovaných, tým menej materiálov sa vyťaží, čo prospieva životnému prostrediu.

Sankey diagram materiálových tokov predstavuje toky:

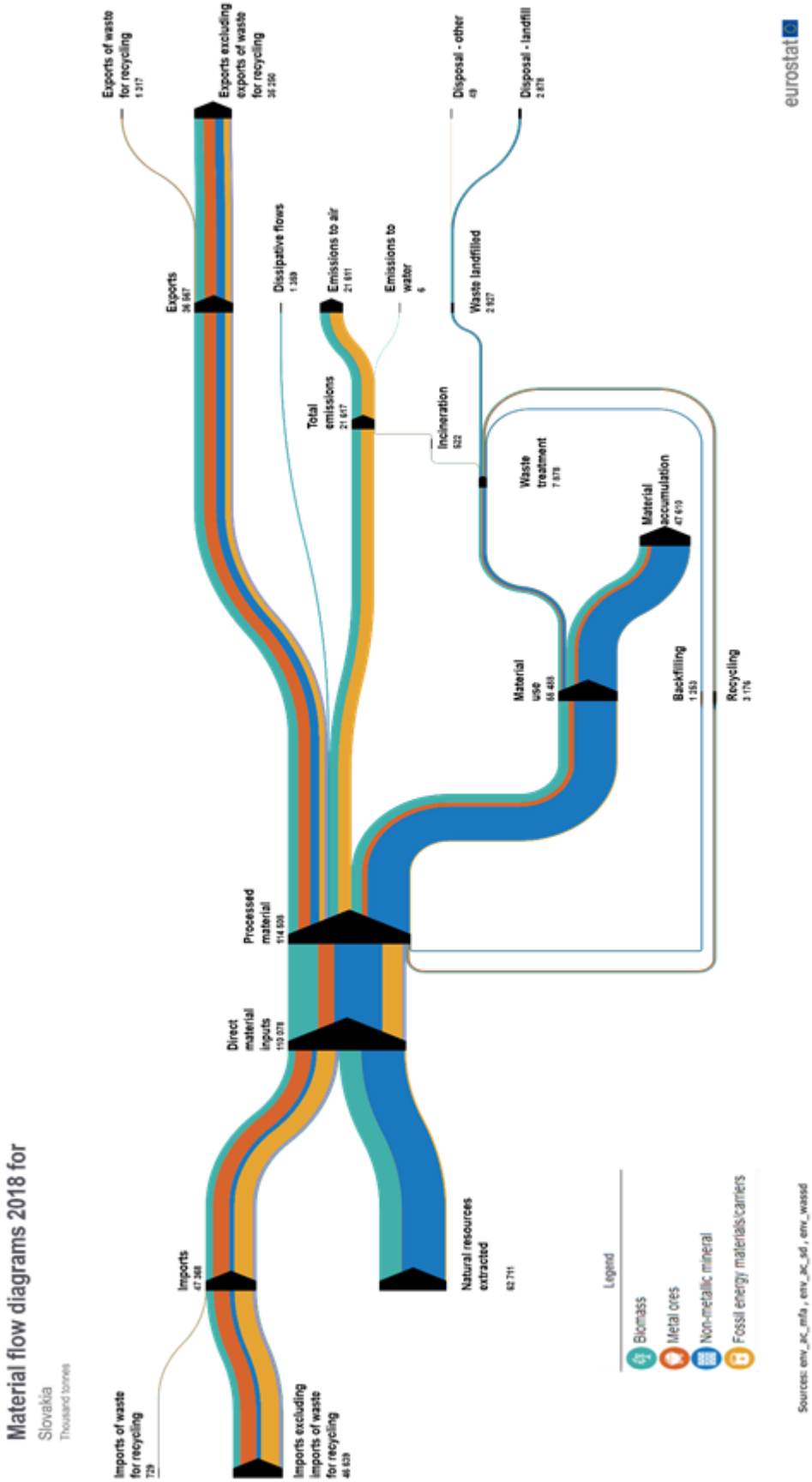
1. materiálov vyťažených na výrobu výrobkov alebo použitých ako zdroj energie,
2. produktov prúdiacich do a zo spoločnosti,
3. materiálov a výrobkov vyhodených do životného prostredia ako zvyšky, napr. skládkovaný odpad, emisie do ovzdušia alebo odpad zhodnotený a vrátený späť do hospodárstva, pričom táto ostatná časť uzatvára slučku v obehovom hospodárstve.

Materiálové toky v Sankey diagrame reprezentujú množstvá vyťaženého, dovezeného, recyklovaného alebo zneškodneného materiálu ako aj súvisiace emisie. Šírka ich pásma je úmerná množstvu prietoku vyjadrenému v tonách, pričom sa sledujú štyri kategórie materiálov, a to:

- biomasa - využívaná v podobe potravín a krmív, textil (vlna, bavlna atď.), drevo atď.,
- kovy,
- nekovové minerály,
- fosílne nosiče energie,
- fosílne nosiče energie a biomasa (drevo) produkujúce emisie do ovzdušia v procese horenia sú znázornené na pravej strane diagramu, Obr. 30.

Sankey diagram pozostáva zo série uzlov, ktoré predstavujú udalosti alebo procesy v životnom cykle materiálových vstupov a sú prepojené materiálovými tokmi. Uzavretá slučka, v dolnej časti diagramu, predstavuje odpad, ktorý sa opätovne využíva v hospodárstve buď na výrobu druhotných surovín alebo na iné účely, čím sa obmedzuje ďalšia ťažba prírodných zdrojov. Je to teda odpad, ktorý sa začlenil do obehového hospodárstva. Energetické zhodnocovanie odpadu nie je súčasťou slučky obehového hospodárstva, ale má svoj vlastný tok s možnou produkciou emisií do ovzdušia. Diagram zachytáva aj dovoz a export v rámci tokov materiálov, výrobkov a odpadu medzi rôznymi ekonomikami. Dovoz (import) ako tok produktov zo zvyšku svetovej ekonomiky do domácej ekonomiky zahŕňa aj odpad odoslaný na spracovanie (napr. premenený na druhotnú surovinu) v prijímajúcej krajine.

Množstvo hmotných zdrojov vyťažených z prírodného prostredia domovskými výrobnými jednotkami reprezentuje uzol prírodné zdroje (Natural resources extracted) a zodpovedá ukazovateľu tzv. domácej ťažby. Uzol vstup priameho materiálu (Direct material input) vyjadruje vstup materiálov, ktoré sú priamo dodávané do ekonomiky. Je to suma domácej ťažby a dovozov a zahŕňa všetky materiály s ekonomickou hodnotou, ktoré sú dostupné na použitie vo výrobe a spotrebe.



Obr. 30 Sankey diagram materiálového toku v ekonomike SR v roku 2018 (v tis. ton)

Obr. 30 dokumentuje, že 54,8 % (62,711 Mt) surovín celkovo spracovaných v SR (114,508 Mt) pochádza z domácej ťažby, 41,4 % z dovozu (47,368 Mt) a 3,8 % z recyklácie a použitia odpadu na povrchovú úpravu terénu (4,439 Mt). Z objemu spracovaných surovín sa 48,45 % použilo na výrobu výrobkov (55,488 Mt). Zvyšná časť spracovaných materiálových vstupov v objeme 54,581 Mt bola buď exportovaná 31,9 % (36,567 Mt) alebo použitá na výrobu energie.

Stredná časť Sankey diagramu (Obr. 30) zobrazuje spracované materiály, ktoré sú definované ako celková suma vstupov priameho materiálu a vstupov sekundárnych materiálov, t.j. materiálov z recyklácie a určených na povrchovú úpravu terénu. Spracované materiály je možné vyvážať alebo použiť na domácom trhu tzv. domáca spotreba materiálu.

Na Obr. 30 sa podiel slučky na uzle spracovaný materiál (Processed material) používa ako indikátor na hodnotenie miery obehovosti ekonomiky, ktorý zodpovedá materiálom zhodnoteným z odpadu zrecyklovaného a použitého na povrchovú úpravu terénu na celkovom objeme uzla spracovaných materiálov. V roku 2018 predstavovala čistá akumulácia materiálu do aktív s dlhou životnosťou (budovy a infraštruktúra) 47,610 Mt. Pokiaľ by dopyt po surovinách pre dlhodobé aktíva prekročil množstvo materiálov, ktoré je možné dodať z recyklovaných materiálov, potom by bola naďalej nevyhnutná aj primárna ťažba.

Na pravej strane Sankey diagramu sú zobrazené výstupy z ekonomiky, a to vývoz výrobkov, emisie do ovzdušia a emisie do vody (toky pevných, kvapalných a plynných materiálov, ktoré sa vypúšťajú do vodných tokov alebo emitujú do atmosféry), a disipatívne toky materiálov, ktoré sú rozptýlené do životného prostredia ako nevyhnutný dôsledok použitia produktu, napr. minerálne hnojivá, abrazívne opotrebovanie pneumatík a pod..

Z uzla „spracovanie odpadu“ možno sledovať niekoľko výstupov:

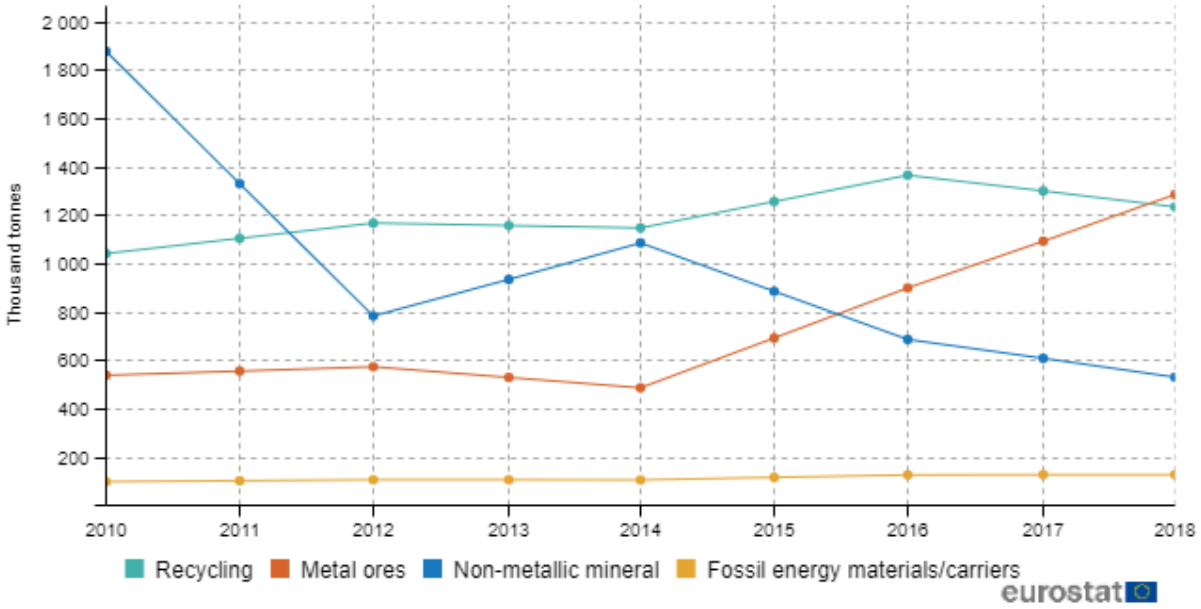
- energetické zhodnocovanie odpadu, kedy však dochádza k uvoľňovaniu emisií do ovzdušia,
- zneškodňovanie odpadu skládkovaním,
- zhodnocovanie odpadu - recyklácia a použitie na povrchovú úpravu terénu.

V Sankey diagrame (Obr. 30) spracovanom podľa metodiky Eurostatu sa za uzavretie cyklu obehového hospodárstva považujú iba toky recyklácie a použitia odpadu na povrchovú úpravu terénu. V roku 2018 tvorili tieto dva toky asi 3,8 % celkových materiálových vstupov do hospodárstva SR.

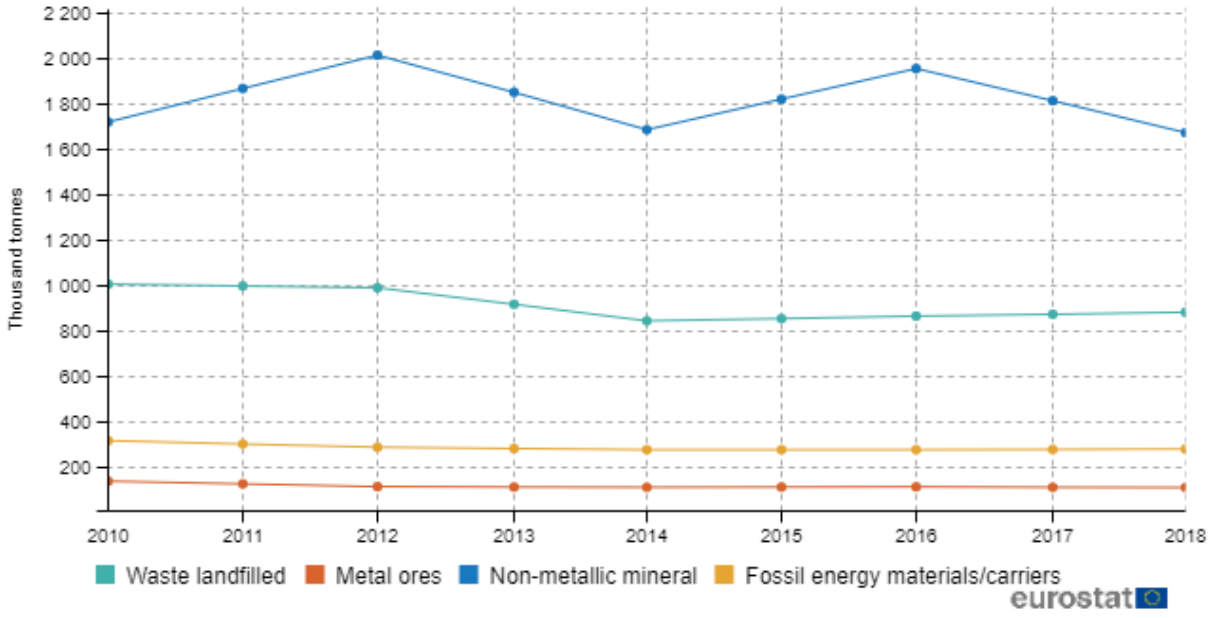
Odpad produkovaný používaním materiálov (Waste treatment) vrátane materiálu odpadu z dlhodobých hmotných aktív (napr. demolácie) predstavoval 7,878 Mt v roku 2018. Časť tohto odpadu zostáva v hospodárstve SR cez jeho recykláciu (3,176 Mt) alebo jeho použitím na povrchovú úpravu terénu (1,263 Mt). Recyklačný tok (Obr. 31) dosahuje úroveň 40,3 % celkového toku materiálového odpadu (Waste treatment), zatiaľ čo pri povrchovej úprave terénu je to asi 16 % a podiel skládkovania odpadu je 37 % (Obr. 32). Časť odpadu sa spaľuje

a časť z neho 6,6 % (0,522 Mt) sa uvoľňuje do životného prostredia spolu s ďalšími emisiami, ako sú emisie do ovzdušia (21,611 Mt) a emisie do vody (0,006 Mt). Výstupy sú ukončené vývozom (36,567 Mt) a disipatívnymi tokmi (1,369 Mt).

Miera recyklácie je podiel recyklovaného odpadu na celkovom spracovanom odpade. Významne sa líši podľa kategórie materiálu - papier, sklo, kovy, plasty atď., pričom najvyššia je pre kovy. Analýza intenzity tokov podľa kategórie materiálu poukazuje na význam rôznych materiálov a ich potenciál na opätovné použitie, zhodnotenie alebo recykláciu. V súčasnosti sa na úrovni EU sledujú 4 súhrnné kategórie a to biomasa, kovonosné rudy, nekovové minerály a fosílne energonosiče.



Obr. 31 Vývoj množstva materiálu prechádzajúceho uzlom recyklácie (recycling) [2]



Obr. 32 Vývoj množstva materiálu prechádzajúceho uzlom skládkovanie (landfilling) [2]

Aby bolo možné monitorovať úroveň napredovania ekonomík členských krajín EÚ v oblasti obehového hospodárstva na makroekonomickej úrovni, vytvoril Eurostat ukazovateľ tzv. mieru využitia obehového materiálu, označovanú tiež ako mieru cirkularity, ktorá meria príspevok recyklovaných a zhodnotených materiálov k celkovo použitým materiálom. Vyššia miera cirkularity znamená, že viac druhotných materiálov nahrádza primárne suroviny, čím sa redukujú environmentálne vplyvy ťažby primárnych surovinových zdrojov. V roku 2019 bola miera cirkularity SR na úrovni 6,1 %, čo predstavuje nárast v priemere o 1 percentuálny bod za ostatných 10 rokov, súčasne však je o 6 percentuálnych bodov nižšia ako je priemer EÚ-28, ako to dokumentuje Tab. 25.

Ak porovnáme ukazovateľ miery cirkularity, tak je výrazne nižší ako miera recyklácie, ktorá je v SR na úrovni okolo 40 %. Je to spôsobený tým, že niektoré druhy vstupných materiálov nie je možné recyklovať, napr. fosílne palivá určené na výrobu energie alebo biomasa spotrebovaná ako potraviny alebo krmivo, ako to vyplýva aj z porovnania veľkosti uzlov na začiatku (Processed material) a na konci (Materiál use) obehovej slučky na Obr. 30. To znamená, že len niektoré zo vstupných materiálov na konci svojho životného cyklu skončia ako odpad a započítajú sa do miery recyklácie. Vyššiu mieru cirkularity je možné dosiahnuť, vyžaduje si to však významnú transformáciu vo vnútri spoločnosti, napr. nahradenie fosílnych energonosičov obnoviteľnou energiou, využitie účinnejších výrobných technológií alebo predĺženie životnosti výrobkov. Podobne ako miera recyklácie, aj miera cirkularity vykazuje veľké rozdiely v závislosti od kategórie materiálov.

Tab. 25 Miera využitia obehových materiálov - miera cirkularity (%) [3]

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
EU - 27	10,7	10,2	11	11,2	11,1	11,2	11,4	11,5	11,6	11,9
EU - 28	11,2	10,7	11,4	11,7	11,6	11,7	12	12	12,2	12,4
Belgium	12,6	13,5	16,7	17,1	18,2	18,4	18,3	20,4	12,8	24
Bulgaria	2,1	1,8	1,9	2,5	2,7	3,1	4,4	3,5	2,5	2,4
Czechia	5,3	5,4	6,3	6,7	6,9	6,9	7,6	7,9	8	8,3
Denmark	8	7,1	6,5	7,8	9,1	8,4	8,1	8	8,2	7,8
Germany	11	10,4	10,7	10,9	10,8	11,6	11,7	11,5	12	12,2
Estonia	9,1	14,6	19,3	14,8	11,4	11,8	12,2	12,6	13,8	15,1
Ireland	1,7	2,1	1,8	1,7	2	1,9	1,7	1,7	1,6	1,6
Greece	2,7	2,2	1,9	1,8	1,4	1,9	2,3	2,8	3,3	4,2
Spain	10,4	9,8	9,8	8,9	7,7	7,5	8,2	8,9	9,6	10,2
France	17,5	16,8	16,9	17,3	17,8	18,7	19,4	18,8	19,6	20,1
Croatia	1,6	2,4	3,6	3,7	4,6	4,3	4,4	5	4,9	4,9
Italy	11,5	11,6	13,9	16,1	16,1	17,3	17,8	18,4	18,7	19,3
Cyprus	2	1,9	2	2,4	2,2	2,4	2,4	2,4	2,7	2,9
Latvia	1,2	2,9	1,3	3,8	5,3	5,4	6,5	5,5	4,8	4,7
Lithuania	3,9	3,6	3,8	3,2	3,8	4,1	4,6	4,5	4,3	4
Luxembourg	24,1	20,7	18,5	15,3	11,2	9,7	7	10,6	10,8	11,9
Hungary	5,3	5,4	6,1	6,2	5,4	5,8	6,5	6,9	7	6,8
Malta	5,3	4,5	3,9	6,3	6,4	4,6	4,2	6,5	8,1	7,1
Netherlands	25,3	25	26,5	27,1	26,6	25,8	28,5	29,7	29	28,5
Austria	6,6	6,8	7,6	8,9	9,9	11	11,4	11,6	11,4	11,5
Poland	10,8	9,2	10,6	11,8	12,5	11,6	10,2	9,9	9,7	9,8
Portugal	1,8	1,7	2	2,5	2,5	2,1	2,1	2	2,1	2,2
Romania	3,5	2,5	2,6	2,5	2,1	1,7	1,7	1,7	1,5	1,5
Slovenia	5,9	7,6	9,3	9,2	8,4	8,4	8,5	9,7	10	10,4
Slovakia	5,1	4,8	4,1	4,6	4,8	5	5,2	5,1	5	6,1
Finland	13,5	14	15,3	10,1	7,3	6,5	5,3	5,6	5,9	6,2
Sweden	7,2	7,5	8,2	7,3	6,5	6,8	7	6,8	6,7	7
United Kingdom	14	13,7	14	14,2	14	15,1	15,7	15,7	16,3	16,6

3.3 Integrovaná platforma SmartOdpady ako nástroj podpory zhodnocovania odpadov

Trvale rastúca produkcia automobilov v SR znamená aj zvyšujúce sa množstvo odpadov z výroby automobilov a zo spracovania starých vozidiel, pričom sa výrazným spôsobom mení ich štruktúra a zloženie. Progresívne funkčné materiály a štruktúry používané v konštrukciách moderných vozidiel a ich pohonných jednotkách, akými sú kompozitné materiály na báze plastov, železných a neželezných kovov, uhlíkových vlákien, kombinované materiály, nanomateriály, pokrokové hnacie agregáty, elektronika, to všetko vyvoláva potrebu vyvíjať nové inovatívne technológie na ich spracovanie.

Integrovanú informačnú a inovačnú platformu recyklačných technológií - SmartOdpady (www.odpady-az.sk) je možné vnímať ako nástroj, ktorý podporí transformáciu odpadového hospodárstva v súlade s cieľmi obehového hospodárstva a príležitosťami prinášanými digitálnymi technológiami, ktoré významným spôsobom ovplyvňujú podnikateľské modely a modely správania spotrebiteľov. Vychádza z platnej legislatívnej úpravy v odpadovom hospodárstve v SR a tiež zohľadňuje aktuálne a budúce požiadavky EÚ v tejto oblasti. Integrovaná platforma „SmartOdpady“ má prispieť k tomu, aby subjekty v reťazci nakladania s odpadom začali zdieľať údaje a nie si navzájom iba vymieňali informácie ako doteraz.

V roku 2020 sa začalo na Ministerstve životného prostredia s prípravou nového Programu odpadového hospodárstva SR na roky 2021 - 2025. V rámci konzultácií s odbornou verejnosťou boli predložené analýzy realizované výrobcami automobilov z ktorých vyplynulo, že odpadové hospodárstvo SR môže v krátkej dobe čeliť významným problémom s kapacitami na energetické a materiálové zhodnocovanie vybraných priemyselných odpadov. Problémom nie sú len samotné technológie, ale najmä kapacitné možnosti spracovateľských zariadení, keď dostupné voľné kapacity nie dosť pružne reflektujú potreby rozvíjajúceho sa automobilového priemyslu, ktorý má v oblasti znižovania zaťaženia životného prostredia nastavený ako kľúčový ukazovateľ hodnotenia výkonnosti množstvo zneškodňovaného odpadu pripadajúce na 1 vyrobené vozidlo.

Združenie automobilového priemyslu pritom dlhodobo poukazuje na tieto problémy. V Tab. 26 sú uvedené ročné množstvá odpadov z výroby, ktoré v súčasnosti automobilový priemysel identifikoval ako problematické z hľadiska či už nedostatočných kapacít alebo dostupnosti technológií na zhodnocovanie.

V roku 2021 sa očakáva, že výrazné množstvo nebezpečných odpadov z výroby, najmä tekutých, ktoré doteraz boli zhodnocované, bude musieť byť zneškodnených alebo vyvezených na spracovanie do zahraničia.

Je pravda, že budovaná integrovaná platforma nie je finančný nástroj na rozvoj odpadového hospodárstva, ale v prípade aktívneho využívania držiteľmi odpadu by mohla v časovom predstihu poukázať na blížiaci sa deficit spracovateľských kapacít alebo upozorňovať na potrebu rozširovania alebo budovania nových kapacít.

V súčasnosti je akútnym problémom výrobcov energetické zhodnocovanie odpadov, či už priemyselných alebo komunálnych. Akumulácia relevantných technických informácii o technológiách na zhodnocovanie a zneškodňovanie odpadov v databázach integrovanej

platformy umožní klasifikovať odpady na recyklovateľné a nerecyklovateľné so zohľadnením ekonomickej stránky zhodnocovania a príspevku výsledného výstupu zo zhodnotenia ku zvýšeniu miery cirkularity (obehovosti). Komplexné informácie o inštalovaných technológiách, kapacitách zariadení a ich lokalizácii v rámci SR môžu byť jedným zo zdrojov pre kvalifikované rozhodovanie o počte zariadení na zhodnocovanie odpadu, či už energetické alebo materiálové, tak, aby sa dosiahli ciele obehového hospodárstva.

Tab. 26 Problematické odpady z výroby automobilov (t/rok) [4]

Skupina odpadov	Automobilky	Ostatný automotive	Spolu
Ostatné odpady *(*energetické zhodnocovanie)*			
Tvrdé plasty	400	9 000	9 400
Pneumatiky	100	500	600
Syntetické textílie		1 000	1 000
Mäkké textílie	800	3 000	3 800
Sklo	400	4 000	4 400
Zmesový výrobný odpad*	7 000	7 000	14 000
Kaly*	2 000	500	2 500
Absorbenty a špecifické odpady*	800	1 000	2 100
Nebezpečné odpady			
Kaly	5 000	1 000	6 000
Tekuté odpady rozpúšťadlové	5 000	1 000	6 000
Tekuté odpady olejové	2 000	1 500	3 500
Filtre, handry	2 000	1 000	3 000
Obaly	2 000	1 000	3 000
Odpady chemické	800	1 500	2 300

Na opačnom konci reťazca životného cyklu automobilu sa nachádza sieť spracovateľov starých vozidiel. Už v predchádzajúcich rokoch pri tvorbe analýz v oblasti odpadového hospodárstva riešitelia konštatovali, že na Slovensku sú vybudované dostatočné spracovateľské kapacity vrátane primerane hustej siete zabezpečujúcej zber a zvoz starých vozidiel k spracovateľom zodpovedajúcej množstvu vyraďovaných starých vozidiel v SR. Podľa [5] je aktuálna celková ročná kapacita autorizovaných zariadení pre tento prúd odpadu na úrovni 106 150 kusov starých vozidiel. Ak túto kapacitu porovnáme s informáciami o počte spracovaných vozidiel uvedenými v Tab. 27, je zrejmé, že spracovateľské kapacity výrazne, približne 2.7 krát, prekračujú možnosti ponuky vstupov. To ale neznamená, že tento sektor odpadového hospodárstva v súčasnosti nemusí bojovať s mnohými problémami, ktoré ohrozujú nielen jeho dlhodobú udržateľnosť, ale aj schopnosť výhľadovo plniť povinné limity opätovného použitia, zhodnocovania a recyklácie odpadov zo spracovania starých vozidiel.

Filozofia modelu podnikania vo vyhradenom prúde odpadov zo starých vozidiel bola položená v období fungovania Recyklačného fondu, ktorý koncipoval systém spracovania starých vozidiel ako dvojokruhový, keď paralelne podporoval budovanie nielen siete spracovateľov starých vozidiel, ale zároveň aj siete zariadení na zhodnocovanie odpadov. Súčasťou konceptu boli aj rôzne finančné nástroje orientované na podporu rôznych aspektov a vzťahov medzi subjektami v reťazci nakladania s odpadom, ktoré ale zrušením Recyklačného fondu zanikli. V Tab. 28 je uvedený agregovaný prehľad počtu zariadení na spracovanie

odpadu evidovaných v SR v roku 2018 podľa [7]. Zariadenia na recykláciu v celkovom počte 644 sú relatívne rovnomerne rozmiestnené po celom území Slovenska a v porovnaní s rokom 2014 sa ich počet zvýšil približne o 57 %.

Aktuálny prieskum medzi spracovateľmi starých vozidiel, ktorí sú držiteľmi autorizácie a zabezpečujú vo väčšine prípadov činnosť zhodnocovania typu R12 (Úprava odpadov určených na spracovanie niektorou z činností R1 až R11), ukázal, že v súčasnosti čelia dvom hlavným problémom. Prvým je ekonomická udržateľnosť modelu podnikania a druhým, nedostatok kapacít alebo úplná absencia vhodných recyklačných technológií na spracovanie odpadov pochádzajúcich zo starých vozidiel. Z celkového množstva odpadov vznikajúcich pri spracovaní starého vozidla je v súčasnosti možné podľa nich [5] reálne zhodnotiť resp. zrecyklovať asi 65 % hmotnosti demontovaného vozidla a to kovový šrot, batérie, katalizátory, sklo a pneumatiky. Pre zvyšnú hmotnosť odpadu, asi 35 %, ktorú tvoria plasty, guma, rôzne tkané materiály, tvrdé a mäkké hmoty na báze polymérov, izolačné materiály a pod. autorizovaní spracovatelia majú problémy nájsť vhodného ďalšieho spracovateľa.

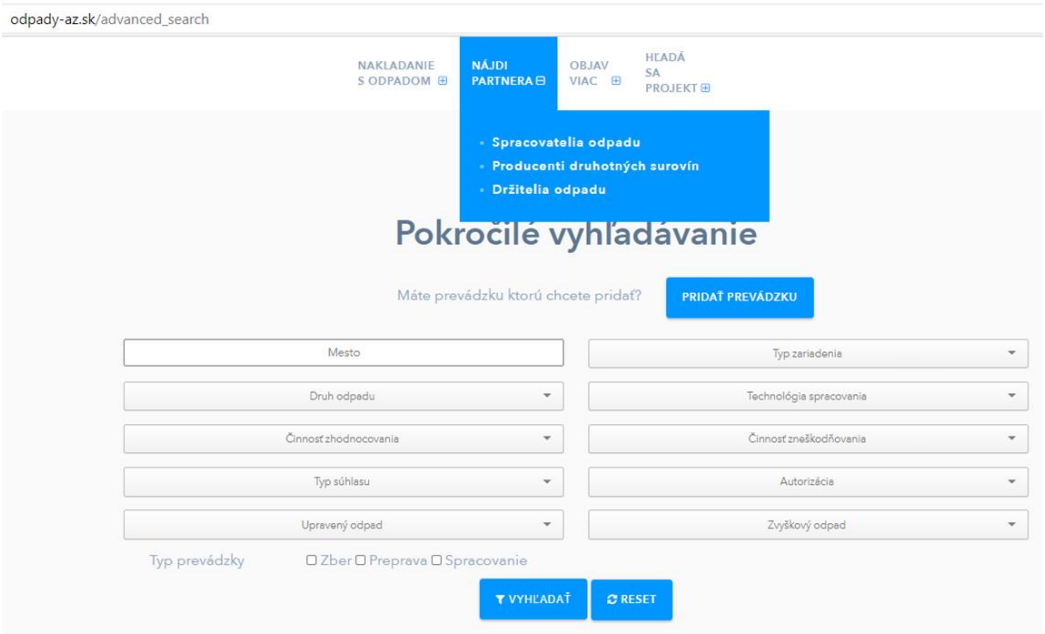
Tab. 27 Spracované staré vozidlá v EU (v kusoch) [6]

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
EU-27 (1)	5,079,000	7,700,000	6,213,000	5,555,000	5,123,000	5,085,000	5,043,000	4,969,000	4,823,000	5,296,000	6,083,000
Belgium	141,521	140,993	170,562	165,016	160,615	134,506	126,835	107,425	106,458	120,896	142,852
Bulgaria	38,600	55,330	69,287	62,937	57,532	61,673	80,862	85,946	92,706	102,442	99,835
Czechia	147,259	155,425	145,447	132,452	125,587	121,838	131,987	139,440	145,928	154,306	169,715
Denmark	101,042	96,830	100,480	93,487	106,504	125,650	104,413	98,929	89,039	117,124	117,519
Germany	417,534	1,778,593	500,193	466,160	476,601	500,322	512,163	473,386	412,801	506,531	560,455
Estonia	13,843	7,528	7,268	11,413	12,835	14,712	14,720	12,884	11,184	16,236	18,147
Ireland	127,612	152,455	158,237	134,960	102,073	92,467	86,950	74,910	98,213	140,788	162,521
Greece	55,201	115,670	95,162	112,454	84,456	86,205	82,863	87,050	46,573	39,761	47,141
Spain	748,071	952,367	839,637	671,927	687,824	734,776	724,820	689,760	611,446	620,055	748,306
France	1,109,876	1,570,593	1,583,283	1,515,432	1,209,477	1,115,280	1,084,766	1,016,326	1,046,083	1,138,742	1,571,776
Croatia (2)	:	:	:	:	35,213	32,135	19,388	16,900	20,386	21,074	27,404
Italy	1,203,184	1,610,137	1,246,546	952,461	902,611	876,052	853,584	958,245	978,960	990,876	1,030,318
Cyprus	14,273	17,303	13,219	17,145	17,547	13,212	11,160	8,293	5,151	5,453	7,523
Latvia	10,968	10,590	10,640	9,387	10,228	9,003	9,268	8,924	8,049	11,439	11,435
Lithuania	19,534	19,656	23,351	26,619	22,855	26,482	29,982	26,546	21,306	21,066	20,629
Luxembourg	2,865	6,908	6,303	2,341	2,834	2,290	2,225	1,1617	1,854	1,972	3,103
Hungary	37,196	26,020	15,907	13,043	15,357	14,897	15,283	16,788	15,141	15,573	19,280
Malta	:	:	330	2,526	2,530	1,198	2,646	4,509	5,632	:	:
Netherlands	152,175	191,980	232,448	195,052	187,143	183,451	188,487	167,777	197,488	199,506	214,013
Austria	63,975	87,364	82,144	80,004	64,809	73,993	56,904	47,926	48,077	58,462	60,272
Poland	189,871	210,218	259,576	295,152	344,809	402,416	454,737	478,202	380,529	495,805	514,210
Portugal	107,746	107,946	107,419	77,929	92,008	92,112	86,713	84,158	88,559	99,910	107,140
Romania	51,577	55,875	190,790	128,839	57,950	37,989	42,138	41,886	46,572	:	:
Slovenia	6,780	7,043	6,807	6,598	5,447	:	6,260	:	:	:	:
Slovakia	39,769	67,795	35,174	39,171	33,469	36,858	29,175	26,176	36,931	35,328	39,343
Finland	103,000	96,270	119,000	136,000	119,000	99,300	94,540	99,630	114,460	128,280	120,040
Sweden	150,197	133,589	170,658	184,105	185,616	189,748	186,967	188,810	186,875	192,395	204,458
United Kingdom	1,210,294	1,327,517	1,157,438	1,220,873	1,163,123	1,149,459	1,106,846	995,527	1,103,050	1,390,185	1,406,975
Iceland	9,386	5,109	4,195	4,075	4,824	4,463	5,245	6,063	6,527	9,483	:
Liechtenstein	91	72	107	94	114	326	188	230	260	326	213
Norway	130,018	95,000	112,537	124,563	119,905	141,452	139,920	145,098	142,280	143,664	143,767

Tab. 28 Prehľad počtu zariadení na spracovanie odpadu v SR v roku 2018 [7]

Poloha	SR	Bratislavský kraj	Západné Slovensko	Stredné Slovensko	Východné Slovensko
Nakladanie s odpadom					
Zneškodňovanie - skládkovanie (D1, D5, D12)	109	6	39	30	34
skládky na NO	10				
skládky na NNO	85				
skládky na IO	14				
Zneškodňovanie - spaľovanie (D10)	3	1	0	0	2
Zhodnocovanie - energetické (R1)	17	3	4	2	8
Zhodnocovanie - recyklácia (R2-R11)	644	55	203	210	176

Reakciou na rozsiahle diskusie ako s výrobcami tak aj so spracovateľmi odpadov bolo vytvorenie integrovanej informačnej a inovačnej platformy SmartOdpady, ktorej subsystém „informačný“ bol koncipovaný ako nástroj, ktorý držiteľom odpadu, akými sú aj autorizovaní spracovatelia, má pomôcť pri hľadaní vhodných recyklačných technológií a dostupných spracovateľských kapacít resp. upozorniť subjekty pôsobiace v sektore odpadového hospodárstva na výskyt takých druhov odpadov, pre ktoré sú obmedzené alebo žiadne možnosti na zhodnocovanie a jedinou voľbou sa stáva zneškodnenie. Na Obr. 33 sú zobrazené kritériá, podľa ktorých je možné v informačnom subsystéme platformy vyhľadávať požadované informácie.



Obr. 33 Kritériá na vyhľadávanie zariadení na nakladanie s odpadom v informačnom subsystéme platformy

Výsledkom rokovaní na rôznych fórach bol proaktívny prístup všetkých zainteresovaných strán pri návrhu dynamickej štruktúry dát registrov a tiež samotných záznamov spracovateľských zariadení zohľadňujúci súčasné, ale aj očakávané vývojové trendy nielen v oblasti legislatívy, ale aj materiálov, výrobných a recyklačných technológií. Štruktúra dát v zázname zariadenia na spracovanie odpadu, uvedená v Tab. 29, zohľadňuje aj najnovšie

požiadavky Nového akčného plánu EÚ pre obehové hospodárstvo „Za čistejšiu a konkurencieschopnejšiu Európu“, pretože poskytuje informácie o výstupoch z procesov zhodnocovania v podobe certifikovaných produktov alebo vedľajších produktov a druhotných surovín, ktoré plnia kritériá definované pre stav konca odpadu. Zaradenie týchto informácií do záznamu zariadenia umožnilo vytvorenie novej schémy SNAS pre akreditáciu orgánov certifikujúcich systémy manažérstva konca odpadov podľa ISO 9001, nariadenia Rady (EÚ) č. 333/2011, nariadenia Komisie (EU) č. 1179/2012 a nariadenia Komisie (EU) č. 715/2013 [8].

Jadrom informačného subsystému platformy je databáza subjektov, ktorý sú držiteľmi autorizácií a súhlasov na nakladanie s odpadmi v zmysle zákona č. 79/2015 Z. z. o odpadoch a o zmene a doplnení niektorých zákonov. V rámci testovacej prevádzky platformy, riešitelia databázu naplnili informáciami z verejne dostupných zdrojov akými webová stránka MŽP SR alebo informačný systém MŽP SR „ISOH“, ktoré sa týkali držiteľov autorizácií podľa § 89 “Autorizované činnosti a udelenie autorizácie” v rozsahu druh a časová platnosť udelenej autorizácie, názov a adresa držiteľa.

Tab. 29 Štruktúra záznamu zariadenia na spracovanie odpadu

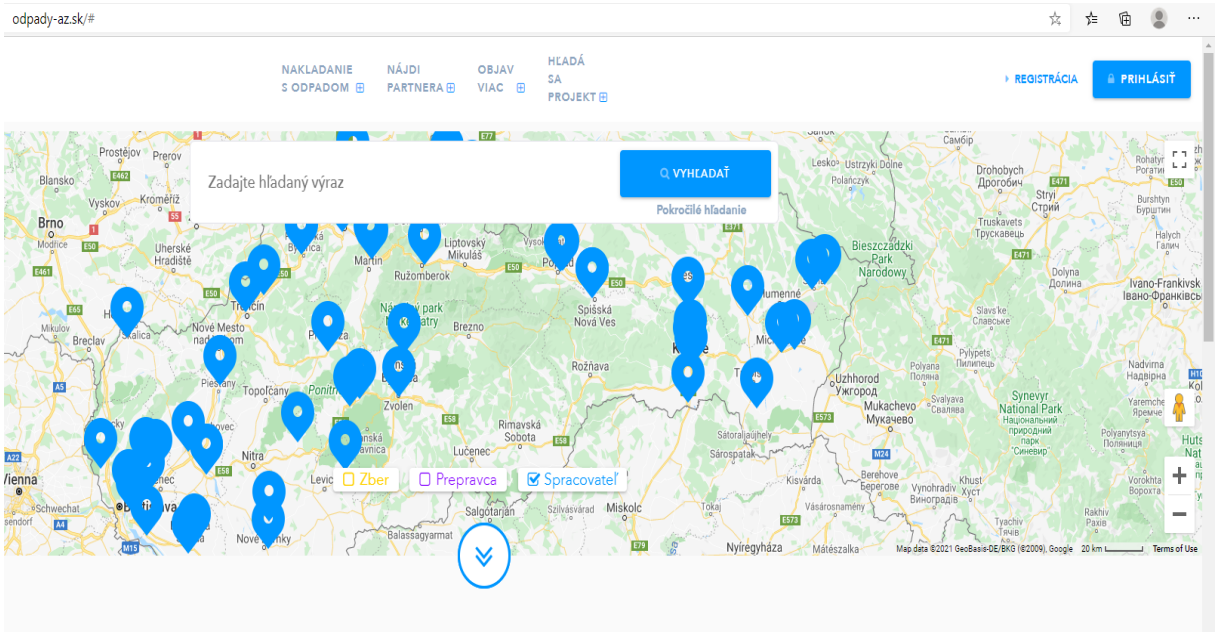
Katalógové číslo odpadu
Názov druhu odpadu
Kategória odpadu
Typ zariadenia
Kód zariadenia
Kód spôsobu nakladania s odpadom
Názov spôsobu nakladania s odpadom
Typ súhlasu *(autorizácia, súhlas §97, a pod.)*
Certifikované systémy *(ISO 9000, 14 000, EMAS, stav konca odpadu QMS EoW)*
Názov technológie
Stručný opis technológie
Technológia spĺňa BAT
Vstupné parametre odpadu
Názov produktu (výrobku)
Certifikovaný výrobok
Certifikát výrobku
Výstupné parametre produktu
Možnosti využitia produktu (výrobku)
Názov upraveného odpadu
Katalógové číslo upraveného odpadu
Kategória upraveného odpadu
Výstupné parametre upraveného odpadu
Možnosti nakladania s upraveným odpadom
Názov zvyškového odpadu z technológie
Výstupné parametre zvyškového odpadu
Kategória zvyškového odpadu
Kód spôsobu nakladania s zvyškovým odpadom

Pre splnenie poslania a cieľov platformy bolo potrebné databázu ďalej doplniť najmä o prevádzkovateľov zariadení na spracovanie odpadov so súhlasmi udelenými podľa § 97 s niektorou z činností R1 až R11. Keďže takýto register nie je verejne dostupný, v prvej etape riešitelia hľadali spôsob ako získať kontaktné údaje a hromadne osloviť tieto zariadenia, aby získali legálny súhlas s východiskovou registráciou zariadenia do platformy vzhľadom na platnosť opatrení podľa GDPR. Súhrnný prehľad zariadení na spracovanie odpadov vrátene zariadení na zber nakoniec riešiteľom poskytli Programy odpadového hospodárstva na roky 2016 - 2020 vypracované za jednotlivé vyššie územné celky, ktoré vo svojich prílohách obsahovali hľadané údaje v rozsahu „kód zhodnocovania alebo zneškodňovania, kódy odpadu, kapacita zariadenia, rok začatia prevádzky, prevádzkovateľ, IČO“ [10-17].

V súčasnosti riešitelia začali komunikáciu so spracovateľmi registrovanými v súboroch z roku 2016 a v druhej fáze, po vypracovaní nových Programov odpadového hospodárstva na roky 2021 - 2025 za vyššie územné celky databázu doplnia o ďalšie aktuálne prevádzkované zariadenia.

Doplnením databázy o zariadenia na zhodnocovanie a recykláciu odpadov so súhlasmi podľa § 97 sa riešitelia vysporiadajú aj s pripomienkou zo strany spracovateľov starých vozidiel, že v informačnom subsystéme nenašli relevantné informácie, ktoré by im umožnili flexibilne vyhľadávať alternatívne zariadenia, kde môžu odovzdať konkrétny odpad, samozrejme, ak takéto zariadenia sú k dispozícii.

Prístup riešiteľov založený na využití digitálnych technológií v zmysle kombinácie GIS informácií s dátami z registra zariadení na spracovanie odpadov (Obr. 34) môže poskytnúť subjektom podnikajúcim v odpadovom hospodárstve informácie o inštalovaných kapacitách a technológiách na spracovanie odpadov s ohľadom na ich rozmiestnenie na území SR pre potreby plánovania a rozvoja podnikateľských aktivít v odpadovom hospodárstve.

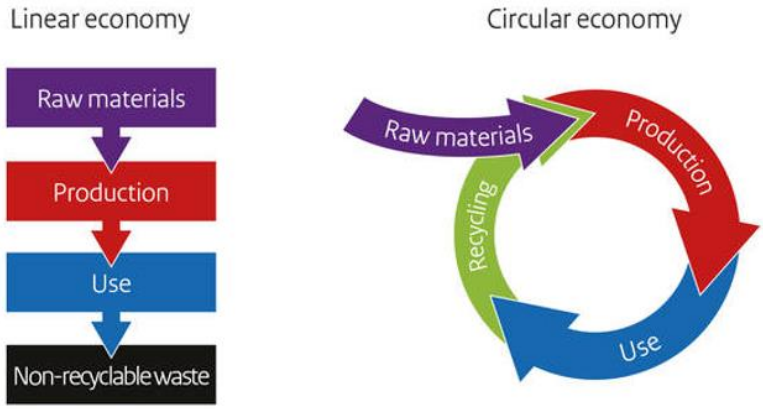


Obr. 34 Integrovaná platforma „SmartOdpady“ s interaktívnou mapou a vyhľadávaním

3.4 Integrovaná platforma „Smart Odpady“ - subsystém „Inovácie“

Staré vozidlá sú rozsiahlym a cenným zdrojov druhotných surovín, ale doterajší jednosmerný model výroby pri neustále rastúcom objeme produkcie, tzv. lineárna ekonomika (Obr. 35), je neudržateľný. Za jeho udržateľnú alternatívu sa v súčasnosti považuje tzv. obehové hospodárstvo (Obr. 35) ako ekonomický systém podporujúci udržateľnejšie hospodárenie so zdrojmi počas ich celého životného cyklu s uzatváraním materiálových tokov cez opätovné využívanie recyklátov v priemysle resp. ich umiestnením na trh.

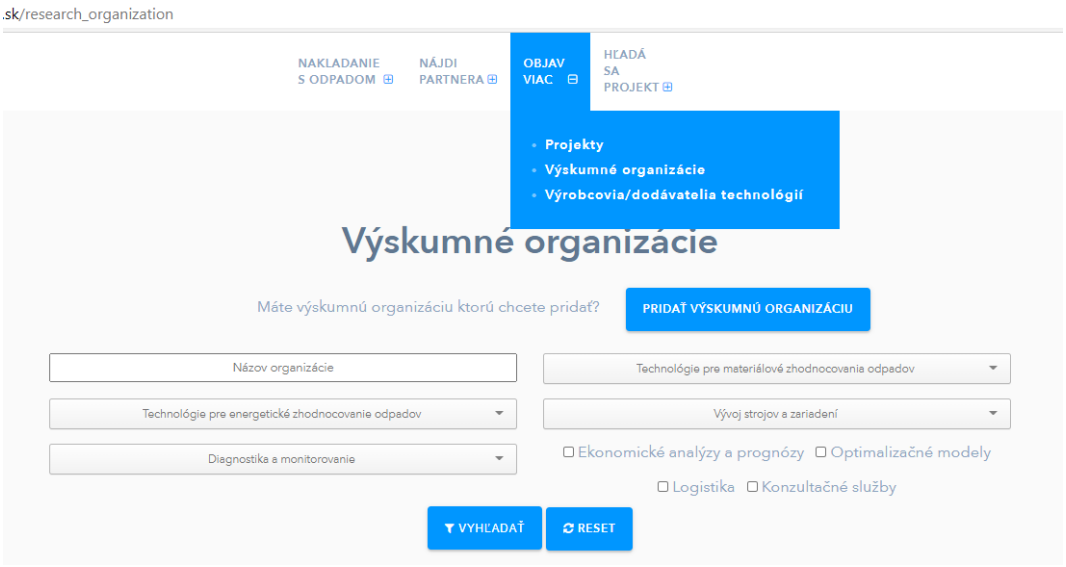
Nový akčný plán EÚ pre obehové hospodárstvo [18] prijatý v roku 2020 uvažuje s prepracovaním pravidiel pre vozidlá po skončení životnosti v tom zmysle, že sa otázky dizajnu produktu prepoja so spracovaním po skončení životnosti, zvýši sa podiel obsahu recyklátov v prípade určitých materiálov, zlepší sa efektívnosť a zvýši kvalita recyklácie. Rovnako uvažovali aj riešitelia projektu pri koncipovaní platformy „SmartOdpady“, ktorá je budovaná ako virtuálny priestor určený na komunikáciu subjektov zapojených v reťazci odpadového hospodárstva s cieľom poskytnúť im na jednej strane aktuálne informácie o kvalite a efektívnosti spracovateľských technológií a dostupných kapacitách a na strane druhej chce podporovať podnikateľské aktivity v oblasti výskumu a vývoja inovatívnych technológií na recykláciu a zhodnocovanie špecifických odpadov na úrovni malých a stredných podnikov v spolupráci s vysokými školami (Obr. 36).



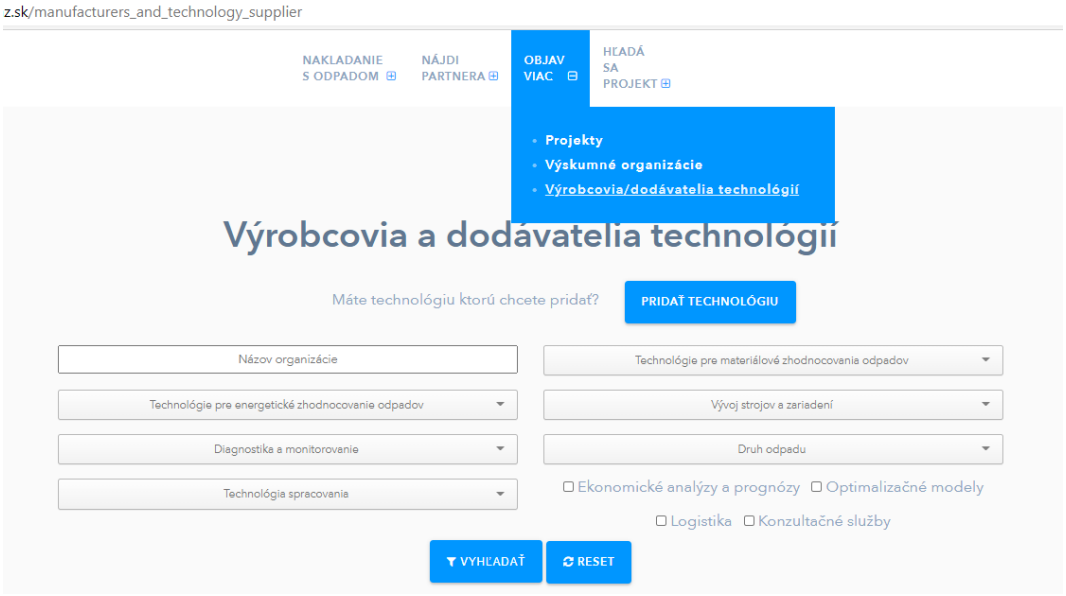
Obr. 35 Lineárne hospodárstvo (vľavo) a obehové hospodárstvo (vpravo)

Požiadavky na funkcionality boli vyšpecifikované v nasledovných oblastiach:

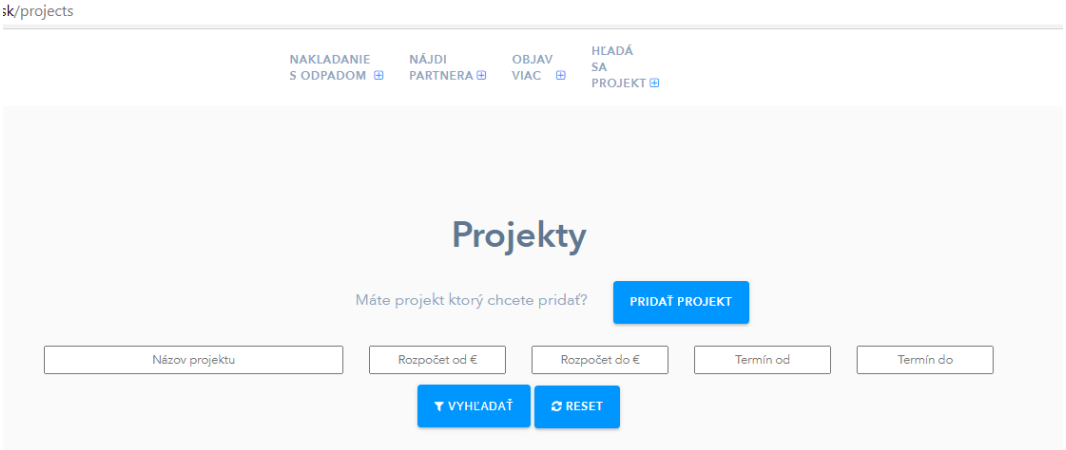
- zvýšiť možnosti využitia druhotných surovín a znížiť podiel zvyškového odpadu zo spracovania odpadu,
- poskytnúť informácie o výrobcoch komerčných zariadení a dodávateľoch technológií na spracovanie odpadu (Obr. 37),
- poskytnúť informácie o výskumných a vývojových kapacitách a skúsenostiach vysokých škôl v oblasti spracovania odpadov,
- zhromažďovať informácie o požiadavkách na vývoj technológií a zariadení na spracovanie odpadu (Obr. 38).



Obr. 36 Rámcová štruktúra vyhľadávania partnera pre výskum a vývoj



Obr. 37 Rámcová štruktúra vyhľadávania dodávateľa komerčných technológií



Obr. 38 Rámcová štruktúra požiadavky na projekt pre vývojové práce

Subsystém „Inovácie“ obsahuje aj zásobník s ponukou už vyvinutých alebo realizovaných nových technológií a zariadení.

Riešitelia projektu integrovanej platformy uvažujú o rozšírení portfólia služieb aj o „e-shop“ riešenie ponuky druhotných surovín alebo použitých dielov, ktoré budú výsledkom procesov zhodnocovania odpadov alebo prípravy na opätovné použitie v zmysle obehového hospodárstva a v súlade s legislatívou odpadového hospodárstva.

3.5 Záver

Platforma má ambíciu podporiť inovačnú stratégiu SR „Poznatkami k prosperite - Stratégia výskumu a inovácií pre inteligentnú špecializáciu Slovenskej republiky (RIS3)“ efektívnym dialógom akademickej sféry a podnikateľského sektora. Progresívne materiály a technológie aplikované v automobilovom priemysle nachádzajú uplatnenie aj v iných odvetviach a naopak, a preto etablovanie takejto výskumnej platformy bude mať pozitívny dopad na širšie riešenie úloh súvisiacich so zhodnocovaním odpadov nielen s odpadmi z automobilového priemyslu a zo spracovania starých vozidiel.

Hlavnou výzvou odpadového hospodárstva do budúcnosti je hľadanie možností ako „uzavrieť obehovú slučku“, alebo inak, ako môžeme prejsť od tradičného konceptu „odpadového hospodárstva“ na „na konci životného cyklu“ k holistickému konceptu „hospodárenia so zdrojmi“ vo všetkých štádiách životného cyklu.

Poďakovanie

Táto práca vznikla v rámci projektu združenia univerzít, UNIVNET č. zmluvy 0201/0082/19 a jeho finančnej podpory.

3.6 Zoznam použitej literatúry

[1]. OBEHOVÉ HOSPODÁRSTVO BUDÚCNOSŤ ROZVOJA SLOVENSKA - CIRCULAR ECONOMY FUTURE OF THE DEVELOPMENT OF SLOVAKIA. Bratislava: MŽP SR, 2019, 104 str.

[2]. Eurostat: Management of waste by waste management operations and type of material - Sankey diagram. [online]. Dostupné na internete: https:// ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_wassd/default/table?lang=en

[3]. Eurostat: Circular material use rate. [online]. Dostupné na internete: https:// ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/cei_srm030/default/table?lang=en

[4]. Hletková Ploszeková, M. et al. Problematické skupiny odpadov z automobilového priemyslu. Bratislava: ZAP. 2020. (prezentácia)

[5]. AUTO Martin engineering, s.r.o.: Analýza súčasného stavu spracovania a zhodnocovania odpadov pochádzajúcich zo starých vozidiel – II. Etapa., Bratislava: ZAP, 2020, 19 s.

[6]. Eurostat: End-of-life vehicles by waste management operations. [online]. Dostupné na internete: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_waselv/default/table?lang=en

[7]. Eurostat: Number and capacity of recovery and disposal facilities. [online]. Dostupné na internete: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_wasfac/default/ table?lang=en

[8]. MSA–CS/01 - Oblasť a rozsah akreditácie orgánov certifikujúcich systémy manažérstva. Bratislava: SNAS. 2020, 17 str. [online]. Dostupné na internete: http://www.snas.sk

[9]. Program odpadového hospodárstva SR na roky 2021–2025. [online]. Dostupné na internete: https://www.enviroportal.sk/sk/eia/detail/program-odpadoveho-hospodarstva-slovenskej-republiky-na-roky-2021-2025

[10]. Program odpadového hospodárstva Žilinského kraja na roky 2016 – 2020. [online]. Dostupné na internete: https://www.minzp.sk/odpady/poh/poh-sr-2016-2020/

[11]. Program odpadového hospodárstva Trnavského kraja na roky 2016 – 2020. [online]. Dostupné na internete: https://www.minzp.sk/odpady/poh/poh-sr-2016-2020/

[12]. Program odpadového hospodárstva Banskobystrického kraja na roky 2016 – 2020. [online]. Dostupné na internete: https://www.enviroportal.sk/sk/eia/detail/program-odpadoveho-hospodarstva-banskobystrickeho-kraja-na-roky-2016-2

[13]. Program odpadového hospodárstva Bratislavského kraja na roky 2016 – 2020. [online]. Dostupné na internete: https://www.enviroportal.sk/sk/eia/detail/program-odpadoveho-hospodarstva-bratislavskeho-kraja-na-roky-2016-2020

[14]. Program odpadového hospodárstva Košického kraja na roky 2016 – 2020. [online]. Dostupné na internete: https://www.enviroportal.sk/sk/eia/detail/program-odpadoveho-hospodarstva-kosickeho-kraja-na-roky-2016-2020

[15]. Program odpadového hospodárstva Nitrianskeho kraja na roky 2016 – 2020. [online]. Dostupné na internete: https://www.enviroportal.sk/sk/eia/detail/program-odpadoveho-hospodarstva-nitrianskeho-kraja-na-roky-2016-2020).

[16]. Program odpadového hospodárstva Prešovského kraja na roky 2016 – 2020. [online]. Dostupné na internete: https://www.enviroportal.sk/sk/eia/detail/program-odpadoveho-hospodarstva-presovskeho-kraja-na-roky-2016-2020)

[17]. Program odpadového hospodárstva Trenčianskeho kraja na roky 2016 – 2020. [online]. Dostupné na internete: https://www.enviroportal.sk/sk/eia/detail/program-odpadoveho-hospodarstva-trencianskeho-kraja-na-roky-2016-2020)

[18]. Oznámenie Komisie Európskemu Parlamentu, Rade, Európskemu hospodárskemu a sociálnemu výboru a Výboru Regiónov COM(2020)98 – Nový akčný plán EÚ pre obehové hospodárstvo „Za čistejšiu a konkurencieschopnejšiu Európu“. Európska komisia, 2020, 20 str.

Recyklácia vrstveného skla

Návrh progresívnej technológie dekompozície viacvrstvových lepených skiel



Riešiteľský kolektív
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Strojnícka fakulta STU

Hlavný riešiteľ:
prof. Ing. Ľubomír Šooš, PhD.

Riešitelia:
prof. Ing. Marcela Pokusová, CSc.
doc. Ing. Miloš Matúš, PhD.
Ing. Iveta Onderová, PhD.
Ing. Juraj Ondruška, PhD.
Ing. Viliam Čačko, PhD.
Ing. Jozef Babics

4 RECYKLÁCIA VRSTVENÉHO SKLA - ANALÝZA TECHNICKÝCH A TECHNOLOGICKÝCH MOŽNOSTÍ

4.1 Úvod

Predkladaná správa obsahovo nadväzuje na správu z roka 2019. Úlohou tejto prvej správy z roka 2019 bolo zmapovanie množstiev odpadov lepených viacvrstvových skiel, analýza dostupných technológií na dekompozíciu uvedených skiel, možnosti využitia jednotlivých druhotných surovín z týchto odpadov, ako aj ekonomika recyklácie a zhodnocovania týchto odpadov. Na základe výsledkov laboratórnych skúšok je v závere práce načrtnutá vlastná cenovo dostupná technológia aj pre malé a stredné veľké výkony s ročnou kapacitou 1000 - 2000 kilogramov.

Analýza množstiev odpadov z lepených viacvrstvových skiel ukázala, že na Slovensku je podľa odhadov ZAP SR cca 3 600 ton a celkový ročný disponibilný odpad plochého skla zo stavebníctva cca 13 200 ton. Vykonaná analýza súčasne ukázala na skutočnosť, že v súčasnosti je veľký problém so zhodnocovaním týchto skiel. Približne 40 % z celkového množstva sa síce zhodnocuje, ale vyťažiteľnosť s využitím súčasných technológií je len 60 - 65 %. To znamená, že z celkového množstva odpadu 16 800 ton sa spracováva cca 6 700 ton a z tohto množstva sa získa 4 000 - 4 400 ton druhotných surovín. To je ale len 26 % z celkového množstva odpadu. Zvyšok, 12 400 ton takéhoto odpadu putuje na skládky.

Z analýzy dostupných technológií na dekompozíciu uvedených skiel tiež vyplynulo, že vo svete existuje celý rad rôznych druhov technológií. Či už sa jedná o suché mechanické alebo kombinované termicko - chemické technológie. Z výsledkov tejto časti vykonanej analýzy vyplynul dôležitý záver, že klasická mechanická technológia dezintegrácia skiel a následná separácia jednotlivých komodít vrstvených skiel je síce lacná, ale súčasne známe technológie sú vysoko hlučné, prašné a málo účinné. Aj keď je o fóliu a črepiny záujem, sklárske a chemické závody nechcú odoberať druhotné suroviny, ktoré nespĺňajú požadované kritériá na čistotu. Vyťažiteľnosť čistých sklenených črepín a fólie je pri uvedených technológiách len 50 - 60 %. Zostatkový nevyseparovaný odpad putuje na skládky.

Na dokonalú separáciu a získanie čistých fáz laminátu sa podľa literárnych prameňov javí ako jediný použiteľný mokrý spôsob separácie vrstvy skla od fólie, ktorý využíva reverzný efekt technológie spájania - s klesajúcou vlhkosťou fólie rastie jej priľnavosť ku sklu. V kombinácii s inými technológiami sa síce účinnosť a čistota jednotlivých zložiek podstatne zvýši, súčasne ale výrazne rastie cena takejto technológie a pre malé spracované výkony sú takéto technológie ekonomický neefektívne.

Ekonomika recyklácie týchto odpadov má niekoľko stránok. Sú to jednak priame ekonomické dopady ako aj nepriame dopady vyplývajúce zo šetrenia primárnych surovinových zdrojov, energií, neznečisťujeme v takom objeme vodu a ovzdušie, nezahlcujeme skládky, čím prispievame k ochrane životného prostredia. Sklenené črepy sú veľmi vhodné pri výrobe primárneho skla. **Bežne používanými materiálmi pre lepenie týchto skiel sú polyvinylbutyral (PVB) etylvinylacetát (EVA) alebo ionoplast SentryGlassPlus (SGP).** PVB je najčastejšie používaným materiálom na výrobu medzivrstvovej fólie vrstveného skla. Tak sklenené črepy

ako aj materiál fólií je z ekonomického pohľadu veľmi zaujímavý. Musí byť ale zabezpečená dokonalá čistota jednak črepov ako aj samotnej fólie. Keď spĺňa druhotná suroviny požadované technologické parametre je kvalita výrobku rovnaká ako výrobku vyrobeného z primárnej suroviny.

Z výsledkov vykonanej analýzy vyplynul dôležitý záver, že klasická mechanická technológia dezintegrácie a následná separácia jednotlivých komodít vrstvených skiel je síce lacná, ale je hlučná, prašná a málo účinná. Aj keď je o fóliu a črepiny záujem, sklárske a chemické závody nechcú odoberať druhotné suroviny, ktoré nespĺňajú požadované kritériá na čistotu. Vyťažiteľnosť čistých sklenených črepín a fólie je pri súčasne dostupných technológiách nízka a zostatkový nevyseparovaný odpad putuje na skládky.

V kombinácii s inými technológiami sa síce účinnosť a čistota jednotlivých zložiek zvýši, súčasne ale výrazne rastie cena takejto technológie a pre malé spracované výkony sú takéto technológie ekonomický málo efektívne. Vznikla teda požiadavka vyvinúť zariadenie technologický akceptovateľné a ekonomický efektívne aj pre malé a stredné veľké výkony s ročnou kapacitou 1 000 – 2 000 kilogramov.

Základnou vedeckou hypotézou, ktorú sme prijali pri výskume a riešení zadanej úlohy bolo, aby navrhnutá technológia spĺňala požiadavku „kompaktnej fólie“ pri technologickom procese dekompozície. Podľa nášho názoru tým dosiahneme najvyšší stupeň čistoty jednotlivých frakcií.

Cieľom predkladanej správy je teda verifikácia technológií ktoré boli identifikované v prvej etape riešenia. Jadrom správy sú vykonané laboratórne skúšky možných princípov. Na základe experimentálnej verifikácie týchto princípov chceme navrhnúť vhodnú technológiu alebo kombináciu technológií tak, aby sme dosiahli maximálnu čistotu separácie pri prijateľných ekonomických nákladoch.

Výsledkom analýzy je pracovná hypotéza dekompozície viacvrstevných skiel tak, aby nedochádzalo v procese dekompozície k dezintegrácii skleneného odpadu. Tento proces by prebiehal tak, že k oddeľovaniu skla by dochádzalo lámaním skla a následným odlupovaním a oškrabávaním črepov od fólie tak, aby fólia ostala pokiaľ možno v celku.

4.2 Teoretické východisko navrhovaného postupu recyklácie vrstveného lepeného skla

Uvedená charakteristika mechanizmu adhézie systému laminát „sklo - PVB fólia“ a vplyvu vybraných faktorov ovplyvňujúcich kvalitu priľnavosti v negatívnom zmysle predstavujú teoretické východisko pre návrh jedného z možných riešení problému recyklácie vrstvených autoskiel tzv. mokrou cestou, ktorá by umožnila oddeľovanie nielen väčších zlomkov skla v súlade s požiadavkami sklárskeho priemyslu, ale možno aj kompaktnejšie kusy fólií vhodné na ďalšiu recykláciu.

Navrhovaná vedecká hypotéza koncepcie recyklačného procesu vrstveného skla spočíva v oddelení vrstiev skla a vrstiev PVB fólie, pričom musia byť z hľadiska recyklovateľnosti týchto materiálov splnené základné limitné podmienky:

1. fólia v procese dekompozície nebude dezintegrovaná ale zostane v pôvodnom celistvom stave,
2. v navrhnutej technológii delaminačného procesu vzniká minimálne zastúpenie prachovej frakcie skla,
3. recyklácia PVB fólie je podmienená obsahom zostatkových nalepených častíc skla na fólii, a to do 100 ppm.

Navrhovaná koncepcia spočíva v efektívnom trojetapovom recyklačnom procese spracovania vrstvených skiel s cieľom dosiahnutia vyššie stanovených limitných podmienok a zachovaní pôvodných fyzikálnych vlastností PVB fólie za účelom jej ďalšej recyklácie.

Navrhovaná koncepcia je trojetapová:

- Prvá etapa je založená na rovnomernom popraskaní vrstveného skla za účelom zabezpečenia ideálneho kontaktu polymérovej matrice (PVB fólie) s delaminovacím prostredím. Popraskanie musí byť rovnomerné po celej ploche skla s veľkosťou častíc do 0,5 mm a minimalizáciou prachových častíc.
- Druhá etapa spočíva v redukcii adhéznej pevnosti medzi PVB a vrstvami skla rozrušením adhéznych väzieb. V rámci laboratórnych skúšok sme testovali vodného kúpeľa, zvýšenej teploty a alkalického prostredia (roztok alkalických solí vo vode) pri atmosférickom tlaku. V rámci delaminačného kúpeľa sme zabezpečili pohyb a ohyb vrstveného skla vo všetkých smeroch, aby bol zabezpečený efektívny prístup alkalického delaminizačného prostredia prienikom cez otvárajúce sa praskliny k adhéznej väzbe sklo-PVB. Tento pohyb a ohýbanie vrstveného skla zabezpečí aj samotné oddeľovanie častíc skla od PVB fólie.

Výsledkom realizácie laboratórnych skúšok bolo stanovenie optimálnych podmienok a definovanie technologických parametrov delaminačného procesu aplikovateľného kdekoľvek vo svete (druh a koncentrácia alkalickej soli, teplota kúpeľa, dĺžka kúpeľa, spôsob premiešavania, prebublávanie atď.).

Podmienkou pre použitie vhodnej technológie tretieho stupňa je zabezpečenie, že nedôjde ku kontaminácii PVB iným materiálom. Vyseparovaná PVB fólia bude prepraná a neutralizovaná v slabom kyselinovom roztoku, pričom budú odstránené aj posledné zvyšky skla z jej povrchu. Následne dôjde k vysušeniu PVB fólie.

Na základe výsledkov týchto skúšok plánujeme navrhnúť funkčný model technologickej linky delaminačnej linky. Stavba linky by mala byť modulová tak, aby zabezpečovala variabilitu z pohľadu výkonu, druhu a veľkosti spracovaného odpadu z viacvrstvového skla (hrúbka

a druh skla) a požadovanej kvality a čistoty vyseparovaných druhov jednotlivých druhotných surovín.

4.3 Analýza súčasných technológií zhodnocovania lepených skiel

4.3.1 Metódy oddeľovania vrstvených skiel

V súčasnej dobe existuje veľa dezintegračných zariadení a metód, ktoré dokážu spracovať takýto druh skla. Každá metóda spočíva na inom princípe oddeľovania skla od fólie. Pri mechanickej metóde je najväčšou nevýhodou vznik skleného prachu, kontaminácia skla fóliou a hlučnosť. Na druhej strane je to jednoduché riešenie spracovania lepeného skla. Krajiny, ktoré využívajú termodynamickú a chemickú metódu získajú čistú fóliu ale z pohľadu životného prostredia je táto voľba oddeľovania skla od fólie neekologická a energeticky náročná.

Sklený prach je materiál, ktorý sa vyznačuje veľmi dobrou zrnitosťou, ktorá dosahuje veľkosť menšiu než 65 µm. Hlavnou prednosťou skleného prachu je veľmi nízka nasiakavosť, veľmi dobrá výplňová zmes, dokonalý izolátor. Používa sa na výrobu betónu, cementu, lepidiel, lakov, keramiky. Aj keď má veľmi široké využitie, vznik skleného prachu je životu nebezpečné. Obsahuje olovo a z toho dôvodu je pri možnom vdýchnutí alebo konzumácií jedovatý.

Cieľom každej firmy je získanie čistých frakcií. Preto je dôležité odstrániť nedostatky, ktoré pri výbere existujúcich metód vznikajú.

Pri recyklácií vrstvených skiel je potrebné nájsť efektívny spôsob ako od seba jednotlivé materiály oddeliť. V praxi sa používajú tieto štyri metódy:

1. mechanické oddeľovanie,
2. termodynamické oddeľovanie,
3. chemické oddeľovanie,
4. kombinované oddeľovanie.

4.3.2 Mechanické oddeľovanie

Mechanický spôsob oddeľovania zaraďujeme medzi procesy. Pri mechanickom oddeľovaní je čelné sklo podrvené za pomoci vstupnej linky, ktorá je vybavená drvičom, schopným rozdrviť autosklo z osobných a nákladných automobilov ako aj z autobusov aj kamiónov. Následne prichádzajú na rad dopravníky a separátory, ktoré vytriedia kovy a ostatné nečistoty. Drobné časti skla sú dopravené k sústave optických čidiel, kde sa z drti odstránia nečistoty, časti autofólie, tesniacej gumy atď.

Tab. 30 Výhody a nevýhody riešenia

Výhody tohto riešenia:	Nevýhody tohto riešenia:
• jednoduché, • ekologické.	• sklený prach, ktorý sklárne odmietajú, • kontaminácia fólie sklom, • vysoká prašnosť.

Pri tomto spôsobe spracovania vzniká sklený prach ktorý môže byť kontaminovaný cudzími látkami a pre sklársky priemysel už nepredstavuje čistú surovinu na spracovanie. Získaná PVB fólia tiež vždy nedosahuje požadovanú (100 %) čistotu, preto je jej ďalšie využitie limitované.

Suchý spôsob bol vyvinutý firmou ZIPPE Industrieanlagen. Jeho princípom je mechanické stieranie skla suchou cestou. Produktom procesu je iba čisté sklo, PVB získané týmto spôsobom obsahuje vysoké množstvo (5 - 10 %) skleného prachu a iných nehomogénnych častíc (prach, papier či plast). Práve z tohto dôvodu je takáto fólia ukladaná na skládkach.

4.3.3 Termodynamické oddeľovanie

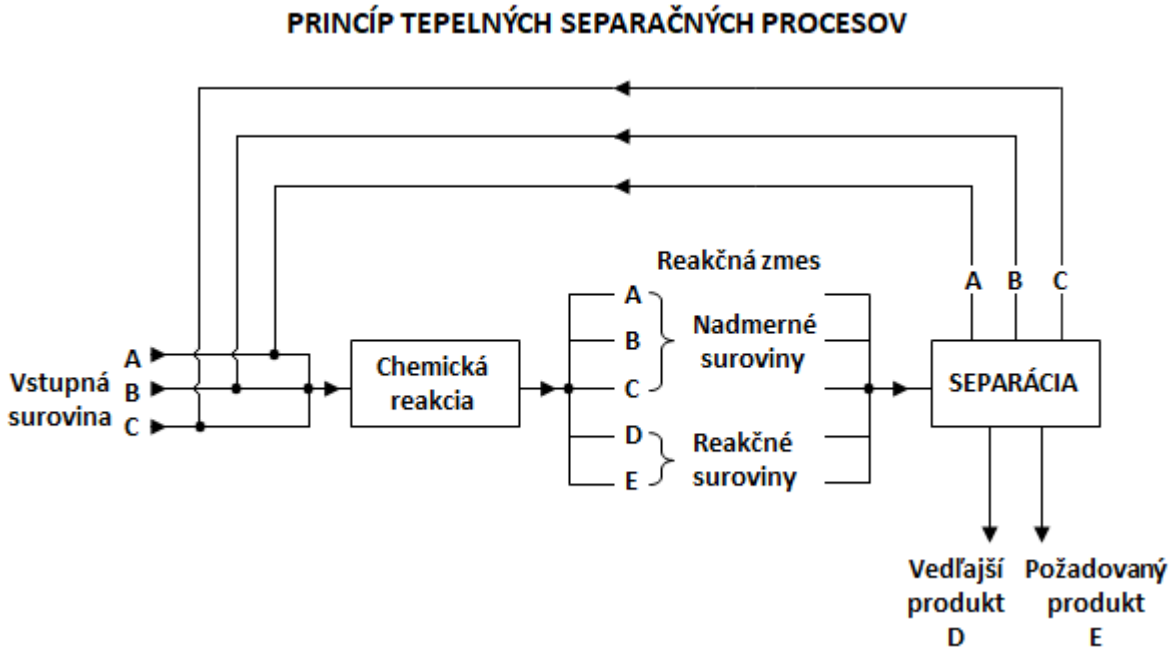
Pomocou tepelných oddeľovacích procesov sú zmesi spracované tak, aby sa získali suroviny v požadovanej čistote a mohli byť zrecyklované. V procese môžu byť oddelené homogénne (jedna fáza) alebo heterogénne (dva alebo viacfázové) zmesi. Homogénne zmesi s molekulárne rozptýleným zložením jednotlivých zložiek môžu byť oddelené iba pomocou tepelného procesu oddeľovania. Tepelné oddeľovacie procesy sú operácie s prenosom hmoty. Požadované hnacie sily, koncentrácie a teplotné gradienty vznikajú v dôsledku pomocnej fázy. Tepelné oddeľovanie zmesi sa vykonáva v nasledujúcich krokoch:

- Prvá fáza je vytvorená tým, že dodáva energiu do systému alebo tým, že je pridaná pomocná súčasť,
- Hmota a súčasne teplo, sa vymieňa medzi fázami. Toto je dosiahnuté pridaním alebo odobraním energie.
- Po dokončení výmeny procesu, sa oddelia jednotlivé fázy. Spoločne s oddelením fáz dochádza k oddeleniu zmesi.

Všetky tepelné separačné procesy sa uskutočňujú v tomto poradí.

Tab. 31 Výhody a nevýhody riešenia

Výhody tohto riešenia:	Nevýhody tohto riešenia:
• získame čisté sklo a čistú fóliu.	• neekologické, • energeticky náročné.



Obr. 39 Princíp tepelných separačných procesov

4.3.4 Chemické oddeľovanie

Chemické oddeľovanie je proces, ktorý obsahuje zmes látok dvoch alebo viacerých odlišných hmôt. Oddeľovanie sa vykonáva na základe rozdielov v chemických vlastnostiach, alebo fyzikálnych vlastnostiach, ako je veľkosť, tvar, hmotnosť, hustota. Tieto vlastnosti sú často klasifikované podľa jednotlivých rozdielov, ktoré sa používajú na dosiahnutie oddeľovania. Existuje mnoho typov, podľa ktorých sa oddeľovanie uskutočňuje. Medzi najčastejšie používané vlastnosti sú tie, ktoré zahŕňajú rozpustnosť, prchavosť, absorpciu, elektrické a magnetické účinky.

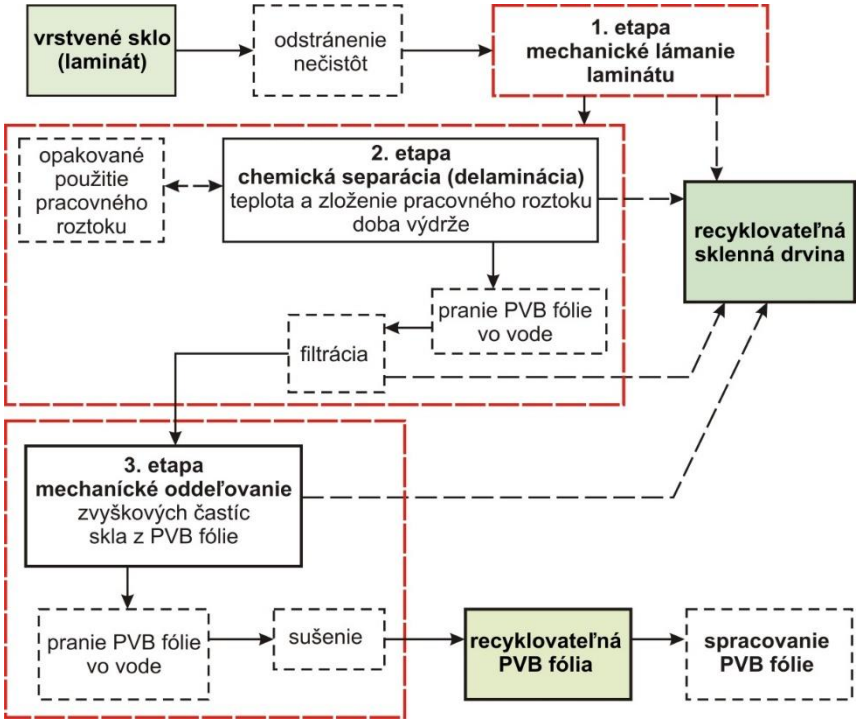
Chemické oddeľovanie je mokrý spôsob separácie skla a PVB fólie. Je omnoho prijateľnejší ako mechanické (suché) spôsoby oddeľovania, pretože voda je schopná zaručiť výrazne efektívnejšie odplavenie sklenených častíc a predovšetkým má spolu so zvyšujúcou sa teplotou rušivý účinok na vodíkovú väzbu, ktorá je zodpovedná za veľkosť adhézneho spoja medzi OH skupinami na reťazci polyméru a polárnym sklom. Je však potrebné brať do úvahy fakt, že vyšší obsah vody spôsobuje relatívne veľkú zmenu mechanických, fyzikálnych a chemických vlastností PVB fólie. Zistilo sa, že približne 2 % obsah vody dostatočne saturoval väzby lepidla, pričom zostatková priľnavosť je zapríčinená predovšetkým nedostatočnou disperznou silou. PVB fólia získaná mokrou metódou síce obsahuje pomerne nižší pomer čiastočiek skla (0,5 – 5 %), avšak toto množstvo značne kolíše a kvalita fólie je tak na opätovnú lamináciu nedostatočná. Voda pôsobí medzi molekulami ako zmäkčovadlo, čo má za následok dočasné zblednutie fólie a zníženie jej pevnosti v ťahu [5, 6, 7, 9].

Tab. 32 Výhody a nevýhody riešenia

Výhody tohto riešenia:	Nevýhody tohto riešenia:
• získame čisté sklo a podľa použitých látok aj čistú fóliu.	• podľa použitých látok možný negatívny vplyv na životné prostredie.

4.3.5 Kombinované oddeľovanie

Pri kombinovanom oddeľovaní sú využité viaceré metódy oddeľovania (napr. mechanické + termodynamické). Pomocou kombinovaného oddeľovania dokážeme eliminovať niektoré nevýhody samostatných metód a zefektívniť oddeľovací proces. Návrh kombinovanej koncepcie technológie na spracovanie vrstvených skiel je pre lepšie znázornenie uvedená na nižšie uvedenom Obr. 40 [3].



Obr. 40 Návrh koncepcie technológie na spracovanie vrstvených skiel

4.4 Laboratórna analýza známych technológií

Cieľom realizovanej laboratórnych aktivít v rámci tohto projektu je vývoj technológie, ktorá by dosahovala najvyššiu mieru separácie zhodnotenia lepených skiel. Výstupom týchto skúšok budú podklady pre návrh zariadenia, ktorým dosiahneme v čo najväčšej miere separáciu skla a ďalších zložiek.

K tomu aby sme splnili tieto ciele je potrebná:

1. analýza existujúcich princípov a technológií, definovanie ich silných a slabých stránok,

2. koncepčný návrh a výroba funkčného modelu, na ktorom by sme verifikovali nový princíp,
3. skúšky na funkčnom modely, vyhodnotenie, úprava modelu,
4. konštrukčný návrh a výroba prototypu reálneho stroja na dekompozíciu lepených skiel,
5. poloprevádzkové skúšky, vyhodnotenie.

4.4.1 Predpokladaný výskum v danej oblasti

Na trhu s odpadom zo skla sa však nachádzajú aj iné druhy skiel, ktoré sa v súčasnosti spracovávajú v menšej miere, alebo ktoré nie je možné opätovne použiť na výrobu spoločensky uplatniteľného výrobku (ide o odpadové sklo na výrobkov zo skla pre potravinársky priemysel - aplikácia smernice Európskeho parlamentu č. 94/62/ES v legislatíve Slovenskej republiky v zákone č. 119/2009 Z. z.). Sú to v prevažnej väčšine sklá s obsahom oxidov ťažkých kovov, alebo o sklá, ktoré nie v dostatočnej miere sa spracovávajú z dôvodu chýbajúcej technológie a veľká časť z nich sa dostáva na skládky tuhého komunálneho odpadu. Ich spracovanie si vyžaduje predchádzajúcu technologickú úpravu, ktorej výsledkom bude odstránenie nežiaducich komponentov.

Uvedená charakteristika mechanizmu adhézie systému laminát sklo - PVB fólia a vplyvu vybraných faktorov ovplyvňujúcich kvalitu priľnavosti v negatívnom zmysle predstavujú teoretické východisko pre návrh jedného z možných riešení problému recyklácie vrstvených autoskiel, ako aj ďalších lepených skiel, tzv. mokrou cestou. Navrhnutá technológia by mala umožniť oddeľovanie nielen väčších zlomkov skla v súlade s požiadavkami sklárskeho priemyslu, ale možno aj získať kompaktné kusy fólií vhodné na ďalšiu recykláciu.

4.4.2 Silné a slabé stránky jednotlivých technológií

Analýza spočíva v opísaní silných a slabých stránok. Predstavuje kombináciu dvoch analýz S – W a O – T. Na základe tejto analýzy možno presne definovať najvhodnejšie ciele, ktoré by zužitkovali najvýraznejšie predpoklady a pozitívne rozvojové impulzy a eliminovali problémy a prípadné riziká. Pomáha tiež identifikovať prioritné oblasti, ktoré budú predmetom rozvojovej stratégie.

Silné stránky v komodite sklo je zhodnocovanie odpadového skla aj špeciálneho skla za podpory rozvojových projektov.

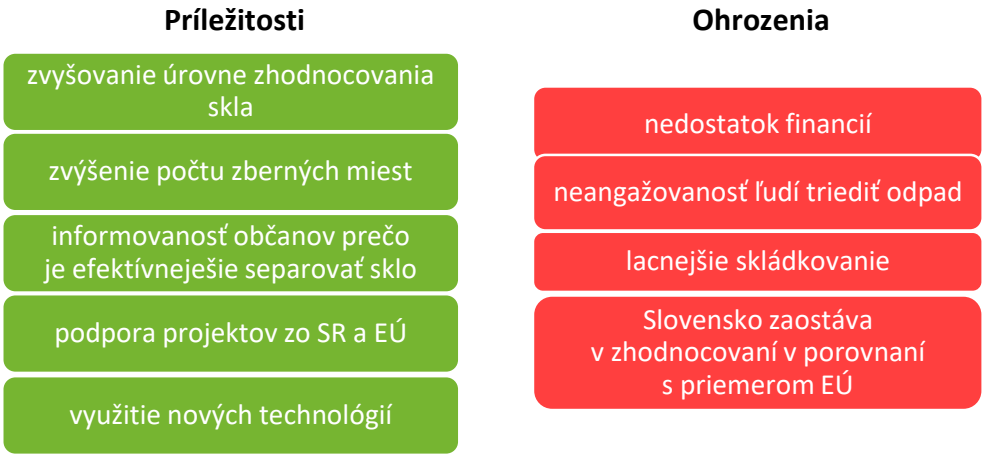
Medzi slabé stránky v komodite sklo spadá dominantnosť zhodnocovateľa Vetropack, s.r.o. Nemšová. Vznikajú vysoké náklady na prepravu skla a tým aj menší počet liniek na separáciu komponentov.

Zvyšovanie úrovne zhodnocovania skla v súčasnej dobe nie je podporovaná ale na v súlade so smernicou EÚ 52/2001 výrobcovia a predajcovia automobilov musia zabezpečiť 95 % mieru zhodnotenia hmotnosti starého vozidla. Tu je veľká príležitosť na podporu financovania vývoja nových technológií za účelom zvyšovania miery zhodnocovania.

Nevýhodou je nedostatok finančných prostriedkov. Problém je, že v súčasnosti je stále lacnejší spôsob skládkovania tohto odpadu ako zhodnocovania. V tom spočíva aj častá neochota občanov umiestniť odpad do separovaného zberu.



Obr. 41 Silné a slabé stránky



Obr. 42 Príležitosti, ohrozenia

Aby sme odstránili nedostatky a docielili percentuálne zvýšenie zhodnocovania skla v podmienkach SR musíme:

- zabezpečiť vyšší počet zhodnocovateľov,
- rozšíriť činnosti s nakladaním skla predovšetkým na východnom Slovensku,
- eliminácia vysokých nákladov na logistiku prepravy,
- informovať a motivovať ľudstvo k separovaniu skla.

4.5 Laboratórny výskum

Na základe vykonaných laboratórnych experimentov sme dospeli k riešeniu, ktoré by mohlo byť v blízkej budúcnosti uplatnené a z časti nahradené súčasnými technológiami.

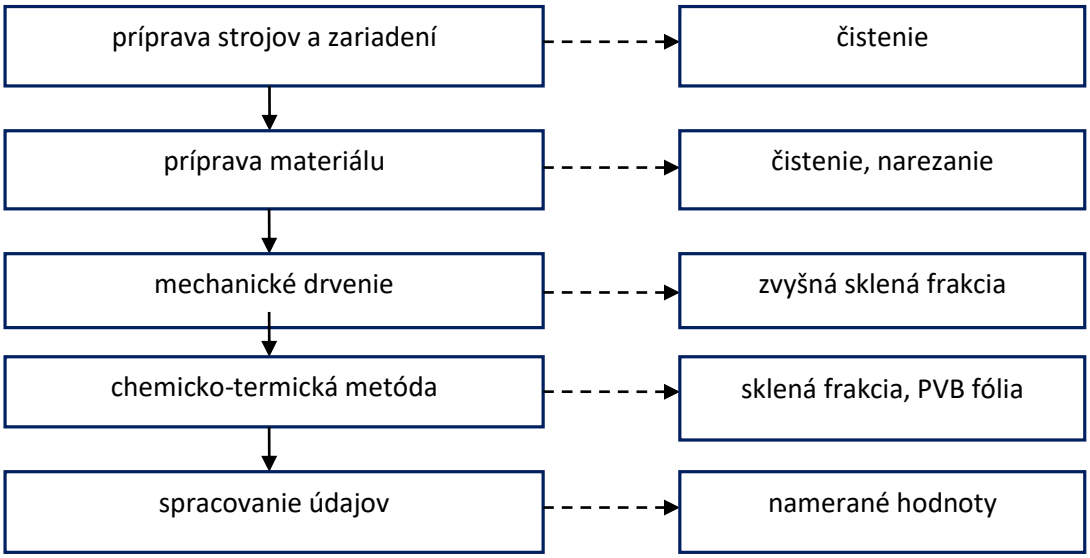
4.5.1 Plán experimentov

Každý experiment sa zakladá na dosiahnutí pozitívnych výsledkov. Aby sme získali hodnoty a riešenie daného problému je potrebné si určiť plán experimentu. Dôležitý je výber

experimentálneho zariadenia, nástrojov a postup práce, ktorý sa musí pri experimentoch dodržiavať. V tomto prípade boli laboratórne experimenty realizované na rôznych zariadeniach, ktoré nás viedli k správnemu riešeniu a výberu vhodnej metódy na oddeľovanie skla od fólie.

4.5.2 Príprava materiálu a experimentálnych zariadení

Všetky typy zariadení pracovali na princípe popraskania lepeného skla a následného oddelenia častíc skla od fólie chemicko-termickou metódou. Samotná príprava zariadení a materiálu nebola náročná. Náročnejšie bolo hľadanie riešenia ako získať požadovanú sklenú frakciu a čistú neporušenú fóliu. Na zrealizovanie týchto experimentov sme mali pripravené vzorky lepeného skla o veľkosti rozmerov 20 x 20 cm. Stroje a pomocné zariadenia po odstránení nečistôt boli pripravené a použiteľné na dosiahnutie cielených výsledkov.



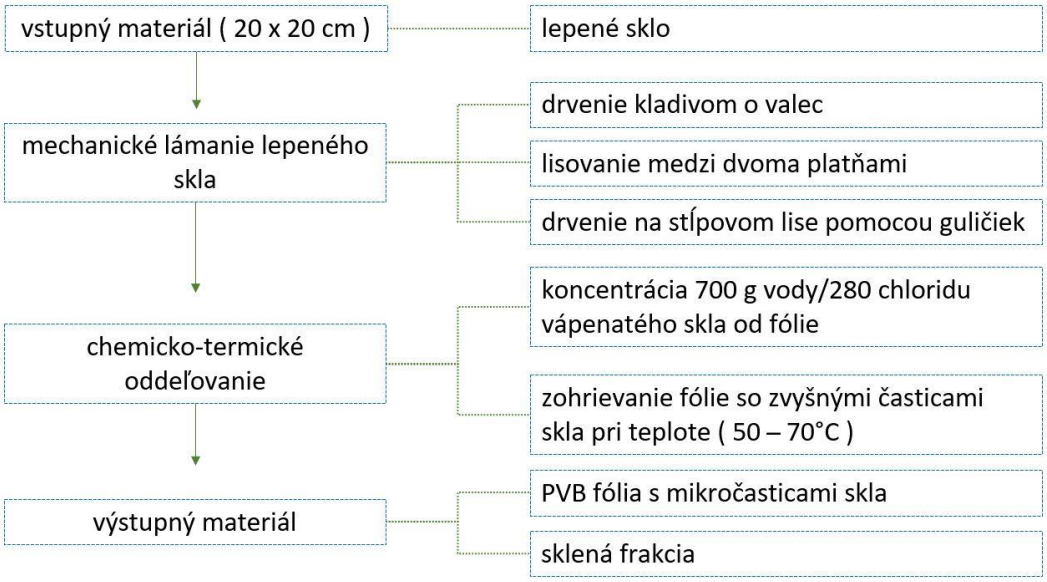
Obr. 43 Logistika prípravy zariadení a priebeh experimentu

Podstatou dodržania podmienok je správne zvolený postup pri realizácií experimentu a snaha dosiahnuť relatívny výsledok. V tomto prípade bolo cieľom popraskať sklo tak, aby sa častice skla oddelili od fólie jednoducho a v pomerne krátkom čase.

Najvhodnejším spôsobom bolo zrealizovať viacero typov skúšok, ktoré so sebou prinášali výhody a nevýhody. Na základe týchto experimentov sme dospeli k optimálnemu riešeniu podľa týchto kritérií:

- použitie rovnakého rozmerového materiálu,
- vynaložená rovnaká intenzita vibrovania,
- pomer vody s chloridom vápenatým (5:2),
- mechanické premiešavanie lepeného skla vo vodnom kúpeli,
- opakovateľnosť meraní za účelom dosiahnutia hodnoverného výsledku,
- čistota materiálu a presnosť meracích zariadení.

Aby mohol byť experiment uskutočnení je potrebné mať k dispozícií materiál a príslušné zariadenia, ktoré sú schopné vykonávať činnosť. Materiál, v tomto prípade vzorky lepeného skla sa podrobili jednotlivým experimentom, medzi ktoré patrí aj meranie hrúbky skla a fólie pomocou posuvného meradla a sitové členenie podrveného skla na rôzne veľkostné frakcie. Aby sme mohli vypočítať podiel skla a fólie, bolo potrebné zistiť hustotu skla a hustotu PVB fólie. Na výpočet hmotnostného podielu skla, sme vibrovaním pomocou preosievacieho zariadenia vytriedili jednotlivé častice skla na rôzne veľkostné frakcie. Následným vážením celkovej hmotnosti skla a veľkostných frakcií sme vypočítali percentuálne zastúpenie pre každú frakciu.



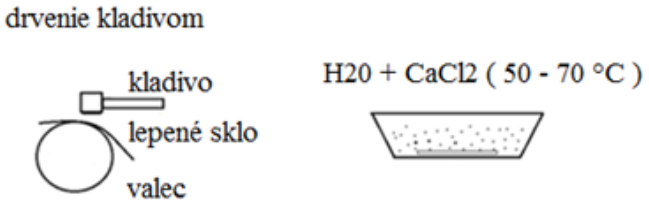
Obr. 44 Špecifikácia postupu pri realizácii experimentov

4.6 Realizácia experimentov

4.6.1 Drvenie skla kladivom o valec

Prvá časť experimentu pozostávala z mechanického obíjania lepeného skla kladivom o valec. Je to najviac vyhovujúca metóda podrvenia skla, ktorú môžete vidieť na (Obr. 45). Táto metóda je prototyp pre návrh zariadenia, ktorý bude fungovať na podobnom princípe drvenia lepeného skla [7].

Časť skla opadne a zvyšok, ktorý ostane prilepený na fólií sa jednoducho a rýchlo odstráni vodným kúpeľom pri teplote 50 - 70 °C za pomoci roztoku – chloridu vápenatého.



Obr. 45 Schéma obíjania skla kladivom o valec, vodný kúpeľ



Obr. 46 Fólia s časticami skla po obíjaní kladivom

4.6.2 Vodný kúpeľ - chemicko-termické oddeľovanie

Táto metóda spočíva na koncentrácií roztoku v pomere (5:2), ktorý tvorí 700 g vody a 280 g chloridu vápenatého. Pri teplote 50 - 70 °C sa jednoducho a rýchlo sklo odstránilo za neustálym miešaním z fólie pri teplote do 2 minút (Obr. 47).

V závislosti na tejto koncentrácií a výberom vhodnej metódy sme získali čistú fóliu, ktorá obsahovala iba malé mikročastice sklenej frakcie, čo predstavuje 5 - 6 % z celkového objemu obitého skla [8].



Obr. 47 Chlorid vápenatý, čistá fólia s malými mikročasticami skla

Chlorid vápenatý ($CaCl_2$) je biela, jemne kryštalická až práškovitá látka (Obr. 48). Je veľmi hygroskopický, na vzduchu sa mení na dihydrát, potom tetrahydrát a hexahydrát. Je rozpustný vo vode, metanole, etanole a acetóne. Využíva sa ako vysúšacie činidlo, do chladiacej zmesi, na posyp vozoviek. V potravinárstve (E509) sa používa na úpravu pH, protispekavá a spevňujúca látka, do doplnkov stravy, ako elektrolyt v nápojoch pre športovcov. V lekárstve a farmácii sa používa v dialyzačných a infúznych roztokoch, na liečbu hypokalcémie, na uštipnutia hmyzom, otravu horčíkom, pri srdcovej resuscitácii.



Obr. 48 Chlorid vápenatý bezvodý

4.6.3 Drvenie lisom medzi ryhovanými platňami

Na Obr. 49 a) je možné vidieť prípravok do hydraulického lisu. Prípravok sa skladá z dvoch platní, na ktorých sú privarené L profily, pomocou ktorých bola lisovaním lámaná vzorka lepeného skla. Treba podotknúť že vzorka skla bola vystavená veľmi vysokým tlakom, dosahovanie ktorých by bolo na prevádzkovom zariadení v praxi veľmi neekonomické. Na Obr. 49 b), c) je zobrazený spôsob pozdĺžneho a priečneho lisovania skla aj s výsledkom prasklín.



a) prípravok do hydraulického lisu



b) pozdĺžne lisovanie



c) priečne lisovanie

Obr. 49 Lisovania pod hydraulickým lisom: a) prípravok do hydraulického lisu, b) pozdĺžne lisovanie, c) priečne lisovanie

Pri tomto mechanickom spôsobe dekompozície skla vznikli veľké sklené častice o rozmere (1 x 1 cm), ktoré sa ťažko oddeľujú od fólie. Následným praním v omieľacom bubne sa sklo neoddelilo od fólie, a tým došlo k zmrašteniu PVB fólie (Obr. 50). Napriek tomu sa potvrdilo, že lepší priebeh prasklín (rovnomernosť a hustota rastra prasklín) je dosiahnuteľný pri bodovom tlaku na sklo (okrem nárastu prasklín bol dosiahnutý aj vyšší pomer oddeleného skla).



Obr. 50 Fólia s neoddeleným sklom po praní v roztoku

4.6.4 Lisovanie skla medzi guličkami

Lisovanie lepeného skla na stĺpovom hydraulickom lise prebiehalo pomocou rastrovo rozložených oceľových guličiek priemeru 20 mm v dvoch vrstvách, medzi ktorými bolo umiestnené vrstvené sklo. V tomto prípade nastal podobný problém ako pri predošlom lisovaní s tým rozdielom, že vznikli malé častice skla, ktorých oddelenie od fólie bolo náročné (Obr. 51).



Obr. 51 Fólia s malými časticami skla

4.6.5 Drvenie stĺpovým hydraulickým lisom

Zlisovanie lepeného skla (Obr. 52) na stĺpovom hydraulickom lise prebiehalo pomocou oceľových guličiek. V tomto prípade nastal podobný problém ako pri predošlom lisovaní s tým rozdielom, že vznikli malé častice skla, ktorých oddelenie od fólie bolo náročné.





Obr. 52 Stĺpový hydraulický lis, fólia s malými časticami skla

4.6.6 Skúška pevnosti vrstveného autoskla a testovanie vhodnosti tvaru nástroja

V tejto etape boli realizované experimentálne práce vyhľadávacieho charakteru orientované na pevnostné skúšky na vzorkách čelného autoskla, pričom boli testované rôzne profily razníkov. Pri pokuse bol použitý lis VEB Werkstoffprüfmaschinen (Obr. 53) inštalovaný v priestoroch Ťažkých laboratórií Strojníckej fakulty STU. Presnosť zariadenia bola odskúšaná aj ciachovaných silomerom. Pri realizácii experimentov sme ako podložku pod razník použili drevený hranol, ktorý má schopnosť plasticky sa deformovať a nijako neovplyvňoval výsledok merania. Hranol bol v lise umiestnený z dôvodu možnosti prekročenia dovolenej hranice merania lisu, čo v tomto prípade bolo 20 kN.



Obr. 53 Lis VEB Werkstoffprüfmaschinen

Testovanie pevnosti niekoľkých pripravených narezaných kusov čelného autoskla (Obr. 54) v tejto etape malo za cieľ zistiť, pri akej sile je sklo deformované a pri akej sile je následne lámané.



Obr. 54 Čelné vrstvené autosklo pripravené na recykláciu: celé (vľavo); pripravené kusy (vpravo)

Pri skúškach boli použité dva razníky (Obr. 55). Razník 2 bol vyhotovený podľa návrhu valca s rádiusom R = 70 mm. Razník 1 s profilom v tvare „V“ bol vyrobený, aby bolo možné testovať vplyv koncentrácie tlaku na zmenu účinnosti drvenia vrstveného autoskla, ktorá sa následne porovnávala s razníkom 2.



Obr. 55 Testovacie razníky: razník 1 s vnútorným profilom v tvare „V“; razník 2 s vnútorným profilom rádiusu R = 70 mm

Pri zisťovaní sily potrebnej na drvenie skla v závislosti na použitom type razníka 1 alebo 2 sme použili vopred pripravené kusy narezané z čelného autoskla z osobného automobilu značky Passat, ktoré riešiteľom projektu poskytla spoločnosť Auto glass recycling s.r.o. so sídlom pri Trnave.

Použitie razníka 1 s profilom v tvare „V“ (Obr. 56) ukázalo, že vrstva skla bola v najväčšej miere porušená v oblasti hrane razníka, pričom ostatné časti vzorky skla boli len mierne popraskané (Obr. 57). Ďalšie skúmanie porušenia vzorky potvrdilo, že sklo sa v kritickej časti síce polámalo, ale stále bolo priľnuté na fólii, čo je hlavný problém nielen mechanickej separácie, ale vo všeobecnosti recyklácie lepených autoskiel. Z vyhodnotenie zaznamenaných údajov vyplynulo, že pri použití razníka 1 na popraskanie skla bola potrebná sila väčšia 0,05 kN a na začatie procesu drvenia sila vyššia než 2 kN.



Obr. 56 Razník 1 pri procese drvenia skla





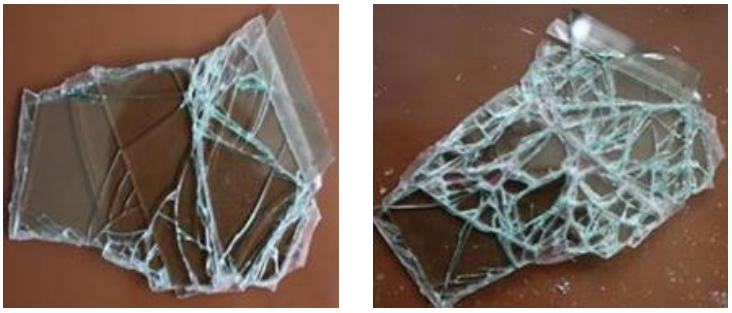
Obr. 57 Spôsob porušenie vrstvy skla na vzorke po použití razníka 1

Pri ďalšej skúške drvenia laminátu bol použitý razník 2, ktorý mal profil ako segment z valca podľa predbežného návrhu, t.j. plynulého oblúka s rádiusom R = 70 mm, ktorý sa s napredovaním prác na projekte zdokonaľoval (Obr. 58).



Obr. 58 Razník 2 pri procese drvenia skla

Pri skúške bol simulovaný priebeh procesu v súlade s kinematikou navrhovaného stroja, v ktorom malo sklo postupne prechádzať medzerou medzi dvojicu pohyblivých valcov uložených do sústavy piatich dvojíc. V laboratórnom podmienkach bola preto vzorka skla drvená v lise postupne päť krát za sebou, pričom sklo bolo po každom drvení otočené o 180°. Sila vyvíjaná na sklo pri lámaní po každom otočení bola vždy okolo 2 kN, s výnimkou posledné otočenia, kedy sklo bolo už tak polámané, že sa ohýbalo vlastnou váhou (Obr. 59).



a) po prvom cykle b) po piatom cykle

Obr. 59 Vzorky skla po drvení razníkom 2

Testovaním razníka 2 sa zistilo, že sklo síce popraská po celej ploche s profilom radiusu R = 70 mm, ale stále jeho významný podiel zostával prilepený na fólií. Postačovalo však vynaloženie subjektívne minimálnej fyzickej námahy na ohýbanie skla, aby sa začali odlupovať aj väčšie kusy, ktoré predtým zostávali prilepené na fólii (Obr. 60).



Obr. 60 Vzorka odseparovaného skla od fólie razníkom 2

V ďalšej fáze bola preto pozornosť orientovaná na hľadanie doplnkovej operácie alebo postupu, ktorý by riešil otázku oddeľovania popraskaného skla od fólie. Pri aplikovaní razníka 2 na drvenie vrstvy lepeného bolo potrebné na popraskanie vyvinúť silu väčšiu než 0,5 kN, na lámanie skla vyššiu než 2 kN a na drvenie viac než 2,2 kN.

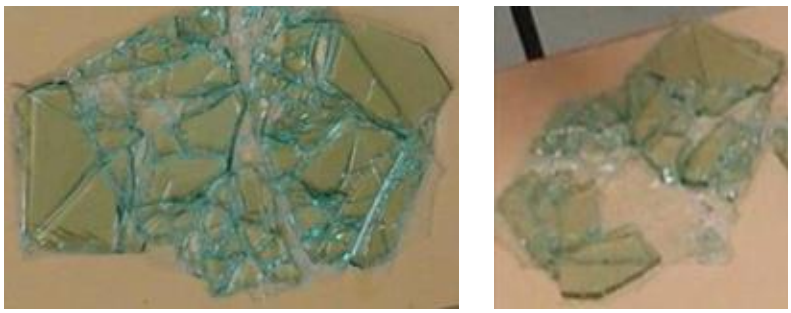
4.6.7 Oddeľovanie zvyškového skla prídavným ohrevom

Na oddeľovanie skla podrveného razníkom 2, ktoré ostalo priľnuté k fólii, bolo testované použitie teplovzdušnej pištole ako prídavného zdroja tepelnej energie (Obr. 61).



Obr. 61 Prídavný ohrev testovanej vzorky skla pomocou teplovzdušnej pištole

Na Obr. 62 je dokumentovaná štruktúra vzorky vrstvy lepeného skla po drvení pred a po aplikácii tepelného zdroja. Plocha skla bola zohrievaná pištoľou po dobu niekoľkých sekúnd na približne 40 °C, aby sa nepresiahla Vicatova teplotu mäknutia, pretože by sa fólia začala topiť a nedala by sa so 100 % úspešnosťou oddeliť od skla.



Obr. 62 Fólia so sklom pred nahriatím (vľavo) a po oddelení niektorých fragmentov skla (vpravo)

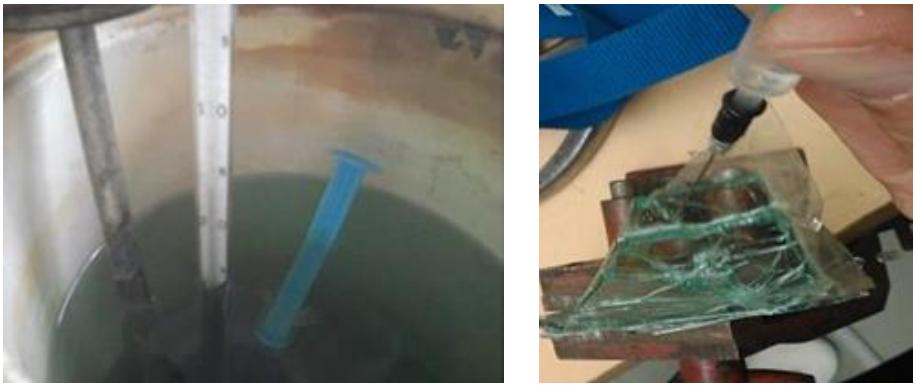


Obr. 63 Vzorka poodlupovaného skla od fólie

Po nahriatí skla sa polámané kúsky skla s rozmermi menšími ako 5 x 5 mm dali ľahko oddeliť od fólie, avšak kúsky skla s rozmermi väčšími ako 5 x 5 mm sa oddeľovali od fólie ťažšie alebo sa nedali oddeliť vôbec. Na Obr. 63 sú znázornené kúsky skla, ktoré sa dali jednoducho oddeliť od fólie.

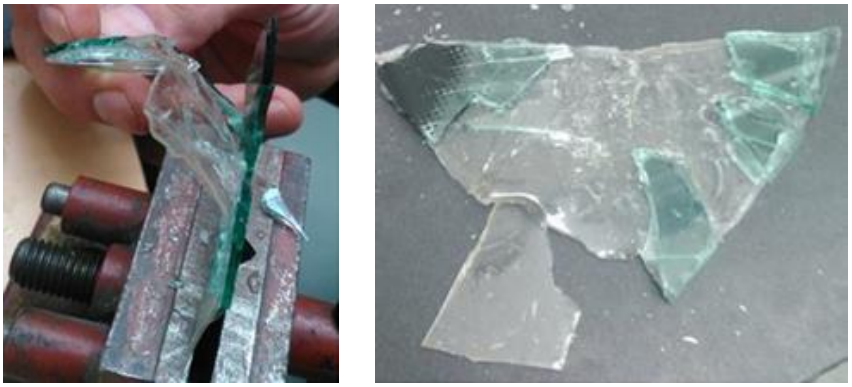
4.6.8 Oddeľovanie zvyškového skla ochladzovaním kvapalinou

V ďalšom kroku bola testovaná reakcia polámaného čelného skla na zohriatie teplovzdušnou pištoľou a následné rýchle ochladenie tekutinou až teplotu -25 °C. Tekutinu sme na rozrušené sklo nanášali dvoma spôsobmi, a to ponorením do nádoby s chladiacou tekutinou (Obr. 64 a)) alebo vstrekovaním chladiacej kvapaliny injekčnou striekačkou medzi vrstvy skla a fólie (Obr. 64 b)).



a) ponáranie b) vstrekovanie

Obr. 64 Vplyv chladiacej kvapaliny na podrvenú vrstvu skla



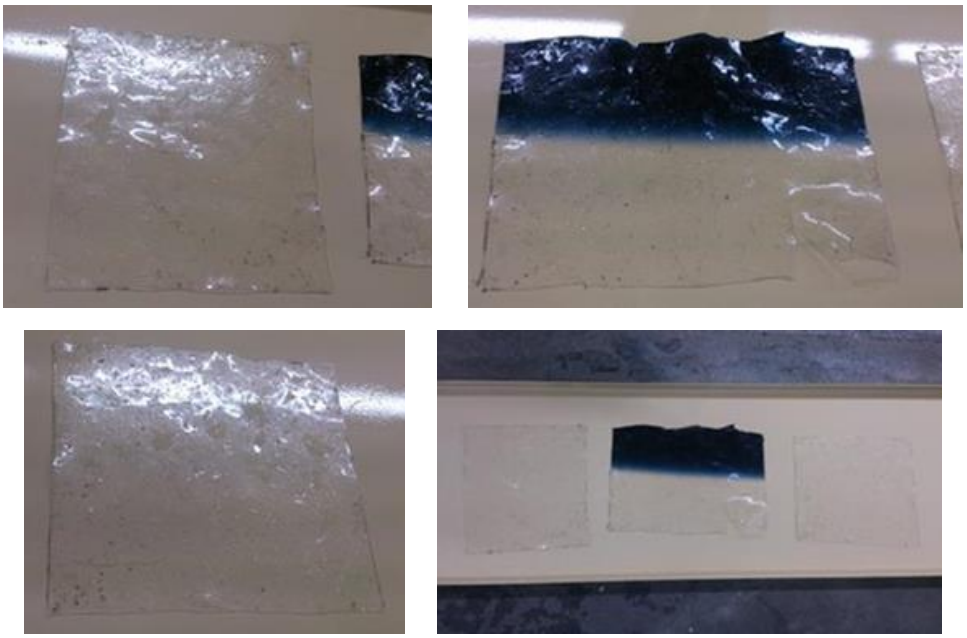
a) priebeh b) výsledok

Obr. 65 Proces oddeľovania skla od fólie po vstrekovaní chladiacej kvapaliny

Pri prvom variante - ponáranie testovanej vzorky do chladiacej kvapaliny - sklo nereagovalo podľa očakávania a oddeľovanie fragmentov skla nebolo jednoduchšie. Avšak po zahriatí vzorky podrveného lepeného skla a následnom vstrekovaní zmrazenej kvapaliny (roztok metanolu a destilovanej vody) na rozhrania medzi sklo a fóliu bolo možné sklo oddeliť jednoducho, pretože pod jednotlivé fragmenty sa dostávala kvapalina dôsledkom čoho dochádzalo k finálnej degradácii adhéznych síl (Obr. 65).

4.6.9 Zohrievanie a pranie fólie PVB

Ďalší test bol zameraný skúmanie možnosti odstraňovania zvyškových sklených úlomkov z fólie PVB pôsobením tepla a vodného roztoku $CaCl_2$. Pripravený roztok vody s $CaCl_2$ (700 ml H_20, 280g $CaCl_2$) bol v zásobníku zohriaty na teplotu 50 až 70 °C. Fólia PVB bola ponorená do roztoku na dobu 5 minút a potom ručne premytá. Sklené fragmenty sa z fólie vplyvom teplého roztoku a šmyku oddelili. Kvalita čistoty povrchu a súvislosti recyklovanej fólie PVB je dokumentovaná na Obr. 66.



Obr. 66 Kvalita čistoty povrchu a súvislosti recyklovanej fólie PVB

4.7 Vyhodnotenie experimentov a analýza výsledkov

Vyhodnotenie experimentov spočíva na vhodnom výbere metódy a technológie, ktorý sa určuje na základe zrealizovaných laboratórnych experimentov. Spomedzi všetkých experimentov je najvhodnejšia metóda - mechanické obíjanie skla kladivom o valec, Obr. 46. Výsledkom sú namerané hodnoty, z ktorých sme vypočítali podiel skla a fólie, ktoré sme získali pri drvení a oddeľovaní lepeného skla od fólie chemicko-termickou metódou.

Tab. 33 Hustota fólie a skla

Hustota PVB fólie (ρ_{PVB})	Hustota skla (ρ_s)
ρ = 1,07 – 1,2 g.cm^{-3}	2 500 kg.m^{-3}

Výpočet podielu skla, fólie a hmotnostného podielu skla sme získali na základe týchto faktorov:

- meranie hrúbky PVB fólie,
- meranie hrúbky skla,
- váženie celkovej hmotnosti lepeného skla,
- triedenie častíc skla vibrovaním v preosievacom zariadení.

Výsledok pozostával minimálne zo siedmych meraní a následným delením počtom meraní. Hustota skla a PVB fólie je daná a uverejnená z overených zdrojov (Tab. 34).

Tab. 34 Namerané hodnoty

	Hrúbka PVB fólie (h_{PVB})	Hrúbka skla (h_s)
1.	0,72 mm	2,14 mm
2.	0,74 mm	2,15 mm
3.	0,74 mm	2,15 mm
4.	0,71 mm	2,17 mm
5.	0,7 mm	2,14 mm
6.	0,8 mm	2,14 mm
7.	0,8 mm	2,16 mm
Ø	**0, 74 mm**	**2,15 mm**

Výpočet hmotností:

PVB: $\rho_{PVB} \times h_{PVB}$ = 1 070 kg.m^{-3} x 0,00000074 m^3 = 0,0007918 kg

Sklo: $\rho_s \times h_s$ = 2 500 kg.m^{-3} x 0,000000215 m^3 = 0,0005375 x 2 = 0,001075 kg

m_c: $m_{PVB} + m_s$ = 0,001075 kg + 0,00079 kg = 0,001865 kg

m_c - celková hmotnosť skla a PVB fólie

Percentuálny podiel skla a PVB fólie:

$$\frac{m_{PVB}}{m_c} \times 100\ \% = \frac{0{,}0007918\ \text{kg}}{0{,}001865\ \text{kg}} \times 100\ \% = 42{,}46\ \%$$

$$\frac{m_{skla}}{m_c} \times 100\ \% = \frac{0{,}001075\ \text{kg}}{0{,}001865\ \text{kg}} \times 100\ \% = 57{,}64\ \%$$

m_{PVB} - hmotnosť PVB fólie

m_{skla} - hmotnosť zvyškového skla prilepeného na fólií

Percentuálny podiel skla je vypočítaný z výsledných frakcií, ktoré sme dosiahli pomocou preosievacieho zariadenia (Tab. 35).

Tab. 35 Frakcie skla

Veľkosť frakcie	Hmotnosť	Percentuálny podiel
4 mm	88,85 g	9,82 %
2 mm	433,52 g	47,99 %
1 mm	211,91 g	23,43 %
0,5 mm	9 086 g	10,05 %
< 0,5 mm	77,35 g	8,55 %

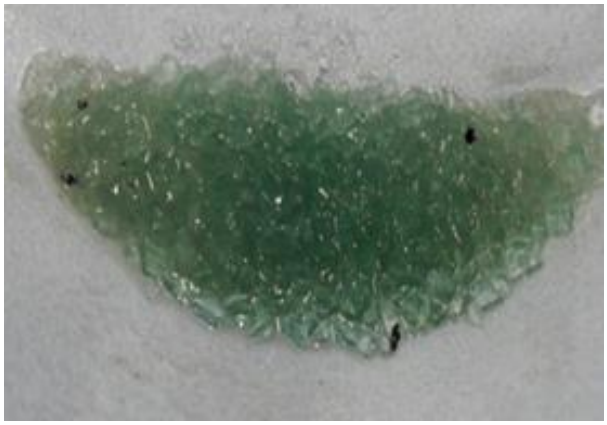
Princíp skúšky bol založený na preosievaní častíc rozbitého skla, cez horizontálne vibračné sitá, ktoré mechanicky triedia častice na jednotlivé frakcie podľa veľkosti v klesajúcom trende.

Počet sít a rozmery otvorov sa musia vybrať podľa rozmerovej špecifikácie skutočného materiálu vzorky. Sitovanie sa uskutočnilo na sitovacom prístroji Retsch AS 200, Obr. 71. V tomto prípade boli, pri preosievaní častíc skla použité okrúhle sitá s veľkosťami otvorov 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm pri frekvencii 50 Hz a nastavenom čase na 1 minútu. Vyseparované frakcie sú znázornené na Obr. 67. Celková hmotnosť častíc skla m_c = 902,49 g.



Obr. 67 Výsledné veľkostné frakcie

Následne boli dané vzorky vymývané vo vodnom kúpeli (Obr. 47), pri ktorom sa oddelilo 47,71 g skla, (Obr. 68).



Obr. 68 Posledná sklená frakcia oddelená chemicko - termickou metódou

4.8 Funkčné vibračné skúšky

Na základe výsledkov prvej etapy sme následne navrhli funkčný laboratórny „oklepávacieho-vibračného“ zariadenia. Druhá etapa experimentálnych prác následne pokračovala na laboratórnom modeli vibračného zariadenia, ktorý bol na tento účel skonštruovaný na riešiteľskom pracovisku. Experimentálne zariadenie využívajúce na drvenie vzorky vrstveného skla mechanické vibrácie je dokumentované na Obr. 69. Funkčnú časť stroja tvoria dve platne. Jedna pevne spojená so základom, na druhej pružne spojenej je umiestnený vibračný elektromotor. Na stykových stranách obidvoch platní sú umiestnené tvarové profily z uholníkov alebo roxorov.



Obr. 69 Vibračný stend



Obr. 70 Vzorka 1 pred začatím testov



Obr. 71 Sitovací prístroj Retsch AS 200

Vlastné merania sa uskutočnili na 3 neporušených testovacích vzorkách, ktoré mali rovnaké rozmery. Každá vzorka vrstveného autoskla bola drvená 3-krát z každej strany. Na vzorkách bola zisťovaná ich hmotnosť po jednotlivých drveniach a hmotnosť jednotlivých frakcií skla po meraní. Vzorka (ďalej len vzorka 1) mala rozmery 400 x 295 mm a hmotnosť 1 300 g pred testovaním. Namerané hmotnosti vzorky 1 po šiestich cykle vibrácií, t.j. 3 cykly z každej strany vrstveného skla, sú uvedené v Tab. 36.

Sklo odlupované z fólie PVB počas vibračných cyklov bolo zachytávané v zbernej nádobe umiestnenej pod vibračným stendom. Odseparované sklo bolo podrobené granulometrickej analýze na určenie hmotnosti a podielu skla v 5 veľkostných frakciách. Na triedenie sklenej drviny bol použitý sitovací prístroj Retsch AS 200. Výsledky granulometrickej analýzy sú uvedené v Tab. 37.



Obr. 72 Jednotlivé frakcie skla vzorky 1 po sitovej skúške [1]

Rovnaký postup a podmienky priebehu experimentu boli aplikované aj pri ďalších dvoch vzorkách z vrstveného skla. Vo všetkých prípadoch výsledky meraní potvrdili najvyššiu hmotnosť frakcie II. s časticami skla s veľkosťou 2 – 4 mm.

4.8.1 Vyhodnotenie výsledkov vibračných skúšok

Pre sumarizáciu a vyhodnotenie výsledkov realizovaných experimentálnych meraní bol vypočítaný priemer pôvodnej hmotnosti, priemery hmotnosti vzoriek a vývoj úbytku priemernej hmotnosti po každom cykle vibrácií, v Tab. 36.

Tab. 36 Vývoj úbytku hmotnosti analyzovaných vzoriek počas 6 cyklov vibrácií

hmotnosť vzorky [g]	pôvodná	po 1. cykle	po 2. cykle	po 3. cykle	po 4. cykle	po 5. cykle	po 6. cykle
vzorka 1	1 300	862	558	396	307	192	99
vzorka 2	1 271	934	594	470	352	213	98
vzorka 3	1 294	844	540	433	345	225	105
priemerná hmotnosť	**1 288**	880	564	433	335	210	101
priemerný úbytok		**408**	326	131	**98**	125	109

Z Tab. 36 vyplýva, že priemernú pôvodnú hmotnosť odobratej vzorky autoskla 1 288 g sa podarilo spôsobom mechanickej separácie znížiť na hmotnosť 101 g, čo predstavuje úbytok hmotnosti o 92,16 % a zároveň približne zodpovedá hmotnosti recyklovanej fólie PVB. Z vypočítaných priemerných úbytkov hmotnosti je zrejmé, že najväčší úbytok nastáva po prvom drvení, kedy bolo možné pozorovať opadávanie väčších kusov skla z fólie PVB, keď hmotnosť klesla priemerne o 408 g, t.j. o 31,68 % pôvodnej hmotnosti. Graficky sú tieto údaje spracované v Obr. 73.

Na základe známych údajov o fólii PVB, ako sú jej hustota ρ, hrúbka fólie v lepenom autoskle h, rozmery, bolo možné vypočítať približnú hmotnosť m pôvodnej čistej PVB fólie:

$$m = \rho \,.\, h \,.\, (a \,.\, b) = 1{,}070 \,.\, 0{,}076 \,.\, (39{,}5 \,.\, 29{,}5) = 94{,}76 \text{ g}$$

kde: ρ je hustota PVB fólie, ρ = 1,07 – 1,2 g.cm^{-3}, pre výpočet bola zvolená najnižšia,
h je hrúbka fólie v autoskle, h = 0,76 mm = 0,076 cm,
a, b je priemerný rozmer vzorky s fóliou PVB, a = 39,5 cm, b = 29,5 cm.

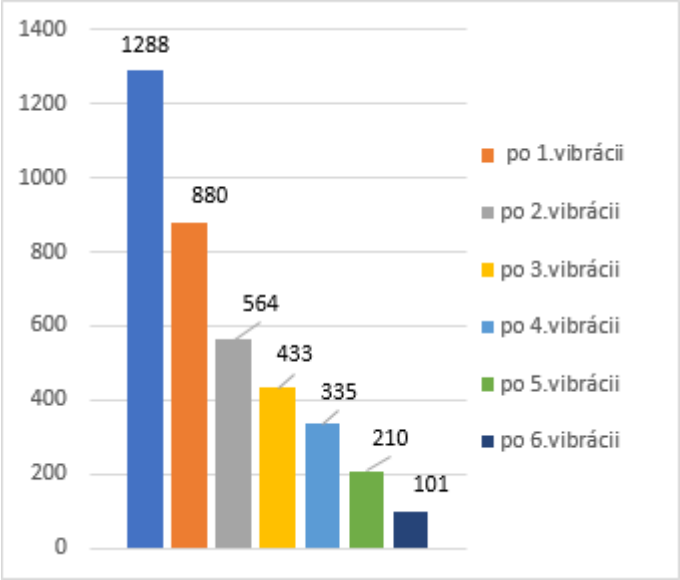
Rozdiel medzi vypočítanou hmotnosťou fólie a hmotnosťou očistenej fólie je 6,24 g.

Tab. 37 Granulometrická analýza vzoriek 1 až 3

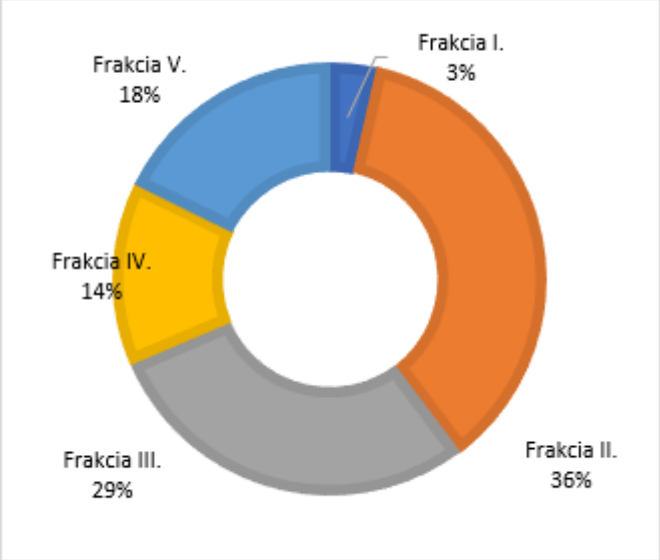
	frakcia I. nad 4 mm	frakcia II. 2 – 4 mm	frakcia III. 1 – 2 mm	frakcia IV. 0,5 – 1 mm	frakcia V. pod 0,5 mm
Vzorka 1 [g]	42	423	342	164	212
Vzorka 2 [g]	45,5	404	340	160	203
Vzorka 3 [g]	37	442	329	159	205
Priemerná hmotnosť [g]	41,5	423	337	161	207
Priemerné podiely [%]	3,2	32,8	26,2	12,5	16

Namerané a vypočítané hodnoty granulometrickej analýzy pre všetky 3 vzorky, ktoré sa podrobili mechanickej recyklácii, sú uvedené v Tab. 37. Výsledky potvrdzujú predchádzajúce zistenie, že najväčší priemerný, približne 32,8 % podiel v objeme odseparovaného skla má frakcia II. s časticami s veľkosťou 2 – 4 mm a najmenší podiel,

približne 3 %, pripadá na frakcia I. s časticami skla nad 4 mm. Graficky je úbytok hmotnosti zobrazený v grafe na Obr. 73 a percentuálny podiel jednotlivých frakcií znázornený v Obr. 74.



Obr. 73 Hmotnosti po jednotlivých vibráciách



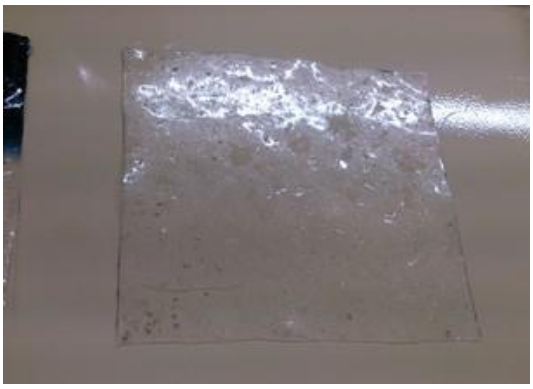
Obr. 74 Percentuálny pomer frakcií

Ďalší test bol zameraný skúmanie možnosti odstraňovania zvyškových sklených úlomkov z fólie PVB po vibráciách

Obr. 75 a) pôsobením tepla a vodného roztoku $CaCl_2$. Pripravený roztok vody s $CaCl_2$ (700 ml H_20, 280 g $CaCl_2$) bol v zásobníku zohriaty na teplotu 50 až 70°C. Fólia PVB bola ponorená do roztoku na dobu 5 minút a potom ručne premytá. Sklené prachové fragmenty sa z fólie vplyvom teplého roztoku a šmyku oddelili. Kvalita čistoty povrchu a súvislosti recyklovanej fólie PVB je dokumentovaná na Obr. 75 b). Priemerný úbytok hmotnosti skúmaných vzoriek po vypratí a vysušení bol 3,8 g a teda ich priemerná hmotnosť 97,2 g. Pri porovnaní hmotnosti čistej fólie a priemernej hmotnosti skúmaných vzoriek môžeme konštatovať že bola dosiahnutá 97,5 % účinnosť vyčistenia.



a) po 6 cykloch vibrácií



b) po vypratí

Obr. 75 Odstraňovanie zvyškových sklených úlomkov z fólie PVB

4.9 Návrh funkčných modulov

4.9.1 Podstata navrhovaného riešenia

Podstata konštrukcie navrhnutého technologického zariadenia na spracovania odpadového vrstveného skla spočíva v tom, že pozostáva z viacstupňovej zostavy variabilných modulov. Vďaka tejto zásadnej vlastnosti je možné na jednom zariadení spracovávať lepené sklá rôznych hrúbok, rozmerov, či dokonca viacnásobne vrstvené sklá. Tým sa vytvárajú nové variabilné konfigurácie pre konkrétne požiadavky jednotlivých zákazníkov. Opisované moduly sú schopné pracovať samostatne, ako aj spoločne s plynulou nadväznosťou technológie. Ich vzájomné pohyby a spoluprácu je možné zviazať vďaka frekvenčne riadeným pohonom jednotlivých valcov ako aj frekvencii použitého priemyselného vibrátora. Na jednej strane tým jednotliví zákazníci získajú stroje „šité na mieru“ na strane druhej „modulová koncepcia“ umožňuje široké uplatnenie takýchto strojov pri spracovaní odpadových lepených skiel najmä v stavebnom a automobilovom priemysle [9, 10].

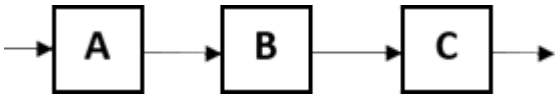
Podstata spôsobu vysoko účinnej dekompozície vrstvených odpadových skiel je založená na tom, že pláty odpadového lepeného skla nie sú drvené na malé kusy, ale v celistvosti sú v lámacom module lámané v priečnom aj pozdĺžnom smere medzi dvoma pármi lámacích profilových valcov, následne sú takto polámané celistvé sklá v ďalšom module otrepávané medzi vibračným nástrojom s ihlanovými hrotmi v tvare lišty a hladkým odvaľujúcim valcovým nástrojom a napokon sú v ďalšom module posledné prichytené úlomky skla k PVB fólií stierané stieracími valcami.

Táto modulová technológia spracovania odpadového vrstveného skla môže byť podľa potreby doplnená o proces popraskania odpadového vrstveného skla v prijímacom module popraskania odpadového lepeného skla, ktorý je tvorený dvomi hladkými valcami, alebo podľa potreby môže byť v linke zaradených za sebou aj viac rovnakých modulov.

Technológia môže byť taktiež doplnená o ofukovanie prachových častíc skla z PVB fólie prúdom vzduchu zo ústavy vzduchových dýz za stieraním posledných prichytených úlomkov skla z PVB fólie.

V minimálnej konfigurácii (Obr. 76) linka pozostáva zostava z jedného lámacieho modulu, v ktorom je sklo lámané v priečnom aj pozdĺžnom smere medzi dvoma pármi lámacích

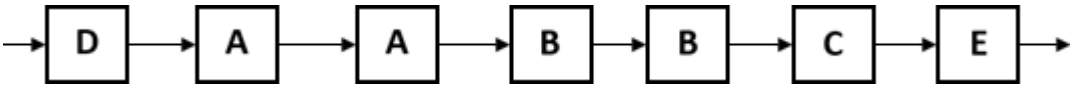
profilových valcov. Druhým modulom linky je otrepávací vibračný modul, kde sú polámané ale celistvé sklá otrepávané medzi vibračným nástrojom s ihlanovými hrotmi. Koncovým modulom takejto minimálnej zostavy je stierací modul v ktorom, na základe rôznych frekvencií otáčania stieracích valcov, dochádza k mechanickému vyčisteniu PVB fólie.



Legenda: A – lámací modul, B – vibračný modul, C – stierací modul

Obr. 76 Minimálna konfigurácia linky

Pri hrubých a viacnásobne vrstvených sklách je možné niektoré moduly zaradiť aj viac krát, Obr. 77. Za účelom zvýšenia výkonu spracovania a čistoty získanej fólie je konfigurácia linky doplnená aj prijímací stôl a prací modul, kde dochádza k vypratiu PVB fólie v teplom vodnom roztoku.

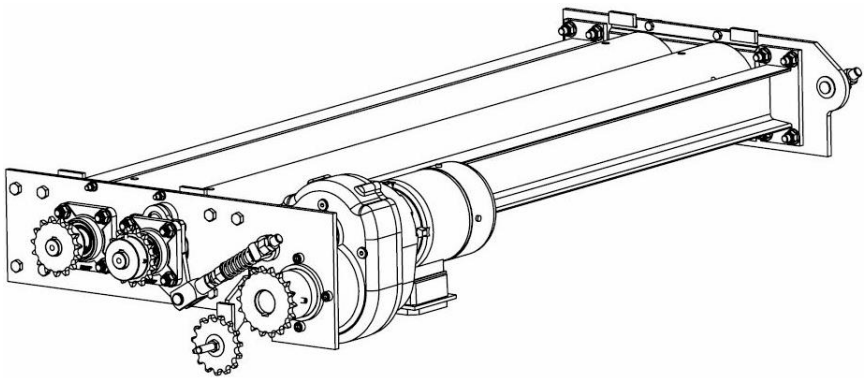


Legenda: D – prijímací modul, A – lámací modul, B – vibračný modul, C – stierací modul, E – modul prania

Obr. 77 Príklad širokej konfigurácie linky

4.9.2 Popis jednotlivých modulov

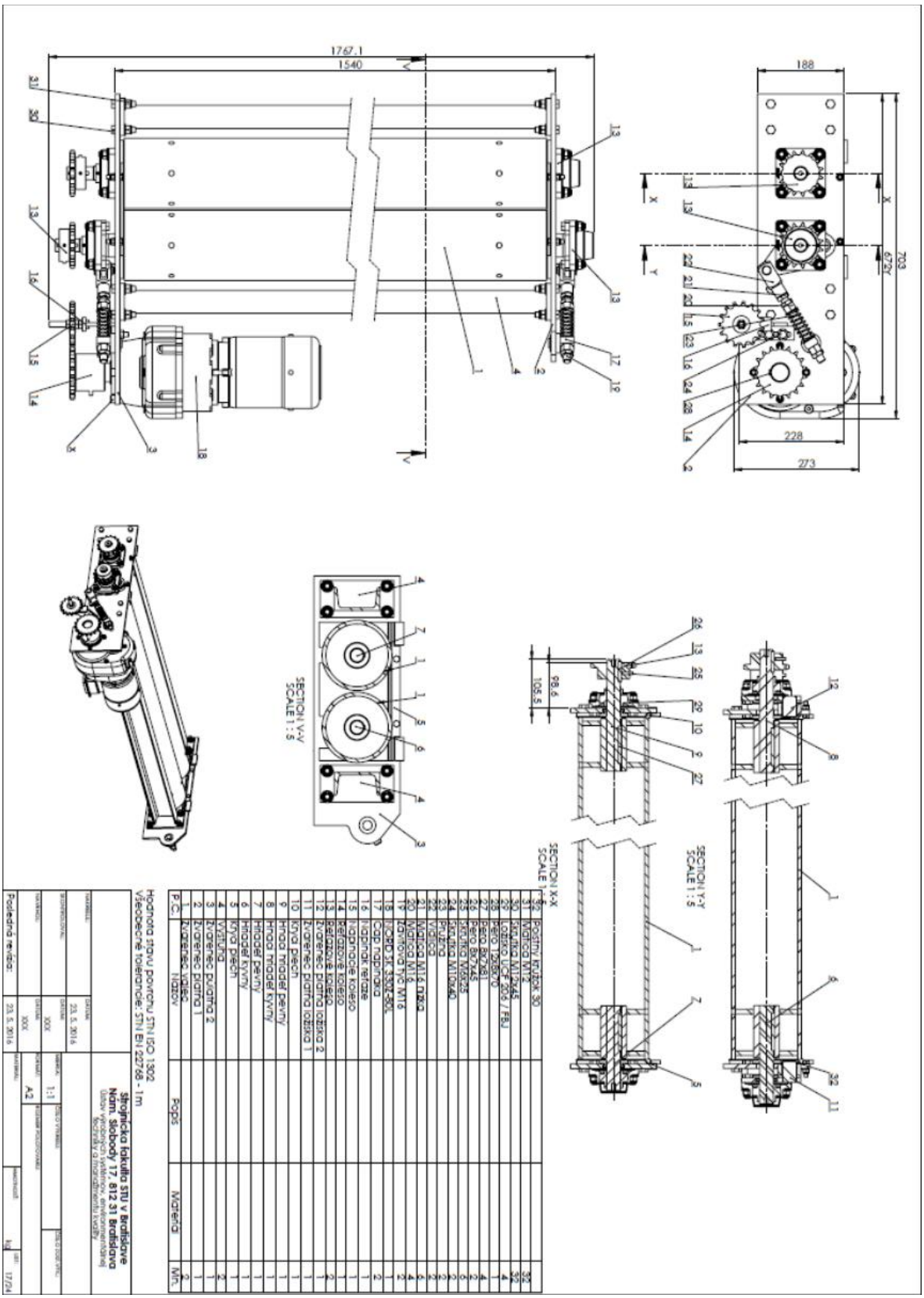
Prvý technologický modul, tzv. podávací modul, pozostáva z dvoch valcov, medzi ktorými je nastaviteľná štrbina v závislosti na hrúbke spracovávaného skla (Obr. 78).



Obr. 78 Primárny podávací modul s valcami

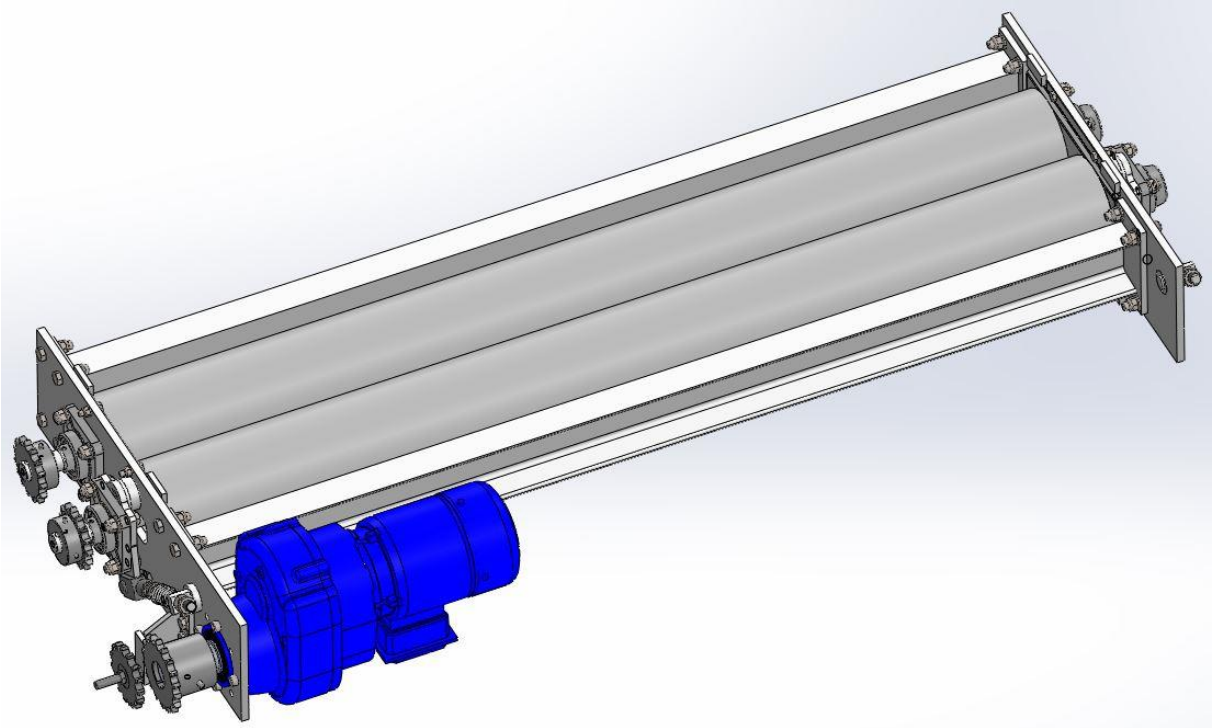
Tieto valce sú spriahnutým prevodom poháňané. Tento modul má niekoľko zásadných funkcií: zabezpečuje plynulé vťahovanie skla a jeho regulovateľné podávanie do ďalšieho modulu; zabezpečuje vyrovnanie zaoblených autoskiel pre ďalšie spracovanie; vďaka navrhnutému profilu valcov zabezpečuje modul primárne rovnomerné a veľmi husté lámanie resp. popraskanie skla bez porušenia PVB fólie, čím sa zásadným spôsobom znižuje pevnosť

skla pred ďalším spracovaním a zefektívňuje sa jeho oddeľovanie od PVB fólie v nasledujúcich operáciách vďaka výraznému zníženiu adhézie medzi vrstvami skla a fólie.



Obr. 79 Zostavný výkres podávacieho modulu s nastaviteľnou štrbinou a pružným dotláčaním vťahovacích valcov [8]

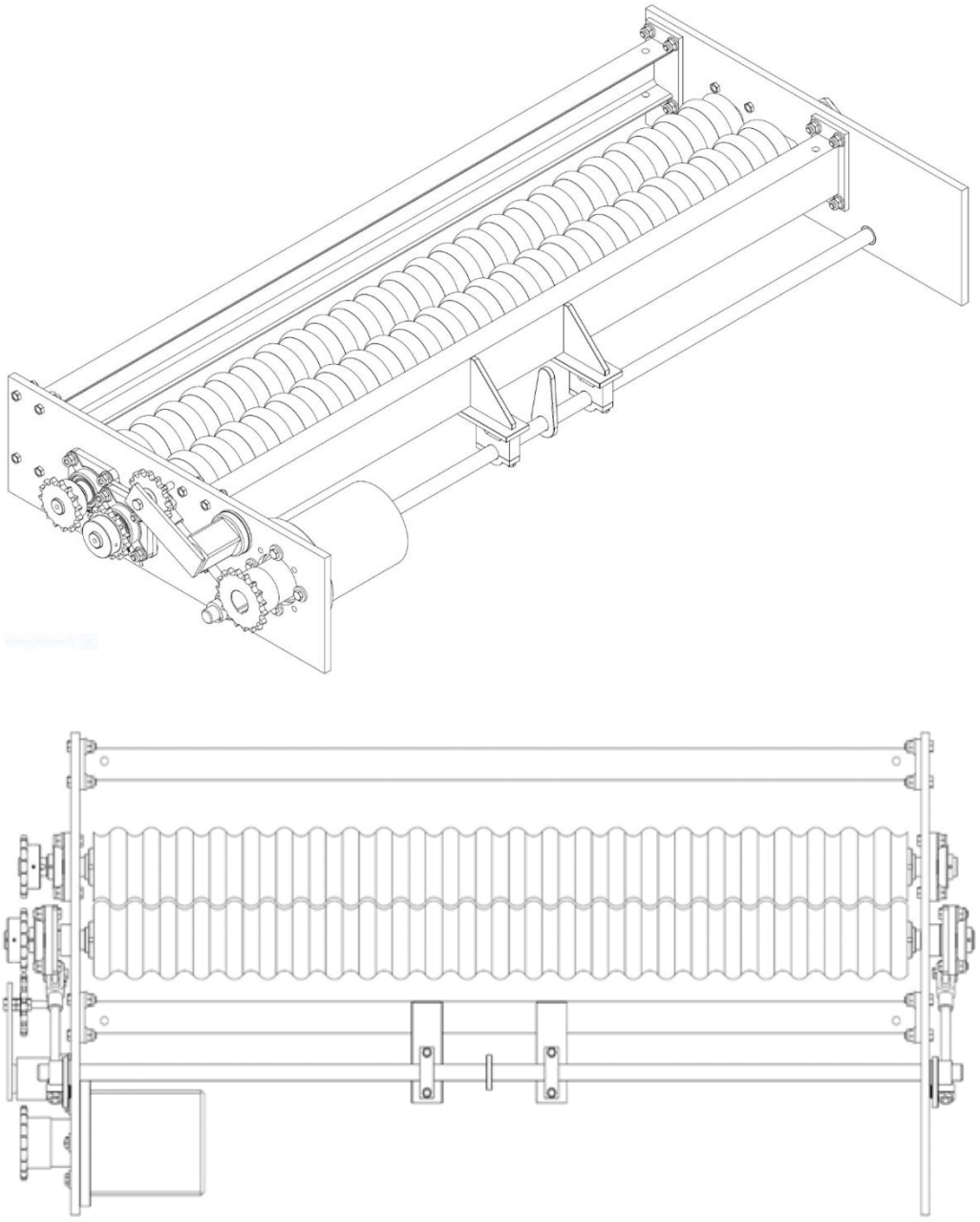
Z výkresu na Obr. 79 je zrejmý princíp uloženia vťahovacích valcov a ich spriahnutý pohon s pružným dotláčaním. Na Obr. 79 je uvedené realizované konštrukčné vyhotovenie primárneho podávacieho modulu a na Obr. 80 je zobrazený konštrukčný návrh podávacieho modulu vo forme trojrozmerného modelu.



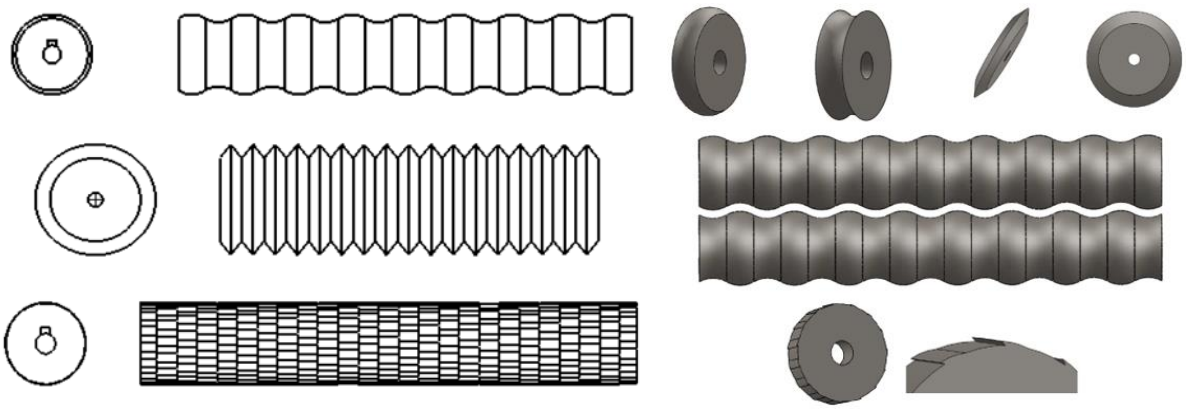
Obr. 80 3D model konštrukčného riešenia podávacieho modulu [2]

Sekundárny vyvinutý modul, tzv. lámací modul, technologicky nadväzuje na predupravené sklo ako výstup z primárneho modulu. Z konkrétneho konštrukčného hľadiska je lámací modul A tvorený dvoma pármi lámacích valcov 1 s tvarovým profilovaním, kde za prvým párom lámacích valcov 1 je umiestnený druhý pár lámacích valcov 1, pričom prvý pár lámacích valcov 1 je vertikálne posunutý voči druhému páru lámacích valcov 1. Profilovanie lámacích valcov 1 je také, že sa striedajú časti plášťa s väčším priemerom s časťami plášťa s menším priemerom. Pritom plášť jedného lámacieho valca 1 s menším priemerom zapadá do plášťa druhého lámacieho valca 1 s väčším priemerom tak, že je medzi plášťami valcov medzera zrovnateľná s hrúbkou vrstveného skla. Tvar pozdĺžneho profilu a dĺžku týchto valcov je možné jednoducho meniť výmenou profilu kotúčov, ktoré sú nasadzované na tieto valce. Lámacie valce 1 sú poháňané spriahnutým prevodom zo samostatného elektromotora. Jeden lámací valec každého páru valcov je spriahnutý s nastavovacím mechanizmom na nastavenie medzery medzi lámacími valcami každého páru, čo je znázornené na Obr. 81. Možnosti usporiadania rôznych druhov lámacích kotúčov sú zrejmé z Obr. 82.

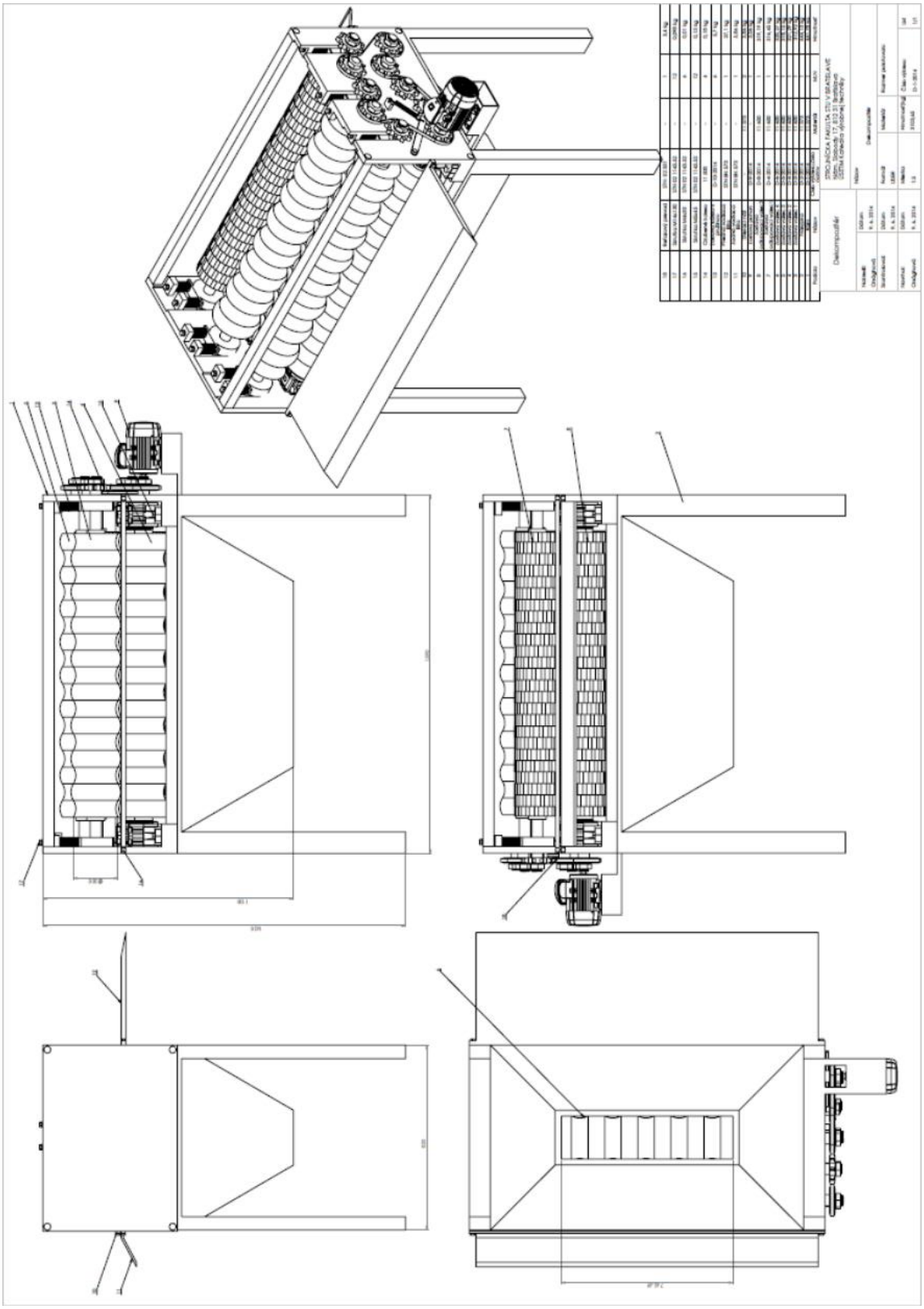
Obr. 83 je uvedené realizované konštrukčné vyhotovenie primárneho lámacieho modulu a na Obr. 84 3D model lámacieho modulu v kombinácii so stieracím modulom.



Obr. 81 Dvojica valcov lámacieho modulu [2]

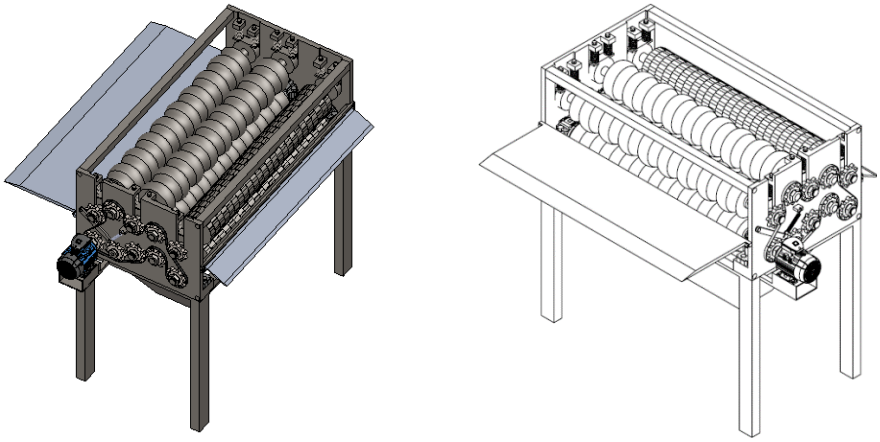


Obr. 82 Rôzne konštrukcie, tvary a možnosti radenia lámacích kotúčov [7]

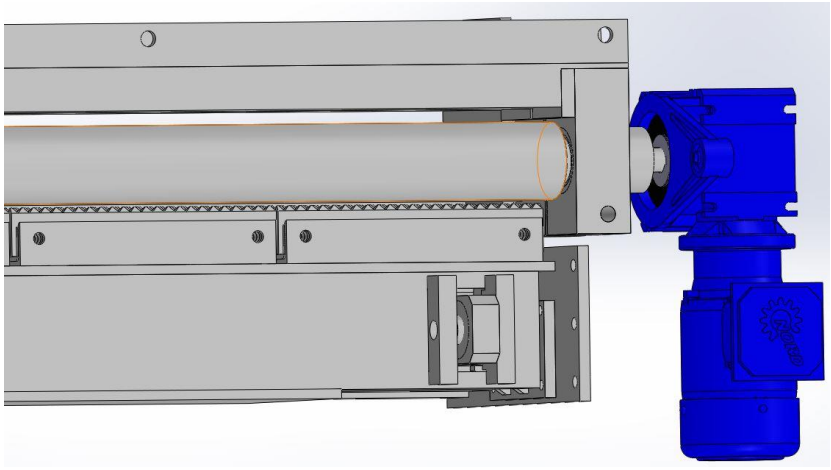


Obr. 83 Viacnásobné radenie párov lámacích dvojíc v kombinácií stieracou dvojicou kotúčov [2]

Princíp jeho práce spočíva vo vibračnom module spočíva v obíjaní skla medzi nástrojmi s ihlanovými hrotmi a odvaľujúcimi sa hladkými valcovými nástrojmi, ktoré zabezpečujú plynulý a rovnomerný pohyb spracovávaného skla (Obr. 85).

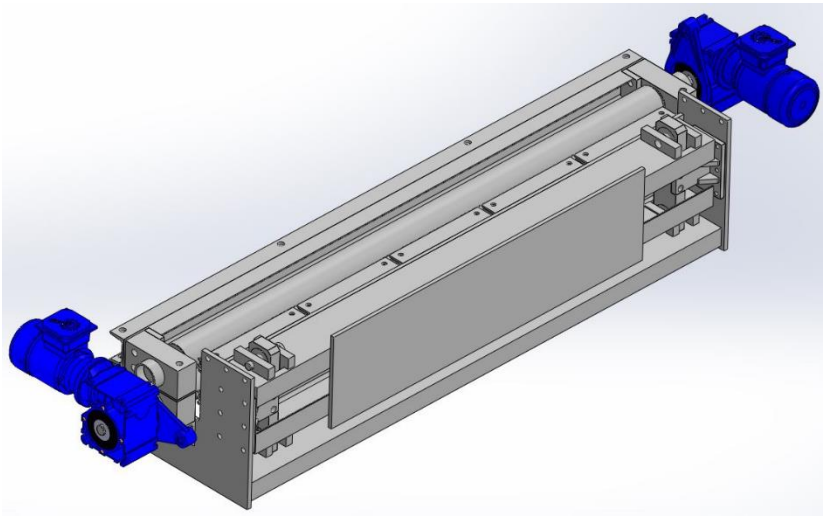


Obr. 84 3D viacnásobné radenie párov lámacích dvojíc v kombinácií stieracou dvojicou kotúčov



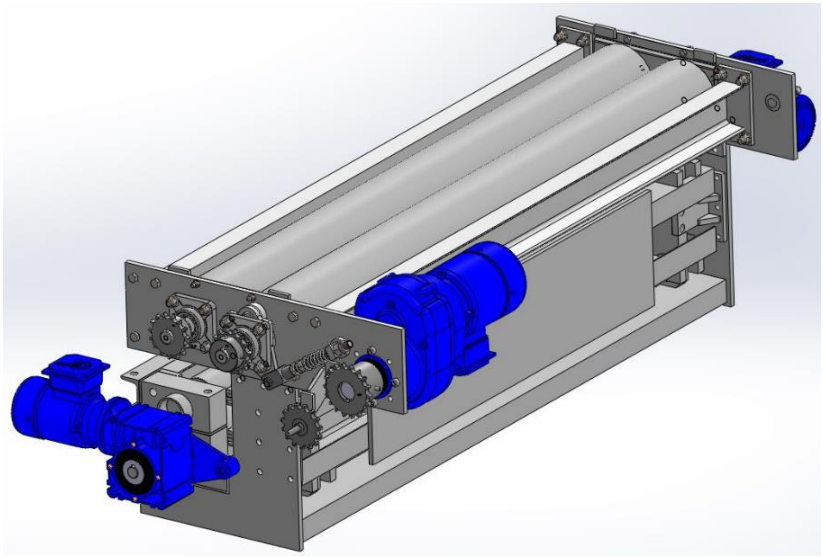
Obr. 85 3D model vibračného modulu - detail nástrojov a pracovnej štrbiny

Modul obsahuje nástroje v dvoch radoch nad sebou (Obr. 86). Hladké valce sú poháňané frekvenčne riadenými pohonmi. Samotný proces obíjania skla z fólie zabezpečujú ihlanovité nástroje pohybujúce sa priamočiarym vratným pohybom, ktorý im vyvoláva priemyselný vibrátor. Na Obr. 88 je zobrazený konštrukčný návrh vibračného modulu.

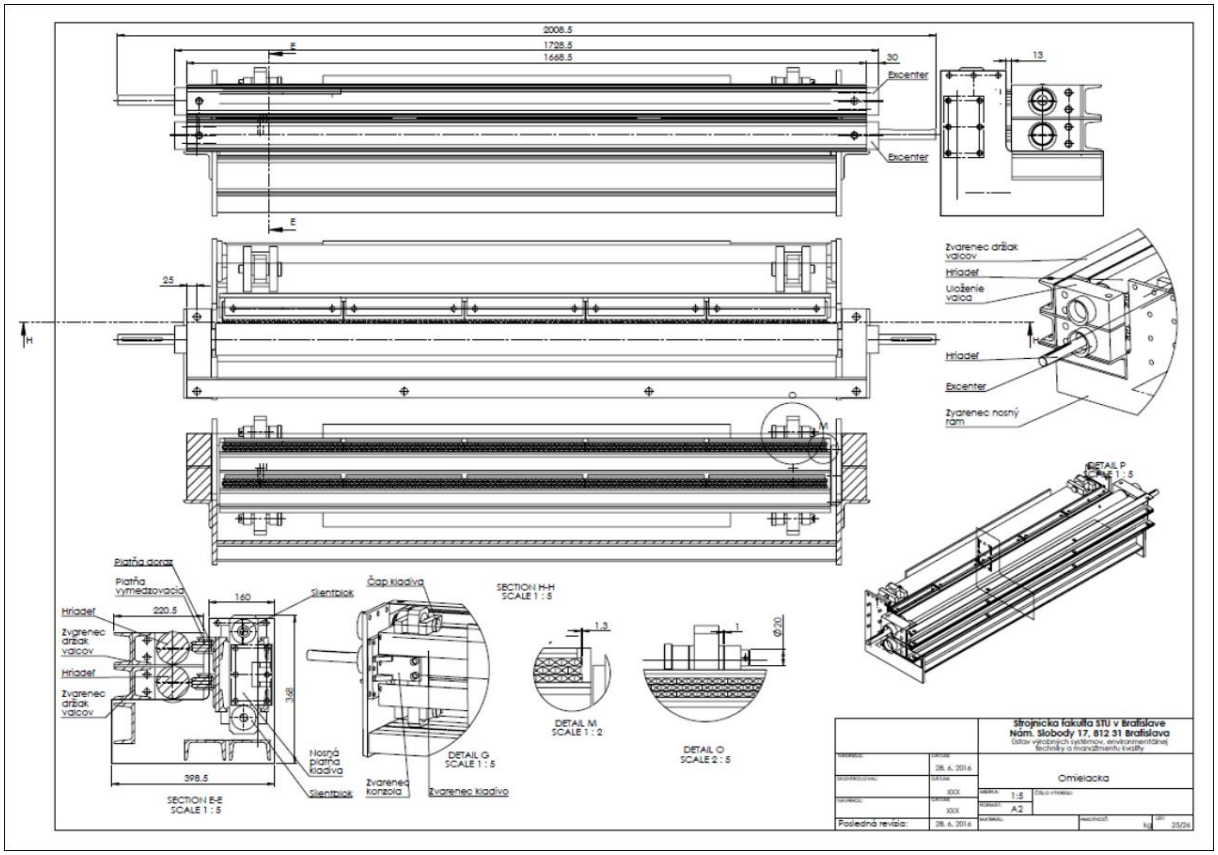


Obr. 86 3D model vibračného modulu

Vyvinuté a vyrobené moduly sú schopné pracovať samostatne, ako aj spoločne s plynulou nadväznosťou technológie. Ich vzájomné pohyby a spoluprácu je možné zviazať vďaka frekvenčne riadeným pohonom jednotlivých valcov ako aj frekvencii použitého priemyselného vibrátora. Spoločná zostava stroja pozostávajúca z dvoch modulov (jedného podávacieho a jedného vibračného modulu) je uvedená na Obr. 87.



Obr. 87 Zostava stroja z dvoch technologických modulov – podávacieho a vibračného



Obr. 88 Uloženie nástrojov vibračného modulu v dvoch radoch nad sebou [2]

Konštrukčné riešenie stroja je navrhnuté so silným dôrazom na modularitu. Vďaka tejto zásadnej vlastnosti je možné na jednom zariadení spracovávať lepené sklá rôznych hrúbok, rozmerov, či dokonca viacnásobne vrstvené sklá. Jednotlivé moduly je možné radiť za sebou horizontálne alebo vertikálne. Pri hrubých a viacnásobne vrstvených sklách je možné použiť niekoľko rovnakých modulov a tým výrazného zníženia pevnosti a adhéznych síl medzi sklom a fóliou, pričom sa nezníži výkon linky. Napríklad pri hrubších sklách a sklách z väčšieho počtu vrstiev bude výhodné zaradiť za sebou niekoľko párov lámacích a/alebo vibračných modulov za účelom zvýšenia efektivity oddeľovania skla a súčasne dosiahnutia vyššej čistoty PVB fólie.

4.10 Záver

Cieľom predloženej správy druhého roka riešeného projektu je prezentovanie laboratórnych výsledkov overovania rôznych technológií. Cieľ výberu jednej alebo viacerých technológií vychádzal z predpokladu potvrdenia vedeckej hypotézy. Podstata tejto hypotézy spočívala v tom aby k oddeľovaniu sklených črepov v procese dekompozície dochádzalo bez dezintegrácie spojovacej fólie, ktorá by ostala pokiaľ možno celistvá. Splnenie tohto predpokladu zabezpečuje maximálnu čistotu tak sklených črepov, ako aj spojovacej fólie.

Základom pre návrh a výrobu funkčného stavebnicového modelu boli laboratórne skúšky. V rámci nich sme experimentálne verifikovali viaceré suché a mokré princípy dekompozície lepených skiel. V experimentoch sme odskúšali technológie termické (nahrievanie), chemické (kvapalný kúpeľ) a mechanické (tlakové a vibračné). Veľmi efektívne sa ukázala aj kombinácia viacerých technológií.

Dôležitým výsledkom týchto experimentálnych skúšok bol poznatok, že najviac efektívna je kombinácia viacerých za sebou radených technológií, postupného oddeľovania skla od polyvinilbutyralovej fólie. Tak vznikla naša základná pracovná hypotéza: navrhnúť viacstupňovú modulovú technológiu s možnosťou variabilného radenia jednotlivých stupňov podľa druhu a veľkosti spracovaného odpadu.

Na základe výsledkov týchto testov sme navrhli cenovo dostupnú technológiu pre výkonovo stredne veľké prevádzky s ročnou kapacitou spracovania vrstvených sklenených odpadov 1 000 – 2 000 ton. Pri návrhu koncepcie sme si určili cieľ, že nami navrhnutá technológia musí spĺňať na jednej strane, kritérium vysokej efektívnosti spracovania a cenovej dostupnosti a na strane druhej musí spĺňať možnosť maximálnej vyťažiteľnosti a čistoty jednotlivých prúdov získaných odpadov. Výsledkom tejto správy je konštrukčný návrh jednotlivých modulov variabilnej technologickej linky. Navrhnuté funkčné modely sú základnými konštrukčnými uzlami pre stavbu modulárnej rozdružovacej linky, ako súčasti navrhnutej technológie dekompozície lepených skiel.

Poďakovanie

Táto práca vznikla v rámci projektu združenia univerzít, UNIVNET č. zmluvy 0201/0082/19 a jeho finančnej podpory.

4.11 Zoznam použitej literatúry

[1]. ŠOOŠ, Ľ. et al.: Expertná analýza možnosti aplikácie nových technológií v procese spracovávania odpadového skla nespracovateľného bežnými technológiami. Etapová správa riešenia úlohy č. P 11701/2015. Bratislava: STU, november 2017.

[2]. ŠOOŠ, Ľ. et al.: Mechanická a chemicko-termická úprava v procese spracovávania odpadového viacvrstvového skla nespracovateľného bežnými technológiami. Etapová správa riešenia úlohy č. P 11701/2015. Bratislava: STU, február 2018.

[3]. KELLER, U. - MORTELMANS, H.: Adhesion in Laminated Safety Glass – What makes it work? In Glass Processing Days, 1999.

[4]. Kolektív ZvSP SR: Podkladový materiál ZvSP SR k projektu Slovenskej technickej univerzity v Bratislave. Etapová správa projektu „Vyhľadávanie a možnosti aplikácie nových technológií v procese spracovania odpadového skla nespracovateľného bežnými technológiami – stratégia výskumu a vývoja technológií a logistiky a spracovania jednotlivých prúdov odpadu“. Trenčín, október, 2019.

[5]. NOVOTNÝ, M.: Zhodnocovanie lepených autoskiel – I. etapa. Etapová správa. Bratislava: ZAP SR, november 2018.

[6]. NOVOTNÝ, M.: Správa o logistike a nákladovosti zberu lepených autoskiel a lepených tabuľových skiel. Etapová správa. Bratislava: ZAP SR, február 2018.

[7]. ORSÁGHOVÁ, L., Technológia spracovania a zhodnocovania lepených viacvrstvových skiel. diplomová práca, Bratislava: SjF STU, 2018.

[8]. MAKEŠ, P.: Separovanie odpadov vrstvených lepených skiel. Bakalárska práca. Bratislava: SjF STU, 2019.

[9]. ŠOOŠ, Ľ. et al.: PP 107-2019 Spôsob vysoko účinnej dekompozície vrstvených odpadových skiel a stavebnicová linka, 8.10.2019, Úrad priemyselného vlastníctva SR, 2019.

[10]. ŠOOŠ, Ľ. et al.: UV 8786 Spôsob efektívneho zhodnocovania odpadových lepených skiel a modulová konštrukcia zariadenia, Úrad priemyselného vlastníctva SR, 2019.

Materiálová recyklácia lítiových automobilových trakčných akumulátorov

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH
Fakulta materiálov, metalurgie
a recyklácie

Riešiteľský kolektív
Technická univerzita v Košiciach
Fakulta materiálov, metalurgie a recyklácie
Ústav recyklačných technológií

Hlavný riešiteľ:
prof. Ing. Tomáš Havlik, DrSc.

Riešitelia:
prof. Ing. Andrea Miškufová, PhD.
doc. Ing. Dušan Oráč, PhD.

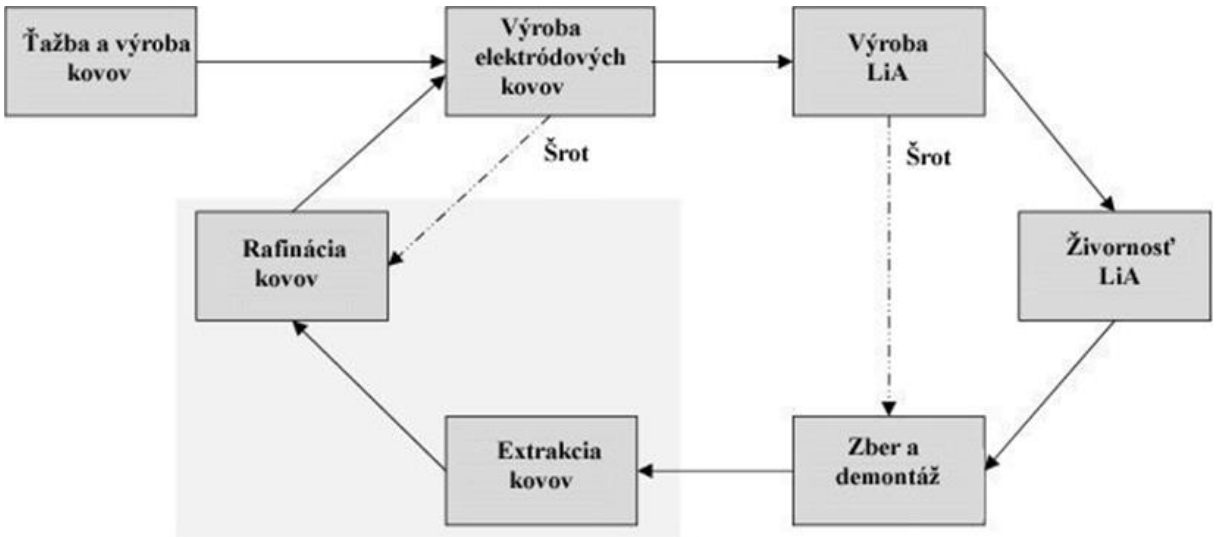


5 MATERIÁLOVÁ RECYKLÁCIA LÍTIOVÝCH AUTOMOBILOVÝCH TRAKČNÝCH AKUMULÁTOROV

5.1 Úvod

Rýchly rast trhu elektrických vozidiel je významným príspevkom ku globálnemu cieľu zníženia emisie skleníkových plynov, zvýšeniu kvality ovzdušia v mestských oblastiach a zvýšenia záujmu spotrebiteľov. Na druhej strane vzrast elektromobility predstavuje vážnu výzvu pre recyklačný priemysel, obzvlášť v oblasti recyklácie vyradených trakčných akumulátorov najmä z dvoch dôvodov – zníženia množstva nebezpečného odpadu a opätovného získania cenných zložiek. Lítiové akumulátory obsahujú viacero strategických kovov, ktorých sa takto stávajú druhotnými surovinami. Okrem základných kovov ako železo, meď, mangán a nikel obsahujú lítiové akumulátory (LiA) aj kobalt, lítium, titán a tiež grafit. Získavanie surovín niektorých z týchto kovov je spojená s vážnymi ekologickými a sociálnymi dopadmi. Nie zanedbateľným faktom je, že niektoré zložky, ako kobalt, grafit, lítium, obsiahnuté v LiA patria medzi kritické suroviny pre Európsku úniu [1]. Niet pochýb, že recyklácia LiA je významnou cestou k získavaniu týchto kritických surovín, ale na druhej strane je to komplikovaný a náročný proces, keďže sa jedná o komplexný kompozitný materiál a jeho charakter, ako aj elektrické a chemické vlastnosti sú vážnym rizikom z hľadiska bezpečnosti a ochrany zdravia [2].

S cieľom zabezpečenia uzavretého výrobného cyklu LiA, Obr. 89, sa postupne rozvíjali výskumné a vývojové aktivity. Spočiatku boli zamerané na recykláciu kovových zložiek cestou fyzikálno-mechanickej úpravy, neskôr sa začali aplikovať pyrometalurgické procesy a posledné a súčasné aktivity sú zamerané na hydrometalurgické a/alebo kombinované spôsoby úplnej materiálovej recyklácie zložiek vyradených LiA [3].



Obr. 89 Uzavretý cyklus materiálov LiA [3]

Všetky tieto procesy sú charakteristické dlhým a komplexným výrobným postupom a používajú kombináciu fyzikálno-mechanických, tepelných alebo pyrometalurgických a hydrometalurgických operácií [4].

5.2 Postupy spracovania vyradených Li akumulátorov

Lítiové elektrické články sú vo všeobecnosti tvorené jednotlivými, alebo previazanými elektrochemickými celami umiestnenými do kovových alebo plastových obalov. Tab. 38 sumarizuje typické zloženie LiA.

Tab. 38 Typické zloženie LiA

Súčasť akumulátora	Obsah [hm. %]	zvyčajne použitý materiál
obal	~ 25	oceľ, plast
katóda	~ 27	$LiCoO_2$, $LiNi_xMn_yCo_zO_2$, $LiMn_2O_4$, $LiNiO_2$, $LiFePO_4$
anóda	~ 17	grafit/$Li_4Ti_5O_{12}$
Cu a Al fólie a kolektory	~ 13	Cu, Al
elektrolyt	~ 10	roztok $LiPF_6$, $LiBF_4$, $LiClO_4$ a $LiSO_2$ rozpustené v propylén uhličitane, etylén uhličitane alebo dimetyl sulfoxide
separátor	~ 4	mikropôrovitý polypropylén
pojivo	~ 4	polyvinyl difluorid (PVDF)

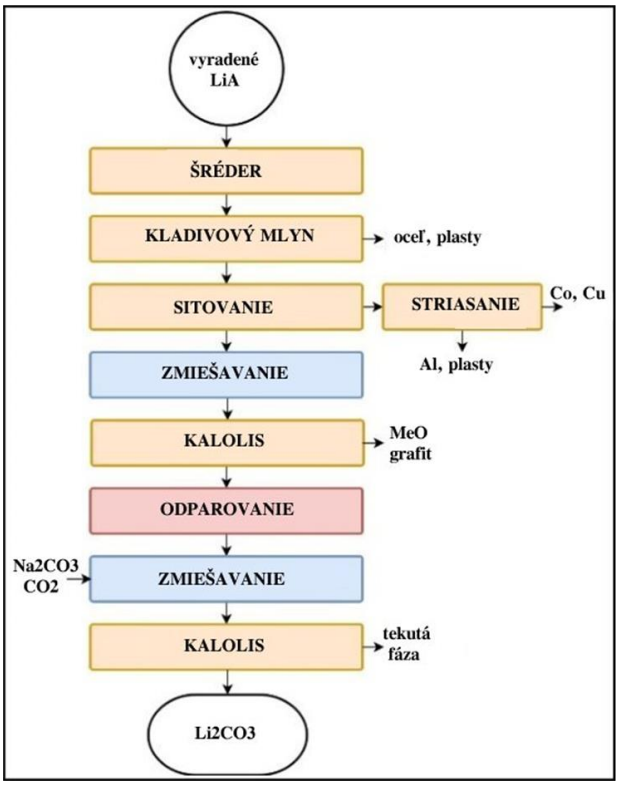
V súčasnosti sa skúma a navrhuje celý rad rôznych recyklačných procesov LiA, ktoré možno v zásade rozdeliť do mechanického predspracovania, pyrometalurgických, hydrometalurgických alebo kombinovaných metód. V tomto prípade sa predspracovanie chápe ako proces, ktorý nemení štruktúru a článkov, t.j. triedenie zložiek zo zmiešaného odpadu. Mechanické procesy využívajú rôzne techniky na oddelenie, klasifikáciu a koncentráciu zložiek bez zmeny ich chemického zloženia tak, ako bolo popísané v predošlej kapitole.

Po mechanických procesoch sa získané prekurzory podrobia niektorému z pyrometalurgických, hydrometalurgických, alebo kombinovaných procesov. Pyrometalurgické procesy využívajú procesy pri zvýšených teplotách za účelom uvoľnenia a získania materiálov, zvyčajne kovov v akceptovateľnej čistote. Hydrometalurgické procesy zahŕňajú vylúhovanie užitočných zložiek z tuhej predpripravanej suroviny a následné kolektívne alebo selektívne získanie jednotlivých zložiek z roztoku. K tomu slúžia viaceré metódy ako elektrolýza, zrážanie ťažkorozpustných zlúčenín, kvapalinová extrakcia, iónová výmena, cementácia a podobne. Aplikácia jednotlivých spôsobov závisí od špecifík jednotlivých získavaných zložiek a ekonomickej náročnosti. Z toho aj vyplývajú jednotlivé návrhy možných procesov materiálovej recyklácie vyradených LiA a aj ich špecifiká, či rozdielnosti.

V ďalšom sa uvádzajú niektoré jestvujúce postupy recyklácie Li elektrických článkov [5].

5.2.1 Technológia Retriev

Táto technológia, pôvodne nazývaná “Toxco”, a pôvodne vyvinutá pre primárne LiB sa adaptovala na akumulátory LiA s kapacitou 4500 ton/rok [6]. Bloková schéma je znázornená na Obr. 90, z ktorej aj vyplývajú základné kroky celého procesu.



Obr. 90 Bloková schéma procesu Retriev [5]

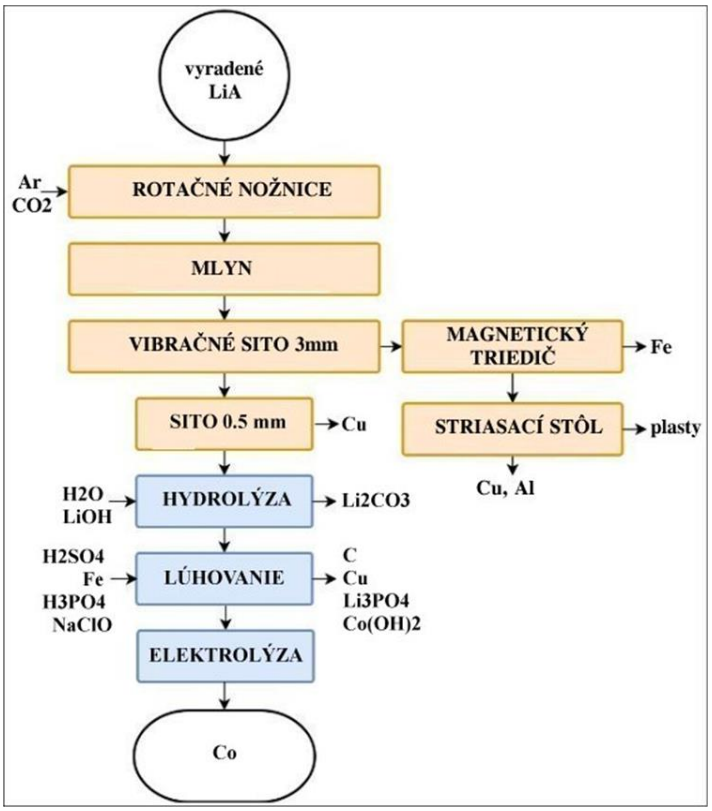
Toxco proces začína šrédrovaním vyradených LiA ponorených do roztoku kvôli prevencii zahorenia, alebo explózii lítia jeho prudkou oxidáciou. Po šrédrovaní sa rmut spracováva v kladivovom mlyne a väčšie častice obsahujúce hlavne kovové zložky sa oddelia sitovaním. Táto zmes sa triedi striasaním, kde sa oddelia ľahšie hliníkové a plastové časti. Podsitné katódové časti sa odfiltrujú cieľom získať uhlík a kovové oxidy. Odfiltrovaná kvapalina obsahuje rozpustené lítium, ktoré reaguje s pridaným Na_2CO_3 alebo CO_2 za vzniku Li_2CO_3. Oxidy kovov sa spracujú hutníckymi postupmi.

5.2.2 Technológia Sumitomo–Sony

Proces Sony s kapacitou 150 t/rok bol vyvinutý v spolupráci Sony Electronics a Sumitomo Metal Mining Company [7]. Hoci sú informácie o tomto procese celkom vzácne, ide o proces, zameraný na recykláciu LiA/B. Proces Sony začína krokom kalcinácie, v ktorom sa odstráni elektrolyt a ostatné organické hmoty. Zvyšné podiely sa podrobia pyrometalurgickému spracovaniu za vzniku zliatiny s obsahom kobaltu, niklu a železa, zatiaľ čo lítium sa stráca do trosky. Kobalt sa následne získa zo zliatiny lúhovaním. Hlavný produkt tohto procesu je CoO dostatočnej kvality pre opätovné použitie pri výrobe LiA/B. Meď a železo sú vedľajšie produkty a získavajú sa mechanicky.

5.2.3 Technológia Recupyl

Proces Recupyl [8] s nominálnou kapacitou 110 t/rok bol vyvinutý ako nízkoteplotná recyklačná technológia v priamej konkurencii ku emisii plynov v hore uvedených procesoch. Obr. 91 zobrazuje blokovú schému procesu Recupyl.



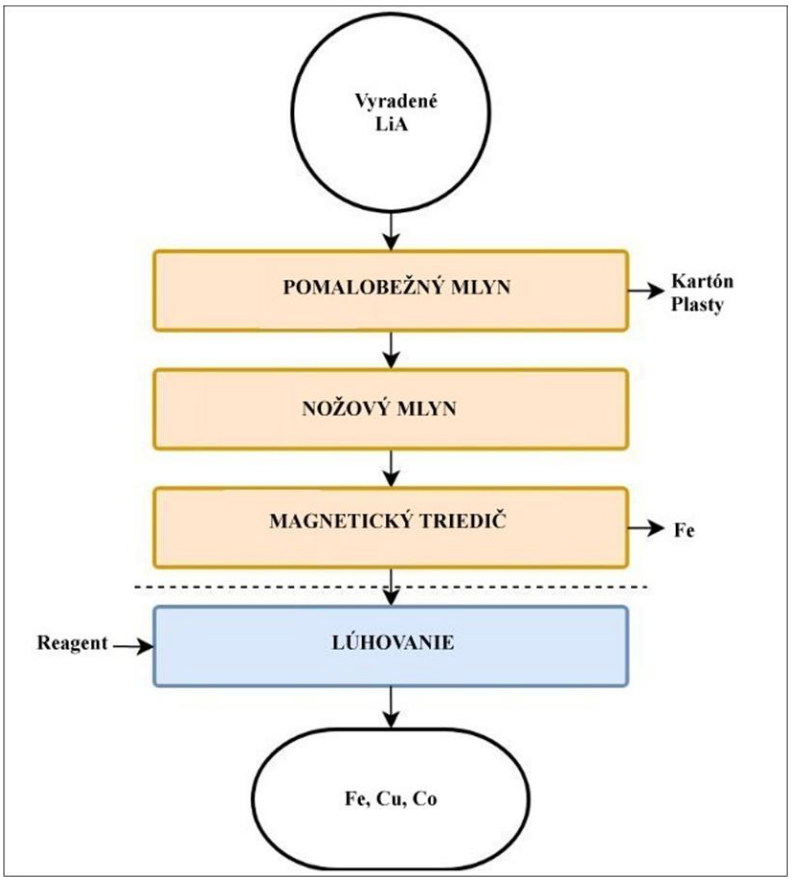
Obr. 91 Bloková schéma procesu Recupyl [5]

Ako vsádzka sa do procesu Recupyl používajú primárne batérie alebo sekundárne akumulátory. Články sa dvojstupňovo zdrobňujú, najprv sa podrvia v pomalobežnom strihovom drviči v Ar alebo CO_2 atmosfére s cieľom rozrušenia obalov. Inertná atmosféra zabraňuje reakciám potenciálne nevybitých LiA/B so vzduchom alebo vlhkosťou. Nasledovné mletie v nárazovom mlyne zdrobňuje častice na veľkosť pod 3 mm, ktoré sa vytriedia sitovaním. V ďalšom kroku sa magneticky oddelia feromagnetické časti a nemagnetické časti sa spracovávajú na gravitačnom stole, kde sa oddelia ťažšie častice (obsahujúce Cu a Al) a ľahšia frakcia s obsahom papieru a plastov. Odstránenie medi je dôležitý krok, pretože kovové nečistoty ovplyvňujú nasledovné hydrometalurgické spracovanie. Jemná frakcia (< 500 µm) sa mieša s vodou a pH sa upraví na hodnotu 12. V tomto kroku sa uvoľňuje vodík vďaka hydrolýze. Lítiové soli sa rozpustia do vodnej fázy, kdežto kovové oxidy a grafit ostávajú v nerozpustnom zvyšku a oddelia sa filtráciou. V tomto kroku možno získať Li_2CO_3 alebo $LiCoO_2$ z tekutej fázy prídavkom plynného CO_2. Ostávajúci nerozpustný zvyšok sa podrobí lúhovaniu vo viacerých krokoch, ponajprv v roztoku H_2SO_4 pri 80 °C. Uhlík sa odfiltruje a meď sa vycementuje na železe v nulmocnej kovovej forme. Potenciálne zvyšné lítium možno vyzrážať v tomto kroku ako Li_3PO_4 prídavkom H_3PO_4. Nakoniec sa získava kobalt ako $Co(OH)_2$ prídavkom NaClO, alebo ako kovový pomocou elektrolýzy.

5.2.4 Technológia Akkuser

Fínsky proces Akkuser [9] používa nízkoteplotné postupy s cieľom získať kovom nabohatené frakcie pre nasledovné rafinačné kroky. Tento proces používa len mechanické

predspracovanie bez následnej pyro- alebo hydrometalurgickej koncovky. Kapacita zariadenia je 4000 t/rok. Obr. 92 zobrazuje blokovú schému procesu Akkuser.

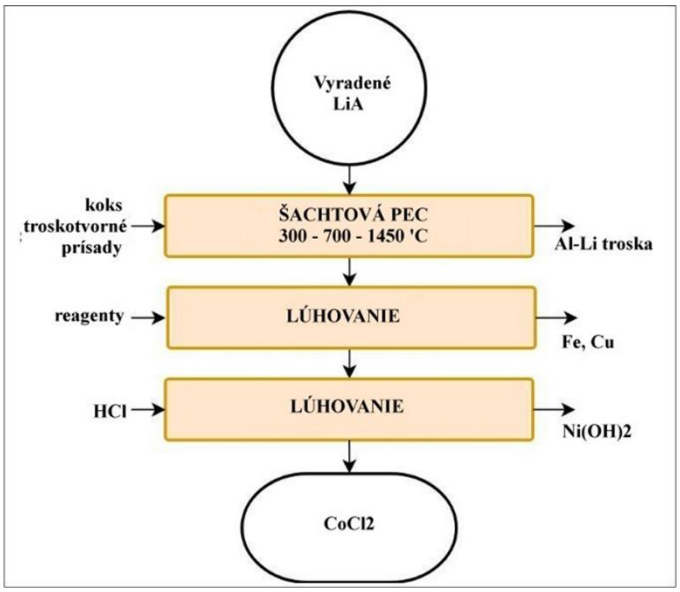


Obr. 92 Bloková schéma procesu Akkuser [5]

Tento proces spracováva zmesové batérie a akumulátory. Po triedení sa LiA/B spracujú v dvoch kontinuálnych nožových mlynoch. Prvá mlecia operácia pracuje v teplotnom rozsahu 40 °C až 50 °C, pričom sa dosahuje veľkosť zdrobnených častí v rozsahu 1.25 až 2.5 cm. Nespomína sa nikde, či sa v tomto kroku používa ochranná atmosféra, ale je to veľmi pravdepodobné kvôli predchádzaniu rizika požiaru. Prachové častice za zachytávajú v cyklónových filtroch a sú tvorené poväčšine zmesou plastu a kovu. Tento úlet sa následne lúhuje s cieľom získať Ni a Co. Podrvený materiál postupuje ďalej do druhého mletia, v ktorom sa zrnitosť zmenší na hodnoty < 6 mm. Prchavé zložky sa zachytia v sekundárnom cyklóne a železo sa oddelí magnetickým triedením. Zvyšná neprchavá frakcia bohatá na kobalt a meď sa podrobí buď hydro- alebo pyrometalurgickému spracovaniu. Finalizácia týchto produktov nie je zverejnená.

5.2.5 Technológia Umicore Valéas™

Proces Umicore [10] je zameraný na získavanie Co a Ni, prednostne z LiA/B a NiMH akumulátorov a reprezentuje najväčšiu kapacitu z tu diskutovaných procesov, 7000 t/rok. Technológia zahŕňa kombináciu pyro – a hydrometalurgických krokov, ako je zobrazené na Obr. 93.



Obr. 93 Bloková schéma procesu Umicore [5]

Z elektrických článkov sa po predbežnej demontáži odstránia zbytočné kovové a plastové materiály. Články sa umiestnia do šachtovej pece, ktorej má v tomto prípade tri teplotné pracovné zóny: nízkoteplotnú = 300 °C; so strednými teplotami = 700 °C a vysokoteplotnú = 1200 – 1450 °C. V každej sekcii prebieha pyrolýza rôznych materiálov a ich získavanie:

1. Nízkoteplotná zóna: odparovanie elektrolytu,
2. Stredoteplotná zóna: pyrolýza plastov,
3. Vysokoteplotná zóna: tavenie a redukcia.

Do procesu sa vo všeobecnosti pridáva sodík, vápnik alebo ZnO na zachytenie halogénov a prchavých zložiek. V prípade že vo vsádzke sa nachádzajú alkalické články, ich obsah ZnO je dostatočný na tieto procesy. Kovový produkt zo šachty obsahuje Cu, Co, Ni, Li, a stopy Fe, zatiaľ čo Al, Si, Ca, Fe, Mn, Li, prvky vzácnych zemín prechádzajú do trosky. Prítomnosť Al a Fe troske je rozhodujúca, keďže predstavujú významné problematické prímesi pre nasledovné kroky lúhovania. Zliatina kovov sa podrobí lúhovaniu, pričom zvyšok železa a medi ostáva v roztoku, a zvyšok sa lúhuje pomocou HCl za vzniku $Ni(OH)_2$ a $CoCl_2$. Ďalšími procesmi možno získať $LiCoO_2$ katódovej kvality.

5.2.6 Technológia BatRec

Spoločnosť Batrec začala recyklovať elektrické články už v roku 1980, pričom spracovával zmes alkalických a Zn-C batérií a zameriavala sa na získavanie zinku a ortuti. BatRec proces uvádza kapacitu 200 t/rok a je to vlastne modifikovaný japonský Sumitomo proces [11].

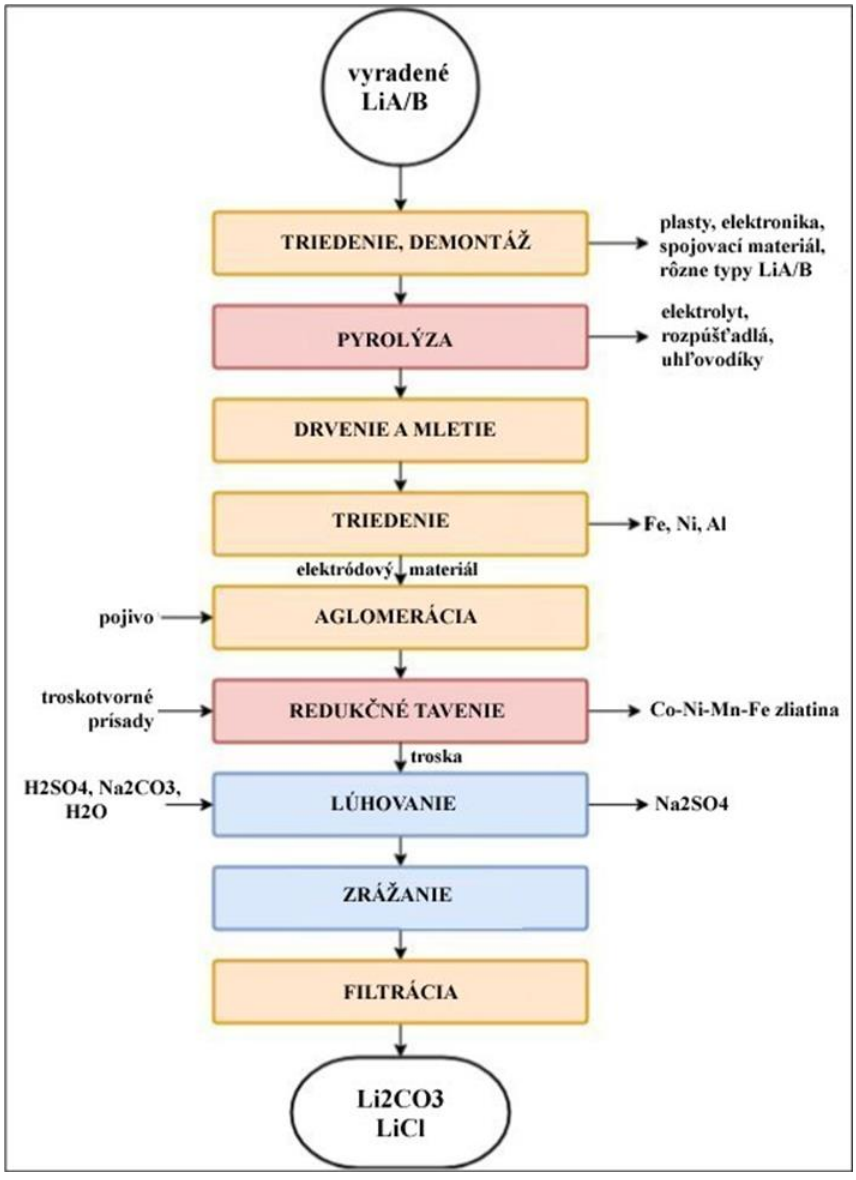
Li články sú v tomto procese šrédrované pod atmosférou CO_2 s cieľom minimalizovať možné nechcené reakcie a potom sú články neutralizované vo zvlhčenom vzduchu. Zneutralizované články sú potom rozdrvené s cieľom získať cenné zložky. Detaily tejto technológie nie zverejnené v dostupnej literatúre.

5.2.7 Technológia Inmetco

V procese Inmetco [12] sa vsádzajú LiA/B spolu s iným šrotom, napr. úlety z elektrickej oblúkovej pece do pece s rotačnou nistejou spolu s redukčnými peletami. Tavenina sa potom rafinuje v elektrickej oblúkovej peci. V tomto procese sa získava iba Co, Ni, a Fe vo forme zliatiny. Ostatné kovy sa strácajú do trosky a plasty sú spálené. Kapacita tohto procesu je 6 000 t/rok.

5.2.8 Technológia Accurec

Tento proces navrhnutý nemeckou spoločnosťou Accurec GmbH® v Krefelde bol pôvodne určený na spracovanie Ni–Cd akumulátorov [13]. Proces bol postupne rozšírený na rôzne typy batérií a akumulátorov vrátane LiA/B. Tento postup, zobrazený na Obr. 94, je kombináciou mechanických, pyrometalurgických a hydrometalurgických krokov, zameraných na získanie Li_2CO_3 katódového prekurzoru a Co–Ni–Mn zliatiny.



Obr. 94 Bloková schéma procesu Accurec [5]

Proces začína triedením, čistením a manuálnou demontážou vyradených spotrebiteľských a elektromobilových LiA. Takto pripravená vsádzka sa pyrolyzuje pri 250 °C vo vákuu s cieľom odstrániť elektrolyty, rozpúšťadlá a prchavé uhľovodíky. Získaný medziprodukt sa melie s cieľom uvoľniť vzájomne uzavreté zložky. Pomletý materiál sa podrobuje sérii krokov mechanických triedení pozostávajúcich z vibračného sita, magnetického triedenia, a cik–cak klasifikácii. Produkty mechanického triedenia sú frakcie Fe–Ni, Al, a Al–Cu, z ktorých sa potom základné kovy extrahujú. Zvyšná časť sa aglomeruje a podrobí dvojstupňovému pyrometalurgickému procesu. Prvým krok sa deje v rotačnej peci pri 800 °C. Druhá pyrometalurgická operácia sa uskutočňuje v elektrickej oblúkovej peci, pričom sa grafit spotrebuje na redukciu buď kobaltu alebo mangánu v závislosti od zloženia pôvodnej trosky.

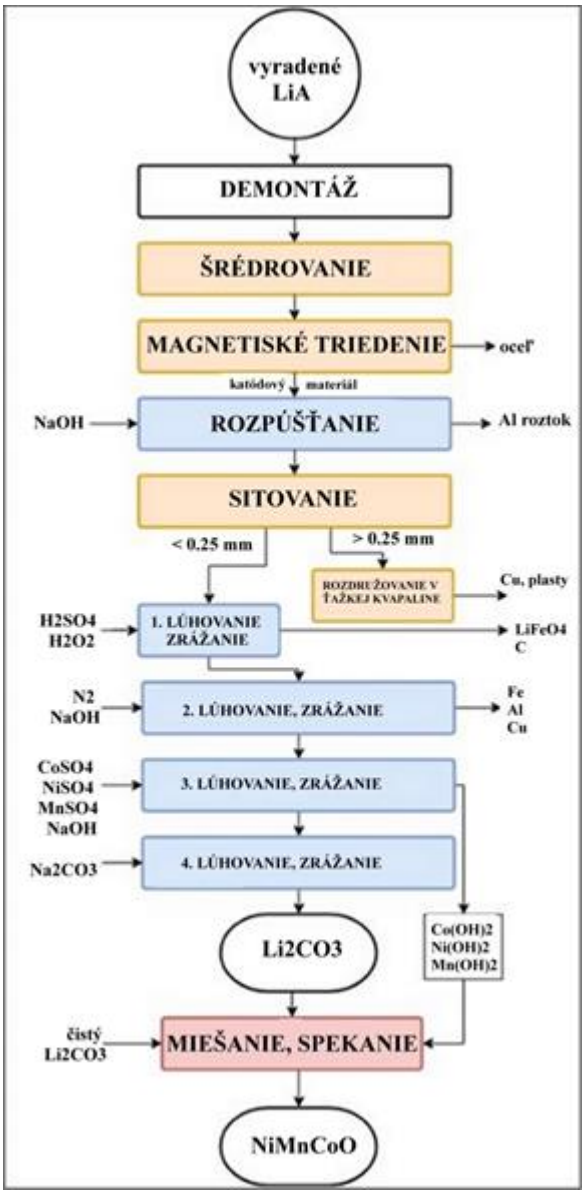
Koncentrácia lítia v úlete a troske je približne päť krát vyššia ako vo vsádzke, čím sa stávajú zaujímavou surovinou získania lítia hydrometalurgickou cestou vo forme katódového prekurzoru Li_2CO_3. V takomto prípade sa troska spracuje mechanicky na zrnitosť < 100 µm a úlet sa priamo lúhuje. Lítium sa lúhuje roztokom H_2SO_4 za vzniku Na_2SO_4 ako vedľajšieho produktu. Po extrakcii sa lítium vyzráža vo forme Li_2CO_3 s účinnosťou 90 %.

5.2.9 Technológia Battery Resources

Proces Battery Resources [14] sa navrhol ako pracujúci v uzavretom cykle, keďže sa získavajú zložky vhodné pre opätovnú výrobu LiA. Proces je pomerne nový a pracuje v poloprevádzkovom meradle. V tomto postupe sa využívajú mechanické a hydrometalurgické operácie s jednotlivými krokmi spekania na konci rafinácie produktov. Proces je navrhnutý na spracovanie LiA s katódou tvorenou $LiNi_xMn_yCo_zO_2$.

Na začiatku sa podrobia vyradené LiA vybíjaniu s nasledovným šrédrovaním pomocou kladivového mlyna na veľkosť častí < 6.3 mm. Šrédrovaná zmes ide na magnetické triedenie so ziskom oceľových častí a katódových nemagnetických častí. Tieto sa zmiešavajú s NaOH za účelom získania hliníka vo forme $NaAlO_2$. Výsledný rmut sa filtruje a suší pri 60 °C, po čom nasleduje sitovanie na veľkosť 250 µm. Nadsitná frakcia sa spracuje v ťažkej kvapaline s cieľom získať meď. Jemná frakcia sa podrobí štvorstupňovému hydrometalurgickému procesu. V prvej etape sa odstráni C, $LiFePO_4$, a zvyškové plasty za prítomnosti H_2O_2 a H_2SO_4 pri teplote medzi 65–70 °C. Zvyšný roztok obsahuje rozpustené Co, Ni, Mn, Li, Al, a Cu v iónovej forme. Úpravou pH na 6.5 prídavkom NaOH sa vyzráža Al, Fe a Cu. V tejto etape sa tiež pridáva plynný dusík na zabránenie oxidácie Mn^{2+} iónov. V tretej lúhovacej etape sa pridáva rôzne množstvo $MnSO_4$, $NiSO_4$ a $CoSO_4$ s cieľom získať pomer Co:Mn:Ni rovný 1:1:1 v roztoku. Zvýšením hodnoty pH v roztoku na 11 prídavkom ďalšieho NaOH sa vyzráža tuhý $Co(OH)_2$, $Mn(OH)_2$ a $Ni(OH)_2$. Behom posledného hydrometalurgického kroku sa pridá Na_2CO_3 pri teplote 40 °C na zrážanie Li_2CO_3 zo zvyšného roztoku. Pred tým vyzrážané $Co(OH)_2$, $Mn(OH)_2$ a $Ni(OH)_2$ sa zmiešajú s vyzrážaným Li_2CO_3 a prídavkom čistého Li_2CO_3 s cieľom syntetizovať katódový materiál požadovanej kvality pre LiA. Tento sa zlisuje do peliet a speká pri 900 °C.

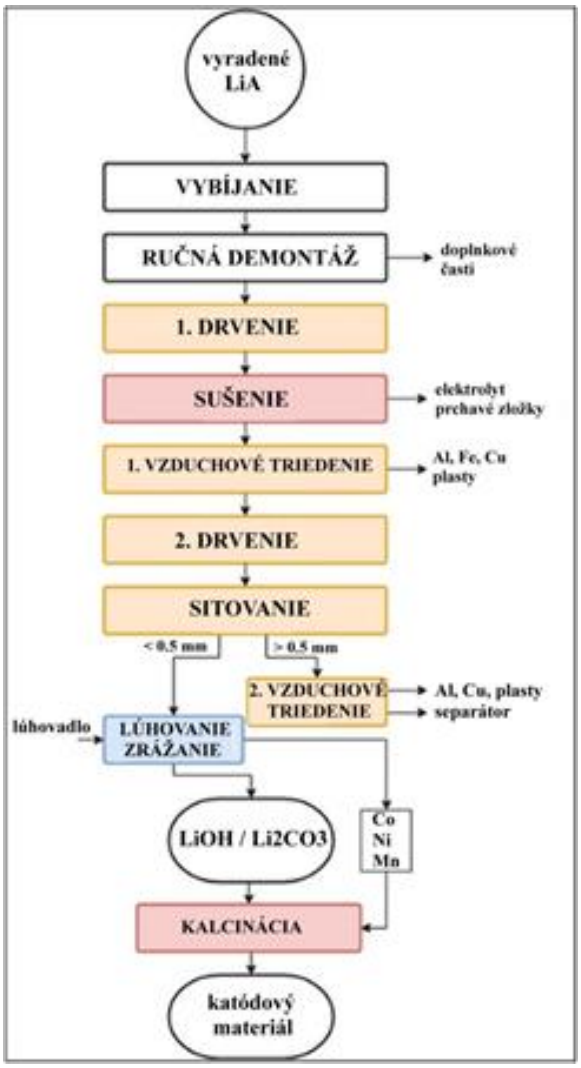
Obr. 95 zobrazuje blokovú schému procesu.



Obr. 95 Bloková schéma procesu Battery Resources [5]

5.2.10 Technológia LithoRec

Cieľom procesu LithoRec [15] je získavať vysoko kvalitný katódový materiál z LiA modulov získaných z elektromobility s kapacitou 2 000 t/rok. Tieto LiA v porovnaní s priemernými článkami obsahujú 63 % akumulátorového materiálu, 5 % elektrických súčastí, 21 % ocele a 11 % plastov. Ich zvýšené množstvo plastov, potrebné pre zníženie vibrácií pri normálnej prevádzke elektromobilu, vyžaduje viac komplexný proces v porovnaní so spracovaním tradičných LiA. Keďže obsah častí článku v trakčných akumulátoroch je nízky, hneď na začiatku je veľmi dôležité efektívne triedenie obalov. Preto sa proces LithoRec zameral na fyzikálno mechanické procesy a hydrometalurgické operácie pred pyrometalurgickými. Bloková schéma procesu je zobrazená na Obr. 96.

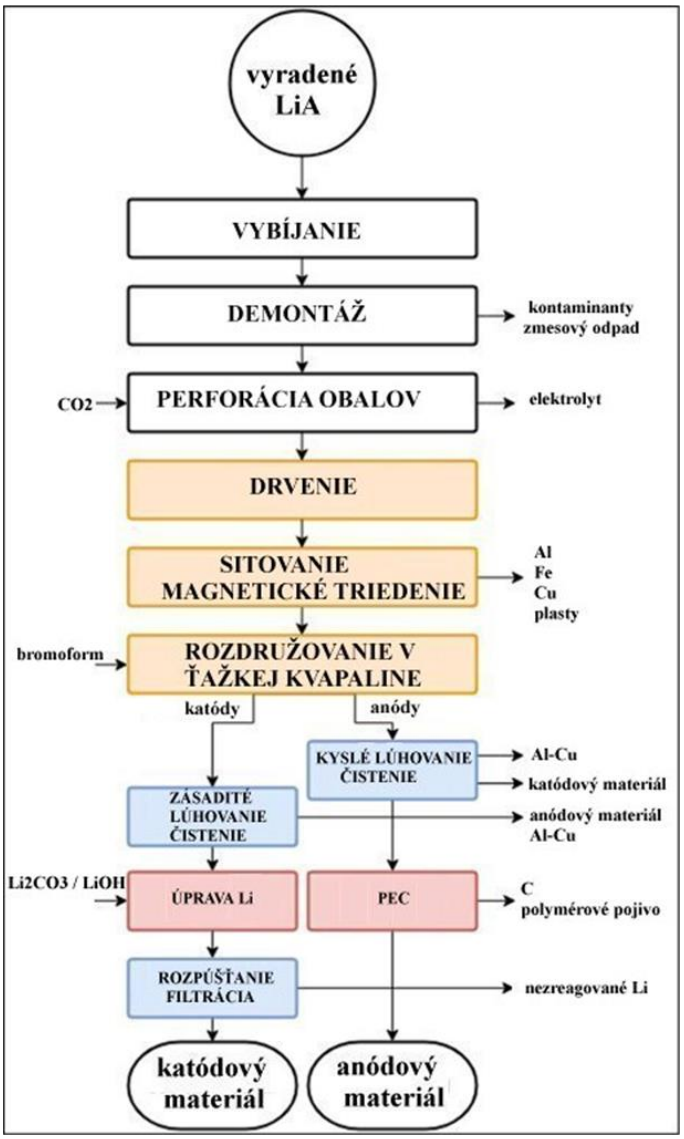


Obr. 96 Bloková schéma procesu LithoRec [5]

Keďže trakčné akumulátory z elektromobility sú väčších rozmerov ako LiA z tradičných aplikácií, ako napr. z mobilných telefónov, riziko explózie je vyššie. Preto LithoRec proces začína vybíjaním LiA. Po vybití sú moduly manuálne demontované a takto sa odstránia periférie, t.j. ochranné obaly, vodiče, plasty a kontaminanty. Demontované moduly sa drvia pri teplote 100 –140 °C pod ochrannou dusíkovou atmosférou, pričom sa uvoľnia rozpúšťadlá a odparí sa elektrolyt. Rozdrvené moduly postupujú ďalej na cik-cak triedenie, kde sa oddelia Al, Fe, Cu a plasty. Zvyšná jemná frakcia, tvorená prevažne čiernou hmotou obsahuje katódový a anódový materiál a podrobí sa ďalšiemu zdrobneniu. Zdrobnený materiál sa situje na veľkosť častíc 500 µm. Nadsitná frakcie sa posunie na ďalšie triedenie, kde sa rozdelí na frakcie obsahujúce Al – Cu a plasty. Podsitná časť ide na lúhovanie v nezverejnenom lúhovadle. Počas lúhovania sa ponajprv uvoľní grafit, následne sa vyzrážajú Co, Ni a Mn v podobe oxidov. Lítium ostáva v roztoku a potom sa vyzráža ako LiOH, Li_2CO_3 kryštalizáciou, alebo ako zmes LiOH a Li_2CO_3 elektrochemickou precipitáciou. Zrazeniny s obsahom lítia môžu obsahovať CoO, Ni a MnO v závislosti od toho, ktoré kovy sa nachádzajú v roztoku. Nakoniec sa Li precipitáty zmiešavajú s extrahovanými Co, Ni a Mn oxidmi a kalcinujú, čím sa získa vhodný prekurzor na opätovnú výrobu LiA.

5.2.11 Technológia OnTo

Proces OnTo, tiež nazývaný aj ako proces EcoBat, je zameraný na získavanie širokého rozpätia zložiek LiA, zhrňujúcich anódové, katódové a kovové materiály, pričom sa polymerické materiály strácajú [16]. Proces je zatiaľ testovaný v laboratórnom meradle. Obr. 97 zobrazuje blokovú schému tohto procesu.



Obr. 97 Bloková schéma procesu OnTo [5]

Podobne ako v procesoch Battery Resources a LithoRec, proces OnTo na začiatku zahŕňa vybíjanie LiA, nasledovaný demontážou s cieľom odstrániť veľké zložky vsádzky. Očistené články sa perforujú, čím sa otvorí prístup k vnútorným zložkám. Po perforácii sa články vložia do komôr s obsahom CO_2 pri superkritických podmienkach, t.j. 7.4 MPa a 31 °C. Takéto podmienky umožnia extrakciu a získanie rozpúšťadla a elektrolytu. Zvyšné články t.j. anódy, katódy a separátory sú potom stabilizované pri atmosférickom tlaku a teplote. Tieto sa ďalej šrédrujú a triedia do nasledovných materiálov: kovové oxidy, propylén, Li_2CO_3, meď, a hliník, a grafit. Kovy sa triedia na základe veľkosti častíc a magnetickým triedením, hoci detaily nie sú

zverejnené. Nadsitná frakcia, obohatená o Al, Fe, Cu a propylén, sa ďalej spracuje za účelom získania kovových frakcií. Podsitná frakcia obsahujúca zmes elektródových materiálov sa spracuje v ťažkých kvapalinách s cieľom regenerácie anódových (grafitický uhlík) a katódových (Li_2CO_3) materiálov. Hustota ťažkej kvapaliny je v hodnotách 2.2 až 3.5 g/cm^3. Katódové a anódové materiály idú priamo do hydrometalurgického procesu. Keďže rozdružovanie v ťažkej kvapaline nemá 100 % účinnosť, častice anódy musia byť odstránené z katódovej frakcie a naopak. Čistenie anódového materiálu zahŕňa dve rozdielne prostredia na odstránenie nečistôt: kyselinové lúhovanie, odstraňujúce katódové častice a alkalické lúhovanie, odstraňujúce anódové častice. Ďalšie detaily týchto procesov nie sú zverejnené. Anódové a katódové frakcie postupujú do pyrometalurgickej etapy, kde sa katódový materiál regeneruje za prídavku Li_2CO_3 alebo LiOH. Regenerácia anódového materiálu sa deje pri vysokých teplotách, pri ktorých sa eliminujú vlhkosť, uhlík, nezreagované Li a polymerické nečistoty. Behom pyrometalurgického spracovania anódovej frakcie sa nevyžaduje žiadny prídavok chemických aditív. Po etape regenerácie sú anódový a katódový materiál pripravené na opätovnú výrobu LiA.

5.2.12 Zhrnutie priemyselných recyklačných procesov LiA

Jednotlivé procesy, navrhnuté a prevádzkované pre spracovanie vyradených LiA majú rôznu úroveň, od koncepčných návrhov cez poloprevádzkovú úroveň až do plnej prevádzky. Z uvedeného prehľadu vyplýva, že len dva prezentované procesy, Sumitomo–Sony a Akkuser, sa špecializujú len na mechanické spracovanie LiA/B. Z novších procesov len OnTo proces je pripravený spracovávať spolu LiA a LiB. Zvyšok procesov sa špecializuje len na jeden typ článkov, hoci Umicore a Recupyl postupne adaptovali svoje procesy na novo prichádzajúce typy článkov. V novšom procese Retriev Technologies sa aplikuje jemnejšie mletie a zmena zrnitosti má za následok flotačné získavanie anódových a katódových materiálov. Na druhej strane, aplikácia mokrých metód zvyšuje environmentálne riziko vzhľadom na rozpustnosť niektorých zložiek elektrických článkov, pričom sa zvyšuje nevýhoda v oddelení uhlíka a pojiva. Toto sa dosahuje tepelným spracovaním pri 500 °C, kedy dochádza k rozkladu pojiva.

V niektorých procesoch sa získava katódový prach s obsahom kobaltu a $LiFePO_4$. Tak isto možno získavať elektrolyt $LiPF_6$, PF_6 a amónne soli behom hydrolýzy. Získavanie kovov spolu s plastmi je cieľom väčšiny procesov, avšak v niektorých reálne aj dochádza k stratám plastov. Získavanie kovov sa delí do dvoch kategórií: získavanie elektródových kovov medi a hliníka priamo v elementárnej forme a získanie ďalších kovov v podobe ich oxidov, alebo iných zlúčenín, z ktorých následnými procesmi možno nakoniec získať tieto kovy aj v elementárnej forme, alebo vo forme ich zliatin. Najsledovanejším z tohto hľadiska je kobalt, ale tiež nikel, mangán a nakoniec aj železo. Všetko sa pochopiteľne odvíja od trhovej ceny. Z tohto hľadiska zlúčeniny lítia významne cenovo presahujú ceny kovov.

V pyrometalurgických procesoch prevažujú ako koncový produkt kovy a ich zliatiny. Výsledkom pyrometalurgických procesov sú aj väčšie straty, napr. v procesoch Umicore a Sumitomo sa nezískava elektrolyt, plasty, organické materiály a grafit. Snahou je neprezentovať trosku ako stratu, ale ako vedľajší produkt, ktorý sa ďalej spracováva

napr. v stavebníctve, hoci s nízkym ekonomickým efektom. Výhodou by mohlo byť, že v pyrometalurgických procesoch sa nepoužíva krok vybíjania elektrických článkov ako v prípade mechanického a hydrometalurgického spracovania. Vybíjanie určite znamená navýšenie prevádzkových nákladov na zníženie rizika explózie, alebo zahorenia.

Viac komplexnejšie procesy zahrňujúce mechanické procesy, pyro- a hydrometalurgické procesy produkujú širší rozsah koncových materiálov. Závisí to od komplexnosti zloženia vstupnej suroviny a samozrejme ceny výstupných produktov. Prednostne je snahou vyprodukovať výstupné produkty v podobe opätovne použiteľných anódových a katódových materiálov pre výrobu LiA.

Je samozrejmé, že komplexnejšie procesy nielen produkujú viac využiteľných produktov, ale majú aj väčšiu spotrebu energie, prídavných chemikálií a tvoria viac druhotných odpadov. Tak isto prípravné mechanické predspracovanie je energeticky nákladná operácia a samozrejme, čím je výroba zložitejšia, tým viac produkuje environmentálne riziko. Všetko sa to potom premieta do nákladov, čiže len dôkladná ekonomická analýza ukáže, či sa navrhovaný proces bude pohybovať v čiernych, alebo červených číslach.

Recyklácia aktívnej katódovej hmoty je hlavným cieľom väčšiny novo vyvinutých recyklačných procesov LiA vzhľadom na jej vysokú cenu. Kobalt obsahujúce soli ($LiCoO_2$, $LiNi_xMn_yCo_zO_2$) majú vyššiu cenu ako iné katódové materiály ($LiMn_2O_4$, $LiNiO_2$, $LiFePO_4$). Recyklácia katód je však komplikovaný proces a zahŕňa značné množstvo prípravných a obohacovacích etáp pred aplikáciou finálnej hydrometalurgickej rafinácie. Samotné čistenie katódového materiálu je rozhodujúce vzhľadom na vysokú chemickú citlivosť, keďže aj minoritné znečistenie môže znížiť kvalitu finálneho produktu. Na druhej strane však koncentrácia do 0.3 % Al v recyklovanom katódovom materiáli neovplyvňuje kapacitu v porovnaní s použitím primárnych materiálov. Je dôležité sledovať škodlivý vplyv nečistôt s cieľom definovať ich prípustné koncentrácie. Aj to je dokonca možné, že niektoré prímesi v súčasnosti považované za nečistoty, môžu v budúcnosti slúžiť ako užitočné v správnych koncentráciách. To by urobilo recyklačné procesy viac flexibilné a teda vhodnejšie pre operácie v priemyselnom meradle. Snaha recyklovať $LiFePO_4$ a $LiMn_2O_4$ katódových materiálov je menšia, hlavne kvôli ich relatívne nižšej cene.

V súčasnosti nie je získavanie elementárneho lítia prioritou pri recyklácii LiA. Lítium, obsiahnuté v elektrolyte sa obecne stráca. Prítomné je však najmenej v dvoch rôznych zlúčeninách a teda jeho recyklácia je komplikovaná. Lítium je však zaradené medzi kritické suroviny pre EU, keďže jeho potreba významne stúpa a zásoby sa vyčerpávajú.

Lítium je súčasťou katódových materiálov a vyžaduje veľmi prísne kontrolované prostredie pre použitie. Z toho aj vyplýva, že recyklačné metódy lítia sa musia sprísniť vzhľadom na požadovanú čistou. Ďalšou komplikáciou je stabilita Li zlúčenín vo vodnom prostredí, keďže často reagujú v hydrometalurgickom procese, takže účinnosť recyklácie Li závisí predovšetkým na predchádzajúcich triediacich krokoch. Účinnosť procesov sa pohybuje v rozmedzí 76 – 95 % recyklovaného Li. Získavanie Li môže mať rozličné zameranie od obohatenia, cez uplatnenie v sklárskom a keramickom priemysle až po katódové prekurzory v závislosti od jeho čistoty. Kvalita recyklovaných Li solí z modernejších procesov môže byť už vhodná pre výrobu LiA.

Accurec publikuje 99 % čistotu, Battery Resources publikuje "vysokú čistotu" produktu. Recykláty Li_2CO_3 získané v Accurecu a Battery Resources možno tak isto použiť vo výrobe hliníka ako aditívum do elektrolytu. Na druhej strane, recyklácia Li zlúčenín je delikátny proces, Li_2CO_3 nemožno zrážať z vodných roztokov a ľahko dochádza k jeho stratám.

Získavanie kovov je hlavným cieľom starších recyklačných procesov a ostáva aj základom pre novšie procesy recyklácie LiA. V týchto procesoch sa kovy Cu, Al, Fe získavajú nielen mechanickou recykláciou, ale aj ako nečistoty v hydrometalurgickej recyklácii katód.

Tieto procesy sa zabezpečujú hlavne pyrometalurgicky ako hlavným recyklačným krokom. Časti kovov, hlavne prítomných vo forme fólií, sa môžu získavať mechanickým spôsobom behom predspracovania. Toto opäť potvrdzuje že recyklačné procesy využívajúce dôkladne prepracované predspracovanie môžu v skutočnosti získať väčšinu zložiek LiA. Väčšina procesov získavania kovov založená na mechanických spôsoboch, Cu a Fe striasaním, resp. Fe magnetickým triedením. Takto sa zmenšujú straty do trosky, ktoré sú v iných pyrometalurgických procesoch. V niektorých procesoch sa kovové zložky Cu získavajú sitovaním, avšak tieto musia mať príslušnú zrnitosť po šrédrovaní. V iných procesoch sa využíva vzduchové triedenie s následným magnetickým triedením, čím sa odstráni Fe zo zvyšných Cu a Al zložiek.

Aj keď v súčasnosti nie je získavanie grafitu v úplnom centre pozornosti v recyklačnom priemysle LiA, postupne sa mu venuje čoraz väčšia pozornosť, keďže grafit sa stal kritickou surovinou pre EU, hoci je získavanie grafitu pomerne vzácne v recyklácii vyradených LiA. V pyrometalurgických procesoch sa grafit využíva ako zdroj energie a redukovadlo. V ďalších prípadoch ostáva grafit ako súčasť čiernej hmoty v anódovom materiáli. Inokedy sa grafit získava z roztoku hneď na začiatku lúhovania. Momentálne však využitie recyklovaného grafitu nie je významné, hoci sa ukazujú možnosti jeho opätovného návratu do výroby LiA. Existuje možnosť získavania grafitu za pomoci superkritického CO_2, ale táto možnosť je značne ekonomicky náročná. V porovnaní so získavaním kovových zložiek anódy a katódy je získavanie grafitu menej náročné z energetického hľadiska. Pre úplné zhodnotenie je však potrebná celková ekonomická analýza.

Uvedený prehľad sa zaoberá kritickou analýzou recyklačných procesov LiA/B aj z pohľadu ich vývoja s cieľom upriamiť pozornosť na ich potenciál pre potreby EU. Uviedli sa príklady navrhovaných procesov tak, ako sa postupne vyvíjali. Ukázalo sa, že pôvodné recyklačné procesy sa zameriavali hlavne na fyzikálno mechanickú úpravu, kde hlavným cieľom bolo oddeliť kovy v elementárnej forme také, ako Cu, Al a Fe. K tomu sa v koncovke využívali robustné pyrometalurgické procesy, v ktorých ale dochádzalo k intenzívnej strate ďalších zložiek, obsiahnutých v LiA, ako Li, Ni, Co, Mn, grafit. Na druhej strane, tento prístup bol ekonomicky na tú dobu prijateľný, keďže nevyžadoval veľké investičné náklady. Postupne sa prezentovali novšie procesy ktoré sa zameriavali na širšie možnosti získavania zložiek vyradených LiA a zároveň znižovanie množstva odpadov. Zároveň sa prejavila snaha recyklovať materiály v ich pôvodnej podobe tak, aby ich bolo možné opätovne použiť pri výrobe LiA. Na druhej strane, tieto postupy ešte potrebujú vylepšenia, keďže stále sa nedosahujú produkty požadovanej čistoty a zároveň dochádza ku stratám niektorých materiálov. Ďalšími

otvorenými úlohami na riešenie sú straty elektrolytu, grafitu, Cu, Ni, Li a pod. Nie zanedbateľným je fakt, že dôkladné prepracovanie vyradených LiA vyžaduje aplikáciu ďalších reagentov a činidiel, ako bromoform, CO_2, a Li chemikálie na získanie vhodných anódových a katódových zmesí materiálov, ktoré ale tak isto produkujú odpady, o ktoré sa treba postarať, samozrejme, okrem zvýšených ekonomických nákladov. Z tohto pohľadu koncept ideálneho recyklačného procesu so skutočným dosahom na obehovú ekonomiku získava materiály rovnakého chemického zloženia ako v pôvodných LiA s minimálnym prídavkom látok zvonka a zároveň s minimálnym množstvom odpadu. Len dôkladná procesná a ekonomická analýza nastaví ciele navrhovaného procesu v daných podmienkach prístrojového vybavenia realizátora, množstva a konkrétneho typu spracovávaného odpadu, aktuálne platných legislatívnych pravidiel a podobne.

Pre efektívnu recykláciu je potrebné zvážiť úplne konkrétne podmienky navrhovaného procesu s ohľadom na dané prostredie. K týmto patria najmä:

- aká je aktuálna cena potenciálne získaných zložiek ?
- aká je pridaná hodnota získaných zložiek ?
- existujú známe teoretické postupy získania tej ktorej zložky ?
- existujú úzke miesta získavania tej – ktorej zložky (kovov alebo ich zlúčenín ?)
- ako je zabezpečená analytika z hľadiska prístrojového vybavenia ?
- ako je zabezpečená infraštruktúra procesu recyklácie ?
- existuje známa technológia na recykláciu tej ktorej zložky (kovu) ?
- existuje možnosť simultánneho získavania viacerých cenných zložiek ?
- ako bude zabezpečený prístup k experimentálnemu materiálu a v dostatočnom množstve ?
- existuje potenciálny odberateľ získaného kovu ?
- vytvára aplikovaný proces ďalšie odpady ?
- ak tento proces vytvára ďalšie odpady, je zvládnutý ich menežment ?
- aký finančný objem je možné využiť na teoretické a experimentálne štúdium daného procesu ?
- a podobne.

Preto je potrebné pred samotným rozhodnutím o ďalšom postupe posúdiť reálne možnosti, ktoré sú k dispozícii a tieto podmieniť navrhovanému postupu.

5.3 Experimentálna časť - počiatočná fáza

V predošlej časti sa uviedol súčasný stav problematiky praktického spracovania vyradených lítiových elektrických článkov postupne tak, ako sa historicky vyvíjal a jeho smerovanie. Na tomto základe sa realizovali počiatočné experimentálne práce s cieľom ďalších úvah o budúcom spracovaní konkrétnych lítiových akumulátorov.

Samotné spracovanie by malo byť zamerané na nasledovné okruhy:

- materiálová a konštrukčná analýza jednotlivých LiA vzhľadom na to, že sa vyskytujú v širokej škále prevedenia,
- vybíjanie zvyškových elektrických napätí vzhľadom na nebezpečenstvo ich zahorenia alebo explózie pri mechanickom spracovaní,
- fyzikálno – mechanické spracovanie vzhľadom na to, že sa jedná o komplexný kompozitný materiál kovových, anorganických , plastových a organických súčastí,
- možnosti oddelenia a získania kovov v elementárnej podobe takých ako Cu, Al, Fe,
- možnosti oddelenia a získania anódovej hmoty,
- možnosti oddelenia a získania katódovej hmoty,
- možnosti oddelenia a získania plastov,
- možnosti oddelenia a získania kovov z roztoku, najmä Li, Co, Ni, Mn a pod.,
- menežment vzniknutých odpadov.

Pri manuálnej demontáži sa zistili nasledovné skutočnosti:

- Pri perforácii a kontakte jednotlivých elektród medzi sebou, alebo s vodivým nástrojom dochádzalo k znateľnému elektrickému skratu a iskreniu s významným zvýšením teploty.
- Pod plastovým separátorom bola viditeľná prítomnosť tekutého elektrolytu. Tento sa okamžite a veľmi rýchlo odparoval, čo bolo sprevádzané značným aromatickým efektom.
- Anóda je tvorená tenkým medeným plechom z vysokočistej kovovej medi, na ktorej je nanesená vrstva čiernej hmoty. Množstvo tejto hmoty je približne 5x vyššie ako samotného medeného nosiča.
- Čierna hmota na anóde je prichytená pomerne slabo a po už aj malej mechanickej manipulácii z anódy odpadávala.
- Katóda je tvorená lesklým plechom, podobným hliníku, na ktorom je nanesená vrstva čiernej hmoty, zrejme iného druhu, ako na anóde.
- Katódová čierna hmota je prichytená na katóde veľmi pevne a prakticky sa nedá mechanicky oddeliť od nosného plechu. Navyše, tento je veľmi tenučký a tým pádom prakticky nie je možné udržať ho v kompaktnej podobe pri mechanickej manipulácii.
- Jednotlivé elektródy sú oddelené plastovým separátorom, tvoreným tenkou plastovou fóliou neznámeho zloženia a mechanických vlastností. Separátor sa oddeľoval od elektród bez akýchkoľvek problémov.

5.3.1 Vybíjanie zvyškových napätí vyradených Li akumulátorov

Vyradené lítiové akumulátory (LiA) vykazujú vždy nejakú hodnotu zvyškových napätí. Tieto pri nesprávnom nakladaní alebo mechanickom spracovaní môžu spôsobiť krátke spojenie

a následné zahorenie alebo explóziu článku. Preto sa automaticky predpokladá, že do procesu materiálovej recyklácie vstupujú vyradené elektrické články s minimálnymi alebo žiadnymi zvyškovými napätiami.

Doteraz bolo skúmaných viacero možností vybíjania vyradených LiA, a to:

- elektrické vybíjanie,
- vybíjanie v soľných roztokoch,
- kryogénne spracovanie,
- tepelné spracovanie,
- mletie v inertnej atmosfére,
- mokré mletie.

Stabilizačné procesy spracovania vyradených LiA obecne smerujú k tomu, aby zvyškové napätia (v závislosti od typu elektrického článku) klesli na 2.5 V a nižšie. Zvyškové napätia v článku by mali ostať na úrovni pod 2 %. Takto sa eliminuje riziko zahorenia alebo explózie pri mechanickom poškodení pri spracovaní. Samozrejme, všetko závisí od chemického zloženia a konštrukcie jednotlivých článkov.

Ekonomické náklady sa rôznia v závislosti od použitých techník a významne závisia od množstva spracovaného materiálu a regulačných opatrení a trhu pre získané druhotné suroviny. Medzi najnákladnejšie patrí kryogénne mletie vzhľadom na viacmenej unikátne zariadenie a jeho kapacitu a tiež prevádzkové náklady. Mletie v inertnej atmosfére je v podstate rovnako nákladné, hoci inertná atmosféra sa dá dosiahnuť lacnejším spôsobom ako kryogénne podmienky.

Priame vybíjanie sa zvyčajne realizuje buď pripojením na štandardné odporové jednotky, kde sa elektrická energia mení na tepelnú alebo sa článok vybíja v soľnom roztoku, kde sa elektrická energia stráca cestou príslušných elektrolytických reakcií.

Metódy elektrického vybíjania ponúkajú možnosť využitia elektrickej energie, ako ohrev vody, alebo iného média, svietenie, nabíjanie iných elektrických článkov a podobne, ak je to ekonomicky výhodné. Problémom zrejme bude dlhá doba vybíjania. Tento spôsob bol študovaný aj v tejto práci a výsledky budú diskutované v experimentálnej časti.

Vybíjanie v soľných roztokoch je podstatne lacnejšie, avšak záleží od veľkosti a tvaru LiA, keďže podľa toho treba nastaviť hustotu soľného roztoku. Nie zanedbateľným faktom je aj ďalší krok spracovania vzhľadom na potenciálnu nutnosť sušenia medziproduktu, čo je energeticky náročná operácia. Tento proces je pomerne časovo náročný a pretrváva niekoľko dní.

Vybíjanie v soľných roztokoch môže mať za následok koróziu jednak zariadení, ale tiež jednotlivých častí LiA, čo môže mať za následok spomaľovanie celého procesu. Voda môže prenikať dovnútra LiA a môže chemicky reagovať s niektorými jeho zložkami. Na druhej strane, nehalidové soli taktiež vybíjajú LiA efektívne s malou mierou korózie.

Kryogénne a tepelné spracovanie a tiež spracovanie v inertnej atmosfére sú spojené so zdrobňovaním. Tieto procesy využívajú vyradené články len v celku tak, ako sa získavajú a riziká závisia od inžinierskeho riadenia a kontroly procesu celého procesu zdrobňovania a minimalizácie potenciálnych rizikových reakcií. Kryogénne spracovanie je založené na ponáraní vyradených LiA do tekutého dusíka a ich zamrznutí a tiež skrehnutí s následným zdrobňovaním. Toto sa typicky nerealizuje vo veľkom meradle, vzhľadom na konštrukciu kryogénneho zariadenia. Cena je veľmi vysoká aj z hľadiska investičných a z hľadiska prevádzkových nákladov.

V každom prípade tento spôsob neumožňuje získavanie energie a jej využitie pre ďalšie účely. Získavanie energie z vyradených LiA vyžaduje vysoké kapitálové náklady. Toto vyžaduje buď vysoký podiel ľudskej práce alebo vysoký podiel automatizácie, čo súvisí s typmi LiA, ich rozmermi, orientáciou pri vložení do zariadenia, typom elektrického pripojenia a uskladnením energie. Navyše, je pravdepodobné, že v procese sa budú vyvíjať potenciálne nebezpečné plynné exhaláty.

Tepelné spracovanie je založené na ohriatí vyradených LiA na teplotu okolo 300 °C, čo však záleží od typu a konštrukcie LiA. Bolo by vhodné, aby ohrev prebiehal v kontinuálnom režime a chladnutí. Proces samotný je pomerne citlivý, pretože ohrev samotný musí byť relatívne pomalý, aby nedošlo k explózii. Preto je nutné proces otestovať vzhľadom na úplne konkrétne podmienky.

Z hľadiska úpravníckych procesov by mali materiálové toky byť smerované k budúcemu získavaniu želaných kovov, grafitu, čiernej hmoty, organických zložiek a plastov. Vzhľadom na potenciálne riziká a komplexnosť materiálového zloženia a zároveň rozdiely v konštrukcií a tiež zložení individuálnych LiA je demontáž veľmi nákladná a neefektívna, preto sa aplikuje zdrobňovanie celých článkov s cieľom následného triedenia a získavania jednotlivých zložiek LiA.

V reálnej praxi možno očakávať spracovanie zmesi rôznych LiA. Je samozrejme vhodné ich predtriedenie podľa druhov a následné spracovanie otestované pre jednotlivé konkrétne druhy, avšak v praxi sa to nie vždy dá uskutočniť. Jednou z možností, ako potlačiť riziko elektrického skratu a následných efektov, je stabilizácia počas spracovania pomocou sprchovania vodou, prípadne roztokom LiOH, alebo ofukovania inertným plynom. Vodná sprcha znižuje teplotu a zároveň hydrolyzuje uvoľnené lítium. Oxid uhličitý tvorí vrstvu uhličitanu lítneho, čo v podstate eliminuje riziko zahorenia a zároveň zabraňuje stratám materiálu. Tieto úvahy môžu byť kľúčové najmä z hľadiska nastavenia ďalších krokov v celkovej schéme spracovania. Pokiaľ sa to bude diať suchou alebo tepelnou cestou, potom proces sušenia bude vyžadovať ďalšie relatívne vysoké ekonomické náklady. Pokiaľ však bude nasledovať spracovanie mokrou cestou, potom je mokré predspracovanie bezvýznamné z hľadiska zvyšovania ekonomických nákladov.

Tab. 39 porovnáva diskutované techniky predspracovania s poukázaním na ich najvýznamnejšie výhody a nevýhody.

Tab. 39 Porovnanie rôznych techník predspracovania vyradených LiA s cieľom ich vybíjania

proces	výhody	nevýhody
elektrické vybíjanie	potenciálne získanie energie	obtiažne nastavenie získavania energie
vybíjanie v soľných roztokoch	nízka cena	nedá sa získať energia, nutnosť spracovať odpadné roztoky
kryogénne procesy	bezpečný proces, možnosť získania kovového Li	vysoké energetické, investičné a prevádzkové náklady
tepelné procesy	úplné vybitie článkov, ľahká manipulácia	možná degradácia materiálov, nemožnosť získavať elektrolyt, vznik prchavých zložiek
mletie v inertnej atmosfére	nutnosť použitia suchých materiálov	neodstráni možnosť zahorenia, nutnosť spracovať prchavé zložky
mokré mletie	veľmi jednoduché a lacné, práca v uzavretom cykle	teoretická nutnosť čistenia odpadových vôd

Vyradené LiA vykazujú isté zvyškové napätia. V konkrétnom prípade tejto práce sú hodnoty zvyškových napätí na úrovni okolo 2.19 V. Nepodarilo sa zistiť aké hodnoty napätia sú v týchto prípadoch určené pre plne nabitý akumulátor.

Ako uvádza Tab. 38, na vybíjanie zvyškového napätia sa v obecnosti uvažovali viaceré techniky. Pre tento prípad sa zatiaľ neskúmali kryogénne postupy ani mletie v inertnej atmosfére s ohľadom na nutnosť použitia ekonomicky náročných zariadení, ktoré ani neboli k dispozícii.

Vybíjanie v soľných roztokoch

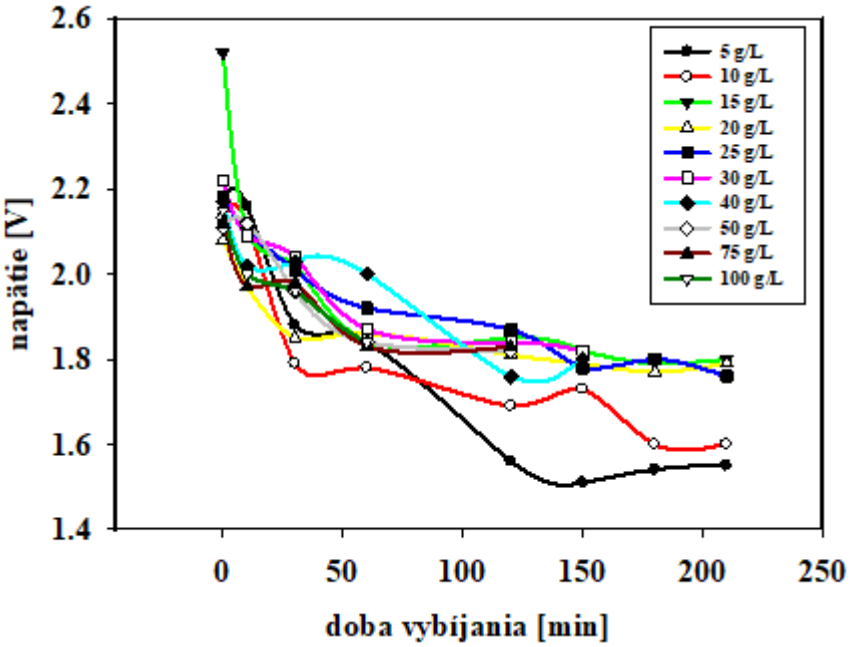
Pre tento postup sa pripravili roztoky chloridu sodného tak, ako uvádza Tab. 40 a stanovila sa postupnosť ich vybíjania. Grafické vyjadrenie časovej závislosti zvyškového napätia od hustoty soľného roztoku je zobrazené na Obr. 98.

Tab. 40 Experimenty vybíjania štvorcových segmentov v roztoku NaCl

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
vstupné napätie [V]	2.18	2.13	2.52	2.08	2.18	2.22	2.17	2.11	2.12	2.15
hmotnosť LiA [g]	296.81	359.9	294.49	359.347	359.232	359.65	360.344	360.1	359.72	359.72
vstupný roztok	500 ml vody + x g NaCl									
napätie [V]										
	5 g	**10 g**	**15 g**	**20 g**	**25 g**	**30 g**	**40 g**	**50 g**	**75 g**	**100 g**
10	2.1800	2.1300	2.5200	2.0800	2.1800	2.2200	2.1700	2.1100	2.1200	2.1500
30	2.1600	2.1200	2.1000	1.9700	2.1000	2.0900	2.0200	2.1200	1.9700	2.0000
60	1.8800	1.7900	2.0200	1.8500	2.0100	2.0400	2.0300	1.9600	1.9800	1.9600
120	1.8400	1.7800	1.8400	1.8600	1.9200	1.8700	2.0000	1.8400	1.8300	1.8400
150	1.5600	1.6900	1.8500	1.8100	1.8700	1.8400	1.7600	1.8200	1.8300	--
180	1.5100	1.7300	1.8200	1.7900	1.7800	1.8200	1.8000	--	--	--
210	1.5400	1.6000	1.7900	1.7700	1.8000	--	--	--	--	--

Z výsledkov vyplýva, že proces vybíjania veľmi nezávisí od hustoty soľného roztoku. Naopak, meranie napätia na jednotlivých skúmaných článkoch sa s postupom času

a so vzrastajúcou hustotou roztoku stávali čoraz viac problematickejšími až napokon už meranie nebolo možné. Pri bližšej kontrole sa zistilo, že jednotlivé elektródy skorodovali a odpojili sa od článku vplyvom prebiehajúcich elektrochemických reakcií.



Obr. 98 Časová závislosť vybíjania LiA v závislosti od hustoty soľného roztoku

Chlorid sodný vo vode disociuje na Na^+ a Cl^-. Pri daných napätiach dochádza k elektrolýze chloridu sodného, na katóde prebieha reakcia:

$$Na^+ + e^- = Na° \quad (5.1)$$

ktorý ihneď zreaguje s vodou podľa:

$$2Na + 2\ H_2O = H_2 + 2NaOH \quad (5.2)$$

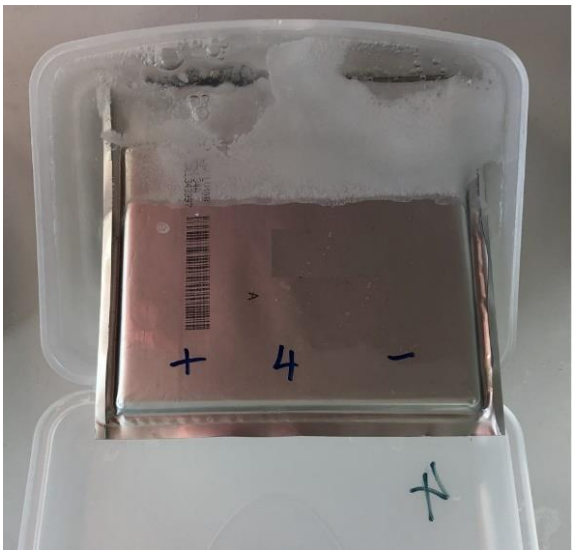
Hodnota pH roztoku sa zvyšuje. Na katóde prebieha redukcia vodíkového katiónu H^+ podľa:

$$2H^+ + 2e^- = H_2 \quad (5.3)$$

a na anóde prebieha oxidácia podľa:

$$2Cl^- - 2e^- = Cl_2 \quad (5.4)$$

Na elektródach zjavne prebieha vývoj plynov, Obr. 99.



Obr. 99 Vývoj plynov na elektródach počas vybíjania v soľnom roztoku

Vznikajúci chlór reagoval s hliníkovými elektródami podľa:

$$2Al + 3Cl_2 = 2AlCl_3 \quad (5.5)$$

ktorý reaguje podľa:

$$3O_2 + 4AlCl_3 + 6H_2O = 4Al(OH)_3 + 6Cl_2 \quad (5.6)$$

s následným rozpúšťaním do roztoku. Počas vybíjania sa v roztoku postupne hromadila biela soľ, Obr. 99.

Rtg difrakčná fázová analýza tejto soli preukázala prítomnosť chloridu sodného a oproti referenčnému štandardu aj prítomnosť hydroxidu hlinitého, čo zodpovedá predpokladaným elektrochemickým reakciám daného systému. Ostatné identifikované látky sa vyskytujú len s malou pravdepodobnosťou a ak áno, tak v nízkych koncentráciách.

Vybíjaním LiA vo vodnom roztoku NaCl sa dosiahne isté zníženie zvyškového napätia, avšak dochádza ku odkorodovaniu elektród a proces sa spomalí. Zrejme nezáleží na koncentrácii NaCl, naopak, zdá sa, že nižšie koncentrácie na úrovni 5, resp. 10 g/L sú v konečnom dôsledku efektívnejšie. Isté však je, že nejaké zvyškové napätie stále v takto ošetrených článkoch ostáva, keďže pri demontáži stále dochádzalo, aj keď k umiernenému, ale predsa len iskreniu.

5.4 Zhrnutie a záver

Materiálová recyklácia vyradených automobilových trakčných lítiových akumulátorov sleduje dva hlavné dôvody: minimalizáciu nebezpečného odpadu a získanie hodnotných druhotných surovín. Materiálové zloženie LiA je komplexné a obsahuje kovy v elementárnej podobe najmä hliník, meď a železo, ako aj kovy v podobe zlúčenín ako nikel, kobalt, mangán, titán a samozrejme lítium. Okrem toho je prítomný grafit, plasty a organické látky. Oxidické

zlúčeniny anódy a katódy sami o sebe tvoria hodnotné zložky vyradených LiA. Naviac, lítium kobalt a grafit sú zaradené do zoznamu kritických surovín pre Európsku úniu.

Snahy o materiálovú recykláciu v priemyselnom meradle postupovali spočiatku cestou fyzikálno – mechanickej úpravy s cieľom získať meď, hliník a železo, ktoré sa posielali do taviarní. Neskôr sa vyradené LiA spracovali pyrometalurgicky, pričom sa získavali zliatiny kovov, ale ďalšie zložky ako lítium, nikel, kobalt a podobne sa strácali do trosky. Posledné technológie uvažujú s komplexným hydrometalurgickým alebo kombinovaným spôsobom s cieľom práce v uzavretom cykle a získania pokiaľ možno všetkých zložiek LiA.

Sofistikované spracovanie vyradených LiA je komplikovaný proces vzhľadom na ich komplexné a kompozitné materiálové zloženie. Pre úspešný proces je potrebné dodržať istú postupnosť krokov v poradí vybíjanie zvyškových napätí, zdrobňovanie, fyzikálne predúprava, triediace procesy, získavanie a rafinácia jednotlivých zložiek. Samotné vybíjanie je dôležitým krokom, keďže pri demontáži nevybitých článkov dochádza ku krátkemu spojeniu a následnému zahoreniu a/alebo explózii článku.

Preto sa okrem hlbokej analýzy jestvujúcich priemyselných procesov spracovania vyradených LiA venovala pozornosť prvému kroku v reťazci spracovania a to vybíjaniu zvyškových napätí. Zistilo sa, že vybíjanie v soľných roztokoch o koncentrácii 5 až 10 g NaCl na jeden liter vodného roztoku je postačujúcim pre prípravu LiA na ďalší krok spracovania – ich demontáže.

Poďakovanie

Táto práca vznikla v rámci projektu združenia univerzít, UNIVNET č. zmluvy 0201/0082/19 a jeho finančnej podpory ako aj v rámci riešenia grantu VEGA MŠ SR 1/0556/20 a za jeho finančnej podpory.

5.5 Zoznam použitej literatúry

[1]. The 2020 EU Critical Raw Materials List, [online]. Available online: https://www.esmfoundation.org/new-list-of-critical-raw-materials-is-out/

[2]. LISBONA, D.; SNEE, T. A review of hazards associated with primary lithium and lithium-ion batteries. Process. Saf. Environ. Prot.2011,89, 434–442.

[3]. BRUCKNER L., FRANK J., ELWERT T.: Industrial Recycling of Lithium-Ion Batteries—A Critical Review of Metallurgical Process Routes, *Metals* 2020, *10,* 8, 1107.

[4]. HARPER G. et al. Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles, Nature 2019,575, 75–86.

[5]. VELÁZQUEZ-MARTÍNEZ O. et al: A Critical Review of Lithium-Ion Battery Recycling Processes from a Circular Economy Perspective, Batteries 2019, 5, 68.

[6]. VEZZINI, A. Manufacturers, Materials and Recycling Technologies. In: Lithium-Ion Batteries; Elsevier BV: Rome, Italy, 2014; pp. 529–551.

[7]. CHEN B., MA X.: Recycling End-of-Life Electric Vehicle Lithium-Ion Batteries, Joule, October 2019, 1-25.

[8]. TEDJAR F., FOUDRAZ J.C.: Method for the Mixed Recycling of Lithium-Based Anode Batteries and Cells, U.S.Patent 7,820,317 B2, 26 October 2010.

[9]. PUDAS J., ERKKILA A., VILJAMAA J.: Battery Recycling Method. U.S. Patent 8,979,006 B2, 17 March 2015.

[10]. LV W. et al: A Critical Review and Analysis on the Recycling of Spent Lithium-Ion Batteries, ACS Sustain. Chem. Eng. 2018, 6, 1504–1521.

[11]. ZENGER T., KREBS A., van DEUTEKOM H.J.H.: Method of and Apparatus for Dismantling and Storage of Objects Comprising Alkali Metals, Such as Alkali Metal Containing Batteries. U.S. Patent 7,833,646 B2, 16 November 2010.

[12]. ESPINOSA D.C.R., BERNARDES A.M., TENÓRIO J.A.S.: An overview on the current processes for the recycling of batteries, J. Power Sources 2004,135, 311–319.

[13]. Accurec Recycling GmbH, “Accurec,” 2019, [online]. Available online: https://accurec.de/lithium

[14]. Battery Resources, “Battery Resources News”, 2019,

[15]. DIEKMANN J. et al: Ecological Recycling of Lithium-IonBatteries from Electric Vehicles with Focus on Mechanical Processes, J. Electrochem. Soc. 2017, 164, 6184–6191.

[16]. SLOOP S.E., BEND M.A.: Recycling and Reconditioning of Battery Electrode Materials, U.S. Patent 9,484,606B1, 1 November 2016.

Vývoj technológií a techník na zhodnocovanie odpadov do zvukovo a tepelnoizolačných produktov

Riešiteľský kolektív
Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta
Ústav energetického a procesného inžinierstva
Katedra proseného a environmentálneho inžinierstva

Hlavný riešiteľ:
Dr.h.c. mult. prof. Ing. Miroslav Badida, PhD.

Riešitelia:
doc. Ing. Lýdia Sobotová, PhD.
doc. Ing. Ružena Králiková, PhD.
Ing. Tibor Dzuro, PhD.
Ing. Marek Moravec, PhD.
Ing. Miriama Piňosová, PhD.

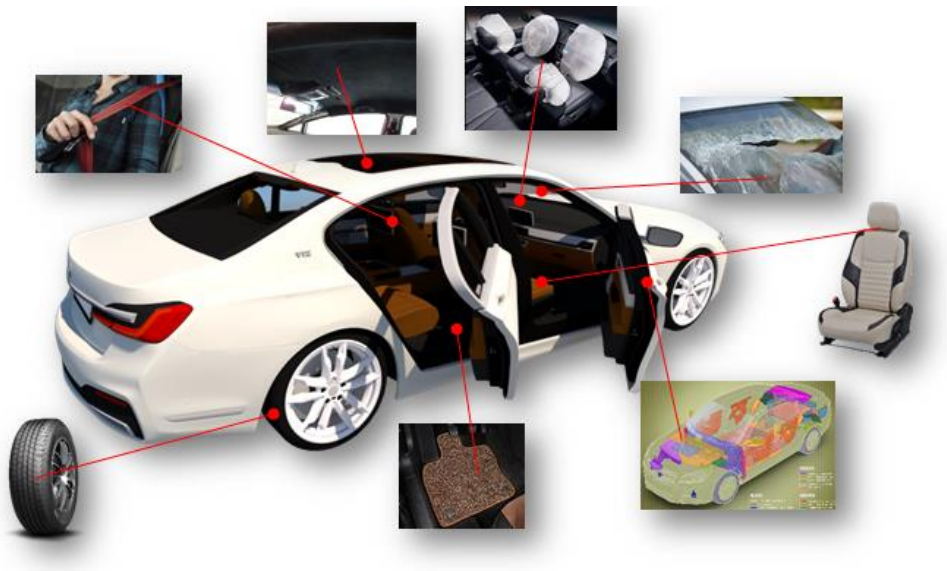


6 VÝVOJ TECHNOLÓGIÍ A TECHNÍK NA ZHODNOCOVANIE ODPADOV DO ZVUKOVO A TEPELNOIZOLAČNÝCH PRODUKTOV

Automobily po skončení doby ich životnosti predstavujú celý rad komponentov (odpadu), rôzneho materiálového zloženia, ktorý je žiaduce ďalej zhodnocovať. Práve takýto cieľ si stanovili riešitelia projektu UNIVNET zo Strojníckej fakulty Technickej univerzity v Košiciach. Pozornosť bola sústredená predovšetkým na problémové materiály z komponentov, ako sú napr.: pneumatiky, autosedačky, koberce, poťahy, airbagy, sklá a pod. a zamerať sa na vývoj technológií a techník na zhodnocovanie odpadov do zvukovo a tepelnoizolačných, ale aj iných produktov. [3, 5, 15, 9]

6.1 Úvod

Aplikácia materiálov (recyklovaných materiálov) z automobilov po ukončení doby ich životnosti sa stáva v súčasnosti veľmi aktuálnou témou. Tieto materiáli, ako potvrdzujú naše výskumy a výskumy našich partnerov, sú vhodné na výrobu zvukovo a tepelnoizolačných produktov (Obr. 100). [24, 28, 38, 40, 41, 42, 23, 26]



Obr. 100 Materiály vhodné na recykláciu

6.2 Materiály a frakcie získané z procesov recyklácie

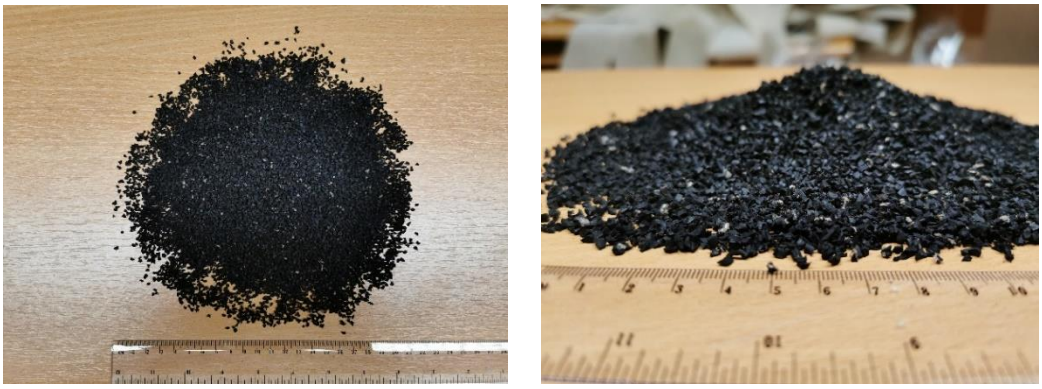
Pozornosť riešiteľov projektu sa sústredila predovšetkým na využitie materiálov získaných z recyklácie pneumatík, autosedačiek, poťahov, pásov, kobercov, airbagov, ale aj skiel automobilov.

Materiál a frakcie z recyklácie pneumatík

Pri získavaní materiálu a vhodných frakcií pre potreby výskumu riešitelia intenzívne spolupracovali so spoločnosťou AVE SK odpadové hospodárstvo s.r.o., prevádzka Kechnec. [45].

Gumový granulát (Obr. 101, Obr. 103) ako produkt z recyklovaných plášťov pneumatík a gumy je možné použiť na viacero aplikácií a v rôznych oblastiach. [45] Najpoužívanejšie frakcie gumového granulátu sú [45]:

- 0,0 - 0,5 mm - polotovar pre nové výrobky,
- 0,0 - 1,0 mm - polotovar pre nové výrobky,
- 0,5 - 2,0 mm - zásyp do umelých trávnikov, výrobky z recyklovanej gumy, športoviská,
- 1,0 - 3,0 mm - zásyp do umelých trávnikov, výrobky z recyklovanej gumy, športoviská,
- 2,5 - 4,0 mm - výrobky z recyklovanej gumy, športoviská.



Obr. 101 Gumový granulát, frakcia 0 – 1 mm



Obr. 102 Textilná zložka



Obr. 103 Gumový granulát, frakcia 1 – 3 mm

Výsledkom recyklácie pneumatík je aj textilná zložka (Obr. 102) a oceľové kordy s malým podielom zvyškového gumového granulátu (Obr. 104).



Obr. 104 Oceľové kordy a malý podiel zvyškového gumového granulátu

Gumový granulát rôznych rozmerov sa používa na zásypy do umelých trávnikov, ako aj na výstavbu povrchov multifunkčných ihrísk, je dôležitou surovinou pre výrobu gumových rohoží pre bezpečné detské ihriská podľa normy STN EN 1176 [1].

Materiál a frakcie z recyklácie textilu

Pri získavaní materiálu a vhodných frakcií pre potreby výskumu riešitelia intenzívne spolupracovali so spoločnosťou PR Krajné s.r.o., Krajné. Základným princípom spracovania je mechanické prepracovanie pôvodného textilného materiálu. Podstatou je vytvorenie chumáča, zhluku pôvodnej štruktúry textílie, uvoľnenie armovacích vlákien a samostatných vlákien (Obr. 105). [25, 29, 30, 32, 33, 35, 37]



textilný materiál plošný útvar | spravidla do 100 mm | chumáč | chumáč spravidla do 25 mm | homogenizovaný chumáč

Obr. 105 Tvorba textilného chumáča

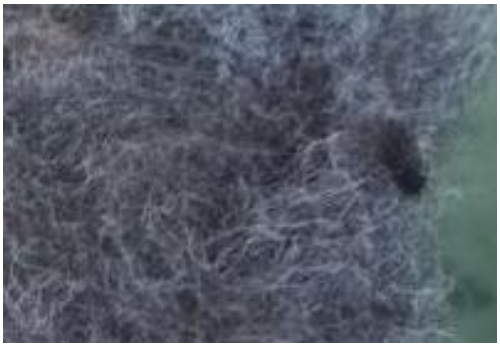
Recykláciou textilu možno získať materiály a frakcie uvedené na Obr. 106 až Obr. 109. Všetky špecifické vlastnosti pôvodného materiálu sa prenášajú aj do vlastností nového konštrukčného materiálu. Do formátu dosky sa tvaruje homogenizovaný materiál pridaním pojiva na báze prepolyméru polyuretánu (Obr. 109). [31]



Obr. 106 Trhaný materiál



Obr. 107 Strihaný materiál



Obr. 108 Textilný chumáč



Obr. 109 Kompaktný materiál z recyklovaného textilu

Experimentálny materiál má veľmi dobré zvukové a tepelnoizolačné vlastnosti, ako napr. [4, 31]:

- Deklarovaná hodnota tepelnej vodivosti: λ = 0,061 [W/m.K]
- Trieda zvukovej pohltivosti: A
- Deklarovaná veličina DL_α z hľadiska pohlcovania hluku z cestnej premávky: 9 dB/ kategória A3
- Koeficient absorpcie zvuku: aw - 0,90
- Tlakové napätie pri 10 % kompresii: 203 MPa
- Pevnosť v ťahu kolmo na rovinu dosky: 322 MPa
- Krátkodobá absorpcia vody čiastočným ponorením: Wlp, metóda A Kg / m^2 11,8
- Dlhodobá absorpcia vody čiastočným ponorením: Wlp, metóda A Kg / m^2 13,4
- Stlačiteľnosť: 3,68 mm
- Priepustnosť pre vodné pary: μ - 2,9
- Reakcia na oheň: E
- Bezpečnosť pre zdravie: v súlade s príslušnými ustanoveniami

Materiál a frakcie z recyklácie molitanu

Pri získavaní materiálu a vhodných frakcií pre potreby výskumu riešitelia intenzívne spolupracovali so spoločnosťou KRASPLAST s.r.o., Krasňany. Neskôr sa touto problematikou zaoberala spoločnosť ZSNP RECYCLING, a.s. Recykláciou molitanu možno získať materiály a frakcie uvedené na Obr. 110 až Obr. 111. Finálny produkt je vyrobený lepením rozdrvených kúskov klasickej peny. Vzhľadom k svojej hustote a tvrdosti je materiál vhodný pre výrobu najrôznejších produktov. Rovnako ako u klasických pien, vhodné je aplikovať drvenú penu podľa jej hustoty (hustota R65 a R80). Objemová hmotnosť materiálu je od 40 až po 230 Kg/m^3 a odpor proti stlačeniu je od 3,4 kP až po viac ako 60 kPa.



Obr. 110 Spracovanie molitanu drvením



Obr. 111 Kompaktný materiál z recyklovaného molitanu

Za účelom spracovania rôznych typov odpadových polyuretánových materiálov na menšie častice bolo vyvinutých množstvom dezintegračných technológií. [6, 8, 14] V Tab. 41 sú uvedené výrobné technológie, ktorými sa môžu narezať, nastrihať alebo prebrúsiť rôzne veľké častice PUR pien.

V Tab. 42 sú uvedené **mechanické vlastnosti teplom vytvarovanej štandardnej PU peny** (bez brúsnych materiálov) a PU peny, ktoré obsahovali brúsenú PU penu. [5, 14]

Tab. 41 Technológie na zmenšovanie veľkostí častíc PUR pien

Typ PUR peny	Veľkosť častice	Technológia
Tvrdá (tuhá) PUR pena	< 0,3 mm	Presné strihanie
	< 0,3 mm	Peletový mlyn
	< 0,2 mm	Guľový mlyn
Mäkká PUR pena	< 0,3 mm	Presné strihanie
	< 0,3 mm	Peletový mlyn
	< 0,2 mm	Tuhý šmykový extrúder
	< 0,2 mm	Kryogénne mletie
	< 0,2 mm	Miešanie s vysokým šmykom/strihom
	< 0,1 mm	Dvojvalcový mlyn
Spevnená PUR pena (RRIM)	< 0,2 mm	Nárazové kotúčové frézovanie

Tab. 42 Mechanické vlastnosti teplom vytvarovanej štandardnej PU peny (bez brúsnych materiálov) a PU peny, ktoré obsahovali brúsenú PU penu [5, 14]

Vlastnosti	Štandardná pena (bez prebrúsenej peny)	Pena plnená s 15 % hmotnosťou prebrúsenej peny
Hustota (kg/m^3)	30	30
Napätie v ťahu (kPa)	128	140
Predĺženie pri pretrhnutí (%)	183	193
Stlačenie v tlaku (%)	5,4	12,5

Mechanické vlastnosti za **studena lisovanej čistej štandardnej PU peny** (bez brúsnych materiálov) a PU peny, ktoré obsahovali brúsenú PU penu. Niektoré **fyzikálne a chemické vlastností polyuretánov** sú uvedené v Tab. 43 a Tab. 44. [5, 14]

Tab. 43 Mechanické vlastnosti za studena lisovanej čistej štandardnej PU peny (bez brúsnych materiálov) a PU peny, ktoré obsahovali brúsenú PU penu

Vlastnosti	Štandardná pena (bez prebrúsenej peny)	Pena plnená s 15 % hmotnosťou prebrúsenej peny
Hustota (kg/m^3)	70	64
Napätie v ťahu (kPa)	106	92
Predĺženie pri pretrhnutí (%)	147	102
Stlačenie v tlaku (%)	6,8	9,5

Tab. 44 Fyzikálne vlastnosti

Vlastnosti	Hodnota	Typ PU
Hustota	20 kg/m^3	PUR pena
	24,6 kg/m^3	PUR pena CFC-11 13,9 %
	39,0 kg/m^3	PUR pena HFC-134a 7,1 %
	32,2 kg/m^3	PUR pena HCFC-141b 11,7 %
	30,7 kg/m^3	PUR pena HFC-245fa 11,9 %
	1120 - 1240 kg/m^3	PUR elastomér
Špecifické teplo	1400 J/kg K	PUR pena
Tepelná vodivosť	0,034 W/mK	PUR pena
	0,25-0,33 W/mK	PU elastomér
Teplota vzplanutia	310 °C	Tuhá pena
Teplota samovznietenia	415 °C	Tuhá pena
Nižšia hodnota výhrevnosti	27,0 MJ/kg	PU - lepidlo na báze PUF peny
	27,0 MJ/kg	
Teplota tavenia/ topenia sa	204 - 232 °C	PU elastomér

Porovnanie vybraných fyzikálnych vlastností materiálov sa uvádza v Tab. 45.

Tab. 45 Porovnanie fyzikálnych vlastností materiálov [5, 14]

Materiál	Súčiniteľ tepelnej vodivosti	Difúzny odpor μ	Objemová hmotnosť [kg / m^3]	Merná tepelná kapacita [J . kg^{-1} . K^{-1}]
EPS polystyrén	0,032 - 0,04	40 - 70	25 - 30	1270
PUR pena tvrdá	0,024 - 0,031	150 - 200	35 - 55	1500
PUR pena mäkká	0,037	2,5	8 - 10	800
Minerálna vlna	0,033 - 0,042	5 - 10	150 - 350	1150
Sklenená plsť	0,046 - 0,05	2,5	15 - 35	940

Materiál a frakcie z recyklácie airbagov

Airbagy sú považované za nebezpečný odpad. Pozostávajú z: vaku, generátora plynu a riadiacej jednotky a snímača zrýchlenia. Vak je vyrobený z polyamidovej alebo nylonovej látky. Cieľom procesu recyklácie airbagov je získať späť tri kľúčové komponenty a to: kovový šrot, plast a nylonový odpad. Recykláciou airbagov boli získané materiály a frakcie uvedené na Obr. 112 až Obr. 114.



Obr. 112 Rezanie a drvenie aerbagových vakov



Obr. 113 Pelety z aerbagových vakov



Obr. 114 Guličky z airbagových vakov

Riešitelia projektu sa zamerali na hľadanie možností využitia materiálu z recyklovaných aerbagov pri vývoji zvukovo a tepelnoizolačných produktov.

Materiál airbagu je siliconom potiahnutý polyamid PA 6.6. Názov polyamid v skutočnosti označuje celú skupinu extrémne odolných syntetických materiálov s veľmi podobnými vlastnosťami. Tieto materiály, na textíliách označované skratkou PA sa stali jednými z hlavných syntetických tkanín využívaných v textilnom priemysle.

Čísla za označením polyamid charakterizujú východiskové monoméry podľa počtu atómov uhlíka v ich molekulách. Tak napr. polymerizáciou kaprolaktámu, cyklickej zlúčeniny so šiestimi atómami uhlíka v molekule, získame polyamid 6 (PA 6) alebo polykondenzáciou lineárnych monomérov hexametylendiamínu so šiestimi a kyseliny adipovej tiež so šiestimi uhlíkovými

atómami v molekule získame polyamid (PA 66). PA 6 a PA 66 sú celosvetovo najrozšírenejšie polyamidy. Z PA 66 sa vyrábajú predovšetkým súčasti strojov, prístrojov a zariadení, napr. puzdrá kĺzných ložísk, ozubené kolesá, remenice, transportné valce, nosné kladky, kalolisové dosky. Spracováva sa aj na textilné vlákna. Polyamidy udržujú si veľmi dobrú stálosť rozmerov aj pri vzrastajúcom tepelnom zaťažení. U polyamidov s pridanými sklenými vláknami je rozťažnosť ešte menšia. V závislosti na zaťažení a tvare výrobku leží maximálna dovolená prevádzková teplota medzi cca - 40 °C do 80 °C až 125 °C. Polyamidy sa začínajú taviť pri teplotách nad 300 °C. Vznietenie nasleduje pri 450 ° C až 500 °C. Krátkodobo môžu polyamidy odolať teplotám do cca 200 °C. Polyamidy PA 66 so skleným vláknom môžu krátkodobo odolať teplotám až do 250 °C. Často používaný a priemyselnými podnikmi podporovaný test horľavosti je uvedený v norme UL-94 spracovanej Underwriters Laboratories.

Materiál a frakcie z recyklácie skla

Pri získavaní materiálu a vhodných frakcií pre potreby výskumu riešitelia spolupracujú so Strojníckou fakultou STU v Bratislave.

Postup výroby sklenených piesku ako polotovaru pre sklenené guličky z automobilových skiel je na Obr. 115. Príklad sklenených guličiek je na Obr. 116.



Obr. 115 Postup výroby sklenených piesku ako polotovar pre sklenené guličky

Recykláciou skla boli získané materiály a frakcie uvedené na Obr. 116 až Obr. 117. [7]



Obr. 116 Sklenené guličky

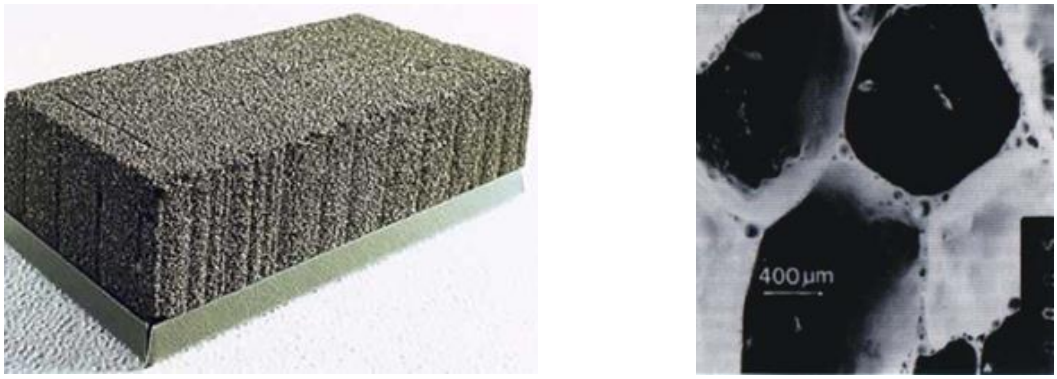


Obr. 117 Bubliny z penového skla 2 - 4 mm [8]

Bubliny z penového skla (Obr. 117) od spoločnosti GEOCELL na použitie vo viazaných a neviazaných izolačných podlahových systémoch. Penové bubliny zo skla GEOCELL

sú všestranné izolačné guľôčky na použitie so spojivom alebo bez neho (napríklad prírodné hydraulické vápno alebo cement). Okrem toho, že použitie bubliniek z penového skla nemá negatívny vplyv na zdravie, zaručuje vynikajúcu izoláciu s najvyššou požiarnou bezpečnosťou a jednoduchým používaním. Tepelná vodivosť - 0,07 W / mK.

Jedným z novších izolačných materiálov je penové sklo. Vyznačuje sa parotesnosťou, nenasiakavosťou, nehorľavosťou a veľkou tlakovou únosnosťou, čo prispieva k jeho využívaniu napr. pri izolácii základov či plochých striech. Vyrába sa z mletého, často recyklovaného skla, ktoré sa napeňuje pomocou oxidu uhličitého (Obr. 118). Má dobré tepelno-izolačné vlastnosti - súčiniteľ tepelnej vodivosti penového skla je od 0,04 do 0,048 W/m.K.



a) blok vyrobený z penového skla b) zväčšená štruktúra penového skla

Obr. 118 Penové sklo

6.3 Technológie výroby zvukovo pohltivých materiálov, resp. prvkov

Z produktov recyklácie ojazdených automobilov sa na výrobu zvukovo pohltivých prvkov môžu použiť produkty recyklácie pneumatík, autosedačiek, poťahov, kobercov a airbagov. Technológia vlastnej recyklácie autoplášťov, resp. autosedačiek je osobitný proces, ktorý je v podstate univerzálny pre následné ďalšie zhodnotenie produktov recyklácie. V ďalšom sa preto bude pozornosť venovať spracovaniu gumovej drviny (obrusov), drviny textilných kordov a drviny z autosedačiek a autopoťahov, teda surovinám používaným pri výrobe zvukovo pohltivých prvkov. Je potrebné uviesť, že princípy technológií použité pre jednotlivé komponenty sú v podstate rovnaké - ide o kompaktáciu sieťovaním vplyvom teploty a tlaku.

V nasledujúcej časti správy sa riešitelia projektu UNIVNET zamerali na technológie výroby zvukovo pohltivých materiálov, resp. prvkov.

6.3.1 Technológia výroby zvukovo pohltivých prvkov z pneumatík

Produktom recyklácie pneumatík vhodným pre následnú výrobu zvukovo pohltivých prvkov je samotná gumová drvina s rôznou veľkosťou zrna, textilné kordy a gumový „obrus" z protektorovania pneumatík. V podstate je možné vyrobiť niekoľko variantov zvukovo pohltivého prvku:

- monoštrukturálny prvok, vytvorený len z jednej frakcie gumovej drviny,

- sendvičová štruktúra, kde je sendvič tvorený z 2 - 3 vrstiev gumovej drviny rôznej zrnitosti,
- sendvičová štruktúra, kde je sendvič tvorený z 1 - 2 vrstiev gumovej drviny a z 1 vrstvy z textilných kordov,
- sendvičová štruktúra, kde je sendvič tvorený z 1 - 2 vrstiev gumovej drviny a vrstvy drviny z autosedačiek a autopoťahov.

Žiadny z týchto výrobkov nie je samonosný a musí byť pri konkrétnom použití aplikovaný v kombinácii s nosným rámom, nosnou konštrukciou.

Monoštrukturálny prvok je vyrábaný najčastejšie z gumovej frakcie o veľkosti zrna 4 - 6 mm. Môže sa vyrábať z hladkým povrchom prednej steny, resp. s jej reliéfnym povrchom. Vytvorenie reliéfu umožňuje zvýšiť povrch výrobku, čo má kladný vplyv na úroveň zvukovej pohltivosti výrobku. Hodnota zvukovej pohltivosti však úzko súvisí s objemovou hmotnosťou výrobku, jeho tvrdosťou a pevnosťou. Toto však platí i pre ostatné typy zvukovo pohltivých prvkov.

Prvky so sendvičovou štruktúrou tvorené z 2 - 3 vrstiev gumovej drviny s rôznou veľkosťou zrna sú konštruované tak, že rozhodujúcu zvukovo pohltivú funkciu zohráva stredná vrstva. Vrchná resp. spodná vrstva majú predovšetkým ochrannú funkciu. Vrchná vrstva môže byť farebne upravená. Táto vrstva je v maximálnej hrúbke 10 - 15 mm, čo je cca do 10 % celej hrúbky výrobku. Svojou štruktúrou nesmie pôsobiť odrazivo, naopak musí byť dobre priepustná pre zvukové vlny. Z tohto pohľadu sa osvedčilo použitie gumového „obrusu", ktorý svojim ihlicovým tvarom umožňuje plniť dobre tak ochrannú funkciu, ako i funkciu dobrého priechodu zvukových vín. Stredná vrstva tvoriaca 80 % resp. pri dvojvrstvovom sendviči 90 % hrúbky plní rozhodujúcu funkciu zvukovej pohltivosti. Sendvič musí byť dostatočne pevný a pružný a pre vytváranie „zvukovo pohltivého labyrintu" je vhodná gumová drvina s veľkosťou zrna 5 - 6 mm. Spodná vrstva je vyrobená z jemnozrnnej drviny. Jej ochranný význam je dôležitý hlavne pri použití tohto typu sendviča v kombinácii s betónovým nosičom, ku ktorému sa sendvič pripevní, resp. pri zalievaní sendviča do betónových panelov. Pri pokusoch o zvýšenie pohltivosti sa zistilo, že ak sa medzi stenou nosného rámu a sodnou časťou sendviča vytvorí voľný priestor - v podstate rezonátor, má to kladný dopad na hodnotu zvukovej pohltivosti. V tomto smere sa môže rezonátor vytvoriť i úpravou spodnej vrstvy, kde sa pri procese výroby môže vytvoriť potrebné vybranie, či už z hľadiska tvaru, ale aj veľkosti vybrania.

Zvukovo pohltivý prvok sendvičovej štruktúry s použitím textilných kordov je v podstate obdobou predchádzajúceho s tým, že stredná vrstva je vyrobená z kompaktovaných textilných kordov. V porovnaní s gumou zabezpečujú textilné kordy lepšiu zvukovú pohltivosť. Sú však ťažšie kompaktovateľné a nevytvárajú tak pevnú a súdržnú vrstvu, ako je to v prípade sendviča z gumy. Preto pri tomto modely je funkcia vrchnej a spodnej vrstvy sendviča veľmi dôležitá. Okrem iného spĺňa i funkciu spevnenia sendviča.

Obdobným konštrukčným riešením je sendvičová štruktúra zvukovo pohltivého prvku, kde vrstva z textilných kordov je nahradená vrstvou z drviny z autosedačiek a autopoťahov. Voľba tohto materiálu bola i z toho dôvodu, že boli získané poznatky z dobrej zvukovej

pohltivosti kompaktovaného odpadu z autosedačiek a z autopoťahov. Navyše u tohto materiálu sa môžu získať pevnejšie a kompaktnejšie prvky. Vzhľadom na túto vlastnosť je možné i spodnú gumovú vrstvu vynechať.

Na zvukovo pohltivé aplikácie je možné použiť gumovú drvinu i v kombinácii s betónom. Nejde o plastikársku, ale o „betonársku" technológiu. Gumová drvina s priemerom zrna nad 5 mm sa mieša s betónovou zmesou (ako čiastočná náhrada štrku), čím sa vytvára kompaktný prvok, ktorý už je samonosný a ktorý môže by použitý tam, kde sú požiadavky na nehorľavosť protihlukových panelov, resp. požiadavky na nižšiu zvukovú pohltivosť.

Sendvičová štruktúra je veľmi vhodná i z hľadiska tzv. Helmoholtzovho rezonátora, ktorý hovorí o postupnej premene energie zvukových vĺn na tepelnú energiu. Akustická energia zvukových vĺn sa pri dopade na zvukovo pohltivý prvok z časti odrazí a z časti sa pohltí v štruktúre porézneho materiálu, v jeho štruktúre otvorov a dier rôznej veľkosti sa premení na tepelnú energiu. Ak má zvukovo pohltivý prvok sendvičovú štruktúru, tak sa účinok premeny akustickej energie na tepelnú z odrazu už odrazených vín na medzivrstvovom rozhraní zvyšuje. Zvukové vlny, ktoré napr. prešli vrchnú vrstvu a v následnej spodnej vrstve sa z časti odrazili majú tendenciu sa na rozhraní z časti opäť vrátiť do spodnej vrstvy a z časti sa pri prechode cez vrchnú vrstvu opäť v nej pohltiť - premeniť na tepelnú energiu. Zvyšuje sa teda zvuková pohltivosť výrobku Vhodnou zostavou, konštrukciou sendviču je možné výrazne ovplyvniť výslednú efektívnosť a úroveň zvukovej pohltivosti. Tak je vhodné, ako jedna vrstva má „veľmi poréznu" štruktúru. Tú napríklad zabezpečuje vrstva z textilných kordov, ale i vrstva z autosedačiek (PUR ako mäkká pena má v sebe dostatok otvorov a dier rôznej veľkosti).

Tento efekt so sendvičovou štruktúrou a poznatky z neho sa následne môže overiť a aplikovať pri konštrukcii zvukovo pohltivého absorbéra zloženého z viacerých materiálov.

Použitie textilných kordov pri výrobe sendvičov má popri dobrých akustických vlastnostiach i svoje obmedzenia. Je to hlavne vyššia horľavosť v porovnaní s gumou a tiež väčšia nasiakavosť sieťujúceho spojiva, čo si vyžaduje jeho väčšiu spotrebu, a tým je i cenove náročnejší - drahší.

Nedostatočná koncentrácia spojiva má za následok menšiu tuhosť, pevnosť sendviča a ten sa môže práve na vrstve kordov deformovať.

Vyššia horľavosť textilných kordov má opäť dopad na ekonomiku, a to pri riešení nehorľavej úpravy. Vzhľadom na vysokú horľavosť nielen kordov, ale i použitého spojiva je potrebná pre sendviče nehorľavá úprava celej štruktúry, nielen vrstvy gumy.

Spojivo na báze polyuretán - polybutadien sa pridáva do hmoty v koncentrácii min. 14 % hmotnostných. Retardér horenia na zabezpečenie nehorľavosti sendviča sa používa na báze brómového arómatu a oxidu antimónového. Jeho koncentrácia je min. 6 - 8 % hmotnostných. Riešenie nehorľavej úpravy zvukovo pohltivého sendviča z recyklovaných pneumatík je predmetom autorských práv riešiteľov (patent č. 288 237: Nehorľavá úprava zvukovo-pohlivých prvkov z recyklovaných autoplášťov a gumy) [47].

Nehorľavosť, resp. ochrana pred rizikom vzniku požiaru sa dá riešiť i ochranou sendviča nehorľavým materiálom. To je už ale ďalší prvok, ktorý sa zvyčajne nemôže pridať v jednej technologickej operácii. „Prídavok" takejto vrstvy - napr. Nobasil, sadrokartôn, gumobetón a pod., síce môže znížiť horľavosť, ale zároveň zníži i úroveň zvukovej pohltivosti. Výnimkou

môže byť materiál Nobasil a STERED, kde by sa ich pridaním zvuková pohltivosť neznížila. Pravdivosť tohto tvrdenia bude riešiteľmi projektu v ďalších častiach výskumnej správy potvrdené.

Technológia výroby sendvičov lisovaním

Pri výrobe zvukovo pohltivých jednovrstvových resp. sendvičových prvkov možno použiť technológiu lisovania, resp. technológiu kompaktovania mikrovlnným ohrevom.

Pri technológii lisovania sa používajú veľkoplošné lisy - hydraulické, resp. parné. Lisovanie sa robí za vysokého tlaku - min. 20,265 baru s vyhrievanými lisovacími nástrojmi. Spodná časť je vyhrievaná na teplotu 120 °C, horná časť je vyhrievaná na teplotu 90 °C. Lisovacia forma musí byť konštruovaná tak, aby mala dobrý prestup tepla, t.j. aby ohriatie formy a lisovaného materiálu bolo čo najkratšie.

Lisovacia forma býva kovová, dvojdielna. Má tvar požadovaného výrobku, zvrchu sa zakrýva prítlačnou kovovou doskou. Pre lepšie vyberanie výlisku z formy je na dne formy ešte položená tenká kovová platňa, ktorá sa cez malý otvor na spodnej strane formy mechanicky vytláča, čím sa vytláča i výrobok. Pre ľahšie vyberanie výrobku sa vnútro formy pravidelne „vystriekava" silikónovým olejom. Pri výrobe sendvičov z falcom, reliéfom, alebo úpravou zadnej vrstvy (rezonátor) sa pri výrobe vkladajú do formy potrebné upravujúce prvky.

Celý technologický proces je diskontinuálny - zatiaľ čo je jedna forma v lise, druhá sa pripravuje. S výhodou sa používajú lisy, ktoré majú dva pracovné stoly - na jednom sa pripravuje a plní forma na lisovanie, na druhom sa hotový výrobok vyberá.

Zmes gumovej drviny, resp. textilných kordov a spojiva sa robí v miešačkách, resp. v mixéroch. Podľa počtu vrstiev musí byť i počet miešacích zariadení. Každá vrstva sa mieša osobitne. Podľa hrúbky jednotlivých vrstiev sa volí navážka suroviny (gumová drvina, textilné kordy, resp. drvené autosedačky a autopoťahy). Koncentrácia spojiva je v rozmedzí 12 - 16 % hmotnostných. Koncentrácia spojiva sa volí v závislosti na nasiakavosť materiálu a na požiadavku na tuhosť výrobku. Pre urýchlenie chemickej reakcie zosieťovania, kompaktovania sa k spojivu pridáva katalyzátor, a to v koncentrácii max. 0,2 % hmotnostných. V prípade požiadavky na nehorľavú úpravu sa ku zmesi pridáva 6 - 8 % retardéru horenia. Spojivo je na báze polyuretánu - polybutadienu, retardér horenia je na báze brómového arómatu a oxidu antimónového. Jednotlivé vrstvy sa do formy vrstvia postupne - po zarovnaní prvej vrstvy (guma) sa pridá druhá (guma, textilné kordy, PUR), prípadne tretia (guma). Forma sa uzatvorí vrchnou časťou a lisuje sa za tepla a pod tlakom 12 - 15 minút v závislosti od vyrábanej hrúbky sendviča. Potom sa forma posúva do druhej polohy pracovného stola a výrobok sa vyberá (ešte relatívne teplý a po odformovaní ešte „dozrieva").

Nevýhodou tejto technológie je vysoká energetická náročnosť, pomerne dlhý technologický pracovný cyklus. Doba výroby jedného výrobku je min. 25 - 30 minút, čo má dopad na cenu. Pomerne nákladná je i cena foriem.

Podľa požiadaviek architektov sa môžu výrobky vyrábať i vo farebnom prevedení. V tomto prípade s farbivo pridáva do zmesi na vrchnú (pohľadovú) vrstvu sendviča.

Technológia výroby sendvičov mikrovlnným ohrevom

Vysokú energetickú a ekonomickú náročnosť výroby lisovaním rieši technológia mikrovlnným ohrevom. Výhoda oproti klasickému lisovaniu je v tom, že sa výrazne skracuje výrobný technologický cyklus z 12 - 15 minút na 4 - 5 minút. Nie je potrebné vyhrievanie foriem na vysoké teploty. Nie je potrebný ani vysoký lisovací tlak či drahé formy. Podstata technologického procesu je v tom, že potrebná zmes sa pripraví v mixéry, resp. v miešačkách. Formy môžu byť jednoduché a bývajú spravidla drevené Po naplnení, navrstvení sa forma uzatvorí drevenou vrchnou časťou formy. Zatváranie formy sa robí miernym tlakom a vrchná časť formy sa zafixuje kolíkmi. Uzatvorená forma ide po dopravnom páse do mikrovlnného tunela, kde prebehne sieťovanie. Rýchlosť prechodu cez tunel je nastavená tak, aby v ňom forma zostala cca 4 - 5 min. V tunely môže byť naraz i niekoľko foriem (závisí od ich veľkosti). Vzhľadom na lacnú konštrukciu foriem ich môže byť pre jeden typ výrobku i niekoľko, čo umožňuje prakticky kontinuálnu výrobu. Konštrukcia foriem navyše umožňuje bez väčších zásahov meniť i rozmery výrobkov. Napätie generujúce mikrovlny je cca 5 kV. Použité spojivo, katalyzátor, prípadne retardér horenia sa používajú ako v prípade klasického lisovania.

Pokusy o náhradu spojiva iným spojivom napr. na báze akrylátov neboli úspešné. Znížila sa síce cena (akrylátové spojivo je podstatne lacnejšie než polyuretán - polybutadienové), ale výrazne sa zhoršila tuhosť výrobkov. Zvýšila sa nepatrne zvuková pohltivosť, ale výrobky sa pri aplikácii „rozpadali".

Táto technológia umožňuje vyrábať i kombinované výrobky, keď jedna z vonkajších vrstiev (spravidla spodná) sa môže použiť z tvrdého materiálu napr. guma-betón, Cetris alebo betón. Táto pevná stena sa v procese výroby môže použiť ako vrchná doska formy. Technológia mikrovlnného ohrevu je z dôvodu jednoduchšej konštrukcie foriem vhodná i pre tvarovo náročnejšie výrobky aj pre reliéfne povrchy. Výrobky a technológia je predmetom autorských práv riešiteľov projektu (úžitkového vzoru č. 5721 „Kompaktné prvky z gumárenského recyklátu vyrábané technológiou mikrovlnného ohrevu"). [12].

Výroba gumobetónu

Gumová drvina sa dá aplikovať do betónovej zmesi, ako čiastočne náhrada štrku. Získa sa konštrukčný prvok, ktorý má i zvukovo pohltivé vlastnosti. Používa sa drvina s maximálnym priemerom zrna 7 mm, pričom podiel gumy v betónovej zmesi môže byť max. 40 % objemových.

Technológia výroby sa nelíši od betonárskej technológie - t.j. v miešačke sa zmieša v požadovanom pomere cement, voda štrk a guma. Pre spevnenie výrobku sa môže vyrobený prvok vystužiť kovovým armovaním. Pohľadová časť prvku môže byť rôzne tvarovaná, reliéfovaná. Na zadnej stene môžu byť v závislosti na použitie aplikované i rôzne kotviace prvky.

Riešenie gumobetónu je pod názvom „Konštrukčné prvky z gumobetónu pre protihlukové aplikácie" priznané na ÚPV ako úžitkový vzor - č. 5982. [13].

6.3.2 Technológia výroby zvukovo pohltivých prvkov z molitanu (polyuretanových pien)

Autosedačky a autopoťahy sú vyrábané predovšetkým z mäkkých „pevných" materiálov. Svojou vysokou pórovitou štruktúrou má drvina výborné predpoklady pre výrobu zvukovo pohltivých prvkov. Prvé technologické pokusy o výrobu kompozitných prvkov vychádzali z poznatkov o technologickom procese lisovania recyklátu z autoplášťov. Bola použitá rovnaká technológia i rovnaké spojivo. Ukázalo sa, že i keď je táto technológia vhodná, je ekonomicky veľmi nákladná. Vysoká pórovitosť materiálu má za následok vyššiu spotrebu spojiva, než v prípade spracovania gumovej drviny. Vysoká spotreba spojiva pri jeho vysokej cene bola z komerčného hľadiska nezaujímavá. Navyše sa ukázali problémy i s delením materiálu a obmedzené boli i rozmery výrobkov. Dobrá zvuková pohltivosť sa mohla dosahovať už pri hrúbkach 20 mm. Pre aplikáciu však boli maximálne výrobné rozmery 500 x 1000 mm neprijateľné. Nevýhodou výrobkov vyrobených touto technológiou je i to, že s klesajúcou hrúbkou výrobkov klesá i ich pevnosť - kompaktnosť.

Tieto nedostatky odstraňuje nová licencovaná technológia spracovania odpadu z autosedačiek a autopoťahov. Ide o technológiu, kde proces kompaktovania prebieha účinkom horúcej pary, pričom nie je potrebný vysoký tlak, tak ako je to v prípade lisovania [15].

Technológia má v podstate 3 technologické uzly:

- miešanie,
- parenie,
- vytvrdzovanie (vyzrievanie).

V procese „miešanie" sa drvina z autosedačiek a autopoťahov zmiešava so sieťujúcim lepidlom. Typ lepidla (sieťovacieho činidla) a koncentrácia je licenčne chránená.

Môže sa spracovať variantne:

- 100 % autosedačky (PUR),
- 100 % autopoťahy (PES, PUR),
- 50 % autosedačky + 50 % autopoťahy.

Mieša sa tak, aby sa naplnila jedna dávka formy na 0,3 m. Cyklus miešania trvá cca 10 minút a pripravená zmes sa naplní do formy, kde po uzavretí začína proces „parenia".

V procese „parenia" sa zmes sieťuje účinkom horúcej pary - teplota 160 °C. Tento uzol trvá približne 10 minút a počas tejto doby sa v podstate zmes kompaktuje.

Naparená zmes sa nechá ďalších 10 minút vyzrievať - vytvrdzovať, čím sa po vybratí z formy získava už hotový výrobok. Najčastejšie sa vyrábajú bloky s hrúbkou 100 mm, pričom je možné robiť i väčšie hrúbky. Pri väčších hrúbkach sa predlžujú i technologické časy. Vyrobený blok je kompaktný a dostatočne tuhý na to, aby sa mohol štiepať, resp. rezať na potrebné hrúbky, resp. šírky a dĺžky. Štiepaním je možné získať výrobky hrubé napr. len 10 mm.

Tieto výrobky sú použiteľné napríklad na upevnenie do rámu. Do výrobku je možné zapracovať i výstuž - napr. kovovú karirohož, roxorové prúty, čím sa výrobok stáva samonosným, pričom hodnota zvukovej pohltivosti sa zásadne nemení. Nemení sa ani technologický proces výroby. Po naplnení polovice formy sa položí výstuž, forma sa doplní a pokračuje proces parenia a zretia. Výstuž umožní vytvoriť úchytné kotvy pre vytvorenie mobilných a ľahko demontovateľných protihlukových opatrení.

Výrobky na báze recyklovaných autosedačiek a autopoťahov sú spoločne označované ako Ekomolitan.

Využitie horúcej pary pri kompaktácii, sieťovaní sa ukazuje ako technologicky veľmi účinné - horúca para dokonale prehreje celú naplnenú formu. Rovnomerné a rýchle prehriatie zmesi má pozitívny dopad i na skrátenie technologického cyklu - sieťovania. Kladné poznatky z tejto technológie sa uvažujú experimentálne overiť i pri výrobe sendvičov z recyklovaných pneumatík (gumová drvina, textilné kordy). Je pritom potrebné overiť v súčasnosti používané spojivo a paralelne experimentálne overiť i vhodnosť iných typov spojív. Vzhľadom k tomu, že tento spôsob kompaktácie gumovej drviny nie je v literatúre popísaný mohlo by ísť o originálne riešenie využiteľné nielen na Slovensku, ale i v zahraničí. Pri kladnom výsledku by sa zefektívnila výroba, čo by sa premietlo priaznivo i do ceny výrobkov. Nižšia cena by určite zvýšila ich konkurencie schopnosť a tým i úspech na trhu. Túto technológiu je veľmi zaujímavé overiť najmä pre sendvičové typy zvukovo pohltivých prvkov.

6.4 Vývoj a výskum akustických vlastností materiálov

Riešitelia projektu sa zamerali v roku 2020 na vývoj a výskum akustických vlastností materiálov vyrobených na báze recyklovaných materiálov z automobilov po ukončení ich doby životnosti. [2, 4] Pi analýze možností aplikácie recyklovaných materiálov z komponentov ako sú: pneumatiky, autosedačky, koberce, poťahy, airbagy, pásy, sklá a pod. z ojazdených automobilov na nové akustické materiály je potrebné uvažovať s dvoma skupinami výrobkov a to [10, 11, 12, 13, 15, 16]:

- výrobky zaručujúce vzduchovú nepriezvučnosť (odrazivé),
- výrobky zaručujúce zvukovú pohltivosť (pohltivé).

Prvú skupinu produktov je možné použiť, ako zvukovo odrazivé prvky a je ich v princípe možné aplikovať i v kombinácii s iným typom zvukovo pohltivého absorbéra. Zvukovo pohltivé prvky nie sú v podstate samostatne použiteľné, nie sú „samonosné“. Aplikujú sa vždy v kombinácii s nejakým rámom, nosnou stenou, upevnené na pevnú dosku a pod. Nosná konštrukcia - rám môže byť z rôznych materiálov - plastu, dreva, hliníka a podobne. Charakteristická zvuková pohltivosť rôznych materiálov, v rôznom frekvenčnom spektre hluku dáva priestor pre sendvičové štruktúry, t.j. použitie viacerých materiálov na konštrukciu zvukovo pohltivého absorbéra. Tieto sendvičové štruktúry umožňujú zvyšovať hodnoty zvukovej pohltivosti, ale tiež aspoň čiastočne umožňujú riešiť negatívnu vlastnosť absorbérov napr. z gumy i PUR, a to ich horľavosť.

6.4.1 Výber materiálov pre experimentálnu časť

Riešitelia projektu vykonali množstvo laboratórnych meraní vybraných akustických deskriptorov (koeficient zvukovej pohltivosti (α), Index útlmu (R) pre nasledujúce vyvinuté akustické materiály a to:

- ekomolitan (Obr. 119),
- recyklovaná guma (Obr. 120).



Obr. 119 Ekomolitan



Obr. 120 Recyklovaná guma

Merania boli vykonané aj na materiály:

- Nobasil (Obr. 121).



Obr. 121 Nobasil

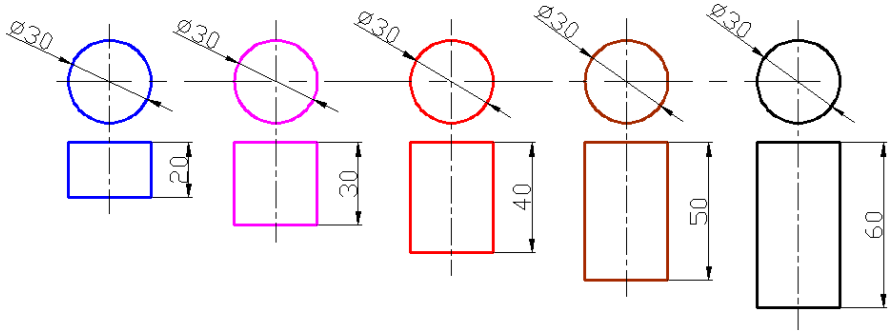
ktorý je častou zložkou (vrstvou) rôznych sendvičových konštrukcií protihlukových stien (clôn).

6.4.2 Príprava skúšobných vzoriek

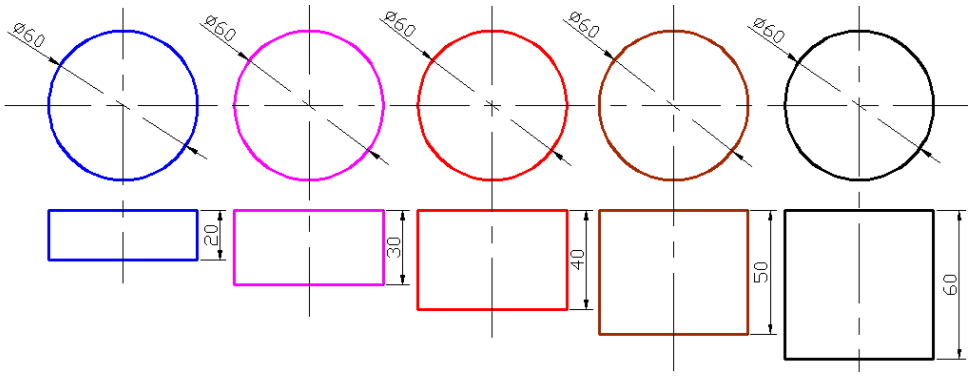
Skúšobné vzorky boli pripravené z troch materiálov (Ekomolitan, recyklovaná guma a Nobasil) a ich kombinácií, konkrétne išlo o:

1. **<u>Jednovrstvové Vzorky</u>**

Boli použité vzorky ekomolitanu, recyklovanej gumy a Nobasilu o priemere 30 mm (Obr. 122) a priemere 60 mm (Obr. 123) a hrúbkach od 20 mm do 60 mm.

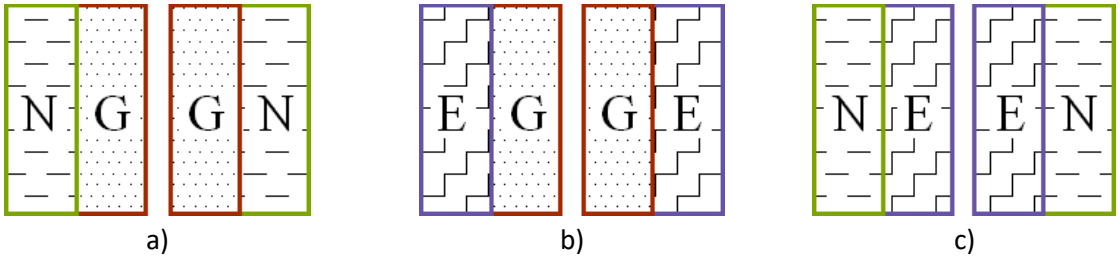


Obr. 122 Jednovrstvové vzorky o priemere 30 mm a hrúbkach od 20 do 60 mm



Obr. 123 Jednovrstvové vzorky o priemere 60 mm a hrúbkach od 20 do 60 mm

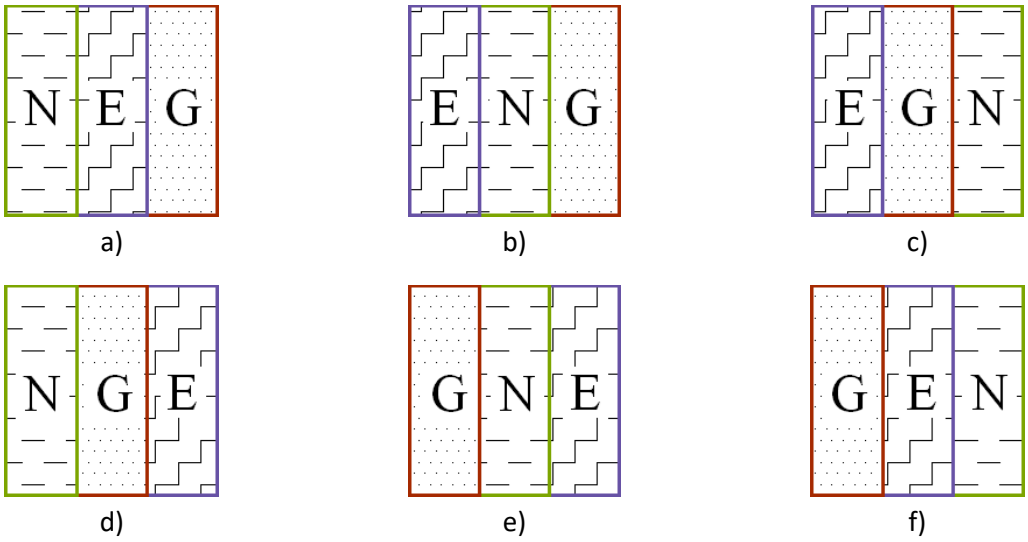
2. Sendvičové vzorky - dvojvrstvové



Legenda: N - Nobasil, G - guma, E - Ekomolitan

Obr. 124 Dvojvrstvové - sendvičové vzorky o priemere 30 mm a 60 mm

3. Sendvičové vzorky - trojvrstvové



Legenda: N - Nobasil, G - guma, E - Ekomolitan

Obr. 125 Trojvrstvové - sendvičové vzorky o priemere 30 mm a 60 mm

Skúšobná vzorka musí tesne priliehať do držiaka. Avšak nesmie byť nevhodne stlačená ani nesmie byť tak tesne vtlačená, aby sa vydula. Vhodné je utesniť prípadné trhliny okolo okrajov vzorky vazelínou alebo plastelínou.

6.4.3 Metodika merania vybraných akustických deskriptorov

Pri meraní vybraných akustických deskriptorov bola použitá riešiteľmi navrhnutá metodika v rámci riešenia projektu UNIVNET v roku 2019 [5].

6.4.4 Prístrojové, softvérové a ďalšie vybavenie

Na meranie a hodnotenie akustických vlastností sa použila impedančná trubica (Obr. 126). [14, 15, 17] Meranie sa uskutočňovalo pomocou impedančnej trubice BSWA TECH a s kondenzátorovými mikrofónmi. Impedančná trubica bola inštalovaná vo zvislej polohe, aby bolo možné ľahko merať vzorky s voľnou vrstvou. Pre každú vzorku sa uskutočnilo 10 opakovaných meraní a vyhodnotili sa priemerné hodnoty. Na vyhodnotenie akustických vlastností vzoriek sa použil koeficient zvukovej pohltivosti (α) a index útlmu (R). [15, 18, 19, 20, 21, 22] Meranie a vyhodnocovanie sa uskutočňovalo vo frekvenčnom rozsahu 100 - 1600 Hz v súlade s ISO 10534-2. [11]



Obr. 126 Pohľad na impedančnú trubicu BSWA TECH

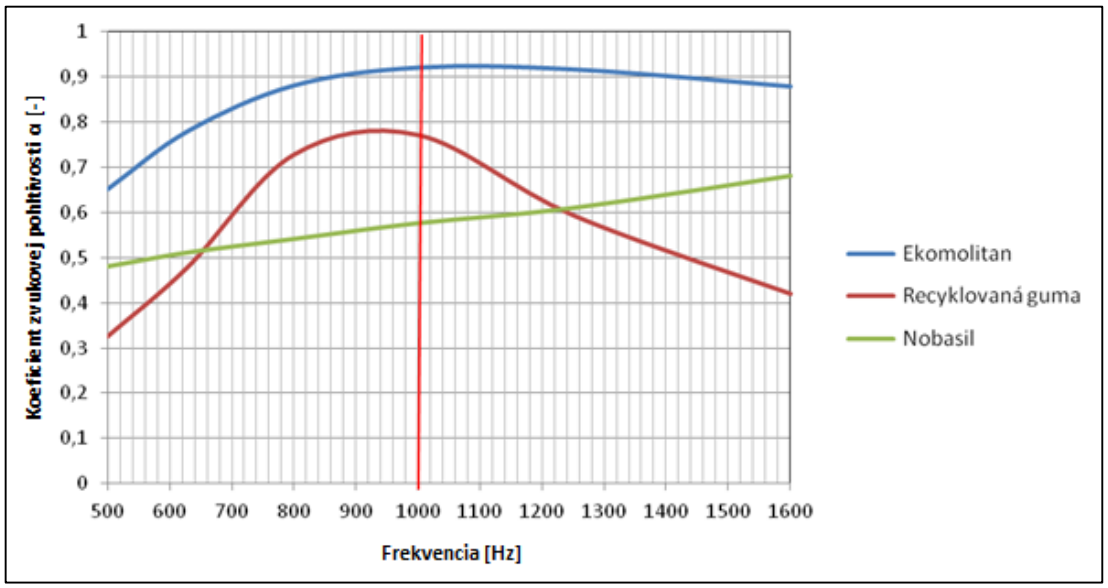
6.4.5 Výsledky a použitie materiálov v praxi

V nasledujúcej časti výskumnej správy sú prezentované výsledky závery získané z experimentálnych meraní. Koeficient zvukovej pohltivosti (α) je bezrozmerné číslo pohybujúce sa od 0 po 1. Čím je nameraná hodnota bližšie k číslu 1, alebo rovná číslu 1, tým vzorka meraného absorbéru a teda aj samotný absorbér bude vykazovať lepšiu (vyššiu) zvukovú pohltivosť. Index útlm (R) predstavuje hodnotu, ktorá sa udáva v dB na základe pomeru vlny dopadajúceho zvuku na prednú stranu akusticky absorpčného materiálu ku zvukovým vlnám prenášaných zo zadnej strany. R reprezentuje tlmiace vlastnosti materiálu, čo znamená, že čím vyššia je hodnota, tým je zvuk utlmenejší.

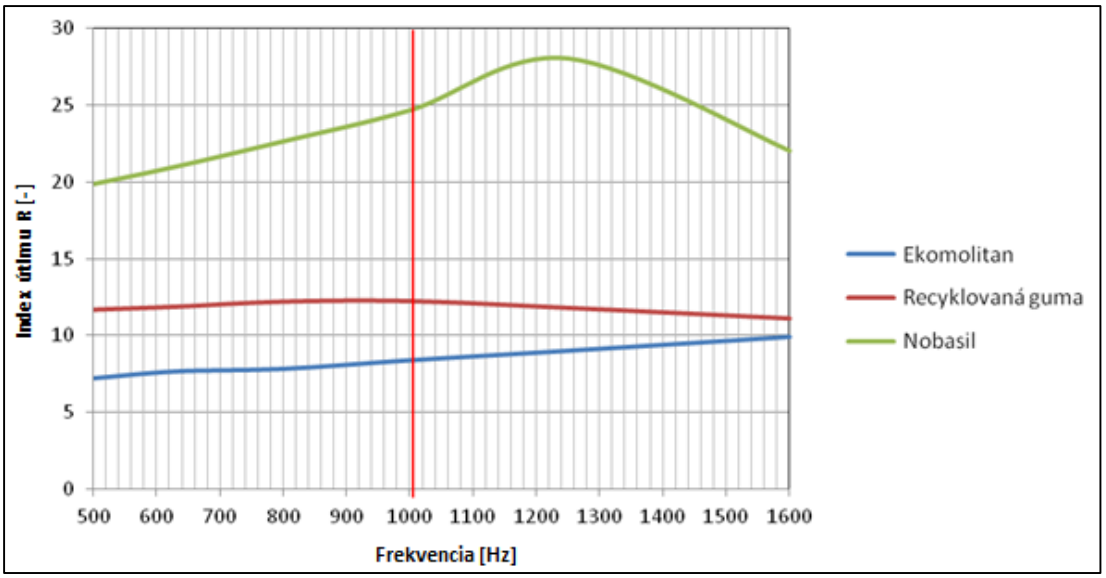
Závery z meraní jednovrstvových vzoriek

Riešiteľmi výskumnej úlohy boli vykonané merania koeficientu zvukovej pohltivosti (α) a indexu útlmu (R) pre rôzne materiály (Ekomolitan, Recyklovanú gumu a Nobasil) a rôzne hrúbky materiálov (20 mm, 30 mm, 40 mm, 50 mm a 60 mm). Frekvenčné spektrum dopravného hluku má svoje maximum v rozsahu 500 až 1 500 Hz, pričom najväčší hluk spôsobuje frekvencia 1 000 Hz. Na základe nameraných hodnôt zvukovej pohltivosti (α) vybraných materiálov (Nobasil, Ekomolitan a recyklovaná guma) pri rôznych hrúbkach materiálov pre frekvencie od 500 do 1 500 Hz bolo zistené, že najlepšie výsledky pri vzorke o hrúbke 40 mm boli dosiahnuté u materiálu Ekomolitan. Horšie výsledky boli namerané u materiálu recyklovaná guma (od 500 do 630 Hz a od 1 250 do 1 600 Hz), ale dobré výsledky pri frekvenciách od 630 Hz do 1 250 Hz. Najhoršie výsledky boli zistené u materiálu nobasil vo frekvenciách od 630 Hz do 1 250 Hz. Pri meraní zvukovej pohltivosti (α) materiálov o hrúbke 50 mm, výborné výsledky boli dosiahnuté pri materiály Ekomolitan (pri frekvenciách 500 Hz až 1 600 Hz), dobré výsledky boli dosiahnuté tiež u recyklovanej gumy v rozsahu 500 Hz až 900 Hz na rozdiel od materiálu Nobasil, kde výsledky boli horšie. Pri frekvenciách vyšších ako 900 Hz lepšie výsledky boli pozorované u materiálu Nobasil a horšie u materiálu recyklovaná guma. Zväčšovaním hrúbky meraného materiálu sa výrazne zvyšoval aj koeficient zvukovej pohltivosti (α) u materiálu Ekomolitan. Na základe nameraných hodnôt indexu útlmu vybraných materiálov (Nobasil, Ekomolitan a recyklovaná guma) pri rôznych hrúbkach (20 mm, 30 mm, 40 mm, 50 mm a 60 mm) pre frekvencie od 500 Hz do 1 500 Hz bolo zistené, že najlepšie výsledky pri všetkých meraných hrúbkach materiálu boli dosiahnuté u materiálu Nobasilu. Ďalej nasledovala recyklovaná guma a najnepriaznivejšie výsledky boli namerané u materiálu Ekomolitan.

Pre ilustráciu sú uvedené výsledky merania vo frekvenčnom pásme 500 Hz až 1500 Hz na Obr. 127 a Obr. 128.



Obr. 127 Koeficient zvukovej pohltivosti α (hrúbka materiálu 40 mm)

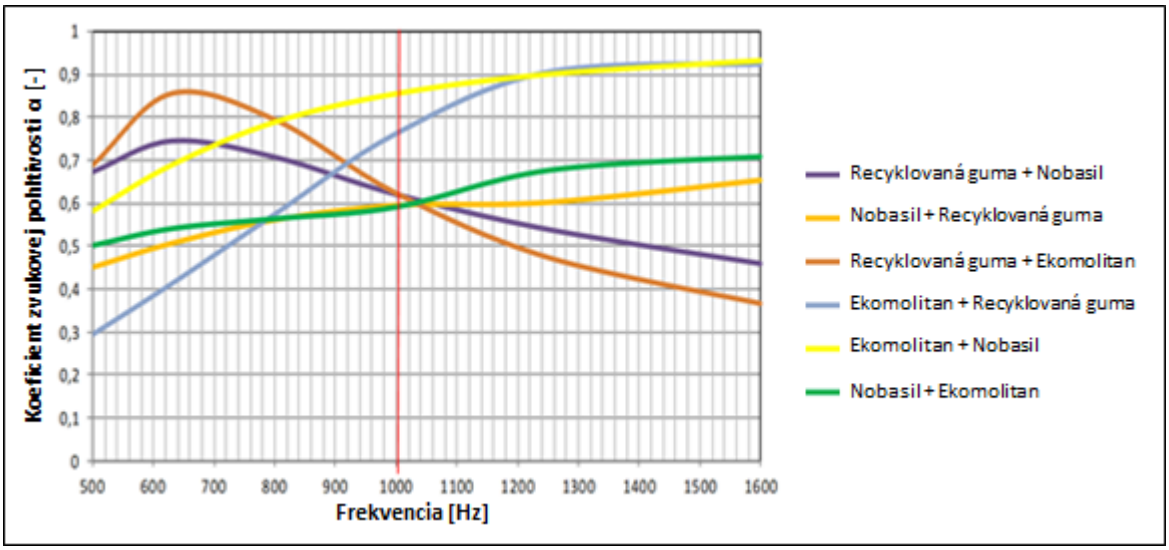


Obr. 128 Index útlmu R (hrúbka materiálov 40 mm)

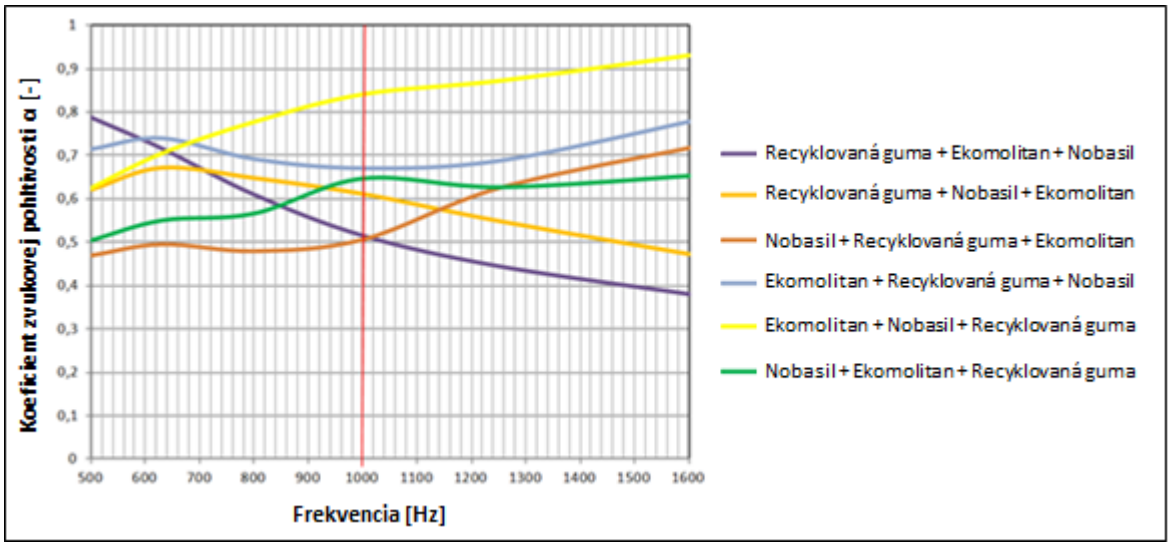
Závery z meraní dvoj a trojvrstvových - sendvičových vzoriek

Protihlukové steny (clony) sú často konštrukčne riešené, ako protihlukové panely s nosným rámom, ktoré využívajú sendvičový absorbér. Pre účely dizertačnej práce boli vyrobené vzorky reprezentujúce sendvič tvorený z materiálov, ako sú: Recyklovaná guma, Nobasil a Ekomolitan. Usporiadanie jednotlivých vrstiev sendviča bolo rôzne. Boli vykonané merania koeficientu zvukovej pohltivosti a indexu útlmu pre rôzne kombinácie materiálov dvoj a trojvrstvových sendvičov.

Pre ilustráciu sú uvedené výsledky merania koeficientu zvukovej pohltivosti vo frekvenčnom pásme 500 Hz až 1 500 Hz na Obr. 129 a Obr. 130 a indexu útlmu na Obr. 131 a Obr. 132.



Obr. 129 Koeficient zvukovej pohltivosti dvojvrstvových sendvičov (celková hrúbka sendvičov 40 mm)

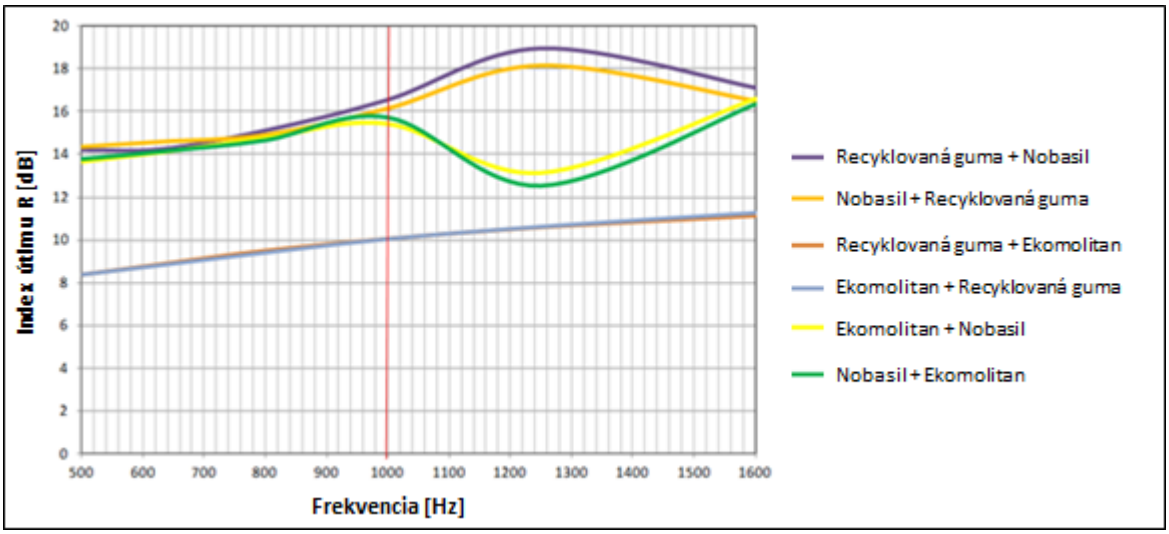


Obr. 130 Koeficient zvukovej pohltivosti trojvrstvových sendvičov (celková hrúbka sendvičov 60 mm)

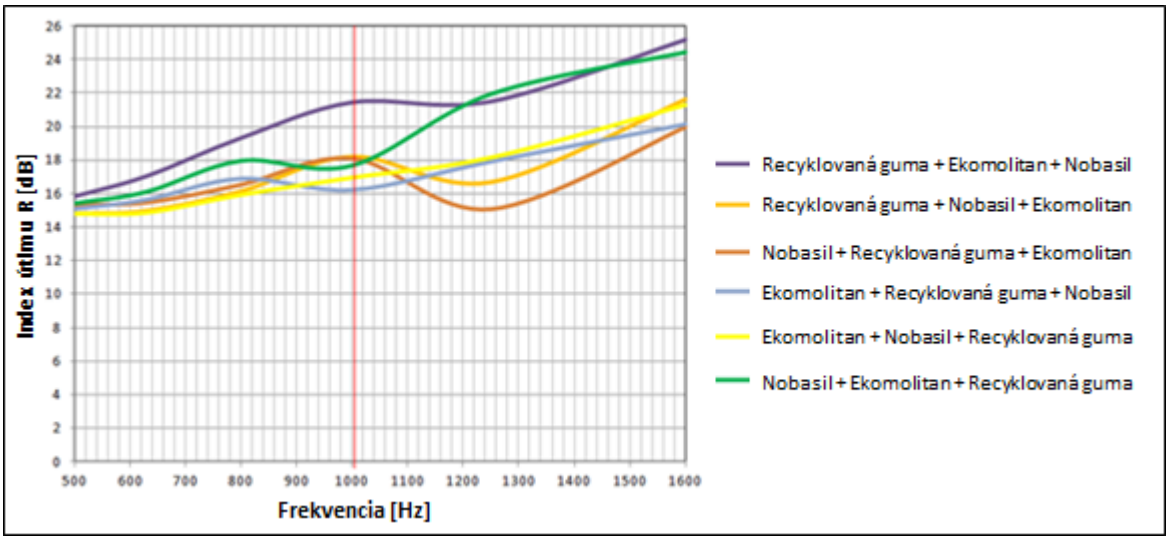
Z nameraných hodnôt koeficientu zvukovej pohltivosti sendvičov vyplýva, že je dôležité poradie jednotlivých vrstiev (použitých materiálov) sendviča. Radenie vrstiev sendviča smerom od zdroja hluku u meraných materiálov sa doporučuje nasledovne (pre frekvenciu 1 000 Hz):

a) Dvojvrstvové sendviče:
   - Ekomolitan + Nobasil,
   - Ekomolitan + recyklovaná guma,
   - recyklovaná guma + Nobasil.

b) Trojvrstvové sendviče:
   - Ekomolitan + Nobasil + recyklovaná guma.



Obr. 131 Index útlmu dvojvrstvových sendvičových absorbérov (hrúbka materiálov 40 mm)



Obr. 132 Index útlmu trojvrstvových sendvičových absorbérov (hrúbka materiálov 60 mm)

Na základe nameraných hodnôt indexu útlmu sendvičových absorbérov (Obr. 131, Obr. 132) možno konštatovať, že je dôležité aké je poradie jednotlivých vrstiev použitých materiálov v sendviči.

Radenie vrstiev sendviča smerom od zdroja hluku u meraných materiálov sa odporúča:

a) Dvojvrstvové sendviče:
   - Recyklovaná guma + Nobasil,
   - Recyklovaná guma + Ekomolitan,
   - Nobasil + Ekomolitan.

b) Trojvrstvové sendviče:
   - Recyklovaná guma + Ekomolitan + Nobasil.

6.5 Návrh produktov vyrobených na báze sypaných granulátov

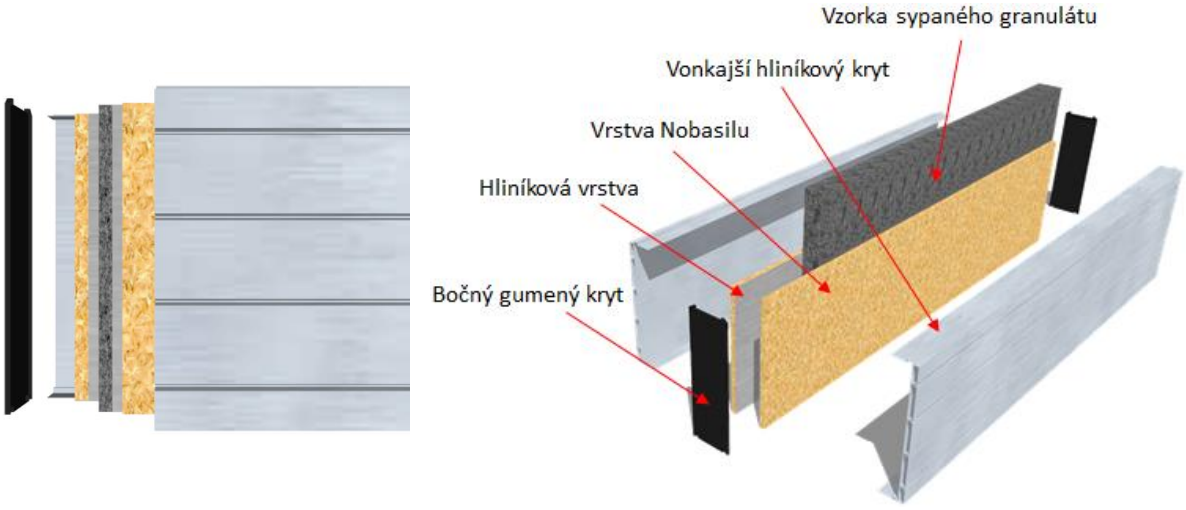
Aplikácia takýchto materiálov sa predpokladá pri realizácii konštrukcií protihlukových stien, resp. iných zvukovo a tepelne izolačných produktov. Aplikácie protihlukových stien sa v súčasnosti používajú na zníženie dopravného a priemyselného hluku priamo vo výrobnom procese. Konštrukcie protihlukových stien môžu byť veľmi rôznorodé. Základom je vonkajšia perforovaná krycia plocha, medzi ktorú je umiestnená jedna alebo niekoľko vrstiev absorpčného materiálu (napr. na báze minerálnej vlny, sklenených vlákien a podobne). Typickú absorpčnú protihlukovú bariéru tvorí hlavne perforovaná krycia doska obklopujúca pórovité absorpčné materiály a vzduchové medzery. Mnohé materiály, ktoré sú súčasťou automobilov po dobe ich životnosti a ktoré sú problémové z hľadiska ich ďalšieho zhodnotenia (textil, airbagy, sklo, pneumatiky a pod.) by mohli byť vhodné pre potreby výroby prvkov pohlcujúcich zvuk. Všeobecne je možné vyrobiť niekoľko variantov prvkov pohlcujúcich zvuk.

Výroba a spracovanie týchto recyklovaných materiálov do finálnej produktovej fázy použiteľnej na výrobu protihlukových stien je z hľadiska technologických procesov veľmi náročná. Na ošetrenie týchto materiálov je často potrebné špeciálne technologické zariadenie a dôležitým problémom je aj potreba pridania pojív. Pridanie týchto pojív v konečnom dôsledku výrobu týchto materiálov predraží a sú tiež často škodlivé pre životné prostredie.

Jedným z možných riešení pre použitie recyklovaných granulovaných (ale aj sekaných, strihaných, trhaných a drvených) materiálov v akustických aplikáciách bez použitia pojív je aplikácia týchto materiálov na protihlukové steny vo forme sypkého materiálu. Predpokladom pre takúto aplikáciu je vhodná konštrukcia protihlukového panelu a vhodná aplikácia sypkého materiálu s následným zhutnením. Riešitelia projektu sa zamerali na výskum a porovnanie akustických vlastností sendvičových materiálov s rôznym sypkým materiálom v jadre panelu.

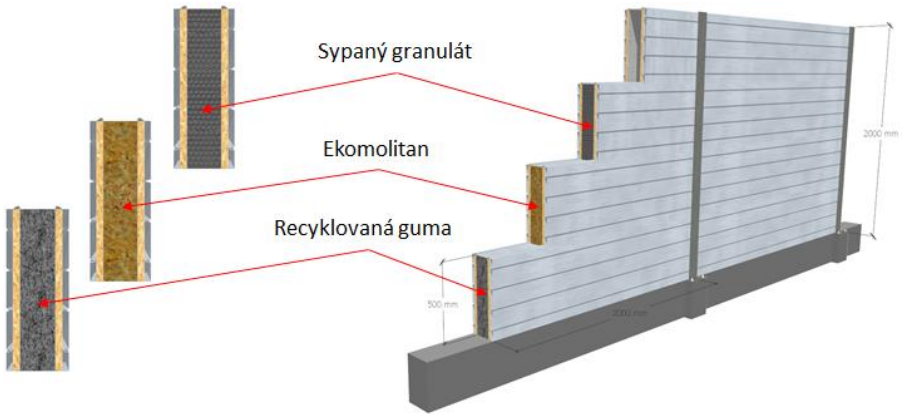
Riešitelia projektu si dali za cieľ čiastočne nahradiť akusticky a tepelne vhodné materiály vyrobené na báze recyklátov z vybraných komponentov automobilov po dobe ich životnosti za pomoci technológie lisovania pri určitom tlaku, teplote pri použití, resp. nepoužití vhodného pojivá sypkými materiálmi vyrobenými na báze granulátov z procesov recyklácie (sypký granulát). Výhody použitia takýchto tzv. „zelených“ materiálov v akustických (ale aj tepelných) aplikáciách, ako sú napr. protihlukové steny, v porovnaní s komerčnými materiálmi sú kombináciou veľmi ľahkej hmoty, vysokej fyzikálno-chemickej stability, nízkych nákladov a vysokých hodnôt akustickej absorpcie. Pri vývoji protihlukových stien takéhoto charakteru riešitelia spolupracujú so spoločnosťou FORSTER archívna dopravná technika s.r.o., Bratislava. Aktivity riešiteľov v roku 2021 budú zamerané na výskum akustických, vibračných a tepelných vlastností produktov vytvorených práve na báze takýchto materiálov.

Na Obr. 133 sa uvádza navrhnutý produkt, ktorý je dokomponovaný na jednotlivé konštrukčné časti.



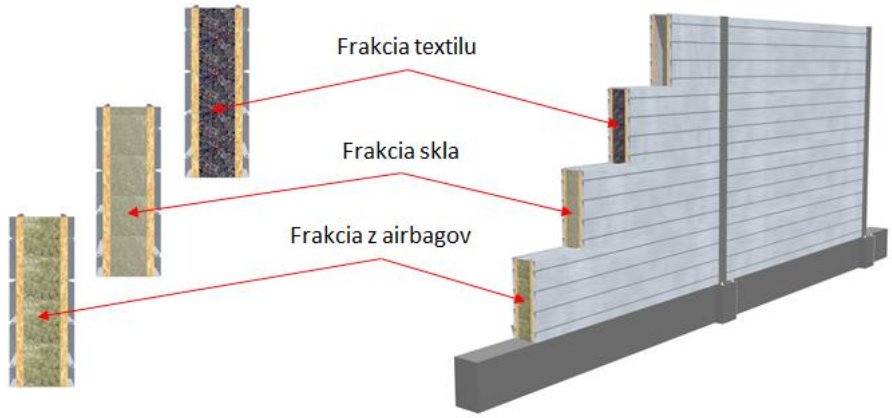
Obr. 133 Jednotlivé časti panelu protihlukovej steny

Na nasledujúcom Obr. 134 je 2D a 3D pohľad na jednotlivé materiály určené na použitie v protihlukových stenách.



Obr. 134 2D a 3D pohľad na niektoré materiály použiteľné v protihlukových stenách

Ďalšie materiály použiteľné v protihlukových stenách sú zobrazené na Obr. 135.



Obr. 135 2D a 3D pohľad na ďalšie materiály použiteľné v protihlukových stenách

6.5.1 Návrh testovacích kaziet pre meranie akustických vlastností sypaných materiálov

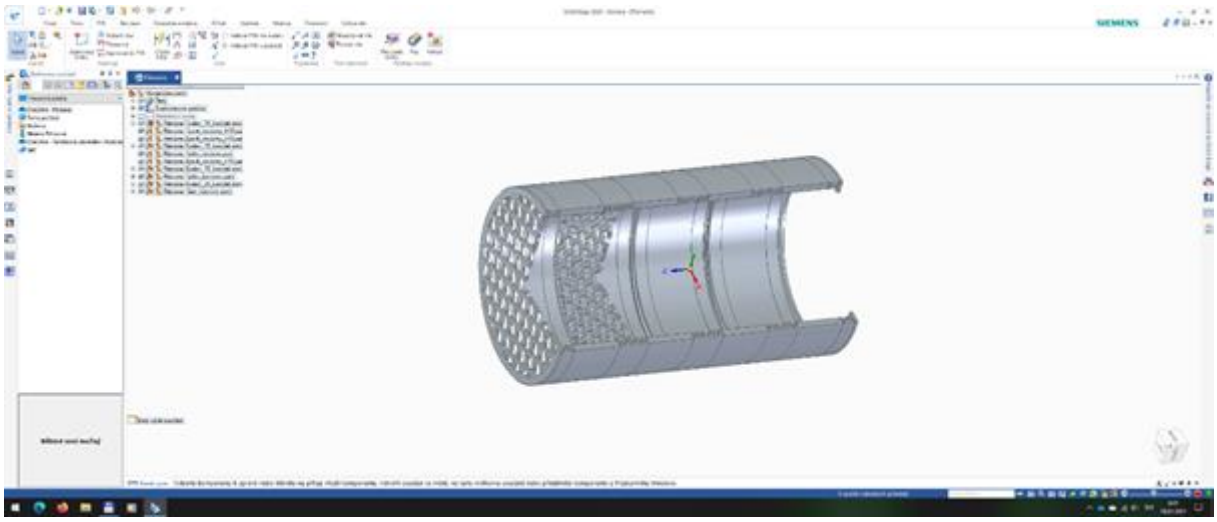
Táto časť správy je venovaná návrhu testovacích kaziet pre meranie akustických vlastností sypaných materiálov. Testovacie kazety sú navrhnuté tak, aby boli aplikovateľné pre meranie akustických vlastností sypaných a granulovaných materiál v impedančnej trubici. Kazety boli navrhnuté z toho dôvodu, že vzorku sypaných materiálov nie je možné umiestniť do meracieho zariadenia - impedančnej trubice. Do impedančnej trubice je možné umiestniť len vzorku pevného materiálu s kruhovým priemerom 60 mm. Práve navrhnuté kazety umožňujú uloženie materiálu do testovacej kazety a následné meranie celej kazety vloženej do impedančnej trubice. Základnou požiadavkou použitia testovacích v impedančnej trubici je kruhový priemer kaziet s priemerom 60 mm.

Boli vyvinuté 2 varianty testovacích kaziet a to:

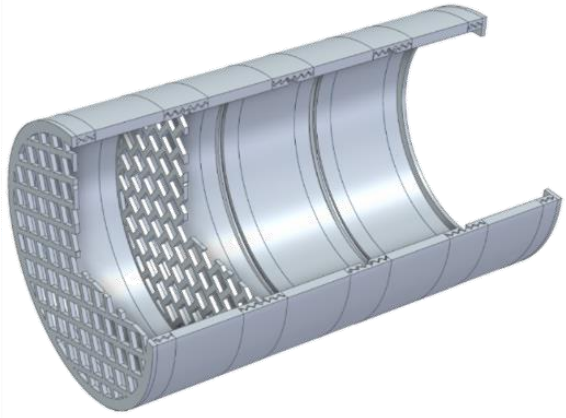
- za pomoci 3D tlače,
- za pomoci obrábacieho CNC zariadenia.

6.5.1.1 Návrh testovacích kaziet pomocou 3D tlačiarne

Testovacie kazety boli modelované prostredníctvom softvéru Solid Edge (Obr. 136). Na nasledujúcich Obr. 137 až Obr. 141 sú znázornené 3D modely testovacích kaziet.



Obr. 136 Modelovanie v programe Solid Edge



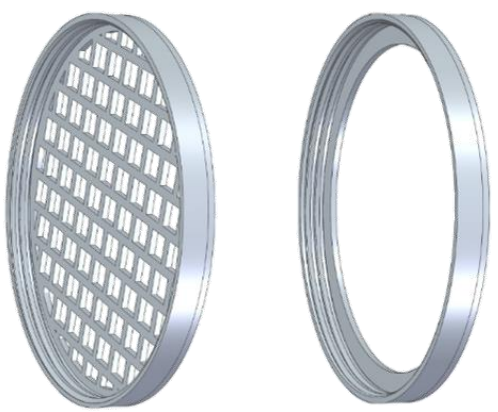
Obr. 137 Testovacia kazeta d = 59,95 mm l = 100 mm



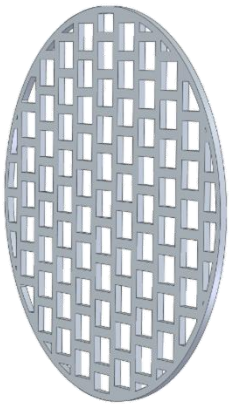
Obr. 138 Spojka s vnútorným závitom



Obr. 139 Valec 23 mm a 48 mm s vonkajším závitom

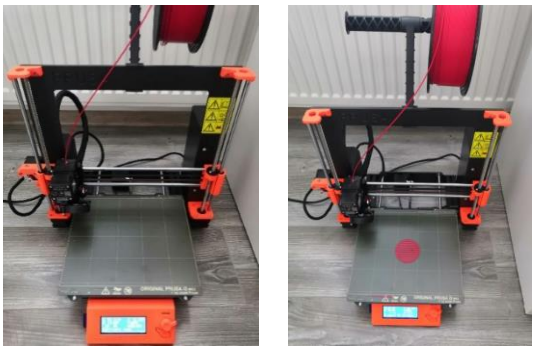


Obr. 140 Vonkajšie sitko a lem

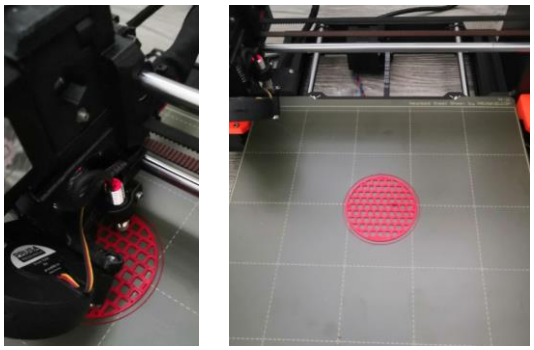


Obr. 141 Vnútorné sitko h = 1 mm d = 57 mm

Tento model Testovacej kazety bol vytlačený pomocou 3D tlačiarne PRUSA i3 MK3 (Obr. 142). Na tlač bol použitý PLA filament (Obr. 144), ktorý patrí k najuniverzálnejším materiálom pre technológiu tlače FDM. PLA je biologicky plne odbúrateľný materiál, z kukuričného alebo zemiakového škrobu alebo z cukrovej trstiny. Je stále viac priemyselne využívaný.



Obr. 142 3D tlačiareň PRUSA i3 MK3



Obr. 143 Pohľad na tlač komponentu

Tab. 46 Technické parametre 3D tlačiarne PRUSA i3 MK3

Veľký pracovný priestor - 11025 cm^3 (250 x 210 x 210 mm)	Jednoduchý farebná tlač po vrstvách
Integrované LCD	Automatická kompenzácia nepresne zložených os tlačovej plochy
Tlač z SD karty alebo z počítača cez USB	Vyhrievaná podložka s kompenzáciou studených rohov - zaisťuje rovnomerné chladnutie pri tlači všetkých materiálov
0,4 mm tryská pre 1,75 mm tlačovú strunu	Bezúdržbová tlačová plocha
Výška vrstvy od 0,05 mm	Podporované materiály - PLA, ABS, PET, HIPS, Flex PP, Ninjaflex, Laywood, Laybrick, Nylon, Bamboofill, Bronzefill, ASA, T-Glas, filamenty s uhlíkovým vláknom, polykarbonát ...
Plne automatická kalibrácia tlačovej plochy	



Obr. 144 PLA filament materiál

Reálny pohľad na testovacie kazety je zobrazený na nasledujúcom Obr. 39.



Obr. 145 Reálny pohľad na testovacie kazety

6.5.1.2 Návrh testovacích kaziet prostredníctvom obrábacieho CNC stroja

Materiál pre výrobu testovacích kaziet bol zvolený hliník. Testovacie kazety boli vyrábané na CNC strojoch a následne bola vykonaná povrchová úprava eloxovaním. Testovacie kazety boli navrhnuté a vyrobené v piatich dĺžkach 25, 50, 75, 100 a 125 mm. Reálne pohľady na testovacie kazety sú zobrazené na Obr. 146.

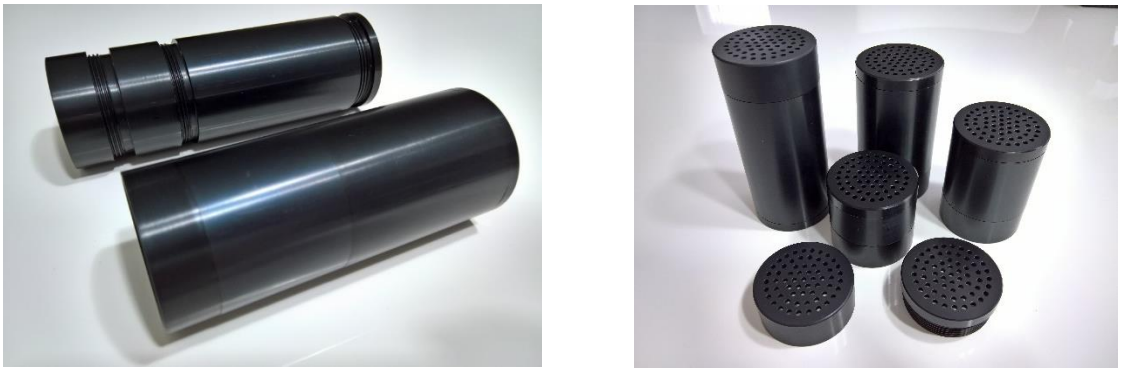


Obr. 146 Pohľad na testovacie kazety

Každá testovacia kazeta je zakončená vnútorným závitom na jednej strane a vonkajším závitom na druhej strane (Obr. 147). To umožňuje pevné uzatvorenie testovacích kaziet pomocou uzáverov. Rovnako to umožňuje aj spájanie jednotlivých testovacích kaziet, čím sa dá zvoliť modifikovateľná dĺžka testovacej kazety podľa potreby (Obr. 148).



Obr. 147 Pohľad na testovacie kazety a ich uzávery

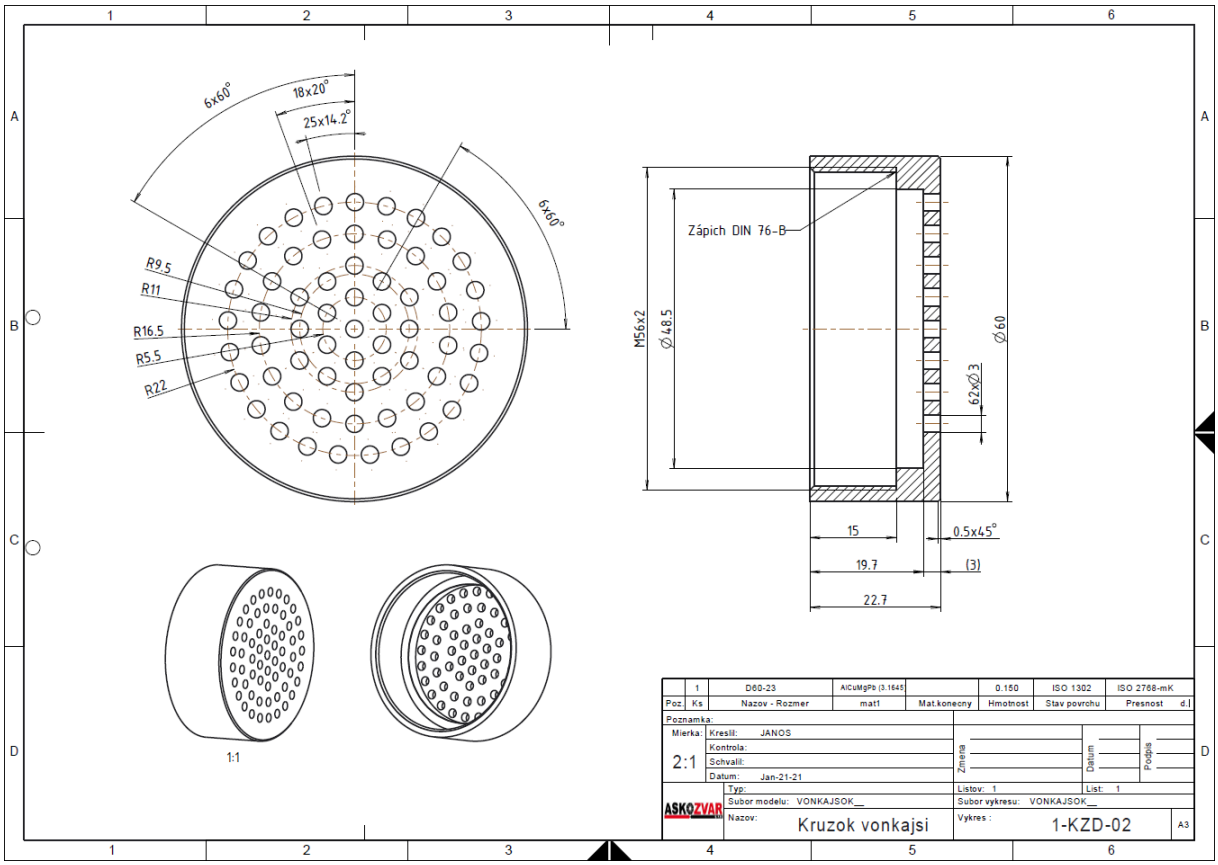


Obr. 148 Spájanie testovacích kaziet

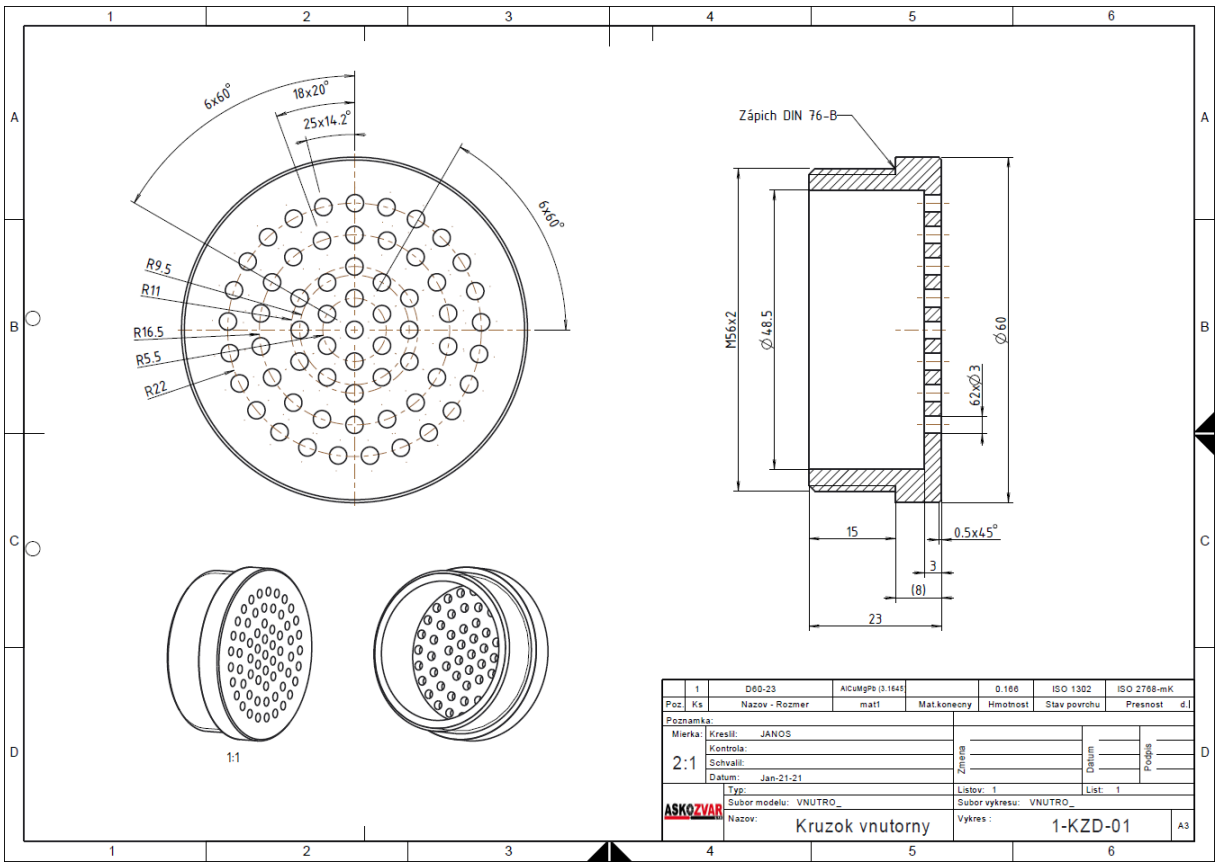
Poslednou časťou testovacích kaziet sú uzatváracie perforované veká. Tieto veká zakončujú testovaciu kazetu a zabraňujú vysypaniu sypaného materiálu z testovacej kazety. Zakončovacie veká sú zobrazené na Obr. 149. Technické výkresy sú na Obr. 150 a Obr. 151.



Obr. 149 Pohľady na uzavreté perforované veká



Obr. 150 Technicky výkres - krúžok vonkajší



Obr. 151 Technicky výkres - krúžok vnútorný

6.5.1.3 Návrh plniaceho zariadenia pre testovacie kazety na meranie akustických vlastností sypaných materiálov

Pre navrhnuté testovacie kazety tlačené prostredníctvom 3D tlačiarne respektíve pomocou obrábacieho CNC zariadenia bolo navrhnuté zariadenie v troch variantných riešeniach, ktoré sú zobrazené na nasledujúcom Obr. 152.



Variant č. 1 Variant č. 2 Variant č. 3

Obr. 152 Variantné riešenia plniaceho zariadenia pre testovacie kazety

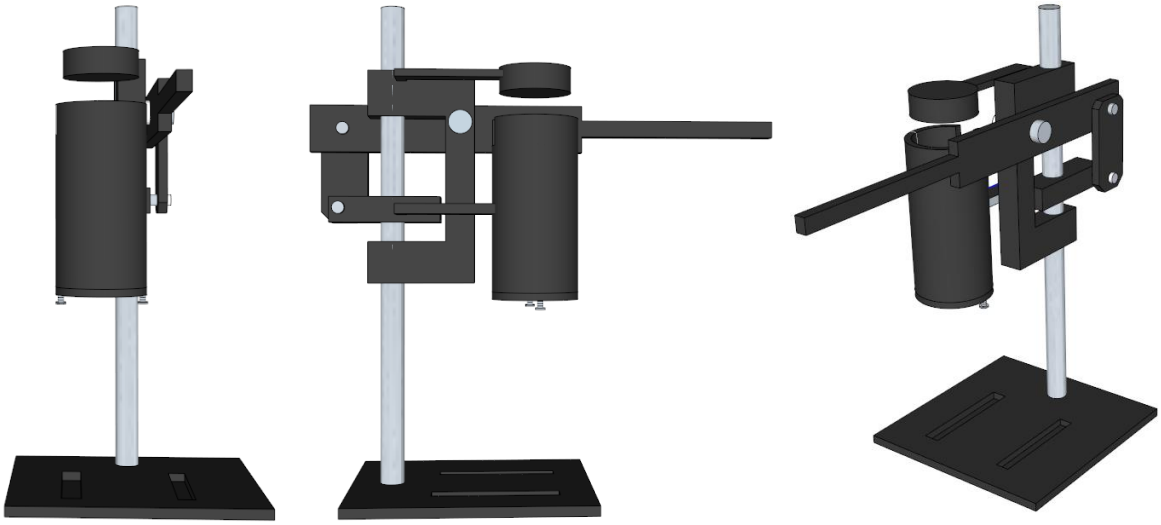
Princíp zariadenia

Zariadenie slúži pre plnenie testovacích kaziet sypaným materiálom. Po nasypaní materiálu do testovacej kazety je sypaný materiál prostredníctvom pákového mechanizmu a piestu stláčaný pričom je tento materiál zhutňovaný respektíve lisovaný vo vnútri kazety. Po tomto procese sa v spodnej časti valcového zariadenia odšraubujú šrauby, ktoré držia spodné veko valcového zariadenia. Následne po odstránení veka sa testovacia kazeta jednoducho vyberie zo zariadenia.

Variant č.1

Prvotná konštrukcia variantu pre plnenie testovacích kaziet bola navrhnutá na základe pákového mechanizmu. Tento pákový mechanizmus je upevnený na stĺpiku. Pákové zariadenie je možné po stĺpiku výškovo nastavovať podľa potreby. V spodnej časti zariadenia je doska s otvormi, ktorá po prichytení o pracovný stôl zabezpečuje lepšiu stabilitu zariadenia. Čo sa týka samotného pákového mechanizmu, ten pozostáva z dutého valca upevneného o rám zariadenia zvisle, kde v spodnej časti valca je krúžok s 2 škrobmi, pre otvorenie respektíve uzatvorenie valca. Ďalej zariadenie pozostáva zo samotnej páky, ktoré je prepojené na prítlačný resp. lisovací uzáver.

Na nasledujúcom Obr. 153 sú znázornené pohľady na pilotný variant zariadenia pre testovacie kazety.

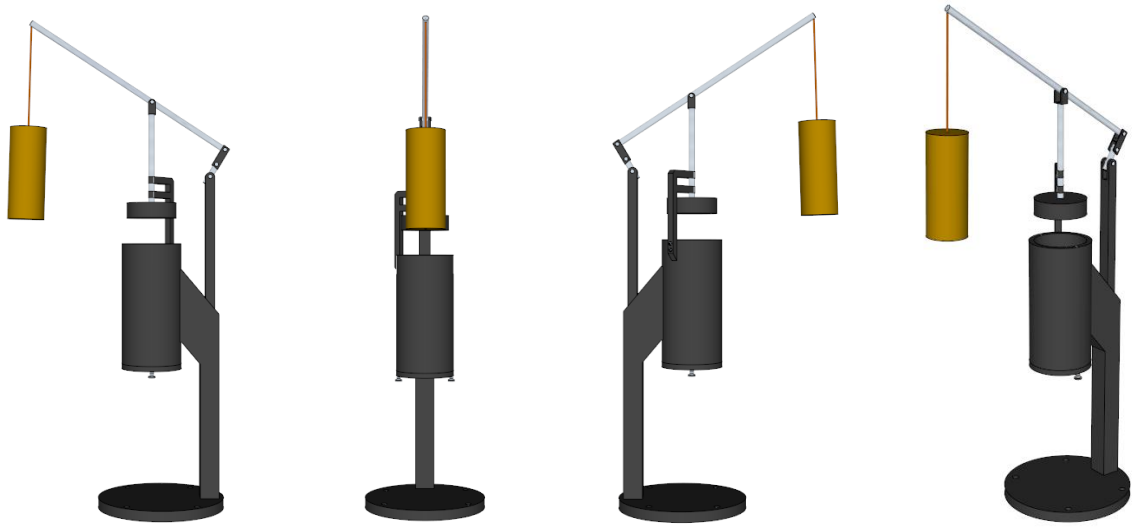


Obr. 153 Plniace zariadenie - variant č. 1

Variant č. 2

Druhotná konštrukcia variantu pre plnenie testovacích kaziet bola navrhnutá taktiež na základe pákového mechanizmu, avšak konštrukčne ako aj dizajnovo je odlišný. Tento pákový mechanizmus je upevnený pevne na stĺpiku rámu. V tomto prípadne pákové zariadenie nie je možné výškovo nastavovať ako pri prvom variante. Celé zariadenie je pripevnené na doske s otvormi, ktorá po prichytení o pracovný stôl zabezpečuje lepšiu stabilitu zariadenia. Pákový mechanizmu v tomto variante prešiel úplnou pravou, kde pákový mechanizmus z jednej strany pripevnený prostredníctvom kĺbu o rám zariadenia a na druhej strane je pripevnené závažie na meranie prítlačnej sily. V strede pákového zariadenia je prepojený piest, ktorý je spojený s prítlačným resp. lisovacím uzáver. Taktiež ale aj v predchádzajúcom variante v spodnej časti valca je krúžok s 2 škrobmi, pre otvorenie respektíve uzatvorenie valca.

Na nasledujúcom Obr. 154 sú znázornené pohľady na druhotný variant zariadenia pre testovacie kazety.



Obr. 154 Plniace zariadenie - variant č. 2

Variant č.3

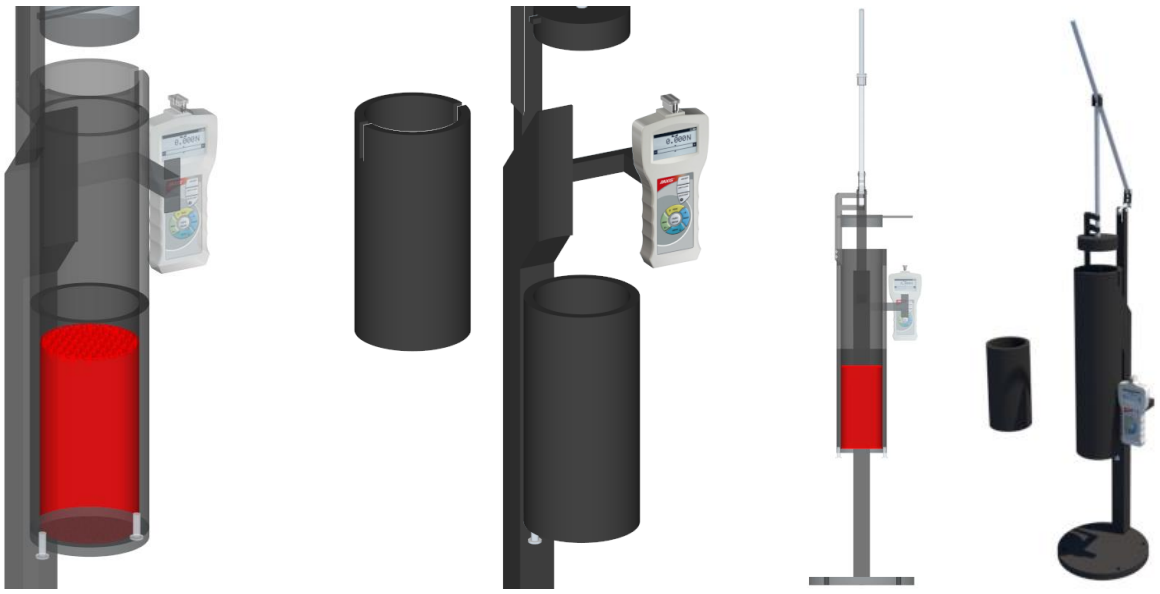
Čo sa týka tretieho variantu (Obr. 155) je konštrukčne ako aj dizajnovo zhodný s druhotným variantom, avšak miesto závažia, bol pridaný silomer.



Obr. 155 Plniace zariadenie - variant č. 3

Na tomto poslednom variante č. 3 sa bude pracovať v ďalšej fáze projektu.

Uvažuje sa aj s modifikáciou zariadenia ak v prípade stláčania materiálu, ktorý má tendenciu po stlačený opätovne zväčšovať svoj objem sa pri plnení použije pomocná násypná kazety, ktorá sa spája priamo s testovacou kazetou a tým zväčšuje násypný objem. Po zhutnení respektíve lisovaní materiálu do testovacej kazety je násypná pomocná kazeta demontovaná a testovacia kazeta je uzavretá zakončovaním vekom. Prítlačnú silu je možné zaznamenávať pomocou prídavného silomeru, ktorý je spojený s pákovým mechanizmom. Predbežný náhľad na modifikované zariadenie je znázornené na nasledujúcom Obr. 156.



Obr. 156 Modifikácia tretieho varietného riešenia

6.6 Návrh merateľných výskumných a akademických ukazovateľov pre ďalšie riešenie

V nasledujúcom období sa predpokladá intenzívna spolupráca s viacerými:

Univerzitnými zahraničnými pracoviskami a to konkrétne:

- Techniche Universität Munchen, Deutschland (prof. Seeber),
- Bergische Universität Wuppertal, Deutschland (prof. Schmidt),
- University of Novi Sad, Serbia (doc. Budak).

Výskumnými pracoviskami doma i v zahraničí:

- Sillentium Ltd., Tel- Aviv, Izrael (prof. Slapak),
- Head Acoustics, Herzogenrath, Deutschland (prof. Serafimov),
- Bosch Siemens Hausgerete, Košice (Ing. Petraška).

Firmami zameranými na vývoj, výskum a výrobu zvukovo a tepelnoizolačných produktov:

- PR Krajné s.r.o., Krajné (SK), (Ing. Plesník),
- AVE SK odpadové hospodárstvo s.r.o., prevádzka Kechnec (SK), (Ing. Július Benka),
- RPG Recycling, a.s., Uherský Brod (CZ), (Ing. Peter Sadovský),
- FORSTER archívna a dopravná technika s.r.o., Bratislava (SK), (Ing. Viktor Béreš).

Výskumné aktivity riešiteľov budú zamerané na:

- Vývoj receptúr nových akusticky vhodných materiálov vyrobených na báze recyklovaných surovín (sypaných granulátov) z komponentov automobilov po dobe ich životnosti,
- Overenie akustických vlastností novo vyvinutých materiálov v laboratórnych podmienkach,
- Implementácia novo vyvinutých materiálov do návrhu konkrétnych zvukovo izolačných produktov,
- Vývoj receptúr nových tepelnoizolačných materiálov materiálov vyrobených na báze recyklovaných surovín z komponentov automobilov po dobe ich životnosti,
- Overenie tepelnoizolačných vlastností novo vyvinutých materiálov v laboratórnych podmienkach,
- Implementácia novo vyvinutých materiálov do návrhu konkrétnych tepelnoizolačných produktov.

Predpokladá sa, že výsledkom riešenia projektu budú:

- Výstupy v karentovaných časopisoch: min. 2
- Výstupy v časopisoch (WoS, SCOPUS): min. 2
- Podané prihlášky úžitkových vzorov: min. 1
- Podané prihlášky patentov: min. 1
- Zapojenie sa do zahraničného vedecko-výskumného projektu: min. 1
- Návrh konkrétnych zvukovo a tepelnoizolačných produktov: min. 2

6.7 Záver

Cieľom riešenia projektu UNIVNET 2020 bolo, zamerať sa na vývoj technológií a techník na zhodnocovanie odpadov do zvukovo a tepelnoizolačných produktov. Dôraz sa kládol na využitie takých komponentov z automobilov po dobe ich životnosti, ktoré recyklácia a hlavne následne využitie získanej suroviny je problematické. Riešitelia sa zamerali na: pneumatiky, autosedačky, poťahy, pásy, koberce, airbagy a sklo automobilov. Snaha bola nadviazať kontakty s firmami, ktoré recyklujú, respektíve uvažujú o recyklácií týchto komponentov. Získali sa viaceré frakcie rôznych materiálov, s ktorými riešitelia pracovali, respektíve budú pracovať.

Pozornosť riešiteľov projektu sa sústredila tiež na technológie výroby zvukovo pohltivých materiálov, respektíve prvkov. Dôraz sa kládol na technológiu výroby pohltivých prvkov z pneumatík. Jedná sa o sendvičové konštrukcie vyrobené technológiou lisovania a mikrovlnného ohrevu. Pozornosť bola sústredená tiež technológiu výroby zvukovo pohltivých prvkov z molitanu (polyuretánových pien).

Pomerne rozsiahly výskum riešiteľov projektu bol zameraný na výskum akustických vlastností materiálov (ekomolitán, recyklovaná guma a nobasil). Boli vykonané experimentálne merania jednotlivých vzoriek ale aj sendvičových vzoriek (dvojvrstvových a trojvrstvových), pri ktorých sa stanovoval Koeficient zvukovej pohltivosti (α) a Index útlmu (R). Potvrdila sa vhodnosť týchto materiálov pre aplikácie zamerané na znižovanie hluku v priestore. Riešitelia projektu sa zamerali tiež na hľadanie možností využitia sypaných frakcií získaných z procesov recyklácie už skôr uvádzaných komponentov automobilov (pneumatiky, koberce, textil, pásy, ...) v konštrukciách protihlukových stien. Bol zrealizovaný konštrukčný návrh modulu sendviča takejto steny. Boli navrhnuté a vyrobené testovacie kazety pomocou 3D tlače a pomocou obrábacieho CNC zariadenia ako návrh plniaceho zariadenia pre testovacie kazety na meranie akustických vlastností sypaných materiálov.

Je potrebné zdôrazniť, že situácia ohľadom COVID-19 výrazne komplikovala celú vedecko-výskumnú prácu riešiteľov.

Poďakovanie

Táto práca vznikla v rámci projektu združenia univerzít, UNIVNET č. zmluvy 0201/0082/19 a jeho finančnej podpory.

6.8 Zoznam použitej literatúry

[1]. Norma STN EN 1176: 2009 Zariadenia a povrch detských ihrisk.

[2]. BADIDA, M. - BADIDOVÁ, A. - DZURO, T. - MORAVEC, M.: Diagnostika akustických materiálov vhodných pre konštrukcie protihlukových stien. - 2020, In: Spravodaj ATD SR. Roč. 17, č. 2 (2020), str. 16-23 [print]. - ISSN 1337-8252.

[3]. MORAVEC, M. - DZURO, T. - BADIDA, M. - SOBOTOVÁ, L. - BADIDOVÁ, A.: Potential of using components from old vars for production of thermal and sound isolation materials. - 2020. In: Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky. - Košice (Slovensko): Akademická spoločnosť Michala Baluďanského, Roč. 8, č. 5 (2020), str. 30-32 [print]. - ISSN 1338-9432.

[4]. Vlastnosti recyklovaného textilu. [online]. Dostupne na internete: https://tepore.sk/portfolio-item/ekosen-ata/

[5]. Bayer AG IStotoR, KqdzcraG, Mtchen etG, FilonKKolbucR, LenartK. el a). Pofyolefins fieri Hi waste rigid polyol. foam and compathibed by solid-state shear pulver. during extrusion. PoSmeiy 2017&(3):181-6).

[6]. BADIDA, M. - DZURO, T. - BADIDOVÁ, A. - MORAVEC, M. - SOBOTOVÁ. L.: The Utilization of Recycled Materials from Automobiles in Noise Barrier Structures. In: Waste Form No. 1 (2019), str. 12-27, ISSN 1804-0195.

[7]. Bubliny z penového skla 2 - 4 mm. [online]. Dostupné na internete: https://www.mikewye.co.uk/product/foam-glass-bubbles-geocell/

[8]. BADIDA, M. - ŠOOŠ, Ľ. - HODOLIČ, J. - BOSÁK, M.: Recyklácia a recyklačné technológie II. (1. časť) RŠL, Košice, 2010, 149 str., ISSN 978-80-553-0398-7.

[9]. BADIDA, M. - ŠOOŠ, Ľ. - HODOLIČ, J. - MORAVEC, M.: Recyklácia a recyklačné technológie II. (2. časť), RŠL, Košice, 2011, 211 str., ISSN 978-80-553-0792-3.

[10]. BADIDA, M. - SOBOTOVÁ, L. - KRÁLIKOVÁ, R. - DZURO, T. - MORAVEC, M.: Environmentálne aspekty navrhovania strojárskych objektov - Ekodizajn. - 1. vyd. - Košice: Technická univerzita v Košiciach - 2020. - 371 str. [print]. - ISBN 978-80-553-3590-2.

[11]. Norma STN EN ISO 10534-2: Akustika. Určo vanie koeficienta zvukovej pohltivosti akustickej impedancie v impedančných trubiciach.

[12]. Úžitkový vzor č. 5721: Kompaktné prvky z gumárenského recyklátu vyrábané technológiou mikrovlnného ohrevu (BADIDA a kol.), ÚPV SR, B. Bystrica, 2011.

[13]. Úžitkový vzor č. 5982: Konštrukčné prvky z gumobetónu pre protihlukové aplikácie (BADIDA a kol.), ÚPV SR, B. Bystrica, 2011.

[14]. SOBOTOVÁ, L. - BADIDA, M. - DZURO, T.: Demontážne a recyklačné technológie v automobilovom priemysle. Strojnícka fakulta, TU v Košiciach, Košice, 373 str., ISBN 978-80-553-3589-6.

[15]. BADIDA, M. - LUMNITZER, E. - BARTKO, L.: Možnosti znižovania dopravného hluku. ELFA, s.r.o., Košice, 2011, 274 s., ISBN 978-80-8086-181-0.

[16]. ŽIARAN, S.: Znižovanie kmitania a hluku v priemysle. STU v Bratislave, 2005, 179 str., ISBN 80-213-2006-2366-5.

[17]. BADIDA, M. - LADOMERSKÝ, J. - KRÁLIKOVÁ, R. - MORAVEC, M. - LIPTAI, P.: Environmentálne inžinierstvo. ELFA, s.r.o., Košice, 2014, 365 str., ISBN 978-80-8086-242-8.

[18]. MOSER, M.: Technische Akustik. Springer, Berlin, 2007, 539 p., ISBN978-3-540-71386-9.

[19]. ŠOOŠ, Ľ a kol.: Stav a vízie zhodnocovania odpadov z automobilového priemyslu SR. SPEKTRUM, Bratislava, 2020, 284 str., ISBN 978-80-227-5039-4.

[20]. ZIA, K., M., BHATTI, H., N., BHATTI, U., A.: Methods for polyurethane and polyurethane composites, recycling and recovery: A review, Reactive and Functional polymers 67 (2007), p. 675 – 692.

[21]. ZEVENHOVEN, R: treatment and disposal of polyurethane wastes: option for recovery and recycling, Espoo 2004, p. 2 – 50 2006, pp 117.

[22]. JODY, B., J. - DANIELS, E. J.: End – of Life Vehicle Recycling: The state of the Art Resource. Recovery from Shreddre Residue, Argony National Laboratory, [online]. Dostupné na internete: https://publications.anl.gov/anlpubs/2 007/02/58559.pdf

[23]. BARTKO, L.: Analýza vybraných akustických vlastností vyvíjaných materiálov vhodných pre konštrukciu protihlukových stein. Dizertačná práca, 2011, 253 str.

[24]. DEEPAK, A. - SHASHI, M. - VENKATESHAM, B. - SURYAKUMAR, S.: Acoustics Characterization of Additive Manufactured Layered Porous Materials. The 48th International Condress and Exhibition on Noise Control Engineering (2019).

[25]. XINWU, X., et. Al.: Sound Absorbing Properties of Perforated Composite Panels of Recycled Rubber, Fiberboard Sawdust and High Density Polyethylene. Journal of Cleaner Production Vol. 187 (2018), p. 215 – 221, ISSN 0959-6526.

[26]. BHINGARE, N., H. - PRAKASH, S. - JATTI, V., S.: A Review on Natural and Waste Composite as Acoustic Material. Polymer Testing. Vol. 80 (ľ019), ISSN 0142-9418.

[27]. ARUNKUMAR, B. - JEYANTHI, S.: Design and Analysis of Impedance Tube for Sound Absorption Measurement. Journal of Engineering and Applied Sciences. Vol. 12, No. 5 (2017), P. 1400 – 1405, ISSN 1819-6608.

[28]. BADIDA, M. - BOSAK, M. a kol.: Recyklácia a recyklačné technológie. Vienala, s.r.o., Košice, 2007, 623 str., ISBN 978-80-8073-946-1.

[29]. BADIDA, M. – LUMNITZER, E. – ROMANOVÁ, M.: The application of recycled materials for products that provide noise reduction in living and working enviroment. In: Acta Acustica United with Acustic. Vol. 92. Stuttgart: Hirzel Verlag, 2006. p. 108. ISSN 1610 – 1928.

[30]. NIRESH, J. et al: Review of Acoustic Characteristics of Materials using Impedance Tube. Journal of Engineering and Applied Sciences. Vol. 10, No. 8 (2015), str. 3319 – 3326. ISSN 1819-6608.

[31]. NIRESH, J. - NEELAKRISHNAN, S. - SUBHARANI, S. - PRABHAKARAN, R.: Performance Testing for Sound Absorption Coefficient by Using Impedance Tube. In: Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. Vol. 11, No. 2 (2015), str. 185 – 189. ISSN 2040-7459.

[32]. ROSELY, C.V.M. - SILVA, R.H.A. - LINHARES, T.M. - ROCHA, C.M.: The Impedance Tube Construction and Acoustic Absorption Study Applied Materials Inside Vehicles. 41st International Congress and Exposition on Noise Control Engineering 2012. Vol. 2, No.1 (2012), str. 872 – 888. ISBN: 978-1-62748-560-9.

[33]. TAN, K.N.: Study of Sound Absorption using Acoustic Impedance Tube (2010).

[34]. NIRESH, J. et al: Review of Acoustic Characteristics of Materials using Impedance Tube. Journal of Engineering and Applied Sciences. Vol. 10, No. 8 (2015), str. 3319 – 3326. ISSN 1819-6608.

[35]. LABAŠOVÁ, E. - ĎURIŠ, R.: Measurement of the Acoustic Asorption Coefficient by Impedance Tube. Research Papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology. Vol. 27, No. 45 (2019), str. 94 – 101. ISSN 1338-0532.

[36]. Yuchen Lu, James Broughton, Pat Winfield, A review of innovations in disbonding techniques for repair and recycling of automotive vehicles, International Journal of Adhesion and Adhesives, Volume 50, April 2014, Pages 119 – 127, ISSN 0143-7496.

[37]. End-of-life vehicle statistics [online]. Dostupné na internete: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/End-of-life_vehicle_statistics#Further_Eurostat_information

[38]. Princíp mykania textilu. [online]. Dostupné na internete: http://www.researchgate.net/publication/225735865

[39]. Umiestnenie zvukovo a tepelnoizolačných materiálov a automobile. [online]. Dostupné na internete: https://www.treves-group.com/

[40]. Vehicle interior designers and specifiers, [online]. Dostupné na internete: https://www.automotive-interiors-expo.com/detroit/en/

[41]. Voncina, B.: Recycling of textile materials, MDT Recycling, University of Maribor, Slovenia, pp. 37, [online]. Dostupné na internete: https://www.nonwovens-industry.com/issues/2019-01/view_features/ultrasonics-for-nonwovens-251130

[42]. Correa do Amaral, M., Zonatti, W.F., Liotino da Silva, K. et al: Industrial textile recycling and reuse in Brazil: case study and considerations concerning the circular economy, Gest. Prod. vol.25 no.3 São Carlos July/Sept. 2018 Epub Apr 16, 2018, (online 14.02. 2020), Dostupné na internete: http://www.scielo.br/img/revistas/gp/v25n3/0104-530X-gp-0104-530X3305-gf03.jpg

[43]. Katalogový materiál firmy Stered, [online]. Dostupné na internete: http://www.stered.sk

[44]. Katalogový materiál firmy SK- Tex, [online]. Dostupné na internete: http://www.sk-tex.com/sk/

[45]. Katalogový materiál firmy TWE–group: Recyklácia textilu, [online]. Dostupné na internete: https://www.twe-group.com/en/markets/automotive/nonwovens-in-the-seat-application

[46]. Katalógový materiál: Textile Recycling - TITAN tearing machine from Dell'Orco&Villani, [online]. Dostupné na internete: https://www.youtube.com/watch ?v=QBK8Uhpagz8

[47]. K. Le: Textile recycling technologies, colouring and finishing methods, UBC Sustainability Scholar, august 2018, pp. 51, [online]. Dostupné na internete: https://sustain.ubc.ca/sites/sustain.ubc.ca/files/Sustainability%20Scholars/2018_Sustainability_Scholars/Reports/201825%20Textile%20Recycling%20Technologies%2C%20Colouring%20and%20Finishing%20Methods_Le.pdf

[48]. Katalógový materiál firmy Audi: Použitie recyklovaných materiálov (online 14.02. 2020), Dostupné na internete: https://www.autofutures.tv/2020/02/25/from-bottle-to-fabric-seat-upholstery-made-of-pet/

[49]. SHISHOO, R.: Textile advances in the automotive industry, Woodhead publishing, Cambridge England, [online]. Dostupné na internete: https://books.google.sk/books?id=6aajAgAAQBAJ&pg=PR23&lpg=PR23&dq=technology+of+automotive+textile+recycling&source=bl&ots=0wSfqUrOyx&sig=ACfU3U1FYny7JTu0G3B9TZrCVXN5OEOrSw&hl=sk&sa=X&ved=2ahUKEwi41czamLvnAhXIKFAKHSdWAYgQ6AEwBnoECAgQAQ#v=onepage&q=technology%20of%20automotive%20textile%20recycling&f=true

[50]. Rethina Senthil, Thiagarajan Hemalatha, Baskar Santhosh Kumar, Tiruchirapalli Sivagnanam Uma, Bhabendra Nath Das ,Thotapalli Parvathaleswara Sastry :Recycling of finished leather wastes: a novel approach, Clean Technologies and Environmental Policy volume 17, pages 187 – 197 (2015), [online]. Dostupné na internete: https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-014-0776-x

[51]. JODY, B. J. - DANIELS, E. J.: End-of Life Vehicle Recycling: The state of the Art Resource, Recovery from Shredder Residue, Argony National Laboratory, 2006, pp. 117, [online]. Dostupné na internete: https://publications.anl.gov/anlpubs/200 7/02/58559.pdf

[52]. Katalogový materiál firmy AVE:Recyklácia pneumatík, [online]. Dostupné na internete: https://www.avesk.sk/sk/sluzby/vyrobky/gumovy-granulat

[53]. Airbag Recycling. [online]. Dostupné na internete: https://www.airbagdisposal.co.uk/manufactures-recall

[54]. Patent č. 288 237: Nehorľavá úprava zvukovopohltivých prvkov z recyklovaných autoplášťov a gumy (BADIDA a kol.), ÚPV SR, B. Bystrica, 2014.

MINISTERSTVO ŠKOLSTVA, VEDY, VÝSKUMU A ŠPORTU SLOVENSKEJ REPUBLIKY

univnet

STU SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE

Recyklácia a zhodnocovanie gumy, kaučuku a plastov do nových výrobkov

TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE



Riešiteľský kolektív
Technická univerzita vo Zvolene
Fakulta techniky
Katedra environmentálnej a lesníckej techniky

Hlavný riešiteľ:
doc. Ing. Jozef Krilek, PhD.

Riešitelia:
prof. Ing. Dagmar Samešová, PhD.
doc. Ing. Iveta Čabalová, PhD.
doc. Ing. Helena Hybská, PhD.
doc. Ing. Pavel Beňo, PhD.
doc. Ing. Marek Potkány, PhD.
Ing. Ján Melicherčík, PhD.

7 RECYKLÁCIA A ZHODNOCOVANIE GUMY, KAUČUKU A PLASTOV DO NOVÝCH VÝROBKOV - MOŽNOSTI SPRACOVANIA A VYUŽITIA ODPADOVEJ GUMY A PLASTOV Z AUTOMOBILOV, POSÚDENIE ICH EKOTOXICITY

7.1 Opis výskumnej úlohy

V súčasnosti v automobilovom priemysle je trend vo zvýšenej miere nahrádzať kovy plastovými komponentami, čo vedie k znižovaniu hmotnosti automobilov a tým k znižovaniu spotreby palív. Vzhľadom na veľký počet rôznych plastov je ich opätovné zhodnotenie veľkým prínosom.

Globálny problém ťažko odstrániteľného odpadu súvisí s neustále rastúcim počtom áut a teda aj rastom opotrebovaných pneumatík, ktorých primárnou surovinou je kaučuk.

Kaučuk je surovina charakterizovaná neobvyklou kombináciou fyzikálnych vlastností - vysokou elasticitou pri nepatrnej tvrdosti a mimoriadne veľkou ťažnosťou. Pre ovplyvnenie spracovateľského chovania, nastavenie požadovaných aplikačných vlastností a zníženie materiálových nákladov, sa používa celá rada prísad. Najdôležitejším plnivom pre kaučuky sú aktívne sadze, inaktívne sadze a disperzné prísady. Najväčšou oblasťou použitia kaučukov (35 - 45 %) je výroba pneumatík. Pre ich výrobu slúži prírodný kaučuk (NR), polyizoprénový kaučuk (IR), butadién-styrénový kaučuk (SBR) a polybutadiénový kaučuk (BR) [1].

Keďže plasty a guma z automobilov, po ukončení svojho životného cyklu, predstavujú obrovskú environmentálnu záťaž, cieľom technológov a výskumníkov je vyvíjať nové metódy pre ich recykláciu. Polyolefíny (PP, PE) predstavujú najväčšiu časť syntetických plastov a ich odpady sú veľmi atraktívny materiál mnohé chemické premeny. Terciárna recyklácia, niekedy nazývaná tiež chemická recyklácia, využíva chemické procesy k zmene polyméru na hodnotné produkty. Typickým príkladom je napríklad hydrolýza [2] a pyrolýza [3] odpadových plastov. Podľa Al-Salema et al. [4] pyrolýza plastových odpadov získala dôležitosť, pretože je výhodnejšia z pohľadu nižšej produkcie škodlivých emisií a redukcie uhlíkovej stopy plastových produktov, pričom sa minimalizujú emisie CO a CO_2 v porovnaní s priamym spaľovaním či splyňovaním. Pyrolýza znamená proces dekompozície polymérov na menšie produkty (monoméry) pri teplote od 400(450) – 800 °C počas krátkeho pôsobenia za podmienok bez prístupu kyslíka [5]. Počas tohto procesu sa tvoria produkty na báze uhlíka, ako reziduá a prchavé produkty uhľovodíkov, ktoré sa môžu kondenzovať na palivá či neskondenzované plynné produkty [6]. Produktami termického rozkladu PP a PE je hlavne zmes olefínov (C_1-C_4) a aromatických komponentov (benzene, toluene, xylene) [7]. Hlavným produktom pyrolýzy polystyrénov (PS) býva väčšinou styrén. Podľa [8] kvapalné produkty pyrolýzy PP sú veľmi podobné ako surová nafta ale produkty obsahujú popol a vosky z pôvodného materiálu, a tým redukujú jeho kvalitu.

Z perspektívneho hľadiska je aj gumový odpad výhodne využívať ako surovinu chemického priemyslu. Pri pyrolýznom spracovaní gumového odpadu (opotrebovaných pneumatík) sú výstupnými produktmi pyrolýzny uhlík, pyrolýzny olej, pyrolýzny plyn a oceľový kord. Pyrolýzny plyn je možné využiť priamo v technologickej prevádzke na výrobu tepla a elektrickej

energie. Zabezpečí energetickú sebestačnosť prevádzky. Pyrolýzny uhlík - jemný čierny prášok (aktívne uhlie), vzhľadom na vysokú výhrevnosť, je ho možné použiť aj ako alternatívne palivo. Po ďalšom spracovaní sa môže použiť ako komponent filtračných zariadení (v čističkách odpadových vôd). Ďalším možným využitím je prísada v gumárenskom priemysle (čiastočná náhrada sadzí, absorpčný materiál v ropných rafinériách, pigment pri výrobe plastov). Pyrolýzny olej vďaka vysokému energetickému obsahu je možné využiť priamo na výrobu tepla alebo elektriny. Jeho ďalším spracovaním (hydrogenáciou, frakčnou destiláciou, krakovaním) je možné získať celý rad chemických látok, ktoré možno opätovne zužitkovať v rôznych chemických priemyselných odvetviach. V pneumatikách je viac druhov oceľového drôtu, ktorý je druhotnou surovinou pre hutníctvo. Chemickou recykláciou odpadových gúm je aj proces skvapaľnenia starých pneumatík. Ide o suchú destiláciu rozrezaných pneumatík v starom oleji pri 400 °C. Týmto pyrolýznym procesom sa získavajú ľahké a ťažké oleje. Prevádzkové náklady sú zatiaľ veľmi vysoké.

Poslednou možnosťou zhodnotenia odpadov z plastov a pneumatík je ich využitie pre výrobu energie (quartérna recyklácia). V tomto procese dochádza k priamemu spaľovaniu a časť energie je využívaná pre výrobu tepla. Všeobecne je spaľovanie posledná možnosť, kedy už nie sú vhodné iné aplikácie. Spaľovaním plastov a pneumatík však dochádza k tvorbe nebezpečných plynov a toxických produktov, ktoré predstavujú veľkú environmentálnu záťaž [7].

Pred opätovným zhodnotením plastov a gumy z automobilov je nutná ich úprava. Hlavným predpokladom pre *drvenie a mletie plastov*, je vytvorenie nového materiálu zo starých a nefunkčných výrobkov. Je to spôsobené vysokou cenou plastov, ktorá vedie k tomu, aby sme sa zaoberali opätovným využitím starých materiálov a tým znížili náklady na obstarávanie nových materiálov pre nové výrobky. Zároveň s výrobu nových plastov súvisí vysoká energetická náročnosť, ktorá predstavuje približne 2,5 ton ropy na tonu plastov. Keďže cena ropy stále stúpa, a to rýchlejšie ako cena za elektrickú energiu, rozhodne sa nám oplatí recyklovať.

7.2 Ciele výskumnej úlohy

Súčasný trend charakterizovaný prechodom od lineárneho ku obehovému hospodárstvu je zameraný na zmenu správania výrobcu a spotrebiteľa tým, že mení životný cyklus produktu od samotného návrhu cez spôsob výroby a využitia až po jeho zneškodnenie. Za účelom eliminácie vzniku odpadu a využívania nových zdrojov je cieľom obehového hospodárstva zachovať hodnotu materiálov a produktov čo najdlhšie. Zvyšovanie podielu recyklácie odpadov je jedným zo základných predpokladov uzatvorenia kruhu v rámci obehového hospodárstva.

Na základe uvedených skutočností sme si stanovili základný cieľ a špecifické ciele našej výskumnej úlohy.

Základnými cieľmi projektu bolo:

- zvýšiť využiteľnosť ojazdených pneumatík a plastov,

- znížiť riziko znečistenia pri používaní a dočasnom uskladnení ojazdených pneumatík,
- znížiť spotrebu surovín, najmä tých, ktoré majú pôvod u neobnoviteľných zdrojov a použitím ojazdených pneumatík ako druhotných surovín,
- návrh drviča potrebného pre spracovanie odpadových plastov a gumy,
- koncepcia business plánu výroby nových výrobkov.

Špecifickými cieľmi projektu bolo zhodnotiť:

- vplyv odpadových pneumatík na životné prostredie,
- schopnosť biodegradácie odpadovej drte pneumatík,
- vybrané plastové materiály a gumu SBR za pomoci terciárnej (pyrolýza) a quartérnej (spaľovanie) recyklácie a charakterizovať jednotlivé produkty pyrolýzy.

Na základe analýz realizovaných vo vybraných firmách (AVE SK odpadové hospodárstvo s.r.o. - Kechnec, ALUEX, s.r.o. - Zvolen a STERED®, PR Krajné, s.r.o. - Krajné) bude našou snahou, v ďalšom období, porozumieť potrebám vo výrobnej sfére a implementovať materiály z automobilov do nových výrobkov z gumy a plastu.

7.3 Materiál a metódy merania

Objektom výskumu boli dva druhy odpadových materiálov: opotrebované ***pneumatiky*** a ***plasty*** z osobných motorových vozidiel. Možnosťou využitia týchto materiálov je ich sparacovanie do kompozitov, v rôznej kombinácii gumy, plastu a dreva, použiteľné napr. ako protihlukové panely. Pre splnenie hlavného cieľa, návrhu a výroby nových výrobkov, bolo potrebné plasty a pneumatiky drviť na požadovanú frakciu. Súčasťou kompozitov, ktoré sú predmetom nášho výskumu v roku 2021, bude aj dendromasa, odpad vznikajúci z primárneho a sekundárneho spracovania dreva v drevospracujúcom priemysle (piliny, hobliny) a drevné dýhy. Súčasťou správy je tiež návrh drviča na spracovanie odpadovej gumy a plastov z automobilov.

7.3.1 Materiál

Opotrebované pneumatiky

Pneumatika patrí medzí spotrebné komponenty automobilov. Je umiestnená na prednej a zadnej náprave. Pre potreby výskumu bol požitý granulát vyprodukovaný spoločnosťou AVE SK odpadové hospodárstvo s.r.o. - prevádzke Kechnec. Odber opotrebovaných pneumatík je realizovaný na základe zmluvného vzťahu medzi držiteľom odpadu a spoločnosťou zaoberajúcich sa ich recykláciou. Výstupom mechanickej recyklácie procesu zhodnocovania opotrebovaných pneumatík je gumový granulát (Obr. 157) rôznych frakcií, ktorý je dôležitou surovinou pre výrobu ďalších lisovaných produktov, napr. gumových rohoží pre bezpečné detské ihriská a športoviská, antivibračných rohoží, protihlukových absorbérov a panelov.

Možné frakcie gumového granulátu sú nasledovné: 0,0 - 0,5 mm, 0,0 - 1,0 mm (nové výrobky), 0,5 - 2,0 mm, 1,0 - 3,0 mm (zásyp do umelých trávnikov, výrobky z recyklovanej gumy, športoviská), 2,5 - 4,0 mm (výrobky z recyklovanej gumy, športoviská). Pre tento účel je výstupný granulát distribuovaný vzduchotechnikou a balený do veľkých vriec tzv. big-bagov. Ďalšou potrebnou surovinou je polyuretánové spojivo (lepidlo), ktoré spoločnosť nakupuje od zahraničného dodávateľa v rôznych farebných modifikáciách (priesvitné, zelené, červené).



Obr. 157 Gumový granulát [9]

Pneumatiky sú tvorené zmesou materiálu SBR - Styrén-butadién-kaučuk, má vyššiu odolnosť proti oteru, horšie správanie pri nízkych teplotách, nižšia pružnosť, lepšiu odolnosť voči starnutiu a tepelnú odolnosť. Je výborný elektrické izolačný materiál. Používa sa v priemysle na výrobu pneumatík, dopravníkových pásov, tesnení a výrobkov z technickej gumy.

Použitý materiál:

- *Granulát z recyklovanej pneumatiky (1,0 – 3,0 mm),*
- *Granulát z recyklovanej pneumatiky (3,1 – 6,0 mm).*

Plasty z osobných motorových vozidiel

Analyzované plastové materiály boli odobraté zo zberne vyradených automobilov ALUEX, s.r.o. - Zvolen. Plasty boli drvené (strihané) ručne na požadovanú veľkosť a podľa potreby výskumu.

Plexisklo z prístrojovej dosky

Palubná doska (nazývaná tiež palubná doska, prístrojová doska (IP) alebo palubná doska) je ovládací panel, ktorý sa zvyčajne nachádza priamo pred vodičom vozidla a zobrazuje prístrojové vybavenie a ovládacie prvky fungovania vozidla. Plexisklo zabezpečuje funkčnú ochranu jednotlivých prístrojov pred možným mechanickým poškodením, napr. pri čistení interiéru automobilu.

Perforovaný svetlomet alebo reflektor

Je svietidlo v automobile, ktoré sa používa na osvetlenie vozovky počas noci, aby vodič videl na cestu. Svetlomety automobilu určené prevažne na osvetlenie vozovky a dopravných

značiek pozdĺž cesty, preto svetlo vydávané svetlometmi nie je rovnobežné, ale sa láme tak, aby smerom do protismeru bolo vyžarované menšie množstvo svetla a miesta v okolí krajnice boli osvetlené čo najviac.

Vnútorný blatník

Je súčasť podvozku automobilu alebo karosérie vozidla. Zabezpečuje ochranu vonkajšieho kovového blatníka pre vznikom korózie.

Upevňovacia časť svetlometu

Predstavuje zadnú časť svetlometu v ktorej sú montážne diery pre upevnenie a funkčné otvory pre výmenu žiarovky po jej opotrebení.

Tieniaca časť palubnej dosky

Je umiestnená priamo nad prístrojovou doskou s orientačnými ukazovateľmi. Zabezpečuje tienenie a lepší náhľad šoféra pri kontrole stavu paliva alebo rýchlosti na prístrojovej doske.

Predný nárazník - typ 1
Predný nárazník - typ 2

Nárazník je konštrukcia pripevnená alebo integrovaná s predným a zadným koncom motorového vozidla, ktorá absorbuje náraz pri malom náraze, ideálne minimalizujúci náklady na opravu.

Panel interiérového stĺpika

Tvorí súčasť interiéru automobilov, zabezpečuje prekrytie mechanizmu bezpečnostného pásové systému, elektroinštalácie vedenej cez duté profily stĺpikov. Prevedenie je u každého automobilu rôzne, vzhľadom na typ, prevedenie a farbu daného interiéru vozidla.

Interiérové doplnky - Vybavenie komfort sedadiel

Súčasťou interiéru automobilov tvorí množstvo plastových doplnkov a „simply clever“ nápadov ako je výklopná plastová podložka pod prenosné obedáre, nápoj a pod. Je umiestnená v zadnej časti predných sedadiel a je k dispozícií pasažierom vozidla vzadu.

Ofukovače (výduchy) kúrenia

Sú zabudované v palubnej doske vozidla, ktorých funkcia je smerovanie vzduchu vo vozidle. Ďalšie umiestnenie výduchov kúrenia je pod prednými sedadlami a v stredovom stĺpiku vozidla.

Plastová puklica kolesa

Predstavuje kryt kolesa podľa daného rozmeru automobilového disku. Rozmer disku vozidla je uvádzaný výrobcom v technickom preukaze.

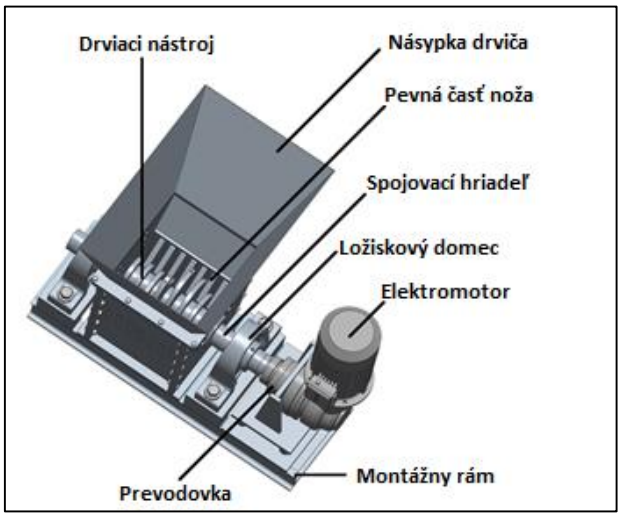
7.3.2 Experimentálne metódy spracovania
Návrh drviča plastov

Rozhodli sme sa pre návrh univerzálneho drviča, ktorý spracuje všetky materiály. Rozdelili sme si úlohu na dve časti: 1. návrh drviča plastov a pneumatík a 2. návrh vhodného rezného nástroja - dezintegrátora.

Boli navrhnuté viaceré koncepčné návrhy drvičov, kde sa na základe hodnotovej analýzy vybrala najvhodnejšia koncepcia stroja.

Koncepčný návrh zahrňuje hľadanie funkčnej štruktúry stroja, celkovej funkcie stroja a členenie na podskupiny funkcií stroja, riešenie a realizácia čiastkových funkcií a výber vhodných kombinácií. Realizácia koncepčného návrhu vychádzala z doterajších štúdií a poznatkov v danej oblasti [10, 11, 12]. Ďalej je nutné, aby obsahoval konkrétne koncepčné varianty a ich hodnotenie podľa ekonomických a technických kritérií. Pri koncepčnom návrhu je nutné vyberať z viacerých variant. Z týchto variant sú postupne vylúčené nevyhovujúce, až kým neostanú varianty, ktoré sa technickým riešením najviac približujú požadovanému výsledku. Tieto varianty sa ďalej dopracovávajú a skúmajú sa ich podrobnejšie informácie. Realizácia koncepcie je tvorená na základe výberu troch najvhodnejších spôsobov usporiadania drviacich nástrojov na hriadeli drviča.

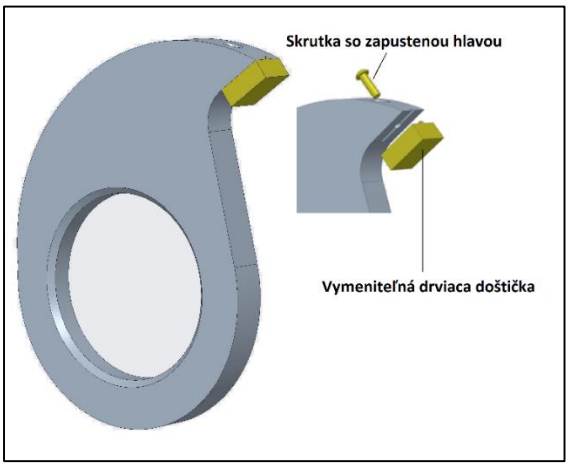
Usporiadanie drviacich nástrojov ovplyvňuje veľkosť síl a krútiaceho momentu pôsobiacich na hriadeľ, t.j. čím viac drviacich nástrojov je súčasne v zábere, tým vzniká rádovo väčší krútiaci moment potrebný na pohyb drviaceho ústrojenstva, vznikajú väčšie nároky na výkon hnacieho motora a aj samotné rozmery jednotlivých komponentov, ako je hriadeľ, prevodovka alebo spojka.



Obr. 158 Variácie uloženia rezného ústrojenstva drviča

Zostava drviča pozostáva z 8 hlavných častí (Obr. 158). Na hlavnom ráme drviča sú skrutkovými spojmi upevnené ložiskové domce, ktoré zabezpečujú uchytenie a správnu polohou hlavného hriadeľa. Na hriadeli sú šípovo usporiadané drviace nástroje. Konštrukcia je jednorotorová, takže ku drviacim nástrojom sú potrebné pevné protinástroje, ktoré

sú uložené v tele drviča zvarovým spojom. Na Obr. 158 sú drviace nástroje usporiadané do jednoduchej skrutkovice, rovnomerne v uhle 45˚ po celej kružnici 360˚. Uhol 45˚ je meraný medzi drviaci plochami jednotlivých nástrojov. Takéto usporiadanie nástrojov zabezpečí, že v zábere sa nachádza vždy len jeden drviaci nástroj, a teda krútiaci moment potrebný na pohon rotora drviča je vyvodený vždy len od jedného drviaceho nástroja. Pohon hriadeľa zabezpečuje elektromotor o výkone 55 kW s krútiacim momentom 176,63 N.m sprevodovaný vhodnou prevodovkou. Materiál na drvenie je privádzaný k rotoru drviča násypkou [13, 14].



Obr. 159 Drviaci nástroj s vymeniteľnou platničkou

Rotor drviča (Obr. 159) je hlavnou funkčnou časťou drviaceho mechanizmu. Skladá sa z hlavného hriadeľa a drviacich nástrojov. Hlavný hriadeľ je vyrobený s materiálu EN 41 3141. Na hriadeľ sú zvarovým spojom upevnené drviace nástroje, ktoré sú usporiadané do jednoduchej skrutkovice. Materiál použitý na výrobu drviacich nástrojov je oceľ EN 41 423. Ten zabezpečí vyššiu životnosť nástroja v prevádzke [15]. K drviacim nástrojom je so zápustnou skrutkou s vnútorným šesťhranom pripevnená drviaca platnička vyrobená z nástrojovej ocele triedy 19. Vďaka vymeniteľnej drviacej platničke je možné pri výrobe drviaceho nástroja použiť oceľ nižšej triedy, čo šetrí finančné náklady, a takisto po opotrebovaní je možné vymeniť iba platničku nie celý drviaci nástroj.

Napäťovo-deformačná analýza bude zrealizovaná v modelovacom programe Creo Parametric 7.0 od spoločnosti PTC. Pomocou napäťovo-deformačnej analýzy je možné zistiť, či je drviaci nástroj a hriadeľ rotoru drviča správne nadimenzovaný a spôsobilý na kontinuálnu a bezpečnú prevádzku [16, 17, 18].

Optimalizácia rezného nástroja na dezintegráciu plastov

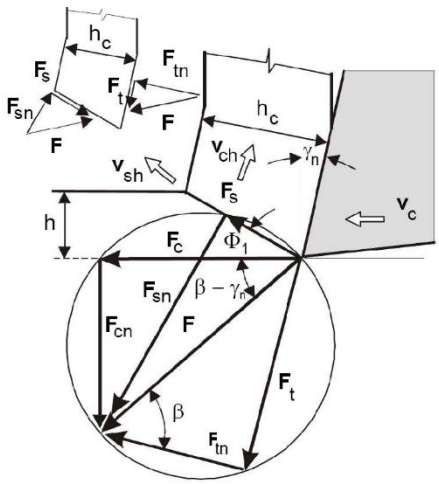
Pri konštruovaní rezných nástrojov sa rozlišujú dva základné prístupy v závislosti na tom, či navrhovaný nástroj bude monolitný, alebo bude využívať rezné platničky. Návrh nástroja ktorý využíva rezné platničky je viazaný na sortiment platničiek a spôsob ich upevňovania. Pri optimalizácii tvaru rezného klina sme vychádzali s predpokladu, že sa bude jednať o monolitný rezný nástroj.

Z hľadiska optimalizačných výpočtov pomocou metódy konečných prvkov (MKP) je jedným najdôležitejších stanovenie správnych okrajových podmienok výpočtu. Jednou z týchto kľúčových vecí je dôsledné a presné stanovenie smeru a veľkosti zaťažujúcich síl. Tieto sily pôsobia na rezný klin, ktorý vniká do materiálu a oddeľuje z neho triesky. Na splnenie požiadaviek, kladených na každý rezný nástroj do značnej miery vplýva jeho konštrukcia.

Aj keď na prvý pohľad vyzerajú nástroje rôzne, základný tvar rezného klina je podobný. Rezný klin je ohraničený plochou chrbta, prípadne vedľajšieho chrbta a plochou čela, ktorých prienik tvorí reznú hranu klinu. Ak je rezná hrana zalomená, vytvára hrot rezného klinu.

Rezný klin je definovaný súborom základných uhlov geometrie rezného klina. Tieto sú ovplyvnené tvarom nástroja a jeho naostrením. Rezný klin sa do materiálu vrezáva pôsobením sily F. Táto sila musí prekonať odpor materiálu proti rozrušeniu, ktorým pôsobí materiál spätne na nástroj. Ak silu F posunieme na reznú hranu, potom vrcholy vektorov jednotlivých zložiek reznej sily ležia na kružnici kde:

F_s - zložka reznej sily pôsobiaca v strižnej rovine,
F_{sn} - normálová zložka reznej sily,
F_c - tangenciálna zložka reznej sily,
F_p - radiálna zložka reznej sily,
F_{tn} - normálová zložka reznej sily kolmá na plochu čela,
F_{cn} - trecia zložka reznej sily v ploche čela.



Obr. 160 Vektorové znázornenie vonkajších zaťažujúcich síl rezného klinu

Cieľová funkcia optimalizácie, nazývaná tiež cenová alebo kriteriálna, musí byť vyjadrená pomocou premenných návrhu, tak že jej hodnota môže byť určená pre ľubovoľný bod v priestore návrhu. Hodnota tejto funkcie je minimálna, alebo maximálna pre optimálne hodnoty premenných návrhu vo vnútri prípustného priestoru návrhu. Funkcia môže predstavovať hmotnosť, cenu alebo určitú lokálnu alebo globálnu hodnotu, napr. napätie, posunutie, faktor intenzity napätia, tuhosť, zaťaženie pri plastickom kolapse, únavovú životnosť, vlastnú frekvenciu kmitania, aeroelastickú divergenciu, rýchlosť flutteru; atď.

Cieľová funkcia reprezentuje jednu vlastnosť v problémoch s jedným kritériom alebo cieľová funkcia môže tiež reprezentovať vážený súčet rôznych vlastností v optimalizačných problémoch s viacerými kritériami [19].

V prípade optimalizačných výpočtov noža dezintegrátora sme sa zamerali na optimalizovanie jeho tvaru s minimálnou hmotnosťou, pri ktorom nedôjde k prekročeniu stanovenej hodnoty napätia von Mises. Optimalizácia bude vykonaná v CAE systéme od firmy PTC pomocou modulu Topology Optimization. V tomto systéme stačí nastaviť kritériá návrhu, požadované ciele a zámery a potom softvér necháte bežať. Výsledkom je parametrický CAD model, ktorý vyhovuje vašim podmienkam. Výhodou takéhoto riešenia je, že nemusíte tráviť hodiny, dni alebo týždne vytváraním optimalizovanej „hlúpej“ geometrie. Okrem toho už nie ste obmedzovaní zavedenými postupmi ani rizikom tvorby nadmerných technických produktov [20]. Creo Topology Optimization automatizuje celý proces navrhovania pomocou pokročilej technológie optimalizácie tvaru na vyriešenie a splnenie kritérií návrhu a zadaných cieľov. Softvér využíva analýzu na vytvorenie optimálneho návrhu pri zohľadnení voliteľných výrobných obmedzení [15].

Popis prevádzky na výrobu protihlukových panelov

V rámci investičného plánu sa uvažuje o rozšírení kapacít existujúcej prevádzky, preto je nutné špecifikovať potrebné technologické vybavenie jej rozšírenia. Business plán uvažuje s rozšírením existujúcej prevádzky o lisovací stroj. Ide o technologické zariadenie od renomovanej spoločnosti Salvadori (Obr. 161) pod výrobným názvom Metamorphosis II. V rámci plánu sa uvažuje aj z konštrukciou hliníkovej lisovacej formy.

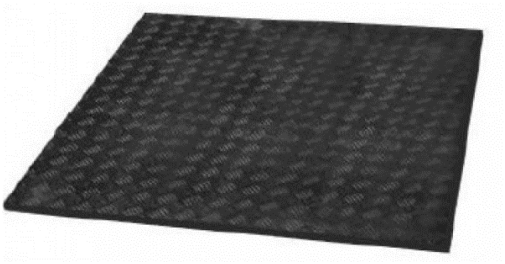


Obr. 161 Lisovací stroj [21]

Tab. 47 uvádza zoznam plánovaného majetku investície a výšku predpokladaných úrovní obstarávacích cien, ktoré boli získané od výrobcov v čase spracovania investičného plánu. Celková výška investície je na úrovni 180 000 € (so započítaním potreby prevádzkového kapitálu) a financovaná cudzím kapitálom pri úrokovej sadzbe 3 % p.a.

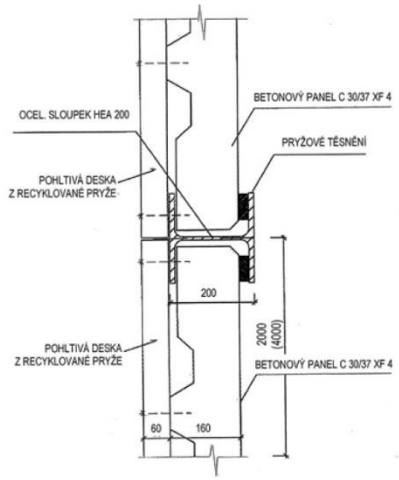
Tab. 47 Zoznam obstarávaného majetku - plánovaná investícia (I. etapa)

P.č.	Názov zariadenia/technológie	Obstarávacia cena
1	Lisovacie zariadenie Metamorphosis II od firmy Salvadori	150 000.00 €
2	Konštrukcia hliníkovej formy na tvarovanie perforácií	10 000.00 €
-	SPOLU	160 000.00 €



Obr. 162 Protihlukový panel na báze gumy (ilustračný obrázok)

Uvažovaným výstupným produktom výrobného procesu bude po rozšírení kapacít protihlukový panel o rozmeroch 1000 x 500 x 60 mm (Obr. 162). Tento produkt by mohol byť využitý pri konštrukcii protihlukových stien. Protihlukovou stenou (PHS) sa rozumie podľa technických podmienok TP15/2011 „prekážka na ceste šírenia zvuku od zdroja zvuku k miestu príjmu, ktorá je charakterizovaná rádovým rozdielom medzi výškou a dĺžkou na jednej strane a hrúbkou na strane druhej. Účelom je tlmiť hluk na prípustné hodnoty (60 dB pre deň/večer a 50 dB pre noc). Snahou je rozšíriť portfólio už existujúcich materiálov využívaných pri konštrukcii PHS, ktoré pri neustálej výstavbe a rekonštrukcii cestnej infraštruktúry Slovenska, majú potenciál svojho využitia. Technický nákres PHS kombinácie betónového panelu a absorpčnej vrstvy z recyklovanej gumy prezentuje Obr. 163. Zdrojová dokumentácia vychádza z technických podmienok ministerstva dopravy ČR.



Obr. 163 PHS kombinácia betónového panelu a absorpčnou vrstvou z recyklovanej gumy [22]

Pri analýze konkurencie výroby protihlukových panelov, vychádzajúc z informácií o jednotlivých druhoch výplňových materiálov PHS *(betónové, železobetónové, murované*

z tehál a tvárnic; z bezpečnostného skla; z akrylátov; z polykarbonátov; z plastov alebo recyklovaných plastov; kombinované s pohltivými povrchmi z gumy, polymérnych kompozitov, keramické; celodrevené; drevené s pohltivou vložkou; štiepkovo-cementové) je konkurencia veľmi široká. Podľa dostupných informácií z NDS Slovensko však môžeme konštatovať, že v poslednom období sa na Slovensku realizovalo alebo je v pláne realizovať ešte niekoľko úsekov výstavby PHS, napr.: - R1 Sielnica - úprava križovatky, - R2 Zvolen východ - Pstruša, - R2 Pstruša - Kriváň, - R2 Kriváň - Lovinobaňa, Tomášovce (úsek Mýtna - Tomášovce).

Z dostupných informácií je možné konštatovať, že cena výstavby sa pohybuje na úrovni 400-600 €/bežný meter, no žiaľ ani v jednom prípade nebol ako výplňový materiál využitý (alebo plánovaný) protihlukový panel na báze výrobku z lisovanej gumy. Preferovanými materiálmi boli výplne zmesí drevotriesky, cementu a vodného skla či hliníka. Priemerná výška PHS zmieňovaných úsekov bola na úrovni 3 m, čo pre predpokladaný 1 km dlhý obojstranný úsek znamená zhruba potrebu 6 000 m^2 protihlukových panelov.

Špecifikácia priamych a režijných nákladov uvažovanej výroby

Mzdové náklady: Na základe predikcie potreby pracovných miest (technologického zariadenia, ale aj plánovaného rozsahu a zmenovosti výroby) môžeme konštatovať, že pre potreby rozšírenia prevádzky sú potrební 4 zamestnanci. Tento počet rešpektuje požiadavku obsluhy technologického stroja na zmene jedným zamestnancom. V rámci rozšírenia prevádzky podniku sa plánuje odmeňovanie zamestnancov na úrovni 1 100 € hrubej mzdy na mesiac.

Tab. 48 Plánovaná mzdová politika pre novoprijatých zamestnancov

Pracovné zaradenie	Potrebný počet zamestnancov	Plánovaná hrubá mzda/ mesiac	Celková hrubá mzda/rok	Odvodová povinnosť zamestnávateľa/ rok (35,2 %)	Celková cena práce/rok
Výrobní zamestnanci	4	1 100,00 €	52 800,00 €	18 585,60 €	71 385,60 €
MZDOVÉ NÁKLADY					**71 385,60 €**

Celkové plánované ročné mzdové náklady na štyroch novoprijatých zamestnancov, na základe realizácie investičného zámeru a jeho udržateľnosti, sú vo výške približne 71 385 €/rok (Tab. 48). V rámci finančnej prognózy bude spoločnosť počítať s postupným nárastom hrubých mzdových nákladov na ročnej báze (plánovaná výška + 3 %/rok).

Tab. 49 Prehľad spotreby a nákupných cien materiálových vstupov za rok

DRUH	PLÁNOVANÁ ROČNÁ SPOTREBA	OBSTARÁVACIA CENA NA JEDNOTKU (v € bez DPH)	Σ NÁKLADY / ROK
Gumový granulát (frakcia 1-3mm)	420,980 t	150 €/t	60 543,00 €
Spojivo CONICA	30 380 kg	4 €/kg	121 520,00 €
Σ MATERIÁLOVÉ VSTUPY	-	-	**182 063,00 €**

Materiálové vstupy (priame náklady): Vychádzajúc z úrovne inštalovanej kapacitu strojnej technológie – lisovacieho stroja, ktorá by činila 40 m^2/deň (pri uvažovaných rozmeroch produktu) je ročná kapacita lisovaných výrobkov protihlukových panelov 14 000 m^2 pri nepretržitej štvorzmennej prevádzke). Na základe predpokladanej hmotnosti 31 kg/m^2, pri uvažovanom pomere 93 % gumový granulát a 7 % polyuretánové spojivo je možné stanoviť výšku spotreby materiálových vstupov na ročnej báze (Tab. 49). Celková ročná produkčná kapacita 14 000 m^2 činí hmotnosť 434 000 kg/ročne.

Energie: Pri výpočte energetickej spotreby sme vychádzali z technických údajov výrobcu (príkon 34 KWh, účinnosť 90 %) a plánovanom ročnom pracovnom fonde chodu stroja. Časový fond je 350 dní/rok x 24 hod = 8 400 hod/rok. Ostatné druhy energií (v Tab. 50 je ešte uvedený odhad vodné stočné) budú v kalkulácii súčasťou režijných nákladov, ktoré síce rozšírenie kapacity priamo nevyvoláva, ale v zmysle princípu kalkulácií budú započítané príslušnou prirážkou (146,36 %) na rozvrhovú základňu (mzdové náklady).

Tab. 50 Prehľad odhadovanej spotreby a cien energií za rok

DRUH ENERGIE	PLÁNOVANÁ ROČNÁ SPOTREBA (odhad)	CENA NA JEDNOTKU (€ bez DPH)	Σ/ROK (€)
Elektrina potrebná na chod stroja (príkon 34 kW, účinnosť 90 %)	34 kW x 8400 hod/rok, x účinnosť 90 %	priemerná cena 0,12 €/kWh	30 844,80 €
Vodné a stočné	350 m^3 / 350 m^3	1,09/0,92	703,50 €
Σ ENERGETICKÉ VSTUPY	-	-	**31 548,30 €**

Pre stanovenie ceny produktu cez metodiku prirážkovej kalkulácie, je potrebné stanoviť nasledovné sadzby:

a) sadzba energií na strojovú hodinu S_E/SH

$$S_E/SH = \text{menovitý výkon stroja} \times \emptyset\%\text{využitia elektrickej kapacity} \times \text{sadzba na jendotku energie}$$

S_E/SH = 34 kW x 0,9 x 0,12 €/KWh = 3,67 €/SH

b) sadzba kalkulačných odpisov na strojovú hodinu S_{KO}/SH

$$S_{KO}/SH = (\text{nadobúdacie cena technológie} / (\text{doba životnosti x plánovaný časový fond SH}) =$$

160 000 €/ (6 rokov x 8 400 hod) = 3,18 €/SH

Pre výpočet mzdových nákladov budeme vychádzať z definovanej potreby prezentovanej v Tab. 48, kde je vyčíslená predpokladaná spotreba celkových mzdových nákladov na úrovni 71 385,6 €/rok. Na základe informácie o časovom fonde lisovacej technológie (8 400 hod/rok) je možné stanoviť sadzbu mzdových nákladov.

c) Sadzba mzdových nákladov na strojovú hodinu S_{mzd}/SH

$$S_{mzd}/SH = \text{mzdové náklady} / \text{plánovaný časový fond SH}$$

= 71 385,60 € / 8400 SH = 8,50 €/SH

Pre jednotkovú kalkuláciu je potrebné si stanoviť ešte tzv. prepočítavacie parametre:
- váha výrobku 31 kg/m^2 (0,031 t) - hodinová produkcia 1,67 m^2/hod -tonová produkcia 32,258 m^2/t.

Samozrejme je taktiež potrebné brať do úvahy aj hmotnostný pomer finálneho produktu pri uvažovaných materiálových nákladoch a to 93 % gumový granulát a 7 % spojivo). Plánovanú kalkuláciu nákladov pre stanovenie ceny produktu prezentuje Tab. 51.

Tab. 51 Kalkulácia nákladov produktu

Kalkulačná položka	Poznámka k výpočtu	Kalkulačná jednotka – m^2	Kalkulačná jednotka – 1 tona
Materiálové náklady – gum. granulát	- vlastná réžia	4,33 €	150,00 €
+ Materiálové náklady spojivo	- nákupná cena 4 €/kg	8,68 €	280,00 €
+ Mzdové náklady	- sadzba 8,50 €/SH	5,09 €	164,19 €
+ Energetické náklady	- sadzba 3,67 €/SH	2,20 €	70,96 €
+ Kalkulačné odpisy	- sadzba 3,67 €/SH	1,90 €	61,29 €
= Úplné náklady Výroby	-	22,2 €	726,44 €
+ Režijné náklady podniku	Prirážka 146,36 %, mzd. N	7,45 €	229,87 €
= Celkové náklady výrobku	-	29,65 €	956,31 €
+ Zisková kalkulačná prirážka	Prirážka 10 %, celkové N	2,96 €	95,63 €
= Ponuková Cena bez DPH		**32,61 €**	**1 051,94 €**

Vplyv odpadových pneumatík na životné prostredie

Ekotoxicita patrí k jednej z viacerých nebezpečných vlastností odpadov a v dôsledku nepriaznivého pôsobenia na životné prostredie svojimi toxickými účinkami na biotické systémy, predstavuje akútne či oneskorené nebezpečenstvo.

Cieľom výskumu bolo zhodnotiť vplyv odpadových pneumatík na životné prostredie pomocou ekotoxikologických testov. Testy boli uskutočnené na vodných výluhoch pripravených z drvenej a mletej pneumatiky [23] a využité boli akvatické biotesty na troch rôznych organizmoch z dvoch trofických úrovní.

Na trofickej úrovni s producentmi sa robil test inhibície rastu *Lemna minor* [24, 25] test inhibície rastu *Scenedesmus subspicatus* [26, 27] a na úrovní s konzumentmi test akútnej toxicity na *Daphnia magna* [28, 29].

Vykonal sa aj terestrický test z jednej trofickej úrovne (s producentmi), a to test inhibície rastu koreňa *Sinapis alba* [30].

Biodegradácia odpadovej drte pneumatík

Cieľom experimentálnej práce bolo zhodnotiť schopnosť biodegradácie odpadovej drte pneumatík. Dodané vzorky gumovej drte pneumatiky sme presitovali na normalizovanej sade

sít, čím sme získali podiel o rozmere zhruba 5 mm (stredná frakcia). Jemnú frakciu pod 1 mm sme získali vymrazením na -200 °C tekutým dusíkom a následným mletím. Zo získanej jemnej frakcie sme pripravili výluh v pomere 1 diel drvivny:10 dielov deionizovanej vody. Takto pripravená vzorka sa podrobila testovaniu biodegradácie v anaeróbnych aj aeróbnych podmienkach.

Testy biodegradability
Pracovali sme s tromi typmi testov:

- test vlastnej biologickej odbúrateľnosti (Zahn-Wellens metóda) podľa normy OECD 302 B [31],
- test biologickej rozložiteľnosti v uzavretých fľaštičkách podľa normy OECD 301 D [32],
- test anaeróbnej biologickej rozložiteľnosti organických zlúčenín vo fermentovanom kale meraním produkcie plynu podľa normy OECD 311 [33].

Ako inokulum sme použili čistiarenský kal z procesu aktivácie (pre testy pri aeróbnych podmienkach) a kal z procesu metanizácie (pri anaeróbnych podmienkach).

Terciárna (pyrolýza) a quartérna (spaľovanie) recyklácia vybraných plastových materiálov a gumy z pneumatík

Pyrolýza a následná GC-MS analýza (Py-GC-MS)

Pyrolýza bola vykonaná za pomoci Pyroprobe 5150 Series. Na pyrolýzu sa do kremennej skúmavky vložilo približne 1,87 - 3,30 mg vzorky. Vzorka bola z oboch strán uzavretá kremennou vlnou. Teplota pyrolýzy daných vzoriek bola stanovená po najrýchlejšom rozklade materiálu, ktorý je výsledkom termogravimetrickej analýzy. V týchto prípadoch bola rýchlosť zahrievania 10 °C/ms a retenčný čas 10 s.

Produkty pyrolýzy sa analyzovali metódou GC-MS pomocou zariadenia: plynového chromatografu Agilent Technologies a hmotnostného spektrometra so zdrojom iónov Agilent Technologies. Na zaznamenanie a vyhodnotenie nameraných údajov bol použitý softvér ChemStation. Zložky sa identifikovali porovnaním nameraných hmotnostných spektier s hmotnostnými spektrálnymi knižnicami NIST a Wiley.

Kalorimetria

Odpadové plasty a granulát z pneumatík bol analyzovaný pomocou kalorimetra C 200 (IKA, Nemecko) a vyhodnotené softvérom Cal Win podľa normy STN ISO 1928 (44 1352) [34]. Percento popola sa počítalo ako rozdiel medzi hmotnosťou pôvodnej vzorky pred spálením a zvyškom po spálení v kalorimetri. Merania sa opakovali štyrikrát.

7.4 Výsledky a vyhodnotenie

Výsledky výskumu sa členenia podľa kľúčových tém výskumnej úlohy. Prvým cieľom bolo vytvorenie návrhu drviča a jeho častí, kde bola vykonaná napäťovo-deformačná analýza a optimalizácia rezného nástroja drviča. Druhým cieľom bolo vykonanie analýzy vybranej prevádzky na spracovanie pneumatík a výrobu produktov z gumeného granulátu pre rozšírenie výroby protihlukových panelov. Tretím cieľom bolo charakterizovať vplyv odpadových pneumatík na životné prostredie. Štvrtým cieľom bol opis biodegradácie odpadovej drte pneumatík a posledným piatym cieľom bolo spracovanie vybraných plastových materiálov a gumy SBR pomocou terciárnej (pyrolýza) a quartérnej (spaľovanie) recyklácie a opis jednotlivých produktov pyrolýzy.

7.4.1 Napäťovo-deformačná analýza drviča

Táto časť obsahuje výpočet technických parametrov navrhovaného drviča.

Výpočet sily F pôsobiacej na jeden lisovací nástroj:

$$F = S_n . \tau_D = 902 \,.\, 15{,}6 = 14\,071{,}2\ N \tag{7.1}$$

Kde: S_n - plocha drviaceho nástroja (mm^2),
τ_D - pevnosť drveného materiálu MPa.

Výpočet krútiaceho momentu Mk_2:

$$M_{k2} = F.r\ = 36\,080\,.\,0{,}216\ =\ 3039{,}38\ N.m \tag{7.2}$$

Nakoľko z hodnotovej analýzy vyplýva, že najvhodnejšie konštrukčné riešenie je vo variante č.1, kde je vždy v zábere iba jeden drviaci nástroj, nie je ďalej potrebné prerátavať krútiaci moment a daná hodnota je hodnota krútiaceho momentu, ktorú musí zabezpečiť motor drviča po vhodnom sprevodovaný prevodovkou.

Výpočet krútiaceho momentu elektromotoru M_{k1}

Aby bolo možné zrealizovať výpočet krútiaceho momentu elektromotoru, je nutné najprv stanoviť si jeho výkon *P* a otáčky n_1.

P = 55 kW
n_1 = 2975 min^{-1}

$$M_{k1} =\ \ 9554\,.\frac{P}{n_1} = 9554\,.\frac{55}{2975} = 176{,}63\ N.m \tag{7.3}$$

Výpočet prevodového pomeru i prevodovky:

$$i = \frac{M_{k2}}{M_{k1}} = \frac{3039{,}38}{176{,}63} = 17{,}2 \tag{7.4}$$

Prevodový pomer je podielom krútiaceho momentu M_{k2}, ktorý musí dosahovať rotor drviča a krútiaceho momentu, ktorý poskytuje elektromotor. Z výpočtu prevodového pomeru *i* vyplýva, že na dosiahnutie požadovaného krútiaceho momentu M_{k2}, ktorý je potrebný dosahovať na rotore drviča, pri krútiacom momente M_{k1}, ktorý je schopný vyvodiť elektromotor je nutné použiť ozubené prevody s prevodovým pomerom *i = 17,2*.

Výpočet otáčok rotoru drviča n_2

Otáčky rotoru drviča je možné vyjadriť zo vzťahu pre prevodový pomer $i = \frac{n_1}{n_2}$, nakoľko prevodový pomer je už známy z predchádzajúceho výpočtu.

$$n_2 = \frac{n_1}{i} = \frac{2975}{17{,}2} = 172{,}97\ min^{-1} \tag{7.5}$$

Z výpočtu vyplýva, že pri otáčkach elektromotoru $n_1 = 2975\ min^{-1}$ a vypočítanom potrebnom prevodovom pomere *i = 17,2*, rotor dosahuje maximálne otáčky $n_2 = 172{,}97$ min^{-1}. Takéto otáčky vyhovujú pre dané konštrukčné riešenie pomalobežného drviča.

Výpočet drviacej rýchlosti

$$v_d = \frac{\pi\ .D\ .n_2}{1000} = \frac{\pi\ .\ 432\ .67.46}{1000} = 91{,}55\ m.min^{-1} \tag{7.6}$$

Výpočet priemeru hriadeľa d

Na výrobu hriadeľa pre rotor drviča bude použitá oceľ s označením STN 13 141 s medzou klzu R_e = 433 MPa. Oceľ tejto triedy volím na základe vysokého namáhania hriadeľa pri danom použití, a aby priemer hriadeľa nebol príliš veľký, a tým aj jeho hmotnosť.

$$d = \sqrt[3]{\frac{5\ .M_{k2}\ .\ 10^3}{\tau_{Dov}}} = \sqrt[3]{\frac{5\ .3039{,}38\ .10^3}{130}} = 105{,}34\ \rightarrow 115\ mm \tag{7.7}$$

$$\tau_{dov} = 0{,}6\ .\frac{Re}{k} = 0{,}6\ .\frac{433}{2} = 130\ MPa \tag{7.8}$$

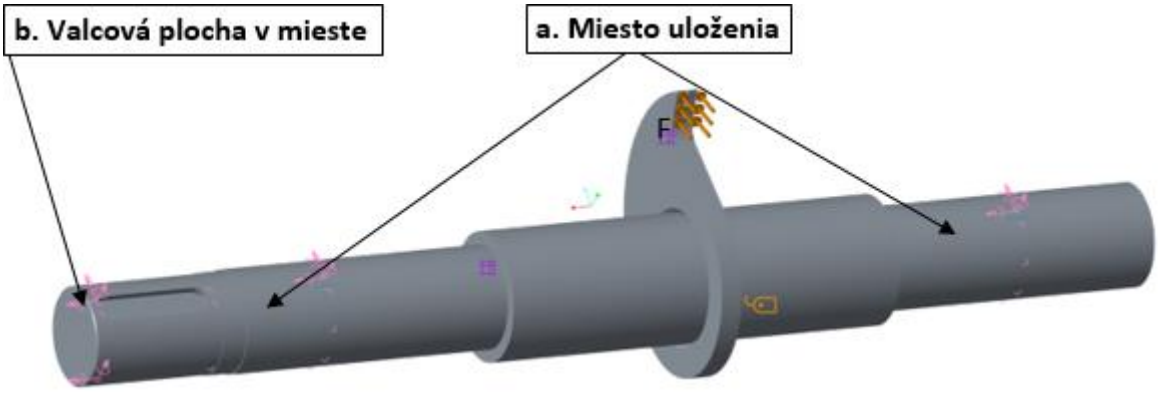
Z výpočtu vyplýva, že priemer hriadeľa pri danom materiály, by mal byť minimálne 105, 34 mm, pričom táto hodnota bola zaokrúhlená na 115 mm, z dôvodu oslabenia a zníženia priemeru hriadeľa v mieste drážky pre tesné pero.

Konštrukčný návrh bol zhotovený pomocou v softwaru PTC Creo 7.0. Technické riešenie bolo realizované na základe matematických výpočtov kapitole 2.1. Napäťovo deformačná analýza bola simulovaná v software PTC Creo Simulate 7.0. Simulovaný model bol v prvom kroku zaťažený silou F = 14,07 kN. Sieť konečných prvkov bola spustená po zadaní základných parametrov pred simuláciou ako je hustota materiálu ($\rho = 7850\ kg.m^{-3}$), Youngov modul 206 GPa a Poissonova konštanta, ktorá bola 0,3. Simulovaný drviaci nástroj bol po zadaní základných parametrov simulovaný s následnými výsledkami. Konštrukčný model bol navrhnutý z materiálu STN 11 423, čo predstavuje ľahko obrábateľnú oceľ, s vysokým podielom uhlíka a odolnosťou od 50 – 53 HRC.

Cieľom napäťovej analýzy je získanie poznatkov o priebehoch napätí, ktoré pôsobia na drviaci nástroj vyrobený z ocele s označením STN 11 423 a hlavný hriadeľ rotoru drviča, ktorého navrhovaný materiál v kapitole s technickými výpočtami je oceľ s označením STN 13 141. Medza klzu (Re) pre materiál drviaceho nástroja je 240 MPa. Medza klzu je hraničná hodnota materiálu, kde už dochádza k trvalej, teda nepružnej deformácii. Konštrukčný návrh drviaceho nástroja bude vyhovovať, ak koeficient bezpečnosti k ≥ 1,7. Medza klzu (Re) pre materiál hlavného hriadeľa rotoru drviča je 433 MPa. Medza klzu je hraničná hodnota materiálu, kde už dochádza k trvalej, teda nepružnej deformácii. Konštrukčný návrh hriadeľa bude vyhovovať, ak koeficient bezpečnosti bude k ≥ 1,7. Drviaci nástroj je k hlavnému hriadeľu drviča privarený po celom obvode vnútorného otvoru z oboch strán v miestach zrazení hrán, a teda sú mu odobraté všetky tri posunutia, a to posunutie v smere osi x, osi y a osi z ako aj všetky tri rotácie v daných osiach (Obr. 164). Výsledná drviaca sila F o veľkosti 14,1 kN pôsobí kolmo na drviacu plochu nástroja.

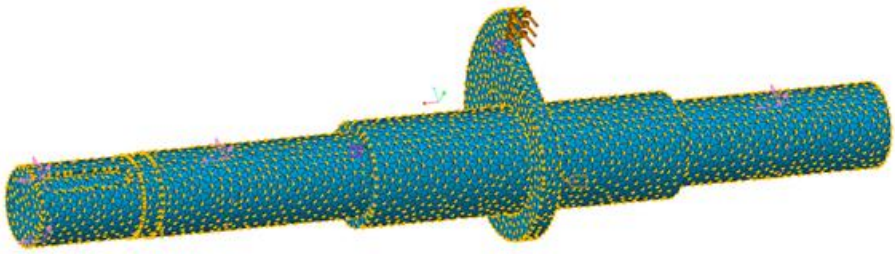
Odobratie stupňov voľnosti hlavnému hriadeľu bolo vykonané nasledovne:

a) V mieste ložiskových domcov resp. ložísk - posunutia v smere osi x, y, z zakázané a rotácie na osi x, z zakázané a na osi y povolené,
b) Na valcovej ploche v mieste pero drážky - zakázané rotácie aj posunutia.



Obr. 164 Odobratie stupňov voľnosti a sily F pri deformačnej analýze

Na Obr. 165 je programom vytvorená sieť konečných prvkov, v ktorej bol upravený maximálny rozmer elementu na 15 mm pre drviaci nástroj a 18 mm pre hlavný hriadeľ. Vo všeobecnosti platí že, čím menší maximálny rozmer elementu, tým program dokáže presnejšie nasimulovať jednotlivé napätia a posunutia v materiály. Avšak čím je menší maximálny rozmer elementu v sieti FEM, tým je výpočet náročnejší na hardwarové vybavenie výpočtového zariadenia, a preto bol zvolený daný maximálny rozmer elementu, ktorý je optimálny z hľadiska presnosti výpočtu ale aj hardwarového vybavenia výpočtového zariadenia použitého pri výpočtoch napäťovej analýzy [19, 35, 36].

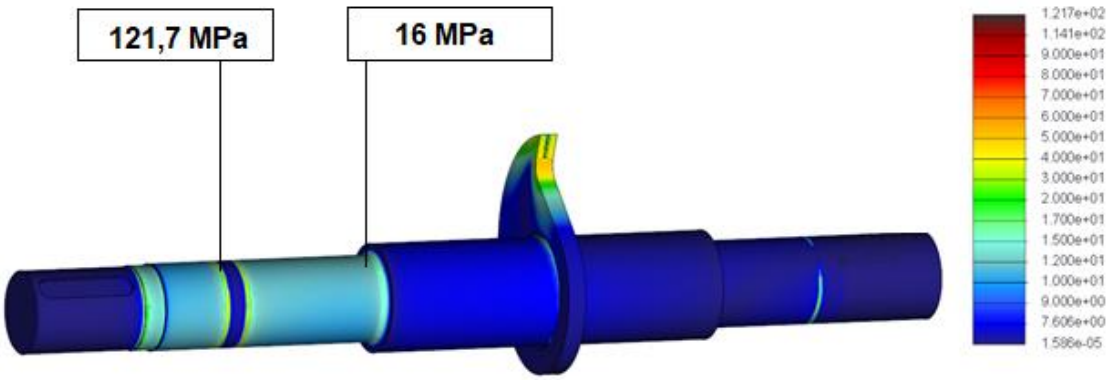


Obr. 165 Sieť konečných prvkov na hriadeli

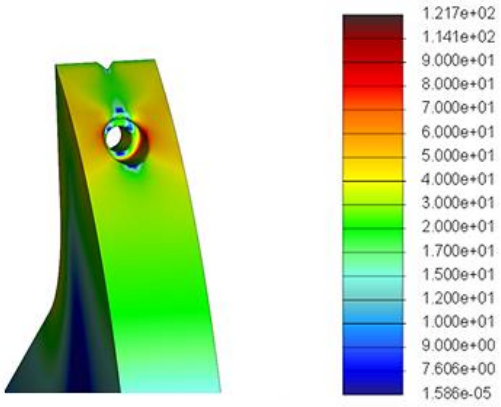
Na Obr. 166 je znázornené nasimulované napätie vyjadrené v MPa, ktoré pôsobí v drviacom nástroji a hlavnom hriadeli. Maximálne napätie predstavuje hodnotu 121,7 MPa v mieste, kde je hriadeľ uložený v ložisku, pričom táto hodnota je ovplyvnená funkciou *rigid link*, ktorá bola použitá pri odoberaní stupňov voľnosti. Pri použití tejto funkcie vznikajú lokálne napätia vyššie ako v skutočnosti v danom mieste pôsobia. Toto napätie je maximálne v celej zostave hriadeľa a drviaceho nástroja, a aj napriek tomu s ním budeme uvažovať pri skúške, či pomer maximálneho napätia s medzou klzu spĺňa podmienku bezpečnosti*k ≥ 1,7*. Toto maximálne napätie je situované na hriadeli, a preto bude uvažovaná medza klzu materiálu hlavného hriadeľa.

$$Re = \frac{433}{124{,}7} \geq 1{,}7 \tag{7.9}$$

3,47≥1,7→konštrukčný návrh spĺňa podmienku bezpečnosti

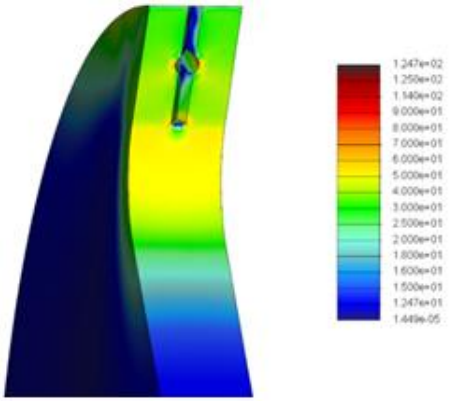


Obr. 166 Priebeh napätí hlavného hriadeľa drviaceho nástroja



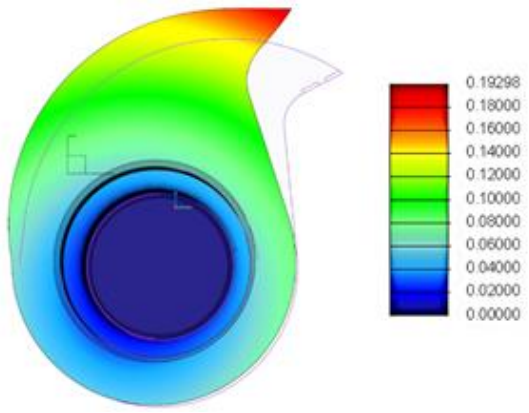
Obr. 167 Maximálne napätie otvoru pre skrutku pri zaťažení drviacou silou

Obr. 167 znázorňuje priebeh napätí v zostave hriadeľa a drviaceho nástroja po optimalizácií. Optimalizácia prebiehala v podobe zaoblení ostrých hrán hriadeľa, z dôvodu rozloženia pôsobiacej sily v mieste prechodu priemeru z väčšieho na menší. V týchto miestach kleslo napätie z maximálnej hodnoty 40,5 MPa na 16 MPa, pričom je rozložené pozdĺž valcovej plochy.

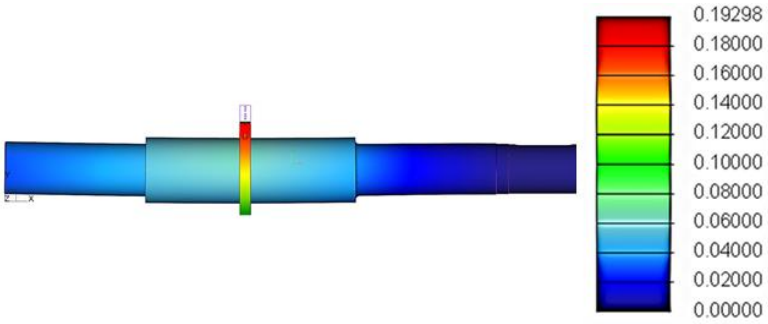


Obr. 168 Napäťová analýzy plochy upevnenia drviacej platničky

Na Obr. 168 je detail plochy pre drviacu platničku, kde pomocou optimalizácii bola znížená hodnota maximálneho napätia na 86 MPa a na Obr. 169 je maximálna hodnota napätia v mieste upevnenia drviacej platničky 69 MPa čo je vidieť na uvádzanom farebnom spektre na výstupe z napäťovej analýzy.



Obr. 169 Deformačná analýza drviaceho nástroja

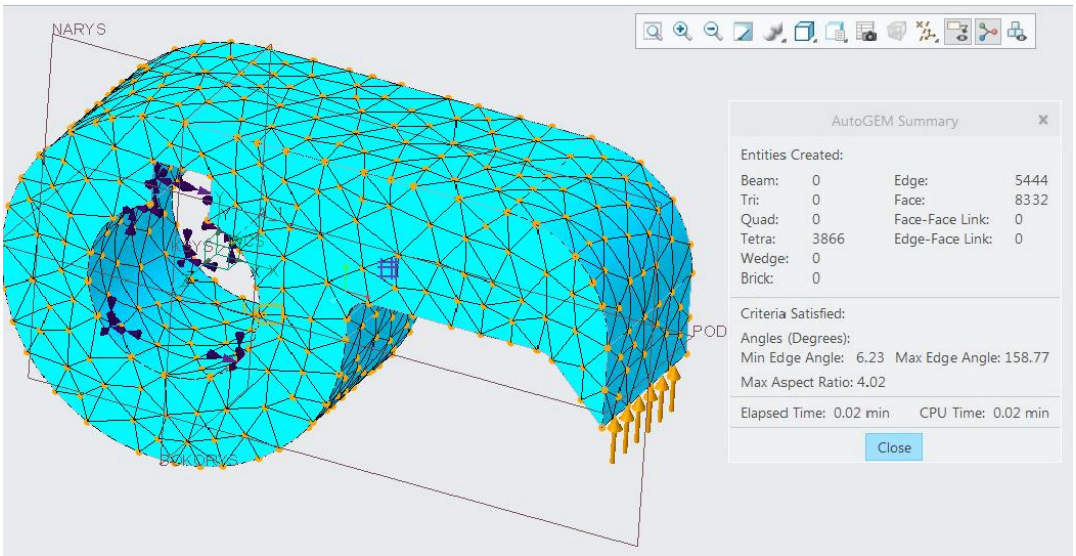


Obr. 170 Celková deformácia hriadeľa a drviaceho nástroja

Na Obr. 170 je znázornená celková deformácia hriadeľa a drviaceho nástroja po zaťažení silou F. Maximálna hodnota deformácie dosahuje hodnotu zaokrúhlene 0,193 mm. Táto maximálna deformácia je dosahovaná na koncovej hrane drviaceho nástroja (Obr. 169). Deformácia hriadeľa nepresahuje hodnotu 0,07 mm. Takéto hodnoty deformácií sú zanedbateľné a konštrukčný návrh hlavného hriadeľa a drviaceho nástroja je správny.

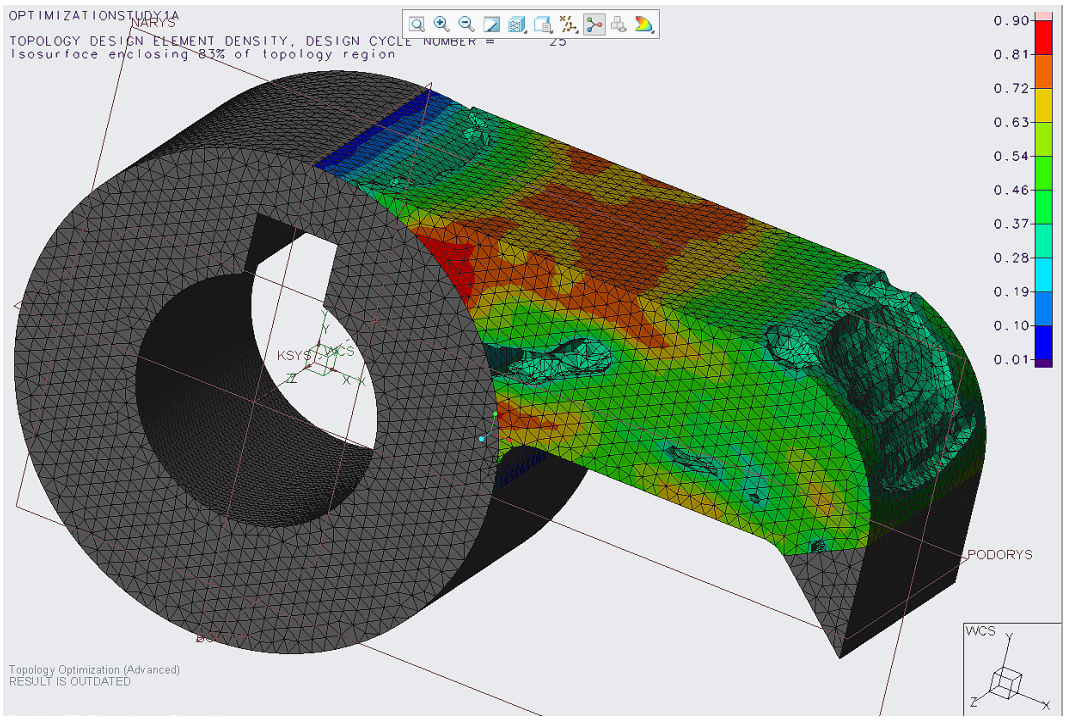
Topologická optimalizácia v CAE systéme

Začiatok procesu optimalizácie je zhodný s klasickým postupom prác v module Creo Simulate. Vyžaduje to teda zadať konkrétny materiál s požadovaným parametrami ktoré sú nevyhnutné pre MKP výpočty t.j. Poissonovo číslo a Youngov modul (modul pružnosti v ťahu). Pokiaľ je jedným z kritérií aj minimalizovanie hmotnosti je nevyhnutné zadať aj mernú hmotnosť materiálu. Následne je nevyhnutné zadať okrajové podmienky výpočtu t.j. zaťažujúce sily a časti konštrukcie v ktorých sú odobraté požadované stupne voľnosti. Ďalším krokom je vytvorenie konečno-prvkovej siete kde sa dá využiť príkaz na automatické vygenerovanie siete (AutoGEM) alebo vytvoriť túto sieť podľa nami požadovaných požiadaviek. V našom prípade sme použili automatické vygenerovanie konečnoprvkovej siete ktoré nám vytvorilo výpočtový model s 3866 prvkami typu Tetra (Obr. 171).



Obr. 171 Vysieťovaný výpočtový model a okrajové podmienky výpočtu

Ďalším krokom je stanovenie jednotlivých častí danej konštrukcie, ktorých sa optimalizácia bude týkať, resp. tých ktoré budú z optimalizačného procesu vylúčené. Tento krok sme vykonali pomocou menu Topology Regions, kde sme zadali, že optimalizovať nechceme funkčné časti noža dezintegrátora, ktorými sú náboj a brit noža, zobrazené na Obr. 172 a označené tmavo šedou farbou. Aby sme tieto časti noža dezinegrátora mohli vylúčiť z procesu optimalizácie bolo potrebné vytvoriť z nich Volume Reegion a potom v systéme pre obidva zadať príkaz Excluded Regions.

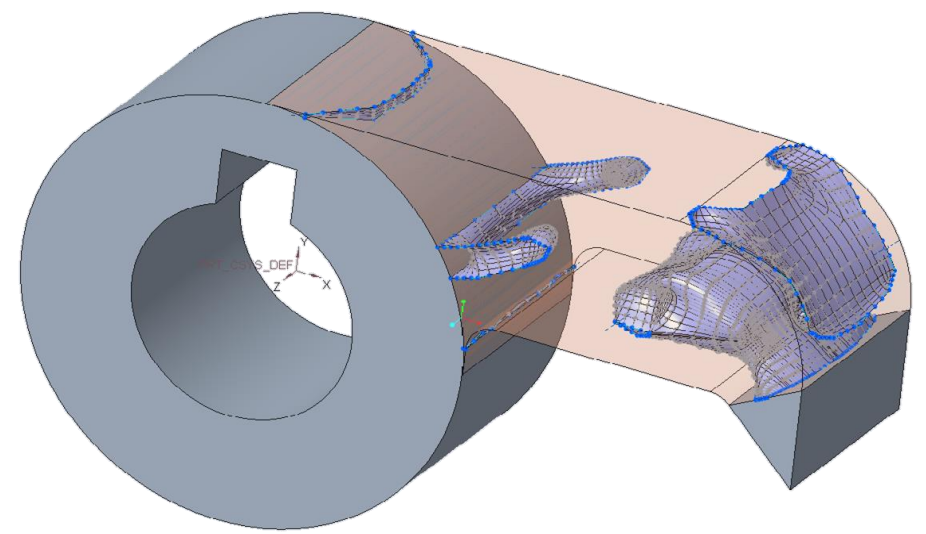


Obr. 172 Výpočtový model po topologickej optimalizácii

Následne boli zadané ďalšie dva parametre pomocou menu Design Objectives. V našom prípade sme sa rozhodli, že budeme sledovať parametre, ktorými budú Mass Fraction a Strain Energy. Celý vstupný proces optimalizácie sme ukončili zadaním parametra Design Constrain, kde sme sa rozhodli, že finálny optimálny návrh by mal byť taký, aby v ňom nebola prekročená nami stanovená hodnota napätia von Mises.

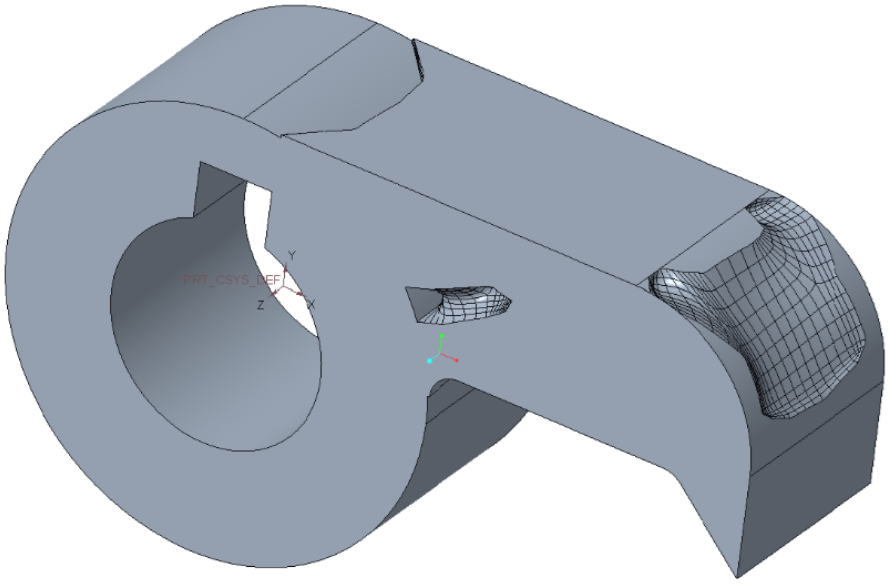
Po zadaní všetkých týchto vstupných údajov bol spustený samotný optimalizačný výpočet. Vzhľadom na daný počet elementov (3866 Tetra) a defaultné nastavenie pamäte, ktorú využíval solver pri riešení, celý proces trval cca. 23 minút. Jeho prvotným výsledkom je tvar noža ktorý je na Obr. 172 vyznačený farebnou škálou.

Optimalizovaný tvar noža na Obr. 172 (označený farebnou škálou) je samozrejme nutné ešte upraviť do tvaru, ktorý bude zodpovedať našim požiadavkám a tiež požiadavkám z hadiska technológie výroby. Tento proces sa dá zrealizovať pomocou menu Freestyle na modely, ktorý je na Obr. 173.



Obr. 173 Úprava optimalizovaného modelu noža dezintegrátora

Rekonštrukcia primárneho modelu je možná dvomi spôsobmi. Ako najjednoduchšie môžeme použiť príkaz Reconstruct from facets. V tomto prípade môžeme upravovať jednotlivé plôšky presunom ich hraničných bodov do požadovanej polohy pomocou myši. Ďalšou možnosťou je možná náhrada optimalizovaných častí konštrukcie jednoduchými otvorenými alebo uzavretými geometrickými tvarmi pomocou manu Open resp. Closed Primitives. Výsledný finálny tvar noža dezintegrátora po takýchto čiastočných úpravách je na Obr. 174.



Obr. 174 Finálny optimalizovaný tvar noža dezintegrátora

7.4.2 Koncepcia business plánu výroby protihlukových panelov na báze gumy

V rámci riešenej problematiky a informácií od odborníkov z praxe sme sa rozhodli pre výrobu protihlukových panelov na báze plastu a gumy a ich kombinácií. V tejto časti

je popísaný **Investičný plán** protihlukových panelov na báze gumy. V prvej fáze je vypracovaný investičný plán za účelom ekonomického prepočtu rozšírenia kapacít vybranej prevádzky, zameranej na recykláciu opotrebených pneumatík do formy gumového granulátu využiteľného pre finálne lisované produkty z gumy s uvažovaným zámerom výroby panelov protihlukových stien. Nasledujúca časť prezentuje skrátenú štruktúru investičného plánu vo forme prezentácie jeho konceptu, ktorý je možné v prípade zmeny vstupných parametrov modifikovať.

Finančno-ekonomická analýza

V danej časti prezentujeme základný rámec finančno-ekonomickej analýzy hodnotenia projektu. Na hodnotenie investičného zámeru boli využité metódy čistej súčasnej hodnoty, indexu rentability, Vnútorného výnosového percenta a diskontnej doby splatnosti. Ide o všeobecne známe metodické postupy ich stanovenia, ktoré sú prezentované v prácach [37, 38, 39]. Dynamickými metódami založenými na diskontovaní sa zaoberali vo svojich prácach [40, 41].

Štruktúra nákladov a výnosov. Vychádzajúc z údajov o štruktúre priamych nákladov, je možné pre metodiku finančnej analýzy prezentovať štruktúru nákladov a výnosov, ktorej však ešte predchádza stanovenie odpisov a úrokov vyplývajúcich z potreby financovanie daného zámeru projektu. Pre potreby výpočtu odpisov sme zvolili lineárnu metódu odpisovania, ktorá sa v podniku v súčasnosti využíva v zmysle zákona 595/2003 Z.z. o dani z príjmov v znení neskorších predpisov [42].

Tab. 52 Plán odpisovania obstarávaného dlhodobého hmotného majetku

Odpisovaný majetok	Obstarávacia cena (€)	Počet v ks	Odpisová skupina	Ročný odpis (€)
Lisovacie zariadenie Metamorphosis II	150 000,00	1	2.	25 000,00
hliníková forma lisu	10 000,00	1	2.	1 666,67
26 666,67				

Tab. 53 Výpočet potreby kapitálu celkom

	Potreba investičného kapitálu	160 000,00
	PPK (potreba prevádzkového kapitálu)	22 105,00
	Celková potreba kapitálu (investícia)	182 105,00
	Disponibilný vlastný kapitál	2 105,00
	Potreba cudzieho kapitálu	180 000,00
	Dlhodobý cudzí kapitál	180 000,00

Výpočet potreby štartovacieho kapitálu na financovanie investície je aplikovaný v zmysle všeobecnej metodiky jeho stanovenia. Rekapituláciu údajov prezentuje Tab. 53.

PPK = PDN x PDV

PDN = (celkové náklady bez úrokov - odpisy) / počet dní prevádzky v roku

PDN = (413 504 – 26 666,6) / 350 = 1 105,25 €/deň

PDV = 20 dní (odhadový počet dní kolobehu obežného majetku vstup/výstup)

PPK = 1 105,25 x 20 dní = 22 105 €

Legenda:
PDN – priemerné denné náklady
PPK – potreba prevádzkového kapitálu (rok)

Celkové finančné prostriedky vyčíslené ako potreba financovania danej investície spojenej s rozšírením kapacít prevádzky podniku výroby lisovaných výrobkov, sú na úrovni približne 180 000 €. Na zabezpečenie potrebnej výšky finančných prostriedkov je potrebné využiť dlhodobý bankový úver, ktorý bude slúžiť na pokrytie financovania podstatnej časti investície. Celková predpokladaná výška bankového úveru je stanovená na 180 000 €. Plánová doba splatnosti úveru je 15 rokov pri ročnom úroku z úveru o výške 3 % p.a.

Štruktúra nákladov a výnosov je spracovaná za obdobie ekonomickej udržateľnosti a využívania zrealizovanej investície, tzn. od 01/2022 po dobu 6 kalendárnych rokov (Tab. 54). Vývoj plánovaných nákladov na obdobie 6 kalendárnych rokov, ktoré vyvolá realizácia investičného zámeru. Vývoj nákladov modelujeme pri ročnej 3 % zmene - navýšení nákladov v každom kalendárnom roku z dôvodu predpokladaného rastu cien vstupov.

Tab. 54 Predpokladaný vývoj nákladov v období 2022 - 2028

	% zmena	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Priamy materiál	3	182 063,00	187 524,89	193 150,64	198 945,16	204 913,51	211 060,92
Mzdy	3	71 385,60	73 527,17	75732,98	78004,97	80345,12	82755,48
Energie	3	30 844,80	31 770,14	2 723,25	33 704,95	34 716,09	35 757,58
Odpisy	-	26 666,67	26 666,67	26 666,67	26 666,67	26 666,67	26 666,67
Úroky z úveru	-	5 400,00	5 040,00	4 680,00	4 320,00	3 960,00	3 600,00
Režijné náklady	3	99 940,00	102 938,2	106 026,3	109 207,1	112 483,4	115 857,9
SPOLU		416 300,07	427 467,07	438 979,88	450 848,88	463084,75	475 698,49

Tab. 55 Implementačný plán rozšírenia kapacít prevádzky

Protihlukový panel 1000x500x60	% zmena	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Kapacita prevádzky	-	14 000 m^2	14 000 m^2	14 000 m^2	14 000 m^2	14 000 m^2	14 000 m^2
Predajná cena	3	32,61 €/m^2	33,59 €/m^2	34,60 €/m^2	35,64 €/m^2	36,71 €/m^2	37,81 €/m^2
Plán výnosov		456 540,0 €	470 260,0 €	484 400,0 €	498 960,0 €	513 940,0 €	529 340,0 €

Tab. 56 Implementačný plán rozšírenia kapacít prevádzky

P.č.	Činnosť	OD	DO	Finančná náročnosť (€)
1.	Vypracovanie investičného projektu	08/2020	09/2020	0,00
2.	Ostatné aktivity výskumno vývojovej činnosti (technické a akustické skúšky, činnosti súvisiace s certifikáciou produktu	10/2020	03/2021	0,00
3.	Marketing – aktívne intervencie na trhu, oslovenie projektantov výstavby a rekonštrukcie cestných komunikácií	01/2021	06/2021	0,00
4.	Dodávateľské zmluvy – obstaranie technológií, dodacie lehoty (predpoklad do 6 mesiacov)	05/2021	11/2021	160 000,0
5.	Príprava priestorov pre potreby inštalovania technológie	11/2021	12/2021	500,00
6.	Postupná kúpa a montáž nových technológií, úhrady faktúr	12/2021	12/2021	0,00
7.	Nábor zamestnancov, výber, zaškolenie	12/2021	01/2022	1 500,00
8.	Spustenie nových technológii, prevádzka	01/2022	02/2022	0,00
	S P O L U	08/2020	01/2022	**162 000,0**

Vývoj plánovaných výnosov na obdobie 6 kalendárnych rokov (Tab. 55), ktoré prinesie realizácia investičného zámeru, je založený na pláne ročnej produkcie 14 000 m^2 protihlukových panelov (434 ton). Vývoj plánovaných výnosov nebudeme modelovať na %-ny nárast kapacity, ale na nárast predajnej ceny. Podobne ako u nákladových položiek budeme uvažovať s 3 %-nou zmenou v jednotlivých rokoch.

Analýza rizikovosti projektu

Pri realizácii investičného zámeru je potrebné predpokladať aj určitý vplyv rizík, ktoré dokážu ovplyvňovať úspešnosť implementácie projektu a tým aj výsledok podnikateľskej činnosti. Medzi najdôležitejšie riziká patria:

- Ekonomické riziká: zmeny v nákladoch, ktoré prinesú nižšiu mieru zisku, rast inflácie.
- Trhové riziká: pokles trhového podielu–budúca potenciálna konkurencia, nízky záujem zákazníkov/obchodných partnerov, zmena dodávateľských vzťahov a zmlúv.
- Technologické riziká: poruchy strojov, zmena technológií a noriem vo výrobe.
- Sociálno-politické riziká: zmena politiky štátu a právne obmedzenia.

Minimalizácia rizík je založená na správnom presadzovaní sa na trhu medzi konkurenciou hlavne prostredníctvom cenovej politiky, reklamy, kvality poskytovaných služieb a správnym prístupom ku zákazníkovi - servis, komunikácia, požiadavky výroby produktu na mieru. Ďalšou z možností znižovania podnikateľského rizika je uzatváranie dlhodobých kontraktov s dodávateľmi, čím sa znižuje riziko náhleho rastu cien výrobných vstupov. Je potrebné zohľadniť možnosť zvýšenia nákladov na vstupy, ktoré podstatným spôsobom ovplyvňujú ceny výrobkov. Pri náhlom zvýšení cien viacerých vstupov v tom istom období, je potrebné uvažovať

o zmene dodávateľov, nájsť takých, ktorí by poskytovali vstupy za nižšie ceny. V snahe eliminovať technologické zdroje rizika je potrebné venovať pozornosť pravidelnej údržbe a servisu strojov a zariadení. Pri sociálno-politických rizikách musíme brať do úvahy najmä zmeny v legislatíve, ktoré sa nedajú ovplyvniť.

V nasledujúcom kroku sme vykonali analýzu citlivosti rizika z pohľadu možných zmien parametrov investície vplývajúcich na plánovaný zisk. Pre potreby analýzy citlivosti rizika (Tab. 57) je potrebné v prvom rade stanoviť očakávané ročné tržby.

Pre ich stanovenie sme vychádzali z aktuálnych skúseností prevádzky pri výrobe lisovaných výrobkov podobnej štruktúry. Klasifikácia výnosov a nákladových položiek pre analýzu citlivosti vychádza z prezentovanej štruktúry kalkulačného vzorca a predpokladu že priame náklady okrem kalkulačných odpisov majú variabilný charakter a položka réžie vykazuje fixný charakter nákladov. Pre výpočet zisku použijeme nasledovný vzťah:

$$HV = (Q \times p) - [(VN_1 + VN_2 + ... + VN_n) \times Q + FN_1 + FN_2 + ... + FN_k] = 40\,333{,}33\ €$$

Z analýzy citlivosti rizika je možné konštatovať, že najrizikovejším faktorom vplývajúcim na zmenu výsledku hospodárenia je cena. Ak kalkulovaná cena za jednotku (1 m^2) poklesne o 10 % na úroveň 29,35 €/m^2, plánovaný výsledok hospodárenia má predpoklad poklesu o 113,16 % (čo znamená hrozbu straty). Ďalším faktorom, ktorý v najväčšej miere vplýva na výsledok hospodárenia sú materiálové náklady. Pri ich potenciálnom náraste o 10 % by zisk klesol o 45,12 %, avšak ešte stále by sa nachádzal v ziskovej zóne. Podobne v prípade poklesu produkcie o 10 % je tento vplyv na výsledok hospodárenia kvantifikovaný na úrovni 42,73 %. Pri položkách mzdových a energetických nákladov je pri ich náraste o 10 % vplyv na zisk v podstate minimálny. Zaujímavou sa ešte javí výsledok analýzy citlivosti pri režijných nákladoch. V prípade ich nárastu o 10 % to bude mať vplyv na pokles zisku o 24,78 %. Tu je však nutné poznamenať, že riziko je analyzované na účel podnikateľského zámeru, a to nákup ďalšej strojnej technológie formou rozšírenia kapacít. Keďže firma už podobnú technológiu vlastní, v prípade nárastu produkcie je možné reálne uvažovať so znižovaním nákladov na jednotku produkcie. Takýto prepočet je však vopred ťažko kvantifikovateľný. Expertný odhad hovorí o 7-10 %-nom efekte úspory z degresie fixných nákladov.

Tab. 57 Analýza citlivosti investície

Faktor rizika		Predpoklad (€)	Zmena o 10 %	HV po zmene (€)	Absolútna zmena (€)	Relatívna zmena v %
Objem produkcie	Q	14 000 m^2	12 600 m^2	23 099,33€	17 234,00€	42,73 %
Ena	p	32,61 €/m^2	29,35 €/m^2	-5 306,67 €	-45 640 €	-113,16 %
Materiálové náklady	VN	13,01 €/m^2	14,31 €/m^2	22 133,33 €	18 200 €	45,12 %
Mzdové náklady	VN	5,09 €/m^2	5,60 €/m^2	33 193,33 €	7 140 €	17,70 %
Energetické náklady	VN	2,20 €/m^2	2,42 €/m^2	37 253,33 €	3080 €	7,63 %
Kalkulačné odpisy	FN	26 667,67 €/rok	29 334,44€	37 665,56 €	2 667,77 €	6,61 %
Úroky	FN	5 400,00 €/rok	5 940 €	39 793,33 €	540 €	1,34 %
Režijné náklady	FN	99 940,00 €/rok	109 934 €	30 338,33 €	9 995 €	24,78 %
	HV	**40 333,33 €***				

*zmena zisku oproti plánu Cash Flow je spôsobená zaokrúhľovaním jednotlivých položiek priamych nákladov

Plán CASH FLOW

Nasledujúca Tab. 58 uvádza plán výsledku Cash Flow na predpokladanú dobu životnosti investície, ako základu pre využitie dostupných ukazovateľov hodnotiacich reálnosť investície.

Na základe zvolených metód hodnotenia podnikateľského plánu a pri zachovaní nastavených vstupných parametrov využitia kapacity, štruktúry nákladov a predajných cien je možné konštatovať, že investícia je rentabilná. Jej odhadovaná čistá súčasná hodnota je pozitívna na úrovni + 69 359,70 €, index rentability je 1.38, výnosové percento investície je 23,85 % a jej návratnosť je odhadovaná na úrovni 4 rokov a 4 mesiacov od realizácie.

Tab. 58 Analýza očakávaných Cash Flow investície (údaje v €)

			2022	2023	2024	2025	2026	2027
1		**Výnosy**	456 540,00	470 260,00	484 400,00	498 960,00	513 940,00	529 340,00
2	-	**Náklady** (bez odpisov a úrokov)	384 233,40	395 760,40	407 633,21	419 862,21	432 458,08	445 431,82
3	-	Odpisy	26 666,67	26 666,67	26 666,67	26 666,67	26 666,67	26 666,67
4	-	Úroky	5 400,00	5 4040,00	4 680,00	4 320,00	3 960,00	3 600,00
5	=	Zisk pred zdanením	40 239,93	42 792,93	45 420,12	48 111,12	50 855,25	53 641,51
6	-	Daň z príjmu PO (21 %)	8 450,39	8 986,51	9 538,22	10 103,34	10 679,60	11 264,72
7	=	Čistý zisk	31 789,54	33 806,41	35 881,89	38 007,78	40 175,65	42 376,79
8	-	Tvorba fondov 5 %	1 589,48	1 690,32	1 794,09	1 900,39	2 008,78	2 118,84
9	=	Dispon. zisk	30 200,07	32 116,09	34 087,80	36 107,40	38 166,87	40 257,95
10	+	Odpisy	26 666,67	26 666,67	26 666,67	26 666,67	26 666,67	26 666,67
11	=	CASH FLOW	56 866,74	58 782,76	60 754,47	62 774,07	64 833,54	66 924,62
12	-	Splátka úveru	12 000,00	12 000,00	12 000,00	12 000,00	12 000,00	12 000,00
13	=	NET CASH FLOW	44 866,74	46 782,76	48 754,47	50 774,07	52 833,54	54 924,62
14		Diskont (5 %)	0,9532	0,9070	0,8638	0,8227	0,7835	0,7462
15	=	SHCF	42 766,97	42 431,97	42 114,11	41 771,82	41 395,08	40 984,75
SHCF celkom			**251 464,70 €**					
ČSH (SHCF – IK)			**69 359,70 € (kladné kritérium ČSH > 0)**					
IR (SHCF/IK)			**1,38 (kladné kritérium IR > 1)**					
VVP (v %)			**23,85 % (kladné kritérium VVP > diskont)**					
DDS (obdobie)			**4 roky 3 mesiace 23 dní (kladné kritérium DDS < T 6 r.)**					

Tab. 59 Dodatočný výpočet pre VVP (v %)

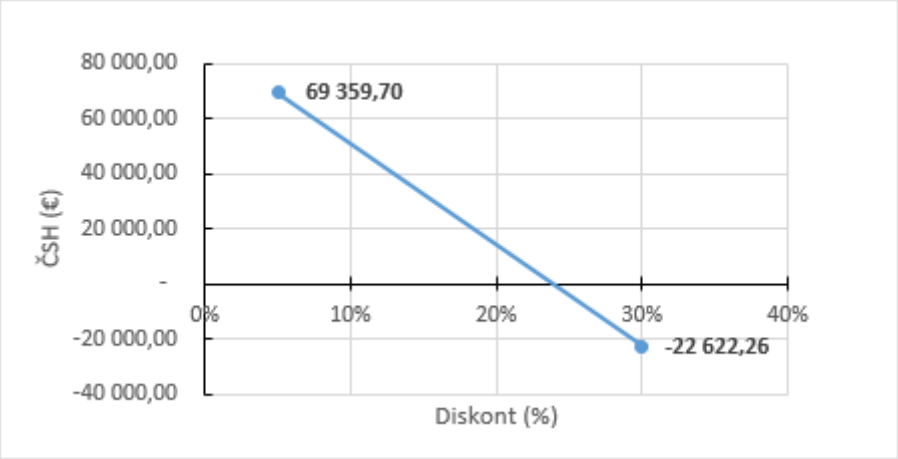
Ukazovateľ	2022	2023	2024	2025	2026	2027
CASH FLOW	56 866,74	58 782,76	60 754,47	62 774,07	64 833,54	66 924,62
DISKONT (30 %)	0,7692	0,5917	0,4552	0,3501	0,2693	0,2072
SHCF	43 741,89	34 781,76	27 655,43	21 977,20	17 459,67	13 866,78
SHCF celkom	159 482,74					
ČSH (2)	-22 622,26					

	d_1	d_2
Diskont (%)	5	30
ČSH (v EUR)	69 359,70	-22 622,26

VVP = $d_1 + \frac{ČSH_1}{ČSH_1 - ČSH_2} x\ (d_2 - d_1)$

VVP = 5 + ((69 359,70/(69 359,70 - (- 22 622,26)) * (30-5)

VVP = 23,85 %



Obr. 175 Grafické znázornenie výpočtu vnútorného výnosového percenta

Dodatočný výpočet pre DDS (v €):

DDS = $x_{rokov} + \frac{KV-a}{b-a} x\ 12$

DDS = 4 roky + (182 105,00 -169 084,87) / (210 479,95 – 169 084,87) x 12

DDS = 4 roky 3 mesiace a 23 dní

Tab. 60 Dodatočný výpočet pre DDS

ROK	SHCF v €	SHCF kumulovane v €		Kapitálové výdaje (IK) v €
2022	42 766,97	42 766,97		
2023	42 431,97	85 198,94		
2024	42 114,11	127 313,05		
2025	41 771,82	169 084,87	**a**	**182 105,00**
2026	41 395,08	210 479,95	**b**	
2027	40 984,75	251 464,70		

Stanovenie kritickej kapacity - Bod zvratu (BZ):

Pre analýzu kritickej úrovne kapacity sme vychádzali z prezentovanej štruktúry kalkulácie, ktorá uvažuje s priamymi nákladmi variabilného charakteru (materiálové náklady na gumový granulát a spojivo + mzdové náklady + technologické energetické náklady lisovacieho stroja) a nákladmi fixného charakteru (vyvolané náklady vo forme kalkulačných odpisov a režijných nákladov). Analýzu sme vykonali na základe podkladu údajov za rok 2022, pričom je potrebné si uvedomiť, že metodika je nastavená pre hodnotenie investície rozšírenia kapacity, vzťahujúcej sa na 1 lisovací stroj.

Tab. 61 Sumarizačné údaje k analýze bodu zvratu za rok 2022

	Jednotlivé náklady	Variabilné náklady		Fixné náklady
		VN na celý objem	*VN na jednotku*	
VN	Materiálové náklady (100 %)	182 063,00 €	**13,01 €/m²**	
VN	Mzdové náklady (100 %)	71 385,60 €	5,09 €/m²	
VN	Technologické energetické náklady (100 %)	30 844,80 €	2,20 €/m²	
∑	**Variabilné náklady spolu**	**284 293,4 €**	**20,30** €/m²	
FN	Kalkulačné odpisy			26 666,67 €
FN	Úroky			5 400,00 €
FN	Režijné náklady (100 %)			99 940,00 €
∑	**Fixné náklady spolu**			**132 006,67 €**
∑	**Celkové náklady spolu**	**416 300,07 €**		

Plánované tržby sú na úrovni 456 540 €, plánovaná cena 32,61 €/m^2.
Plánované fixné náklady sú na úrovni 132 006 € a variabilné náklady na úrovni 284 293 €.
Priemerné variabilné náklady na 1 EUR tržieb: $v_t = \frac{VN}{T}$ =284 293 €/456 540 € = **0,6227**

Bod zvratu (kritický objem výroby v hodnotovom vyjadrení):

$$BZ = \frac{FN}{1 - v_t} =$$ 132 006 / (1-0,6227) = **349 870 €**

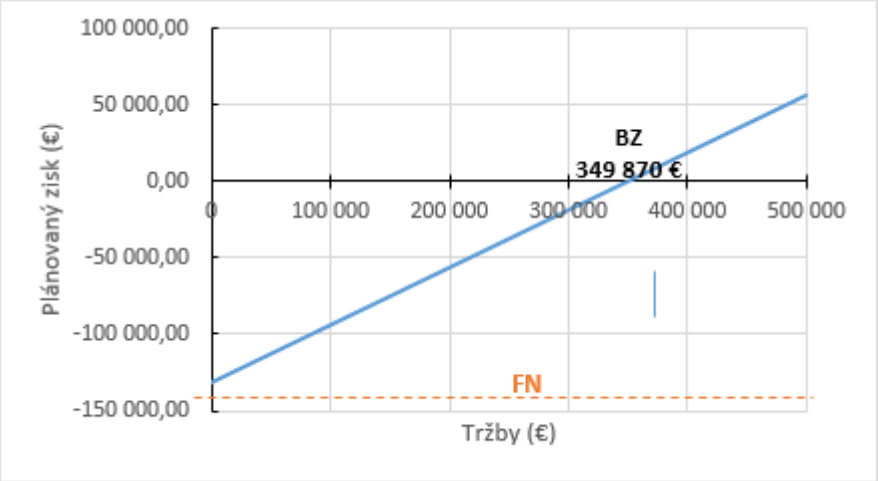
Bod zvratu (kritický objem výroby v naturálnom vyjadrení):

BZ = FN / (cena – variabilné náklady) = 132 006 € / (32,61 €/m^2 – 20,30 €/m^2 –) = **10 723 m²**

Kritické využitie výrobnej kapacity:

$$VK_{BZ} = \frac{BZ}{VK} \times 100(\%) =$$ (349 870 /465 540) x100 = **75,15 %**

Z analýzy bodu zvratu je zrejmé, že kritická kapacita je pri stanovených vstupných podmienkach na úrovni 75 %, čo znamená kritický objem výroby na úrovni viac ako 10 700 m^2 lisovaného výrobku predmetných rozmerov alebo úrovne tržieb približujúcej sa hodnote 350 000 €. Až pri tejto úrovni kritickej kapacity budú pokryté predajnou cenou plánované náklady produkcie týkajúcej sa rozšírenia existujúcej kapacity, a od tohto objemu je možné generovať zisk vo výške krycieho príspevku. Ten je pri zachovaní úrovne predajnej ceny a variabilných nákladov na úrovni cca 12 €/m^2 produktu. Ak podnik nebude disponovať úrovňou využitia kapacity nad 75 % je veľmi pravdepodobné, že bude generovať stratu. Otázkou však zostáva potreba krytia režijných nákladov, ktoré boli v zmysle koncepcie projektu zachované na úrovni 146,36 % z úrovne priamych mzdových nákladov aj napriek charakteru projektu do oblasti rozšírenia kapacitného využitia technológie.



Obr. 176 Kritický objem produkcie

7.4.3 Ekotoxikologické vlastnosti pneumatík

Pre všetky vybrané biotesty sa uskutočnil predbežný test, ktorý bol pozitívny vo všetkých biotestoch pre mletú vzorku a pre drvenú bol pozitívny iba v teste stanovenia inhibície rastu koreňa vyššej kultúrnej rastliny. Na základe týchto výsledkov sa stanovilo EC_{50} a IC_{50} základným testovaním v zvolenom koncentračnom rade.

IC_{50} stanovené biotestom inhibície rastu koreňa *Sinapis alba*, vypočítané z regresnej rovnice pre mletú experimentálnu vzorku z opotrebovanej pneumatiky bolo 29,68. V experimentálnej vzorke vodného výluhu pripraveného zo vzorky drvenej pneumatiky bolo IC_{50} bolo pri riedení 27,66.

Imobilizácia perloočiek bola pozitívna v predbežnom teste iba vo výluhu z mletej vzorky. Základným testom bola stanovená hodnota EC_{50}. Z regresnej rovnice sa vypočítalo, že riedenie, ktoré spôsobí imobilizáciu 50 % testovaných jedincov *Daphnia magna* je 11,72 - násobné.

Zistili sme, že na ekotoxicitu má výrazný vplyv príprava vzorky (veľkosť častíc po mletí). Predpokladáme, že pri extrakcii mletej vzorky (veľkosť častí 1 mm) sa do extrakčného činidla, v našom prípade demineralizovanej vody, vyextrahovalo viac látok, ktoré pôsobili toxicky

na zvolené skúšobné organizmy. Výraznejší vplyv prípravy vzorky bol na skúšobné organizmy terestrického pôvodu.

Ekotoxicita patrí k jednej z viacerých nebezpečných vlastností odpadov a v dôsledku nepriaznivého pôsobenia na životné prostredie, biologickou akumuláciou alebo toxickými účinkami na biotické systémy, predstavuje akútne či oneskorené nebezpečenstvo. Na základe zistených skutočností by bolo potrebné venovať pozornosť analýze zloženia vodného výluhu z hľadiska stanovenia vyextrahovaných látok minerálneho a organického pôvodu.

7.4.4 Biodegradácia odpadovej drte pneumatík

Z predbežných výsledkov vyplýva, že jemne mletý materiál pneumatík je možné biodegradovať (nastáva štiepenie poly(cis-1,4-izoprénu) na jednoduchšie látky) či už v prostredí neadaptovaného alebo adaptovaného aktivovaného kalu. Medzi biodegradáciou jemnej frakcie (pod 1 mm) a strednej frakcie (1-5 mm) sme zaznamenali výrazný rozdiel v prospech jemnej frakcie. Výrazne lepšie biodegradoval adaptovaný kal.

7.4.5 Terciálna a quartérna recyklácia vybraných plastových materiálov a gumy z pneumatík

Jednou z možností spracovania odpadov, je ich *pyrolýza*. Analýzou plynných produktov pyrolýzy vybraných vzoriek gumy a plastov bolo detegované nasledovné množstvo a druh chemických látok: Granulát z recyklovanej pneumatiky o rozmeroch 1,0 – 3,0 mm, celkovo 35 zložiek, z toho najväčší podiel tvorili látky ako cyklooktatetraén, izoprén a alfa-metylstyrén; Granulát z recyklovanej pneumatiky o rozmeroch 3,1 – 6,0 mm, celkovo 32 zložiek, z toho v najväčšej miere styrén, izoprén a toluén; Plexisklo z prístrojovej dosky, celkovo 21 zložiek, z toho najviac metylmetakrylát, kyselina propénová a cyklopentén; Perforovaný svetlomet – reflektor, celkovo 13 zložiek, z toho najviac metylmetakrylát, kyseliná buténová a metylpropionát; Vnútorný blatník, celkovo 43 zložiek, z toho najviac dimetylheptén, metylpentén a izopropylcyklohexándión; Upevňovacia časť svetlometu, celkovo 45 zložiek, z toho najviac dimetylheptén, metylpentén a styrén; Tieniaca časť palubovej dosky, celkovo 17 zložiek, z toho najviac dimetylheptén, metylpentén a dimetylpropylcyklohexán; Predný nárazník –Typ 1, celkovo 34 zložiek, z toho najviac dimetylheptén, metylpentén a dimetylhexán; Predný nárazník –Typ 2, celkovo 25 zložiek, z toho najviac dimetylheptén, metylpentén a styrén; Panel interiérového stĺpika, celkovo 41 zložiek, z toho najviac dimetylheptén, metylpentén a metyldecén; Interiérové doplnky – vybavenie komfort sedadiel, celkovo 26 zložiek, z toho najviac dimetylheptén, metyldecén a dimetylnonadién; Ofukovače – výduchy kúrenia, celkovo 27 zložiek, z toho najviac hexén, heptén a decén; Plastová puklica kolesa, celkovo 24 zložiek, z toho najviac styrén, toluén a dimetylbenzén, pričom sa brali do úvahy iba zložky, ktoré boli detegované s kvalitou vyššou ako 50 %.

Spaľovanie je jednou z metodických možností na využitie odpadových materiálov. Pre plasty a gumu, ktoré už nemožno inak zužitkovať, je posledná možnosť ich práve energetické využitie. Na základe výsledkov získaných kalorimetrickým stanovením možno

konštatovať, že spalné teplo vybraných plastových a gumových materiálov bolo v rozmedzí od 26,261 (predný nárazník typ 1) do 45,245 (predný nárazník typ 2) MJ/kg. Predný nárazník typu 1 obsahoval veľké množstvo popola (18,31 %) a v súlade s výsledkami Geffertovej a Gefferta [43] zvýšenie obsahu popola znamená zníženie spalného tepla materiálov. Rozdiel medzi dvoma spomenutými vzorkami súvisí so zložením predného nárazníka a jeho výrobou. Najnižšie hodnoty spalného tepla, od 26,261 do 26,521 MJ/ kg, mali nasledovné vzorky: Plexisklo z palubnej dosky, reflektor a vyššie spomínaný Predný nárazník Typ 1; a najvyššie (spalné teplo viac ako 40 MJ/kg) vzorky: Vnútorný blatník, Predný nárazník Typ 2, Ofukovače kúrenia automobilov a Plastová puklica kolesa. Podľa Wasilewskiho [44] je spalné teplo plastov pohybuje okolo 40 MJ/kg, čo je porovnateľné s palivami [44]. Vysoké spalné teplo je z dôvodu vysokého obsahu uhlíka (70 % -PP a 80 % -PE) a vodíka (9-12 % -PP, PE) a nízkeho obsahu popola [44]. Vyššia hodnota sa pozoruje iba pri zemnom plyne (48 MJ/kg) a vykurovacom oleji (43 MJ/kg) [44]. Existujú rozdiely medzi spalným teplom mnohých materiálov, napríklad uhlie má okolo 28 MJ/kg [44]; papier 14-17 MJ/kg [43]; papierenský kal iba 5,7-7,8 MJ/kg z dôvodu veľmi vysokého anorganického podielu (42-52 %) [43]; tetrapaky 17,7-22,3 MJ/kg v závislosti od prítomnosti PE fólie (22,3 MJ/kg s fóliou) [43]; guma 22,2 MJ/kg; koža 19 MJ/kg; textil 17,5 MJ/kg [45] a drevo od 16,5 do 23 MJ/kg v závislosti od podielu lignínu a extraktívnych látok v materiáli [45].

Niektoré z analyzovaných vzoriek mali iba malý obsah popola (menej ako 3 %), najmä Plexisklo z palubnej dosky a Perforovaný svetlomet, Predný nárazník Typ 2, Ofukovače kúrenia automobilov, Plastová puklica kolesa a Vnútorný blatník. Granulát z recyklovaných pneumatík obsahoval približne 7,5 % popola. Najväčšie množstvo (viac ako 18 %) popola mali ďalšie vzorky použité ako Interiérové doplnky (Vybavenie komfort sedadiel), Upevňovacia časť svetlometu a Predný nárazník Typ 1, v ktorých sme zistili vysoký obsah anorganického podielu. S rozvojom automobilového priemyslu sa požiadavky na kvalitu automobilových plastových dielov stávajú čoraz prísnejšími. Zváracia línia, nerovnomerná textúra, nepravidelnosť farieb, atď. sú výrobnou chybou vznikajúcou časom u veľkých vstrekovaných dielov, ako sú automobilové nárazníky, vonkajšie a palubné dosky. Riešením je zavedenie ďalšieho procesu úpravy, ako leštenie a striekanie farieb, ktorými sa spotrebuje veľa materiálnych zdrojov [46]. V automobilovom priemysle je veľmi dôležité používať diely s nižšou hmotnosťou, lepšou konštrukciou, vyššou tvarovateľnosťou, lepšou tuhosťou, atď. Vylepšenia PP zlúčenín sa dosiahli zmiešaním PP s plnivami, ako aj vyššou stereoregularitou, tekutosťou a pogumovaním [47].

7.5 Záver

Pre zameranie nášho výskumu boli dôležité skúsenosti z praxe, kde sme navštívili firmy AVE SK odpadové hospodárstvo s.r.o. – Kechnec, ALUEX, s.r.o. - Zvolen a STERED®, PR Krajné, s.r.o. - Krajné a konzultovali ich potreby a možnosti zhodnotenie odpadov z automobilového priemyslu do výrobkov. Počas roka 2020 sme zrealizovali niekoľko stanovených cieľov projektu.

Na spracovanie plastov a gumového odpadu bol navrhnutý drvič, ktorý plánujeme v roku 2021 zakúpiť.

Koncepcia business plánu nám reálne priblížila možnosti využitia gumy z pneumatík do protihlukových panelov.

Keďže veľké množstvo pneumatík sa zhromažďuje na skládkach, pre svet tento fakt predstavuje obrovskú environmentálnu záťaž. Jedným z našich cieľov bolo tiež posúdiť ekotoxicitu takýchto odpadov, pričom sme zistili, že toxické účinky pneumatík súvisia s veľkosťou častíc. Pokiaľ boli vzorky menších rozmerov, tak sa do extrakčného činidla vyextrahovalo viac látok, ktoré pôsobili toxicky na zvolené skúšobné organizmy. Naproti tomu, pri riešení biodegradácie sme zistili, že menšie častice sú viac schopné biodegardácie.

Jednou z možností zhodnotenie týchto odpadov, je ich pyrolýza, pričom získame veľké množstvo plynných produktov, ktoré je možné využiť v rôznych odvetviach priemyslu.

Poslednou možnosťou zhodnotenia odpadov, je ich spaľovanie. Kalorimetrickou analýzou sme zistili, že vybrané odpady predstavujú veľmi vysoký energetický potenciál.

Nakoľko v roku 2020 nás zasiahla pandémia vírusu - COVID 19, niekoľko úloh sa nám nepodarilo zrealizovať a preto budú predmetom riešenia v roku 2021.

7.6 Plán na rok 2021

Aglomerované materiály (AM) a najmä drevotrieskové dosky (DTD) sú dôležitou, neoddeliteľnou a významnou súčasťou drevárskeho a nábytkárskeho priemyslu. Poskytujú na jednej strane veľkoplošné formáty drevného materiálu s vlastnosťami, ktoré sa môžu počas výroby výhodne meniť podľa potreby a na druhej strane prispievajú k vyššiemu zhodnocovaniu drevnej suroviny, nakoľko sú vyrábané z kvalitatívne nižších tried dreva. Na výrobu AM je možné použiť inak nespracovateľné zvyšky dreva, ktoré vznikajú pri rôznom mechanickom spracovaní, či už vo forme piliarskych odrezkov, hoblín, pilín, zvyškov po lúpaní pri výrobe dýh, starého - recyklovaného dreva alebo tiež iné lignocelulózové materiály.

Kvalitu DTD určujú jej hodnoty fyzikálnych a mechanických vlastností, ktoré sú ovplyvňované vstupnými surovinovými a technickými faktormi.

V snahe znižovať podiel dreva v rôznych konštrukciách DTD bola v nedávnom období vyvíjaná snaha zapracovať do konštrukcií DTD aj nedrevné materiály. Okrem zníženia spotreby surové dreva (veľakrát nedostatkového) a získania niektorých nových vlastností materiálu (napr. vyššia pevnosť alebo odolnosť), môže sa dosiahnuť aj zapracovanie niektorých zberových alebo odpadových surovín do konštrukcií DTD, ktoré by inak nemali dostatočné využitie.

Na Obr. 177 je uvedená štruktúra DTD. Je zreteľne vidieť stredovú vrstvu DTD tvorenú hrubšími trieskami a dve povrchové vrstvy tvorené jemnejšími trieskami.Pre zachovanie vzhľadu DTD sa vždy ponechávajú povrchové vrstvy bez zmeny ich zloženia. Úprava zloženia sa vždy robí v stredovej vrstve, ktorá nie je viditeľná, keďže je obklopená povrchovými vrstvami. Zo stredovej vrstvy DTD je možné uberať zo 100 %-ného podielu drevených triesok a nahradiť ho určitým množstvom inej, nedrevnej látky tak, aby bola táto vrstva ovplyvnená v prijateľnej miere, aby sa nezhoršili vlastnosti dosiek, ale aby sa ušetrila drevná hmota

a aby sa zapracovali do konštrukcie DTD také látky, ktoré sú v niektorých iných odvetviach nadbytočné.



Obr. 177 Štruktúra DTD

Zapracovanie určitého podielu nedrevných surovín do stredovej vrstvy DTD musí byť citlivé. Odskúšaním a testovaním dosiek je potrebné stanoviť akceptovateľný podiel nedrevných surovín (1 – 20 %) v stredovej vrstve DTD tak, aby dosky boli kompaktné, mali dobré vlastnosti, aby sa neúmerne nezvýšila ich hmotnosť, aby sa nezhoršili ich hygienické vlastnosti a aby nebol narušený ani ich vzhľad.

Našim cieľom bude vytvárať nové kompozitné materiály, v ktorých budú implementované časti gumového alebo plastového odpadu z automobilového priemyslu.

Následne na daných materiáloch vykonáme testy akustických, tepelnoizolačných, mechanických vlastnosti v laboratóriách TU vo Zvolene, zároveň posúdime zdravotnú (ne)závadnosť hotových výrobkov a ekotoxicitu. Bližšie špecifikácie zloženia kompozitov momentálne nemôžeme publikovať nakoľko ich plánujem chrániť duševným vlastníctvom.

Poďakovanie

Táto práca vznikla v rámci projektu združenia univerzít, UNIVNET č. zmluvy 0201/0082/19 a jeho finančnej podpory.

7.7 Zoznam použitej literatúry

[1] KRILEK, J., SAMEŠOVÁ, D., ČABALOVÁ, I., POTKANY, M., DADO, M, KUČERA, M.: Recyklácia a zhodnocovanie gumy, kaučuku a plastov do nových výrobkov, 2020. In: ŠOOŠ, Ľ.: Stav a vízie zhodnotenia odpadov z automobilového priemyslu SR, Spektrum STU Bratislava, 2020, 285 p. ISBN 978-80-227-5039-4.

[2] AL-SALEM, S. M., LETTIERI, P., BAEYENS, J.: Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW)-a review. In Waste Management, 2009, 29(10):2625 – 2643, DOI: 10.1016/j.wasman.2009.06.004.

[3] KARTHIKEYAN, S., SIVAKUMAR, N., MANIMEKALAI, T. K., SATHISKUMAR, C.: A review on pyrolisis of waste plastics to value added products. In Elixir Online Journal, 2012, 29: 8291–8298.

[4] AL-SALEM, S.M., ANTELAVA, A., CONSTANTINOU? A., MANOS, G., DUTTA, A.: A review on thermal and catalytic pyrolysis of plastic solid waste (PSW). In Journal of Environmental Management, 2017, 197(15):177 – 198, DOI: 10.1016/j.jenvman .2017.03.084.

[5] ANUAR S., SHAFFERINA D., ABNISA F., WAN DAUD W.M.A., AROUA M.K.: A review on pyrolysis of plastic wastes. Energy Convers. Manag., 2016, 115:308-326, DOI: 10.1016/j.enconman.2016.02.037.

[6] TUKKER, A.: Plastic waste Feedstock Recycling, Chemical recycling and Incineration, Rapra Review Reports, 2002, 3(4), Report 148, Rapra Technology Ltd., Unite Kingdom.

[7] ACHILIAS, D.S., ANDRIOTIS, L., KOUTSIDIS, I.A., LOUKA, D.A., NIANIAS, N.P., SIAFAKA, P., TSAGKALIAS, I., TSINTZOU, G.: Recent Advances in the Chemical Recycling of Polymers (PP, PS, LDPE, HDPE, PVC, PC, Nylon, PMMA), 2012, pp. 3-64, DOI: 10.5772/33457. In: Achilias, D.S. (Ed): Material Recycling – Trends and Perspectives, InTech, Croatia, 406 p., ISBN: 978-953-51-0327-1.

[8] ACHILIAS, D.S.:. Chemical Recycling of Poly(Methyl Methacrylate) by Pyrolysis. Potential use of the Liquid Fraction as a Raw Material for the Reproduction of the Polymer. In: European Polymer Journal, 2007, 43(6):2564-2575, DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2007.02.044.

[9] BONUS: "Výroba a prodej granulátů", [online] Available at: http://bonus-cb.cz/cz/produkty-a-sluzby/vyroba-granulatu/ [Accessed: 4.9.2020].

[10] ČERNECKÝ, J., KVASNOVÁ, P.: Technika odpadového hospodárstva. Zvolen: Vydavateľstvo TU, 2007, 161 s. ISBN 978-80-228-1855-1.

[11] KRILEK, J., KOVÁČ, J.: Energetická náročnosť sekacích strojov. Zvolen: Vydavateľstvo TU, 2013, 101s. ISBN 978-80-228-2586-3.

[12] ABDALLAH, R., AUCHET, S., MÉAUSOONE, P.J.: Experimental study about the effects of disc chipper settings on the distribution of wood chip size. Biomass and Bioenergy 35(2): 843-852,2011.

[13] LISIČAN, J., et al.: Teória a technika spracovania dreva. Zvolen: Vydavateľstvo Matcentrum, 1996, 626s. ISBN 80-967315-6-4.

[14] HELEXA, M.: Analýza technických parametrov sekačiek a drvičov drevnej hmoty určených pre lesné hospodárstvo: priebežná správa. Zvolen: Fakulta environmentálnej a výrobnej techniky, 2015. 87s, 2015.

[15] ŤAVODOVÁ, M., AND KALINCOVÁ, D.: Possibility of Lifetime Increasing of Functional Places of Cutting Knives, (Možnosti predĺženia životnosti funkčných plôch stínacích nožov), Technical University in Zvolen, Zvolen, Slovakia,2018.

[16] BEŇO, P., KOZAK,D. AND KONJATIĆ, P.: Optimization of thin-walled constructions in CAE systems,(Optimalizácia tenkostenných štruktúr v automobilových systémoch) Tehnički vjesnik:Technical Gazette, 2014, 21(5), 1051-1055.

[17] BODNÁR, F., BEŇO, P., KOTŠMÍD, S., LUPTÁKOVÁ, J.: Influence of boundary conditions on the solution to a mathematical model for a given wooden plate, BioResources, 2016, 11(1), 1061-1070. DOI: 10.15376/biores.11.1.1061-1070.

[18] KOTŠMÍD, S., KUO, C. H., BEŇO, P.: Determination of critical load in a nonuniform circular steel column under the eccentric axial load, Mathematical Problems in Engineering, 2016, Article ID 5987083. DOI: 10.1155/2016/5987083,

[19] MELICHERČÍK, J., KRILEK, J., HARVÁNEK P.: Simulation of stress and strain analysis on a delimbing knife with replaceable cutting edge, BioResources, 2020, 15(2), 3799-3808, DOI:10.15376/biores.15.2.3799-3808.

[20] ČERNECKÝ, J.,KVASNOVÁ, P.: Technika odpadového hospodárstva. Zvolen: Vydavateľstvo TU, 2007, 161s. ISBN 978-80-228-1855-1

[21] SALVADORI, "METAMORPHOSIS II", [online] Available at: https://www.salvadori.com/recycling/machines/metamorphosis-ii/ [Accessed: 4.9.2020].

[22] TP 104 – 11/2016. Protihlukové clony pozemních komunikací. Available at: www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_104_2016.pdf [Accessed: 4.9.2020].

[23] STN EN 12457: 2006. Characterisation of waste. Leaching. Compliance test for leaching of granular waste materials and sludges.

[24] OECD 221: 2006. Lemna sp. Growth Inhibition Test, https://doi.org/10.1787/9789264016194-en

[25] STN EN ISO 20079: 2008-07. Water quality. Determination of the toxic effect of water constituents and waste water on duckweed (Lemna minor). Duckweed growth inhibition test.

[26] STN EN ISO 8692:2012. Water quality.Fresh water algal growth inhibition test with unicellular green algae (ISO 8692:2012).

[27] OECD (2011), Test No. 201: Freshwater Algae and Cyanobacteria, Growth Inhibition Test, OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/9789264069923-en

[28] OECD 202 I.: 2004. Daphnia sp. Acute Immobilisation Test, https://doi.org/10.1787/9789264069947-en

[29] STN EN ISO 6341: 2013. Water quality. Determination of the inhibition of the mobility of Daphnia magna Straus (Cladocera, Crustacea). Acute toxicity test.

[30] HYBSKÁ, H., SAMEŠOVÁ,D.: Ecotoxicology Zvolen : Technical University in Zvolen, 2015, ISBN 978-80-228-2750-8.

[31] OECD: Test No. 302B: Inherent Biodegradability: Zahn-Wellens/ EVPA Test, OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 3, Paris: OECD Publishing, 1992.

[32] OECD: Test No. 301: Ready Biodegradability, OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 3, Paris: OECD Publishing,1992.

[33] OECD: Test No. 311: Anaerobic Biodegradability of Organic Compounds in Digested Sludge: by Measurement of Gas Production, OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 3, Paris: OECD Publishing, 2006.

[34] STN ISO 1928 (441352): 2003. Solid mineral fuels. Determination of gross calorific value by the bomb calorimetric method, and calculation of net calorific value.

[35] MATEJ, J., BODNÁR, F.: Simulácia virtuálnych prototypov – napäťovo deformačné analýzy. Zvolen: Vydavateľstvo TU, 2015, 148s. ISBN 978-80-228-2828-4.

[36] HELLSTRÖM, L.M., ISAKSSON, P., GRADIN, P.A., ERIKSSON, K.: An analytical and numerical study of some aspects of the wood chipping process. Nordic Pulp & Paper Research Journal, 2009, 24(2): 225-230.

[37] Balaram, B.: Comparison between net present value and internal rate of return", International Journal of Research in Finance and Marketing, 2015, 5, pp. 61-71.

[38] CUTHBERT, J. R., MAGNI, C. A.: Measuring the inadequacy of IRR in PFI schemes using profitability index and AIRR", International Journal of Production Economics, 2016, 179, pp. 130-140, DOI:10.1016/j.ijpe.2016.05.024.

[39] MØRCH, O., FAGERHOLT, K., PANTUSO, G., RAKKE, J.:Maximizing the rate of return on the capital employed in shipping capacity renewal, Omega, 67, 2017, pp. 42-53, DOI:10.1016/j.omega.2016.03.007.

[40] BREALEY, R.A., MYERS, S.C.: Teorie a praxe firemních financí, 1th ed., Victoria Publishing, Prague, Czech republik, 1992. ISBN 80-85605-24-4.

[41] FOTR, J., SOUČEK, I.: Podnikatelský záměr a investiční rozhodování, Grada Publishing, Prague, Czech republic, 2005. ISBN 80-247-0939-2.

[42] Zákon č. 595/2003 Z. z. Zákon o dani z príjmov Available at: https://www.zakonyprelu di.sk/zz/2003-595 [Accessed: 4.9.2020].

[43] GEFFERTOVÁ, J., GEFFERT, A.: Energy potential of the chosen wastes with biomass content (in Slovak). In: Acta Facultatis Xylologiae, 2011, 53(1):93-99.

[44] WASILEWSKI, R.: Energy recovery from waste plastics. In: Chemic, 2013, 67(5):435-445

[45] OLISA, Y.P., AJOKO, T.J.: Gross Calorific Value of Combustible Solid Waste in a Mass Burn Incineration Plant, Benin City, Nigeria. In: Journal of Applied Sciences and Environmental Management, 2018, 22(9): 1377–1380, DOI: 10.4314/jasem.v22i9.02

[46] SUN, L., LIU, X.M.: Control Analysis of Production and Apparent Quality of Automobile Large Plastic Parts. Procedia Engineering, 2011, 16: 438-443. DOI: 10.1016/j.proeng .2011.08.1108.

[47] MORITOMI, S., WATANABE, T., KANAZAKI, S.: Polypropylene compounds for automotive applications. Sumitomo Kagaku: R&D Report. 2010-1, pp. 1-16. Available

on the web: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.469.6035&rep=rep1&type=pdf

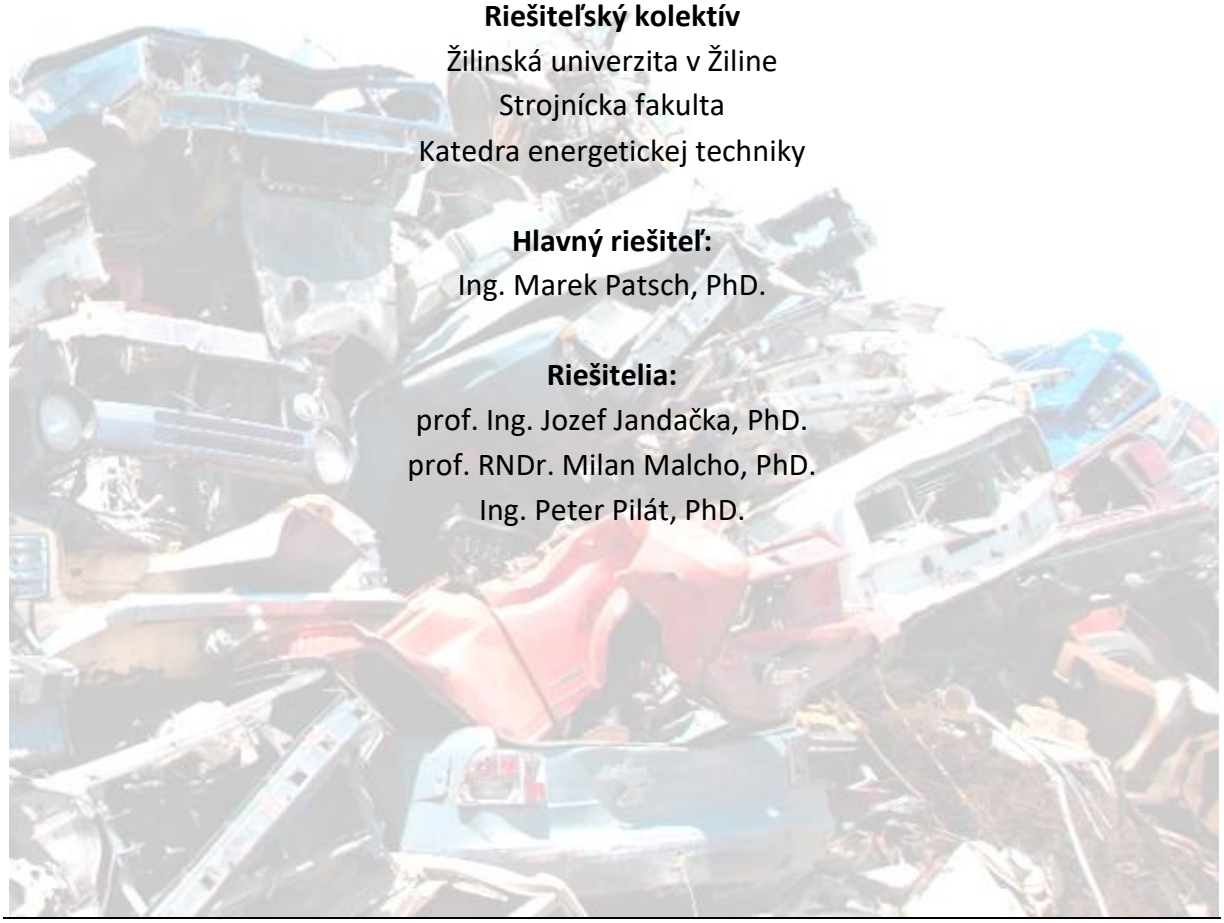
Energetické zhodnocovanie odpadov z automobilového priemyslu

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE
Strojnícka fakulta

Riešiteľský kolektív
Žilinská univerzita v Žiline
Strojnícka fakulta
Katedra energetickej techniky

Hlavný riešiteľ:
Ing. Marek Patsch, PhD.

Riešitelia:
prof. Ing. Jozef Jandačka, PhD.
prof. RNDr. Milan Malcho, PhD.
Ing. Peter Pilát, PhD.



8 ENERGETICKÉ ZHODNOCOVANIE ODPADOV Z AUTOMOBILOVÉHO PRIEMYSLU - TERMICKÉ ZHODNOCOVANIE ODPADOV

8.1 Úvod

Zo záverečnej správy za rok 2019 a rokovaní riešiteľov projektu vyplynuli na nasledujúce riešiteľské obdobie pre riešiteľský kolektív zo Žilinskej univerzity dva prioritné spôsoby energetického zhodnocovania inak nevyužiteľného odpadu z automobilového priemyslu:

- priame spaľovanie alebo spoluspaľovanie s inými palivami,
- splyňovanie alebo pyrolýza.

Dané spôsoby energetického zhodnocovania odpadu z automobilového priemyslu vyplývajú aj z priorít Európskej únie, ktoré sú implementované do stratégie rozvoja Slovenskej republiky pre budúce obdobia. Priority životného prostredia pre oblasť priemyslu a odpadového hospodárstva sú:

- znižovanie množstva produkovaného odpadu,
- znižovanie množstva skládkovaného odpadu,
- využívanie energeticky využiteľného odpadu,
- znižovanie tvorby skleníkových plynov, postupné dosiahnutie uhlíkovej neutrality,
- útlm ťažby a využívania neobnoviteľných fosílnych palív a to najmä uhlia.

V súčasnosti rastie význam energetického zhodnocovania priemyselných a komunálnych odpadov. Podľa Kaufmana a Barekovej, energetické zhodnotenie má svoje nenahraditeľné miesto v hierarchii odpadového hospodárstva. Po opätovnom použití a materiálovom zhodnotení odpadu by malo nasledovať energetické zhodnocovanie ako finálna fáza nakladania s odpadom. Ide o cieľ, ktorý je v súlade s Programom odpadového hospodárstva Slovenskej republiky na roky 2016 - 2020 a jeho opatrením „O20. - podporovať výrobu alternatívnych palív vyrobených z priemyselného a zmesového komunálneho odpadu v rámci podpory využívania obnoviteľných zdrojov energie vtedy, ak nie je environmentálne vhodné ich materiálové zhodnotenie.“ (POH 2016-2020)

Znižovanie množstva produkovaného odpadu vedie k jeho opätovnému použitiu a recyklácii, zavedeniu cirkulárnej ekonomiky, v ktorej odpad ako taký už nebude existovať, pretože každá surovina bude opätovne využitá, či už na produkciu nových tovarov alebo odpady, ktoré nie je možné inak využiť budú využité energeticky - na produkciu tepla a elektrickej energie. Tým bude zároveň znižované množstvo odpadu, ktorý je v súčasnosti v podmienkach Slovenska ukladaný na skládku komunálneho a priemyselného odpadu. Plánovaný útlm ťažby a využívania fosílnych palív a to najmä uhlia vedie k potrebe náhrady tohto významného zdroja energie pre priemysel a energetiku. Ideálnou náhradnou konvenčných palív napr. v jestvujúcich zdrojoch tepla a kombinovanej výrobe, kde bolo doposiaľ používané uhlie, sa javí energetické využívanie komunálnych a priemyselných

odpadov, čím bude zároveň splnená podmienka znižovania tvorby skleníkových plynov. Pre väčšinu priemyselných odpadov, napr. z automobilového priemyslu, a taktiež pre triedený komunálny odpad prichádza do úvahy najmä spoluspaľovanie s iným palivom, napríklad biomasou, za vytvorenia takzvaného „tuhého alternatívneho paliva“. Druhou možnosťou energetického využitia odpadov je použitie splyňovacej alebo pyrolýznej technológie, čím bude odpad pretvorený na iný druh suroviny, ktorá môže byť využitá buď priamo ako palivo, alebo ako vstupná surovina pre ďalšie následné spracovanie v chemickom a petrochemickom priemysle. Priemyselné využitie tejto suroviny môže viesť napr. k opätovnej výrobe nových výrobkov z plastu, alebo k výrobe konvenčných palív pre energetiku a dopravu.

Procesy termického zneškodňovania odpadov sú charakterizované najmä vysokou teplotou a veľkou mierou konverzie. Za uplynulé roky sa na Slovensku z celkového množstva odpadu energeticky zhodnotí v priemere približne len 2,8 %, z tohto množstva predstavujú komunálne odpady 10 %, zvyšok sú odpady z priemyslu, biologické odpady a pod. Energetické zhodnocovanie odpadov z automobilového priemyslu prináša veľké výhody:

- získavanie tzv. „alternatívnej energie“, čím sa šetria primárne energetické zdroje,
- možnosť vylúčiť odpad z automobilového priemyslu zo skládok,
- možnosť odstránenia reziduálneho odpadu z automobilového priemyslu (odpad po vyseparovaní druhotných surovín),
- minimalizácia objemu odpadu po konečnom zneškodnení (z odpadu ostáva len do 10 % popola, v závislosti na zložení pôvodného odpadu pred energetickým zhodnotením).

Nevýhody energetického zhodnocovania odpadov z automobilového priemyslu:

- odpad je nutné pred samotným energetickým zhodnotením vhodne upraviť podľa použitej technológie energetického zhodnotenia,
- je nevyhnutné zabezpečiť kontinuálne meranie zloženia odpadov a alternatívne zmeniť nastavenia podmienok energetického zhodnocovania odpadov,
- pri zneškodňovaní škodlivých zložiek vznikajúcich emisií je nutné použiť investične náročné prídavné zariadenia.

Konečnými technológiami energetického zhodnocovania odpadov z automobilového priemyslu je spaľovanie, splyňovanie, pyrolýza a plazmové splyňovanie, najvýhodnejšie je ak sú všetky technológie v spojení s kogeneráciou.

8.2 Spaľovanie a spoluspaľovanie

Spaľovanie je ako jedna z metód zneškodňovania odpadov z automobilového priemyslu odporúčaná aj smernicami EU, je schopná nahradiť časť využívaného konvenčného paliva a pri dodržaní stanovených podmienok vyhovieť aj prísnym požiadavkám na ochranu životného prostredia. Považovať spaľovanie odpadov za výhodné z hľadiska ich energetického

využitia je opodstatnené najmä v prípade takých odpadov, ktoré horia bez prídavného paliva. Túto podmienku nie je vždy možné zabezpečiť (či už z pohľadu malého množstva odpadu, alebo z pohľadu chemicko-fyzikálnych vlastností odpadu), preto je vhodné vytvárať zmesi palív - odpady miešať najčastejšie spolu s konvenčnými palivami. V prípade tuhých odpadov (plasty, guma, textil, papier a pod.) sú to zmesi spolu s uhlím, biomasou a podobne, čím je vytvorené „tuhé alternatívne palivo - TAP“, tiež nazývané „tuhé druhotné palivo - TDP“. Horenie tejto zmesi môže byť ešte podporené spaľovaním prídavného plynného paliva pre stabilizovanie horenia, prípadne obohacovaním spaľovacieho vzduchu o prídavný kyslík. V prípade kvapalných odpadov sú to zmesi najčastejšie s konvenčnými vykurovacími olejmi, táto zmes je vytvorená buď zmiešaním zložiek paliva pred spaľovaním alebo použitie tzv. dvojpalivových horákov, ktoré majú oddelené palivové okruhy pre konvenčné a odpadové kvapalné palivo a miešanie a horenie nastáva až v spaľovacej komore.

Všetky spôsoby spaľovania odpadov, a to nielen z automobilového priemyslu, musia za každých prevádzkových podmienok plniť emisné limity - plynných emisií (CO, SO_2, NO_x, ale aj napr. dioxínov, furánov, nelimitovaných škodlivín a pod.) a tuhých znečisťujúcich látok (TZL), v niektorých prípadoch aj limity pre znečisťujúce látky HCl, HF, Cd+Tl, Hg, As+Co+Cr+Cu+Mn+Ni+Pb+Sb+V a TOC.

V súčasnosti sa kladie veľký dôraz na produkciu emisií CO_2, snaha znižovať produkciu emisií CO_2 je zrejmá zo znenia Parížskeho protokolu o klíme, ale aj z cieľov Európskej únie (napr. Európsky ekologický dohovor - Európska zelená dohoda). Najväčším antropogénnym producentom emisií CO_2 je energetika (výroba tepla a elektrickej energie) a doprava. Európska únia sa zaviazala k dosiahnutiu uhlíkovej neutrality do roku 2050. Tento záväzok je implementovaný do stratégií a legislatív jednotlivých členských štátov (napr. Národný program znižovania emisií SR, Stratégia environmentálnej politiky Slovenskej republiky do roku 2030, Návrh nízkouhlíkovej stratégie rozvoja Slovenskej republiky do roku 2030 s výhľadom do roku 2050). Dosiahnutie cieľa znížiť produkciu CO_2 je možné náhradou konvenčných palív palivami vyrobenými z odpadov, podľa viacerých literárnych zdrojov napríklad zámenou hnedého uhlia za TAP z biomasy obsahujúce 30 % inak nerecyklovateľného plastového odpadu je možné dosiahnuť zníženie produkcie CO_2 o 20 % za rovnakého energetického obsahu, ako malo pôvodné palivo. Taktiež zámer EÚ odkloniť sa od použitia uhlia najmä v energetike vedie k otázke, akým palivom bude uhlie nahradené. Predstavy o použití čisto len zelených zdrojov energie (ako sú solárna, veterná, vodná, geotermálna, ...) sú v súčasnosti v podmienkach SR nereálne.

Dôležitosť uhlia pre energetiku EÚ a budúcu náročnosť zníženia použitia uhlia v energetike ukazujú aj štatistické údaje. V Európskej únii sa približne 40 % energie vyrobí z fosílnych palív, z toho skoro polovica pochádza z uhlia. Uhlie sa ťaží v 41 regiónoch Európskej únie, v 12 krajinách, spaľuje sa v 207 elektrárňach a nespočetnom množstve výhrevní a teplární a spolu so súvisiacimi odvetviami hospodárstva zamestnáva takmer štvrť milióna ľudí (štatistika Eurostat). Medzi štáty EÚ najviac závislé od uhlia patrí Poľsko a Nemecko. Slovensko je na tom v porovnaní s krajinami ako Nemecko a Poľsko v otázke závislosti energetiky na uhoľných zdrojoch veľmi dobre. Na našom území reálne ťažíme len hnedé uhlie, ktoré

sa na celkovej vyrobenej elektrickej energii podieľa šiestimi percentami. Ťažba a najmä hlbinná a energetické využitie uhlia je dlhodobo nerentabilné, preto je finančne podporované štátom. Bežnými poberateľmi takejto formy pomoci sú napríklad aj teplárne. Pre Slovensko a jeho energetiku by nemal byť problém, aby od uhlia upustilo, dôvodom je, že v energetickom mixe je uhlie málo zastúpené a uhoľný priemysel je taktiež menší ako v iných krajinách, zamestnáva menej ľudí než napríklad v Poľsku, čím by sme podľa štúdie Spoločného výskumného centra pri Európskej komisii po roku 2023 ušetrili približne 6 až 10 percent emisií skleníkových plynov. Na Slovensku sa uhlie ťaží v baniach na Hornej Nitre, kde bude mať útlm ťažby hnedého uhlia najväčší vplyv. V roku 2023 štát prestane finančne podporovať ťažbu hnedého uhlia, avšak predstavitelia samotných baní tvrdia, že koniec štátnej podpory ťažby uhlia, neznemená aj koniec uhoľného baníctva na Slovensku. Jednotlivé bane by sa mali zatvárať postupne. Napríklad baňa Nováky má byť definitívne zatvorená až v roku 2027. Slovenský Protimonopolný úrad skonštatoval, že cena elektriny vyrobenej z domáceho uhlia je za posledné roky viac ako dvojnásobná voči trhovej cene, takže bez štátnych dotácií by na trhu s elektrinou bola nepredajná.

8.2.1 Možnosti spaľovania odpadov

S útlmom ťažby a použitia uhlia v energetike vyvstáva otázka, čo bude s jestvujúcimi zdrojmi elektrickej a tepelnej energie, ktoré využívajú uhlie. Slovensko má dve tepelné elektrárne a viaceré teplárne a výhrevne, ktoré taktiež používajú uhlie ako primárny alebo sekundárny zdroj energie. Viaceré tieto zariadenia sú zdrojom bázovej a regulačnej elektriny (podporné služby) a všetky sú zdrojom tepla pre širšie okolie.

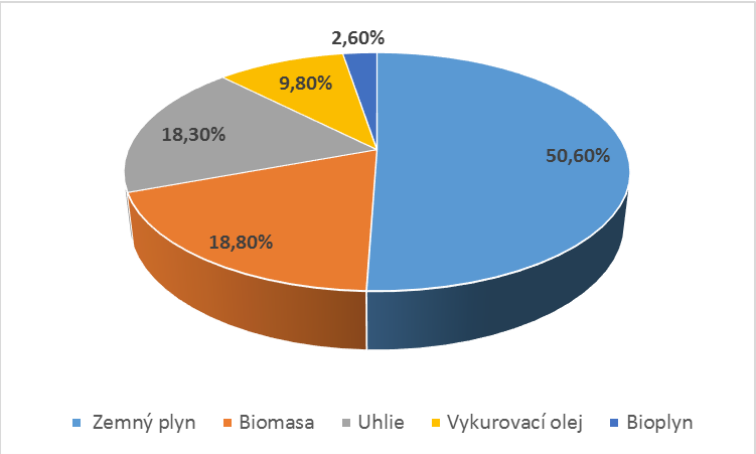
Hlavným odberateľom a využívateľom TAP by mali byť už existujúce zdroje tepla a elektrickej energie - tepelné elektrárne a teplárne, kde sa doposiaľ používalo uhlie alebo čistá biomasa. Zmes biomasy a triedeného priemyselného a komunálneho odpadu, tvoriaceho TAP, by vyriešilo veľké množstvo problémov, ktoré v súčasnosti trápia slovenskú energetiku, odpadové hospodárstvo a životné prostredie. Najmä náhradu za neekonomické a neekologické využívanie uhlia, zníženie množstva skládkovaného komunálneho a priemyselného odpadu, zníženie množstva produkovaných skleníkových plynov. Existujúce najmä veľké zdroje tepla sú schopné plniť emisné limity aj s týmto alternatívnym palivom, sú vybavené všetkými náležitosťami na spracovanie a úpravu spalín. Hlavnými zdrojmi pre uplatnenie TAP sú najmä:

Závod hnedouhoľnej Elektrárne Nováky so sídlom v Zemianskych Kostoľanoch, nachádza sa v blízkosti Novácky uhoľných baní v okrese Prievidza. Používané palivá sú hnedé uhlie a lignit zo slovenských uholných baní a ťažký vykurovací olej. Okrem výroby a dodávky elektrickej energie zabezpečujú Elektrárne Nováky dodávku horúcej vody na vykurovanie miest Prievidza, Nováky, Zemianske Kostoľany, ako aj pre priemyselné a iné organizácie a pary pre dodávku tepla okolitým priemyselným podnikom. Celkový inštalovaný tepelný výkon je 1358 MW_t, inštalovaný elektrický výkon je 266 MW_e, tepelný napájač má výkon 137 MW_t, spolu s ďalšími zariadeniami na dodávku tepla zabezpečujú vykurovanie 15-tisíc bytových jednotiek a dodávku tepla v pare pre okolité priemyselné závody.

Závod Elektrárne Vojany sa nachádza na východnom Slovensku v okrese Michalovce. Celkový inštalovaný výkon v súčasnosti prevádzkovaných blokov elektrárne Vojany (EVO I) je 220 MW_e (2 x 110 MW_e). Elektráreň Vojany zabezpečuje dodávkou bázovej elektrickej energie pre spoľahlivosť prenosovej sústavy východného Slovenska. Tiež poskytuje pre elektrizačnú sústavu podporné služby potrebné na udržanie kvalitatívnych ukazovateľov sústavy. V súčasnosti používané palivá sú čierne antracitové uhlie dovážané z Ruskej federácie a drevná štiepka (400 ton biomasy denne), v minulosti boli využívané aj zemný plyn a mazut.

Väčšina veľkých teplární (ako napríklad Bratislavská teplárenská, a.s., TEKO, a.s., Žilinská teplárenská, a.s., a pod.) využíva ako primárny zdroj tepla zemný plyn, spaľovanie ostatných druhov palív je prevažnej miere doplnkovým. Zo zemného plynu pochádza približne polovica všetkého dodaného tepla tepláreňami na Slovensku, medziročne mierne narastá podiel biomasy a uhlia a to najmä pre ich výhodnú trhovú cenu, spotreba bioplynu a vykurovacieho oleja je približne konštantná. Podiel jednotlivých druhov palív na výrobe tepla na Slovensku ukazuje Obr. 178.

Ako uvádzajú viaceré zdroje, spaľovanie uhlia má zásadný vplyv na životné prostredie - je totiž spomedzi zdrojov najväčším producentom emisií skleníkových plynov. Viacero zdrojov z prostredia teplárenstva uvádza predpokladaný nárast ceny tepla pre konečného spotrebiteľa vyrobeného zo zemného plynu oproti teplu vyrobeného z čierneho uhlia. Pre obmedzenie použitia uhlia v energetike je preto potrebné zvážiť jeho ekonomicky únosnú náhradu. Pre tepelné elektrárne a väčšinu teplárenských zdrojov využívajúcich uhlie je prechod na TAP alebo TDP vhodným riešením. Použitím TAP vyrobeného kombináciou napr. biomasy a komunálneho alebo priemyselného odpadu by boli dosiahnuté aj ciele stratégie EÚ a SR o znižovaní množstva skládkovaného odpadu, využívaní energeticky využiteľného odpadu, znižovaní tvorby skleníkových plynov, postupné dosiahnutie uhlíkovej neutrality, útlm ťažby a využívania neobnoviteľných fosílnych palív a to najmä uhlia.



Obr. 178 Podiel jednotlivých druhov palív na výrobe tepla na Slovensku, zdroj údajov ÚRSO, 2019

Viacero výrobcov tepla a elektrickej energie je priaznivo naklonených k použitiu TAP ako náhrady za uhlie. Tepelné elektrárne Nováky a Vojany smerujú od uhlia aj k spaľovaniu odpadu (komunálneho a priemyselného, najmä na báze plastov). Elektrinu vyrobenú z uhlia

v Novákoch nahradia po konci dotácií v roku 2023 zdroje v iných regiónoch. Novácka elektráreň však dodáva Hornej Nitre aj teplo, ktorého alternatívny zdroj zatiaľ neexistuje. Slovenské elektrárne počítajú s dvojfázovým riešením. V prvej fáze bude na mestské vykurovanie využívaný zemný plyn a biomasa. V druhej fáze by teplo pochádzalo z tuhého alternatívneho paliva (TAP) vyrábaného z komunálneho a priemyselného odpadu. Takisto aj v prevažne uhoľnej elektrárni Vojany, kde pre nízku cenovú konkurencieschopnosť tejto elektriny, Slovenské elektrárne uvažujú aj tam o náhrade uhlia odpadom - opäť hlavne na báze TAP. Na konferencii Dekarbonizácia slovenskej ekonomiky (uskutočnená 6.12.2019) to povedal Róbert Jambrich, vedúci pre medzinárodné, európske a environmentálne záležitosti v Slovenských elektrárňach, konferenciu organizovali EURACTIV Slovensko a Fakulta materiálov, metalurgie a recyklácie Technickej univerzity v Košiciach. Prítomní experti vyslovili názor, že napríklad transformácia regiónu hornej Nitry, by mala byť ambiciózna. Myslia si dokonca, že horná Nitra sa môže stať európskym success story, ako príklad regiónu, ktorý úspešne prešiel od uhoľnej k zelenej ekonomike. Slovenské elektrárne pracujú v prípade Novák s riešením založeným na piatich pilieroch. Prvým je náhrada zdroja vykurovania a modernizácia vykurovacích rozvodov (keďže elektráreň je v regióne nenahraditeľným dodávateľom tepla). Teplo by mali po útlme uhlia dodávať hlavne biomasa a v špičke - najmä v zime, plynový kotol. Hľadanie alternatívneho zdroja bolo komplexné a zohľadnená bola cena za teplo, dopad na životné prostredie, dlhodobá stratégia rozvoja regiónu a dostupnosť nového zdroja po januári 2024. Druhá fáza by nemala riešiť len dodávky tepla v regióne, ale aj problém odpadu. Uvažované je s postavením centra cirkulárnej ekonomiky, ktoré bude zhromažďovať komunálny a priemyselný odpad, dotrieďovať ho a recyklovať, a len to, čo sa už nedá opätovne použiť a recyklovať, bude spálené - najmä nerecyklovateľný papierový a plastový odpad bude spracovaný do TAP, ktoré sa stane palivom pre výrobu tepla v Novákoch. Pre využitie TAP pre tento účel (nielen v Novákoch a Vojanoch) je potrebná vhodná legislatíva v oblasti odpadového hospodárstva. Dnešný regulačný rámec nie je vhodný pre manažment odpadu, neexistuje konzistentná odpadová politika (konferencia Dekarbonizácia slovenskej ekonomiky, uskutočnená 6.12.2019). V práve prebiehajúcej komplexnej analýze Slovenské elektrárne zohľadňujú pre región Hornej Nitry dostupnosť odpadu v regióne a jeho dopravy do Novák, ako aj technológie energetického zhodnocovania odpadu. Analyzujú sa aj riešenia, ktoré v súčasnosti nie sú ešte na trhu, ale v čase, keď sa bude druhá fáza realizovať, už môžu byť.

Elektráreň Vojany sú už dlhodobo stratový podnik, komoditné ceny vytláčajú uhlie z trhu ako palivo pre výrobu elektriny, preto je taktiež hľadané riešenie náhrady paliva, pretože východoslovenská elektráreň zabezpečuje stabilitu a flexibilitu elektrickej siete a ďalšie systémové služby. Už dnes sa vo Vojanoch spolu s uhlím spaľuje z 20 % biomasa, plánom Slovenských elektrární je spoluspaľovať tu približne 50 % TAP. Slovenské elektrárne postupne od októbra 2019 uskutočňujú testy spaľovania TAP, toto palivo je považované len za krátkodobé riešenie, v rokoch 2021 a 2022 plánujú Slovenské elektrárne rozvíjať inovatívne riešenie - syntetické palivo, ktoré bude kombináciou TAP a popolčeka zo spaľovania čierneho uhlia. V súčasnosti používané TAP sa skladá zo surovín, ktoré už boli použité v nejakom

výrobku. Aby z nich nevznikol odpad, tieto materiály sú zhodnocované a vyrába sa z nich certifikované palivo na báze biomasy a vybraných separovaných materiálov, akými sú plast, kartón, fólie, rôzne obalové materiály, papier či odpadová drevná štiepka.

Testovacia prevádzka Elektrárne Vojany s TAP bola povolená Slovenskou inšpekciou životného prostredia zmenou a doplním integrovaného povolenia 16.12.2019. Inšpekcia ním udelila súhlas na zmenu používaných palív, ktorá spočíva v rozšírení palivovej základne o TAP alebo tiež TDP (tuhé druhotné palivo) a skúšobnú prevádzku. Ako ďalšie palivá pre fluidné kotly K15 a K16 je k čiernemu uhliu dávkovaná biomasa, TDP, ktorých množstvo je limitované v súlade s podmienkami integrovaného povolenia. Skúšobná prevádzka má aj určité obmedzenia, prevádzkovateľ má povolené používať počas skúšobnej prevádzky ako doplnkové palivo TDP triedy A spĺňajúce kvalitatívne požiadavky v zmysle Vyhlášky MŽP SR č.228/2014 Z. z., ktorou sa ustanovujú požiadavky na kvalitu palív a vedenie prevádzkovej evidencie o palivách. Pri spaľovaní viacerých palív súčasne (čierne uhlie, biomasa, TDP) je prevádzkovateľ povinný zachovať pomer čierneho uhlia a doplnkových palív (biomasa, TDP) tak, aby tepelný príkon čierneho uhlia v zmesi s doplnkovými palivami predstavoval minimálne 50 % celkového tepelného príkonu paliva. Prevádzkovateľ je povinný zabezpečiť, aby limitné hodnoty pre jednotlivé znečisťujúce látky neboli prekročené. Emisné limity sú určené pre nasledujúce znečisťujúce látky:

- tuhé znečisťujúce látky (TZL),
- oxid siričitý (SO_2),
- oxidy dusíka vyjadrené ako oxid dusičitý (NO_x ako NO_2),
- oxid uhoľnatý (CO).

Prevádzkovateľ ma povolené spaľovať tuhé druhotné palivo počas skúšobnej prevádzky, je povinný počas skúšobnej prevádzky spaľovania doplnkového paliva TDP dodržiavať určené emisné limity a je povinný počas skúšobnej prevádzky zabezpečiť vykonanie oprávnených meraní na kotloch:

a) najmenej 1 x merania v režime spaľovania palív (čierne uhlie + min. 45 % TPD, MPT) pre znečisťujúce látky HCl, HF, Cd+Tl, Hg, (As+Co+Cr+Cu+Mn+Ni+Pb+Sb+V) a TOC,
b) najmenej 1 x merania v režime bez spaľovania paliva TDP (čierne uhlie + max. 15 % biomasy MPT) pre znečisťujúce látky HCl, HF.

Doposiaľ vykonané testy prechodu elektrárne Vojany na tuhé druhotné palivo boli úspešné, nové palivo dokáže až o polovicu znížiť emisie skleníkového plynu CO_2, súčasná testovacia prevádzka s dostatočnou rezervou vyhovuje stanoveným platným emisným limitom základných znečisťujúcich látok, dokonca aj nové sprísnené limity, ktoré budú v EÚ záväzné od augusta 2021. Počas testov boli prekročené jedine emisie chlóru a v súčasnosti je tento technický problém v riešení. Ekonomicky by bola prevádzka na takýto typ paliva ekonomicky rentabilná. Na február 2021 sú naplánované ďalšie testy. TAP je výrazne lacnejšie ako uhlie,

v parametri výhrevnosti je podobné uhliu a jeho spaľovaním vzniká takmer o polovicu nižšie množstvo emisií skleníkových plynov. Nižšie emisie by pritom nepredstavovali len environmentálny benefit, elektráreň by totiž zároveň ušetrila aj na nákupe emisných povoleniek. Výsledok ekonomickej štúdie očakávaného prínosu prechodu na spaľovanie TAP ukazuje Tab. 62.

Tab. 62 Ekonomika výroby elektrickej energie pri spoluspaľovaní TAP a čierneho uhlia (ČU) v pomere 50 : 50. [13]

Typ paliva	Ročné množstvo paliva [kt]	Náklady na výrobu z ČU [mil. €]	Náklady na výrobu z TAP [mil. €]	CO_2 úspora [mil. €]	Tržby z predaja el. energie z TAP [mil. €]	Tržby z predaja el. energie z ČU [mil. €]	Očakávaný hospodársky výsledok z predaja el. energie [mil. €]
Drevná štiepka	20		1,10	0,50	0,90		0,30
TAP + BIO	40		1,90	0,30	4,30		2,60
Kal + BIO	30		0,30	0,20	1,40		1,30
TAP + BIO	10		0,01	0,10	0,90		0,90
Pelety A	50		3,30	0,10	5,10		2,00
Pelety B	40		2,60	0,00	4,60		2,00
Popol	29		0,12	0,00	0,50		0,40
ČU	173,43	21,67				17,77	-3,90
Spolu	**392,43**	**21,67**	**9,33**	**1,20**	**17,67**	**17,77**	**5,64**

8.2.2 Tuhé alternatívne palivo (TAP, TDP)

Tuhé alternatívne palivo (TAP) alebo tiež nazývané tuhé druhotné palivo (TDP) je materiál, ktorý vznikne separáciou a úpravou odpadových materiálov zložených z plastov, papiera, textilu, gumy a iných spáliteľných látok, ktoré už nie sú vhodné na recykláciu. Je to v podstate drvená zmes látok z vybraných priemyselných a triedených komunálnych odpadov, ktoré majú jasne definované zloženie látok a určenú granulometrickú štruktúru, z ktorej vznikne certifikovaná palivová zmes pravidelne kontrolovaných parametrov s minimálnym obsahom nebezpečného odpadu a odpadu znečisteného nebezpečnými látkami. Na výrobu TAP sú dôležité najmä fyzikálne a chemické vlastnosti vstupných surovín a druhov odpadov podľa Katalógu odpadov, ktoré spĺňajú požiadavky zariadenia, v ktorých budú spaľované, tzn. ich prevádzka bude v súlade s platnou právnou úpravou na tomto úseku ochrany životného prostredia. Pre výrobu TAP sa zvyčajne využíva viac druhov odpadov, napr. zmiešané plasty, papier, kartóny, textil, textilné vlákno, koberce, guma, pneumatiky, drevo, drevotrieska. Na energetické využitie sú vhodné najmä zložky odpadu s vysokou výhrevnosťou, príklad odmeraných výhrevností uvádza Tab. 63. Výhoda spaľovania TAP spočíva najmä vo vlastnostiach výsledného materiálu, kde je výhrevnosť porovnateľná s kvalitným hnedým uhlím, pričom sa dá zložením a vysokou kvalitou vstupných materiálov dosiahnuť až výhrevnosť porovnateľná s čiernym uhlím a súčasne sa pritom zníži množstvo vypúšťaných škodlivých látok.

Využitie biomasy a odpadov ako paliva v súčasnosti upravuje vyhláška Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky č. 228/2014 Z. z., ktorou sa ustanovujú požiadavky

na kvalitu palív a vedenie prevádzkovej evidencie o palivách. Touto vyhláškou sú napríklad v § 2 upravené pojmy odpadové palivo a druhotné palivo. „Druhotným palivom je palivo vyrobené z odpadu, ktoré spĺňa požiadavky § 6b a 9 ods. 11 písm. c) dosiahlo stav konca odpadu podľa osobitného predpisu 11 a) a ďalej sa nebude považovať za odpad, ale za látku, zmes alebo výrobok podľa osobitného predpisu, 11 b) na spaľovanie druhotných palív platia požiadavky pre spaľovacie zariadenia, 11 c)“. „Odpadovým palivom je palivo vyrobené z odpadov zodpovedajúce technickým normám alebo iným špecifikáciám, ak sú ustanovené, ktoré zostáva odpadom.“ V tejto vyhláške sú uvedené aj kvalitatívne požiadavky na druhotné palivá.

Tab. 63 Priemerná výhrevnosť niektorých zložiek odpadu

Typ odpadu	Výhrevnosť [MJ.kg^{-1}]
Papier suchý	17
Guma	35
PET Fľaše	23
Plast z triedenia v obciach	25
Plastová fólia	42
Plast tvrdý	34
Textil zmiešaný	20
Drevo suché	17
Kože, topánky	19



Obr. 179 Linka na výrobu TAP



Obr. 180 Tuhé alternatívne palivo - TAP. [21]

Z hľadiska vlastností, ktoré musia produkované TAP plniť, sú tieto uvedené a špecifikované v technickej norme EN 15359:2011, resp. v Slovenskej republike ako preložená verzia STN EN 15359 (65 7502) „Tuhé alternatívne palivá. Špecifikácie a triedy“. Táto norma bola vypracovaná technickou komisiou pre štandardizáciu CEN (CEN/TC 343), ktorá uvádza, že TAP môžu pochádzať z nie nebezpečných odpadov, pričom vstupný odpad môže byť výrobou špecifikovaný ako odpad: komunálny odpad, priemyselný odpad, komerčný odpad, stavebný odpad, odpad z demolácií a splaškový kal. Z tohto je zrejmé, že TAP sú heterogénnou skupinou palív. Norma EN 15359 špecifikuje niektoré základné fyzikálne a chemické vlastnosti produkovaných TAP. Tieto vlastnosti musia byť stanovené s využitím metód testovania a analýzy vypracovaných v rámci CEN/TC 343. Medzi vlastnosti, ktoré je povinné uvádzať

zaraďujeme druh a veľkosť častíc, vlhkosť, obsah popola, výhrevnosť, obsah chlóru a každého ťažkého kovu uvedeného v smernici 2000/76/ES o spaľovaní odpadov. V závere špecifikácie je potrebné vykonať celkovú sumu týchto látok. Uvádza sa tiež trieda TAP a pôvod materiálu. To znamená, že pre každé vyprodukované TAP musia byť stanovené všetky prítomné relevantné ťažké kovy. Producenti sú povinní používať predpísaný formulár uvedený v prílohe normy EN 15359 pre špecifikáciu TAP.

8.2.3 Výsledky experimentálnych meraní spaľovania TAP

Na hodnotenie vplyvu TAP na výkonové a emisné parametre zdroja tepla boli vytvorené rôzne vzorky palivových zmesí. Hlavnou zložkou bola drevná štiepka - odpad z drevárskej výroby, k nej bol v rôznych pomeroch primiešavaný odpad z automobilového priemyslu (plasty, guma, odpadový olej, koža, syntetické textílie a poťahy, papier, kartón, ...). Použitý odpad bol buď roztriedený podľa druhu a následne drvený na frakciu s charakteristickým rozmerom cca 20 mm - v prípade selektívnej demontáže autovraku, alebo rozdrvený priamo spracovateľom autovraku na zmes vyššie spomenutých zložiek s neurčitým zastúpením jednotlivých zložiek.

Identifikovaný plastový odpad podľa výrobných štítkov bol tvorený jednodruhovým materiálom PP, PUR, PBT, PC, PE, PET, ABS, PVC, PA, ale aj kombináciou - viacdruhovým materiálom PPE/PA, TPE/PP, PPE/PS, niektoré diely boli navyše lakované (nárazníky, časti karosérie). Vo všeobecnosti možno skúmaný plastový odpad z autovrakov rozdeliť na polypropylén 35 %, polyuretán 20 %, PVC 11 %, ABS 10 %, polyamid 9 %, polyetylén 5 % a ostatný nešpecifikovaný do 10 %. Do kategórie plastového odpadu boli zaradené aj zvyšky z káblového šrotu, tie sú tvorené káblovými izoláciami, koncovkami, konektormi a pod., sú tvorené najmä PVC a ABS. Rozmerovo boli dodané plastové diely od niekoľkých milimetrov (káblový šrot, klipy, rôzne úlomky a pod.) až po diely s hlavným rozmerom do cca 1,5 metra. Tento veľký rozptyl rozmerov spôsoboval hlavne problémy pri mechanickom spracovaní v laboratórnych podmienkach. Gumený odpad z autovrakov tvorili najmä hadice, staré pneumatiky neboli predmetom skúmania (tie majú hlavné uplatnenie v cementárenských peciach, za problematické bolo vyhodnotené odstraňovanie kovového kordu v laboratórnych podmienkach pre drvením). Odpad z kože pochádzal najmä z interiéru - sedačky, dvere a pod. Syntetické textílie a poťahy pochádzali taktiež hlavne z interiérov automobilov - sedačky, dvere, strecha, zvukové izolácie a pod., ale tvorili ich aj zvyšky z káblového šrotu - textilné opletenie káblových zväzkov. Papierový a kartónový odpad bol najmä z nosných častí interiéru - strecha, dvere a pod.

Jednotlivé zložky boli drvené a preosievané, nadsitná frakcia bola vracaná späť do procesu drvenia, výstupný materiál mal frakciu od 0,1 mm do cca 25 mm. Palivová zmes TAP - zmes drevnej štiepky a odpadu bola miešaná v spádovej miešačke aby sa dosiahlo najlepšieho rozdelenia.

Spaľovacie skúšky prebiehali na zdroji tepla s nominálnym tepelným výkonom 25 kW, pre ktorý ako hlavné palivo bola biomasa. Určovanie vlhkosti, fyzikálno-chemických vlastností palív, spaľovacie skúšky, meranie výkonu a účinnosti a meranie zloženia emisií prebiehali

podľa príslušných platných noriem. Vytvorené boli rôzne vzorky palivových zmesí TAP - rôzneho pomeru drevnej štiepky a jednodruhového odpadu z automobilového priemyslu a presného pomeru množstva drevnej štiepky a odpadu z automobilového priemyslu rôzneho zloženia, do ktorého bol primiešavaný aj iný komunálny odpad (PET fľaše, plastové tašky, vrecká a pod.). Ako porovnávacie palivo bola vždy použitá biomasa, či už vo forme kusového dreva alebo drevnej štiepky. Pre pandemickú situáciu v roku 2020 neboli všetky experimenty uskutočnené a dokončené Nasledujúca Tab. 64 ukazuje výsledky hodnotenia chemického zloženia pre čistú drevnú štiepku a TAP, ktoré je tvorené 70 % drevnej štiepky a 30 % odpadu z automobilového priemyslu bez presného materiálového zloženia (dodaný už podrvený odpad). Sledované parametre pre palivá boli vlhkosť, množstvo prchavých látok, podiel pevného uhlíka a popolnatosť (aj s rozptylom hodnôt pri opakovaných meraniach). Vlhkosť paliva je percentuálny podiel vody obsiahnutej v palive, pre TAP je tvorený vlhkosťou najmä z drevnej štiepky, v niektorých prípadoch aj z textílií, papiera a pod., ktoré neboli vhodne skladované. Podiel prchavých látok a pevného uhlíka bol sledovaný pre vlhký a suchý stav. Popolnatosť bola určovaná pre dve pracovné teploty, 815 a 550 °C.

Tab. 64 Laboratórna skúška - palivový rozbor

	Vlhkosť	Prchavé látky	Prchavé látky	Pevný uhlík	Pevný uhlík	Popol 815 °C (Popol 550 °C)	Popol 815 °C (Popol 550 °C)
Stav		vlhký stav	suchý stav	vlhký stav	suchý stav	vlhký stav	suchý stav
Jednotka	%	%	%	%	%	%	%
Štiepka	9,505	73,2	80,89	16,56	18,31	0,728±0,091	0,808±0,125
	± 0,058	± 0,29	± 0,299	± 0,224	± 0,243	(1,12±0,11)	(1,19±0,14)
TAP	4,683	77,72	81,54	6,27	6,57	11,33±0,924	11,89±0,965
	± 0,381	± 1,419	± 1,161	± 1,631	± 1,735	(13,67±1,04)	(14,71±1,11)

Pre TAP daného zloženia je pozorovaný pokles vlhkosti paliva, mierny nárast podielu prchavých látok a pokles podielu pevného uhlíka a značný nárast popolnatosti, pri pracovnej teplote skúšky 550 °C až na približne 15 %.

Nasledujúca Tab. 65 ukazuje výsledky hodnotenia chemického zloženia paliva analyzátorom CHN-S (aj s rozptylom hodnôt pri opakovaných meraniach). Pre TAP daného zloženia je pozorovaný nárast percentuálneho obsahu uhlíka a vodíka, nárast obsahu dusíka a síry sú zanedbateľné.

Tab. 65 Laboratórna skúška - prvkový rozbor paliva

Parameter	Obsah uhlíka (C)	Obsah vodíka (H)	Obsah dusíka (N)	Obsah síry (S)
Jednotka	%	%	%	%
Štiepka	50,34	6,76	0	0,00±0,00
	±1,35	±0,63	±0,00	
TAP	55,41	7,16	0,06	0,07±0,03
	±12,89	±1,55	±0,03	

Nasledujúca Tab. 66 ukazuje výsledky laboratórnej skúšky na hodnotenie spalného tepla a výhrevnosti paliva. Spalné teplo a výhrevnosť pre TAP poklesli, aj keď bol očakávaný ich nárast. Výsledok bol pravdepodobne ovplyvnený nejasným zložením daného odpadu z automobilového priemyslu, ktorý pravdepodobne obsahoval veľa zložiek s nízkym energetickým obsahom, problém mohol nastať aj pri odbere vzoriek pre analýzu, vzorka je pomerne malá (niekoľko gramov) a bolo v nej zastúpené malé množstvo plastu (plastové častice boli väčšej frakcie).

Tab. 66 Laboratórna skúška - spalné teplo a výhrevnosť paliva

Parameter	Spalné teplo	Výhrevnosť
Jednotka	$MJ.kg^{-1}$	$MJ.kg^{-1}$
Štiepka	17,582±0,025	15,875±0,007
TAP	16,704±0,626	14,960±0,538

Nasledujúca Tab. 67 ukazuje výsledky spaľovacej skúšky, ktorá hodnotí len produkciu tuhých znečisťujúcich látok (TZL). Výsledky poukazujú pre TAP na výrazný pokles TZL s rozmerom nad 10 µm oproti drevnej štiepke, nárast produkcie tuhých znečisťujúcich látok v ďalších sledovaných rozmeroch, TZL s rozmermi od 2,5 do 10 µm a TZL s rozmerom do 2,5 µm. Celkové množstvo produkovaných TZL je pre TAP vyššie ako pre drevné štiepku.

Tab. 67 Spaľovacia skúška - produkcia tuhých znečisťujúcich látok (TZL)

Vzorka	$TZL_{nad\ 10\ \mu m,\ 10\%}$ $[mg.m^{-3}]$	$TZL_{2.5\text{-}10\ \mu m,\ 10\%}$ $[mg.m^{-3}]$	$PM_{2.5}$ $[mg.m^{-3}]$	$TZL_{spolu,\ 10\%}$ $[mg.m^{-3}]$
Štiepka	20,7	29,6	584,7	635,0
TAP	5,1	92,4	603,4	700,9

Výsledky laboratórnych skúšok s touto zmesou TAP nepriniesli výsledok, ktorý bol očakávaný najmä po štúdiu odbornej literatúry. Očakávaný nárast hlavne výhrevnosti nebol preukázaný a poukázal na systematickú chybu, ktorá bola urobená počas skúšok. Problematická je najmä príprava vzorky pre laboratórnu skúšku, kedy nie sme pri súčasnej technológii prípravy odpadu z automobilového priemyslu schopní zabezpečiť drvenie vzorky na dostatočne malú frakciu aby bola v dostatočnej miere zastúpená vo vzorke pre laboratórnu skúšku. Na odstránenie tejto systematickej chyby musí byť použitý iný spôsob mechanickej úpravy vzorky odpadu.

Počas riešenia boli vykonané laboratórne skúšky aj pre iné druhy odpadov, najmä z oblasti komunálnej sféry, ktorá je taktiež významným zdrojom energeticky využiteľných odpadov. Výsledky laboratórnych skúšok sú ukázané v Tab. 68, odpady boli testované v stave v akom boli vyseparované z komunálneho odpadu (napríklad vysoká vlhkosť dreva).

Tab. 68 Laboratórna skúška - vlhkosť, spalné teplo a výhrevnosť niektorých zložiek komunálneho odpadu

	Vlhkosť [%]	Spalné teplo [MJ.kg^{-1}]	Spalné teplo [MJ.kg^{-1}]
Bioodpad	73,087	13,2054	10,0733
Papier	10,597	11,0738	9,4893
Plast	0,000	35,104	33,7794
Textil	7,19	18,4438	16,9428
Kombinované obaly	0,000	22,1585	20,5425
Drevo	27,708	17,3985	15,3390

Pre ďalší výskum možnosti použitia TAP boli uskutočnené spaľovacie skúšky, kde boli použité nasledovné druhy vzoriek:

- **Vzorka 1:** Bukové kusové drevo - štiepané kusové drevo v dĺžke cca 45 cm, vlhkosť 12,24 %, spalné teplo 17,168 MJ.kg^{-1}, výhrevnosť 15,559 MJ.kg^{-1}.
- **Vzorka 2:** Tuhé alternatívne palivo s vyšším obsahom papiera a kartónu - drvený priemyselný a komunálny odpad - zvyšok po separácii odpadu, vlhkosť 10,78 %, spalné teplo 16,077 MJ.kg^{-1}, výhrevnosť 14,422 MJ.kg^{-1}.
- **Vzorka 3:** Tuhé alternatívne palivo s vyšším obsahom plastu - drvený priemyselný a komunálny odpad - zvyšok po separácii odpadu, vlhkosť 3,2 %, spalné teplo 17,307 MJ.kg^{-1}, výhrevnosť 15,427 MJ.kg^{-1}.
- **Vzorka 4:** Drevný odpad - odpad zo spracovania lesnej dendromasy vo forme štiepky, vlhkosť 9,8 %, spalné teplo 17,582 MJ.kg^{-1}, výhrevnosť 15,875 MJ.kg^{-1}.

Experimentálne merania boli uskutočnené na centrálnom zdroji tepla s menovitým tepelným výkonom 25 kW v súlade s normou STN EN 13 229. Každá vzorka bola spaľovaná trikrát za sebou a nižšie uvedené výsledky sú aritmetickým priemerom týchto meraní. Spaľovanie každej vzorky prebiehalo za rovnakých podmienok – rovnaké nastavenie prívodu a prerozdelenia spaľovacieho vzduchu, rovnaký komínový ťah (12 ± 2 Pa), približne rovnaká teplota (21 ± 2 °C) a relatívna vlhkosť (40 ± 2 %) nasávaného spaľovacieho vzduchu. Tepelný výkon (P) a účinnosť (η) boli určené výpočtom nepriamou metódou v súlade s normou STN EN 13 229. Meranie plynných emisií - oxidu uhoľnatého (CO), oxidu uhličitého (CO_2), oxidov dusíka (NO_X), organických plynných uhľovodíkov (OGC), oxidu siričitého (SO_2) a kyslíka (O_2) boli merané pomocou analyzátora emisií s NDIR fotometrickým senzorom. Hodnoty produkcie emisií boli prepočítané na normované podmienky (0 °C, 101325 Pa a 13 % obsah zvyškového kyslíka v spalinách). Produkcia tuhých znečisťujúcich látok (TZL) bola stanovená gravimetrickou metódou v súlade s normou STN ISO 9096 za podmienky dodržania izokinetického odberu spalín. Komínová teplota a teplota okolia bola stanovená pomocou termočlánku typu K (NiCr-Ni). Konštantný komínový ťah bol zabezpečený ventilátorom pre odvod spalín, ktorého otáčky boli regulované frekvenčným meničom.



Obr. 181 Vzorky paliva použitého pri spaľovacích skúškach

Tab. 69 Hodnoty meraných parametrov počas experimentálne prevádzky

Palivo	Dávka	P [kW]	η [%]	O_2 [%]	CO_2 [%]	$CO_{13\%}$ [mg.m^{-3}]	$NO_{x,\ 13\%}$ [mg.m^{-3}]	$OGC_{13\%}$ [mg.m^{-3}]	$SO_{2,\ 13\%}$ [mg.m^{-3}]	$TZL_{13\%}$ [mg.m^{-3}]
Vzorka č.1	1	13,8	80,3	11,1	10,4	771	57,3	9,1	0,0	22,06
	2	13,8	80,0	11,3	10,1	626	59,1	5,4	0,1	28,89
	3	13,7	80,0	11,3	10,2	780	50,3	6,4	0,0	47,02
	Priemer	**13,8**	**80,1**	**11,2**	**10,2**	**726,2**	**55,6**	**7,0**	**0,0**	**32,70**
Vzorka č.2	1	8,7	50,6	18,1	2,5	1778	179,4	37,4	60,9	468,8
	2	7,5	46,8	18,3	2,4	2148	156,8	47,9	57,4	397,6
	3	8,3	49,6	17,9	2,8	1589	168,3	31,1	68,4	356,7
	Priemer	**8,2**	**49,0**	**18,1**	**2,6**	**1838,3**	**168,2**	**38,8**	**62,3**	**407,7**
Vzorka č.3	1	11,4	66,1	16,3	4,2	1664	233,0	28,0	41,9	241,3
	2	11,2	65,8	16,5	4,1	1921	197,0	31,2	49,6	327,8
	3	10,8	63,4	16,9	3,8	2119	166,7	38,1	55,3	297,3
	Priemer	**11,1**	**65,1**	**16,6**	**4,0**	**1901,3**	**198,9**	**32,4**	**48,9**	**288,8**
Vzorka č.4	1	9,8	56,1	16,9	3,9	2750	71,3	48,8	21,4	296,3
	2	8,5	51,4	17,6	3,4	2846	59,3	53,3	18,1	181,3
	3	9,6	57,2	16,5	5,1	1988	85,9	39,1	19,6	147,9
	Priemer	**9,3**	**54,9**	**17,0**	**4,1**	**2528,0**	**72,3**	**47,1**	**19,7**	**208,5**

Priemerný tepelný výkon zdroja tepla (Tab. 69) bol podľa očakávaní najvyšší pri spaľovaní vzorky 1 - bukového kusového dreva, ktoré vhodné palivo pre daný zdroj tepla a v súlade s odporúčaním výrobcu, tepelný výkon dosiahol priemerne 13,8 kW. Všetky ostatné vzorky palív dosiahli nižší tepelný výkon (8,2 až 11,1 kW). Výsledky tepelného výkonu korešpondovali s hodnotami účinnosti, kedy najnižšia hodnota bola zaznamenaná pri spaľovaní tuhého alternatívneho paliva s vyšším obsahom kartónu, ktorá bola oproti hodnotám účinnosti pri spaľovaní kusového dreva nižšia priemerne o viac ako 30 %. Percentuálny obsah zvyškového kyslíka v spalinách (O_2) a oxidu uhličitého (CO_2) korešpondoval v súlade s STN EN 13 229 s účinnosťou pri spaľovaní jednotlivých vzoriek - čím vyššia účinnosť spaľovania, tým nižšia koncentrácia zvyškového kyslíka O_2 a tým vyššia koncentrácia CO_2

v spalinách. Produkcia všetkých plynných emisií bola najnižšia pri spaľovaní kusového dreva. Približne 2,5 násobná koncentrácia CO bola zaznamenaná pri spaľovaní tuhých alternatívnych palív. Najvyššia produkcia oxidu uhoľnatého (CO) bola dosiahnutá pri spaľovaní drevného odpadu. Zvýšená koncentrácia CO bola spôsobená najmä lokálnym nedokonalým spaľovaním vzhľadom na to, že k vzorkám 2 až 4 bol oproti kusovému drevu prístup spaľovacieho vzduchu významne horší. Produkcia oxidov dusíka (NO_X) po prepočítaní na 13 % obsah zvyškového kyslíka v spalinách bola najnižšia pri spaľovaní kusového dreva a najvyššia pri spaľovaní odpadu s vyšším obsahom plastu. Podobné výsledky boli zaznamenané pri produkcii organických plynných uhľovodíkov (OGC) a oxidu siričitého (SO_2), ktoré boli významne vyššie ako pri spaľovaní kusového dreva. Najvyšší rozdiel bol zaznamenaný v produkcii tuhých znečisťujúcich látok (TZL), kedy alternatívne palivá mali približne 6 až 12,5 násobne vyššiu koncentráciu TZL v spalinách v porovnaní s výrobcom odporúčaným palivom, kusovým drevom.

8.3 Splyňovanie a pyrolýza

8.3.1 Splyňovanie

Splyňovanie je konverzia tuhej látky splyňovacími reakciami na syntézny plyn, ktorý sa používa energeticky buď priamo spaľovaním, alebo po čistení a preprave plynovým potrubím na mieste určenia. Splyňovanie má najväčší význam pre energetiku pri Fischer-Tropschovej syntéze. Zneškodňovanie niektorých druhov odpadov formou splyňovania má oproti tradičným metódam spaľovania viaceré výhody, napríklad možnosť čiastočného zabezpečenia energetickej potreby spoločnosti splyňovaním menej hodnotných fosílnych palív a odpadov a zvyšovanie energetickej sebestačnosti krajín, nedisponujúcich zásobami kvalitných fosílnych zdrojov. Splyňovanie odpadov je komplexný proces, zahŕňajúci mnohé fyzikálne a chemické reakcie. Kvapalný a pevný odpad, ktoré obsahujú výraznejší podiel viazaného uhlíka a v menšom množstve vodík, reagujú s podstechiometrickým množstvom oxidačného činidla. Splyňovanie odpadov prebieha v redukčnom prostredí, podobne ako pyrolýza, ale za vyšších teplôt a pôsobením splyňovacích látok, napr. pôsobením kyslíkovo-parnej zmesi. Jedným zo zásadných rozdielov medzi splyňovaním a pyrolýzou je, že pri splyňovaní prechádza do plynnej fázy aj fixný uhlík. Možnosti nasadenia takejto technológie pre energetické zhodnocovanie odpadov sú nádejné, problematické je najmä heterogénne zloženie vsádzky odpadu [2].

Zjednodušene možno celú technológiu splyňovania popísať nasledovne: odpad je vložený do splyňovača, kde vzniká zmes plynov a druhým produktom je popol, troska a kovy, po čistení plynu je vyčistený plyn energeticky využitý buď v kogeneračnom zariadení alebo v plynovom horáku (pred spaľovaním v plynovom horáku nie je bezpodmienečne nutné vznikajúcu zmes plynov čistiť). Čistením plynu je odstraňovaný úlet tuhých látok a kondenzovaný decht. Parametre, ktoré v najväčšej miere ovplyvňujú priebeh splyňovania odpadu sú:

- **teplota v reaktore** - dôležitý prevádzkový parameter, teplotný profil v reaktore je funkciou viacerých parametrov, ako ekvivalentného pomeru (pomer objemu kyslíka zúčastňujúceho sa v oxidačnom procese termického spracovania odpadu a objemu kyslíka, potrebného pre komplexnú stechiometrickú oxidáciu), doby

výdrže, chemickej energie odpadu, zloženia a vstupnej teploty dávkovaného odpadu, tepelnej izolácie reaktora a pod.,

- **doba výdrže** - doba zdržania spracovávaného druhu odpadu v reakčnej komore splyňovacieho zariadenia, je ovplyvnený typom a prevedením reaktora, kvalitatívnymi vlastnosťami vstupnej suroviny, teplotou v reakčnej komore, metódou spracovania odpadu a pod.,
- **zloženie a fyzikálne parametre odpadu** - transformácia odpadu na využiteľnú energiu je ovplyvnená špecifickými vlastnosťami odpadu, sú to najmä obsah vlhkosti, obsah popola a obsah prchavých látok, objemová hmotnosť, zrnitosť, elementárne zloženie, výhrevnosť, obsah kontaminantov,
- **vstupná teplota odpadového materiálu a výstupná vedľajších produktov splyňovania** - majú významný vplyv na hmotnostnú a energetickú bilanciu reaktora,
- **prevádzkové a výkonnostné parametre** - dôležité je zosúladiť a stanoviť správnu kombináciu prevádzkových podmienok na vytvorenie určitého systému spracovania rôznych druhov odpadov [2].

Spôsoby splyňovania odpadov: splyňovače s pevnou vrstvou spracovávaného odpadu (vzostupný splyňovač, zostupný splyňovač), splyňovače so stacionárnou fluidnou vrstvou a cirkulujúcou fluidnou vrstvou, splyňovač s unášaným prúdom, rotačné splyňovače a plazmové splyňovače.

Príklady realizácie zo sveta: TERMIKSA Processer - fluidný spôsob s parciálnou oxidáciou vzduchom, PROLER - rotačná pec s parciálnou oxidáciou kyslíkom, SlivaGas - fluidný spôsob so splyňovaním vodnou parou. Zásadným problémom bežne dostupných splyňovacích technológií je tvorba dechtových zložiek, pozostávajúcich z komplexných molekúl uhľovodíkov. Pri týchto technológiách je typické, že okolo 50 % využiteľnej energie plynu, generovaného v procese nízkoteplotného splňovania, je zakonzervovaná v dvoch hlavných produktoch, v CO a H_2, kým zvyšok energie je obsiahnutý v molekulách metánu a vyšších uhľovodíkov. Oxidačné činidlo spôsobuje nielen vznik vyššieho množstva CO, ale z časti aj jeho oxidáciu na CO_2 a tým aj znižovanie výhrevnosti produkovaného plynu.

8.3.2 Pyrolýza

Využitie pyrolýzy pri energetickom zhodnocovaní odpadových plastov je jeden z najvýhodnejších spôsobov. Pyrolýza je tepelné spracovanie odpadových látok v pyrolýznej peci, alebo reaktore pri teplote 250 až 1650 °C bez prístupu vzduchu, alebo pri obmedzenom prístupe vzduchu a pri zníženom atmosférickom tlaku. Výsledkom pyrolýzneho rozkladu sú kvapalné látky (pyrolýzny olej) a plynné látky (pyrolýzny plyn). Materiálovým vstupom sú odpadové plasty, ktoré nie je z akýchkoľvek dôvodov možné ďalej recyklovať. Výsledným produktom je palivo, ktorého konečná kvalita je daná kvalitou vsádzky do pyrolýzneho reaktora. Technológie spracovania plastových odpadov na palivové oleje majú potenciál riešiť dva veľké problémy súčasnosti – nedostatok fosílnych palív a produkciu ďalej nespracovateľných plastových odpadov. Proces pyrolýzneho spracovania plastov spočíva

v skvapalnení, pyrolýze a katalytickom rozštiepení plastov, pri ktorom sú odpadové plasty premenené na kvapalné uhľovodíky vhodné ako palivo (plasty sú pretvorené na „pôvodný“ materiál). Týmto spôsobom je možné spracovať takmer všetky plasty, ktoré sa inak bez využitia dostávajú na skládky odpadu. Plyny vznikajúce pri pyrolýze kondenzujú v špeciálne konštruovanom kondenzačnom systéme za vzniku alifatických a cyklicko-alifatických a aromatických uhľovodíkov. Vzniknutá zmes v podstate zodpovedá ropnému destilátu. Hustota, ako aj ďalšie vlastnosti tohto paliva sú podobné, ako má motorová nafta, vzniknuté palivo má absolútne rovnaký energetický potenciál, ale z hľadiska ekológie s podstatne nižšími emisiami. Získaný palivový olej je použiteľný, ako palivo pre spaľovacie motory, generátory, kotle a priemyselné horáky, alebo je používaný ako druhotná surovina na výrobu benzénu, toluénu a pod. Z 1 kg plastov je možno získať približne 0,9 litra paliva, pokiaľ sú spracované polyolefíny, ako polyetylén (PE) a polypropylén (PP) alebo polystyrén (PS). Pyrolýza je perspektívna technológia, výhodou tejto technológie energetického zhodnocovania je fakt, že môže spracovávať široké rozmedzie odpadov, aj znečistených, pretože napr. väčšina ťažkých kovov prechádza do tuhých pyrolýznych zvyškov a nedostáva sa do pyrolýzneho oleja, alebo plynu a tým ani do plynných emisií zo spaľovania. Tuhý zvyšok z pyrolýzneho reaktora predstavuje približne 1/3 pôvodnej hmotnosti suchého odpadu v prípade použitia komunálneho odpadu a 1/10 pôvodnej hmotnosti suchého odpadu v prípade použitia plastového odpadu. Tento tuhý zvyšok po karbonizácii prepadáva do chladiaceho žľabu, kde je nepriamo chladený technologickou vodou. Ďalej je prepravený na triedenie na sitách, kde je oddelený kovový zvyšok (železné a neželezné kovy) a minerálne podiely (sklo a pod.) Podsitový podiel, obsahujúci uhlík, sa melie na prach a dopravuje do dohorievacej komory. Zo spodnej strany dohorievacej komory, kde je teplota 1300 °C odteká tekutá troska do vodného granulačného kúpeľa [5].

Pyrolýza je realizovaná v pyrolýznych komorách alebo fluidných a rotačných peciach. Pece môžu byť vyhrievané z vonkajšej strany cez plášť pece alebo zvnútra horúcim inertným plynom (dusíkom, ...), na urýchlenie pyrolýzy sa do pyrolyzéra privádzajú spaliny z kotla alebo zo splyňovacieho zariadenia. Realizované pyrolýzne jednotky sú v podstate dvojstupňové spaľovne odpadov, ktorých prvý stupeň je pyrolýzny a druhý oxidačný.

Príklady realizácie zo sveta: BABCOCK-Kraus-Maffei (Nemecko), KWU-SIEMENS, v súčasnosti sú vyvíjané malé pyrolýzne jednotky v Maďarsku, Poľsku a Čechách.

8.4 Koncepčný návrh zariadenia pre energetické zhodnocovanie odpadu z automobilového priemyslu

Nie všetok priemyselný a komunálny odpad je vhodný na recykláciu a následné využitie, ďalším možným riešením je jeho spaľovanie, alebo spoluspaľovanie s iným palivom a získanie tepla pre výrobu elektrickej energie, vykurovanie alebo technologický proces. Spaľovanie, alebo spoluspaľovanie napr. plastového odpadu a jeho energetické využitie je riešenie, nanešťastie zariadení je na území SR pomerne málo a sú na území nerovnomerne rozmiestnené. Ekologicky a energeticky vhodnejším riešením je využitie nových technológií spracovania plastového odpadu, napr. splyňovanie alebo pyrolýzu, ktoré tento odpad

pretvoria opäť na východiskovú surovinu - plynnú a kvapalnú fázu, ktoré sú použiteľné buď priamo ako palivo, alebo ako vstupná surovina pre petrochemicky a chemický priemysel. Budovanie takýchto zariadení na území SR zatiaľ nie je veľmi rozšírené, dôvodom môže byť finančná náročnosť alebo aj takmer nejestvujúci trh, kde by sa mohli produkty rozkladu plastového odpadu uplatniť. Jestvujúce prevádzky napr. na splyňovacie a pyrolýzne spracovanie plastového odpadu sú v podmienkach SR skôr pilotnými projektmi, majú obmedzenú kapacitu, sú nerovnomerne rozmiestnené, z čoho vyplýva aj potreba prepravy vhodného odpadu na veľké vzdialenosti zo širokého okolia. O preprave odpadu na veľké vzdialenosti sa dá len ťažko povedať, že je ekonomická a ekologická. Vo svete a na trhu sú dostupné veľké splyňovacie a pyrolýzne spracovateľské zariadenia, ktoré sú investične náročné a pre podmienky SR nevyhovujúce. Východiskom z tejto situácie je budovanie menších splyňovacích a pyrolýznych spracovateľských zariadení, kapacitne dimenzovaných podľa množstva odpadu z blízkeho okolia, rovnomerne rozmiestnených po celom území SR, podpora ich budovania zo strany štátu napr. vhodnou legislatívou, dotáciami a pod., a takisto vytvorenie trhu pre produkty splyňovania alebo pyrolýzy - syntézneho plynu, oleja a pod. Takéto menšie spracovateľské prevádzky nerecyklovateľného priemyselného a komunálneho odpadu by mohli byť umiestnené v blízkosti väčších zdrojov priemyselného odpadu, napr. v blízkosti spracovateľských prevádzok na vyradené automobily, alebo sú vhodné pre združenia obcí, prípadne v areáloch na triedenie komunálneho odpadu. Takáto prevádzka by mohla byť modulového systému, napr. umiestnená v kontajneroch a mohla by byť prispôsobená konkrétnym požiadavkám, druhom a množstvám spracovávaného odpadu.

Splyňovacie alebo pyrolýzne spracovanie jednodruhového vytriedeného plastového odpadu (napr. PET fľaše, HDPE, LDPE, PP) je technologicky zvládnuteľné, problematická je technológia spracovania zmesového plastového odpadu, ktorý môže byť kontaminovaný rôznymi prímesami, tak ako napríklad odpad z automobilového priemyslu. Nesúrodosť tohto vstupného materiálu pre energetické zhodnocovanie zvyšuje technologickú náročnosť celého procesu. Tento odpad je špecifický najmä svojím skupenstvom (tuhé a kvapalné), druhovou skladbou a rozmanitou frakciou (v závislosti od spôsobu predchádzajúceho spracovania). Za energeticky využiteľný odpad z automobilového priemyslu a recyklácie automobilov možno považovať plasty, gumu, prevádzkové kvapaliny (palivá, motorové a prevodové oleje, chladiace a brzdové kvapaliny, ...), kožu, syntetické textílie a poťahy a pod. Najväčší podiel energeticky využiteľných odpadov z vyradených automobilov tvoria plasty. Najväčšie problémy pri energetickom zhodnocovaní plastov sú s PVC, ktorého prítomnosť v palive je limitovaná kvôli vznikajúcim emisiám (ak je PVC v palive nad 1 %, je nutná zvýšená teplota v spaľovacej komore a nárast zdržnej doby). Zloženie vstupného paliva pre proces energetického zhodnocovania plastov je daný technológiou spracovania autovraku. Podrvený plastový podiel po šrédrovaní je už len veľmi náročné odseparovať a tento plastový podiel je primárne určený na energetické zhodnotenie, vstupné palivo má nešpecifikované vlastnosti a zloženie. Najpresnejšie chemické a fyzikálne vlastnosti a zloženie vstupného paliva sú dosahované pri úplnej demontáži autovraku.

Princípom oboch progresívnych spôsobov energetického zhodnocovania odpadov (najmä plastov) je polymérna degradácia, ktorá môže prebiehať za účasti katalyzátora, reakcia prebieha v uzatvorenom reaktore pôsobením tepla. Reakcia prebieha buď za prítomnosti malého množstva vzduchu alebo bez prítomnosti oxidačného činidla, ktoré je najčastejšie nahrádzané inertným plynom, najčastejšie dusíkom a najčastejšie pri normálnom atmosférickom tlaku. Dávkovaná zmes plastového odpadu je v reaktore depolymerizovaná, štiepi sa na nižšie uhľovodíkové reťazce (rozklad dlhých reťazcov plastových materiálov na fluidnú zmes nasýtených uhľovodíkov). Odpadový plastový materiál sa premieňa na plyn a jeho následným ochladením sa mení na ropné frakcie, na surovinu, z ktorej bol pôvodne vyrobený a na syntézny plyn, ktorý obsahuje neskondenzovateľné molekuly. Ochladzovaním vzniknutej fluidnej zmesi nasýtených uhľovodíkov začne prebiehať proces frakčnej destilácie, čiže oddeľovania jednotlivých ropných frakcií, keď sa plastové odpady spätne premenia na základnú surovinu. Výsledným produktom procesu, ktorý sa nazýva katalytické krakovanie, je zmes ropných frakcií, obsahujúca naftové, benzínové a olejové zložky, parafín, vosk a ďalšie časti.

Depolymerizácia najčastejšie prebieha za prítomnosti katalyzátora. Plastové odpady pri pridaní katalyzátora získavajú elastickosť už pri nízkych teplotách (okolo 200 °C). Výhodou katalytického procesu depolymerizácie pri nižších pracovných teplotách je aj nižšia spotreba palív potrebných na ohrev reaktora. Katalyzátor je do reaktora pridávaný kontinuálne, čím je zabezpečená jeho nepretržitá a stabilná aktivita a tým aj vyrovnané pracovné t.j. teplotné podmienky s priaznivým vplyvom na rovnomernú kvalitu produktu.

Popísanými technológiami je možné spracovávať rôzne druhy odpadu, komunálneho a priemyselného, biomasu, plasty, staré pneumatiky a pod. Z plastového odpadu sa najčastejšie danými technológiami spracovávajú odpadové polyolefíny (polyalkény) ako HDPE, LDPE a LLDPE t.j. polyetylény rôznych špecifických hmotností a PP - polypropylén. Vhodnosť týchto polymérov vyplýva z faktu, že sú zložené výhradne z uhlíka a vodíka a ich základnými stavebnými jednotkami sú etylén $CH_2 = CH_2$ a propylén $CH_3–CH=CH_2$. Depolymerizáciou vyššie popísanými spôsobmi vzniká z vstupných materiálov syntézny plyn, ktorý je možné ochladením rozdeliť na kondenzovateľné a neskondenzovateľné molekuly (príklad zloženia syntézneho plynu v závislosti na vstupnej surovine ukazuje Tab. 9). V závislosti na vstupnej surovine, ak sa jedná o plasty, obsahuje po ochladení prevažne kvapalné depolymerizačné produkty - krakáty, ktoré majú v závislosti od podmienok rozkladného procesu, a to najmä v závislosti od výšky rozkladnej teploty, olejovitý, voskový, prípadne naftový charakter. Tieto vznikajúce produkty majú podobné frakčné zloženie ako tie, ktoré sú vyrábané primárne z ropy. Zostávajúca časť po depolymerizácii je voda a tuhý zvyšok vo forme cudzorodých zostatkov z pôvodnej odpadovej plastovej suroviny, v podobe napr. kovových zvyškov, skla, kameňov, zeminy a iných mechanických nečistôt. Vznikajúce kvapalné a plynné podiely neobsahujú významnejšie množstvo halogénov, síry, dusíka alebo kovov, nakoľko ich neobsahuje ani pôvodná surovina. Preto sú z hľadiska chemického zloženia v plynnom podiele prakticky len uhľovodíky C_1 až C_5 a výstupný produkt celej technológie je zmes kvapalných zlúčením uhlíka a vodíka, v hmotnostnom pomere 86 : 14 %, ktoré

sú štruktúrne prevažne nenasýtenými uhľovodíkmi bez významnejšieho obsahu aromatických zlúčenín. Výstupný produkt zodpovedá frakčným zložením ľahkému vykurovaciemu oleju, motorovej nafte a voskom, to znamená surovinám, ktoré je možné ďalej spracovávať v petrochemickom priemysle ako hodnotnú surovinu alebo sa môže priamo použiť na výrobu tepla a elektrickej energie.

Tab. 70 Príklad zloženia syntézneho plynu v závislosti na druhu vstupnej suroviny

	H_2 [%]	CH_4 [%]	C_2-C_4 [%]	CO [%]	CO_2 [%]	N_2 [%]	Hustota [kg.Nm^{-3}]	Výhrevnosť [MJ.Nm^{-3}]	Výhrevnosť na tonu vstup. suroviny [kW.t^{-1}]
biomasa	15	26	3	35	17	4	1,10	17,10	2591
plasty	25	38	18	9	5	5	0,80	28,00	7778
pneumatiky	19	40	28	3,5	6,5	3	0,90	36,00	3333

Použitie daných technológií na iné typy plastového odpadu, napr. z automobilového priemyslu je problematické najmä pre rôznorodosť vstupného materiálu, čo má zásadný vplyv na voľbu depolymerizačnej teploty, dĺžku doby depolymerizácie, použitie katalyzátorov, výsledný produkt a zvyšky po depolymerizácii.

8.4.1 Technológie potrebné pre splyňovanie a pyrolýzu

Vo všeobecnosti možno technologické zariadenia používané na splyňovanie a pyrolýzu rozdeliť na tri základné technologické komponenty:

- drviace, navážacie a dávkovacie zariadenie,
- samotné splyňovacie alebo pyrolýzne zariadenie,
- zariadenie na úpravu a využitie syntézneho plynu.

8.4.1.1 Drviace, navážacie a dávkovacie zariadenie

V závislosti na druhu a technológii depolymerizácie plastového odpadu je nutné odpad pred spracovaním drviť na menšie frakcie a pokiaľ ide o viacdruhový odpad aj miešať. Viaceré literárne zdroje uvádzajú, že optimálna frakcia podrveného plastového odpadu je cca 20 mm. Na tento účel sú používané kladivkové, závitovkové alebo rotačné mlyny (s priamymi alebo šikmými nožmi). Vo všeobecnosti sú drviče rozdelené na pomalobežné a rýchlobežné. Príklady konštrukcií niektorých typov drvičov sú ukázané na Obr. 182. Veľkosť výstupnej suroviny je daná rozmerom oka sita, ktoré je umiestnené v okolí drviacej hlavy.

Pre spracovávanie odpadu z automobilového priemyslu je vhodné použitie pomalobežného drviča a následne rýchlobežného drviaceho zariadenia. Ako bolo spomenuté vyššie, problematické pri drvení odpadu z automobilového priemyslu je jeho rôzna veľkosť. V pomalobežnom preddrviči s veľkou násypkou a dopravníkovým pásom je všetka vstupná surovina rozdrvená na frakciu cca 50 mm, následne vstupuje do rýchlobežného drviča s nožovou hlavou a sitom s okami s priemerom 20 mm. Výstupná surovina po drvení je rozmerovo vhodná na ďalšie spracovanie v splyňovacom alebo pyrolýznom reaktore.



Obr. 182 Pohľad na rôzne typy drviacich zariadení [22]

Vstupná surovina je rozdrvená a podávaná do reaktora v stanovenom čase a množstve. Podávacie zariadenie obsahuje bezpečnostné prvky proti vniknutiu syntézneho plynu do pracovného priestoru mlynu a vstupu neprimeraného množstva oxidačného činidla do pracovného priestoru reaktora, najčastejšie zaplynením inertným plynom (napr. dusíkom).

8.4.1.2 Splyňovacie a pyrolýzne zariadenie

Na splyňovanie a pyrolýzu sú využívané reaktory, najčastejšie valcového tvaru, v závislosti na množstve spracovávaného odpadu sú konštruované buď ako kontinuálne alebo diskontinuálne. Na oba technologické procesy je potrebné dodanie určitého množstva tepla, jeho množstvo je závislé na pracovnej teplote, množstve a druhu spracovávaného odpadu. Teplo do procesu je dodávané buď spaľovaním plynných a kvapalných palív alebo elektrickým ohrevom. Ohrev elektrickou energiou je realizovaný priamo, cez elektrickú špirálu, ktorá môže byť umiestnená v podávacej závitovke. Ohrev spaľovaním kvapalných alebo plynných palív v horákoch je z bezpečnostných dôvodov najčastejšie realizovaný prostredníctvom prestupu tepla zo spalín cez stenu reaktora. Reaktor má kvôli ekonomike prevádzky tepelnú izoláciu. Kapacity reaktorov sa pohybujú od niekoľkých sto kilogramov do niekoľko ton spracovaného odpadu za hodinu. Zdržná doba vsádzky v reaktore a parametre prevádzky sú závislé na konštrukcii reaktora a druhu spracovávaného odpadu, príklad prevádzkových parametrov ukazuje Tab. 71. Tuhý zvyšok po technologickom procese je odvádzaný spodkom reaktora chladeným závitovkovým dopravníkom. Množstvo tuhého zvyšku je závislé od druhu spracovávaného odpadu, technológie a od prevádzkových parametrov. Reaktory pre splyňovanie alebo pyrolýzu sú priemyselne vyrábané v malých sériách, v typových radách, individuálne prispôsobených konkrétnym požiadavkám.

Tab. 71 Príklady prevádzkových parametrov pyrolýznych reaktorov

	Biomasa[1]	Polymérne plasty[2]	Staré pneumatiky
Pracovná teplota	250 – 700 °C	650 – 800 °C	650 – 800 °C
Zdržná doba vsádzky	5 – 15 min	15 – 25 min	15 – 25 min
Množstvo syntézneho plynu	15 – 80 %	60 – 95 %	30 – 60 %
Množstvo syntézneho oleja (po chladení)	5 – 40 %	5 – 30 %	20 – 40 %
Tuhý zvyšok	15 – 90 %	2 – 30 %	35 – 45 %

[1] štiepka z drevín, poľnohospodárska dendromasa, piliny, ...

[2] plasty, energeticky významné zložky komunálneho a priemyselného odpadu,

[3] zmeny v závislosti od prevádzkových podmienok (torefikácia / pyrolýza / vysokoteplotná pyrolýza)

8.4.1.3 Zariadenia na úpravu a využitie syntézneho plynu

Po opustení rektora má syntézny plyn v závislosti na pracovnej teplote v reaktore teplotu 350 - 700 °C. Horúci syntézny plyn je v prevažnej miere tvorený zmesou uhľovodíkov, časť tvoria plynné a tuhé prímesi. Môže byť využitý priamo v horúcom stave alebo schladený v kondenzačných výmenníkoch a vyčistený od nežiadúcich prímesí, čím je rozdelený na syntézny plyn (za bežných tlakov a teplôt neskondenzovateľné molekuly) a syntézny olej. Kondenzačné výmenníky sú chladené technologickou vodou. Kondenzácia a frakčná destilácia z horúceho syntézneho plynu sú doplňujúcou funkciou celého komplexného zariadenia, horúci syntézny plyn môže byť priamo použitý na:

- produkciu tepla pre sušenie a priemyselné použitie,
- produkciu technologickej pary,
- schladením na vykurovací olej,
- náhrada konvenčných palív v existujúcich kotloch,
- generovanie elektrickej energie prostredníctvom ORC,
- generovanie elektrickej energie prostredníctvom parnej turbíny, ...

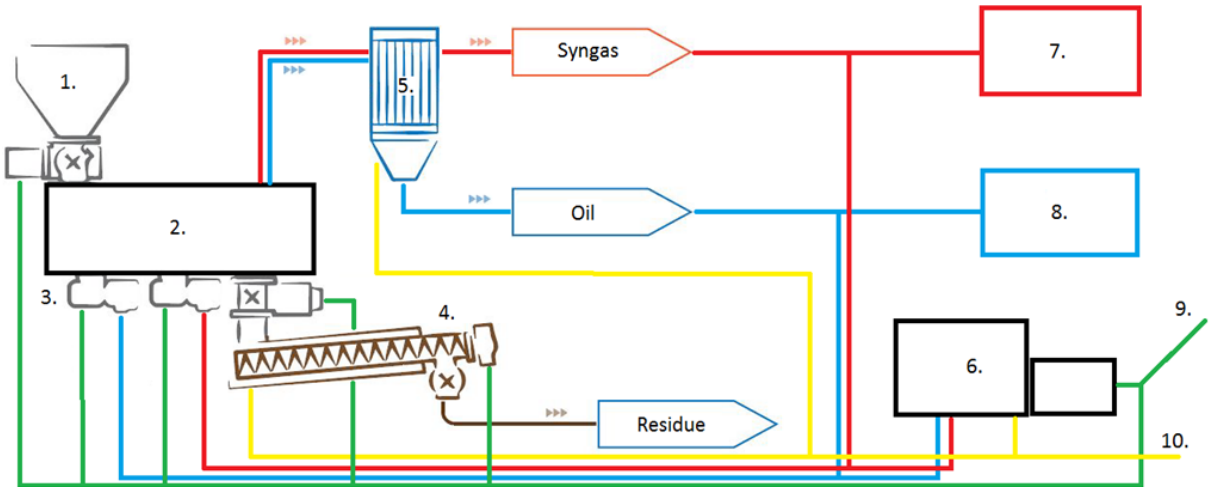
Ochladením horúceho syntézneho plynu na teplotu okolia je z neho oddelená kvapalná fáza - napr. pyrolýzny olej - je to zmes ropných frakcií, obsahujúca naftové, benzínové a olejové zložky, parafín, vosk a ďalšie časti. Tie sú následne oddeľované filtráciou. Využívajú sa buď priamo ako palivo alebo ako vstupná surovina pre chemický priemysel. Syntézny plyn o teplote okolia je ľahšie transportovateľný a poskytuje širšie možnosti uplatnenia, spracovania, separácie molekúl a využitia. Môže byť použitý na:

- produkciu elektrickej energie prostredníctvom spaľovacieho motora,
- produkciu elektrickej energie prostredníctvom spaľovacej turbíny,
- produkcia tepla pre technologické procesy,
- dodávku do plynovej siete,
- výrobu vodíka,
- využitie v palivových článkoch,
- uskladňovanie v zásobníkoch na neskoršie použitie,
- ďalšie špeciálne aplikácie.

8.4.2 Koncepčný návrh komplexného malého zariadenia na energetické zhodnocovanie plastového odpadu

Prieskumom trhu bolo zistené, že v súčasnosti nie je v trhovej ponuke zariadenie, ktoré by spĺňalo vyššie spomenuté požiadavky, a to najmä kompaktnosť a komplexnosť celého zariadenia, menšie hodinové množstvo spracovávaného plastového odpadu. Preto sa koncepčný návrh zaoberá návrhom takéhoto zariadenia, ktoré bude zostavené v prevažnej miere z komponentov, ktoré sú na trhu dostupné, celá zostava bude kompaktná, kontajnerového typu a bude komplexne riešiť všetky technologické kroky spracovania plastového odpadu, od navezenia, prípravy dopadu, jeho depolymerizačné spracovanie, až po úpravu a využitie výsledných produktov.

Koncepčný návrh vychádza z technologickej schémy na Obr. 183. Zariadenie kontajnerového typu určené na kontinuálnu prevádzku môže byť produkované v rôznych výkonnostných radách, podľa druhu a požadovaného hodinového množstva spracovávaného odpadu. Pred stavbou prototypu je nutné v prvotnej fáze postaviť experimentálne zariadenie dimenzované na hodinové množstvo 50 kilogramov plastového odpadu. V pilotnej fáze projektu budú overované jednotlivé konštrukčné a prevádzkové parametre celého zariadenia. Po fáze verifikácie a optimalizácie bude hodinová kapacita navýšená a bude vytvorený výpočtový algoritmus na stavbu a produkciu typových radov zariadení pre konkrétne aplikácie.



Legenda: **červená línia** - okruh syntetického plynu,
modrá línia - okruh syntetického oleja,
žltá línia - okruh ohrevu,
zelená línia - elektrický okruh,
hnedá línia - okruh rezíduí.

Legenda: 1. - dávkovacie zariadenie, drvič, 2. - pyrolýzny reaktor, 3. - dvojpalivové horáky, 4. - dopravník nevyužiteľných zvyškov, 5. - filtračné a kondenzačné zariadenie, 6. - kogeneračná jednotka, 7. - zásobník syntetického plynu, 8. - zásobník syntetického oleja, 9. - výstup do vonkajšej elektrickej siete, 10. - výstup do vonkajšieho vykurovacieho okruhu

Obr. 183 Technologická schéma zariadenia na spracovanie plastového odpadu

Prvá časť zariadenia bude tvorená prvotným pomalobežným drvičom, násypníkom s rýchlobežným rotačným drvičom a preosievacím a premiešavacím zariadením. Veľkosť oka sita a tým aj veľkosť častíc vstupujúcich do pyrolýzneho zariadenia bude možné meniť a tým aj optimalizovať celý proces prípravy paliva. Samotné pyrolýzne zariadenie bude tvorené valcovým reaktorom so závitovkovým miešadlom, na jeho ohrev budú použité dvojpalivové horáky umožňujúce spaľovať plynné aj kvapalné palivo. Takáto koncepcia ohrevu bola zvolená z dôvodu, že výstupom z pyrolýzneho zariadenia je syntézny plyn a olej, ktoré môžu byť priamo použité ako palivo. Priamy elektrický ohrev elektrickou špirálou bol vylúčený z koncepčného návrhu kvôli problémom, ktoré uvádza viacerá literatúra a to najmä z dôvodu tvorby spekancov na povrchu, kvôli vysokej povrchovej teplote. Pri maximálnej predpokladanej dĺžke zotrvania paliva 20 minút a predpokladanej hodinovej kapacite bude aktívny objem reaktora dimenzovaný na 150 kilogramov. Plastový odpad sa z bezpečnostných dôvodov bude v priestore reaktora nachádzať v inertnej atmosfére dusíka. Vznikajúci horúci syntézny plyn bude bezpečnostnou armatúrou prepúšťaný do nasledujúceho technologického kroku, čím sú čistenie a kondenzácia. Tuhý nevyužiteľný zvyšok bude odstraňovaný najnižšou časťou reaktora, poputuje na chladený dopravník a neskôr z neho budú odstránené prípadné kovy, zvyšok poputuje na skládku odpadu (v prípade použitia iba čistej biomasy ako paliva, je zvyšok čistý uhlík, ktorý je možné ďalej využiť - v chemickom priemysle, poľnohospodárstve pod.). Ochladený syntézny plyn a olej budú využité na opätovný ohrev pyrolýzneho reaktora a v kogeneračnej jednotke umiestnenej na konci celého technologického reťazca. Kogeneračná jednotka bude buď so spaľovacím motorom alebo so spaľovacou turbínou, ktoré budú môcť spaľovať kvapalné aj plynné palivo. Produkovaná elektrická energia bude slúžiť na pokrytie spotreby celého zariadenia, prípadne prevádzkového areálu a prebytok bude predávaný do verejnej rozvodnej siete. Teplo, ktoré bude odobrané popolčeku, kondenzačným výmenníkom a kogeneračnej jednotke bude použité v systéme vykurovania prevádzky, prípadne na vysušovanie vstupného priemyselného a komunálneho odpadu. Nespotrebovaný syntézny plyn a olej budú uskladňované do plynojemu a zásobníkov na neskoršie využitie, prípadne na predaj na ďalšie spracovanie.

8.5 Laboratórne experimentálne zariadenie

Prezentovaný koncepčný návrh kompaktného zariadenia na energetické zhodnocovanie odpadu, najmä plastového, slúži najskôr ako podklad pre stavbu experimentálneho zariadenia, na ktorom budú overované jednotlivé prevádzkové parametre, skúmaný bude vplyv druhu spracovávaného odpadu, cez proces samotného splyňovania alebo pyrolýzy až po vlastnosti výsledných produktov a ich využitie v energetike, prípadne v doprave, alebo v chemickom priemysle.

8.5.1 Umiestnenie experimentálneho zariadenia

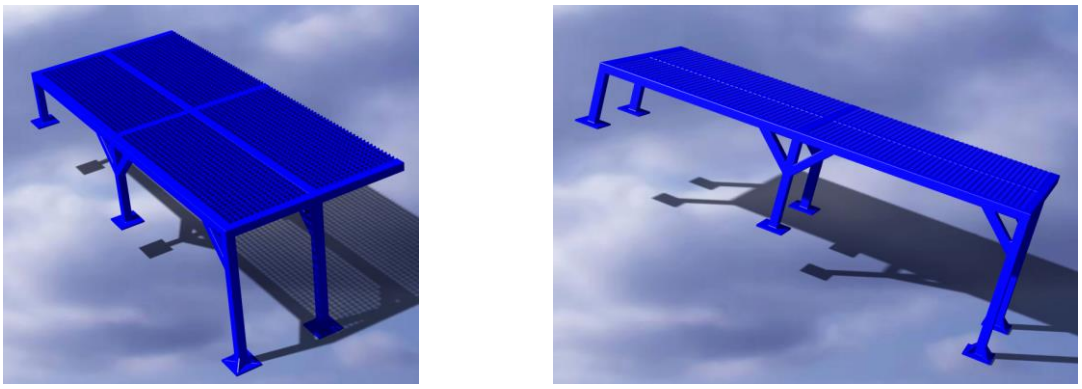
Z bezpečnostných dôvodov bude experimentálny reaktor umiestnený vo vonkajšom prostredí, na externej plošine. Všetky výstupy z inštalovaných meracích zariadení budú

vyvedené do priľahlého laboratória, kde sa bude nachádzať obsluha. Pre umiestnenie experimentálneho zariadenia bolo rozhodnuté rozšíriť existujúcu externú plošinu (Obr. 184).



Obr. 184 Pohľady na umiestnenie a rozšírenie externej plošiny

Rozširujúci modul plošiny (Obr. 185) bude umiestnený v svahovitom teréne, je tvorený zváranou oceľovou konštrukciou z profilov 100 x 100 x 5, so šiestimi stojkami na betónových základoch. Podlahu tvorí zváraný podlahový oceľový rošt SP 40 x 3. Z bezpečnostných dôvodov bude plošina doplnená o zábradlie, z technologických dôvodov bude doplnená o zastrešenie, na ochránenie meracích prístrojov a súčastí reaktora pred poveternostnými vplyvmi. Bol vykonaný statický výpočet a dimenzovanie pre zaťaženie experimentálnym reaktorom s kondenzačnými výmenníkmi a príslušenstvom podľa platných noriem.



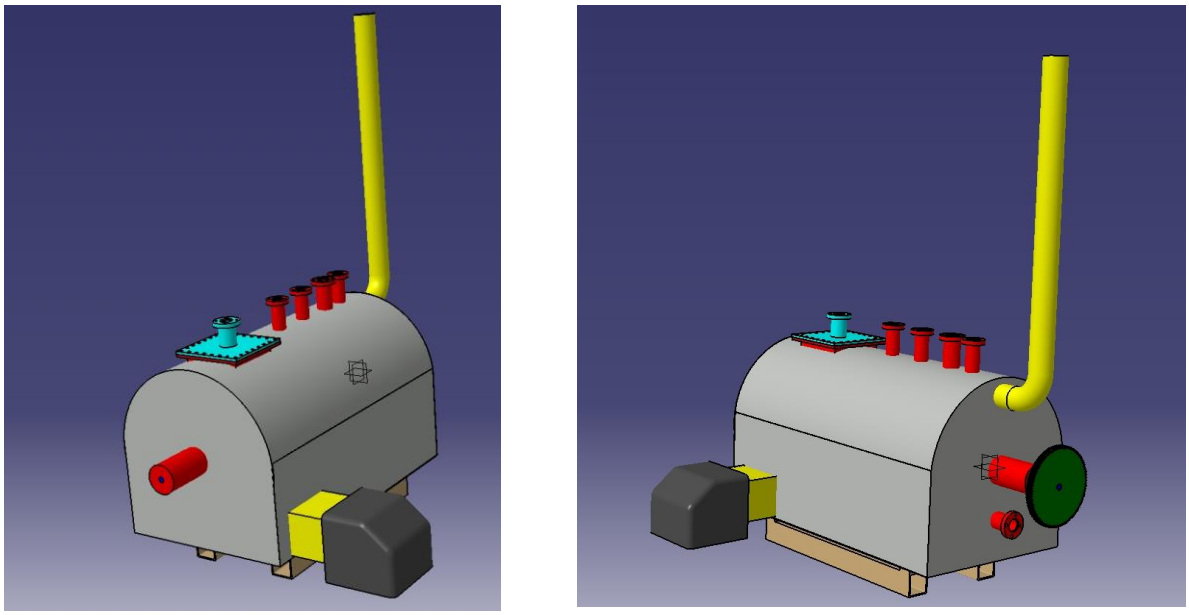
Obr. 185 Plošina pre experimentálny reaktor na energetické zhodnocovanie odpadu z automobilového priemyslu

8.5.2 Experimentálny reaktor

V tomto roku riešenia bol vykonaný výpočet a bola vytvorená konštrukčná dokumentácia pre následné verejné obstarávanie na stavbu experimentálneho reaktora (verejné obstarávanie prebehne v roku 2021). Konštrukcia experimentálneho reaktora vychádza z konštrukcií rektorov na termálne zhodnocovanie odpadov dostupných na trhu. Ako bolo spomenuté v predchádzajúcom texte, na trhu nie sú dostupné malé laboratórne reaktory vhodné pre náš výskum, preto bolo nutné optimalizovať celú konštrukciu pre dané použitie.

Experimentálny reaktor je konštruovaný ako diskontinuálny, výpočtové množstvo vstupného materiálu je 10 kg na jeden cyklus. Optimalizácia vychádzala z jednotkového množstva pracovnej náplne a z výsledkov experimentálneho hodnotenia fyzikálno-chemických vlastností odpadu z automobilového priemyslu. Hodnotením výsledkov bol vytvorený zjednodušený algoritmus a model ohrevu vsádzky (plastifikačné a výparné teploty pri atmosférickom tlaku, stupeň vzrastu tlaku a pod., z týchto predpokladov boli určené pracovné teploty reaktora, tepelný výkon ohrevu, ...), stanovené požadované rozmery reaktora a pod.

Principiálne je konštrukcia reaktora tvorená dvomi uzatvorenými rúrami (Obr. 186), priestor vnútornej rúry je pracovným priestorom reaktora, priestor medzi vonkajšou a vnútornou rúrou je priestor pre prúdenie spalín z plynového horáka. Reaktor je konštruovaný zo žiaruvzdornej nehrdzavejúcej ocele pre chemický a olejový priemysel - DIN 17249. Vonkajšia rúra je tepelne izolovaná izoláciou Sibral Fiberfrax hrúbky 100 mm pre vysoké teploty s hliníkovou fóliou na povrchu, tepelná izolácia je následne oplechovaná. Celý reaktor je ložený v sklone 10° (uľahčenie vypúšťania a čistenia).

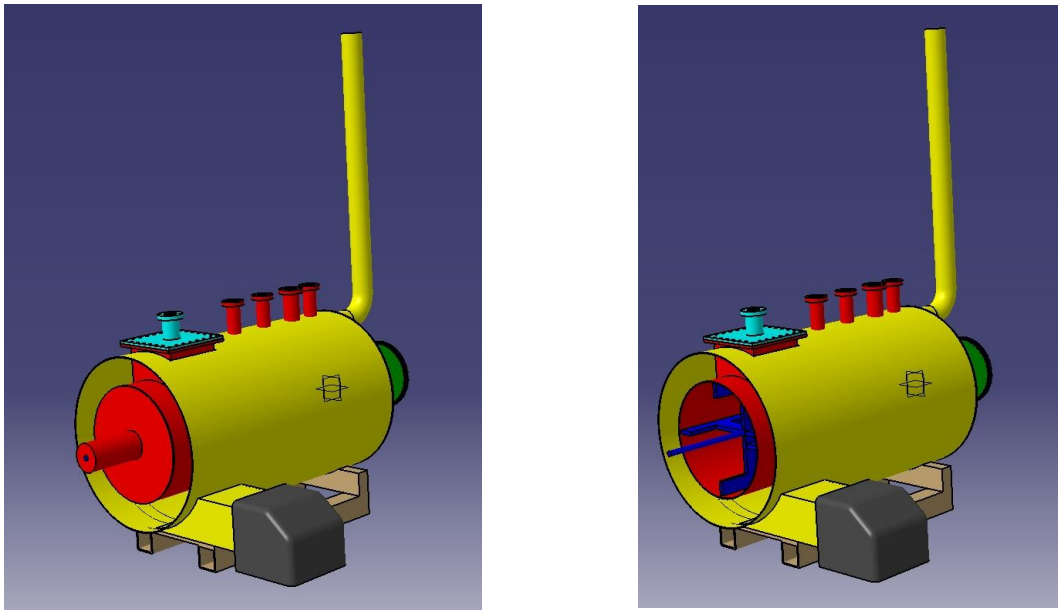


Obr. 186 Pyrolýzny reaktor zostava

Ohrev vsádzky reaktora je realizovaný prestupom tepla cez vnútornú stenu zo spalín prírubového blokového plynového horáka Weishaupt na zemný plyn. Horák má maximálny tepelný výkon 50 kW s plynulou moduláciou výkonu v rozsahu 12,5 až 50 kW. Prestup tepla zo spalín je intenzifikovný ich tangenciálnym pohybom - umiestnenie blokového horáka

a prepážky v priestore medzi vnútornou a vonkajšou rúrou. Spaliny po odovzdaní tepla odchádzajú spalinovodom do okolitého prostredia. Modulácia požadovaného výkonu je závislá na požadovanej pracovnej teplote (uvažované je s pracovnou teplotou v rozsahu 250 až 800 °C).

Pracovný priestor pyrolýzneho reaktora je tvorený rúrou s dvomi čelami, predné čelo je odnímateľné (pre úkony čistenia vnútorného priestoru a údržby miešadla), všetky ostatné vstupy a výstupy sú z bezpečnostných dôvodov vyústené mimo priestoru ohrevu. Na hornej strane je umiestnený násypný otvor pre vstupnú surovinu (odpad z automobilového priemyslu spolu s depolymerizačnými katalyzátormi) - utesnené veko so skrutkovými spojmi a prírubový spoj na odber pyrolýzneho plynu. Ostatné prírubové pripojenia slúžia na umiestnenie bezpečnostných prvkov (pretlakového poistného ventilu s núdzovým odvetraním pracovného priestoru do núdzového komínu), meranie pracovnej teploty a tlaku a plnenie pracovného priestoru inertnou atmosférou. Na zadnom čele je prírubové pripojenie na odber pyrolýzneho oleja a odstraňovanie zvyškov po pracovnom cykle.

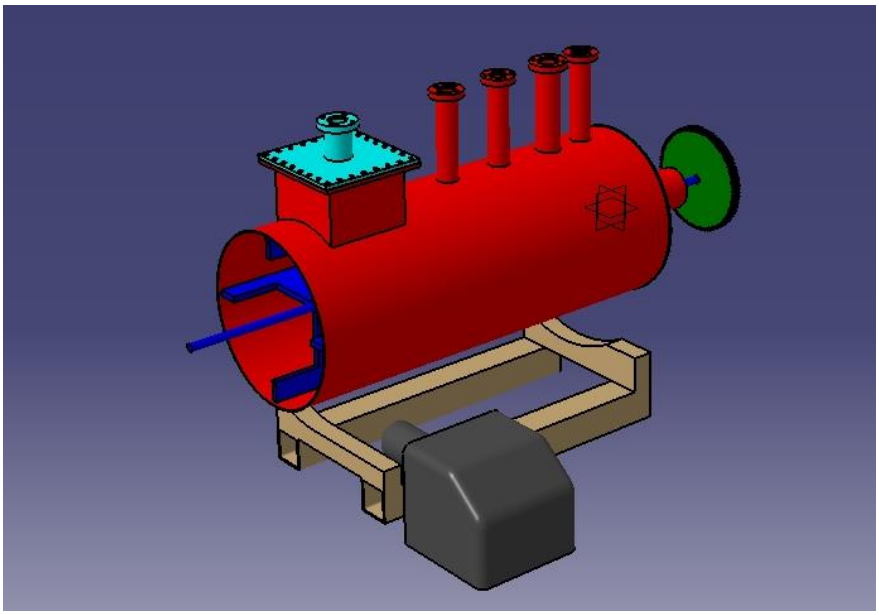


Obr. 187 Pyrolýzny reaktor - zostava bez tepelnej izolácie, otvorené predné čelá

Vo vnútornom priestore sa nachádza miešadlo, ktoré má zabrániť spekaniu vstupného materiálu pri vysokých teplotách. Miešadlo je uložené v chladených klzných ložiskách s keramickým povlakom, uloženie je situované mimo reaktor. Pohon miešadla je cez ozubené koleso na zadnej strane a jednofázový elektromotor s pastorkom, elektromotor je pripojený cez frekvenčný menič čím je možné meniť aktuálnu rýchlosť miešania v závislosti na pracovných podmienkach v reaktore.

Vonkajšia rúra má na vnútornej strane navarené prepážky, ktoré zabezpečujú špirálový pohyb spalín na zintenzívnenie prestupu tepla a rovnomernejšie rozloženie teploty v pracovnom priestore pyrolýzneho reaktora. Má takisto odoberateľné predné čelo, sú v nej vytvorené prechody pre jednotlivé vstupy a výstupy, vstupné hrdlo s prírubou pre blokový horák je dostatočne dlhé, aby plamene nedosahovali a zbytočne bodovo neprehrievali

pracovný priestor reaktora. V zadnom čele je vyvedenie spalín z blokového horáka na zemný plyn.



Obr. 188 Pracovný priestor pyrolýzneho reaktora s miešadlom

Reaktor je umiestnený v sklone 10°, je uvažované aj so zmenou jeho sklonu pomocou pomocného rámu. Viaceré literárne zdroje uvádzajú sklon ako dôležitý parameter pre správne fungovanie depolymerizačného zariadenia.

Odoberaný syntetický plyn a pyrolýzny olej budú následne čistené a ochladzované v kondenzačných výmenníkoch. Chladenie výmenníkov je zabezpečené chladiacou vodou, chladiaci výkon je modulovaný jej prietokom a teplotou. Neskondenzovateľné zložky plynu budú uskladňované do plynojemu, kondenzát v zbernej nádrži.

8.6 Výsledky experimentálneho hodnotenia fyzikálno-chemických vlastností plastového odpadu

Pre správny návrh konštrukcie zariadenia na mechanickú prípravu materiálu - drviča a zariadenia na termické spracovanie odpadu z automobilového priemyslu - pyrolýzneho reaktora bolo nutné vykonanie laboratórneho overenia fyzikálno-chemických vlastností vybraných vzoriek odpadu. Laboratórne overovanie prebiehalo podľa príslušných noriem, vzorky materiálu pochádzali z reprezentatívnych častí vyradených automobilov, overovanie prebiehalo podľa príslušných noriem na skúšanie vlastností ako: pevnosť, ťažnosť, tepelná odolnosť, teplota topenia, zápalná teplota, bod vznietenia a pod. Kvôli pandemickej situácii neboli všetky hodnotiace ukončené.

Pojem plasty sa zaužíval v minulom storočí pre ich vlastnosť - plastifikáciu, vďaka ktorej je možné z nich vytvárať rôzne výrobky aj komplikovaných tvarov pomerne jednoduchým spôsobom, zohriatím materiálu na plastifikačnú teplotu, kedy mäknú a nárastom teploty sa stávajú až tekuté. V takejto podobe sú spracovávané extrúziou, vstrekovaním a tvarovaním.

Plasty je možné za bežných teplôt opracovávať aj trieskovým obrábaním, preto je ich použitie naozaj veľmi široké. A to nie len kvôli veľkým možnostiam ich spracovania, ale aj kvôli ich obrovskej rôznorodosti, čo sa týka ich fyzikálno-chemických vlastností. Plasty nahradili iné materiály aj z energetických dôvodov, pretože energetická náročnosť spracovania plastov je neporovnateľná napr. s metalurgickým priemyslom, čím sa šetria aj energetické zdroje a nie v zanedbateľnej miere.

Zaradenie polymérnych materiálov do systémových skupín je pomerne komplikované. Polyméry sú materiály s vysoko variabilnou chemickou štruktúrou a tým aj vlastnosťami, preto je systematická kategorizácia polymérov na základe univerzálneho kritéria prakticky nemožná. Z toho dôvodu sa rozdeľujú na základe rôznych kritérií (napr. podľa pôvodu, chemického zloženia, charakteru chemickej reakcie, ktorou vznikli, podľa ich chovania pri zaťažení teplotou a tlakom a pod.). Ako príklad sú uvedené nasledujúce rozdelenia:

a) Rozdelenie podľa pôvodu:

- ***Prírodné polymérne materiály*** - bielkoviny, celulóza, kaučuk, z ktorých možno vyrobiť technické polymérne materiály, napr. gumu, celuloid, celofán a i.
- ***Syntetické polymérne materiály*** - vznikli polyreakciami z organických i anorganických nízkomolekulových látok (napr. polyetylén, polystyrén, epoxid, polytetrafluóretylén, polymetylmetakrylát, silikóny a i.).

b) Rozdelenie podľa chemickej reakcie, ktorou vznikli:

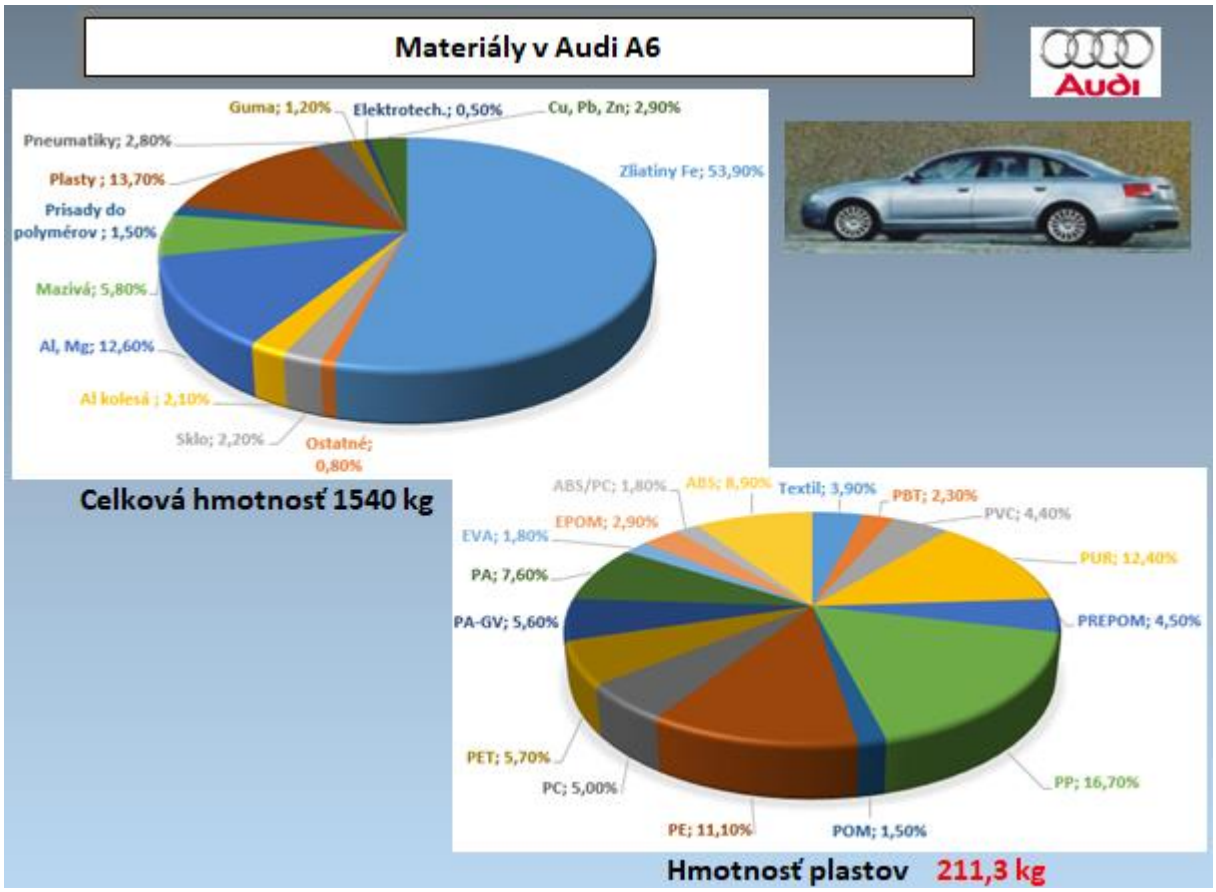
- polyméry pripravené polymerizáciou,
- polyméry pripravené polykondenzáciou,
- polyméry pripravené polyadíciou,

c) Rozdelenie podľa elasticko-plastických vlastností:

- ***Termoplasty*** - sú polymérne materiály, ktoré pri vyšších teplotách prechádzajú do formy vysoko viskóznej kvapaliny (vo väčšine prípadov pseudoplastickej), ktorú možno tvarovať a následným ochladením stabilizovať jej tvar. Tento proces je opakovateľný, to znamená, že polymér možno opätovným zahriatím uviesť do plastického stavu a znovu tvarovať. Termoplasty sa za bežných teplôt správajú ako tuhé telesá. Do tejto skupiny patria napr. polyetylén, polypropylén, polyamid a i.
- ***Reaktoplasty*** - sú typy polymérov, ktoré nadobúdajú konečné vlastnosti až po zosieťovaní. Husté zosieťované polymérne štruktúry, v ktorých sú makro-molekulové reťazce pospájané kovalentnými väzbami, vznikajú pôsobením sieťovacích činidiel (vytvrdzovadlá) alebo účinkom tepla. V procese vytvrdzovania sa tvarujú na tvar výrobku a po ukončení vytvrdzovacej chemickej reakcie sú tvarové zmeny nevratné. Vzniknuté polyméry sú netaviteľné a nerozpustné, nevykazujú prakticky žiadnu elastickú deformáciu a nie je možné uviesť ich opätovne do plastického stavu. Reaktoplasty sú napr. polyesterové, epoxidové, fenolformaldehydové živice a pod.

- ***Elastoméry*** (kaučuky) - sú polyméry s výraznou pružnosťou a nízkou tuhosťou. Po vytvorení priečnych väzieb medzi ich makromolekulami (vulkanizácii) dochádza k potlačeniu plastického toku materiálu, polymér sa stáva vysoko elastický, značne odolný voči plastickej deformácii. Vzniká materiál, všeobecne označovaný ako guma. Predstaviteľmi elastomérov sú prírodné a syntetické kaučuky (napr. SBR, BR, NBR a i.). [8]

Najväčšie zastúpenie v automobilovom priemysle majú polypropylén (PP), polyuretán (PUR), polyetylén (PE), akronitrilbutadiénstyrén (ABS), polyamid (PA) a polyetylénteraftalát (PET), preto im pri experimentálnom overovaní budeme venovať aj väčšiu pozornosť.



Obr. 189 Percentuálne (hmotnostné) zastúpenie materiálov a jednotlivých druhov polymérov v automobile Audi A6 C5 (1997 - 2005) [8]

8.6.1 Popis jednotlivých druhov plastov

Polyolefíny, čiže syntetické polyméry, ktoré vznikajú polymerizáciou uhľovodíkov, konkrétne alkénov, čiže olefínov a obsahujú jednu dvojitú väzbu. Patria medzi ne termoplasty, ale aj elastoméry. Najznámejšie polyolefíny sú polyetylén (PE) a polypropylén(PP).

8.6.1.1 Polypropylén (PP)

Polypropylén je polokryštalický termoplast. Poznáme izotaktický (čistý), syndiotaktický a ataktický polypropylén.

Tab. 72 Fyzikálne vlastnosti polypropylénu

Hustota [g.cm^{-3}]	0,90 – 0,91
Pevnosť v ohybe [MPa]	43
Pevnosť v ťahu [MPa]	30
Ťažnosť [%]	700
Modul pružnosti v ťahu [MPa]	1 500
Tepelná odolnosť (Martens) [°C]	30 – 40
Tepelná odolnosť (Vicat) [°C]	80 – 90
Koeficient objemovej rozťažnosti (30 – 120°C) [1/K]	4,8 – 6.104
Koeficient tepelnej vodivosti pri 20 °C [J.m^{-1}.K^{-1}]	1,10 - 1,17
Merné teplo pri 20 °C [J.m^{-1}.K^{-1}]	0,4
Nasiakavosť (po 7 dňoch) [%]	0,1
Teplota topenia [°C]	160 - 176
Zápalná teplota [°C]	350 - 370
Bod vznietenia [°C]	370 - 390
Spalné teplo [MJ.kg^{-1}]	45
Trvalá tepelná odolnosť [°C]	105

8.6.1.2 Polyetylén (PE)

Polyetylén je polokryštalický termoplast s podielom kryštalickej fázy v rozmedzí 50 až 85 %. Kryštalické fázy zabezpečujú vyššiu pevnosť. Jeho merná hmotnosť sa pohybuje od 0,85 do 0,90 g.cm^{-3}, polyetylén je teda ľahší ako voda. Je bez chuti a zápachu a fyziologicky neškodný. Polyetylény sú typickými plastami, ktorých vlastnosti mimoriadne závisia od štruktúry. Štruktúrna závislosť vlastností je preto základným parametrom na rozlíšenie jednotlivých druhov polyetylénov a odvíjajú sa od nej aj ich názvy.

Rozdelenie polyetylénov:

- **PE-LD** nízkohustotný (rozvetvený, vysokotlakový) polyetylén,
- **PE-HD** vysokohustotný (lineárny, nízkotlakový) polyetylén,
- **PE-MD** strednohustotný polyetylén,
- **PE-LLD** lineárny nízkohustotný polyetylén,
- **PE-VLD** veľmi nízkohustotný polyetylén,
- **MPE-LLD** metallocenový lineárny nízkohustotný polyetylén,
- **PE-UHMW** ultravysokomolekulový polyetylén,
- **PE-X** zosieťovaný polyetylén.

Vlastnosti polyetylénu závisia od molekulovej hmotnosti, priestorového usporiadania mérov v reťazci makromolekuly a stupňa kryštalinity.

Polyetylén s nízkou hustotou **PE-LD** (z anglického low density) má hustotu v rozmedzí 0,85 - 0,93 g.cm^{-3} . Dôvodom nízkej hustoty je veľký počet dlhších bočných CH_3 skupín v reťazci.

Vysoká rozvetvenosť bráni tesnému usporiadaniu makromolekúl, preto sa PE-LD vyznačuje nízkym obsahom kryštalitov, 40 - 50 %.

Polyetylén **PE-HD** (z anglického high density) má hustotu v rozmedzí 0,945 - 0,965 g.cm^{-3}. Dôvodom vysokej hustoty je nerozvetvený lineárny reťazec, ktorý umožňuje vznik väčšieho 108 množstva kryštalitov, a to 60 - 80 %. S použitím katalyzátorov kovov prechodného mocenstva (chróm, molybdén) sa vyrába vysokohustotný polyetylén PE-HD s hustotou v rozmedzí 0,95 - 0,97 g.cm^{-3}. Obsahuje vysoké množstvo kryštalitov až do 85 %.

S použitím rôznych katalyzátorov a iniciátorov sa vyrába lineárny polyetylén s nízkou hustotou, **PE-LLD** (z anglického linear low density). Je to kopolymér PE a vyššieho α-olefínu. Jeho hustota je porovnateľná s PE - LD.

Pomocou Zieglerovej metódy sa vyrába aj polyetylén s veľmi vysokou molekulovou hmotnosťou **PE-UHMW**.

Nizkotlakovou polymerizáciou s použitím nových katalyzátorov, metallocénov sa vyrábajú metallocenové polyetylény **MPE-LLD**. Od obvyklých PE-LLD sa líšia užšou distribučnou krivkou molekulových hmotností.

PE-VLD je polyetylén s veľmi nízkou hustotou, medzi 0,880 až 0,910 g.cm^{-3}. Tieto ultraľahké typy sú kopolyméry alebo terpolyméry (polymerizácie sa zúčastňujú tri typy monomérov) etylénu až s 10 % vyšších α-olefínov, ako oktén, tetrametylpentén, spolu s propylénom.

PE-X je zosieťovaný polyetylén. Zosieťovanie sa uskutočňuje počas spracovania vplyvom sieťovacích prísad.

Tab. 73 Porovnanie vlastností typov vybraných polyetylénov

Vlastnosť	Jednotka	PE-LD	PE-HD	PE-UHMW
Fyzikálne				
Hustota	g.cm^{-3}	0,85-0,93	0,94-0,97	0,935
Mechanické vlastnosti				
Modul pružnosti v ťahu 23 °C	MPa	100-500	700-1400	300
Modul pružnosti v ťahu 50 °C	MPa	30-100	400-900	150
Modul pružnosti v ťahu 100 °C	MPa	pod 10	80-200	-
Pevnosť 23 °C	MPa	8-23	18-35	nad 20
Pevnosť 80 °C	MPa	2	4-6	8
Tepelné vlastnosti				
Koeficient dĺžkovej teplotnej rozťažnosti	K^{-1}	2,5.10-4	2.10-4	2.10-4
Teplota použitia, maximálna krátkodobá	°C	80-90	90-120	-
Teplota použitia, maximálna trvalá	°C	60-75	70-80	-
Teplota použitia, minimálna trvalá	°C	-50	-50	-
Spalné teplo	MJ.kg^{-1}	46-47		
Teplota vznietenia	°C	380 - 390		

8.6.1.3 Polyuretán (PUR)

Polyuretány obsahujú v hlavných makromolekulárnych reťazcoch skupiny -O -CO –NH-. Patria do rozsiahlej skupiny polyesteramidov, teda polymérov, ktoré sú z chemického hľadiska kombináciou polyesterov a polyamidov. Lineárne polyuretány majú strednú mólovú

hmotnosť, väčšinou v rozsahu od 7 kg 126 mol^{-1} do 12 kg mol^{-1}. Ak presiahne jej hodnota 15 kg mol^{-1}, sú už polyméry čiastočne zosieťované.

8.6.1.4 Akronitrilbutadiénstyrén (ABS)

Kopolymerizáciou akrylonitrilu, butadiénu a styrénu sa podarilo vplyvom akrylonitrilovej zložky zvýšiť chemickú odolnosť. Súčasne vplyvom butadiénnej zložky sa podstatne zvýšila húževnatosť polystyrénu, a to pri zachovaní spoľahlivých mechanických vlastností. Terpolyméry ABS sú dobre spracovateľné prakticky všetkými bežnými technologickými postupmi používanými pre termoplasty, z ktorých sú najvýznamnejšie vstrekovanie a vytláčanie. Prichádzajú na trh v rade rôznych typov s charakteristickou húževnatosťou, mechanickými vlastnosťami a chemickou odolnosťou. Tvrdý a lesklý povrch výrobkov má atraktívny vzhľad a môže byť ľahko galvanicky pokovaný. Ich použitie je veľmi široké, v strojárenstve, automobilovom priemysle, pri stavbe lodí, v stavebníctve, v obalovej technike, v spotrebnom priemysle atď. Obzvlášť sa uplatňujú vo forme tzv. kompozitných materiálov, t.j. polymérov vystužených napr. sklenenými vláknami, čím sa dosahuje ďalšie zvýšenie mechanických vlastností. [8]

8.6.1.5 Polyamid (PA)

Polyamidy sú lineárne polyméry charakterizované polymérnym reťazcom, v ktorom sa pravidelne striedajú skupiny -CO –NH- s väčším počtom skupín metylénových, teda -CH_2-.

Polyamidov je viac druhov, najpoužívanejší je však PA66. V porovnaní s polyamidom 6 má výhodu vo vyššej teplote topenia, väčšej pevnosti a menšej nasiakavosti, predovšetkým však v tom, že neobsahuje žiadny monomér, takže odpadá jeho odstraňovanie a možno ho tiež bez obáv použiť ako fólie napr. pri balení potravín. Veľmi rozšírené je však aj jeho zvlákňovanie. V železničnej doprave sa používa pri výrobe tlmiacich vložiek do betónových podvalov a tlmiacich podložiek pod spoje koľajníc. V menšom objeme sa vyrába polyamid 610. Porovnanie jeho vlastností s vlastnosťami polyamidu 6 a 66 je uvedený v nasledovnej Tab. 74:

Tab. 74 Porovnanie vlastností vybraných polyamidov

Vlastnosť	PA6	PA66	PA610
Hustota [kg.m^{-3}]	1120	1130	1070
Teplota topenia [°C]	215- 220	250 - 260	210 - 215
Modul pružnosti v ťahu [MPa]	1300	1700	1250
Nasiakavosť [hmot. %]	11	10	4
Teplotná odolnosť [°C] (krátkodobé použitie)	140 - 180	170 - 200	210 - 220

8.6.1.6 Polyetylénteraftalát (PET)

PET patrí medzi termoplastické polyestery, čiže v hlavnom reťazci sa nachádzajú esterové väzby a je polykondenzátom kyseliny teraftalovej a etylénglykolu.

Používa sa hlavne na výrobu vláken a následne na výrobu textílií, tkanín a napr. lán. Tým, že má vynikajúce elektroizolačné vlastnosti, využíva sa aj ako obal vodičov. Tým že jeho

pružnosť je v porovnaní s ostatnými plastami najlepšia a to už od teplôt -70 °C až po 130 °C a málo prepúšťa vlhkosť a plyny, využíva sa aj v automobilovom priemysle, ale aj ako obalový materiál na potraviny a výrobu fliaš na nápoje. Je odolný aj voči olejom.

8.7 Záver

Cieľom predloženej správy druhého roka riešeného projektu je prezentácia progresu v riešení problematiky energetického zhodnocovania odpadu z automobilového priemyslu.

Táto etapa riešenia projektu bola zameraná na dva prioritné ciele:

- spaľovanie a spoluspaľovanie,
- splyňovanie a pyrolýza.

Spaľovanie a spoluspaľovanie vnímame aj ako spoločenskú objednávku pre riešenie vyvstávajúcich problémov v energetike, doprave a kvalite životného prostredia. Obrazom toho je aj testovacia prevádzka tepelnej elektrárne Vojany, kde sa uvažuje s týmto palivom do budúcnosti. Použitie TAP ako náhrady za uhlie je výhodné hneď z niekoľkých hľadísk:

- zníženie množstva skládkovaného odpadu,
- energetické využívanie komunálneho a priemyselného odpadu,
- priaznivý vplyv na zníženie produkcie skleníkových plynov,
- náhrada uhlia v jestvujúcich energetických zdrojoch.

Počas sledovaného obdobia boli vykonané viaceré laboratórne skúšky na overenie fyzikálno-chemických vlastností TAP tvoreného drevnou štiepkou a odpadom z automobilového priemyslu. Variované boli hmotnostné podiely jednotlivých zložiek, ich granulometria, spôsob mechanickej prípravy vstupného materiálu. Výsledky spaľovacích skúšok sú priaznivé a v nasledujúcom období budeme naďalej pracovať na dosiahnutí vytýčených cieľov.

Na dosiahnutie druhého cieľa - pyrolýzne spracovávanie odpadu z automobilového priemyslu boli vykonané laboratórne overovania fyzikálno-chemických vlastností vybraných reprezentatívnych vzoriek odpadu z autovrakov, prieskumom trhu bola určená optimálna konštrukcia pre malé zriadenie na termické zhodnocovanie odpadu, vytvorená bola technická dokumentácia pre úpravu drviaceho zariadenia a stavbu laboratórneho pyrolýzneho reaktora. Na experimentálnom reaktore budú skúmané prevádzkové teploty, vplyv zloženia vstupného materiálu, vplyv pridávaných katalyzátorov, zloženie výstupného pyrolýzneho plynu a oleja. Na stavbu experimentálneho reaktora bude v roku 2021 vypísané verejné obstarávanie.

Poďakovanie

Táto práca vznikla v rámci projektu združenia univerzít, UNIVNET č. zmluvy 0201/0082/19 a jeho finančnej podpory.

8.8 Zoznam použitej literatúry

[1]. BEUKENS, A.: Incineration Technologies, Springer, (2013)

[2]. ČARNOGURSKÁ, M., LAZÁR, M.: Plazmové spracovanie a zhodnocovanie odpadu. Košice: Strojnícka fakulta Technickej univerzity v Košiciach. 2013. 164 s. ISBN 978-80-553-1541-0.

[3]. ČERMÁK, O. a kol. 2008. Životné prostredie. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2008. 390 s. ISBN 978-80-227-2958-1.

[4]. HESTER, R.E. – HARRISON, R.M. 1994. Waste Incineration and the Envirinment, Royal Society of Chemistry 1994. 158 s. ISBN 0-85404-205-9.

[5]. JANDAČKA, J. a kol.: Energetické využitie komunálneho odpadu. Žilina: UNIZA – edis, 2014. 170 s. ISBN 978-80-554-0923-8.

[6]. JANDAČKA, J. a kol.: Produkcia komunálneho odpadu. Žilina: UNIZA – edis, 2014. 113 s. ISBN 978-80-554-0897-2.

[7]. KARAGIANNIDIS, A.: Waste to Energy, Opportunities and Challengers for Developing and Transition Economies, Springer, 2012

[8]. LIPTÁKOVÁ, T., ALEXY, P., GONDÁR, E., KHUNOVÁ, V.: Polymérne konštrukčné materiály, UNIZA – edis 2012, ISBN 978-80554-0505-6

[9]. MÁTEL, F. 2000. Možnosti recyklácie plastového odpadu z autovrakov. In: Halousková, O.: Recyklace jako součást životního cyklu automobilu. Seč: Juniorcentrum Seč, 2000, s. 65-66, ISBN 80-7080-410-6.

[10]. MÁTEL, F. 2008. Recyklácia plastov z ojazdených vozidiel. In: ai magazine, roč. 1, 2008, č. 1, s. 50, ISSN 1337–7612.

[11]. PUIGJANER, L.: Syngas from Waste, Emerging Technologies, Springer, (2011).

[12]. PATSCH, M., PILÁT, P.: Conceptual Design of a Small Device for Energy Recovery of Waste from the Automotive Industry, TOP2020

[13]. STRINČÍK, M.: Možnosti využitia tuhého paliva vyrobeného z odpadu na Slovensku, SES 2019.

[14]. Eurostat

[15]. Národný program znižovania emisií SR

[16]. Návrh Nízkouhlíkovej stratégie rozvoja Slovenskej republiky do roku 2030 s výhľadom do roku 2050

[17]. Stratégia environmentálnej politiky Slovenskej republiky do roku 2030

[18]. https://www.biogreen-energy.com

[19]. https://www.euractiv.sk

[20]. https://www.europarl.europa.eu

[21]. https://www.odpady-portal.sk

[22]. https://www.profing.sk

[23]. https://www.pwr.sk

[24]. https://www.slovnaft.sk

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1 Autorizovaní spracovatelia starých vozidiel SR 14
Obr. 2 Zberné miesta starých vozidiel 14
Obr. 3 Množstvo materiálu a odpadu z váhy vozidla v % 15
Obr. 4 Kam s týmto odpadom? 17
Obr. 5 Prúd odpadu recyklovateľných materiálov - odberatelia 17
Obr. 6 Druhy nebezpečných látok a ich odberatelia 18
Obr. 7 Druhy nebezpečných látok a ich odberatelia 18
Obr. 8 Materiály určené na skládku, ktoré sa nedajú ekologický zhodnotiť 19
Obr. 9 Podiel výnosových a nákladových materiálov vozidiel 20
Obr. 10 Systém delegovania zodpovednosti: OZV – organizácia zodpovednosti výrobcov, KC – koordinačné centrum, Spracovateľ – spracovateľ odpadov 24
Obr. 11 Vzťah medzi reálnym rastom hodinovej produktivity práce a rastom reálnych hodinových miezd v spracovateľskom priemysle (stále ceny roku 2015 a harmonizovaný index spotrebiteľských cien) 33
Obr. 12 Štruktúra domácej produkcie odvetvia 29.1 34
Obr. 13 Štruktúra domácej produkcie odvetvia 29.2 + 29.3 34
Obr. 14 Použitie produktov 29.1 a 29.2+29.3 35
Obr. 15 Konečné použitie produktov 29.1 a 29.2+29.3 35
Obr. 16 Štruktúra produkcie generovaná exportom motorových vozidiel v ostatných odvetviach v % 36
Obr. 17 Štruktúra pridanej hodnoty generovaná exportom motorových vozidiel v ostatných odvetviach v % 39
Obr. 18 Štruktúra najväčších dodávateľov komponentov r. 2013 (s podielom nad hodnotu 0,0001 technologických koeficientov na produkcii odvetvia automobilového priemyslu) 40
Obr. 19 Podiel najväčších dodávateľov komponentov pre odvetvie automobilového priemyslu podľa priamych technologických koeficientov za rok 2013 41
Obr. 20 Štruktúra najväčších dodávateľov komponentov v r. 2017 (s podielom nad hodnotu 0,0001 technologických koeficientov na produkcii odvetvia automobilového priemyslu) 42
Obr. 21 Podiel najväčších dodávateľov komponentov pre odvetvie automobilového priemyslu podľa priamych technologických koeficientov za rok 2017 43
Obr. 22 Výdavky na vedu a výskum (R&D) ako % HDP (2000 - 2018) 45
Obr. 23 Miera opätovného využitia ELV, 2018 46
Obr. 24 Miera zhodnotenia ELV, 2018 46

Obr. 25 Motorizácia európskych krajín na 1000 obyvateľov, 2018 46
Obr. 26 Podiely skupín automobilovej flotily podľa veku vozidla, 2018 46
Obr. 27 Hierarchia odpadového hospodárstva 48
Obr. 28 Vývoj indikatívnych cien skla (v eurách za tonu) 50
Obr. 29 Vývoj indikatívnych cien skla (v eurách za tonu) 51
Obr. 30 Sankey diagram materiálového toku v ekonomike SR v roku 2018 (v tis. ton) 69
Obr. 31 Vývoj množstva materiálu prechádzajúceho uzlom recyklácie (recycling) [2] 71
Obr. 32 Vývoj množstva materiálu prechádzajúceho uzlom skládkovanie (landfilling) [2] 71
Obr. 33 Kritériá na vyhľadávanie zariadení na nakladanie s odpadom v informačnom subsystéme platformy 76
Obr. 34 Integrovaná platforma „SmartOdpady“ s interaktívnou mapou a vyhľadávaním 78
Obr. 35 Lineárne hospodárstvo (vľavo) a obehové hospodárstvo (vpravo) 79
Obr. 36 Rámcová štruktúra vyhľadávania partnera pre výskum a vývoj 80
Obr. 37 Rámcová štruktúra vyhľadávania dodávateľa komerčných technológií 80
Obr. 38 Rámcová štruktúra požiadavky na projekt pre vývojové práce 80
Obr. 39 Princíp tepelných separačných procesov 90
Obr. 40 Návrh koncepcie technológie na spracovanie vrstvených skiel 91
Obr. 41 Silné a slabé stránky 93
Obr. 42 Príležitosti, ohrozenia 93
Obr. 43 Logistika prípravy zariadení a priebeh experimentu 94
Obr. 44 Špecifikácia postupu pri realizácii experimentov 95
Obr. 45 Schéma obíjania skla kladivom o valec, vodný kúpeľ 95
Obr. 46 Fólia s časticami skla po obíjaní kladivom 96
Obr. 47 Chlorid vápenatý, čistá fólia s malými mikročasticami skla 96
Obr. 48 Chlorid vápenatý bezvodý 97
Obr. 49 Lisovania pod hydraulickým lisom: a) prípravok do hydraulického lisu, b) pozdĺžne lisovanie, c) priečne lisovanie 97
Obr. 50 Fólia s neoddeleným sklom po praní v roztoku 98
Obr. 51 Fólia s malými časticami skla 98
Obr. 52 Stĺpový hydraulický lis, fólia s malými časticami skla 99
Obr. 53 Lis VEB Werkstoffprüfmaschinen 99
Obr. 54 Čelné vrstvené autosklo pripravené na recykláciu: celé (vľavo); pripravené kusy (vpravo) .. 100
Obr. 55 Testovacie razníky: razník 1 s vnútorným profilom v tvare „V“; razník 2 s vnútorným profilom rádiusu R = 70 mm 100
Obr. 56 Razník 1 pri procese drvenia skla 100

Obr. 57 Spôsob porušenie vrstvy skla na vzorke po použití razníka 1 100
Obr. 58 Razník 2 pri procese drvenia skla 101
Obr. 59 Vzorky skla po drvení razníkom 2 101
Obr. 60 Vzorka odseparovaného skla od fólie razníkom 2 101
Obr. 61 Prídavný ohrev testovanej vzorky skla pomocou teplovzdušnej pištole 102
Obr. 62 Fólia so sklom pred nahriatím (vľavo) a po oddelení niektorých fragmentov skla (vpravo) .. 102
Obr. 63 Vzorka poodlupovaného skla od fólie 102
Obr. 64 Vplyv chladiacej kvapaliny na podrvenú vrstvu skla 103
Obr. 65 Proces oddeľovania skla od fólie po vstrekovaní chladiacej kvapaliny 103
Obr. 66 Kvalita čistoty povrchu a súvislosti recyklovanej fólie PVB 104
Obr. 67 Výsledné veľkostné frakcie 106
Obr. 68 Posledná sklená frakcia oddelená chemicko - termickou metódou 106
Obr. 69 Vibračný stend 107
Obr. 70 Vzorka 1 pred začatím testov 107
Obr. 71 Sitovací prístroj Retsch AS 200 107
Obr. 72 Jednotlivé frakcie skla vzorky 1 po sitovej skúške [1] 107
Obr. 73 Hmotnosti po jednotlivých vibráciách 109
Obr. 74 Percentuálny pomer frakcií 109
Obr. 75 Odstraňovanie zvyškových sklených úlomkov z fólie PVB 110
Obr. 76 Minimálna konfigurácia linky 111
Obr. 77 Príklad širokej konfigurácie linky 111
Obr. 78 Primárny podávací modul s valcami 111
Obr. 79 Zostavný výkres podávacieho modulu s nastaviteľnou štrbinou a pružným dotláčaním vťahovacích valcov [8] 112
Obr. 80 3D model konštrukčného riešenia podávacieho modulu [2] 113
Obr. 81 Dvojica valcov lámacieho modulu [2] 114
Obr. 82 Rôzne konštrukcie, tvary a možnosti radenia lámacích kotúčov [7] 114
Obr. 83 Viacnásobné radenie párov lámacích dvojíc v kombinácií stieracou dvojicou kotúčov [2] ... 115
Obr. 84 3D viacnásobné radenie párov lámacích dvojíc v kombinácií stieracou dvojicou kotúčov 116
Obr. 85 3D model vibračného modulu - detail nástrojov a pracovnej štrbiny 116
Obr. 86 3D model vibračného modulu 116
Obr. 87 Zostava stroja z dvoch technologických modulov – podávacieho a vibračného 117
Obr. 88 Uloženie nástrojov vibračného modulu v dvoch radoch nad sebou [2] 117
Obr. 89 Uzavretý cyklus materiálov LiA [3] 121
Obr. 90 Bloková schéma procesu Retriev [5] 123

Obr. 91 Bloková schéma procesu Recupyl [5] 124
Obr. 92 Bloková schéma procesu Akkuser [5] 125
Obr. 93 Bloková schéma procesu Umicore [5] 126
Obr. 94 Bloková schéma procesu Accurec [5] 127
Obr. 95 Bloková schéma procesu Battery Resources [5] 129
Obr. 96 Bloková schéma procesu LithoRec [5] 130
Obr. 97 Bloková schéma procesu OnTo [5] 131
Obr. 98 Časová závislosť vybíjania LiA v závislosti od hustoty soľného roztoku 140
Obr. 99 Vývoj plynov na elektródach počas vybíjania v soľnom roztoku 141
Obr. 100 Materiály vhodné na recykláciu 145
Obr. 101 Gumový granulát, frakcia 0 – 1 mm 146
Obr. 102 Textilná zložka 146
Obr. 103 Gumový granulát, frakcia 1 – 3 mm 146
Obr. 104 Oceľové kordy a malý podiel zvyškového gumového granulátu 147
Obr. 105 Tvorba textilného chumáča 147
Obr. 106 Trhaný materiál 148
Obr. 107 Strihaný materiál 148
Obr. 108 Textilný chumáč 148
Obr. 109 Kompaktný materiál z recyklovaného textilu 148
Obr. 110 Spracovanie molitanu drvením 149
Obr. 111 Kompaktný materiál z recyklovaného molitanu 149
Obr. 112 Rezanie a drvenie aerbagových vakov 151
Obr. 113 Pelety z aerbagových vakov 151
Obr. 114 Guličky z airbagových vakov 151
Obr. 115 Postup výroby skleneného piesku ako polotovar pre sklenené guličky 152
Obr. 116 Sklenené guličky 152
Obr. 117 Bubliny z penového skla 2 - 4 mm [8] 152
Obr. 118 Penové sklo 153
Obr. 119 Ekomolitan 160
Obr. 120 Recyklovaná guma 160
Obr. 121 Nobasil 160
Obr. 122 Jednovrstvové vzorky o priemere 30 mm a hrúbkach od 20 do 60 mm 160
Obr. 123 Jednovrstvové vzorky o priemere 60 mm a hrúbkach od 20 do 60 mm 161
Obr. 124 Dvojvrstvové - sendvičové vzorky o priemere 30 mm a 60 mm 161
Obr. 125 Trojvrstvové - sendvičové vzorky o priemere 30 mm a 60 mm 161

Obr. 126 Pohľad na impedančnú trubicu BSWA TECH 162
Obr. 127 Koeficient zvukovej pohltivosti α (hrúbka materiálu 40 mm) 163
Obr. 128 Index útlmu R (hrúbka materiálov 40 mm) 164
Obr. 129 Koeficient zvukovej pohltivosti dvojvrstvových sendvičov (celková hrúbka sendvičov 40 mm) 164
Obr. 130 Koeficient zvukovej pohltivosti trojvrstvových sendvičov (celková hrúbka sendvičov 60 mm) 165
Obr. 131 Index útlmu dvojvrstvových sendvičových absorbérov (hrúbka materiálov 40 mm) 165
Obr. 132 Index útlmu trojvrstvových sendvičových absorbérov (hrúbka materiálov 60 mm) 166
Obr. 133 Jednotlivé časti panelu protihlukovej steny 167
Obr. 134 2D a 3D pohľad na niektoré materiály použiteľné v protihlukových stenách 168
Obr. 135 2D a 3D pohľad na ďalšie materiály použiteľné v protihlukových stenách 168
Obr. 136 Modelovanie v programe Solid Edge 169
Obr. 137 Testovacia kazeta d = 59,95 mm l = 100 mm 169
Obr. 138 Spojka s vnútorným závitom 169
Obr. 139 Valec 23 mm a 48 mm s vonkajším závitom 169
Obr. 140 Vonkajšie sitko a lem 170
Obr. 141 Vnútorné sitko h = 1 mm d = 57 mm 170
Obr. 142 3D tlačiareň PRUSA i3 MK3 170
Obr. 143 Pohľad na tlač komponentu 170
Obr. 144 PLA filament materiál 171
Obr. 145 Reálny pohľad na testovacie kazety 171
Obr. 146 Pohľad na testovacie kazety 171
Obr. 147 Pohľad na testovacie kazety a ich uzávery 172
Obr. 148 Spájanie testovacích kaziet 172
Obr. 149 Pohľady na uzavreté perforované veká 172
Obr. 150 Technicky výkres - krúžok vonkajší 173
Obr. 151 Technicky výkres - krúžok vnútorný 173
Obr. 152 Variantné riešenia plniaceho zariadenia pre testovacie kazety 174
Obr. 153 Plniace zariadenie - variant č. 1 175
Obr. 154 Plniace zariadenie - variant č. 2 175
Obr. 155 Plniace zariadenie - variant č. 3 176
Obr. 156 Modifikácia tretieho varietného riešenia 176
Obr. 157 Gumový granulát [9] 187
Obr. 158 Variácie uloženia rezného ústrojenstva drviča 189

Obr. 159 Drviaci nástroj s vymeniteľnou platničkou 190
Obr. 160 Vektorové znázornenie vonkajších zaťažujúcich síl rezného klinu 191
Obr. 161 Lisovací stroj [21] 192
Obr. 162 Protihlukový panel na báze gumy (ilustračný obrázok) 193
Obr. 163 PHS kombinácia betónového panelu a absorpčnou vrstvou z recyklovanej gumy [22] 193
Obr. 164 Odobratie stupňov voľnosti a sily F pri deformačnej analýze 200
Obr. 165 Sieť konečných prvkov na hriadeli 201
Obr. 166 Priebeh napätí hlavného hriadeľa drviaceho nástroja 201
Obr. 167 Maximálne napätie otvoru pre skrutku pri zaťažení drviacou silou 202
Obr. 168 Napäťová analýzy plochy upevnenia drviacej platničky 202
Obr. 169 Deformačná analýza drviaceho nástroja 202
Obr. 170 Celková deformácia hriadeľa a drviaceho nástroja 203
Obr. 171 Vysieťovaný výpočtový model a okrajové podmienky výpočtu 203
Obr. 172 Výpočtový model po topologickej optimalizácii 204
Obr. 173 Úprava optimalizovaného modelu noža dezintegrátora 205
Obr. 174 Finálny optimalizovaný tvar noža dezintegrátora 205
Obr. 175 Grafické znázornenie výpočtu vnútorného výnosového percenta 211
Obr. 176 Kritický objem produkcie 213
Obr. 177 Štruktúra DTD 217
Obr. 178 Podiel jednotlivých druhov palív na výrobe tepla na Slovensku, zdroj údajov ÚRSO, 2019 227
Obr. 179 Linka na výrobu TAP 231
Obr. 180 Tuhé alternatívne palivo - TAP. [21] 231
Obr. 181 Vzorky paliva použitého pri spaľovacích skúškach 236
Obr. 182 Pohľad na rôzne typy drviacich zariadení [22] 243
Obr. 183 Technologická schéma zariadenia na spracovanie plastového odpadu 245
Obr. 184 Pohľady na umiestnenie a rozšírenie externej plošiny 247
Obr. 185 Plošina pre experimentálny reaktor na energetické zhodnocovanie odpadu z automobilového priemyslu 247
Obr. 186 Pyrolýzny reaktor zostava 248
Obr. 187 Pyrolýzny reaktor - zostava bez tepelnej izolácie, otvorené predné čelá 249
Obr. 188 Pracovný priestor pyrolýzneho reaktora s miešadlom 250
Obr. 189 Percentuálne (hmotnostné) zastúpenie materiálov a jednotlivých druhov polymérov v automobile Audi A6 C5 (1997 - 2005) [8] 252

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1 Súčasné ročné kapacity spracovateľov starých vozidiel 13
Tab. 2 Technologické prevádzky na jednotlivé materiály 15
Tab. 3 Základné materiálové zloženie vozidla 16
Tab. 4 Vývoj ceny kovov a farebných materiálov 20
Tab. 5 Náklady na – energetické zhodnotenie, alebo skládkovanie na jedno auto 20
Tab. 6 Materiálový potenciál (materiálové zhodnotenie) 21
Tab. 7 Údaje od ďalšieho spracovateľa 23
Tab. 8 Multiplikátory produktov spracovateľského priemyslu na Slovensku, 2017 36
Tab. 9 Produkcia v ostatných odvetviach generovaná exportom motorových vozidiel, mil. EUR 37
Tab. 10 Produkcia v ostatných odvetviach generovaná exportom automobilových komponentov, mil. EUR 38
Tab. 11 Efekty konečného dopytu a exportu príslušných produktov na pridanú hodnotu na Slovensku, 2017 38
Tab. 12 Najväčšie zmeny v štruktúre dodávok 2017 oproti 2013 43
Tab. 13 Orientačný priebeh procesu spracovania ELV 47
Tab. 14 Predikované množstvo ocele (v tonách) a jeho potenciálna hodnota (v eurách) 48
Tab. 15 Ročná priemerná indikatívna cena neželezných kovov (v eurách za tonu) 49
Tab. 16 Predikované množstvo neželezných kovov (v tonách) a ich potenciálna hodnota (v eurách). 49
Tab. 17 Ročná priemerná indikatívna cena batérií (v eurách za tonu) 49
Tab. 18 Predikované množstvo batérií (v tonách) a ich potenciálna hodnota (v eurách) 49
Tab. 19 Ročná priemerná indikatívna cena plastov (v eurách za tonu) 50
Tab. 20 Predikované množstvo plastov (v tonách) a ich potenciálna hodnota (v eurách) 50
Tab. 21 Ročná priemerná indikatívna cena skla (v eurách za tonu) 51
Tab. 22 Predikované množstvo skla (v tonách) a jeho potenciálna hodnota (v eurách) 51
Tab. 23 Ročné množstvo kvapalín (v tonách) a ich potenciálna hodnota (v eurách) 52
Tab. 24 Ročné množstvo olejov (v litroch) a ich potenciálna hodnota (v eurách) 52
Tab. 25 Miera využitia obehových materiálov - miera cirkularity (%) [3] 72
Tab. 26 Problematické odpady z výroby automobilov (t/rok) [4] 74
Tab. 27 Spracované staré vozidlá v EU (v kusoch) [6] 75
Tab. 28 Prehľad počtu zariadení na spracovanie odpadu v SR v roku 2018 [7] 76
Tab. 29 Štruktúra záznamu zariadenia na spracovanie odpadu 77
Tab. 30 Výhody a nevýhody riešenia 89
Tab. 31 Výhody a nevýhody riešenia 89

Tab. 32 Výhody a nevýhody riešenia ... 91
Tab. 33 Hustota fólie a skla ... 104
Tab. 34 Namerané hodnoty ... 105
Tab. 35 Frakcie skla ... 105
Tab. 36 Vývoj úbytku hmotnosti analyzovaných vzoriek počas 6 cyklov vibrácií ... 108
Tab. 37 Granulometrická analýza vzoriek 1 až 3 ... 108
Tab. 38 Typické zloženie LiA ... 122
Tab. 39 Porovnanie rôznych techník predspracovania vyradených LiA s cieľom ich vybíjania ... 139
Tab. 40 Experimenty vybíjania štvorcových segmentov v roztoku NaCl ... 139
Tab. 41 Technológie na zmenšovanie veľkostí častíc PUR pien ... 149
Tab. 42 Mechanické vlastnosti teplom vytvarovanej štandardnej PU peny (bez brúsnych materiálov) a PU peny, ktoré obsahovali brúsenú PU penu [5, 14] ... 150
Tab. 43 Mechanické vlastnosti za studena lisovanej čistej štandardnej PU peny (bez brúsnych materiálov) a PU peny, ktoré obsahovali brúsenú PU penu ... 150
Tab. 44 Fyzikálne vlastnosti ... 150
Tab. 45 Porovnanie fyzikálnych vlastností materiálov [5, 14] ... 151
Tab. 46 Technické parametre 3D tlačiarne PRUSA i3 MK3 ... 170
Tab. 47 Zoznam obstarávaného majetku - plánovaná investícia (I. etapa) ... 193
Tab. 48 Plánovaná mzdová politika pre novoprijatých zamestnancov ... 194
Tab. 49 Prehľad spotreby a nákupných cien materiálových vstupov za rok ... 194
Tab. 50 Prehľad odhadovanej spotreby a cien energií za rok ... 195
Tab. 51 Kalkulácia nákladov produktu ... 196
Tab. 52 Plán odpisovania obstarávaného dlhodobého hmotného majetku ... 206
Tab. 53 Výpočet potreby kapitálu celkom ... 206
Tab. 54 Predpokladaný vývoj nákladov v období 2022 - 2028 ... 207
Tab. 55 Implementačný plán rozšírenia kapacít prevádzky ... 207
Tab. 56 Implementačný plán rozšírenia kapacít prevádzky ... 208
Tab. 57 Analýza citlivosti investície ... 209
Tab. 58 Analýza očakávaných Cash Flow investície (údaje v €) ... 210
Tab. 59 Dodatočný výpočet pre VVP (v %) ... 211
Tab. 60 Dodatočný výpočet pre DDS ... 211
Tab. 61 Sumarizačné údaje k analýze bodu zvratu za rok 2022 ... 212
Tab. 62 Ekonomika výroby elektrickej energie pri spoluspaľovaní TAP a čierneho uhlia (ČU) v pomere 50 : 50. [13] ... 230
Tab. 63 Priemerná výhrevnosť niektorých zložiek odpadu ... 231

Tab. 64 Laboratórna skúška - palivový rozbor 233
Tab. 65 Laboratórna skúška - prvkový rozbor paliva 233
Tab. 66 Laboratórna skúška - spalné teplo a výhrevnosť paliva 234
Tab. 67 Spaľovacia skúška - produkcia tuhých znečisťujúcich látok (TZL) 234
Tab. 68 Laboratórna skúška - vlhkosť, spalné teplo a výhrevnosť niektorých zložiek komunálneho odpadu 235
Tab. 69 Hodnoty meraných parametrov počas experimentálne prevádzky 236
Tab. 70 Príklad zloženia syntézneho plynu v závislosti na druhu vstupnej suroviny 242
Tab. 71 Príklady prevádzkových parametrov pyrolýznych reaktorov 244
Tab. 72 Fyzikálne vlastnosti polypropylénu 253
Tab. 73 Porovnanie vlastností typov vybraných polyetylénov 254
Tab. 74 Porovnanie vlastností vybraných polyamidov 255

Progresívne technológie zhodnocovania odpadov v automobilovom priemysle

UNIVNET – Univerzitná a priemyselná výskumno-edukačná platforma recyklujúcej spoločnosti

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

Technická úprava: Ing. Tibor Dzuro, PhD., SjF TUKE

Grafická úprava: Ing. Tibor Dzuro, PhD., SjF TUKE

Vydanie: 1

Náklad: 150 výtlačkov

Počet strán: 267

Počet obrázkov: 189

Počet tabuliek: 74

Vydala: Slovenská technická univerzita v Bratislave vo Vydavateľstve SPEKTRUM STU, Bratislava, Vazovova 5

Rok: 2021

ISBN: 978-80-553-3867-5