univnet

Stav a vízie zhodnocovania odpadov z automobilového priemyslu SR

Editor
Dr.h.c. prof. Ing. Ľubomír Šooš, PhD.

Bratislava, júl 2020

Stav a vízie zhodnocovania odpadov z automobilového priemyslu SR

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. prof. Ing. Ľubomír Šooš, PhD.

Recenzenti:
prof. Ing. Dušan Šebo, PhD., SEBEX Slovakia, s.r.o., Košice
prof. Mgr. Juraj Ladomerský, CSc., European Science and Research Institute, Zvolen
prof. Ing. Vladimír Hlavňa, PhD. Nám. Ľ. Fullu 14, 010 08 Žilina okres: Žilina

Technická úprava: Mgr. Henrich Hipča, ZAP SR
Grafická úprava: Zuzana Gališinová, BA

Vydala Slovenská technická univerzita v Bratislave vo Vydavateľstve SPEKTRUM STU

ISBN: 978-80-227-5039-4

UNIVNET, Bratislava, júl 2020

Stav a vízie zhodnocovania odpadov z automobilového priemyslu SR

Úvod vii

1 Analýza procesu recyklácie starých vozidiel 2

1.1 Environmentálne a spoločenské prínosy. 2
1.2 Predpokladaný počet vyraďovaných vozidiel ročne určených na spracovanie 4
1.3 Materiálové zloženie jednotlivých dielov a ich množstvo 4
1.4 Technologické zariadenia potrebné na spracovanie resp. zneškodňovanie odpadov 9
1.4.1 Sklo lepené 9
1.4.2 Plastové diely 10
1.4.3 Pneumatiky. 11
1.4.4 Koberce , textílie, obloženia interiéru ap. 12
1.4.5 Molitany – PUR peny 14
1.5 Logistika zberu a prepravy materiálov na ďalšie spracovanie 14
1.6 Námet na vytvorenie informačného systému sledovania toku odpadov zo starých vozidiel. 15
1.7 Príloha č.1 ZOZNAM AUTORIZOVANÝCH SPRACOVTEĽOV 16
1.8 Príloha č. 2 18
1.9 Príloha č. 3 19
1.10 Príloha č. 4 19

2 Dopady automobilového priemyslu na Slovenskú republiku ako recyklujúcu spoločnosť 22

2.1 Zhrnutie (Executive summary) 22
2.2 Kľúčové trendy v motorizácii a životnom cykle automobilov vo svete a v SR 23
2.3 Národohospodárske efekty automobilového priemyslu v SR. 27
2.3.1 Identifikované efekty na produkciu 28
2.3.2 Efekty na zamestnanosť v SR 29
2.3.3 Dovoz pre automobilový priemysel a trendy v jeho substitúcií 30
2.3.4 Zhrnutie, hlavné výsledky a súčasné výzvy 30
2.4 Zhodnocovanie jednotlivých prúdov odpadov z likvidácie a prevádzky automobilov 32
2.4.1 Prognostické scenáre vývoja prúdov zo spracovania vozidiel skupiny M a N po dobe životnosti do roku 2020 32
2.4.2 Nástroje krajín OECD na podporu miery zhodnotenia prúdov odpadov najmä z automobilového priemyslu 36
2.4.3 Optimalizáciu priestorového rozloženia autorizovaných pracovísk na spracovania vozidiel po dobe živnosti v SR 39
2.4.4 Toky prúdov odpadov počas doby používania osobných motorových vozidiel 39

2.5 Zameranie výskumu, navrhované aktivity, výskumné otázky a navrhované výstupy riešiteľov z EUBA pre roky 2020 až 2023 42
2.6 Použitá literatúra 45
3 SmartOdpady – Integrovaná informačná a inovačná platforma recyklačných technológií.....48
3.1 Executive summary 48
3.2 Úvod 49
3.3 Informačné toky v odpadovom hospodárstve SR 52
3.4 SmartOdpady – integrovaná informačná a inovačná platforma recyklačných technológií 55
3.4.1 Vývoj integrovanej platformy recyklačných technológií 57
3.4.2 Východiská návrhu integrovanej platformy „SmartOdpady“..... 61
3.4.3 Základné funkcionality integrovanej platformy „SmartOdpady“.... 62
3.4.4 Vnútorná štruktúra integrovanej platformy „SmartOdpady“..... 65
3.4.5 Koncepcia štruktúry dát integrovanej platformy „SmartOdpady“... 68
3.5 Prínosy integrovanej platformy „SmartOdpady“ 69
3.6 Literatúra 71
4 Recyklácia vrstveného skla – Analýza technických a technologických možností 74
4.1 Úvod 74
4.2 Stav nakladania s odpadmi zo skla 77
4.2.1 Vrstvené lepené sklo 78
4.2.2 Charakteristika vrstvených lepených skiel 79
4.2.3 Materiály medzivrstiev – fólie vrstvených skiel 80
4.2.4 Mechanizmus adhézie systému laminát „sklo – PVB fólia“ 81
4.2.5 Množstvá vrstvených lepených skiel vo svete a v SR 84
4.3 Metódy a technológie oddeľovania vrstveného skla 88
4.3.1 Mechanické oddeľovanie 88
4.3.2 Termodynamické oddeľovanie 89
4.3.3 Chemické oddeľovanie 89
4.3.4 Kombinované oddeľovanie 89
4.3.5 Analýza patentových riešení recyklácie vrstvených skiel 90
4.3.6 Existujúce technológie spracovania vrstvených skiel 94
4.4 Recyklácia vrstveného skla a materiálové zhodnocovanie jednotlivých zložiek 96
4.4.1 Recyklácia skla 97
4.4.2 Uplatnenie odpadového skla na trhu 97
4.4.3 Recyklácia medzivrstvy PVB 100
4.4.4 Uplatnenie odpadovej PVB fólie na trhu 101
4.5 Koncepcia navrhovaného postupu recyklácie vrstveného lepeného skla 103
4.6 Záver 106
4.7 Použitá literatúra 108
5 Materiálová recyklácia kovonosných odpadov s obsahom definovaných nedostatkových kovov do predajných.....112

5.1 Úvod....112
5.2 Súčasný stav....112
5.3 Materiálové zloženie motorových vozidiel....115
5.4 Zhrnutie....117
5.5 Návrhy riešení....119
5.6 Navrhované komodity pre recykláciu z vyradených vozidiel....120
5.6.1 Lítiové batérie a akumulátory....120
5.6.2 Typy batérii a akumulátorov....121
5.6.3 Mechanická predúprava....125
5.6.4 Hydrometalurgické spracovanie....125
5.6.5 Pyrometalurgické spracovanie....125
5.6.6 Priemyselné spracovanie použitých lítiových batérií a akumulátorov126
5.6.7 Zhrnutie problematiky spracovania a recyklácie použitých lítiových batérií a akumulátorov....126
5.7 Možnosti recyklácie kovov z vysokou pridanou hodnotou....128
5.7.1 Spoločná recyklácia Mg šrotu/odpadu a Nd šrotu za účelom získavania čistého Mg prášku a čistého neodýmu....128
5.7.2 Idea spoločného spracovania a recyklácie Mg a Nd odpadu s cieľom získať čisté kovy....131
5.7.3 Navrhovaný procesu recyklácie kovových odpadov s obsahom Mg a Nd 132
5.7.4 Zhrnutie uvažovaného procesu....133
5.7.5 Výstupy aktivity....134
5.7.6 Potenciálne prínosy aktivity....134
5.7.7 Recyklácia gália z vyradených vozidiel....135
5.7.8 Výstupy aktivity projektu....136
5.7.9 Potenciálne prínosy....137
5.7.10 Potenciálne úzke miesta....137
5.8 Celkový záver....137
5.8.1 Recyklácia lítiových batérií a akumulátorov.....138
5.8.2 Recyklácia neodýmu....138
5.8.3 Recyklácia gália....139
5.9 Využiteľnosť infraštruktúry Ústavu recyklačných technológií FMMR TUKE pre potreby projektu UNIVNET....139
5.10 Literatúra....141
6 Vývoj technológií a techník na zhodnocovanie odpadov do zvukovo a tepelnoizolačných produktov....146
6.1 Úvod....146
6.2 Legislatíva v predmetnej oblasti....146
6.2.1 Zhrnutie....149
6.2.2 Legislatíva SR....150
6.3 Analýza súčasného stavu danej problematiky....152
6.3.1 Materiály vhodné na recykláciu na báze gumy a polymérov....152

6.3.2 Identifikácia komponentov v automobile s potenciálom ich využitia v zvukovo a tepelnoizolačných produktoch 153
6.3.3 Charakteristika identifikovaných materiálov 156
6.3.4 Recyklácia textilu 158
6.3.5 Regenerácia odpadového textilu 158
6.3.6 Triedenie textilu 160
6.3.7 Etapy spracovania textilného odpadu pred mechanickou recykláciou 162
6.3.8 Recyklácia tkaného textilu v strojných zariadeniach 163
6.3.9 Sekanie starých textílií 163
6.3.10 Rozvlákňovanie textilného odpadu 164
6.3.11 Výroba netkaných textílií mechanickým spôsobom 169
6.3.12 Ultrazvuková technológia rozvlákňovania materiálov 171
6.3.13 Recyklácia kobercov 171
6.3.14 Recyklácia kože 173
6.3.15 Recyklácia molitanu – PUR peny 174
6.3.16 Recyklácia textilu z plastov 177
6.3.17 Recyklácia pneumatík 178
6.3.18 Nakladanie s opotrebovanými plášťami pneumatík 180
6.4 Vývoj eko inovatívnych zvukovo a tepelnoizolačných produktov 185
6.4.1 Analýza súčasných prístupov pre hodnotenie akustických vlastností materiálov prostredníctvom impedančnej trubice 185
6.4.2 Prístrojové, softvérové a ďalšie vybavenie 187
6.4.3 Návrh metodiky merania vybraných akustických deskriptorov pre vyvíjané akustické materiály 189
6.4.4 Vyhodnotenie nameraných hodnôt 192
6.5 Návrh merateľných výskumných a akademických ukazovateľov pre ďalšie riešenie 194
6.6 Literatúra 195
[1]. Celkový počet evidovaných vozidiel v SR. [online]. Dostupné na internete: https://www.minv.sk/?celkovy-pocet-evidovanych-vozidiel-v-sr 195
7 Recyklácia a zhodnocovanie gumy, kaučuku a plastov do nových výrobkov 200
7.1 Úvod 200
7.2 Legislatíva v oblasti odpadov z automobilového priemyslu 200
7.3 Recyklácia gumy a plastov 203
7.3.1 Zhodnotenie gumových odpadov a pneumatík 203
7.3.2 Spracovanie opotrebovaných pneumatík na Slovensku 205
7.3.3 Zhodnotenie plastov v automobiloch 206
7.4 Životný cyklus odpadových pneumatík a plastov v automobilovom priemysle 212
7.4.1 Posudzovanie životného cyklu odpadových pneumatík 213
7.4.2 Posudzovanie životného cyklu plastov 214
7.5 Dostupné technológie spracovania gumy a plastov a ich uplatnenie 223
7.5.1 Pneumatiky 224

7.5.2 Technológie na opakované použitie – protektorovanie 226
7.5.3 Technológie na opakované použitie – prerezávanie pneumatík 226
7.5.4 Technológie na recykláciu pneumatík 227
7.5.5 Zdroje plastov v automobile 227
7.6 Literatúra 229
8 Energetické zhodnocovanie odpadov z automobilového priemyslu 236
8.1 Úvod 236
8.2 Súčasný stav problematiky energetického zhodnocovania odpadu z automobilov po dobe životnosti 237
8.3 Energetické zhodnotenie odpadu z automobilov po dobe životnosti vo vybraných krajinách EÚ 238
8.3.1 Slovenská republika 238
8.3.2 Česká republika 241
8.3.3 Nemecko 242
8.3.4 Taliansko 242
8.4 Druhy odpadov zo starých vozidiel podľa katalógu odpadov a spôsoby ich energetického zhodnocovania 242
8.4.1 Energeticky využiteľný odpad z recyklácie automobilov 243
8.4.2 Energetické zhodnotenie prevádzkových kvapalín 244
8.4.3 Energetické zhodnotenie starých pneumatík a gumy 244
8.4.4 Energetické zhodnotenie plastov 245
8.5 Spôsoby energetického zhodnocovania odpadov z automobilového priemyslu 245
8.5.1 Spaľovanie 246
8.5.2 Emisie zo spaľovania odpadov 256
8.5.3 Základné druhy spaľovacích zariadení na zneškodňovanie odpadov 257
8.5.4 Splyňovanie 262
8.5.5 Splyňovanie odpadov v plazmovej peci 264
8.5.6 Výboje v plynoch 265
8.5.7 Pyrolýza 267
8.6 Očakávaný vývoj v oblasti energetického zhodnocovania odpadov z automobilov po dobe životnosti 270
8.7 Ciele energetického zhodnocovania odpadov z automobilového priemyslu 271
8.8 Literatúra 276
Obrázky 279
Tabuľky 284

Stav a vízie zhodnocovania odpadov z automobilového priemyslu SR

Úvod

Vážení čitatelia, priatelia,

dostáva sa vám do rúk publikácia, ktorú vypracovalo združenie „Univerzitná a priemyselná výskumno-edukačná platforma recyklujúcej spoločnosti (ďalej „UNIVNET“), ako svoju vstupnú štúdiu k stavu a k víziám zhodnocovania vybraných druhov odpadov, najmä z automobilového priemyslu SR. UNIVNET vznikol na základe podpisu dohody medzi MŠVVaŠ a lídrom združenia – Slovenskou technickou univerzitou v Bratislave (STU BA). Okrem STU BA sú členmi združenia ďalšie štyri univerzity 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.

Politika odpadového hospodárstva Európskej únie sa vyvíja už viac ako tridsať rokov prostredníctvom série environmentálnych akčných plánov a legislatívneho rámca. Jej hlavným cieľom je znižovanie negatívnych vplyvov odpadu na životné prostredie a zdravie ľudí a zároveň zvyšovanie efektívneho a účinného využívania zdrojov európskeho hospodárstva. V Tematickej stratégii predchádzania vzniku odpadu a jeho recyklovania, ktorá je jednou zo siedmich stratégií Environmentálneho akčného plánu EÚ, Únia definovala nielen svoje prioritné ciele, ale zaviedla aj kľúčové pojmy ako sú recyklujúca spoločnosť, uvažovanie v dimenziách životného cyklu výrobku, rozšírená zodpovednosť výrobcu, hierarchia odpadového hospodárstva, či predchádzanie vzniku odpadu a zhodnotenie odpadu ako zdroja druhotnej suroviny alebo energie. Ide o prístupy a princípy, ktoré sa uplatňujú pri tvorbe rámcových koncepcií politík nakladania s odpadmi.

Dôležitou etapou v napredovaní EÚ smerom k trvalej udržateľnosti a recyklujúcej spoločnosti bolo prijatie programu Smerom k obehovému hospodárstvu: Program nulového odpadu pre Európu. Prechod na obehové hospodárstvo je základom plnenia efektívneho využívania zdrojov, stanoveného v rámci stratégie s názvom Európa 2020 – Stratégia na zabezpečenie inteligentného, udržateľného a inkluzívneho rastu. Základným predpokladom zvyšovania efektívnosti využívania zdrojov a uzatvorenia cyklu v rámci obehového hospodárstva je premena odpadu na zdroj. Prechod na obehové hospodárstvo si vyžaduje realizovať zmeny v celých hodnotových reťazcoch, od návrhu výrobku po nové obchodné a trhové modely, vrátane nových spôsobov premeny odpadu na zdroje až po zmenu spotrebiteľského správania. Predpokladá to

úplnú systémovú zmenu a inováciu nielen v oblasti technológií, ale aj v organizácii, spoločnosti, metódach financovania a vo formulácii politík.
Slovenská republika v súčasnosti čelí mnohým environmentálnym výzvam. Máme problémy s kvalitou ovzdušia, nízkou mierou recyklácie odpadu, ale aj s ochranou ekosystémov. 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. Ochrana životného prostredia a udržateľná spotreba sa stali súčasťou všeobecného povedomia občanov aj tvorcov politík. Medzi prioritné výzvy životného prostredia na Slovensku a preferované oblasti environmentálnej politiky do roku 2030 patrí aj problematika odpadového hospodárstva.
Vážení odborníci, technická a laická verejnosť: celá monografia je rozdelená do ôsmich, na seba logicky nadväzujúcich kapitol. Prvá kapitola je expertíza súčasného stavu spracovania starých vozidiel. Kapacity na spracovanie starých vozidiel v Slovenskej republike sú dostatočné, problémom sú zastaralé technológie na ich spracovanie a následné zhodnotenie niektorých druhov odpadov. Významným výstupom tejto expertízy je definovanie odpadov, ktoré nezhodnocujeme alebo zhodnocujeme len v minimálnej miere. Cieľom druhej kapitoly sú prognózy množstiev odpadov pri rôznych modelových scenároch. Autori kapitoly sa zameriavajú nielen na počet spracovaných starých vozidiel, ale čiastočne sa venujú aj odpadom vznikajúcim pri výrobe a využívaní automobilov. Tretia kapitola je venovaná vyvíjanému informačnému systému „Smart odpady“. Autori kapitoly si plne uvedomujú význam prehľadnosti materiálových tokov pri nakladaní s odpadmi. Ďalšie kapitoly vychádzajú z výsledkov expertízy prvej kapitoly. Sú venované príslušným technológiám a súčasnému stavu zhodnocovania problémových odpadov. Postupne sa jednotlivé kapitoly venujú vrstveným sklám, kovonosným odpadom, zvukovo a tepelnoizolačným odpadom, recyklácii gumy, kaučuku a plastov, a nakoniec možnostiam energetického zhodnocovania odpadov.

Milí čitatelia, ľudia, ktorým leží na srdci zdravé životné prostredie. Verím, že v tejto publikácii nájdete veľa námetov a inšpirácií pre minimalizáciu vzniku a efektívne zhodnocovanie odpadov. Som presvedčený, že všetci môžeme prispieť k ochrane našej planéty pre budúce generácie.

Dr.h.c.prof. Ing. Ľubomír Šooš, PhD.
Editor

Analýza procesu recyklácie starých vozidiel

Riešiteľský kolektív

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
Martina Koišová, ZAP SR

1 Analýza procesu recyklácie starých vozidiel

1.1 Environmentálne a spoločenské prínosy.

Problémy týkajúce sa životného prostredia sa stali neoddeliteľnou súčasťou nášho každodenného života a sú daňou za komfort, ktorý si väčšina sveta dnes môže dovoliť. Tieto problémy postihujú všetky zložky životného prostredia. Tým, že počet obyvateľov na Zemi neustále rastie, sa zvyšujú i nároky na proces výroby, najmä v priemyselnej časti. Pri tejto činnosti človek úmyselne, či nepriamo ničí i prostredie okolo seba. Ľudstvo pri zabezpečovaní svojich potrieb postupne poškodzuje všetky zložky životného prostredia, degraduje, devastuje a znečisťuje pôdu, rieky a ovzdušie. V minulosti škodlivé zásahy do životného prostredia spôsobené človekom nepredstavovali poškodzovanie takého rozsahu s akým sa stretávame dnes.

Každá krajina v súčasnosti zápasí s environmentálnymi problémami, ktoré majú lokálny, regionálny, ale už aj globálny charakter. Už len vysporiadanie sa s takýmto bremenom na miestnej úrovni v rámci štátu je pomerne zložitý a komplikovaný proces. Na zvládnutie globálnych environmentálnych problémov sa vyvíjajú medzinárodné environmentálne režimy. Čo je vlastne environmentálny problém? Environmentálny problém je akákoľvek zmena stavu fyzického prostredia, ktorá je vyvolaná ľudským zásahom a má účinky, ktoré spoločnosť z hľadiska svojich noriem považuje za neprijateľné. Pri analýze environmentálnych problémov v medzinárodnom kontexte je asi najpodstatnejším problémom vzťah medzi environmentálnymi problémami a úrovňou ekonomického rozvoja, pričom závažný význam má rozdielna úroveň ekonomického rastu v rozličných častiach sveta. Nerovnomerné rozdelenie prírodného bohatstva je jedným z najväčších nebezpečenstiev pre prírodné prostredie našej planéty, ak sa na ňu pozeráme ako na uzavretý nedeliteľný ekosystém.

Najväčšie globálne ekologické problémy sú spojené najmä:

- so znečisťovaním ovzdušia a poškodzovaním zdravia ľudí (emisie a znečisťujúce látky v ovzduší, kyslé dažde, skleníkový efekt, zväčšovanie ozónovej diery),
- so znižovaním tvorby kyslíka (najmä výrub tropických dažďových pralesov),
- so znečisťovaním vôd (tečúce vody, moria, oceány, ohrozenie zdrojov pitnej vody),
- s úbytkom a znehodnocovaním pôdy (napr. odlesňovaním, pesticídy, kyslé dažde)
- s nadmerným čerpaním nerastných zdrojov (fosílne palivá, rudy a iné nerastné suroviny),
- s nárastom množstva odpadov a problémami s ich odstraňovaním (najmä materiály, ktoré nemožno rozkladať prirodzenými procesmi – plasty a iné).
- s materiálmi, ktoré nemožno rozkladať prirodzenými procesmi – plasty a iné)

Dôležitosť zvyšovania miery recyklácie v Európskej únii súvisí s niekoľkými faktormi. V prvom rade je to trvalý rast cien surovín a energií. Ďalším faktorom je prudký rast ekonomiky ázijských krajín, potrebuje aj recyklované materiály, pričom rastúce požiadavky z Ázie pozitívne ovplyvňujú nielen ceny recyklátov, ale zároveň zvyšujú

spotrebu recyklovaných materiálov produkovaných v Európe. Recykláciu priamo podporuje aj EÚ schvaľovaním smerníc, ktorými sa zvyšujú percentá objemu recyklácie vybraných prúdov odpadov dôsledkom čoho je rastúce množstvo recyklátov uvádzaných na trh.

S výnimkou kovového šrotu, papiera a kartónu, väčšina zásob recyklovaných materiálov v Európe podlieha regulovaným režimom. Regulácia ovplyvňuje tieto zdroje v dvoch smeroch. Kľúčovým mechanizmom je požiadavka povinného zberu a recyklácie, ktorá buď priamo definuje špecifické materiály, alebo nepriamo prostredníctvom rozšírenej zodpovednosti výrobcu. Ďalší mechanizmus je zákaz skládkovania, ktorého cieľom je posúvať voľbu spracovania odpadových materiálov na vyššie úrovne odpadovej hierarchie a teda tiež podporovať recykláciu.

Automobilový priemysel je odvetvím, ktoré primárne vplýva a súbežne rozvíja všetky odvetvia hospodárstva hlavne strojársky, hutnícky, elektrotechnický, chemický priemysel, výrobu gumy, plastov, textílií, skla ap. Veľký vplyv má na vedu , výskum a vzdelanie. V posledných rokoch sa priemerne ročne vyrobí na svete 85 – 95 mil. osobných a úžitkových automobilov, čo pri priemernej váhe osobného auta 1,2 tony predstavuje 102,5 mil. ton už čistého opracovaného materiálu.

Toto množstvo sa raz (a to každoročne) ocitne na konci životnosti a stane sa odpadom. Na Slovensku sa za posledné dva roky 2018 a 2019 z recyklovalo 96408 ks. starých vozidiel, čo pri priemernej váhe európskeho vozidla cca. 1 200 kg predstavuje celkovú váhu 115,6 mil. kg materiálu. Štruktúra jeho zloženia je nasledovná:

- železný šrot ,plasty, pneumatiky, neželezné kovy, sklo, molitan, autobatérie, elektro odpad, textílie a izolačné materiály

Pokiaľ ide o druhy a množstvo recyklovaných materiálov a situácie na trhu, ukazuje sa, že úroveň začlenenia recyklovaných materiálov sa zvýšila, ale zároveň existuje jej závislosť na technických požiadavkách vozidiel, trhovej dostupnosti, cene a kvalite recyklovaného materiálu. Napr. podľa expertov v oblasti metalurgie je problematické začleniť viac ako 40 % recyklovaného kovového materiálu z vozidiel do výroby a recyklácia plastov je ešte na nižšej úrovni ako recyklácia kovov.

Podľa stanoviska EU Slovensko recykluje ocele a oceľových obalov najviac spomedzi V4. Oceľ, je už v súčasnosti najviac recyklovaným materiálom. V rámci EÚ27 sa napríklad vďaka recyklácii opätovne zužitkovalo až 72 % oceľových odpadov, zatiaľ čo len 67 % skla, 64 % hliníkových plechoviek z nápojov, 34 % nápojových kartónov a 30 % plastových obalov.

Používaním oceľových odpadov sa zvyšuje energetická efektívnosť, používa sa menej novo-vyťažených nerastných surovín, znižuje sa spotreba energie, čím dochádza celkovo aj k zníženiu emisií, že oceľ je top ekologickým materiálom

Z pohľadu environmentálnych prínosov je treba hodnotiť situáciu z dvoch pohľadov:

- znečisťovanie životného prostredia vyhadzovaním plastov, gúm a pod. do prírody
- spracovanie materiálov na opätovné použitie a tým šetrenie vstupných surovín a energií



Obr. 1.1 Znečisťovanie životného prostredia vyhadzovaním plastov, gúm a pod. do prírody

Opätovné využitie surovín má nezastupiteľné miesto najmä v prípade tzv. kritických surovín. Vzácne zeminy sú základom inovácií v oblasti rozvoja elektromobility, informačných a komunikačných technológií, či obnoviteľných zdrojov energie. Dovoz drahých kovov do Európy v posledných rokoch stúpol o 50 %.

V prípade využívania vzácnych a drahých kovov platí, že hoci sa používajú v malých množstvách, majú veľmi široké využitie v rôznych aplikáciách a produktoch. Problém ich nedostatku a nevyhnutnosti zatiaľ nie je v existujúcej recyklačnej infraštruktúre dostatočne zdôraznený, čo vedie k tomu, že mnohé z týchto kovov sa strácajú. Ekonomické, sociálne a environmentálne prínosy recyklácie však podľa EEA jasne poukazujú na potrebu prechodu k zelenému rastu a hospodárstva. Len tak bude možné naďalej generovať prosperitu za súbežného zachovania zdravého životného prostredia a sociálnej spravodlivosti pre súčasné aj budúce generácie.

Surovinová politika SR jednoznačne určuje trend postupnej náhrady a zvyšovania podielu materiálového využívania druhotných surovín s dôrazom na zvyšovanie úrovne recyklácie surovín minerálneho pôvodu – kovové odpady, zavádzanie progresívnych technológií, čo je súčasne aj aktuálnou perspektívou pre efektívne podnikanie a s ním spojené účelné rozširovanie pracovných príležitostí. Zmena hospodárskej štruktúry v zmysle „greening the economy“ nie je možná bez prechodu na špičkové technológie, ktoré pracujú s materiálmi na báze tzv. kritických strategických surovín, kam patria vybrané kovové prvky.

Kritériom pre ich zaradenie medzi tzv. kritické bolo nielen sústredenie rozhodujúceho podielu ich výroby do krajín ako Čína, Rusko, Kongo a Brazília, ale aj oblasť ich hlavného nasadenia v moderných špičkových technológiách určených pre fotovoltaiku, palivové články, mikroelektroniku, LED technológie, optické vlákna, laserové technológie a pod. Pracovná skupina odporučila Komisii mobilizovať a separovať odpad obsahujúci uvedené kritické prvky, pričom ich významným zdrojom je aj

v podmienkach SR napr. elektroodpad, odpady zo spracovania starých vozidiel a i., modernizovať a intenzifikovať organizáciu, logistiku a účinnosť recyklačného reťazca, podporovať výskum zameraný na optimalizáciu systému a recykláciu týchto materiálov.
Ak zoberieme do úvahy predpokladanú dobu rozkladu niektorých materiálov vyhodených do prírody, tak ničíme tejto generácií požičanú planétu na storočia až tisícročia.

Druh odpadu	Rozklad
motorový olej	10 – 100 rokov
batéria	200 – 500 rokov
pneumatika	250 rokov
sklo odhady okolo	4 000 rokov
plasty	stovky rokov

Všetky zákonné opatrenia, výchova a uvedomenie si ľudstva musí viesť k zodpovednejšiemu prístupu ochrany životného prostredia práve pri súčasnom materiálnom ponímaní života. Mylná je predstava aj pri komunálnom odpade, že popolnica je konečná stanica pre odpad ako to ešte mnohí občania chápu a bránia sa triedeniu odpadu.
Opätovné využitie odpadu v našom prípade zo starých automobilov, či už na výrobu obdobných súčiastok, alebo iných použiteľných výrobkov znamená priame šetrenie životného prostredia už pri samotnej výrobe, keď napríklad:

- recykláciou 1 kg železného šrotu sa ušetria 4 kg rudy a 70 % energie
- recykláciou odpadovej medi sa ušetria 3,8 kg rudy a 75 % energie
- recykláciou plastov sa ušetrí ropa a 8,4 kWh energie na výrobu na 1 kg plastu
- recykláciou skla sa ušetrí 43 % energie
- recykláciou hliníka 92 % energie potrebnej na získanie prvotných surovín a ich spracovanie

Absolútne čiastky environmentálnych prínosov sa jednoznačne nedajú vyčísliť, ale uvedené údaje jednoznačne dokazujú, že je nevyhnutné hľadať všetky možné zákonné, organizačné a technické prostriedky na recykláciu a opätovné využitie odpadových materiálov. Nejedná sa len o lokálny, územný problém ,ale globálny celosvetový. Je nevyhnutné, aby výrobcovia hlavne ich konštruktéri a technológovia už pri návrhu výrobku použili materiály, ktoré sa dajú recyklovať resp. navrhli u nových materiálov spôsob ich recyklácie.
Vďaka prijatému zákonu o odpadoch za roky 2004 – 2019 bolo recyklovaných viac ako 500 tisíc starých vozidiel čo pri priemernej váhe cca. 1200kg predstavuje celkovú váhu 600 mil. kg materiálu
Stručne môžeme vyjadriť environmentálne a spoločenské prínosy nasledovne:

1. Využitie druhotných surovín – ekonomický a ekologický prínos.
2. Šetrenie nerastného bohatstva.
3. Ochrana životného prostredia.

4. Nový obor, ktorý vytvoril nové pracovné miesta.
5. Impulz pre vedu a výskum na vývoj nových technológií na spracovanie odpadu.

1.2 Predpokladaný počet vyraďovaných vozidiel ročne určených na spracovanie

K 31.12.2019 je na Slovensku registrovaných 2.398 415 osobných vozidiel. Z toho je približne cca 1 milión áut dovezených už ojazdených áut zo zahraničia. V roku 2019 bolo registrovaných celkom 101.472 ks osobných automobilov, z toho bolo individuálne dovezených 68 155 ks ojazdených aut zo zahraničia. Registrácia nových aut predstavuje 59,8%. Priemerný vek áut v roku 2019 je cca 13,5 roka čo síce v rámci V4 je najnižší no oproti krajinám na západ od nás sme takmer 1,5 až 2x na tom horšie. Hlavným dôvodom veľkého dovážania ojazdených áut zo zahraničia je zriaďovanie nízkoemisných zón v niektorých mestách na západe. Domáci sa ich zbavujú a predávajú ich za nízke ceny. Týmto dovozom si výrazne zhoršujeme vekovú štruktúru a vytvárame predpoklady pre neustály nárast odpadu. V rokoch vyplácania tzv. šrotovného sa zneškodnilo veľké množstvo starých áut a výrazne sa omladila veková štruktúra. No od roku 2010 sa masívnym individuálnym dovozom „jazdeniek“ veková štruktúra každoročne zhoršuje. Táto skutočnosť znamená ,že potreba spracovateľských kapacít bude narastať, ale stým aj množstvo odpadu a nové technologické kapacity.
Vychádzajúc z analýzy minulých rokov a vývoja štruktúry možno predpokladať, že počet vyradených áut v najbližších piatich rokoch postupne stúpne na ročný počet 60–90 tisíc.
Stúpne aj náročnosť na recykláciu materiálov. Ak sme v počiatočných rokoch spracovávali autá vyrobené v 70–90 rokoch s iným materiálovým zložením – veľký podiel železa – malý podiel plastov tak postupne sa tento podiel mení v prospech umelých materiálov, ťažko recyklovateľných. Už v súčasnej dobe na mnohé materiály – kompozitné plasty, pur peny ap. nemáme potrebné technológie.

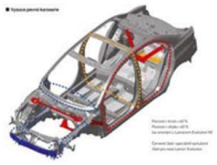
1.3 Materiálové zloženie jednotlivých dielov a ich množstvo

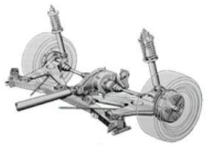
Po demontáži auta sa odpadový materiál vytriedi do nasledovných skupín:

- nebezpečný odpad – na zneškodnenie
- druhotná surovina
- energetické zhodnotenie
- vhodné ako náhradné diely
- dočasné skladovanie
- skládkovanie

Každý spracovateľ má uzatvorenú zmluvu s odberateľom ,ktorý príslušný druh odpadového materiálu odoberá.

Triedenie podľa materiálového zloženia:


karoséria

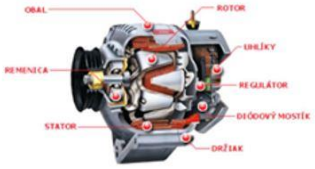

nápravy


motor


prevodovka

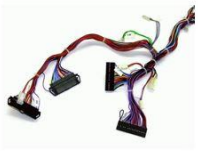

výfuk

Obr. 1.2 Kovový šrot



alternátor


štartér


káblové zväzky

Obr. 1.3 Farebné kovy


nárazníky


palivové nádrže


interiér, motorový priestor

Obr. 1.4 Plasty


sedačky


podlahy, obklady, strecha


izolačné materiály

Obr. 1.5 Molitan, koženky, textílie



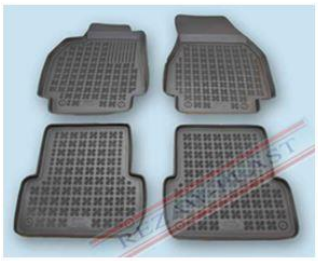
Obr. 1.6 Pneumatiky



hadice motorového priestoru



tesnenia dverí a okien



rohože

Obr. 1.7 Guma ostatná



olej a pohonné hmoty

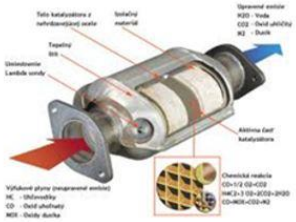


chladiaca kvapalina



brzdová kvapalina

Obr. 1.8 Olej ,pohonné hmoty, chladiaca kvapalina, brzdová kvapalina



katalyzátor



batéria

Obr. 1.9 Katalyzátor, batéria



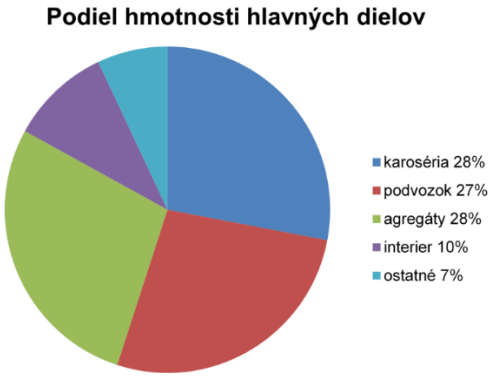
Obr. 1.11 Elektronika



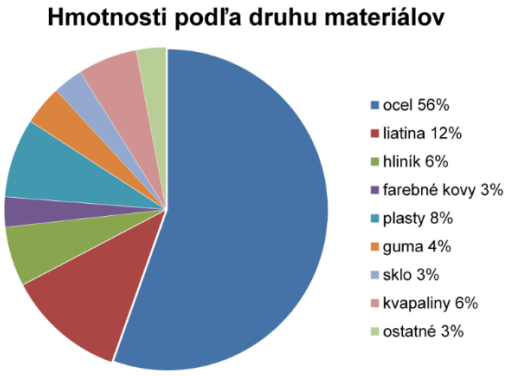
Obr. 1.10 Svietidlá



Obr. 1.12 Sklo



Obr. 1.13 Podiel hmotnosti hlavných dielov



Obr. 1.14 Hmotnosti podľa druhu materiálov

V zeleno orámovaných rámčekoch sú odberatelia, ktorí odoberajú resp. vykupujú Komponenty na spracovanie, alebo zneškodnenie a vzťah spracovateľ – odberateľ sa realizuje na základe odchodnej zmluvy.
V červeno orámovaných rámčekoch sú komponenty, ktoré majú odberateľov, ale len na čiastočné spracovanie , alebo energetické zhodnotenie a je potrebné riešiť ich finálne zhodnotenie.
Jedná sa hlavne o : plasty zmesové, hadice, tesnenia, molitany – PUR peny, koberce, textílie izolačné materiály, sklo lepené, svietidlá, pneumatiky.

Tab. 1.1 Priemerné množstvá materiálov získaných z jedného vozidla

Druh materiálu		Množstvo kg	Spôsob nakladania s odpadom
Kvapaliny	olej	8 litrov	
	nafta	5 litrov	
	benzín	5 litrov	
	nemrznúca	10 litrov	
	do ostrekovačov	2 litrov	
	brzdová kvap.	0,5 litrov	
Kovy	karoséria	420	
	nápravy	86	
	motor	90	
	prevody	42	
	disky	22	
	sedačky	20	
	štartér	4	
	alternátor	1,5	
	motorčeky	2,0	
Meď	káble	7	
	štartér	1,5	
	alternátor	1,2	
	motorčeky	0,5	
Hliník	motor	22	
	prevodovka	12	
	alternátor	0,2	
	disky	42	
Plasty PP-PE	Nárazníky, nádrže	38	
	plasty pri motore	7	
	plasty interiér	22	
Gumy	pneumatiky	28	
	hadice	2,5	
	tesnenia	6	
Plasty zmesové	nárazníky	6	
	plasty pri motore	8	
	plasty interiér	9	
Ostatné	airbagy	3	
	batéria	18	
	koberce	8	
	molitan	13	
	sklo	42	
	svietidlá	7	
	tapacíry	8	
	textil	20	
	elektro. odpad	5	
	Izolačné mat.	5	
	Rôzne obaly	6	
Platina	Katalyzátor	gramy	

U odpadového materiálu zo starých vozidiel, kde nie je ešte doriešené zhodnotenie recykláciou – spracovanie na iné užitie malo by prevziať potrebnú iniciatívu združenie UNIVNET a napomôcť vyriešeniu potrebných technológií.

1.4 Technologické zariadenia potrebné na spracovanie resp. zneškodňovanie odpadov

Pri demontáži starých vozidiel vzniká druhotná surovina recyklovateľný odpad a odpad, ktorý sa nedá využiť a ide buď na energetické zhodnotenie, alebo na skládku. Záväzná direktíva stanovila dosiahnuť zhodnotenie 95% z toho 10% energetický.
Technológie na demontáž starých vozidiel máme a na pomerne dobrej úrovni no horšie je to s technológiami na úpravu vytriedených materiálovo z titulu prepravy a použitia u finálneho spracovateľa druhotnej suroviny. Napríklad odstrojená karoséria zaberá príliš veľa priestoru a ako taká sa nedá vsádzkovať do taviacich pecí. Jednoznačne treba strojné zariadenie na jej úpravu tzv. liso-strih. Podobne je to s plastami a purpenami, ktoré treba podrviť a zmenšiť ich objem z dôvodu prepravy ,ale aj použitia ako druhotnej suroviny u spracovateľa. Musíme robiť všetko preto, aby čo najväčšie množstvo vytriedeného odpadu po demontáži auta sa stalo druhotnou surovinou.
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. Úspešne problematiku úpravy materiálov po demontáži starého auta riešil autorizovaný spracovateľ MAVEBA Hanušovce n/Topľou.
Zostrojili zariadenie na odblankovanie káblov – oddeľuje od káblika plast a meď. Zostrojili stroj na drvenie plastov a zariadenie na drvenie lepených skiel. Navrhli zariadenie na zlisovanie a postrihanie odstrojenej karosérie.

1.4.1 Sklo lepené

Lokalizácia odpadu lepených autoskiel a lepených tabuľových skiel

Automobilky na Slovensku VW, PSA a KIA podľa dostupných údajov poškodia pri montáži vozidiel spolu cca 3200 ks/ čelných skiel za rok, čo predstavuje váhu 44.800 kg. Od nich to odoberajú organizácie zodpovedné za odvoz odpadu a odovzdávajú spracovateľovi Auto Glass Recycling s.r.o Šelpice.
Ďalším zdrojom sú autorizovaní spracovatelia starých automobilov. Počtu rozobratých áut by mal zodpovedať aj počet skiel. V tomto prípade sa jedná o všetky sklá t.j. čelné, bočné a zadné lepené, sa môžu vyskytnúť u novších modelov. Ak sa ročne vyradí cca 32.000 ks starých áut, znamená to objem pri 14kg /1 ks váhu celkom 448.000 kg.
Najväčším „zdrojom“ sú servisy, ktoré vymieňajú poškodené sklá. Na Slovensku je podľa údajov z webu cca 1200 servisov, z toho ich je okolo 120 špecializovaných na výmenu skiel, pričom vymieňajú aj univerzálne autorizované aj neautorizované servisy. Výmena u špecializovaných servisov sa pohybuje od 500 do 1000 ročne, u tzv. univerzálnych od 50 do 200 ks ročne. Obísť všetky servisy by bolo na niekoľko mesiacov, zbytočne vysoké náklady, týmto spôsobom by sa aj tak nezískali presné údaje. Boli navštívené niekoľké servisy a po získaní informácií sa ukázalo za potrebné

navštíviť importérov a u nich zistiť objem dovozu. Najväčší zdrojom odpadu lepeného tabuľového skla na Slovensku sú samotní výrobcovia a spracovatelia. Na Slovensko sa ročne dovezie 3mil. m2 plochého skla. Medzi najväčších spracovateľov patria firmy: GLASKO Prešov, AGC Trenčín, IZOGLOBAL Martin, GLASSOLUTIONS Nitra, SAINT GOBAIN Bratislava, WINDOWGLASS Dunajská Streda. Odpad z výroby je cca 1200 ton.

spracovatelia starých vozidiel		480 t/ rok
všetky druhy servisov		1830 t/ rok
nákladná doprava a autobusy		60 t/ rok
výroba lepených skiel		1200 t/rok
	spolu:	3570 t/ rok

Jediným súčasným spracovateľom je Auto Glass Recycling s.r.o Šelpice, ktorí majú so spracovaním problémy, hlavne čistota skla a polivynil butiralu (PVB) pre ďalšie použitie.

1.4.2 Plastové diely

Automobil má priemerne celkom 90 kg rôznych plastov čo pri ročnej demontáži 50.000 áut predstavuje 4500 ton plastov rôzneho zloženia. Sú to plasty zmesové- kompozitne a plasty PP a PE. Na spracovanie plastov PP a PE boli postavené nové technológie termokatalytického spracovania odpadových plastov – Enviro Lieskovec a.s. a PWR plastic waste recycling a.s. v Lučenci, ktorej súčasná produkčná kapacita zariadenia je cca. 250 t produktu mesačne. Enviro Lieskovec a.s. po požiari v roku 2016 so spracovaním plastov skončil.

Technológia termokatalytického spracovania odpadových plastov spočíva v spracovaní PE a PP odpadového plastu na tekuté uhľovodíky metódou katalytickej depolymerizácie. Počas tohto procesu vznikajú tekuté a plynné uhľovodíky – benzíny a nafta – vykurovací olej. Získaný produkt sa spracuje na komponenty, ktoré majú identické alebo podobné vlastnosti ako minerálne oleje, a používajú sa ako zložka tekutých palív, materiál pre ďalšie spracovanie v petrochemickom a chemickom priemysle ako vykurovacie oleje, alebo ako riedidlá a rozpúšťadlá . Výhodou spracovania touto technológiou je možnosť spracovania plastov, ktoré sú znečistené olejmi, ropnými produktmi alebo inými aj čiastočne toxickými látkami, alebo spracovanie a zhodnocovanie odpadových fólií, ktoré sú odpadom z technologických alebo logistických procesov, ktoré sú znečistené iným materiálom alebo procesom tak, že nie sú vhodné pre spracovanie granuláciou alebo iným obdobným spôsobom recyklácie. Kapacita v Lučenci je nepostačujúca , aby pokryla potrebu spracovania PE a PP plastov. Zmesové plasty sú odkázané na energetické zneškodnenie.

1.4.3 Pneumatiky.

Akciová spoločnosť V.O.D.S. v Priemyselnom parku Kechnec postavila Závod na spracovanie opotrebovaných pneumatík a gumy a prevádzku spustila v máji 2006 spoločnosť dokáže komplexne zabezpečiť zber a materiálové zhodnotenie 46 tisíc ton opotrebovaných pneumatík, až po zapracovanie výsledného kvalitného granulátu z gumy do finálnych výrobkov – gumovej dlažby pre detské ihriská a športových povrchov.



Obr. 1.15 Gumová dlažba pre detské ihriská a športové povrhy

Považská cementáreň, a.s., Ladce začala úspešne spaľovať opotrebované pneumatiky a gumový odpad vo svojej rotačnej peci s disperzným výmenníkom tepla už od roku 1983. Dlhodobé skúsenosti preukázali možnosť náhrady cca 10 % ušľachtilého paliva, pričom aj naďalej existuje potenciál ďalších úspor. Výsledky zo spaľovania ukázali dokonale zvládnutý proces zneškodnenia opotrebovaných pneumatík a gumových odpadov bez negatívneho dopadu na kvalitu produkcie a životné prostredie. Považská cementáreň, a. s., Ladce týmto spôsobom dokáže bezproblémovo zneškodniť 10 000 ton opotrebovaných pneumatík a gumového odpadu za rok.



Obr. 1.16 Pneumatiky a gumový odpad

Cementáreň Rohožník

Ochrana životného prostredia a najvyššie štandardy environmentálneho manažmentu sú pre nás v CRH (Slovensko) a.s. veľkým záväzkom. Naše závody využívajú najnovšie technológie, vďaka ktorým prispievame k ochrane životného prostredia. Cementáreň v Rohožníku je toho príkladom. Pri výrobe cementu šetrným spôsobom ročne spracuje až 200 000 ton alternatívnych palív. Energetické zhodnotenie alternatívnych palív v cementárenských peciach je považované za najekologickejšie zhodnotenie

nerecyklovateľnej frakcie odpadu s vyššou výhrevnosťou. Okrem toho, že nachádzame zmysluplné využitie alternatívnych palív, šetríme touto cestou aj prírodné zdroje palív a redukujeme celkové množstvo emisií vrátane emisií CO2.

DRON Industries s.r.o bola založená v roku 2001 s cieľom vývoja environmentálnej a ekonomicky rentabilnej technológie. Táto technológia zhodnocuje odpadové pneumatiky, ktorá funguje v prevádzkových podmienkach. Táto inovatívna technológia získala v roku 2011 ocenenie „Zlatý mravec“ v kategórii inovatívne riešenie.

Hlavné výrobky:

1. Kvapalné frakcie DRON olej (DO)
2. Tuhá frakcia DRON koks (DK)
3. Plyn DRON plyn (DP)
4. Oceľové kordy DRON oceľové kordy (DOK)

Kapacita spracovania je 15 tisíc ton/ rok
Na Slovensku je v evidencií MV 3 289 997 všetkých vozidiel. Nákladných, autobusov, prívesov, poľnotechniky – 890 160 a osobných včítane motocyklov – 2 399 817. Zatiaľ nie je k dispozícii údaj koľko pneumatík sa ročne vyradí a stanú sa odpadom. Tento údaj by napovedal či sú kapacity na spracovanie dostatočné.
Zberom pneumatík sa na Slovensku hromadne zaoberá spoločnosť **ELTMA**, ktorá ako OZV ma po celom území Slovenska zberné miesta.

1.4.4 Koberce , textílie, obloženia interiéru ap.

Spoločnosť STERED PR Krajné, s.r.o. sa zaoberá ako jediná na Slovensku spracovaním textilného odpadu z recyklovaných áut využívajúc vynikajúce vlastnosti použitého materiálu a jeho vlastnosti. Dodaný zmiešaný textilný odpad zo starých vozidiel, technologický odpad z výroby nových dielov, ako aj textilná drvina z opotrebovaných pneumatík sa mechanicky upravia na textilnú drvinu, ktorá sa špeciálnymi receptúrami spracováva na hotové výrobky. Výrobky STERED sa od výrobkov podobného určenia, ktoré sú dostupné na trhu, líši najmä tým, že majú stabilné fyzikálno-mechanické vlastnosti, dlhú životnosť, sú chemicky a mechanicky odolné takže ich možno použiť aj v zaťaženejšom prostredí. K ďalších pozitívam patrí fakt, že sú netoxické, odolné voči vode, plesniam, hlodavcom, zdravotne neškodné, a čo je tiež dôležité – opätovne recyklovateľné. STERED bez pridania spojiva sa môže využiť ako voľne sypaný izolačný materiál do medzi krovových a stropných priestorov domov.



Obr. 1.17 Koberce , textílie, obloženia interiéru ap.

Energetická náročnosť spracovania textílií z automobilového sektoru na výrobky STERED je 3 až 5 x energeticky úspornejšie, ako výroba izolačných materiálov na báze kameňa, resp. skla. Tým je v plnom súlade s Akčným plánom Európskej komisie pre energetickú účinnosť. K napĺňaniu cieľov Akčného plánu energetickej účinnosti prispievajú aj finálne výrobky STERED aplikované v stavebných výrobkoch, keď prispievajú znižovania tepelných únikov budov. STERED realizuje cirkulárnu ekonomiku = domáci odpad mení na surovinu, ktorá šetrí energiu na chladenie, ochladzuje povrch a okolie stavby, zabraňuje tvorbe tepelných ostrovov, obnovuje biodiverzitu v zastavanom území, zhodnocuje odpad zo skládok.



Obr. 1.18 Výrobky STERED pre priemysel, pre domácnosť, pre dopravu

1.4.5 Molitany – PUR peny

Spoločnosť KRASPLAST s.r.o. Krasňany ako prvá zaviedla technológiu spracovania PUR peny zhomogenizovaním s následným vytvrdením zmesi drviny PUR peny z autosedačiek a použitím spojiva na báze tekutých polymérov, bola vyrobená tepelná-akustická izolačná doska vhodná na strešné, podlahové a stenové zvukovo tepelné izolácie. Výrobok niesol obchodný názov EKOMOLITAN. Prevádzka po troch rokoch zanikla. ZSNP RECYKLING, a.s. sa začal v roku 2012 zaoberať touto technológiou s využitím poznatkov s KRASTPLAST s.r.o. a v spolupráci s STU BA vyrobili laboratórne izolačné panely. No ani tento variant sa na trhu neuplatnil.



Obr. 1.19 Izolačné panely

1.5 Logistika zberu a prepravy materiálov na ďalšie spracovanie

Na Slovensku je v jednotlivých regiónoch celkom 46 autorizovaných spracovateľov starých vozidiel (Príloha č. 1 a 2), ktorí majú zriadené zberné miesta (Príloha 3) z ktorých privážajú staré autá na spracovanie. Po demontáži starého auta putuje odpad na druhotné spracovanie. Spracovatelia odpadu druhotnej suroviny sú rôzne vzdialený (Príloha č. 4) a tým náklady na prepravu sú často vyššie ako cena predanej druhotnej suroviny. Najmenej náročné je to s materiálmi z kovu, v každom okresnom meste sú zberné suroviny. Pri spracovaní cca 50 tisíc automobilov a priemernej váhe jedného auta cca 1200 kg vzniká celkom 60 tisíc ton materiálu, ktorý treba premiestniť k odberateľovi. Ak počítame s použitím 24–40 tonovými vozidlami tak denne treba prepraviť cca 200 – 240 ton materiálu. Pri preprave vznikajú dva problémy, jedným je preprava odstrojených karosérií – veľké rozmery – vozí sa vzduch. V tomto prípade treba pomôcť spracovateľom a doriešiť úpravu karosérie napr. zlisovanie čo sa už v minulosti technický riešilo. Na druhej strane sú to materiály, ktoré majú malý podiel hmotnosti a treba ich u spracovateľa zhromažďovať až do ekonomický prepravovaného množstva čo u niektorých materiálov, napr. textílie, pri spracovaní tisíc áut za rok predstavuje len 20 ton.

Za mesiac však všetci spracovatelia vytriedia cca. 60 ton textílií. Tento algoritmus sa týka ďalších materiálov, sklo, pneumatiky, hadice, molitan, reflektory, airbagy a pod.
Je preto žiaduce, aby preprava bola organizovaná – zavedený logistický systém, ktorý by využívali spracovatelia starých áut a spracovatelia druhotných surovín.
Jedna s možností je, aby spracovatelia starých vozidiel vytvorili spoločne takúto prepravnú spoločnosť, ktorá by túto činnosť pre všetkých vykonávala.

1.6 Námet na vytvorenie informačného systému sledovania toku odpadov zo starých vozidiel.

Doterajšie skúsenosti poukazujú na to , že dosiahnuť efektívny , ekonomický a prehľadný systém zberu odpadu ako druhotnej suroviny je potrebné vytvoriť dostupný informačný systém. V prvom rade treba analyzovať stávajúci stav. Osobne navštíviť všetkých účastníkov tohto procesu – autorizovaných spracovateľov, spracovateľov druhotných surovín a prepravcov, ktorí už túto činnosť vykonávajú. Na základe zozbieraných poznatkov vytvoriť prvotnú údajovú základňu. Do informačného systému by mali vstupovať spracovatelia vozidiel, druhotný spracovatelia a prepravcovia. Musí to byť živý systém, prístupný na internete, aby prinášal zúčastnením benefity. Okrem ekonomických prínosov v preprave by sa sprehľadnil aj prúd odpadu zo starých automobilov.

Dňa 29. januára 2020 vzniklo združenie UNIVNET spojením Zväzu automobilového priemyslu SR a viacerých výskumných univerzít: Slovenská technická univerzita v Bratislave, Ekonomická univerzita v Bratislave, Technická univerzita v Košiciach, Žilinská univerzita v Žiline a Technická univerzita vo Zvolene. Cieľom združenia UNIVNET je realizovať výskumno-vývojové aktivity v oblasti recyklácie a zhodnocovania odpadov najmä v automobilovom priemysle.

1.7 Príloha č.1 ZOZNAM AUTORIZOVANÝCH SPRACOVTEĽOV

Por. číslo	Obchodné meno a miesto podnikania/ Obchodné meno a sídlo	Číslo autorizácie	Druhy odpadov, na ktoré sa autorizáciaudeľuje	Časplatnosti autorizácie*
1.	De-S-Pe, spol. s r.o. Gorkého 3 811 01 Bratislava, Prevádzka: Sebedražská cesta 2, Prievidza	88/A/03-6.2	16 01 04,16 01 06,	24.08.2023
2.	MAVEBA, s.r.o. Železničiarska 6 094 31 Hanušovce nad Topľou	106/A/04-6.2	16 01 04, 16 01 06	05.02.2024
3.	Fe-MARKT, spol. s r.o. Staničná 35 044 02 Turňa nad Bodvou, Prevádzka: Železničná 185, 044 02 Turňa nad Bodvou	107/A/04-6.2	16 01 04, 16 01 06	05.02.2024
4.	ZSNP RECYKLING, spol. s r.o. Priemyselná 12 965 63 Žiar nad Hronom	108/A/04-6.2	16 01 04, 16 01 06	20.02.2024
5.	Autovraky, s.r.o. Nitrianska 27 917 01 Trnava	110/A/04-6.2	16 01 04, 16 01 06,	26.05.2024
6.	Peter Popivčák – POP - CAR SERVIS Barčianska ul. 2/A 040 17 Košice	116/A/04-6.2	16 01 04	25.05.2019
7.	WIP Autovrakovisko, s.r.o. Agátový rad 3 931 01 Šamorín, Prevádzka: Agátový rad 3 931 01 Šamorín	117/A/04-6.2	16 01 04, 16 01 06	31.07.2024
8.	AUTO – AZ, spol. s r.o. Pekárska 11 917 01 Trnava, Prevádzka: Bratislavská 20 901 51 Zohor	122/A/04-6.2	16 01 04, 16 01 06	31.12.2024
9.	ŽOS-EKO, s.r.o. 039 61 Vrútky, Prevádzka 1: ŽOS-EKO, s.r.o., Vrútky, lokalita „Blatná“, Prevádzka 2: Dielenská Kružná 2, 038 61 Vrútky, Prevádzka 3: objekt 10862 v areáli ŽOS-EKO Vrútky, a.s., Dielenská, Kružná 2, 038 61 Vrútky	125/A/05-6.2	16 01 04, 16 01 06	31.01.2025
10.	AUTOVRAKOVISKO, s.r.o., Priemyselná 11, 900 27 Bernolákovo	135/A/05-6.2	16 01 04, 16 01 06	30.06.2025
11.	Anna Gajdošová – PROTAN, Stropkovská 1, 089 01 Svidník	150/A/06-4.2	16 01 04, 16 01 06	07.02.2026
12.	WIP Autovrakovisko, s.r.o. Agátový rad č. 3 931 01 Šamorín, Prevádzka: Galvaniho 12 Bratislava, k.ú. Trnávka	151/A/06-4.2	16 01 04, 16 01 06	31.03.2026
13.	Ing. Radoslav Popovič – RADES, Okružná 5, 071 01 Michalovce, Prevádzka: Hažín č. 103, Michalovce	156/A/06-4.2	16 01 04, 16 01 06	31.10.2026
14.	Helpeco, s.r.o., Mládežnícka 2275, 017 01 Považská Bystrica, Prevádzka: Priemyselný park, 017 01 Považská Bystrica	158/A/06-4.2	16 01 04, 16 01 06	31.10.2026
15.	Jozef Figeľ – KOV-NZPÚ, 076 02 Novosad 7, Prevádzka: Plynárenská 3, 071 01 Michalovce	160/A/06-3.4	16 01 04, 16 01 06	29.11.2026
16.	Štefan Németh – NEOF, Hlavná 194, 929 01 Veľké Dvorníky	164/A/07-3.3	16 01 04, 16 01 06	31.10.2027
17.	Marián Ondrík, Oravická č. 509, 027 12 Liesek, Prevádzka: Oravická č. 730 027 12 Liesek	165/A/07-3.3	16 01 04, 16 01 06	14.11.2027

18.	INGEMAR, s.r.o., Železničná 26A Senec 903 01, Prevádzka: Železničná 1, 903 01 Senec	166/A/08-3.3	16 01 04, 16 01 06	31.03.2023
19.	ZELKOV, s.r.o., Viničná 17, 940 01 Nové Zámky	168/A/08-3.3	16 01 04, 16 01 06	31.03.2023
20.	Martin Augustín – Autovrakovisko MATTY, Igram 210, 900 84 Igram, Prevádzka: Areál PD, Igram	172/A/08-3.3	16 01 04, 16 01 06	07.07.2023
21.	ŽP EKO QELET, a.s., Československej armády 1694, 036 01 Martin, Prevádzka: Priemyselná, 966 01 Hliník nad Hronom	174/A/08-3.3	16 01 04, 16 01 06	01.08.2023
22.	Jozef Figeľ - KOV - NZPÚ, Hlavná č. 7, 076 02 Novosad	178/A/08-3.3	16 01 04, 16 01 06	07.12.2018
23.	Csoko, s.r.o., Pšeničná 8/b, 821 06 Bratislava	179/A/08-3.3	16 01 04, 16 01 06	07.12.2018
24.	ŽP EKO QELET, a.s., Československej armády 1694, 036 01 Martin, Prevádzka: Kamenná 15, 010 01 Žilina	181/A/09-3.3	16 01 04, 16 01 06	24.03.2019
25.	P+K s.r.o., Vajnorská 89, 831 04 Bratislava Prevádzka: Cerovská ulica 181/1608, 900 81 Šenkvice	182/A/09-3.3	16 01 04, 16 01 06	12.03.2019
26.	Eco-recycling s.r.o. Kopčanská 41, 908 51 Holíč	183/A/09-3.3	16 01 04, 16 01 06	29.03.2019
27.	GALIMEX EKO, a.s. Sučianska 49 036 08 Martin	184/A/09-3.3	16 01 04, 16 01 06	29.06.2019
28.	DOPRAVA A SLUŽBY, K & T, spol. s r.o. Horelica 13 022 01 Čadca	185/A/09-3.3	16 01 04, 16 01 06	23.09.2019
29.	ALUEX, s.r.o. Môťovská cesta 8460 960 01 Zvolen	190/A/10-3.3	16 01 04, 16 01 06	15.04.2020
30.	CARS IQ, spol. s r. o., Žilinská 112 921 01 Piešťany	192/A/10-3.3	16 01 04, 16 01 06	13.05.2020
31.	KOVOZBER, s. r. o. Radlinského 28 052 01 Spišská Nová Ves	198/A/11-3.3	16 01 04, 16 01 06	07.04.2021
32.	Kolman s.r.o. Murgašova ul. 1759/54 018 41 Dubnica nad Váhom	210/A/13-3.3	16 01 04, 16 01 06	01.10.2018
33.	Ing. František Jendroľ STAVPOČ, Klin č. 175 029 41 Klin Prevádzka: Ul. Vojenská č. 812 029 01 Námestovo	211/A/13-3.3	16 01 04, 16 01 06	04.08.2023
34.	Ján Džunda UNO, Gerlachov 68 086 04 Kružlov Prevádzka : Továrenská 1846/51 064 01 Stará Ľubovňa	216/A/13-3.3	16 01 04, 16 01 06	23.10.2018
35.	HOTIS RECYCLING SLOVAKIA s.r.o. Myslenická 1 902 01 Pezinok Prevádzka : Šenkvická 15/B 902 01 Pezinok	219/A/14-3.3	16 01 04, 16 01 06	20.01.2019
36.	G + G Autoslužby, s.r.o. Levočská 857 058 01 Poprad	220/A/14-3.3	16 01 04, 16 01 06	20.01.2019
37.	KOVOSTAVBY s.r.o. Duchnovičova 802 067 61 Stakčín	221/A/14-3.3	16 01 04, 16 01 06	20.01.2019

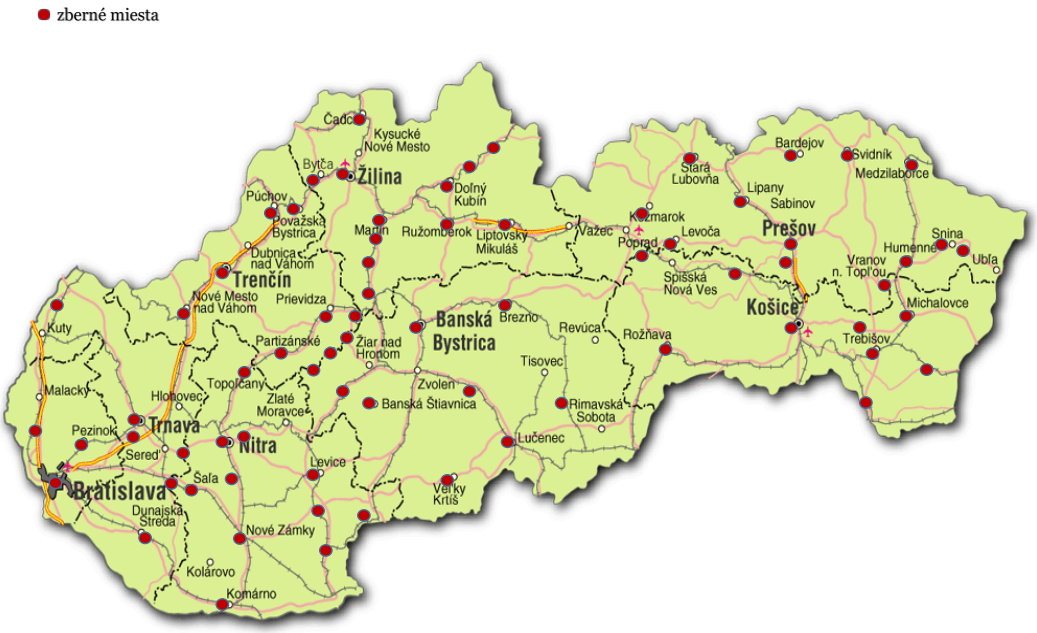
38.	WAMP s.r.o. Sama Chalúpku 615/4 029 01 Námestovo Prevádzka: Vavrečka, parcela 732/ a 726 029 01 Námestovo	224/A/14-3.3	16 01 04, 16 01 06	30.04.2019
39.	Daniel Laluch AUTOLALUCH, Malá Kráľová 181 951 32 Horná Kráľová Prevádzka: Malá Kráľová 181 (Pod Tópartom) 951 32 Horná Kráľová	225/A/15-3.3	16 01 04, 16 01 06	13.02.2020
40.	Ján Florian - FLOMAN, Belehradská 10 040 13 Košice Prevádzka: Kpt. Nálepku 4248, 069 01 Snina	229/A/15-3.3	16 01 04, 16 01 06	10.04.2020
41.	EAST-WEST SK, s. r. o. Bátovce 364 935 05 Bátovce	230/A/15-3.3	16 01 04, 16 01 06	19.05.2020
42.	Auto MAX Šurany, s.r.o. Jánošíkova 23 942 01 Šurany Prevádzka : Družstevná 5 942 01 Šurany	236/A/16-3.3	16 01 04	13.01.2021
43.	AUTONOVOTNY, s.r.o. Stummerova ul. 4879/178 955 01 Topoľčany	0040/SV/SPR/A/16-3.3	16 01 04	02.06.2021
44.	Final Form a.s. Robotnícka 10 974 01 Banská Bystrica Prevádzka : Kendice č. 390, 082 01 Kendice	0100/SV/SPR/A/16-1.8	16 01 04	30.12.2021
45.	KOVOŠROT VAŠIN, s.r.o. Lachmannova 350/72 908 43 Čáry	0106/SV/SPR/A/17-1.8	16 01 04	30.05.2022
46.	PIEC´ AUTO, s.r.o. Velčice 301 951 71 Velčice	0109/SV/SPR/A/17-1.8	16 01 04	29.07.2022

* Držiteľ autorizácie na spracovateľskú činnosť, ktorému autorizácia na spracovateľskú činnosť zanikla alebo bola zrušená, sa zo zoznamu autorizovaných osôb vyčiarkne.

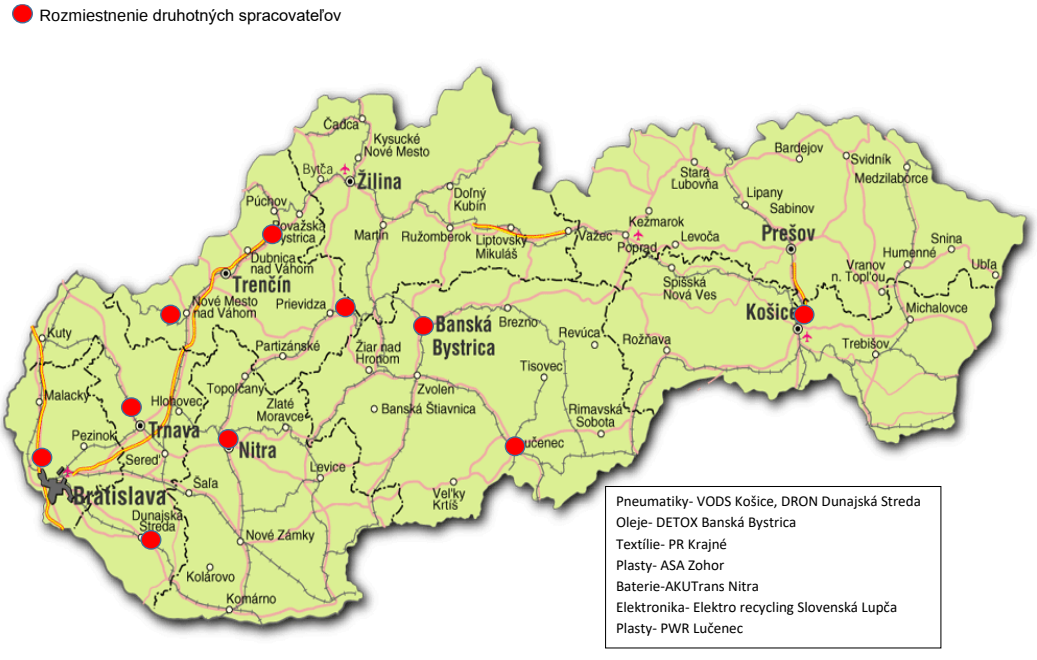
1.8 Príloha č. 2



1.9 Príloha č. 3



1.10 Príloha č. 4



Dopady automobilového priemyslu na Slovenskú republiku ako recyklujúcu spoločnosť

Riešiteľský kolektív projektu

prof. Ing. Pavol Ochotnický, CSc.*
Dr.h.c. prof. Ing. Rudolf Sivák, PhD.**
doc. Ing. Martin Lábaj, PhD.
prof. Ing. Ivan Brezina, PhD.

*Hlavný riešiteľ tímu Ekonomickej univerzity v Bratislave v platforme UNIVNET
**Koordinátor projektu a člen koordinačnej rady platformy UNIVNET

2 Dopady automobilového priemyslu na Slovenskú republiku ako recyklujúcu spoločnosť

2.1 Zhrnutie (Executive summary)

Výroba ako aj, prevádzkovanie automobilu až po jeho spracovanie po dobe životnosti tvoria jedinečný životný cyklus. Výrobcovia, ekonómia, výskumníci ako aj politici pripisujú tomuto cyklu a automobilite mimoriadnu pozornosť tak z dôvodov dopytu po neobnoviteľných zdrojoch, rastu úžitkových vlastností automobilov a ich bezpečnosti, ale aj dopadov na životné prostredie, ktoré je vystavené záťažiam a rizikám vo všetkých fázach životného cyklu automobilu.

Automobily a ich celý cyklus životnosti sú jednou z hnacích síl ekonomického rastu, štrukturálnych zmien, zamestnanosti, konkurencieschopnosti, zdroja tvorby a aplikácie inovácií, ktoré majú stále väčší význam pre udržateľnosť rozvoja hospodárstva. Majú obrovský vplyv na toky investícií, na nové technológie, na výdavky do vedy a výskumu, na požadovanú kvalitu súvisiaceho vzdelávacieho systému a pracovnú silu, na spotrebu energií, limitovaných zdrojov kovov a surovín, na spotrebu H2O, na emisie CO, CO2, CH4, N2O, NOx, SO2, atď. a na ďalšie záťaže životného prostredia.

To všetko v širšom kontexte ekonomiky, kedy životný cyklus automobilov od výroby, cez prevádzku až spracovanie automobilov po dobe životnosti je spojený s reťazcom vzťahov a procesov výrobcov, dodávateľov komponentov pre automobilový priemysel, firiem pôsobiacich pri výstavbe a prevádzke infraštrukturálnych sietí, v oblasti logistiky, výskumu a vzdelávania, vládnych politík apod. Je nesporné, že výroba a životný cyklus automobilov a inovácie budú v najbližších rokoch až desaťročie rozhodujúcim determinantom udržateľného rozvoja práve pre ekonomiku Slovenskej republiky (ďalej len SR) a pre jej štrukturálne zmeny.

Príspevok predstavuje odbornej a vedeckej komunite krátke zhrnutie doterajších hlavných poznatkov o vplyve automobilového priemyslu na rast a štruktúru ekonomiky, na zamestnanosť, tvorbu pridanej hodnoty, ako aj na spill over efekty automobilového priemyslu v Slovenskej republike (ďalej len v SR). Tieto otvorili do budúcna pre riešiteľov z Ekonomickej univerzity v Bratislave (ďalej len EUBA) ďalšie aktuálne výskumné otázky súvisiace s rozvojom automobilového priemyslu.

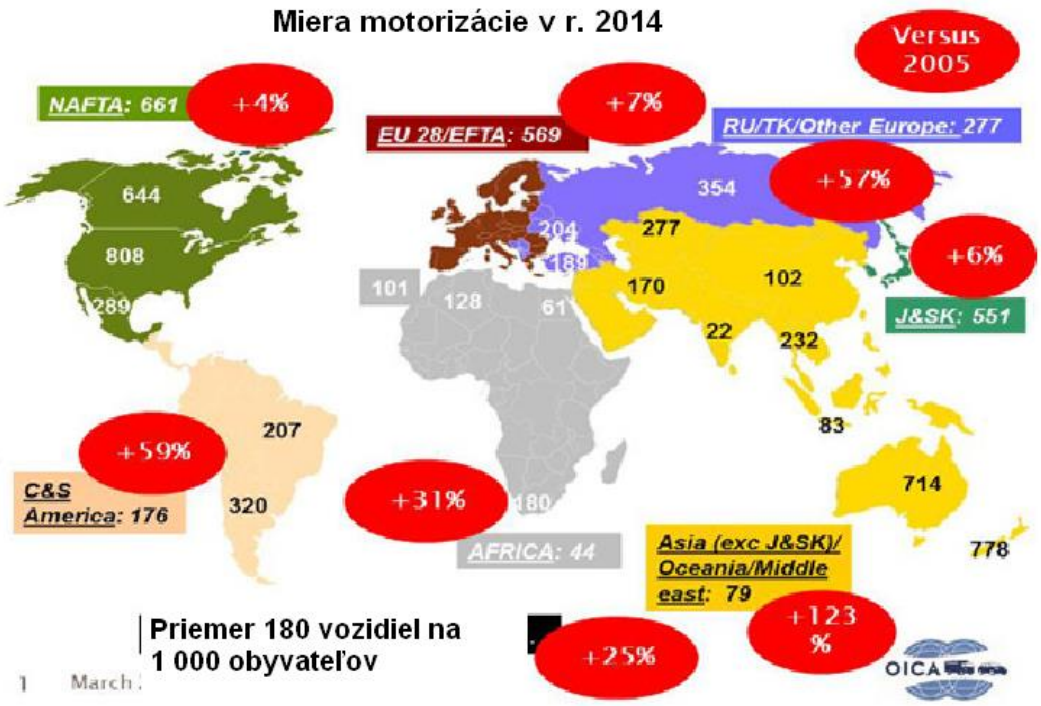
V oblasti odpadového hospodárstva doterajší výskum EUBA a tento príspevok (kapitola) prináša najmä kvantifikácie prúdov odpadov a kritických materiálov, ktoré súvisia so spracovaním a prevádzkou motorových vozidiel v SR. Okrem toho je v kapitole vyhodnotená tak schopnosť a logistika systému spracovania vozidiel po dobe životnosti v SR ako aj schopnosť z hľadiska budúcnosti plniť strategické ciele Európskej únie (ďalej len EÚ) v oblasti opätovného použitia a recyklácie starých vozidiel.

Základom resp. zdrojom sú doterajšie výsledky výskumu členov tímu UNIVNET a riešiteľov z EUBA, ktoré spracovali v rámci riešených projektov v gescii Národohospodárskej fakulty EU v Bratislave. Niektoré prezentované výsledky boli

spracované v rokoch 2013 až 2018 preto sú súčasťou kapitoly (z dôvodu súčasnej krízy a potreby aktualizácie) aj aktuálne výskumné témy, zámery a aktivity riešiteľov z EUBA, ktoré plánujú rozvíjať v rokoch 2020 až 2023 (aj v spolupráci s ďalšími riešiteľmi v rámci UNIVNET-u). Pôjde o naplnenie zámeru vyhodnotiť automobilový priemysel SR ako súčasť recyklujúcej spoločnosti a v kontexte životného cyklu automobilov.

2.2 Kľúčové trendy v motorizácii a životnom cykle automobilov vo svete a v SR

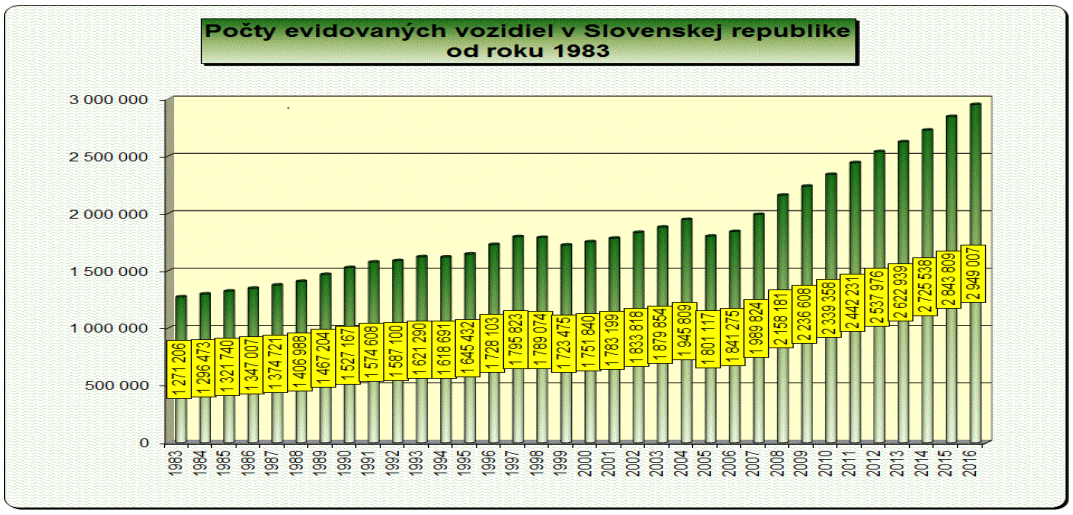
Podľa štúdie [19] z roku 2016 sa výroba automobilov vo svete zvýšila z 58,3 mil. vozidiel v roku 2000 na 90,8 mil. kusov vozidiel v roku 2015. Dynamika produkcie automobilov v Európe výrazne zaostávala za produkciou vo svete (s výrobou 20,3 mil. automobilov v roku 2000 a 21.1 mil. kusov v roku 2015), resp. až stagnovala. SR. Ale napriek tomu zaznamenala dynamický nárast výroby automobilov – zo 181 tis. v roku 2000 na 1 mil. a jedno vozidlo v roku 2015 (najmä prílevom zahraničných investícií do automobilového priemyslu).



Obr. 2.1 Miera motorizácie vo svete (celkový počet automobilov na tisíc obyvateľov) Zdroj: Vlastná úprava z OICA, http://www.oica.net.

Najvýznamnejší podiel na výrobe, ale aj používaní majú osobné automobily. V roku 2014 [19] bolo vo svete evidovaných 907 mil. používaných osobných automobilov z 1 236 mil. automobilov celkom. V Európe počet používaných osobných automobilov predstavoval 328 mil. z 382 mil. kusov a v SR takmer 2 mil. používaných automobilov

z 2.3 mil. vozidiel. Celkovou mierou motorizácie (motorization rate) na úrovni 413 automobilov sa SR blíži k vyspelejším svetovým krajinám/regiónom.
Potenciálnym zdrojom odpadu z prevádzky motorových vozidiel v SR je vozový park. Jeho dynamika sa v SR obnovila po prepade v rokoch 1998 a 2005, pričom počet evidovaných vozidiel v SR sa v roku 2016 priblížil k hranici 3 miliónov a od roku 1989 sa ich počet takmer zdvojnásobil.



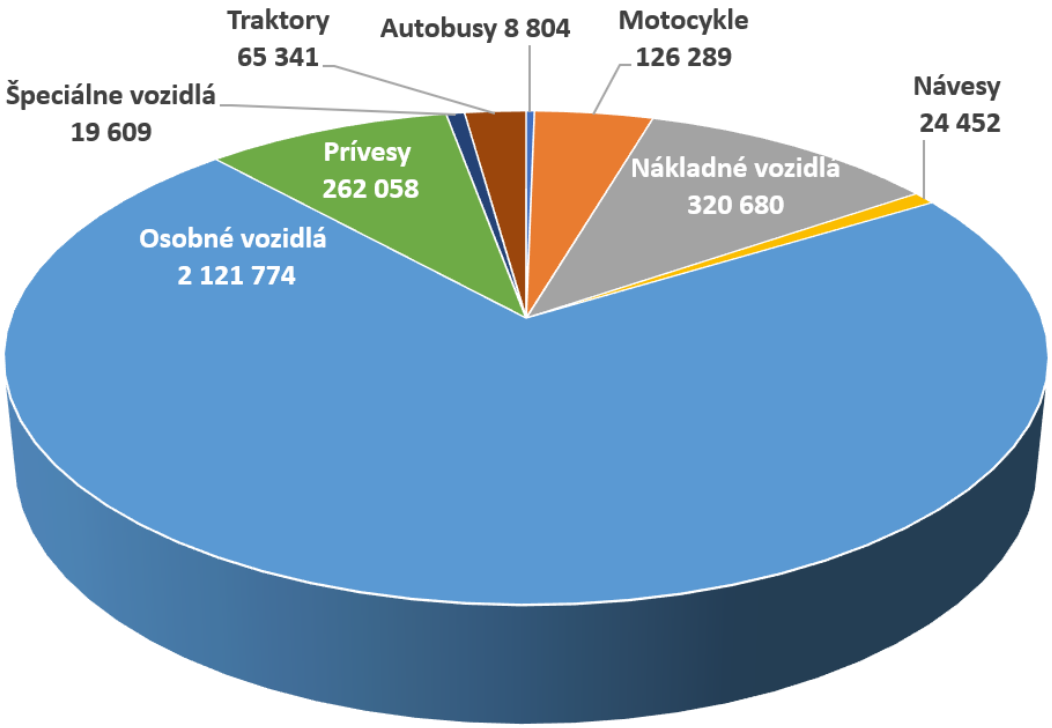
Obr. 2.2 Vývoj počtu evidovaných vozidiel v SR. Zdroj: Ochotnický a kol. (2017).

Dominantný podiel na celkovom počte majú osobné motorové vozidlá, ktorých podiel na konci roku 2016 tvoril 72 %.

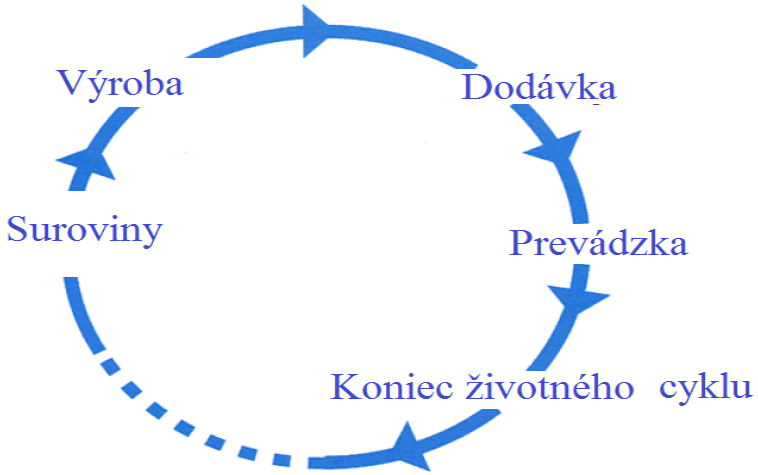
Podľa údajov Európskej komisie (ďalej len EK) každoročne tvorili vozidlá po dobe životnosti (ďalej len VPŽ) v Európskej únii (ďalej len EÚ) medzi 7 až 8 miliónov ton odpadu. Prevažná väčšina materiálov z vozidiel po dobe životnosti je recyklovateľná v rámci EÚ. Zvyšok vozidla je považovaný za odpad a všeobecne ide na skládky.

Legislatíva EÚ núti výrobcov k výrobe nových vozidiel bez nebezpečných látok (najmä olova, ortuti, kadmia a šesťmocného chrómu). Zároveň v súlade s ISO štandardmi 14040-44 a v súlade s vedeckými metódami LCM („Life cycle assessment“) sa od výrobcov vyžaduje objektívne posúdenie všetkých potenciálnych dopadov na životné prostredie produktov „od kolísky až po hrob“.

Stratégia EÚ smeruje najmä k opätovnému použitiu, recyklovateľnosti a zhodnocovaniu odpadov z vybraných vozidiel. Špeciálne je cielená na minimalizáciu dopadov a zneškodňovanie nebezpečných látok.



Obr. 2.3 Štruktúra evidovaných hlavných skupín vozidiel v SR (počet). Zdroj: Spracované z evidencie MV SR.



Obr. 2.4 Životný cyklus výrobkov a automobilov. Zdroj: Fluence and Fluence Z.E. Life cycle assessment, RENAULT 2011.

Za nebezpečné druhy odpadov z vyradených vozidiel sú považované, olejové filtre, výbušné časti (napr. bezpečnostné vzduchové vankúše), brzdové platničky a obloženie obsahujúce azbest, brzdové kvapaliny, nemrznúce kvapaliny obsahujúce nebezpečné látky (chladiaca sústava), odpady z elektrických a elektronických zariadení, nebezpečné časti, olovené batérie, oddelene zhromažďovaný elektrolyt z batérií a akumulátorov, použité katalyzátory.

2. Dopady automobilového priemyslu na Slovenskú republiku ako recyklujúcu spoločnosť

Technický pokrok a inovácie sa týkajú aj spôsobu zhodnocovania materiálových tokov a odpadov VPŽ. Prúdy odpadov sú s časovým posunom ovplyvňované najmä technologickými zmenami výroby automobilov, ich pohonných sústav a používaných pohonných hmôt, vývojom a zmenou štruktúry používaných materiálov na výrobu nových automobilov. Použitie ľahkých plastov a kompozitných materiálov v automobilovom priemysle v posledných rokoch výrazne rastie, a to najmä na úkor poklesu kovových častí vo vozidlách.

Je to tak najmä 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 však často pridávané z dôvodu vyššieho spotrebiteľského komfortu (okrem toho, že plasty sú ľahké, sú tiež odolnejšie a 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 sa v SR prejavili až v posledných rokoch, pričom významne a dynamicky zasahujú do prudkého rozvoja a do štruktúry dodávateľských reťazcov v SR a aj dovozov vstupov do automobilového priemyslu.

Kým komplexný vplyv automobilového priemyslu na zamestnanosť SR v roku 2012 bol v ďalej uvádzanej štúdii EUBA odhadnutý na cca. 201 tisíc pracovníkov, vytváral automobilový priemysel podľa prezidenta Zväzu automobilového priemyslu (ďalej len ZAP) priamo aj nepriamo v roku 2019 už 275 tisíc pracovných miest[20]. Ako ďalej uviedol prezident ZAP, vysoké hodnoty dosiahli v roku 2019 aj registrácie nových automobilov, keď bolo zaregistrovaných 113 863 nových oficiálne dovezených vozidiel všetkých kategórií. Na Slovensku sa v minulom roku zaregistrovalo 68 155 individuálne dovezených vozidiel, čím podiel nových vozidiel na celkových registráciách dosiahol 59,8 %. V roku 2019 pretrvával trend dovozu vozidiel starších viac 15 rokov. To má vplyv na bezpečnosť na cestách, úroveň emisií z dopravy a na životné prostredie [20].

Efekty na životné prostredie v SR a vo svete sú spojené ďalej s vývojom pohonných jednotiek, ale aj so zvýšením podielu plastov na úkor ťažších materiálov. Tieto efekty sú vo svete odhadované[1] cez redukciou hmotnosti o 10%. Len táto zmena má viesť k zvýšeniu účinnosti palív o 3% až 7%. Dopady na životné prostredie však nie sú odhadované ako jednoznačne priaznivé. Rastúce využívanie umelých hmôt presúva kladné pôsobenie na životné prostredie skôr na fázu používania automobilov (najmä cez zníženie emisií), než ku koncu životnosti vozidiel. Z niektorých štúdii vo svete tiež vyplynulo, že znižovanie váh automobilov dokonca môže mať negatívny dopad na životné prostredie.

Súčasné prúdy odpadov z automobilov sú generované materiálovým zložením vozidiel, vyrobených v predchádzajúcich dekádach. Podľa [24] a ďalších zdrojov [23,25], použitie ľahkých plastov a kompozitných materiálov v automobilovom priemysle v posledných rokoch výrazne rastie, a to najmä na úkor poklesu kovových častí vo vozidlách. Je to najmä 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 však často pridávané z dôvodu vyššieho spotrebiteľského komfortu. Okrem toho, že plasty sú ľahké, sú tieto tiež odolnejšie a ľahko tvarovateľné.

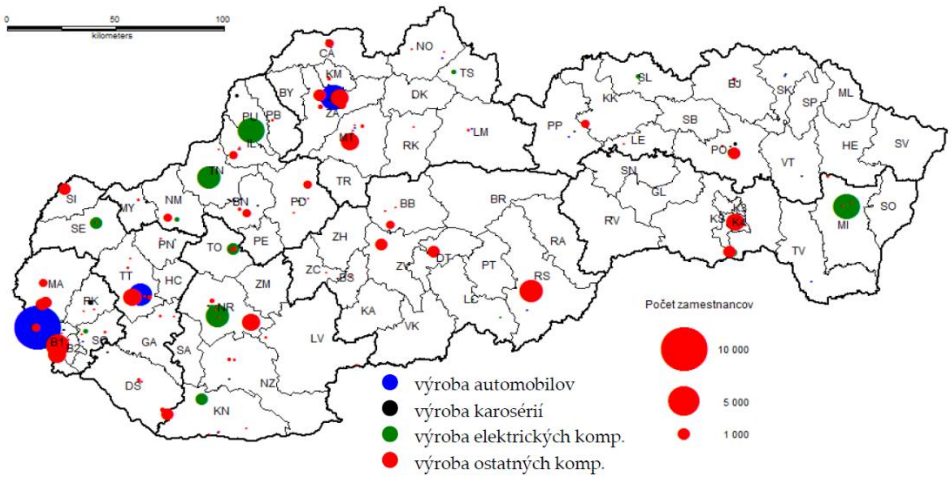
V roku 1965 z celkovej hmotnosti priemerného európskeho vozidla predstavovali železné a neželezné kovy 82% (z toho hliník 2%) a plasty iba 2%. V polovici 80. rokov bol tento pomer už 75% (z toho hliník 4,5%) k 8% a v roku 1998 už 67,5% (z toho hliník 8%) a plasty 9,3% [7]. Z hľadiska najvýznamnejších zmien sa zvýšil najmä percentuálny podiel plastov na hmotnosti priemerného vozidla. A to zo 6% v roku 1970 na 16% v roku 2010, pričom štúdia [2] očakávala, že v roku 2020 dosiahne ich podiel 18 %. To všetko má vplyv na rýchlosť, adaptačnú schopnosť a inovatívnosť tak všetkých dodávateľov automobiliek, ale aj spracovateľov vozidiel po dobe životnosti (VPŽ).

Podľa údajov Eurostatu za rok 2013 bolo v Európe (EÚ 28) generovaných 6,46 milióna ton odpadu z VPŽ. Z toho bolo 5,84 miliónov ton odpadov celkovo zhodnotených, čím miera zhodnotenia za EÚ 28 predstavovala 90,4 %. V SR bola miera zhodnotenia v roku 2013 na úrovni 93,7 % a celkový objem generovaného odpadu z VPŽ predstavoval 27,8 tisíc ton.

2.3 Národohospodárske efekty automobilového priemyslu v SR.

SR je vďaka zahraničným investíciám krajinou s najväčším počtom vyrobených áut na počet obyvateľov na svete. Automobilový priemysel je pre ekonomiku Slovenska kľúčovým, ale ako ukázali posledné dve krízy, je automobilový priemysel aj cyklicky veľmi zraniteľným odvetvím. Podľa štúdie kolektívu riešiteľov z EUBA z roku 2013 [15] v priebehu posledných 10 rokoch získala výroba áut a automobilový priemysel najvyšší podiel na priemyselnej produkcii, exporte i zamestnanosti v rámci všetkých priemyselných odvetví. Tvorí aj podstatnú časť prílevu priamych zahraničných investícií. Naviac generuje významné nepriame efekty u svojich subdodávateľov, objemom exportu pozitívne vplýva na vývoj obchodnej bilancie, podstatne zvyšuje technologickú úroveň, kapitálovú vybavenosť ekonomiky, determinuje technické zručnosti a spôsobilosť pracovnej sily na Slovensku.

V súčasnosti je výroba automobilov v SR spojená so štyrmi svetoznámymi značkami: Volkswagen v Devínskej Novej Vsi, francúzsky koncern PSA pri Trnave, kórejská Kia pri Žiline a indicko-britský koncern Jaguar Land Rover pri Nitre. Výroba bola už pred vstupom uvedeného koncernu rozmiestnená z dôvodu rozvinutosti infraštruktúry v západnej časti Slovenska. Svojim vplyvom na dodávateľov boli do výroby už pred rokom 2013 zapojené firmy pôsobiace prakticky od západu až po východ SR.



Obr. 2.5 Regionálne rozloženie výrobcov automobilov a ich dodávateľov. Zdroj: Luptáčik a kol., Národohospodársky význam automobilového priemyslu na Slovensku, EUBA 2013.

Prvé ucelené poznatky o dopadoch automobilového priemyslu na ekonomiku SR spracovanej v rámci EUBA poskytla slovenskej verejnosti vyššie citovaná štúdia [15]. Napriek tomu, že štúdia bola realizovaná pred zahájením výstavby závodu Jaguar Land Rover, štúdia s využitím input-output modelu ako prvá dokumentovala význam tohto priemyselného odvetvia pre ekonomiku SR a kvantifikovala aj vplyvy na rozvoj ostatných odvetví SR.

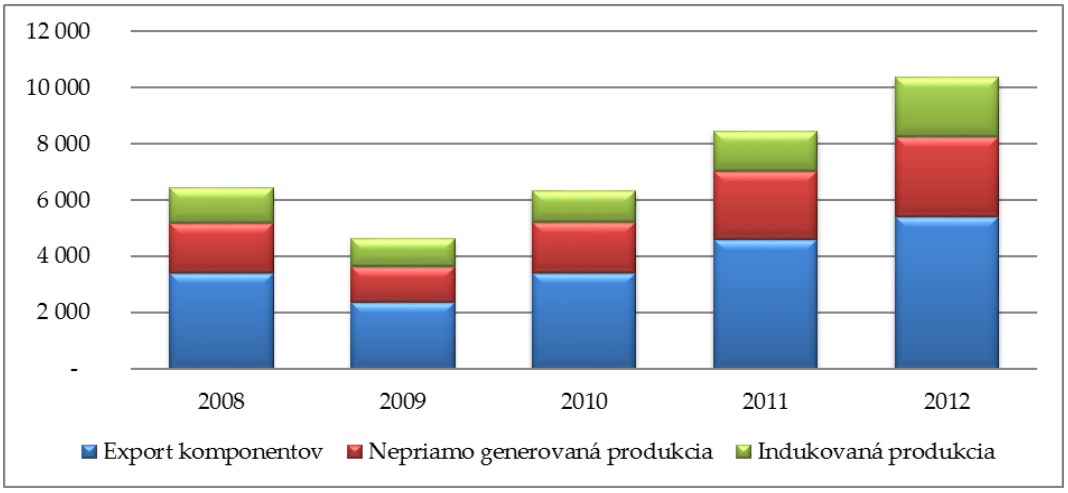
Štúdia na báze údajov najmä o medziodvetvových tokoch produkcie z roku 2013 detailnejšie kvantifikovala nasledovné významné efekty automobilového priemyslu na ekonomiku Slovenska: priame efekty u producentov automobilového priemyslu, efekty generované u dodávateľov v celom subdodávateľskom reťazci (nepriame efekty), efekty generované spotrebou domácností zamestnancov v automobilovom priemysle a u ich subdodávateľov (indukované efekty)1.

2.3.1 Identifikované efekty na produkciu

Výroba motorových vozidiel generuje významné nepriame efekty na svojich dodávateľov. Túto tézu potvrdzujú aj údaje za rok 2013 o vstupoch potrebných k výrobe automobilov na Slovensku. Z celkovej produkcie automobiliek tvorila v roku 2019 až 90% medzispotreba iných výrobkov a len 10% predstavovala pridaná hodnota. Z celkového objemu vyrobených áut na Slovensku 99% tvorilo export ako spotrebný tovar, pričom len nepatrná časť (menej ako 1%) slúžilo ako vstup do ostatných odvetví. Obdobne výroba karosérií a súčiastok je charakteristická rozsiahlou štruktúrou dodávateľských vzťahov a silnou závislosťou na svojich dodávateľoch s pridanou hodnotou cca 20 % objemu produkcie. Z hľadiska výroby karosérií a súčiastok v SR

[1] Tieto predstavujú komplexné väzby v ekonomike vyjadrené prostredníctvom Leontiefovho modelu, založeného na systéme symetrických input-output tabuliek, ktoré sú schopné komplexne zachytiť všetky vzájomné medziodvetvové väzby.

tretina produkcie bola určená pre automobilky v SR a iných výrobcov komponentov a dve tretiny boli na export.



	2008	2009	2010	2011	2012
Export komponentov	3 398	2 393	3 417	4 598	5 401
Nepriamo generovaná produkcia	1 801	1 268	1 811	2 437	2 862
Indukovaná produkcia	1 253	995	1 117	1 437	2 137
Celková generovaná produkcia	6 452	4 656	6 345	8 473	10 400

Obr. 2.6 Produkcia generovaná vývozom komponentov v mil. Eur. Zdroj: Luptáčik a kol., Národohospodársky význam automobilového priemyslu na Slovensku, EUBA 2013.

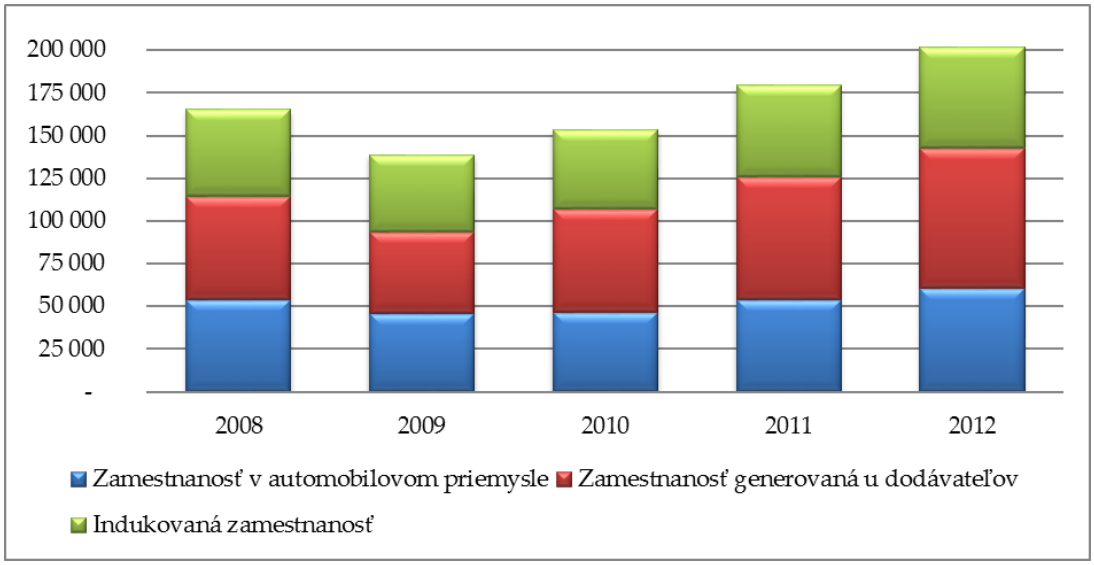
Podľa citovanej štúdie automobilový priemysel ako celok na Slovensku vyprodukoval v roku 2012 priamo okolo 20 mld. Euro, 8,6 mld. Eur bolo generovaných nepriamo v iných odvetviach. Celková produkcia generovaná automobilovým priemyslom predstavovala v roku 2012 na Slovensku 28,9 mld. Eur, čo tvorilo takmer 17 % produkcie celého národného hospodárstva v SR.

2.3.2 Efekty na zamestnanosť v SR

Jedno pracovné miesto vo výrobe automobilov v roku 2013 generovalo dodatočných 6 pracovných miest v iných odvetviach ekonomiky v SR. Ďalšie pracovné miesta sú generované v zahraničí, nakoľko veľká časť subdodávok pochádza z importu.

Štruktúra zamestnanosti v automobilovom priemysle sa výrazne líši od štruktúry produkcie. Len 16 % pracovníkov pracuje v automobilkách priamo pre export automobilov (vygenerujú však až 55 % produkcie odvetvia). Najvýraznejší podiel na zamestnanosti majú exportéri komponentov (až 50 %).
milión eur nepriamo aj ďalšie výrobky a služby v hodnote ďalších 2,82 mil. eur. Vstupy zo Slovenska pritom predstavovali pol milióna eur a zvyšok pochádzal z dovozu. Podľa výsledkov uvedenej štúdie vysoká dovozná náročnosť výroby automobilov (ale aj

komponentov do áut) na jednej strane negoval pozitívny účinok exportu automobilov na obchodnú bilanciu. Zároveň to bola ale šanca pre ďalší rozvoj a rast produkcie u dodávateľov a pre vstup do konkurencie.



	2008	2009	2010	2011	2012
Zamestnanosť v automobilovom priemysle	53 932	45 606	46 377	53 897	60 828
Zamestnanosť generovaná u dodávateľov	60 408	47 861	60 484	71 677	81 682
Indukovaná zamestnanosť	51 013	45 249	46 860	53 983	59 310
Celková generovaná zamestnanosť	165 352	138 715	153 722	179 557	201 820

Obr. 2.7 Štruktúra zamestnanosti v automobilovom priemysle Zdroj: Luptáčik a kol., Národohospodársky význam automobilového priemyslu na Slovensku, EUBA 2013.

2.3.3 Dovoz pre automobilový priemysel a trendy v jeho substitúcií

Dodanie automobilov v hodnote 1 milióna Eur do konečnej spotreby (či už vývoz alebo domáca spotreba) vyžadoval v roku 2013 vyrobiť okrem automobilov v hodnote 1

Ako ukazuje vývoj multiplikátorov zo štúdie, v rokoch 2000 až 2008 sa automobilovému priemyslu okrem podporovania rastu domácej produkcie postupne darí nahrádzať dovozy domácou produkciou. Pozitívnym zistením je aj rast multiplikátora pridanej hodnoty.

2.3.4 Zhrnutie, hlavné výsledky a súčasné výzvy

Z hlavných výsledkov citovanej štúdie z roku 2013 Luptáčik a kol. vyplýva, že automobilový priemysel generoval priamo a nepriamo 17 % hrubej produkcie ekonomiky SR, a vytvárl až 200 000 pracovných miest (9 % celkovej zamestnanosti).

2. Dopady automobilového priemyslu na Slovenskú republiku ako recyklujúcu spoločnosť

Jedno pracovné miesto v automobilkách generovalo približne 6 pracovných miest v ekonomike Slovenska, pričom jedno pracovné miesto u vývozcov komponentov vytváralo 1,5 ďalších pracovných miest.

Tab. 2.1 Vývoj vybraných multiplikátorov pre automobilový priemysel. Zdroj: Luptáčik a kol., Národohospodársky význam automobilového priemyslu na Slovensku, EUBA 2013

	34 - Výroba motorových vozidiel (2000)	34 - Výroba motorových vozidiel (2005)	29.1 - Výroba motorových vozidiel (2008)	29.2 a 29.3 -Výroba komponentov (2008)
Multiplikátor produkcie (bez dovozov)	1,12	1,22	1,54	1,53
Multiplikátor pridanej hodnoty	0,17	0,26	0,3	0,39
Multiplikátor importu	0,83	0,74	0,7	0,61

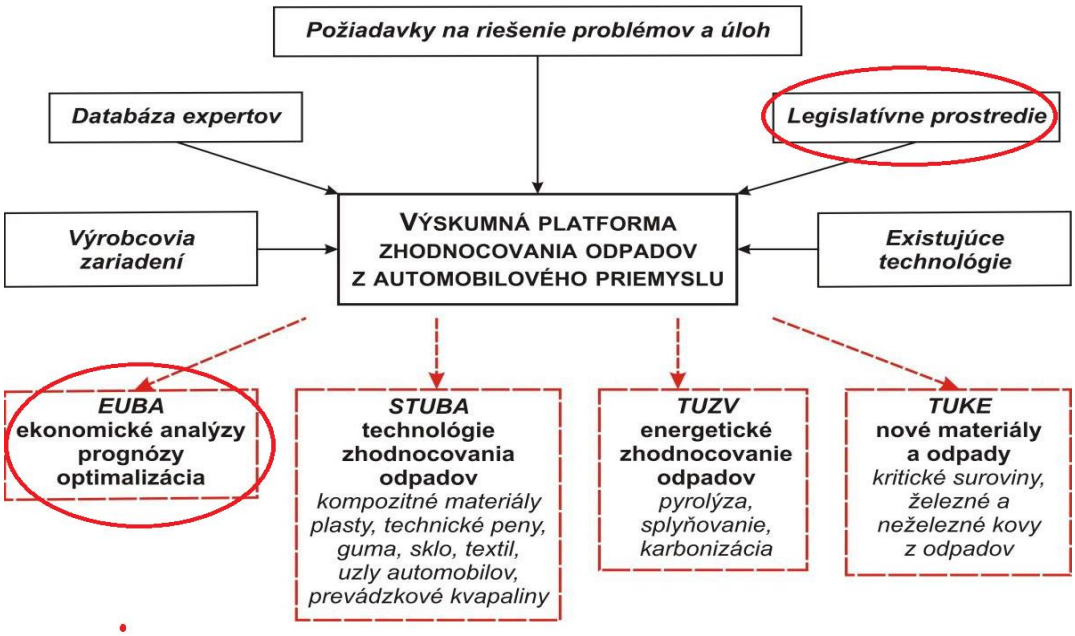
Priamo v automobilovom priemysle predstavovala vytvorená pridaná hodnota 4 % celkovej pridanej hodnoty v ekonomike SR. Pridaná hodnota na zamestnanca vytvorená v automobilovom priemysle na Slovensku bola vďaka vysokej produktivite práce 74 546 eur, čo je vysoko nad priemerom hospodárstva SR. Vysoká produktivita práce v automobilkách v SR vytvárala dobré predpoklady pre ich konkurenčnú schopnosť. Priamo a nepriamo generovaná pridaná hodnota bola približne 11 % celkovej pridanej hodnoty, z čoho až 6,5 % generoval samotný export.

Vysoké multiplikátory produkcie automobilového priemyslu vytvárajú potenciál pre vyššie dodávky vstupov od domácich producentov, ktorí by mohli čiastočne nahradiť dodávateľov zo zahraničia. Príjmy domácností generované automobilovým priemyslom boli takmer 4 mld. Eur a tvorili podiel na celkovej spotrebe domácností v SR vo výške 10 %. Generované fiškálne príjmy z dani z príjmov fyzických osôb, sociálnych odvodov, dane z pridanej hodnoty a spotrebných daní boli 1,1 mld. Eur. Automobilový priemysel generoval 26 % celkového exportu, 20 % celkového importu a zlepšil obchodnú bilanciu o 4,5 mld. Eur. Z regionálneho hľadiska z prítomnosti automobilového priemyslu najviac profitujú regióny západného Slovenska, ale nepriame a indukované efekty sa prejavujú aj v iných regiónoch.

Podľa predstaviteľov ZAP [20] sa (pred dopadmi pandémie a krízy na ekonomiku SR) postupne stali hlavnými bariérami ďalšieho rozvoja automobilového priemyslu akútny nedostatok kvalifikovanej pracovnej sily, rýchly a nepredvídateľný nárast mzdových nákladov, absencia systému transferu vedeckých poznatkov do aplikačnej praxe, nízka úroveň rozvoja mobility na báze alternatívnych pohonov a prípravy na nové formy mobility. Riešenie uvedených faktorov môže prispievať k ďalšiemu rozvoju automobilového priemyslu a zároveň sa tieto skutočnosti stávajú aktuálnymi výzvami tak pre ďalší výskum ako aj tvorbu verejných politík.

2.4 Zhodnocovanie jednotlivých prúdov odpadov z likvidácie a prevádzky automobilov

V súlade so zadaním projektu vo vytvorenej výskumnej platforme UNIVNET sa doterajšie výskumné aktivity EUBA orientovali na problematiku ekonomických analýz, prognóz a optimalizáciu, čiastočne aj na oblasť legislatívneho prostredia [16].



Obr. 2.8 Výskumná platforma zhodnocovania odpadov z automobilového priemyslu [16]

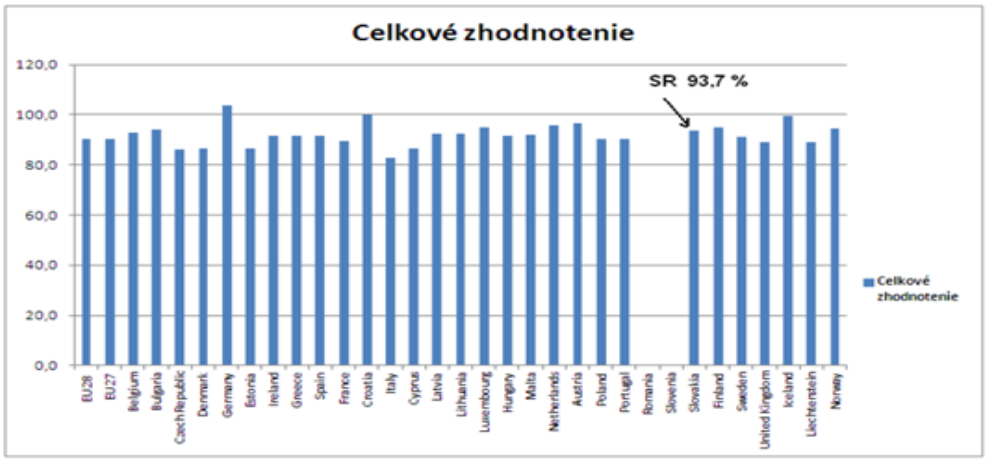
Riešitelia z EUBA spracovali:

- prognostické scenáre vývoja prúdov zo spracovania vozidiel skupiny M a N po dobe životnosti do roku 2020,
- prehľad nástrojov krajín OECD na podporu miery zhodnotenia prúdov odpadov najmä z automobilového priemyslu
- optimalizáciu priestorového rozloženia autorizovaných pracovísk na spracovania vozidiel po dobe životnosti v SR,
- expertný odhad prúdov odpadov počas používania osobných motorových vozidiel.

2.4.1 Prognostické scenáre vývoja prúdov zo spracovania vozidiel skupiny M a N po dobe životnosti do roku 2020

Nové ciele EÚ v zhodnocovaní odpadov z vozidiel po dobe životnosti, ktoré nadobudli účinnosť od 1.1.2015, vyžadovali aby 95 % hmotnosti VPŽ boli recyklované alebo opätovne využité. Aktualizované ciele v smernica (ELV) nahradili predchádzajúci ciel

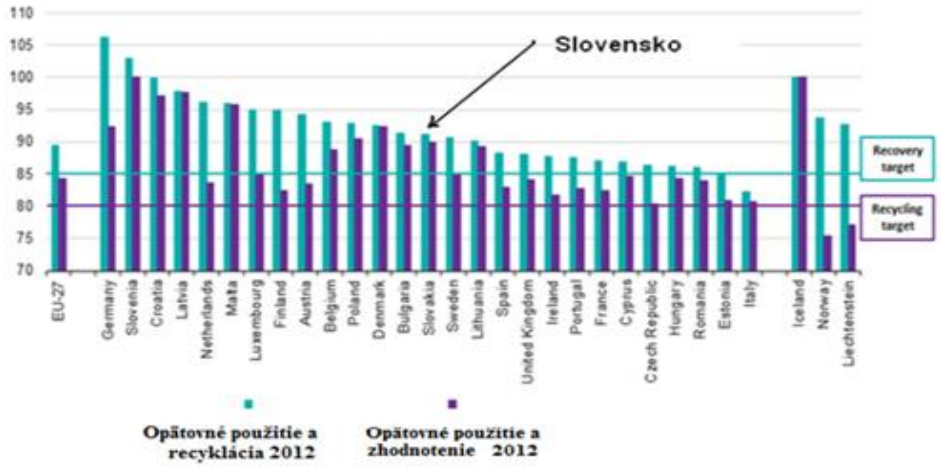
85 % za 95 %. Minimálne 85 % možno recyklovať alebo znovu použiť, pričom ďalších 10 % môže prejsť spracovaním nerecyklovateľných materiálov/ odpadov.



Zdroj: Upravené z http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/End-of-life_vehicle_statistics

Obr. 2.9 Celkové zhodnotenie odpadov z VPŽ za rok 2013 v krajinách Európy

Podľa údajov Eurostatu za rok 2013 bolo v Európe (EÚ 28) generovaných 6,46 milióna ton odpadu po dobe životnosti. Z toho bolo 5,84 miliónov ton odpadov celkovo zhodnotených, čím miera zhodnotenia za EÚ 28 predstavovala 90,4 %. V SR bola miera zhodnotenia v roku 2013 na úrovni 93,7 %, pričom celkový objem generovaného odpad u z VPŽ predstavoval 27,8 tisíc ton.



Zdroj: Upravené z http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/End-of-life_vehicle_statistics

Obr. 2.10 Plnenie cieľov zhodnotenia a recyklácie odpadov z VPŽ za rok 2012 v EÚ

SR pomerne spoľahlivo plnila oba ciele v zhodnocovaní odpadov z VPŽ. Pozitívny je aj rastúci trend miery zhodnocovania v SR, ktorý dáva predpoklad splnenia nových limitov, stanovených od roku 2015.

Tvorba scenárov, obsiahnutých v štúdii vychádzala z hlavných trendov v tokoch odpadov z automobilového priemyslu vo svete a v SR, ďalej o historický vývoj evidencie odpadov súvisiacich najmä so spracovaním starých vozidiel, kvantitatívnu analýzu hlavných zdrojov odpadov z automobilového priemyslu (podľa dostupnosti údajov) od roku 2003 do roku 2015.

Hlavnou bázou prúdov odpadov najmä z automobilového priemyslu boli vozidlá, ktoré sú vyradené z evidencie PZ. Počet vyradených vozidiel závisí od viacerých faktorov, ako napríklad preferencie spotrebiteľov, vekovej štruktúry vozového parku, finančných možností spotrebiteľov, ale v prvom rade od počtu evidovaných vozidiel. Ich vývoj má väzbu na celkový počet evidovaných vozidiel, ktorý podlieha dlhodobým trendom. Tieto sú ovplyvnené najmä zvykmi obyvateľstva a zmenou výkonnosti v krajine. Za základné determinanty celkového počtu evidovaných vozidiel považujeme celkovú ekonomickú situáciu domácností (kategória M), resp. firiem (kategória N) a celkové náklady držby vozidiel. Vzhľadom na to, že náklady vlastníkov vozidiel sú relatívne konštantné a ekonomická situácia meraná celkovým HDP sa zlepšuje, predpokladáme v horizonte nasledujúcich piatich rokov nárast celkového počtu evidovaných vozidiel.

Na základe modelov, podrobnejšie uvedených v štúdii za I. etapu boli spracované predikcie vývoja počtu evidovaných vozidiel v SR do r. 2020. Prognózy boli doplnené štandardnou chybou predikcie a hranicami 95%-ného intervalu spoľahlivosti pre vozidlá kategórie M a kategórie N. Prognóza predpokladala, že v roku 2020 bude stav evidovaných vozidiel v kategórii M na Slovensku 2 304 898 a 322 481 vozidiel kategórie N.

Pri modelovaní vývoja celkového počtu vyradených vozidiel kategórie M a N, sa za hlavné determinanty považovali najmä celkový počet evidovaných vozidiel danej kategórie a tiež aj legislatívne a fiškálne opatrenia súvisiace s vyradením vozidla. Od 1.1.2006 začalo platiť opatrenie, ktoré vyžadovalo pri žiadosti o vyradenie vozidla z evidencie predložiť potvrdenie o prevzatí vozidla na spracovanie v autorizovanom zariadení. Okrem toho v roku 2009 sa uskutočnili dve vlny šrotovného, čo rovnako spôsobilo zvýšený počet vozidiel vyradených z evidencie. Preto boli do modelu zaradené tzv. umelé premenné pre roky 2005 a 2009, ktoré zachytávajú vplyv týchto opatrení na počet vyradených áut v danom období.

Na základe predikovaných hodnôt pre celkový počet evidovaných vozidiel a vytvorených modelov, boli predikované počty vyradených vozidiel pre jednotlivé kategórie pre obdobie rokov 2016 – 2020. Podľa bodových prognóz štúdie by mal v roku 2020 počet vyradených vozidiel kategórie M v SR predstavovať 45 631 a kategórie N 5 305 vozidiel.

Pri modelovaní zdrojov odpadov sme sa zamerali na celkový počet spracovaných vozidiel do 3.5 t. Ako závislá premenná bol použitý počet spracovaných vozidiel podľa výročných správ recyklačného fondu. Ako vysvetľujúce premenné pre modelovanie celkového počtu spracovaných vozidiel to boli počet vyradených vozidiel kategórie M

a N a indikátory období, v ktorých boli zmenené podmienky pre motiváciu vlastníkov odovzdať vozidlo na spracovanie do autorizovanej firmy, tzn. rok 2009, kedy sa realizovalo šrotovné a roky 2014 a 2015, keď bolo možné vyradiť z evidencie vozidlo aj na základe čestného prehlásenia o jeho neexistencii a zaplatení poplatku od 50 – 150 eur. Celkovo sa dá konštatovať, že možnosť vyradiť vozidlo na základe čestného prehlásenia o neexistencii sa prejavilo v poklese počtu spracovaných vozidiel – v priemere o 12 tisíc ročne, prípadne percento vyradených vozidiel, ktoré boli spracované sa znížilo o približne 33 %. Vzhľadom na to, že od 1.1.2016 sa zvýšil poplatok platený pri neexistencii vozidla, v štúdii sa predpokladalo zníženie vplyvu tohto opatrenia o polovicu, teda rozdiel medzi vyradenými a spracovanými vozidlami sa zníži o polovicu. Bodová predikcia počtu spracovaných vozidiel do 3,5 tony pre obdobie 2016 – 2020 predpokladala, že v roku 2020 bude spracovaných 36,756 VZP s predpokladanou štandardnou odchýlkou prognózy na úrovni +/- 2,969 vozidiel.
Prognózy vybraných prúdov odpadov, ako aj spôsob opätovného použitia z vozidiel po dobe životnosti dôsledne vychádzali zo smernice EK. Základom pre ich predikciu je priemerná hmotnosť spracovaného vozidla v SR a vývoj príslušných pomerových ukazovateľov (jednotlivých prúdov alebo skupín odpadov). Pretože ich priemerná hmotnosť sa menila v čase v SR iba minimálne (v priemere klesá a približne 0,5 kg za rok), predpokladali sme, že táto priemerná hmotnosť 787,1 kg bude platiť aj v ďalšom období.

Tab. 2.2 Výpočet celkového objemu spracovaných vozidiel

Ukazovateľ	2016	2017	2018	2019	2020
počet v kusoch	33,241	34,184	35,084	35,941	36,756
objem v tonách (W1)	26,164	26,906	27,615	28,289	28,930

Zdroj: Vlastné spracovanie

Jednotlivé agregované toky sú vykazované na základe vysušovania a demontáže (VD), resp. drvenia a demontáže (DD). Z celkovej hmotnosti spracovaných vozidiel počas obdobia rokov 2010 – 2013 pripadlo na vysušovanie a demontáž približne 23,35% a na drvenie a demontáž približne 76,65%. Nasledujúca tabuľka prezentuje výsledky prognóz súhrnných indikátorov prúdov odpadov, resp. prognostické scenáre plnenia limitov smernice EK.

Tab. 2.3 Predpokladané objemy hlavných prúdov odpadov

	podiel	2016	2017	2018	2019	2020
objem v tonách (W1)	100.00%	26,164	26,906	27,615	28,289	28,930
vysušovanie + demontáž (A+B1+C1+E1) *[8]	23.35%	6,109	6,283	6,448	6,606	6,755
drvenie + demontáž (B2+C2+E2)*	76.65%	20,055	20,624	21,167	21,684	22,175

Zdroj: Vlastné spracovanie

Pri stanovení jednotlivých materiálových tokov sme predpokladali, že aj v budúcnosti budú proporcionality materiálových tokov dosahovať priemerné hodnoty v rámci jednotlivých ukazovateľov podľa (VD), (DD). Na tomto základe boli následne zostavené podrobné projekcie prúdov odpadov, ktoré obsahuje záverečná správa štúdie2a to v nasledujúcej štruktúre:

a) Výpočet materiálových tokov pre Opätovné použitie (A), pre Recykláciu (B1), pre Energetické zhodnotenie (C1), pre Zneškodňovanie (E1) všetko v tonách za: Batérie, Kvapaliny (okrem pohonných látok), Olejové filtre, Iné materiály získané z čistenia (okrem pohonných látok), Katalyzátory. Kovové súčiastky. Pneumatiky, Veľké plastové časti, Sklo, Iné materiály získané z demontáže.
b) Výpočet materiálových tokov pre Recykláciu (B2), pre Energetické zhodnotenie (C2), pre Zneškodňovanie (E2) všetko v tonách za: Železný šrot (oceľ) Neželezné materiály (hliník, zinok, olovo, atď.) Ľahká frakcia z drvenia, Iné.

2.4.2 Nástroje krajín OECD na podporu miery zhodnotenia prúdov odpadov najmä z automobilového priemyslu

Medzi základné výsledky patrí v tejto oblasti zistenie, že EÚ, Kórea, Japonsko, Čína a Taiwan majú vypracované právne predpisy v oblasti recyklácie starých vozidiel. Komparácia právnych predpisov súčasne poskytla prehľad existujúcej legislatívy z hľadiska : názvu právneho predpisu o starých vozidlách, dôvodu zavedenia, znášania nákladov recyklácie, cieľovej skupine vozidiel, recyklačného cieľa, systému získavania informácií a charakteristiky systému.

Ďalšie štáty ako Rusko, India, Mexiko, Turecko a Vietnam v hodnotenom období pripravovali takéto právne predpisy. V Rusku bol v roku 2012 vydaný zákon o recyklačnej dani z importovaných vozidiel. Účelom tohto zákona je ale skôr ochrana vlastného národného automobilového priemyslu, než podpora recyklácie starých vozidiel. K štátom, ktoré nemajú žiadne priame právne predpisy v oblasti zaobchádzania so starými vozidlami, patria napríklad USA, Kanada a Austrália[16, 19].

Za najvýznamnejšie legislatívne zmeny okrem uvedenej smernice ELV EK v SR môžeme považovať zavedenie rozšírenej zodpovednosti výrobcov, zrušenie Recyklačného fondu a zmenu plnenia od 1.7.2016. Novozavedeným pojmom je rozšírená zodpovednosť výrobcov (RZV, ang. Extended Producers Responsibility). To znamená, že výrobca (ten, kto uviedol vytobený výrobok prvý krát na trh SR), je povinný sa o tento výrobok postarať počas všetkých fáz životného cyklu výrobku, od jeho výroby až po spotrebu a vznik odpadu. Samozrejme cieľom je predchádzanie vzniku odpadu, podpora opätovného použitia a až následne samotné nakladanie s odpadom, tak ako je to uvedené v hierarchii odpadového hospodárstva. Tomu má byť prispôsobený aj samotný dizajn či zloženie výrobku. Súčasťou RZV je aj informovanie

[2] Ochotnický a kol.: Súhrnná správa tímu Ekonomickej univerzity v Bratislave vo výskumnej platforme. Bratislava. Jún 2017

spotrebiteľov či spracovateľov a vykonávanie vzdelávacích a informačných kampaní v rámci Slovenska, ako aj zabezpečenie finančného krytia uvedených činností.
Recyklačný fond bol zrušený k 31.12.2016 bez právneho nástupcu. Likvidačný zostatok bol príjmom Environmentálneho fondu. Povinnosti výrobcu a dovozcu platiť príspevok a ohlasovať údaje z evidencie Recyklačnému fondu zanikli k 30.06.2016, ohlasovacia povinnosť zostala už len voči Ministerstvo životného prostredia SR. Výrobca vozidiel od 1.7.2016 už neplatí príspevok do Recyklačného fondu, ale je povinný sa v rámci RZV o staré vozidlá postarať, a to kolektívnym alebo individuálnym spôsobom. Pri individuálnom plnení je potrebné získať autorizáciu a plniť ostatné povinnosti z nového zákona o odpadoch. Pri kolektívnom plnení sa zmluva uzatvára s organizáciou zodpovednosti výrobcov (OZV) pre vozidlá.
Na reguláciu odpadového hospodárstva v oblasti nakladania so starými vozidlami sa využívajú v krajinách OECD viaceré ekonomické nástroje:

a) Poplatky za ukladanie odpadov na skládky odpadov v SR ustanovuje zákon č. 17/2004 Z. z. o poplatkoch za uloženie odpadov v znení zákonov č. 587/2004 Z. z. a 434/2013 Z. z. Poplatok za uloženie odpadu platí posledný držiteľ odpadu vo výške súčinu množstva ukladaných odpadov a sadzby za položku odpadu3. V hierarchii odpadového hospodárstva je skládkovanie odpadov na poslednom mieste. Pri nakladaní s odpadmi vrátane nebezpečných odpadov by sa mali uprednostniť činnosti recyklácie alebo energetického zhodnocovania. V SR je jedna z najnižších cien za skládkovanie odpadov v Európe, preto v súčasnej podobe cena, resp. poplatok za skládkovanie odpadov nie je ten nástroj, ktorý by podporoval dodržiavanie hierarchie odpadového hospodárstva. Vysoké dane/poplatky za skládky odpadu tiež môžu napomôcť k znižovaniu odpadov na skládkach.
b) Pokuty za neplnenie povinností v oblasti nakladania so starými vozidlami ako nástroj môžu byť účinné len v tom prípade, ak je zabezpečená aj účinná kontrola. Vyžaduje sa analýza dodatočných nákladov (personálne a finančné kapacity) orgánov štátnej správy vo väzbe na efektívnosť kontrolnej činnosti. Ďalším možným využitím pokút je oblasť potláčania nelegálneho nakladania so starými vozidlami. Napr. v roku 2008 spustila Environmentálna agentúra vo Veľkej Británii kampaň proti 270 nelegálnym zariadeniam a to prostredníctvom ukladania vysokých pokút. Výsledkom bolo v nasledujúcich 12 mesiacoch zrušenie polovice z nich a ostatné sa pretransformovali na legálne, autorizované zariadenia na spracovanie starých vozidiel (plnením zákonom stanovených podmienok). Podobné opatrenia na odstránenie nelegálnych aktivít boli v tejto oblasti zavedené aj v Portugalsku (National Plan for the Eradication of Illegal Scrapping), Francúzsku a Švédsku.
c) Dotácie. Na podporu budovania a prevádzky zariadení na zber, spracovanie a recykláciu starých vozidiel možno získať finančné prostriedky z týchto verejných zdrojov:

[3] Na základe požiadaviek tohto zákona sa platí napr. za prevzatie a uloženie tony odpadu kategórie nebezpečný poplatok 33,19 €.

- Eurofondy – pre oblasť odpadového hospodárstva bola pre programové obdobie 2014–2020 vytvorená prioritná os 1 Operačného programu Kvalita životného prostredia, z ktorej možno žiadať prostriedky na aktivity v oblasti zvýšenia miery zhodnocovania odpadu.
- Environmentálny fond – ide o štátny fond SR, do ktorého plynú prostriedky z poplatkov a pokút a i. v oblasti životného prostredia. Prostriedky fondu môžu byť poskytnuté hlavne na: podporu činností zameraných na dosiahnutie cieľov štátnej environmentálnej politiky na celoštátnej, regionálnej alebo miestnej úrovni, presnejšie (i) podporu prieskumu, výskumu a vývoja zameraného na zisťovanie a zlepšenie stavu životného prostredia, (ii) podporu environmentálnej výchovy, vzdelávania a propagácie, (iii) podporu riešenia mimoriadne závažnej environmentálnej situácie, (iv) podporu odstraňovania následkov havárie a mimoriadneho zhoršenia vôd ohrozujúcich alebo poškodzujúcich životné prostredie, (v) správu fondu, (vi) splátku úverov poskytnutých fondu bankami a inými právnickými osobami a úrokov z nich.

d) Daňové a iné finančné stimuly majú rôzne formy. Stimuly v podobe finančných odmien majiteľom za odovzdanie starého vozidla autorizovaným zariadeniam na spracovanie sa osvedčili vo viacerých štátoch (napr. v Nemecku, Španielsku, Fínsku a v Taliansku) ako účinný nástroj zvyšovania odpadového toku z vozidiel a tiež ich recyklácie. Toto opatrenie môže napomôcť aj k tomu, aby odpadové toky zo starých vozidiel boli zozbierané a spracované autorizovanými zariadeniami. Viaceré štáty zaviedli tzv. šrotovné – ako kompenzáciu za odovzdanie starého vozidla. Stanovenú finančnú sumu dostane držiteľ pri odovzdaní starého vozidla a súčasnej kúpe nového vozidla. Ide v podstate o stimul na výmenu starého vozidla za nové. Takýto nástroj bol primárne zavedený na preklenutie hospodárskej krízy za účelom „oživenia" národného automobilového priemyslu. Napríklad v Nemecku v roku 2010 malo zavedenie tohto nástroja za následok nárast počtu odovzdaných starých vozidiel autorizovaným spracovateľom až o 1,3 mil. ks. Šrotovné môže byť vnímané aj ako nástroj v boji proti nelegálnemu obchodovaniu s vozidlami.

e) V Nórsku sa napr. uplatňuje princíp, na základe ktorého majiteľ vozidla pri odovzdaní starého vozidla legálnemu spracovateľovi dostane naspäť tú finančnú sumu (depozit), ktorú zaplatil štátu v čase kúpy vozidla (štát tu v podstate vystupuje ako depozitár finančných prostriedkov určených na tento účel). V dôsledku tohto opatrenia sa obmedzí prístup k starým vozidlám nelegálnym spracovateľom a vývozcom.

K iným nefinančným stimulom môžeme zaradiť napríklad: (i) podpora výskumu a vývoja v oblasti recyklácie materiálov zo starých vozidiel, (ii) zlepšenie povedomia spoločnosti/obyvateľov o environmentálne vhodnom nakladaní so starými vozidlami, (iii) prepojenie registračných systémov jednotlivých členských štátov EÚ ako nástroj proti nelegálnym vývozom ojazdených vozidiel, (iv) podpora inovácií pri samotnom

navrhovaní vozidiel (dizajn, druh použitých materiálov s ohľadom na ich recyklovateľnosť a pod.).

2.4.3 Optimalizáciu priestorového rozloženia autorizovaných pracovísk na spracovania vozidiel po dobe živnosti v SR

Autorizovaní spracovatelia starých vozidiel v SR boli (k obdobiu spracovania štúdie) umiestnení v 40 obciach (niektoré väčšie mestá, príp. obce disponujú viac ako jedným autorizovaným spracovateľom starých vozidiel, z pohľadu dostupnosti obyvateľom však v takomto prípade počítame len s jedným autorizovaným spracovateľom starých vozidiel).

V štúdii sme sa zaoberali s nasledovnými možnými regulačnými scenármi/požiadavkami: (a) Z určenia minimálneho počtu autorizovaných spracovateľov starých vozidiel pri stanovenej maximálnej vzdialenosti medzi autorizovaným spracovateľom starých vozidiel a potenciálnymi dodávateľmi starých automobilov (v našom prípade mestá a obce SR (uzly) nad 2500 obyvateľov). V tomto prípade neuvažujeme s existenciou starých, už existujúcich autorizovaných spracovateľov starých vozidiel, ale len s vybudovaním úplne novej siete, ktorá bude rešpektovať formulované cieľové kritériá.

(b) Z určenia minimálneho počtu autorizovaných spracovateľov starých vozidiel (doplnenie existujúceho stavu) pri stanovenej maximálnej vzdialenosti medzi autorizovaným spracovateľom starých vozidiel a potenciálnymi dodávateľmi starých automobilov (mestá a obce/(uzly nad 2500 obyvateľov). Stanovené parametre maximálnej vzdialenosti K boli v štúdii simulované pre vzdialenosti 50, 40 a 30 km a pre princíp úplne novej siete uzlov, resp. pre kombináciu s už existujúcimi spracovateľskými centrami [16]. Pre tri stratégie zníženia požadovanej dostupnosti vychádzali podľa modelovej simulácie nasledovné počty uzlov autorizovaných spracovateľov starých vozidiel.

Tab. 2.4 Počty autorizovaných spracovateľov starých vozidiel pri jednotlivých stratégiách (pri súčasnej existujúcej sieti 40 autorizovaných spracovateľov starých vozidiel)

		Stratégia A (K=50 km)	Stratégia B (K=40 km)	Stratégia C (K=30 km)
Princíp 1 (nová sieť)	Počet uzlov	17	24	39
Princíp 2 (dobudovanie siete)	Počet uzlov	44	46	57
	Nárast uzlov oproti existujúcej sieti	4	6	17

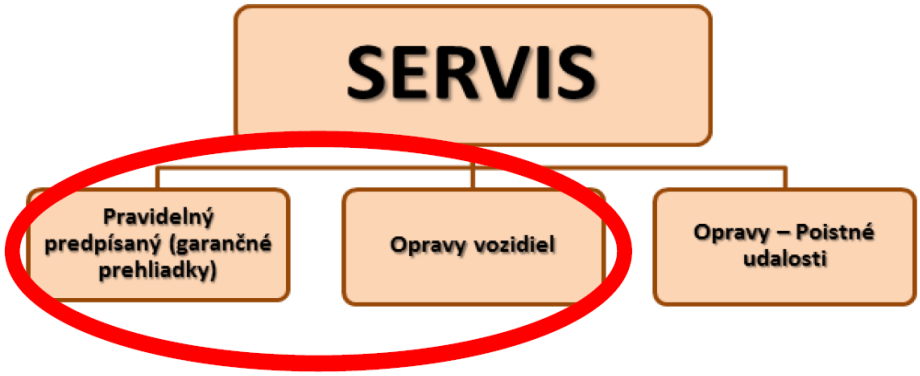
Zdroj: Vlastné spracovanie

2.4.4 Toky prúdov odpadov počas doby používania osobných motorových vozidiel

Potenciálnym zdrojom odpadu z prevádzky motorových vozidiel v SR je vozový park, ktorého dynamika sa v SR obnovila po prepade v rokoch 1998 a 2005, pričom počet evidovaných vozidiel v SR sa v roku 2016 priblížil k hranici 3 miliónov. Od roku 1989

sa ich počet takmer zdvojnásobil. Dominantný podiel na celkovom počte majú osobné motorové vozidlá, ktorých podiel na konci roku 2016 tvoril 72 %. Hlavným zdrojom prúdov odpadov z prevádzky motorových vozidiel sú odpady, ktoré vznikajú z dôvodu garančných prehliadok, opráv, resp. opráv spojených s poistnými udalosťami. Napriek tomu, že neexistuje integrovaný systém údajov o štruktúre opráv, štúdia pri odhade prúdov bola zameraná najmä na prvé dva zdroje Obr. 2.11.

Za kritické miesto odhadu prúdov odpadov z prevádzky motorových vozidiel možno považovať vstupné expertné odhadnuté parametre. Vzhľadom na absenciu súhrnnej evidencie sa autori štúdie pokúsili objektivizovať tieto parametre oslovením expertov na uvedenú problematiku, resp. konzultáciami priamo vo vybraných prevádzkach.



Zdroj: Upravené z Kováč, M: *Celoživotný cyklus auta. CPA 2016.*

Obr. 2.11 Zdroje odpadu z prevádzky motorových vozidiel

Za hlavný zdroj odpadu z prevádzky motorových vozidiel bolo považované množstvo, priemerný vek a počet najazdených kilometrov vozidiel M1. Z dôvodu absencie údajov podľa vekovej štruktúry, sú všetky uvedené charakteristiky aproximované priemerným hodnotami za rok 2016. Priemerný počet osobných motorových vozidiel za rok 2016 bol v SR podľa štatistiky MV SR 2 078 174 vozidiel. V danom roku bolo evidovaných 88 504 nových vozidiel a vyradených 44 708 vozidiel. Po ich odpočítaní predstavoval počet 1 944 962 vozidiel hlavný zdroj odpadov, ktoré spôsobuje prevádzka vozidiel M1. Súčasne teda ide o bázu, ktorá je potenciálnym zdrojom všetkých odpadov z prevádzky skupiny osobných motorových vozidiel. Teda aj z tých vozidiel, ktorých údržba a opravy sa nerealizujú len v značkových či autorizovaných servisoch, ale čiastočne sa vykonávajú aj mimo oficiálnej evidencie (mimo garančných a servisných opráv, mimo evidencie v záznamoch o záručných výmenách v servisných knižkách, svojpomocne atď.).
Údaje o priemernom počte najazdených km na jedno vozidlo a o priemernom veku vozidiel v SR existujú z viacerých verejne dostupných zdrojov. Na ich základe boli pri odhade zdroja odpadu použité nasledovné vstupné premenné a ich hodnoty.

Tab. 2.5 Premenné zdroje odpadu Zdroj: Vlastné spracovanie [16,25]

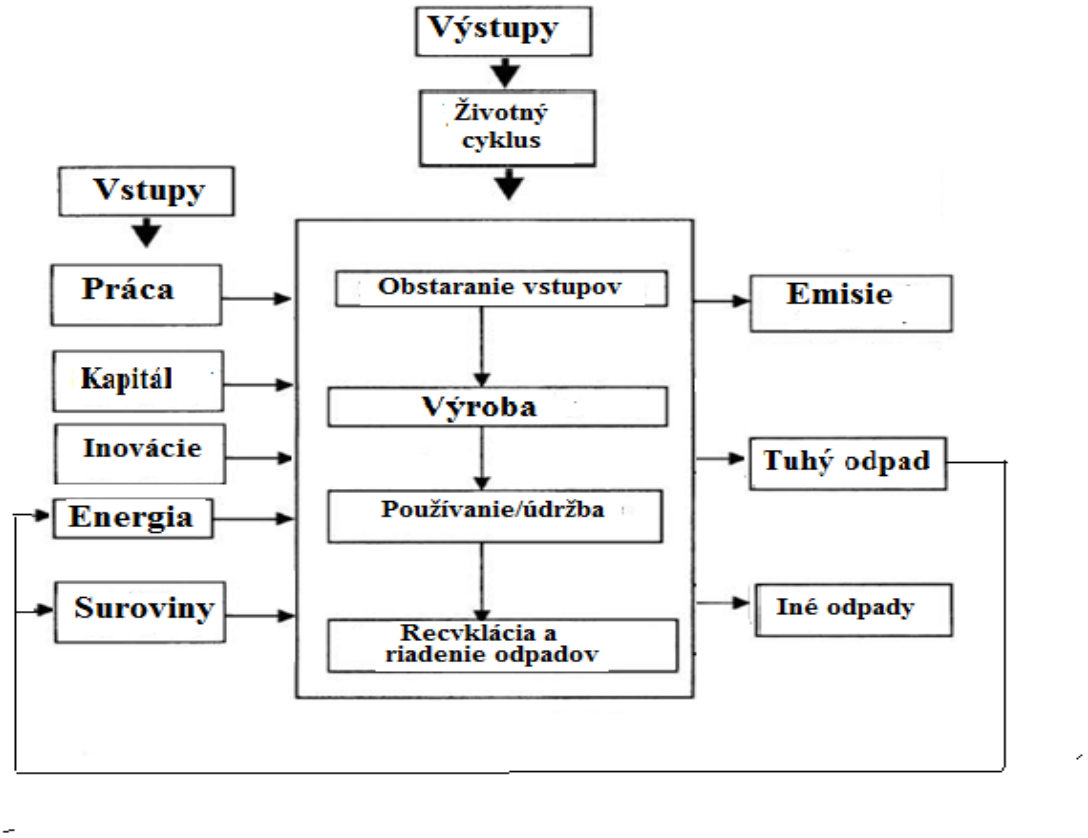
● počet osobných vozidiel v roku 2016: **1 944 962**
● priemerný vek vozidiel v roku 2016: **12,84 rokov**
● odhad počtu najazdených kilometrov v roku 2016 na vozidle: **150 tis. km**
● priemerný počet najazdených km v roku 2016 na 1 vozidlo : **11 682**
● Podiel vozidiel s dieslovým motorom: **45 %**

Množstvá odpadov, ktoré súvisia s prevádzkou vozidiel závisia okrem vozového parku najmä aj od životnosti jednotlivých kvapalín, materiálov a súčastí používaných vozidiel. Vzhľadom na absenciu spoľahlivého informačného systému je pokus o exaktnejšie spracovanie odhadu prúdov odpadov z prevádzky osobných motorových vozidiel založený na expertných odhadoch odborníkov Zväzu automobilového priemyslu a tiež servisu motorových vozidiel, resp. expertného tímu pre realizáciu výpočtu jednotlivých prúdov odpadov. Predmetom záujmu bola najmä oblasť odhadu priemernej dĺžky životného cyklu vybraných kvapalín/ súčiastok/ náhradných dielov u evidovaných vozidiel, a to podľa jednotlivých prúdov odpadov. Po konzultáciách s expertmi sa ukázala potreba rozdeliť expertné odhady vstupov na dve skupiny prúdov odpadov.
Prvú skupinu predstavujú odpady, ktoré vznikajú v dôsledku limitovanej či predpísanej životnosti výrobcom, resp. u ktorých v dôsledku možných vážnych následkom ich „ne výmeny“ zo strany majiteľa vozidla vzniká akútne riziko poškodenia, či výrazného zhoršenia jazdných vlastností vozidla. Ide o prúdy odpadov typu oleje a filtre. Táto skupina odpadov sa dala pomerne presne aproximovať, a to na základe odhadu priemernej životnosti jednotlivých olejov a filtrov podľa počtu km ako aj na základe odhadu priemerného objemu litrov, resp. kusov, ktoré pri ich výmene za rok vznikajú.
Druhú skupina predstavujú odpady z výmeny kvapalín, súčiastok a dielcov, ktoré majú síce výrobcami prepísanú životnosť, ale ich skutočná amortizácia a výmena (najmä po období garancie a záručných opráv) závisí na technike jazdy vodiča a čiastočne aj na disciplíne či finančnej situácii majiteľa vozidla. Okrem toho sa ukázalo, že čiastočne závisí aj na bežných opravách z dôvodu poškodenia častí vozidiel (či už s uplatnením si poistného plnenia, resp. bez neho). Ide najmä o prúdy odpadov typu kovy, plasty, pneumatiky, batérie, chladiace a brzdové kvapaliny, elektro odpad.
Vzhľadom na uvedené množstvo stochastických vplyvov , ktoré pôsobia na toky tejto skupiny odpadov, boli pri odhade použité údaje expertov (oslovených majiteľov a pracovníkov servisov, spracovateľov starých vozidiel a ďalších odborníkov). Tieto toky sa odhadli na základe ich evidencie, či expertných korekcií množstiev odpadu, ktoré vznikajú v priemere za rok na 1000 osobných vozidiel (v rámci servisných opráv, výmeny a pod.
Pri použití dolných/horných hraníc expertných odhadov u oboch skupín odpadov predstavovala priemerná odchýlka od priemerných hodnôt len niekoľko percent. Najväčšiu odchýlku vykazoval odhad množstiev pre motorové a prevodové oleje. Napr. odpad typu motorových olejov sa v hraničnom scenári za skúmaný rok môže blížiť až

k hodnote 5 678 043 litrov a prevodový olej k úrovni 681 365 litrov. Konkrétne numerické odhady za jednotlivé prúdy odpadov sú uvedené v podkladovej štúdii [25].

2.5 Zameranie výskumu, navrhované aktivity, výskumné otázky a navrhované výstupy riešiteľov z EUBA pre roky 2020 až 2023

Syntetickým cieľom výskumu bude vyhodnotiť stupeň transformácie a dopadov sektoru automobilového priemyslu SR v kontexte recyklujúcej spoločnosti a v rámci životného cyklu automobilov v súlade s nasledujúcou schémou.



Obr. 2.12 Schéma hodnotenia dopadov životného cyklu automobilov na ekonomiku
Upravené z: http://isoconsultantpune.com/wp-content/uploads/2016/09/Life-Cycle-Assessment.pdf

Obsah riešenia projektu/aktivít v rámci siete UNIVNET bude zo strany riešiteľov z EUBA v rokoch 2020 až 2023 sústredený na dva nosne vecné zámery/komponenty a ich subkomponenty:

KOMPONENT 1: Dopady automobilového priemyslu na recyklujúcu spoločnosť

V rámci tohto komponentu vedenie projektového tímu z EUBA navrhuje koordinačnej rade siete UNIVNET nasledovné tematické okruhy výskumu – subkomponenty riešenia:

Subkomponent 1.1: Prognózy prúdov odpadov zo spracovania vozidiel po dobe životnosti (typu M, N) a schopnosť kapacít pre spracovanie plniť záväzky SR v tejto oblasti pre ďalšie roky v súlade s politikou/smernicami EÚ. Hlavným výstupom budú aktualizované prognostické scenáre množstiev prúdov odpadov zo spracovania vozidiel po dobe životnosti a schopnosť kapacít SR plniť limity Smernice ELV EK. Ďalším výstupom bude aj odhad prúdov odpadov zo spracovania nákladných vozidiel po dobe životnosti.

Subkomponent 1.2: Prognózy prúdov odpadov zo spracovanie nákladných vozidiel po dobe životnosti. Hlavným výstupom bude odhad prúdov odpadov zo spracovania nákladných vozidiel po dobe životnosti.

Subkompnent 1.3: Analýza kapacít, logistika, optimálne priestorové umiestnenie spracovania odpadov vozidiel po dobe životnosti a „biele“ miesta – potenciál pre rozvoj podnikania v tejto oblasti. Hlavným výstupom bude analýza a návrh „bielych miest“ na mape SR pre rozšírenie podnikateľských aktivít v oblasti spracovania vozidiel po dobe životnosti.

Subkomponent 1.4: Prognózy prúdov odpadov zo servisovania vozidiel počas ich životnosti. Hlavným výstupom bude (a) aktualizácia odhadu množstiev prúdov odpadov, (b) zhodnotenie logistiky spracovania týchto odpadov.

Subkomponent 1.5: Definovanie kritických druhov vstupov (drahé kovy, limitujúce/kritické vstupy z hľadiska produkcie automobilov) a odhad množstva ich získania spracovaním vozidiel po dobe životnosti. Hlavným výstupom bude v spolupráci s technickými univerzitami a ZAP definovať tieto druhy odpadov a následne odhadnúť ich možnosti získania pri spracovaní vozidiel po dobe životnosti.

Subkomponent 1.6: Vytvorenie vzorovej schémy podnikateľského plánu a návratnosti investície do podnikania (rozšírenie oblasti podnikania, start-up) v rámci recyklácie prúdov odpadov z automobilového priemyslu. Hlavným výstupom bude spracovanie vzorového podnikateľského plánu v dvoch verziách a to: jeden pre nové podniky (start-ap) a druhý ako rozšírenie už existujúceho podnikania so zameraním na recykláciu odpadov z vozidiel. Tieto vzorové modely budú k dispozícii pre podnikateľov, resp. obce a PPP iniciatívy.

Subkomponent 1.7: Nástroje podpory podnikania zo strany štátu a ďalších subjektov (daňovo odvodové nástroje, štátna pomoc, finančné nástroje komerčných a štátnych inštitúcií) v oblasti podpory recyklácie prúdov odpadov z automobilového priemyslu. Hlavným výstupom bude spracovanie prehľadu finančných nástrojov na podporu pre podnikateľské subjekty v segmente recyklácie odpadov auto mobility.

KOMPONENT 2: Ekonomické riziká a šance súvisiace s orientáciou hospodárstva SR na automobilový priemysel

V rámci tohto komponentu vedenie projektového tímu z EUBA navrhuje koordinačnej rade siete UNIVNET nasledovné tematické okruhy výskumu – subkomponenty riešenia:

Subkomponent 2.1: Aktualizovaná komparatívno-statická analýza dopadov výroby automobilov v SR na ekonomiku Slovenska, jej štruktúru a spill over efekty automobiliek na dodávateľské odvetvia. Hlavným výstupom budú aktuálne ekonomické odhady priamych ekonomických efektov a dopadov sektoru automotive na dodávateľské reťazce.

Subkomponent 2.2: Prognózy/scenáre vývoja produkcie automobilov v SR a najvýznamnejšie očakávané technologické zmeny u producentov automobilov. Hlavným výstupom budú aktuálne prognózy a scenáre vývoja produkcie automobilov v SR, a to so zohľadnením najvýznamnejších technologických zmien u producentov.

Subkomponent 2.3: Prognózy/scenáre dopadov produkcie automobilov na subdodávateľský sektor SR/zahraničie, riziká/šance pre malé a stredné podniky. Hlavným výstupom bude analýza rizík/šancí pre podnikanie subjektov v SR v subdodávateľských odvetviach výrobcov automobilov.

Subkomponent 2.4: Nástroje podpory podnikania zo strany štátu a ďalších subjektov (daňovo odvodové nástroje, štátna pomoc, finančné nástroje komerčných a štátnych inštitúcií) v oblasti podpory malých a stredných podnikov so zameraním na dodávateľov pre automobilky. Hlavným výstupom bude spracovanie prehľadu finančných nástroj na podporu pre podnikateľské subjekty v segmente automotive.

Subkomponent 2.5: Prognózy/scenáre kritických oblastí vývoja automobilového priemyslu v SR (trh a cena práce, ceny vstupov, životné prostredie, infraštruktúra), riziká, šance, nástroje podpory konkurencieschopnosti podnikania automobiliek a subdodávateľov v SR zo strany štátu a samospráv. Hlavným výstupom bude spracovanie scenárov o kritických oblastiach vývoja a dopadov auotomotive sektora (robotizácia, pracovná sila, veda a výskum, životné prostredie) a odporúčania pre decíznu sféru a verejné politiky .

2.6 Použitá literatúra

[1] McAuley, J.W. Global sustainability and key needs in future automotive design. Environ. Sci. Technol. 2003, 37, 5414 – 5416.

[2] Weill, D.; Klink, G.; Roullioux, G. Plastics: The Future for Automakers and Chemical Companies. Available online: http://www.atkearney.com/paper/-/asset_publisher/dVxv4Hz2h8bS/content/ plastics-the-future-for-automakers-and-chemical-companies/10192 (accessed on 12 June 2014)

[3] An international comparative study of end-of-life vehicle recycling systems". In Journal of Material Cycles and Waste Management. Feb 2014, Vol. 16, No. 1, pp. 1-20.

[4] American Chemistry Council. Chemistry and Light Vehicles; Economics and Statistics Department, American Chemistry Council: Washington, DC, USA, 2013.

[5] Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council of 18 September 2000 on end-of life vehicles

[6] Industry Profile for the Canadian Plastic Products Industry. Available online: http://www.ic.gc.ca/eic/site/plastics-plastiques.nsf/eng/pl01383.html (accessed on 22 July 2014).

[7] Plastics: A Material of Choice for the Automotive Industry. Brussels, Belgium: Association of Plastic Manufacturers in Europe. 1999, www.apme.org

[8] Slovak Code No. 79/2015 on waste

[9] Slovak Code No. 17/2004 on waste fees

[10] http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32005D0293

[11] http://www.oica.net

[12] http://www.greenvehicledisposal.com/environment/recyclable-materials/

[13] http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/End-of-life_vehicle_statistics

[14] http://www.toyota-global.com/sustainability/report/vehicle_recycling/pdf/vr_all.pdf

[15] Luptáčik a kol. 2013. Národohospodársky význam automobilového priemyslu na Slovensku. Výskumná štúdia. Bratislava: KHP NHF EUBA.

[16] Ochotnický, P., Sivák, R., Alexy, M, Brezina, I. , Jančovičová Borgnárová, K, Káčer, M., Pekár, J.: Súhrnná správa tímu Ekonomickej univerzity v Bratislave vo výskumnej platforme. Ekonomická univerzita v Bratislave, Bratislava 7.7.2017.

[17] Ochotnický, P., Káčer, M., Alexy, M.: Sustainability of the ELV processing system in the Slovak Republic and forecasting of waste streams from the operation of passenger motor vehicles. WASTE FORUM 2017, 5.

[18] Šooš, Ľ., Badida, M., Ochotnický, P., Havlík, T., Víglaský, J., Pokusová, M., Matúš, M.: Možnosti zhodnocovania problémových odpadov najmä z automobilového priemyslu a spracovania starých vozidiel: záverečná správa z

riešenia projektu "Integrovaná výskumná platforma zhodnocovania jednotlivých prúdov odpadov najmä z automobilového priemyslu" P 1326/16/10. Bratislava: STU Strojnícka fakulta, 2017. 213 s.

[19] Ochotnický a kol: Scenáre vývoja prúdov odpadov najmä z automobilového priemyslu do r. 2020, optimalizácia rozmiestnenia uzlov pre skladovanie a spracovanie vybraných prúdov odpadov z automobilového priemyslu. Ekonomická univerzita v Bratislave, Bratislava, júl.2016.

[20] https://www.forbes.sk/slovensko-ostava-automobilovou-velmocou-vlani-sme-vyrobili-viac-ako-milion-novych-aut/

[21] http://isoconsultantpune.com/wp-content/uploads/2016/09/Life-CycleAssessment.pdf

[22] Bauer, Ch., Hofer, J., Hofer,m Althaus, H.,J., Del Duce, A., Simons, A., The environmental performance of current and future passenger vehicles: Life cycle assessment based on a novel scenario analysis framework, Applied Energy, Volume 157, 1 November 2015, Pages 871-883.

[23] Summary Record (15/4/2014) for the Meeting of the Committee for the Adaptation to Scientific and Technical Progress and Implementation of the Directives on Waste Established Under Article 39 of Directive 2008/98/Ec .

[24] Miller, L., Soulliere, K., Sawyer-Beaulieu, S., Tseng, S., Tam, E.: Challenges and Alternatives to Plastics Recycling in the Automotive Sector, Materials 2014,7, ISSN 1996-1944, doi:10.3390/ma7085883, www.mdpi.com/journal/materials

[25] Yang, Y.; Boom, R.; Irion, B.; van Heerden, D.-J.; Kuiper, P.; de Wit, H. Recycling of composite materials. Chem. Eng. Process. 2012, 51, 53–68.

[26] Ochotnický, P., Alexy, M.: Odhad prúdov odpadov počas doby používania osobných vozidiel. EUBA, jún.2017

SmartOdpady
Integrovaná informačná a inovačná platforma recyklačných technológií

Riešiteľský kolektív
Slovenská technikcá univerzita v Bratislave
Strojnícka fakulta

Hlavný riešiteľ:
prof. Ing. Marcela Pokusová, CSc.

Riešitelia:
prof. Ing. Ľubomír Šooš, PhD.
doc. Ing. Juraj Úradníček , PhD.
doc. Ing. Miloš Matúš, PhD.
Ing. Iveta Onderová, PhD.
doc. Ing. Juraj Beniak, PhD.
doc.Ing.Peter Križan, PhD.

3 SmartOdpady – Integrovaná informačná a inovačná platforma recyklačných technológií

3.1 Executive summary

Základným nástrojom strategického riadenia odpadového hospodárstva v Slovenskej republike je Program odpadového hospodárstva (POH), ktorý určuje ciele odpadového hospodárstva a opatrenia na ich plnenie. Hlavným cieľom odpadového hospodárstva SR je minimalizácia negatívnych účinkov vzniku a nakladania s odpadmi na zdravie ľudí a životné prostredie. Trvalým strategickým cieľom POH je znižovanie množstva odpadov ukladaných na skládky, pretože jeho realizácia zvýši mieru materiálového zhodnocovania odpadu a podporí využívanie materiálov získaných z recyklovaných odpadov na výrobu produktov s novou, vyššou pridanou hodnotou a zlepší podmienky pre uplatnenie recyklátov na trhu. POH SR definuje aj špecifické ciele a opatrenia, ktoré sú orientované na zlepšenie úrovne, intenzifikáciu a zefektívnenie separovaného zberu a na zvýšenie miery recyklácie zhodnotiteľných odpadov cez zvyšovanie technickej úrovne recyklačných technológií pri uplatňovaní najlepších dostupných techník (BAT) a najlepších environmentálnych postupov (BEP), aby sa zvýšil podiel nových výrobkov na báze recyklátov a rozvíjali sa technológie na spracovanie problémových druhov odpadov.

V ostatnom desaťročí produkcia automobilov v SR vykazuje trvale rastúci trend, dôsledkom čoho je rastúce množstvo odpadov z výroby automobilov kopírujúce rast počtu vyrábaných automobilov v SR, pričom sa zároveň výrazným spôsobom mení štruktúra odpadov zo starých vozidiel a technológie ich spracovania v súvislosti s zložením funkčných materiálov a štruktúr použitých v konštrukciách súčasných vozidiel akými sú kompozitné materiály na báze plastov, železných a neželezných kovov, uhlíkových vlákien, kombinované materiály, nanomateriály, pokrokové hnacie agregáty, elektronika, a pod. Tieto dôvody boli hlavnými motívmi pri vývoji integrovanej informačnej a inovačnej platformy „SmartOdpady“ budovanej na báze inteligentnej špecializácie a moderných informačných a komunikačných technológií. Jej cieľom je zvýšiť úroveň materiálového zhodnocovania problematických odpadov, znížiť spotrebu primárnych surovinových a energetických zdrojov, a zároveň minimalizovať zaťaženie životného prostredia obmedzením skládkovania a znečisťovania ostatných zložiek životného prostredia.

Vytvorená platforma www.odpady-az.sk vychádza z platnej legislatívnej úpravy v odpadovom hospodárstve v SR a zároveň zohľadňuje aktuálne a budúce požiadavky EÚ v tejto oblasti. Užívateľovi poskytuje dve základné funkcionality. Držiteľovi odpadu na základe rôznych kritérií umožňuje vyhľadávať optimálneho prepravcu odpadu, najvhodnejšiu technológiu zhodnotenia jeho odpadu – dostupnosť (GPS lokalizácia), kvalitatívna úroveň technológie (BAT, systémy manažérstva kvality, materiálová bilancia, certifikácia výstupných produktov, kapacita zariadenia a pod.). Spracovateľovi odpadu umožňuje komunikovať s držiteľmi odpadu o svojich voľných kapacitách (zásada blízkosti) a tiež nadviazať kontakt a komunikovať na jednom mieste s výskumnými centrami alebo dodávateľmi technológií o možnostiach vývoja alebo

dodávky špecializovaných technológií na recykláciu a zhodnocovanie špecifických odpadov.
Perspektívne sa predpokladá platformu doplniť o možnosť vytvorenia tzv. trhu druhotných surovín, materiálov alebo použitých dielov, kde by spracovatelia mohli ponúkať finálne výstupy svojej spracovateľskej činnosti – druhotné suroviny, certifikované produkty alebo polotovary, atď.

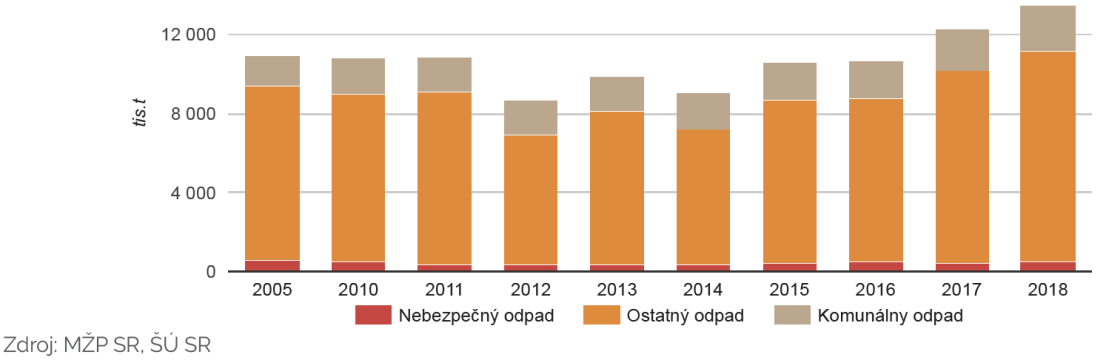
3.2 Úvod

Zmena hospodárskej štruktúry EÚ v zmysle „*zeleného hospodárstva (greening the economy)*“ nie je možná bez prechodu na špičkové technológie určené pre fotovoltaiku, palivové články, mikroelektroniku, LED technológie, optické vlákna, laserové technológie a pod., ktoré pracujú s materiálmi na báze tzv. kritických strategických surovín. Je preto účelné mobilizovať a separovať odpad obsahujúci uvedené kritické strategické suroviny, pričom ich významným zdrojom je v SR napr. elektroodpad, odpady zo spracovania starých vozidiel a i. Surovinová politika EÚ, SR nevynímajúc, jednoznačne určuje trend postupnej náhrady a zvyšovania podielu materiálového využívania druhotných surovín s dôrazom na zvyšovanie úrovne recyklácie surovín minerálneho pôvodu a efektívneho materiálového či energetického zhodnotenia organických odpadov.
Za hybnú silu moderného a efektívneho odpadového hospodárstva sa dnes považujú ciele stanovené v európskych právnych normách, prostredníctvom ktorých sa stimulujú inovácie v oblasti recyklácie a opätovného použitia, obmedzuje sa skládkovanie, znižujú sa straty zdrojov a vytvárajú stimuly na zmenu správania v celom hodnotovom reťazci. V roku 2015 bol schválený návrh (COM/2015/595) na revíziu recyklačných a ďalších cieľov uvedených v kľúčových smerniciach regulujúcich odpadové hospodárstvo, t.j. v smernici 2008/98/ES o odpade, smernici 1999//31/EC o skládkach odpadov a v smernici 94/62/EC o obaloch a odpadoch z obalov:

- rozšíriť opätovné využívanie a recykláciu komunálneho odpadu na minimálne 65 % do roku 2030,
- zvýšiť mieru recyklácie a prípravy na opätovné použitie odpadu z obalov na 75 % do roku 2030,
- zakázať skládkovanie separovane zbieraných odpadov a do roku 2030 dosiahnuť maximálnu mieru skládkovania 10%,
- podporovať šírenie najlepšej praxe v oblastiach efektívnej aplikácie ekonomických nástrojov (poplatky za skládkovanie/spaľovanie, motivácia samospráv atď.) a zlepšovanie úrovne separovaného zberu,
- zvýšiť efektívnosť fungovania schém rozšírenej zodpovednosti výrobcu definovaním minimálnych podmienok ich fungovania,
- ďalej podporovať rozvoj trhov s vysoko akostnými druhotnými surovinami, a to aj prostredníctvom posúdenia pridanej hodnoty kritérií na ukončenie vlastností odpadu v prípade špecifických materiálov.

Pre dosiahnutie globálne stanovených cieľov je nevyhnuté zásadnejšie presadzovať a dodržiavať záväznú hierarchiu odpadového hospodárstva, aby sa zvýšila miera recyklácie odpadov najmä pre oblasť komunálnych odpadov a stavebných odpadov a odpadov z demolácií v súlade s požiadavkami rámcovej smernice 2008/98/ES o odpade. Veľkou výzvou odpadového hospodárstva v SR je zastaviť nárast vzniku odpadov a hlavne znížiť vysoký podiel skládkovania odpadov, Obr. 3.2. V SR vzniklo v roku 2018 spolu 13 478 036 ton odpadov. V porovnaní s rokom 2017 predstavuje medziročný nárast celkového vzniku odpadov v roku 2018 takmer 10 % [8].

V produkcii odpadov podľa klasifikácie ekonomických činností SK NACE, Obr. 3.2, je najväčším producentom odpadov priemyselná výroba, ktorá sa na celkovej produkcii odpadov podieľa 34,7 %, za ňou nasleduje doprava a skladovanie s 15,9 % podielom [8].



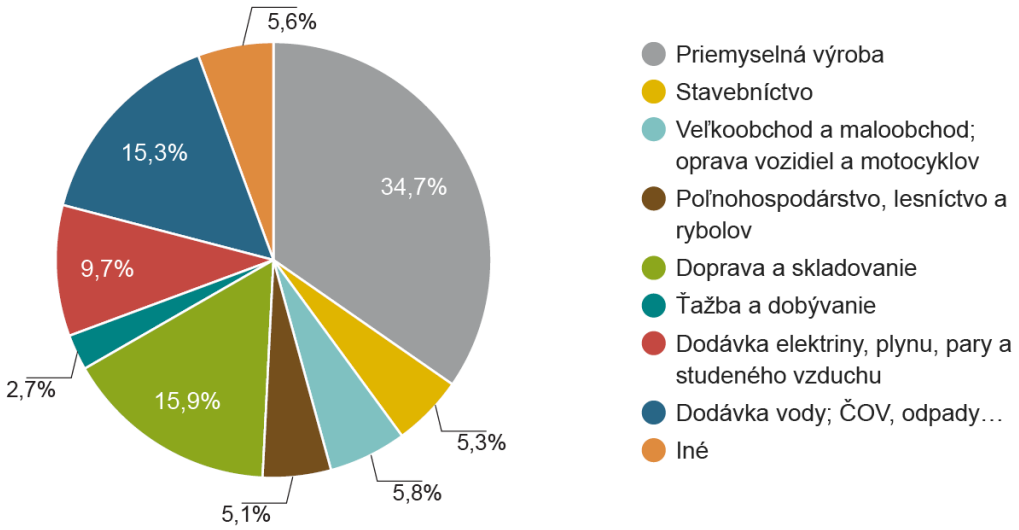
Obr. 3.1 Vývoj vzniku odpadov [8]

Automobilový priemysel je dnes odvetvím, ktoré výrazne ovplyvňuje a zároveň rozvíja ostatné odvetvia národného hospodárstva akými sú strojársky, hutnícky, elektrotechnický, chemický alebo stavebný priemysel. V ostatnom desaťročí vykazuje produkcia automobilov trvale rastúci trend, SR nevynímajúc. Vo svete je približne miliarda áut, z čoho asi 200 miliónov áut jazdí po európskych cestách a viac ako 2 milióny áut jazdí v SR. V roku 2014 sa na svete vyrobilo približne 80 mil. automobilov, čo pri priemernej váhe osobného auta 1,25 tony predstavuje 100 mil. ton čistého spracovaného materiálu. Je zrejmé, že okrem „čistého materiálu“ pri výrobe automobilov vzniká aj odpad, o ktorý sa musia výrobcovia postarať a súčasne po skončení životného cyklu sa samotný automobil stáva nebezpečným odpadom, o ktorý je potrebné sa postarať.

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 akými sú znižovanie spotreby pohonných hmôt a emisií, zvyšovanie bezpečnosti a komfortu prevádzky, vedú k tomu, že sa v ich konštrukcii uplatňujú komplexné funkčné materiály

– kompozity, ktoré sú v mnohých prípadoch zatiaľ problematicky recyklovateľné, výrazný rast podielu elektroniky a nástup sériovej výroby elektrických vozidiel resp. budúcich vozidiel s inými alternatívnymi pohonmi zo sebou prináša nové výzvy aj v oblasti recyklácie.

Tie úzko súvisia s opätovným získavaním strategických kritických surovín (vzhľadom na ich dostupnosť a cenu), akými sú napr. kovy vzácnych zemín, Sb, Be, Co, Nb, In, Si, Ge, Ga W, Mg, ktoré sú dôležité pre technologické inovácie napr. kovy vzácnych zemín sú napríklad kľúčové pre rozvoj v oblasti IT, obnoviteľných zdrojov energie (veterné turbíny, solárne panely) alebo elektrických vozidlách, pre katalyzátory, dosky plošných spojov, optické vlákna, vysokoteplotné supravodiče a pod. Surovinová politika EÚ, SR nevynímajúc, jednoznačne určuje trend postupnej náhrady a zvyšovania podielu materiálového využívania druhotných surovín s dôrazom na zvyšovanie úrovne recyklácie surovín minerálneho pôvodu a efektívneho materiálového či energetického zhodnotenia organických odpadov [9].



Obr. 3.2 Vznik odpadov podľa NACE, 2018 [8]

V súčasnosti sa v SR vývoju ekonomicky efektívnych postupov recyklácie v uvedených špecifických oblastiach nevenuje systematická pozornosť, a ani sa štatisticky nehodnotí výdatnosť zdrojov takýchto strategických surovín v dostupných odpadoch napr. v odpadoch z elektrických a elektronických zariadení a pod. Nové pokrokové materiály sa vďaka svojim špecifickým vlastnostiam stále rýchlejšie presadzujú v praxi, čo zákonite vyvoláva technologický tlak na existujúce spracovateľské zariadenia.

Analýzy realizované Strojníckou fakultou STU v Bratislave v rokoch 2012 až 2014 v rámci riešenia projektu „Výskum technológií progresívneho zhodnocovania odpadov z automobilového priemyslu“ ukázali, že na Slovensku bolo v období rokov 2006 až 2013 spracovaných 250 223 kusov starých vozidiel, čo pri priemernej váhe európskeho vozidla asi 900 kg predstavuje celkovú hmotnosť 225 000 ton materiálu. Tento objem

bol tvorený 76,8% železného šrotu, 4,2% plastov, 5,2% pneumatík, 0,6% neželezných kovov, 5,3% skla, 1,6% molitanu, 1,4% autobatérií, 2,5% elektroodpadu a 2,4% textílií a kobercov. Pre plnenie limitov stanovených smernicou 2000/53/ES a zákonom č. 79/2015 Z. z. o odpadoch je potrebné zabezpečiť zhodnocovanie a recykláciu aj menej atraktívnych a ťažko spracovateľných odpadov, medzi ktoré patria najmä viacvrstvové sklá, reflektory obsahujúce plasty, sklo, kovy, nekovy, žiarovky klasické, led, xenóny a pod., katalyzátory, PUR peny, brzdové obloženia a platničky, plasty, airbagy a samonavíjacie pásy, elektro kabeláž, palubné prístroje, servisné motorčeky, spätné zrkadlá a pod. Otvorenou stále zostáva otázka, ako sú rozvinuté trhy a infraštruktúra na recykláciu týchto špecifických odpadov, ktoré sú oveľa zraniteľnejšie a citlivejšie na výkyvy dopytu než trhy s kovovými materiálmi. Ich spracovatelia sú zároveň konfrontovaní so skutočnosťou, že v prípade netypických odpadov na báze moderných viac komponentných materiálov sa tradične používané technológie stávajú neefektívnymi alebo dokonca nepoužiteľnými.

Z vyššie uvedených faktov vyplýva, že existujú minimálne dva dôvody prečo je na Slovensku žiaduce vytvoriť integrovanú informačnú a inovačnú platformu recyklačných technológií:

- nové pokrokové materiály sa vďaka svojim špecifickým vlastnostiam stále rýchlejšie presadzujú v praxi, čo zákonite vyvoláva technologický tlak na existujúce spracovateľské technológie,
- štruktúra odpadov a technológie ich zhodnocovania v súvislosti s meniacou sa kompozíciou funkčných materiálov akými sú kompozitné materiály na báze plastov, železných a neželezných kovov, uhlíkových vlákien, kombinované materiály, nanomateriály, pokrokové hnacie agregáty, elektronika, a pod.,
- podpora vývoja a inovácií recyklačných technológií bez ohľadu na kategorizáciu odpadu (priemyselný alebo komunálny).

3.3 Informačné toky v odpadovom hospodárstve SR

Vzhľadom na dynamický vývoj mnohých oblastí ľudskej činnosti je dôležité poznať a priebežne sledovať informácie reflektujúce stav životného prostredia a zmeny, ktoré sa v ňom odohrávajú. Kvalitné, objektívne a porovnateľné informácie a ich komplexné analýzy sú nevyhnutné pri plánovaní stratégií trvalo udržateľného rozvoja každého odvetvia národného hospodárstva, vrátane sektora odpadového hospodárstva. V súčasnosti je opodstatnený prístup, kedy rozhodnutia o odpadovom hospodárstve musia zohľadniť rôzne toky odpadov, metódy zberu, prepravy a technológie spracovania, aby sa zabezpečila rovnováha medzi metódami zberu a technológiami spracovania z hľadiska environmentálnej udržateľnosti, nákladovej efektívnosti a spoločenskej prijateľnosti. Tento prístup k vnímaniu odpadového hospodárstva v kontexte širších súvislostí a nielen ako procesu zbavovania sa odpadu, je spojený s pochopením, že nakladanie s odpadmi je súčasťou širšieho systému riadenia zdrojov a odpady sú významným potenciálnym zdrojom surovín a tiež energie [10].

Realizáciu komunikačno-informačnej podpory aktivít inštitúcií pôsobiacich v rezorte Ministerstva životného prostredia SR vrátane verejnosti zabezpečujú informačné

a monitorovacie systémy ŽP. Je potrebné poznamenať, že za jeden z hlavých aktivátorov EÚ na ceste k systémovej zmene – prechode na tzv. zelenú a obehovú ekonomiku s hospodárnym využívaním prírodných zdrojov sa dnes považuje informovanosť a znalostná báza verejnosti [11].

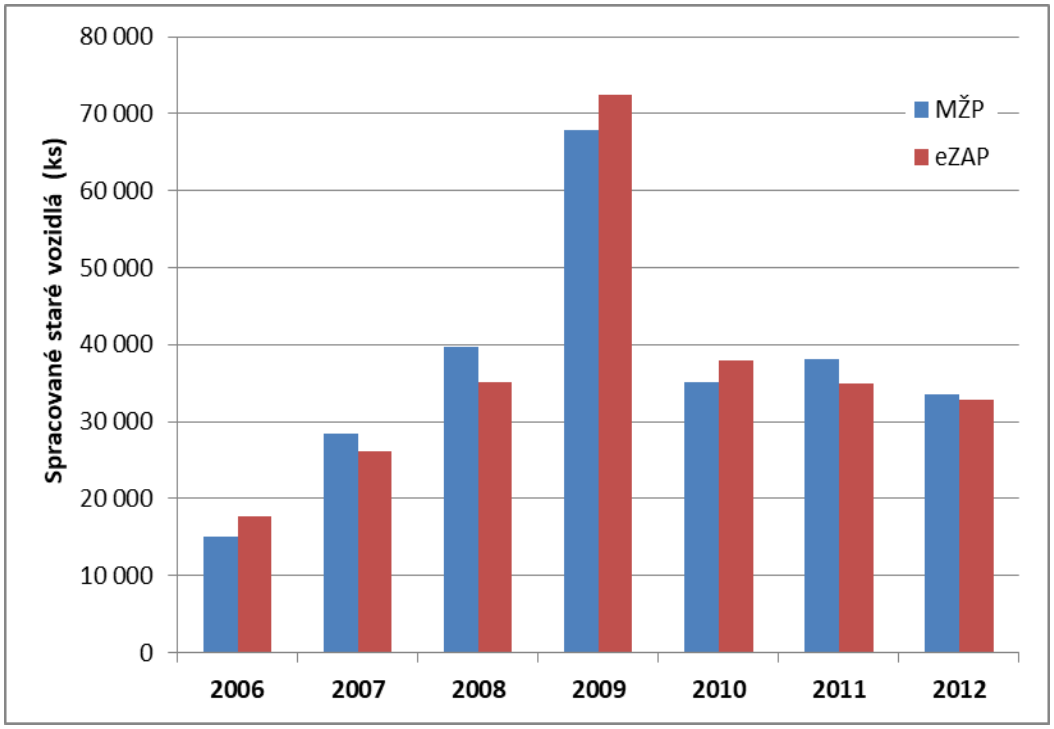
Prostriedkom zabezpečujúci informácie o stave a trendoch v jednej zo zložiek životného prostredia, v odpadoch, bol až do roku 2018 čiastkový monitorovací systém Odpady zriadený na základe uznesenia vlády Slovenskej republiky č. 442/1992 prevádzkovaný Slovenskou agentúrou životného prostredia v spolupráci s Ministerstvom životného prostredia SR (MŽP SR), ktorý pozostával zo štyroch nezávislých informačných podsystémov. Zber a spracovanie všeobecných údajov o vzniku a nakladaní s odpadmi zabezpečoval Regionálny informačný systém o odpadoch (RISO). Zber a spracovanie údajov o obaloch a odpadoch z obalov realizoval informačný systém OBALY, zber a spracovanie údajov o neobalových výrobkoch realizoval informačný systém NEOBALY a na zber a spracovanie údajov o elektrických a elektronických zariadeniach a odpadoch z nich bol určený informačný systém ELEKTRO. Rozdelenie odpadov na jednotlivé druhy odpadov určuje vyhláška MŽP SR č. 365/2015 Z. z., ktorou sa ustanovuje Katalóg odpadov, ktorý je plne kompatibilný s európskym katalógom odpadov.

Zber údajov do systému RISO bol založený na spracovaní údajov z ohlásení subjektov činných v oblasti vzniku a nakladania s odpadmi podľa zákona o odpadoch odovzdaných na odboroch starostlivosti o životné prostredie okresných úradov, ktoré boli základnými vstupnými miestami údajov so systému. Údaje v systéme RISO boli evidované údaje v štruktúre: identifikácia pôvodcu odpadu, odpadu, kód spôsobu nakladania s odpadom, množstvo odpadu a identifikácia odberateľa odpadu. Zo systému RISO boli verejne prístupné agregované údaje. V systémoch OBALY a ELEKTRO sa na základe spracovaných údajov hodnotilo plnenie legislatívne stanovených limitov miery zhodnocovania monitorovaných druhov odpadov jednotlivými výrobcami, alebo organizáciami zodpovednosti výrobcov. Parciálne informačné systémy OBALY, NEOBALY a ELEKTRO boli transformované do jednotného registra výrobcov, ktorý je súčasťou nového informačného systému odpadového hospodárstva (ISOH).

Nedostatkom informačných zdrojov v sektore odpadového hospodárstva, či centrálnych systémov alebo systémov tretích strán, bola kvalita, hĺbka a porovnateľnosť zhromažďovaných údajov o nakladaní s odpadom v celom reťazci odpadového hospodárstva. Kvalita zberu údajov a ich príprava na spracovanie sa medzi jednotlivými informačnými systémami líši, rovnako ako zlučiteľnosť údajov zozbieraných z rôznych zdrojov a analýzy vykonané na týchto údajoch. Ako príklad je možné uviesť analýzu evidencie starých vozidiel odovzdaných do systému zberu a spracovania do autorizovaných zariadení v SR. Na jej spracovanie sa použili dáta z centrálne riadených informačných systémov MŽP SR, SAŽP, MV SR a systému druhej strany eZAP.

Výsledky analýzy dát za obdobie rokov 2006 – 2012, uvedené na Obr. 3.3, vykazujú odchýlku na úrovni o ± 9%, čo bolo spôsobené rôznou metodikou zberu a spracovania dát.

Novú etapu v riadení a kvalite informačných tokov v odpadovom hospodárstve predstavuje vybudovanie nového informačného systému odpadového hospodárstva – ISOH, Obr. 3.4, ktorý je pod gesciou Ministerstva životného prostredia SR a zainteresovaným stranám a odbornej verejnosti bol už čiastočne sprístupnený roku 2019. ISOH zjednocuje a nahrádza niektoré existujúce informačné systémy v oblasti odpadového hospodárstva v Slovenskej republike (RISO, OBALY, NEOBALY,



Obr. 3.3 Vývoj počtu starých vozidiel odovzdaných na spracovanie do autorizovaných zariadení podľa MŽP SR a systému eZAP v rokoch 2006 až 2012

ELEKTRO a štatistické zisťovanie o nakladaní s odpadmi Štatistickým úradom Slovenskej republiky, informačné systémy tretích strán). Má plniť nielen funkciu nástroja na kontrolu plnenia určených limitov zberu a zhodnocovania odpadov, ale aj slúžiť na plnenie úloh a povinností vyplývajúcich z osobitných právnych predpisov či medzinárodnými záväzkov Slovenskej republiky v tejto oblasti. ISOH má umožniť priebežné sledovanie plnenia cieľov ustanovených v Programe odpadového hospodárstva SR a poskytnúť základné štatistické údaje a prehľady. Bude sústreďovať potrebnú evidenciu a relevantné hlásenia, zhromažďovať údaje o pôvodcoch odpadov a o zariadeniach na nakladanie s odpadmi, čo umožní Ministerstvu životného prostredia sledovať tok odpadu od jeho vzniku až po jeho zhodnotenie, resp. zneškodnenie [12]. Medzi prednosti ISOH možno zaradiť komplexnú online evidenciu (register) všetkých subjektov, ktoré prichádzajú do kontaktu s odpadmi (pôvodcovia odpadov, držitelia, spracovatelia, zberné dvory), ktorá bude obsahovať informácie o kapacitách na spracovanie odpadov, možnostiach odovzdávania jednotlivých druhov odpadov, povolenia vydané orgánmi štátnej správy a pod. Informačný systém je určený pre odbornú verejnosť, ktorú tvoria interní a externí užívatelia a pôvodcovia odpadov.



Obr. 3.4 ISOH – Informačný systém odpadového hospodárstva MŽP SR [12]

K monitorovaniu situácie v odpadovom hospodárstve, najmä vo oblasti nakladania so starými vozidlami, významne prispel aj Zväz automobilového priemyslu, keď vybudoval špecializovaný informačný systém elektronického registra starých vozidiel – eRSV.sk a informačný portál iDovoz.sk, ktorý slúži na vystavenie a overenie potvrdenia o prevzatí zodpovednosti za nakladanie s odpadom pochádzajúcim z vozidla, ktoré je jednotlivo dovezeným vozidlom. Elektronický register eRSV umožňuje on-line evidenciu starých vozidiel prevzatých na spracovanie a vystavenie potvrdenia o prevzatí starého vozidla na spracovanie a pod. Systém eRSV predstavuje aj významný štatistický zdroj, pretože sa v ňom dobrovoľne registrujú všetci autorizovaní spracovatelia, ktorí ho využívajú na evidenciu odpadov vzniknutých zo spracovania starých vozidiel.
Intenzívny rozvoj digitálnych technológií Priemyslu 4.0 nepochybne významným spôsobom ovplyvní aj modely podnikania v odpadovom hospodárstve. Nasadenie pokrokovej senzorovej techniky, robotov alebo umelej inteligencie umožní zbierať množstvo komplexných dát o procesoch a materiálových tokoch v odpadovom priemysle, pri spracovaní ktorých bude možné účinne a účelne použiť technológie Big data akými sú napr. prediktívna analytika alebo analýza výkonnosti. Z možností Big data vychádza aj koncepcia komplexnej štruktúry kvantitatívnych aj kvalitatívnych dát o spracovateľských technológiách zbieraných v rámci vytvorenej platformy „SmartOdpady“.

3.4 SmartOdpady – integrovaná informačná a inovačná platforma recyklačných technológií

Odpadové hospodárstvo je dnes konfrontované s niekoľkými významnými trendami, ktoré výrazným spôsobom ovplyvnia doteraz zaužívaný model podnikania. Globálne

otepľovanie, znečisťovanie morí a oceánov, obehové hospodárstvo a intenzívny rozvoj digitálnych technológií Priemyslu 4.0 redefinujú to, čomu hovoríme odpadové hospodárstvo. Implementácia politiky obehového hospodárstva posúva odpadové hospodárstvo bližšie ku koncepciám riadenia zdrojov a robí ho neoddeliteľnou súčasťou globálnych trhov so zdrojmi. Digitálne technológie Priemyslu 4.0 – robotika, internet vecí, autonómne vozidlá, senzory a umelá inteligencia budú jadrom transformácie odpadového hospodárstva v 21. storočí [10, 13]

Slovenská ekonomika stále spotrebúva viac zdrojov, ako je jej prírodná kapacita, a aj preto je jej ekologická stopa negatívna. Existuje však významný potenciál na zlepšenie využívania existujúcich zdrojov, ktorý sa ukrýva v nakladaní s odpadmi. Slovensko síce produkuje relatívne menej odpadu než ostatné krajiny EÚ, no aj recykluje výrazne menej. Viac ako polovica všetkých odpadov sa ukladá na skládky, čo je výrazne viac než v EÚ, pričom trend poklesu skládkovania odpadov a zvyšovania ich recyklácie je zatiaľ nevýrazný. Ekonomika tak prichádza o významný zdroj a zároveň nezanedbateľný objem materiálov, ktoré by mohli byť opakovane využité. Podľa Stratégie environmentálnej politiky Slovenskej republiky do roku 2030 – Zelenšie Slovensko [6] schválenej v roku 2019, na Slovensku medzi výzvy životného prostredia s najvyššou prioritou patrí aj problematika odpadového hospodárstva, kde sa má pozornosť sústrediť 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 [14].

Integrovanú informačnú a inovačnú platformu recyklačných technológií – SmartOdpady (www.odpady-az.sk) je možné považovať za nástroj, ktorý podporí transformáciu odpadového hospodárstva v súlade s cieľmi obehového hospodárstva a príležitosťami prinášanými Priemyslom 4.0. Vychádza z platnej legislatívnej úpravy v odpadovom hospodárstve v SR a tiež zohľadňuje aktuálne a budúce požiadavky EÚ v tejto oblasti. Užívateľovi poskytuje dve základné funkcionality. Držiteľovi odpadu na základe rôznych kritérií umožňuje vyhľadávať optimálneho prepravcu odpadu, najvhodnejšiu technológiu zhodnotenia jeho odpadu – dostupnosť (GPS lokalizácia), kvalitatívna úroveň technológie (BAT, systémy manažérstva kvality, materiálová bilancia, certifikácia výstupných produktov, kapacita zariadenia a pod.). Spracovateľovi odpadu umožňuje komunikovať s držiteľmi odpadu o svojich voľných kapacitách (zásada blízkosti) a tiež nadviazať kontakt a komunikovať na jednom mieste s výskumnými a vývojovými centrami alebo dodávateľmi technológií o možnostiach vývoja alebo dodávky špecializovaných technológií na recykláciu a zhodnocovanie špecifických odpadov.

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.

3.4.1 Vývoj integrovanej platformy recyklačných technológií

Myšlienka vytvoriť integrovanú informačnú a inovačnú platformu recyklačných technológií – SmartOdpady nevznikla náhodne, ale prešla takmer desaťročným vývojom spojeným s hľadaním optimálnej vnútornej štruktúry systému a jeho funkcionalít, štruktúry poskytovaných informácií a užívateľského rozhrania.

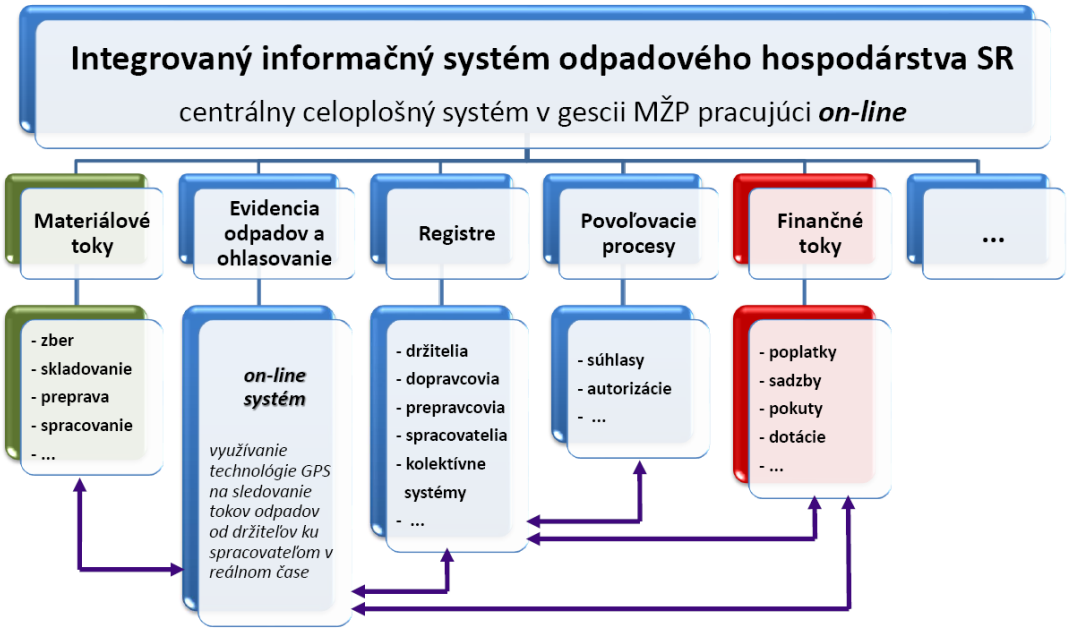
Prvé úvahy o potrebe moderného a efektívneho informačného systému vo sfére nakladania s odpadom sa objavili počas ekonomickej krízy v rokoch 2009 až 2010, kedy krízový manažment odpadového hospodárstva na úrovni ústredného orgánu akútne potreboval pracovať s korektnými a konzistentnými informáciami a dátami o kvantite a kvalite materiálových tokov odpadov, dostupných spracovateľských a logistických kapacitách, a to nielen s historickými dátami, ale aj dátami získanými v reálnom čase.

Audit dostupných informačných systémov realizovaný v danom čase poukázal na významný nesúlad medzi porovnateľnými dátami získanými z týchto systémov, ktoré naviac boli schopné poskytnúť len kvantitatívne údaje o prúdoch odpadov, ale nie aj o prevádzkovaných spracovateľských kapacitách, keďže na celoštátnej úrovni neboli vybudované elektronické registre evidencie súhlasov na nakladanie s odpadom vydaných v zmysle zákona o odpadoch a informácie boli zisťované ad-hoc. Dôsledkom bolo, že počas krízy sa naplno prejavilo nerovnomerné rozmiestnenie alebo nedostatok kapacít na spracovanie odpadov na území SR spojené so nedocenením podpory aktivít zameraných na uplatnenie recyklátov na domácom trhu v podobe koncového produktu s novou, vyššou pridanou hodnotou. V roku 2009 bolo síce konštatované, že SR má vybudované a prevádzkované dostatočné recyklačné kapacity na spracovanie vyseparovaných zložiek odpadov – plastov, papiera, skla, resp. kovového šrotu, avšak v dôsledku nepriaznivého vývoja cien na trhu s druhotnými surovinami a recyklovanými polotovarmi takmer úplne skolaboval systém odberu vyseparovaných zložiek odpadov z komunálnej sféry.

Výsledkom rozsiahlych diskusií o stave informačných systémov v odpadovom hospodárstve bol ideový návrh koncepcie Integrovaného informačného systému odpadového hospodárstva, viď Obr. 3.5, vypracovaný v roku 2011 na Strojníckej fakulte STU v Bratislave v gescii prof. Ing. Ľubomíra Šooša, PhD. a prednesený na Výbore pre životné prostredie NR SR.

Navrhovaný integrovaný systém mal mapovať všetky informačné, materiálové a finančné toky v sektore nakladania s odpadom a zabezpečiť informácie v takom rozsahu a kvalite, ktoré sú nevyhnutné pre efektívne riadenie a rozvoj moderného odpadového hospodárstva. Jadro systému tvorili tri vzájomne prepojené subsystémy, ktoré mali zhromažďovať informácie o subjektoch pôsobiacich v celom reťazci procesov nakladania s odpadom (registre), o vydaných povolenia pre nakladanie s odpadom (povoľovacie procesy) a o množstvách vznikajúcich a spracovaných odpadov (evidencia odpadov a ohlasovanie). Keďže v tomto období sa začalo uvažovať o zavedení elektronického mýta, systém predpokladal aj možnosť sledovania pohybu odpadov, najmä nebezpečných, v reálnom čase, aby sa znížila možnosť nepovoleného ukladania odpadov. Do systému boli zapracované subsystémy na monitorovanie materiálových a finančných tokov v odpadovom hospodárstve, ktoré mali poskytnúť

relevantné agregované informácie pre prípravu a hodnotenie plnenia cieľov Programov odpadového hospodárstva a plánovanie rozvojových a inovačných programov.



Obr. 3.5 Koncepcia integrovaného informačného systému odpadového hospodárstva (model 2011)

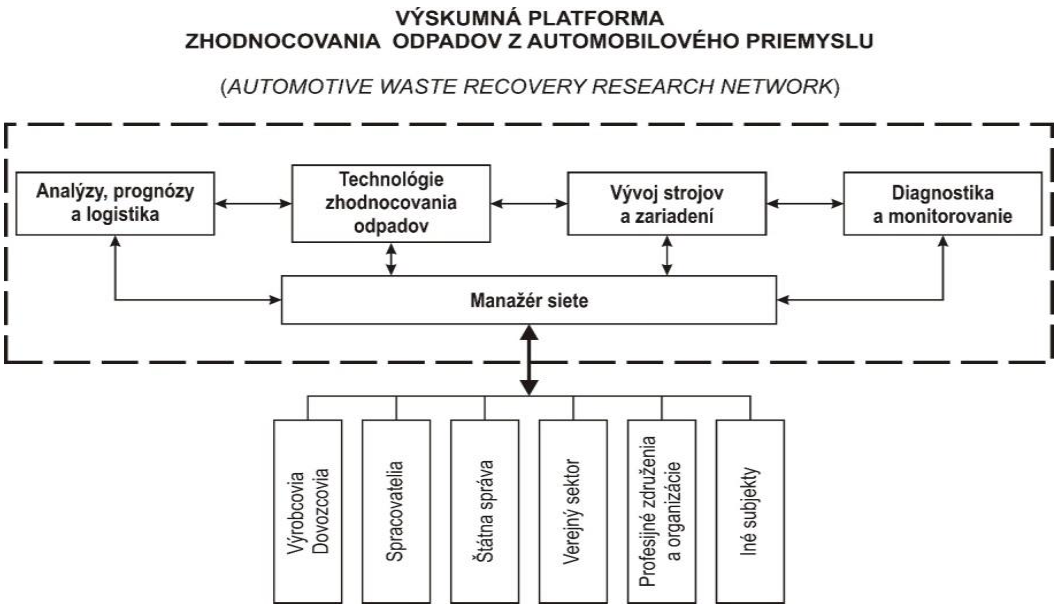
Prijatie Akčného plánu obehového hospodárstva s novými ambicióznymi cieľmi v oblasti recyklácie odpadov Európskou komisiou v roku 2015 viedlo ku úzkej spolupráci medzi Zväzom automobilového priemyslu SR a Strojníckou fakultou vo výskume technológií progresívneho zhodnocovania odpadov zo starých vozidiel a z automobilového priemyslu, ktorý sa stal dominantným priemyselným odvetvím na Slovensku.

Trvale rastúca produkcia automobilov v SR znamená aj zvyšujúce sa množstvo odpadov z výroby automobilov a 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, a pod., to všetko vyvolalo potrebu vyvíjať nové inovatívne technológie na ich spracovanie a bolo hlavným motívom na rozpracovanie návrhu koncepcie „výskumnej platformy zhodnocovania odpadov najmä z automobilového priemyslu“, na ktorej spolupracovalo konzorcium špecializovaných pracovísk slovenských univerzít so Zväzom automobilového priemyslu SR.

Po diskusiách na rôznych odborných fórach sa dospelo k záveru, že dlhodobo existuje všeobecná potreba vytvoriť sieť pracovísk s účelovým centrom zameraným na výskum a vývoj technológií na zhodnocovanie tých kategórií odpadov, ktoré sú, alebo budú definované ako prioritné z hľadiska strategických hospodárskych a environmentálnych cieľov rôznych štátnych politík, alebo u ktorých vznikne špecifická požiadavka z

prostredia hospodárskej praxe. Ako príklad je možné uviesť opätovné získavanie deficitných surovín, vývoj technológií pre doteraz nespracovávané alebo ťažko spracovateľné odpady a pod. Vytvorením funkčnej siete špecializovaných pracovísk sa dosiahne synergický efekt komplexného návrhu BAT technológie spracovania odpadov zahrňujúci inovačné prvky sprevádzané multiplikačným efektom využitia zdrojov. 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.
Model výskumnej platformy, štruktúra ktorej je uvedená na Obr. 3.6, vychádzal z konceptu moderných distribuovaných výrobných systémov a digitálnych technológií Priemyslu 4.0, konkrétne PLM systémov (Product Lifecycle Management), ktoré podporujú rýchle a robustné inovácie vykonávané vo virtuálnom prostredí, v ktorom sa posudzujú nové myšlienky o technológii, zariadení, alebo výrobku voči zákazníckym požiadavkám. Z technického pohľadu pozostáva systém PLM zo štyroch základných oblastí, a to zjednotené technológie a štandardy (napr. výmenné formáty dát, vizualizácie, spolupráca a integrácia s ostatnými subsystémami); funkcie dátového jadra – PDM (Product Data Management – napr. úložisko dát, správa dát dokumentácie, workflow a riadenie procesov); editory (grafické i textové) a inžinierske systémy (napr. CAD/CAM systém) a funkčné aplikácie (špecializované pre potreby daného používateľa). V takto nastavenom prostredí výskumnej platformy mali spolupracovať vývojové tímy pracovísk slovenských univerzít na realizácii vývojových projektov, pričom každý mal prispievať svojimi unikátnymi znalosťami a skúsenosťami, a tiež prístrojovým vybavením. Poznanie a skúsenosti mali byť ukladané pre potenciálne opakované zhodnotenie v budúcich inováciách. Funkčné aplikácie mali zabezpečiť efektívnu komunikáciu a spoľahlivú výmenu informácií s dodávateľmi aj zákazníkmi o postupe vývojových prác. Otvorené digitálne prostredie PLM systému malo umožniť spoluprácu v reálnom čase a zdieľanie informácií medzi projektovými tímami z rôznorodých dátových zdrojov.

Výskumná platforma mala svoju činnosť realizovať v štyroch hlavných sekciách, ako je to znázornené na Obr. 3.6. Prvá sekcia mala realizovať komplexné analýzy možností spracovania odpadov so zohľadnením technologických, ekonomických a environmentálnych faktorov, prognózovanie zamerané na rozhodujúce trendy v recyklačnom sektore a vývoj trhu s recyklátmi ako zdrojom druhotných surovín vrátane navrhovania a optimalizácie logistických a distribučných modelov podľa požiadaviek odberateľa. Optimalizácia logistických a distribučných systémov bola vnímaná najmä v kontexte interakcií medzi distribúciou zdrojov odpadov s rôznou výdatnosťou a lokalizáciu budúcich spracovateľských zariadení a ich dopadom na ekonomickú udržateľnosť.



Obr. 3.6 Funkčná schéma výskumnej platformy (model 2015)

Druhá sekcia sa mala orientovať na problematiku vývoja technológií zhodnocovania odpadov s dôrazom na skúmanie možností technického riešenia spracovania požadovaného druhu odpadu so zohľadnením BAT, BREF a akceptovateľnej úrovne ekonomických a environmentálnych ukazovateľov. Koncept činnosti výskumného centra spracovania odpadov logicky uzatvárala sekcia vývoja strojov a zariadení a sekcia diagnostiky a monitorovania dopadov vyvíjaných technológií a zariadení na vybrané zložky životného prostredia. Charakteristickým znakom uvažovanej koncepcie platformy bola jej modularita a otvorenosť. Po overení funkčnosti navrhnutej koncepcie platformy riešitelia predpokladali jej rozšírenie o ďalšie funkcionality, napr. vyhľadávanie partnerov na spoluprácu pri zabezpečovaní realizácie výsledkov výskumu a vývoja napr. v prostredí malých a stredných podnikov.

Razantný rozvoj digitálnych technológií Priemyslu 4.0 a ich postupná implementácia v oblasti nakladania s odpadom viedla členov konzorcia pracovísk slovenských univerzít a zástupcov Združenia automobilového priemyslu ku prehodnoteniu pôvodnej koncepcie výskumnej platformy, ktorú znázorňuje Obr. 3.6. Na základe prieskumov a rozsiahlych diskusií, pri ktorých sa posudzoval nielen dopad politiky obehového hospodárstva a technológií Priemyslu 4.0 na odpadové hospodárstvo, ale aj efekty digitalizácie v odpadovom hospodárstve z hľadiska vplyvu na technológie, procesy riadenia, analýzu dát o tokoch odpadov alebo modely podnikania, sa pristúpilo k vývoju nového systému – integrovanej informačnej a inovačnej platformy recyklačných technológií – SmartOdpady (www.odpady-az.sk).

Jej hlavným cieľom je umožniť na báze inteligentnej špecializácie a pokrokových informačných a komunikačných technológií systematicky zbierať informácie o technológiách nakladania s odpadom na území SR a realizovať efektívny výskum a vývoj v oblasti materiálového a energetického zhodnocovania odpadov najmä z automobilového priemyslu a spracovania starých vozidiel, ktoré sú nespracovateľné bežnými technológiami, s dôrazom na inovatívne riešenia s novou pridanou hodnotou

vrátane optimalizácie príslušných logistických procesov opierajúc sa o analýzy a prognózovanie trendov v automobilovej výrobe a jej dopadov na národné hospodárstvo nevynímajúc vývoj v odpadovom hospodárstve tak, aby sa zabezpečilo plnenie dlhodobých cieľov a povinností Slovenskej republiky vyplývajúcich zo záväzkov voči EÚ pri nakladaní s odpadom.

3.4.2 Východiská návrhu integrovanej platformy „SmartOdpady“

Koncepcia integrovanej platformy „SmartOdpady“ integruje základné východiská dvoch strategických dokumentov schválených na úrovni vlády SR. Primárnym dokumentom je Program odpadového hospodárstva SR. Avšak z perspektívy vnímania odpadu ako dlhodobo významného zdroja druhotných surovín a energie bola pri spracúvaní projektu zohľadnená aj inovačná stratégia SR „Poznatkami k prosperite – Stratégia výskumu a inovácií pre inteligentnú špecializáciu Slovenskej republiky (RIS3)“, ktorá v oblasti hospodárskej špecializácie ekonomiky identifikovala automobilový priemysel a strojárstvo ako jednu z priorít a definovala tieto rozvojové tendencie:

- zvyšovanie domácej pridanej hodnoty produktov, najmä efektívnym transferom technológií a výsledkov vedy a výskumu do výrobného procesu,
- rozvoj výrobných postupov v priemysle orientovaných na lepšie využívanie dostupných zdrojov, vyššiu mieru recyklácie a využívanie materiálov priateľských k životnému prostrediu využitím vedecko-technologického rozvoja a inovácií,
- zefektívnenie produkčných a logistických procesov.

Filozofia integrovanej platformy SmartOdpady je postavená na základných princípoch a prístupoch uplatňovaných všeobecne v modernom odpadovom hospodárstve:

- Recyklujúca spoločnosť (recycling society) využívajúca odpad ako zdroj surovín s odklonom od zneškodňovania odpadu najmä skládkovaním. Takáto spoločnosť by mala s odpadmi nakladať v súlade s prioritami hierarchie odpadového hospodárstva, t.j. mala by predchádzať vzniku odpadov, vrátane efektívneho riadenia zdrojov, všade kde je to možné, a keď je vznik odpadov nevyhnutný, tieto využiť environmentálne čo najefektívnejšie ako zdroje.
- Uvažovanie v dimenziách životného cyklu (life cycle thinking) zohľadňujúce celý životný cyklus materiálov a výrobkov a nielen ich odpadovú fázu. Tento prístup sa premieta najmä v definícii hierarchie odpadového hospodárstva a princípu „rozšírenej zodpovednosti výrobcu“.
- Rozšírená zodpovednosť výrobcu (extended producer responsibility) je jedným z prostriedkov na podporu vývoja a výroby produktov, ktoré plne zohľadňujú a uľahčujú efektívne využívanie zdrojov počas ich celého životného cyklu vrátane ich opravy, opätovného použitia, demontáže a recyklácie.
- Využitie odpadu ako zdroja (using waste as a resource) vyjadruje sústredenie pozornosti na prijatie opatrení zameraných na zabezpečenie triedenia odpadu priamo pri zdroji, aby jeho následný separovaný zber zvýšil hospodársku hodnotu odpadu ako zdroja druhotných surovín. Okrem toho podpora

zhodnocovania odpadu a používanie zhodnotených materiálov umožní šetriť prírodné zdroje.

- Hierarchia odpadového hospodárstva (waste hierarchy) ustanovuje poradie priorít toho, čo predstavuje v politike odpadového hospodárstva z celkového hľadiska najlepšiu environmentálnu voľbu, ktorá zohľadňuje zásadu obozretnosti, trvalú udržateľnosť, technickú uskutočniteľnosť, ekonomickú životaschopnosť a ochranu životného prostredia.
- Koniec stavu odpadu (end-of-waste) určuje podmienky, kedy odpad prestáva byť odpadom a môže sa považovať za materiál voľne obchodovateľný na trhu. Cieľom je podporiť recykláciu, znížiť spotrebu prírodných zdrojov a množstvo odpadu určeného na zneškodnenie;
- Obehové hospodárstvo (circular economy) zachováva hodnotu výrobkov a materiálov čo najdlhšie, aby sa minimalizoval odpad a využívanie nových zdrojov. Obehové hospodárstvo oddeľuje hospodársky rast od potreby ťažiť nové a vzácne materiály. Prakticky je to zabezpečované realizáciou materiálových úspor, opätovným použitím, zmenou ekodizajnu výrobkov a vyvíjaním nových výrobkov a služieb so zníženou materiálovou náročnosťou, resp. opakovaným využitím v obehovom cykle.

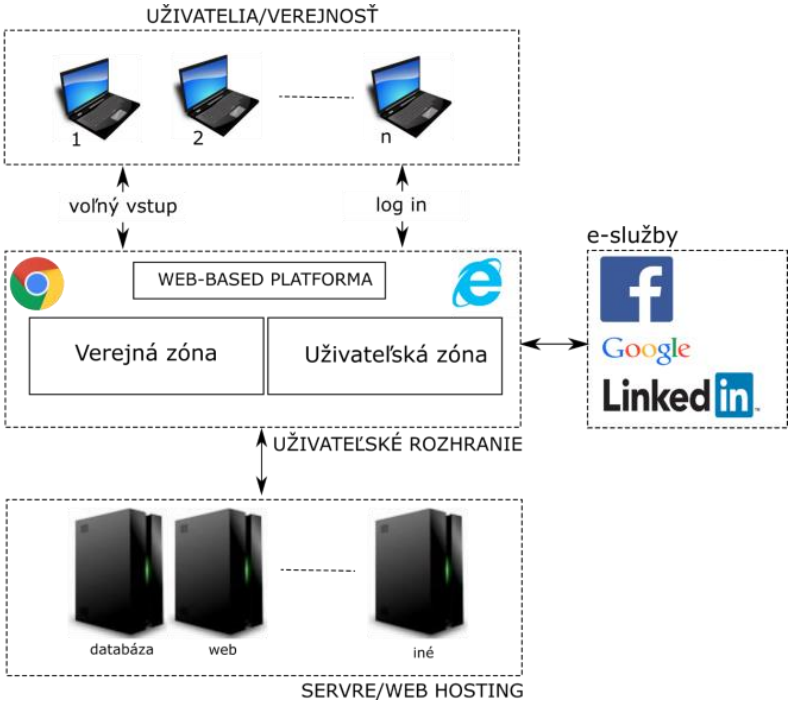
Tieto princípy sú v integrovanej platforme reflektované v informačnom subsystéme v štruktúre dátového záznamu zariadenia na zhodnocovanie a recykláciu odpadov, Obr. 3.16.

3.4.3 Základné funkcionality integrovanej platformy „SmartOdpady“

Východiskom pre definovanie základných funkcionalít integrovanej platformy boli požiadavky a očakávania zainteresovaných strán a budúcich užívateľov, ktoré mali platformu identifikovať a odlíšiť od centrálneho informačného systému odpadového hospodárstva – ISOH riadeného MŽP SR. Keďže platforma „SmartOdpady“ je budovaná ako virtuálny priestor určený na komunikáciu subjektov zapojených reťazca odpadového hospodárstva s cieľom poskytnúť im na jednej strane aktuálne a transparentné informácie o dostupných zberových, prepravných a spracovateľských kapacitách, kvalitatívne informácie o inštalovaných technológiách na spracovanie odpadu, a na druhej strane rozvíjať podnikateľské aktivity, najmä na úrovni malých a stredných podnikov v spolupráci s vysokými školami, v oblasti výskumu a vývoja nových inovatívnych technológií na spracovanie odpadov, požiadavky na funkcionality boli vyšpecifikované nasledovne:

- vytvoriť komplexný systému pre jednoduché a rýchle vyhľadávanie subjektov zaoberajúcich sa zberom, prepravou a spracovaním odpadu cez katalóg odpadov a ďalšie výberové kritériá, akými sú technológie zhodnocovania, kvalita výstupu, certifikované systémy manažérstva a pod.;
- zobrazovanie prevádzok na interaktívnej mape s jednoduchým hľadaním podľa katalógového čísla alebo názvu odpadu, alebo subjektu zberu, prepravy a spracovania odpadu, Obr. 3.8;

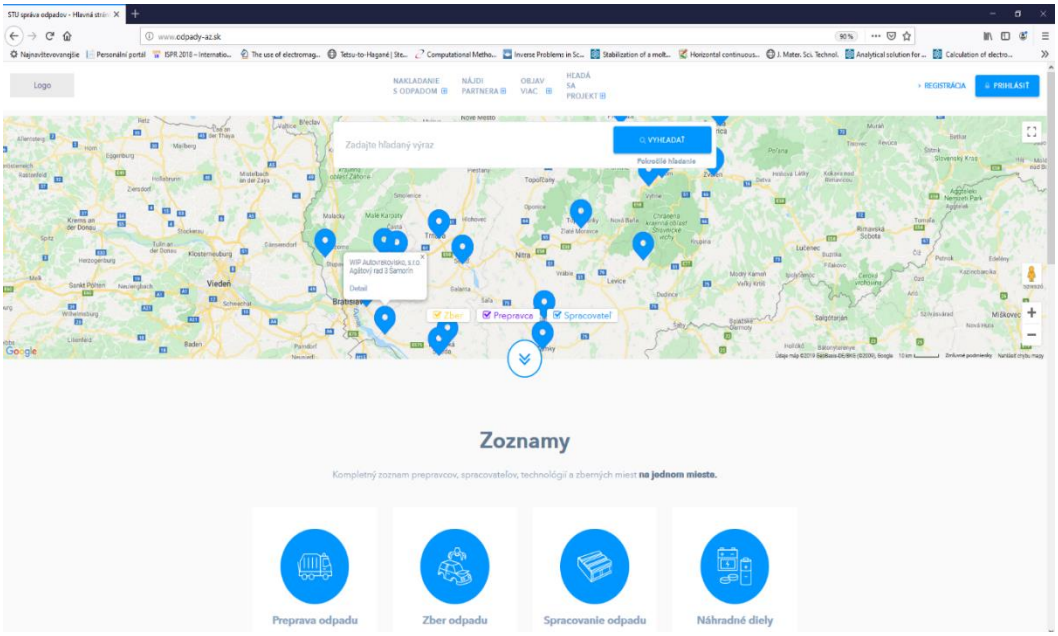
- zjednodušiť vyhľadávanie najvhodnejšieho legálneho spôsobu odovzdania odpadu pre spoločnosti, samosprávu a občana;
- sprehľadniť technológie spracovania odpadu, zvýšiť využívanie dostupných lokálnych poskytovateľov služieb v oblasti zberu, prepravy a spracovania odpadov;
- zvýšiť možnosti zhodnotenia druhotných surovín a znížiť podiel zvyškového odpadu zo spracovania odpadu;
- poskytnúť informácie o výrobcoch zariadení a dodávateľoch technológií na spracovanie odpadu;
- poskytnúť informácie o výskumných a vývojových kapacitách a skúsenostiach vysokých škôl v oblasti spracovania odpadov;
- zhromažďovať informácie o projektoch zameraných na vývoj inovatívnych zariadení a technológií na spracovanie odpadu;
- poskytnúť odbornej a laickej verejnosti informácie o existujúcej úrovni a možnostiach zberu, prepravy a spracovania odpadu;
- poskytnúť subjektom podnikajúcim v odpadovom hospodárstve a tiež štátnej správe objektívne a transparentné 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.



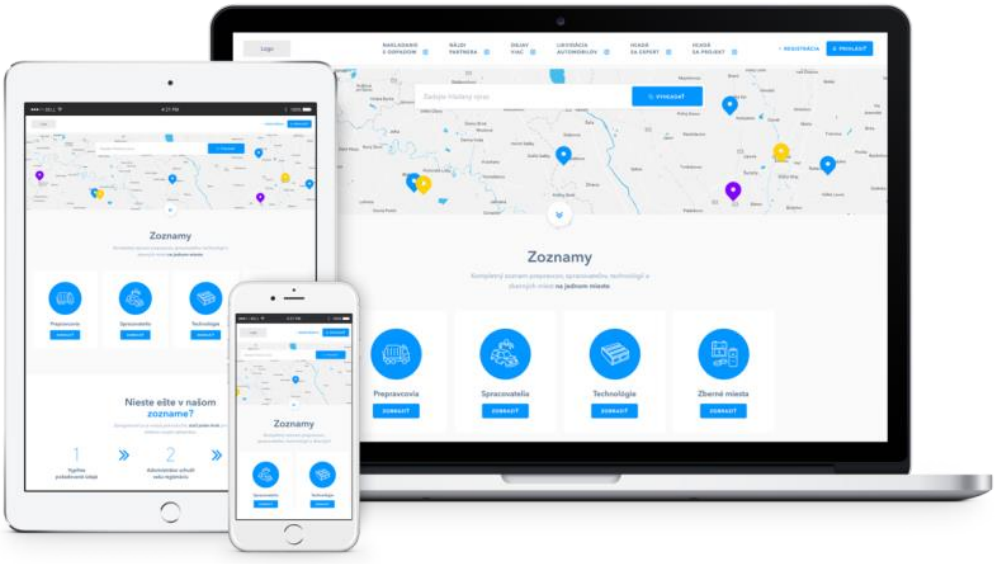
Obr. 3.7 Architektúra informačnej platformy

Architektúra platformy SmartOdpady, ktorú znázorňuje Obr. 3.7, je vybudovaná na báze modelu klient – server. Užívatelia pristupujú k aplikácii cez užívateľské rozhranie prostredníctvom webového prehliadača. Tento spôsob riešenia prístupu umožní v budúcnosti zapracovať do systému podľa vyvíjajúcich potrieb aj iné e-služby. Pre

ekonomickú udržateľnosť systému platforma predpokladá rozlišovanie dvoch kategórií užívateľov, t.j. verejnosť s voľným prístupom a užívatelia s plateným prihlásením, ktorí sa budú líšiť rozsahom sprístupnených informácií.



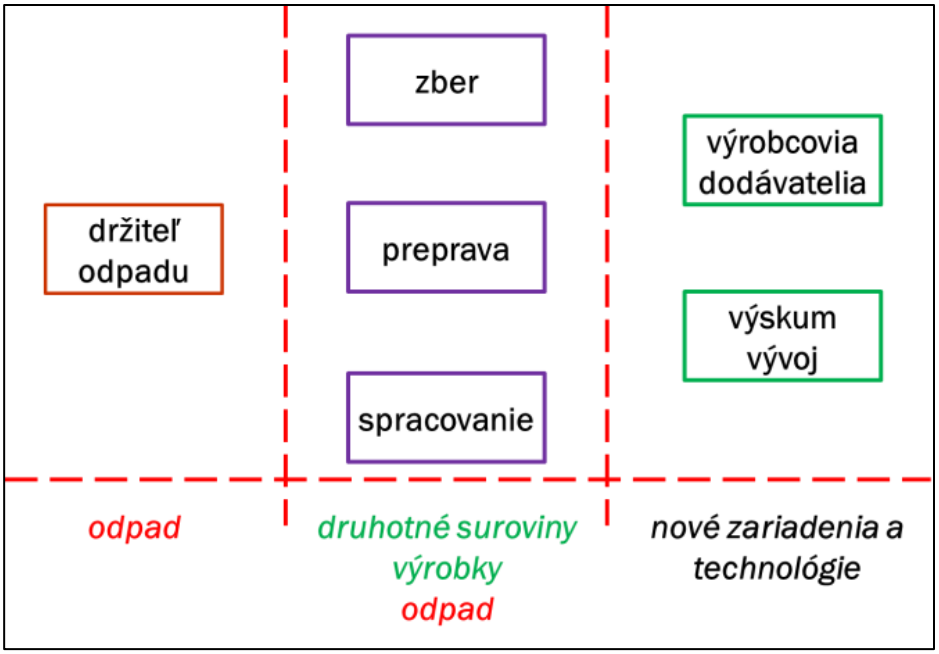
Obr. 3.8 Integrovaná platforma „SmartOdpady“ s interaktívnou mapou a vyhľadávaním



Obr. 3.9 Grafické rozhranie informačnej platformy

Grafické rozhranie portálu je riešené ako responzívne pre mobilné telefóny, tablety a desktopy, Obr. 3.9, a je jednotné pre celú platformu. Užívateľ má k dispozícii farebné aj grafické rozlíšenie zberu, prepravy a spracovania odpadu. Interaktívna mapa, Obr. 3.8 a Obr. 3.9 je vybavená možnosťou filtrovania zobrazených subjektov so základným vyhľadávaním podľa názvu odpadu, katalógového čísla odpadu, názvu spoločnosti a

tiež rozšíreným vyhľadávaním podľa rôznych kritérií, ako napr. typ technológie, druhu súhlasu, činnosti nakladania a pod.

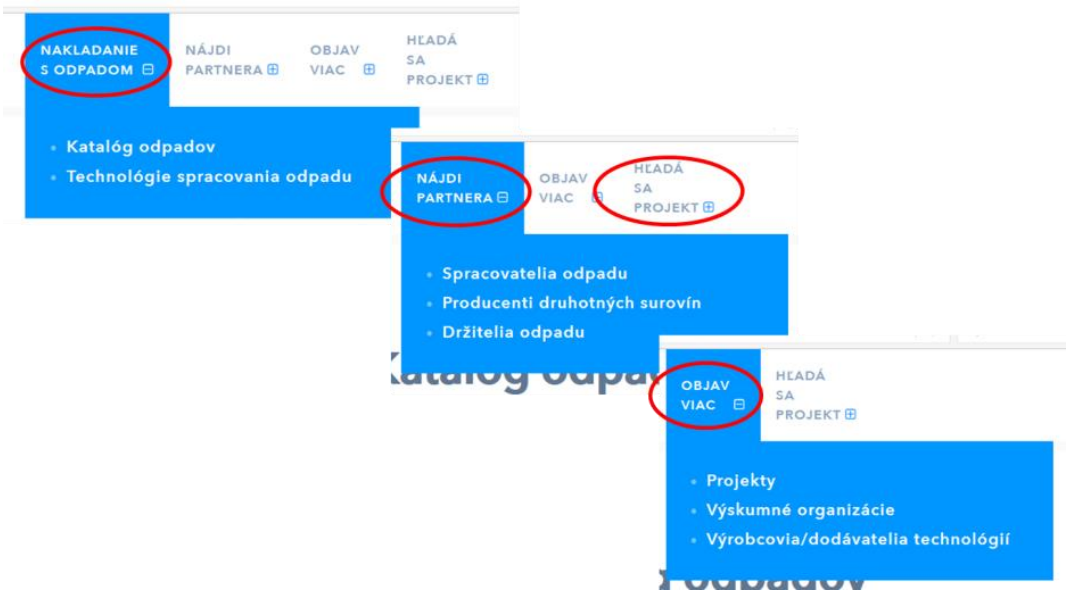


Obr. 3.10 Koncepcia vnútornej štruktúry integrovanej platformy „Smart Odpady“

3.4.4 Vnútorná štruktúra integrovanej platformy „SmartOdpady“

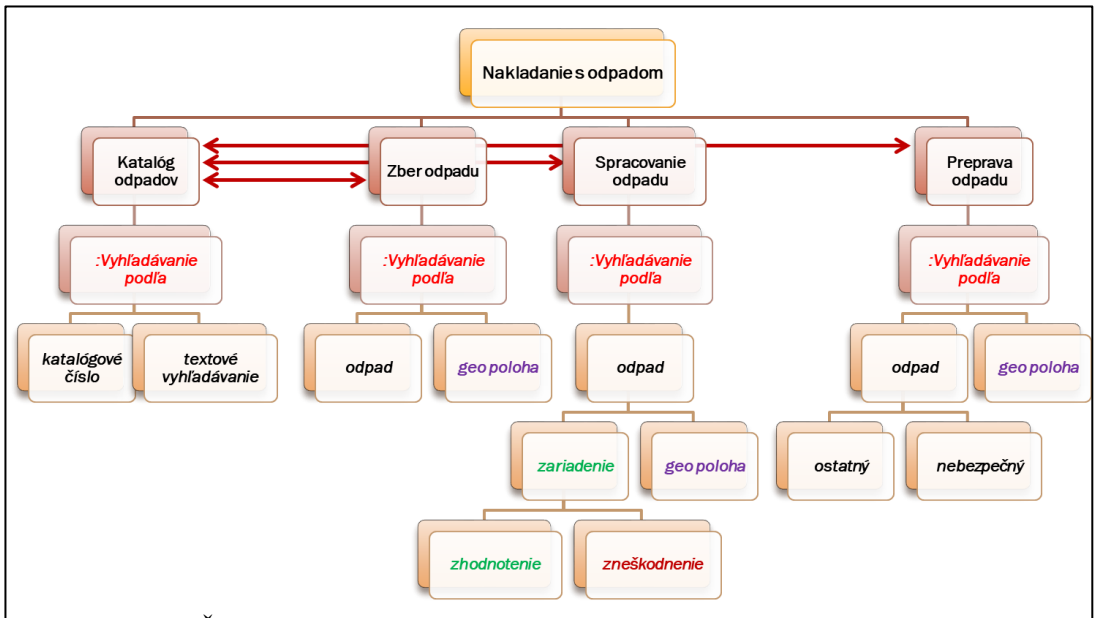
Vnútorná štruktúra integrovanej informačnej a inovačnej platformy „SmartOdpady“ reflektuje špecifikované požiadavky na jej funkcionality a ciele, Obr. 3.10. Je tvorená dvomi zónami, jednou je informačný subsystém „zber – preprava – spracovanie“, v ktorom má držiteľ odpadu možnosť vyhľadať environmentálne a ekonomicky najprijateľnejší spôsob odovzdania odpadu napr. s ohľadom na výstup aplikovanej technológie, ktorým môže byť odpad, druhotná surovina alebo certifikovaný výrobok.

Druhou zónou je inovačný subsystém, kde subjekty reťazca nakladania s odpadom vo virtuálnom prostredí môžu vyhľadávať nové komerčne dostupné technológie alebo vyhľadávať partnerov pre výskum, vývoj alebo výrobu nových inovatívnych postupov, technológií a zariadení podľa aktuálnej potreby v odpadovom hospodárstve prostredníctvom projektov a ponukou zákaziek. Túto funkcionalitu riešitelia vnímajú ako možnosť vytvárať a podporovať podnikateľské príležitosti pre domáce malé a stredné podniky. V inovačnom subsystéme je vytvorený aj zásobník s ponukou už vyvinutých alebo realizovaných nových technológií a zariadení. Základná navigácia platformy „SmartOdpady“ je dokumentovaná na Obr. 3.11.



Obr. 3.11 Základná navigácia platformy

Na Obr. 3.12 je schematicky znázornená štruktúra základného vyhľadávania pre environmentálne a ekonomicky prijateľné nakladanie s odpadom.
Zo schémy vyplýva, že držiteľ odpadu (podnikateľ, samospráva, občan) môže vyhľadávať subjekty zaoberajúce sa zberom, prepravou a spracovaním odpadu nielen podľa druhu odpadu, ale s využitím funkcionality vyhľadávania podľa GPS zúžiť toto vyhľadávanie na požadovanú lokalitu. Vyhľadávanie pre fázu spracovania odpadu je možné ďalej filtrovať podľa typu zariadenia na zhodnocovanie alebo zneškodňovanie a jeho polohy, a pri preprave spresniť vyhľadávanie prepravcu podľa typu odpadu (ostatný a nebezpečný).

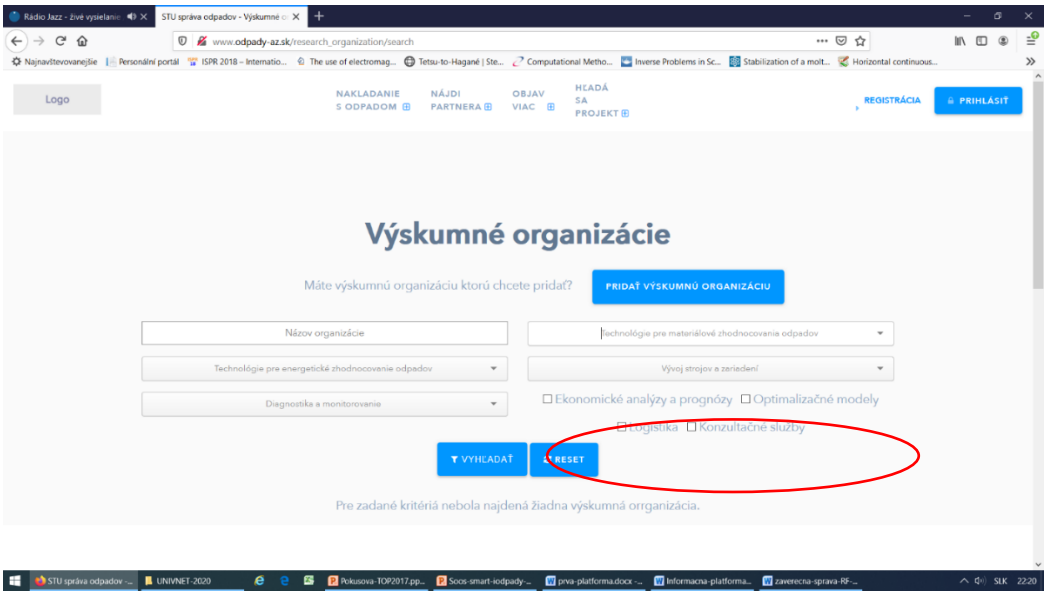


Obr. 3.12 Štruktúra funkcionality „nakladanie s odpadom“ informačného subsystému integrovanej platformy „SmartOdpady“

Funkčná aplikácia “Katalóg odpadov”, Obr. 3.13, bola navrhnutá v interaktívnej forme, ktorá užívateľovi umožňuje filtrovanie a fulltextové hľadanie podľa čísla odpadu alebo názvu odpadu v reálnom čase so súčasným prepojením na registre subjektov zabezpečujúcich zber, prepravu a spracovania odpadu.



Obr. 3.13 Interaktívne vyhľadávanie v katalógu odpadov



Obr. 3.14 Štruktúra funkcionality vyhľadávania partnera pre výskum a vývoj

Podstata funkcionality vyhľadávania partnera pre výskum a vývoj, Obr. 3.14, bola prevzatá z koncepcie „výskumnej platformy zhodnocovania odpadov najmä z automobilového priemyslu“, ktorá uvažovala s činnosťou štyroch špecializovaných sekcií, Obr. 3.6. Výskumná organizácia si pri svojej registrácii na „SmartOdpady“ tiež môže zvoliť rôzne oblasti svojej pôsobnosti.

Realizátori integrovanej platformy “SmartOdpady” perspektívne uvažujú o rozšírení portfólia služieb platformy o e-shopové riešenie realizácie predaja druhotných surovín

a iných komodít, ktoré budú výsledkom procesov zhodnocovania odpadov v zmysle obehového hospodárstva a v súlade s legislatívou odpadového hospodárstva.

3.4.5 Koncepcia štruktúry dát integrovanej platformy „SmartOdpady“

Pri rozhodovaní o kvalite a základnej štruktúre dát zhromažďovaných a spracovávaných v integrovanej platforme „SmatOdpady“ autori vychádzali z jej základného cieľa, ktorým je poskytnúť objektívne a transparentné informácie o technológiách a ich kapacitách prevádzkovaných v systéme nakladania s odpadom a ich lokalizácii s cieľom zjednodušiť informované rozhodovanie subjektov v odpadovom hospodárstve a zároveň poskytnúť relevantné údaje pre účely identifikovania kritických oblastí spracovania odpadov, plánovania rozvojových aktivít v odpadovom hospodárstve, alebo vytváraní nových podnikateľských príležitostí.

REGISTRE
Register zariadení na zber odpadu
Register zariadení na spracovanie odpadu
Register prepravcov odpadu
Register držiteľov odpadu
Register výskumných organizácií
Register výrobcov/dodávateľov technológií
Register výziev na projekty
Register projektov

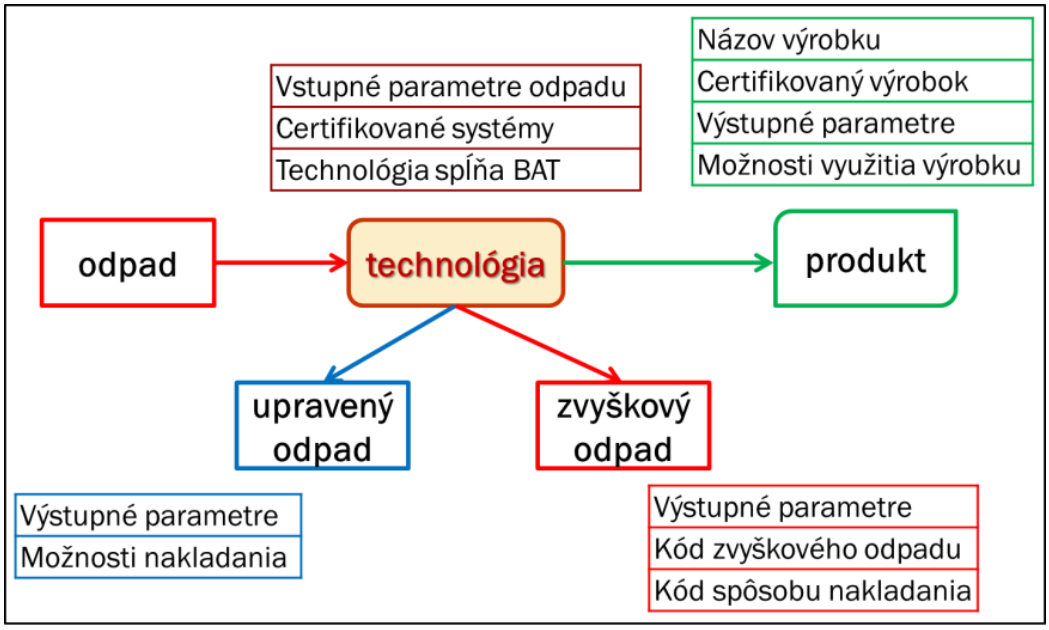
ZDROJOVÉ TABUĽKY (zákon č. 79/2015 Z.z.)
Katalóg odpadov
Katalóg technológií
Katalóg činností zhodnocovania
Katalóg činností zneškodňovania
Katalóg typu zariadení (stacionárne; mobilné)
Katalóg súhlasov
Katalóg autorizácií

Obr. 3.15 Registre a zdrojové tabuľky

Základnú štruktúru dát platformy tvoria špecializované registre, v ktorých sú zhromažďované a uchovávané individuálne dátové záznamy o registrovaných subjektoch. Na platforme bolo vytvorených 8 registrov pre subjekty zabezpečujúce základné operácie nakladania s odpadom, Obr. 3.15. Pri vytváraní registračného záznamu o subjekte sa niektoré dáta čerpajú zo zdrojových tabuliek, Obr. 3.15, tzv. katalógov, ktoré obsahujú predpísané hodnoty v súlade so zákonom č. 79/2015 Z.z. o odpadoch.

Vnútorná štruktúra dát individuálneho registračného záznamu zariadenia na spracovanie odpadu je uvedená na Obr. 3.16 a Obr. 3.17. Množina kvalitatívnych aj kvantitatívnych informácií o rozhodujúcich charakteristikách technológie spracovania

odpadu z pohľadu princípov uplatňovaných v zmysle obehového a zeleného hospodárstva umožňuje záujemcovi o spracovanie odpadu prijať kvalifikované rozhodnutie či svoj odpad do daného zariadenia odovzdá alebo bude hľadať iné. Celkové vyhodnotenie údajov z tohto registra poskytne informácie o úrovni recyklačných technológií a tiež o kritických oblastiach súvisiacich s nulovými, nedostatočnými alebo nevyhovujúcimi kapacitami.



Obr. 3.16 Základná schéma záznamu zariadenia na spracovanie odpadu

Adresa a kontakt na prevádzkovateľa
Katalógové číslo odpadu
Názov druhu odpadu
Kategória odpadu
Typ zariadenia
Kód zariadenia
Kód spôsobu nakladania s odpadom
Názov spôsobu nakladania s odpadom
Typ súhlasu
Certifikované systémy
Technológia spĺňa BAT
Stručný opis technológie
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

Obr. 3.17 Štruktúra záznamu v registri zariadení na spracovanie odpadu

3.5 Prínosy integrovanej platformy „SmartOdpady“

Platforma podporí plnenie recyklačných a ďalších cieľov uvedených v kľúčových smerniciach EÚ a strategických dokumentoch SR regulujúcich odpadové hospodárstvo. Jej efektívne fungovanie podporí vznik a využívanie nových inovatívnych technológií na zber, prepravu a zhodnocovanie odpadov, čo umožní nielen predchádzať vzniku, ale

aj znížiť množstvo zneškodňovaných odpadov, a zároveň sa posilní výskumná a inovačná kapacita v oblasti čistejších výrobkov a environmentálnych technológií.
Funkcionality integrovanej platformy „SmartOdpady“ umožnia 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) mieru využitia odpadu ako zdroja druhotných surovín a energií,
b) úsporu primárnych zdrojov surovín, materiálov a energií,
c) zníženie množstva odpadu ukladaného na skládky s dopadom na uvoľňovanie skládkovacích kapacít a zníženie množstva produkovaných skleníkových plynov,
d) celkové zníženie úrovne znečisťovania životného prostredia odpadmi a emisiami,
e) vývoj a inovácie v oblasti environmentálne priaznivých technológií zhodnocovania odpadov,
f) efektívny prenos výsledkov výskumu a inovácií do praxe,
g) podporu využívania recyklátov pri výrobe ekoinovatívnych produktov,
h) získavanie tzv. kritických strategických surovín spracovaním odpadov,
i) aplikáciu pokrokových logistických modelov podporujúcich znižovanie nákladov na prepravu, skladovania a manipuláciu v oblasti nakladania s odpadmi.

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. Bude priestorom, ktorý umožní zintenzívniť implementáciu digitálnych technológií Priemyslu 4.0 do procesov odpadového hospodárstva, keď pokrokové senzory, roboty, autonómne vozidlá, internet vecí, umelá inteligencia a big data revolučným spôsobom ovplyvnia procesy v systéme nakladania s odpadom a redefinujú podnikateľské modely. Zahraničné prieskumy ukazujú, že medzi ciele moderného odpadového hospodárstva do roku 2030 budú patriť inovácie zamerané na úplne robotizované a automatizované triediace a recyklačné závody, opätovné použitie a redizajn produktov a recyklácia, a ekodizajn a obehové hospodárstvo pre plasty.

3.6 Literatúra

[1] Oznámenie Komisie Rade, Európskemu Parlamentu, Európskemu Hospodárskemu a Sociálnemu Výboru a Výboru Regiónov COM/2005/0666 – Presadzovanie trvalo udržateľného využívania zdrojov – Tematická stratégia predchádzania vzniku odpadu a jeho recyklovania

[2] Rozhodnutie Európskeho Parlamentu a Rady č. 1386/2013/EÚ o všeobecnom environmentálnom akčnom programe Únie do roku 2020 „Dobrý život v rámci možností našej planéty“

[3] 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“

[4] Oznámenie Komisie COM(2010)2020 EURÓPA 2020 Stratégia na zabezpečenie inteligentného, udržateľného a inkluzívneho rastu

[5] Oznámenie Komisie Európskemu Parlamentu, Rade, Európskemu hospodárskemu a sociálnemu výboru a Výboru Regiónov COM(2017)490 o zozname surovín kritických pre EÚ z roku 2017

[6] Stratégia environmentálnej politiky Slovenskej republiky do roku 2030 – Zelenšie Slovensko. Schválené Uznesením vlády SR č. 87/2019 dňa 27. 2. 2019.

[7] Program odpadového hospodárstva SR na roky 2016–2020. Schválené Uznesením vlády SR č. 562/2015 dňa 14.10. 2015.

[8] Správa o stave životného prostredia slovenskej republiky v roku 2018 – Rozšírené hodnotenie kvality a starostlivosti. Bratislava: MŽP SR, 2018, 222 s.

[9] Report on Critical Raw Materials for the EU – Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials. 2014, Ares(2015)1819503.

[10] How Industry 4.0 Transformers Waste Sector. ISWA, 2019

[11] Oznámenie Komisie Európskemu Parlamentu, Rade, Európskemu hospodárskemu a sociálnemu výboru a Výboru Regiónov COM(2019)640 – The European Green Deal

[12] https://www.isoh.gov.sk

[13] Bányai, T.; Tamás, P.; Illés, B.; Stankevičiūtė, Ž.; Bányai, Á. Optimization of Municipal Waste Collection Routing: Impact of Industry 4.0 Technologies on Environmental Awareness and Sustainability. Int. J. Environ. Res. Public Health 2019, 16, 634.

[14] OBEHOVÉ HOSPODÁRSTVO BUDÚCNOSŤ ROZVOJA SLOVENSKA – CIRCULAR ECONOMY FUTURE OF THE DEVELOPMENT OF SLOVAKIA. Bratislava: MŽP SR, 2019, 104 s.

Recyklácia vrstveného skla
Analýza technických a technologických možností

Riešiteľský kolektív
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Strojnícka fakulta STU

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

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

4 Recyklácia vrstveného skla – Analýza technických a technologických možností

4.1 Úvod

V súčasnosti sa stále viac využíva vrstvené lepené sklo. To platí tak pre oblasť automobilového, ako aj stavebného priemyslu. V automobiloch sú to najmä predné a zadné sklá, v stavebnom priemysle je to technické bezpečnostné sklo používané na rôzne zábradlia a okenné sklá. Úlohou takéhoto skla je dostatočná odolnosť proti mechanickému poškodeniu a nepriaznivým poveternostným podmienkam. Naopak, v prípade že by predsa došlo k ich poškodeniu musia sa polámať na čo možno najmenšie kúsky, ale pokiaľ je to možné mali by ostať kompaktné na spojovacej fólii, tak aby črepiny neublížili ľudom a zvieratám v danom okolí.

Význam recyklácie skla je z hľadiska ekologického, energetického ako aj technického veľmi vysoký, pretože sklo vo forme odpadu je významnou druhotnou surovinou. Podľa odhadov ZAP SR je na Slovensku celkový ročný disponibilný odpad plochého skla zo stavebníctva cca 13 200 ton a objem odpadu čelných autoskiel cca 2 300 ton. Prioritou pri zhodnocovaní by malo byť spätné využitie druhotnej suroviny z odpadového skla ako vstupnej suroviny pri výrobe nového skla. Keď spĺňa druhotná suroviny požadované technologické parametre je kvalita výrobku rovnaká ako výrobku vyrobeného z primárnej suroviny. Pri recyklácii skleného odpadu pritom šetríme najmä primárne surovinové zdroje, energiu, neznečisťujeme v takom objeme vodu, či zahlcovanie skládok. Energetická náročnosť výroby obalového skla sa pohybuje medzi 4,5 – 5 GJ na tonu natavenej skloviny.

Samotná technológia výroby laminátového skla závisí na použitom type medzivrstvy. Medzi tabule skla sa v procese technologického vrstvenia vkladá elastický materiál s dobrou priľnavosťou ku sklu. Bežne používanými materiálmi sú polyvinylbutyral (PVB) etylvinylacetát (EVA) alebo ionoplast SentryGlassPlus (SGP). PVB je najčastejšie používaným materiálom na výrobu medzivrstvovej fólie vrstveného skla. Laminátové sklá s fóliou sa obvykle vyrábajú za vysokého tlaku a teploty v autokláve [48].

Naopak pri spracovaní vrstveného odpadového skla spôsobuje najväčšie ťažkosti kvalitná separácia laminátovej fólie od sklených črepín. Tak sklenené črepy ako aj fólia znečistená sklom je pre ďalšie priemyselné použitie nevhodná. 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. Základom technológie dekompozície je teda fakt znižovania priľnavosti PVB s rastúcim obsahom vody vo fólii. Problém ale pri tomto spôsobe ekonomická efektívnosť celého technologického procesu.

Právne akty sekundárneho práva EÚ v oblasti regulácie nakladania s vozidlami po dobe životnosti, predovšetkým smernicu Európskeho parlamentu a Rady 2008/98/ES o odpade, smernicu Európskeho Parlamentu a Rady 2000/53/ES o vozidlách po dobe

životnosti, smernicu Komisie 2011/37/EÚ, ktorou sa mení a dopĺňa príloha II k smernici Európskeho parlamentu a Rady 2000/53/ES o vozidlách po dobe životnosti, a tiež nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (ES) 1013/2006 o preprave odpadu a nariadenie Rady (EÚ) 333/2011, ktorým sa ustanovujú kritériá na určenie toho, kedy určité druhy kovového šrotu prestávajú byť odpadom. Tieto požiadavky EÚ presadzuje prostredníctvom tzv. cieľov stanovených v európskych právnych predpisoch, ktoré majú stimulovať inovácie v oblasti recyklácie a opätovného využívania, obmedzovať skládkovanie, znižovať straty zdrojov a vytvárať stimuly na zmenu správania dotknutých subjektov. V roku 2015 bol podaný návrh (COM/2014/0397) na revíziu recyklačných a ďalších cieľov uvedených v kľúčových smerniciach regulujúcich odpadové hospodárstvo, t.j. v smernici 2008/98/ES o odpade, smernici 1999//31/EC o skládkach odpadov a v smernici 94/62/EC o obaloch a odpadoch z obalov, ako napr.:

- rozšíriť opätovné využívanie a recykláciu komunálneho odpadu na minimálne 70 % do roku 2030,
- zvýšiť mieru recyklácie a prípravy na opätovné použitie odpadu z obalov na 80 % do roku 2030, tak aby sa recyklovalo 90 % papiera (2025) a 60% plastov, 80% dreva, 90% skla, kovov na báze železa a hliníka do konca roku 2030,
- do roku 2025 postupne upustiť od skládkovania recyklovateľných odpadov vrátane plastov, kovov, skla, papiera a kartónu, ako aj biologicky odbúrateľného odpadu a dosiahnuť tak maximálnu mieru skládkovania 25%,
- podporovať šírenie najlepšej praxe v oblastiach efektívnej aplikácie ekonomických nástrojov (poplatky za skládkovanie/spaľovanie, motivácia samospráv atď.) a zlepšovanie úrovne separovaného zberu,
- zvýšiť efektívnosť fungovania schém rozšírenej zodpovednosti výrobcu definovaním minimálnych podmienok ich fungovania,
- ďalej podporovať rozvoj trhov s vysoko akostnými druhotnými surovinami, a to aj prostredníctvom posúdenia pridanej hodnoty kritérií na ukončenie vlastností odpadu v prípade špecifických materiálov,
- spresniť metódu výpočtu recyklovaných materiálov s cieľom zabezpečiť vysokú úroveň kvality recyklácie.

Základným právnym predpisom pri nakladaní s odpadmi je zákon č. 79/2015 Z. z. o odpadoch a zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov, do ktorého boli transponované relevantné právne akty Európskej únie. Ďalšie právne predpisy Slovenskej republiky, ktoré upravujú špecifické podmienky a požiadavky súvisiace s prevádzkovaním zariadení na zber a spracovanie starých vozidiel, predovšetkým Vyhlášku MŽP SR č. 373/2015 Z. z. o rozšírenej zodpovednosti výrobcov vyhradených výrobkov a o nakladaní s vyhradenými prúdmi odpadov, ako aj Nariadenie vlády SR č. 153/2004, ktorým sa ustanovujú záväzné limity a termíny pre rozsah opätovného použitia častí starých vozidiel, zhodnocovania odpadov zo starých vozidiel a ich recyklácie,

- povinnosť vyplývajúcu z uvedených európskych a národných právnych predpisov zhodnocovať odpad zo starých vozidiel v minimálnej miere 95 % ich hmotnosti, z toho aspoň 85 % materiálovo a zvyšok energeticky,
- postavenie Slovenskej republiky ako jedného zo svetových lídrov vo výrobe automobilov, z ktorého vyplýva zodpovednosť a povinnosť získavania kritických surovín z odpadov zo starých vozidiel,

Vznik združenia UNIVNET, koordinovaného Slovenskou technickou univerzitou v Bratislave a združujúceho kritickú masu výskumného, vývojového a aplikačného potenciálu SR, ktoré sa zameriava na problematiku nových technológií a techník efektívneho zhodnocovania odpadov najmä v automobilovom priemysle s cieľom minimalizovať negatívne dopady na životné prostredie a šetriť primárne energetické a surovinové zdroje a ktoré bolo zo strany MŠVVaŠ SR, Ministerstva 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,

- postavenie MŠVVaŠ SR ako ústredného orgánu štátnej správy pre oblasť vedy a techniky v zmysle zákona č. 575/2001 Z. z. o organizácii činnosti vlády a organizácii ústrednej štátnej správy v znení neskorších predpisov,
- spoločné záujmy a ciele pri podpore realizácie aktivít výskumu a vývoja v oblasti recyklácie a zhodnocovania odpadov s priamou implementáciou výsledkov vo výskumnej, vzdelávacej a hospodárskej praxi,

Ciele tejto časti správy vychádzajú z úzkej spolupráci riešiteľského kolektívu Strojníckej fakulty a zástupcov Zväzu automobilového priemyslu Slovenskej Republiky, ktorí sa spoločne podieľali najmä na analýze stavu spracovania viacvrstvových skiel o :

- stave legislatívy a materiálových tokoch, aby sa získala východisková údajová základňa na určenie podielu spracovateľného viacvrstvového špeciálneho skla, ktorý nie je v súčasnosti jednotný,
- disponibilnom množstve špeciálneho odpadového skla v SR v súčasnosti,
- kvantitatívnom výhľade zavádzania špeciálnych viacvrstvových odpadových skiel v budúcnosti,
- existujúcej úrovni zberu a logistiky ako východiska pre možnú optimalizáciu systému zberu špeciálneho skla v SR,
- klasifikácii skla podľa použitia – lepené sklo, tvrdené sklo, svietidlá, elektronika, sklolamináty, odpadové sklo z automobilov, odpadové sklo z automobiliek,
- súčasných technologických možnostiach spracovania a využitia špeciálnych skiel v SR a vo svete – možnosti spracovania a využitia pre recykláciu a nové výrobky,
- možnostiach zhodnotenia odpadov z vytriedeného a upraveného špeciálneho skla (napr. organické fólie, vyhrievacie mriežky),

- problémoch súvisiacich s technológiami a strojmi pri zhodnocovaní špecifických odpadov,
- nových technologických riešeniach, ktoré by zabezpečili vyššie zhodnotenie črepov v procese recyklácie odpadového skla,
- ekonomických, environmentálnych a spoločenských prínosoch nových technológií.

4.2 Stav nakladania s odpadmi zo skla

Význam recyklácie skla je z hľadiska ekologického, energetického ako aj technického veľmi vysoký, pretože sklo vo forme odpadu je významnou druhotnou surovinou. Pri recyklácii sa do výrobného procesu nevracajú iba suroviny potrebné na výrobu skleného výrobku, ale aj časť energie vloženej do skla v pôvodnom výrobnom procese, pričom vlastnosti výrobku vyrábaného z recyklovaného skleného odpadu zostávajú rovnaké ako pri výrobe nových surovín a sú zdravotne nezávadné.

Používanie recyklovaného skla šetrí neobnoviteľné prírodné zdroje, čo tiež znamená menej zásahov do životného prostredia, pokles energetickej náročnosti výroby, zníženie objemu emisií vznikajúcich pri tavení a zároveň odľahčenie skládok komunálnych odpadov. Energetická náročnosť výroby obalového skla sa pohybuje medzi 4,5 – 5 GJ na tonu natavenej skloviny. Ak sa zvýši podiel črepov vo vsádzke o 10%, klesne energetická náročnosť výroby skla o 2,5% (východisková hodnota je 35% vsádzka črepov). Emisný faktor sa u obalového skla v súčasnosti pohybuje medzi 350 – 400 kg CO2/t natavenej skloviny. Ak sa vo vsádzke nachádza 35% črepov objem emisií CO2 sa zníži približne o 18,5%, a pri 60% podiele črepov vo vsádzke klesne objem emisií CO2 až o 32%.

Z technologických dôvodov, najmä vo vzťahu k čistote suroviny a jej chemickému zloženiu nie je možné recyklovať celý objem odpadu vznikajúceho pri produkcii rôznych typov skiel. Existuje však mnoho alternatívnych spôsobov efektívneho zhodnotenia skleneného odpadu. V súčasnosti sa najviac recykluje obalové sklo, ale zároveň sa rozširujú kapacity na recykláciu skla pochádzajúceho z automobilov.

Dnes sa v Slovenskej republike zhodnocuje najmä odpadové sklo z komunálneho odpadu na výsledný produkt, ktorým je obalové sklo. Jeho jediným výrobcom a zároveň recyklátorom odpadového skla je spoločnosť Vetropack Nemšová s.r.o., ktorá na výrobu obalového skla používa okrem základných sklárskych surovín (sklársky piesok, uhličitan sodný, uhličitan draselný, uhličitan vápenatý, kremičitan sodno-draselno-hlinitý, síran sodný, fluorid vápenatý, farbivá a odfarbivá) aj sklené črepy (odpadové sklo) vyhovujúce prísnym normám recyklátora, zákona č. 79/2015 Z.z. resp. smerniciam EÚ.

V zmysle stratégie EÚ "Európa ako recyklačná spoločnosť" z roku 2010 (http://scp.eionet.europa.eu/publications/WP2010_5_The%20European%20Recycling%20Map/wp/WP2010_5) je každý členský štát povinný zabezpečiť, aby prebral do národných legislatív povinnosti z rámcovej smernice o odpadoch, v ktorej sú zakotvené ciele pre recykláciu skla jednotlivých štátov EÚ minimálne vo výške 50 % vytriedeného a spracovaného skla z tuhého komunálneho odpadu.

Podľa najnovších údajov Európskej federácie výrobcov obalového skla (FEVE) (http://www.feve.org/index.php), dosiahla recyklačná kvóta sklených obalov v európskej dvadsať osmičke v roku 2019 až 74 %. Viac než 25 miliárd sklených nádob sa teda recykluje v uzavretom kolobehu, „z fľaše opäť fľaša“, čo zo skla robí ideál obehového hospodárstva.
Vďaka zvýšenému úsiliu o recykláciu sa Európa stala kontinentom s najvyššou mierou recyklácie skla na svete. Je však potrebné investovať do systému viac zdrojov, aby sa recyklácia skla ešte zvýšila. Recyklácia skla umožňuje sklárskemu priemyslu, aby zásadne znížil dopad svojej činnosti na životné prostredie tým, že šetrí energiu i suroviny a zároveň pomáha v Európskej únii zachovať 125 000 stabilných pracovných miest. Sklárske závody dodávajú viac než polovicu svojej produkcie do miest vzdialených menej než 300 km a z rovnakej maximálnej vzdialenosti prichádza viac ako 70 % surovín.
Na trhu s odpadom zo skla sa nachádza špeciálne odpadové sklo, ktoré sa v súčasnosti spracovávajú v menšej miere, alebo ktoré nie je možné opätovne použiť na výrobu spoločensky uplatniteľného výrobku (výrobok zo skla prichádzajúci do styku s potravinami – smernica Európskeho parlamentu č. 94/62/ES, v legislatíve SR zohladnená v zákone č. 119/2009 Z. z.). Sú to v prevažnej väčšine sklá s obsahom oxidov ťažkých kovov, alebo sklá, ktoré nie v dostatočnej miere spracovávané 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.
Vo vzťahu k špecifickým druhom skla je snaha, aby sa v Slovenskej republike spracovávalo maximálne množstvo odpadového skla, teda aj tie druhy odpadového skla, pri ktorých z dnešného pohľadu nie je zhodnotenie možné.

4.2.1 Vrstvené lepené sklo

Ako všetky výrobky sú aj vrstvené lepené sklá (VLS) odsúdené k svojej limitovanej životnosti a to predovšetkým vďaka svojmu účelu, pre ktorý boli vyrobené. Z titulu opotrebovania, poškodenia či demolácie stavieb, spracovania starého automobilu alebo znehodnotenia automobilu pri nehode vzniká veľký objem VLS, ktoré je potrebné recyklovať. [34]
Vrstvené (laminátové) sklo je jedným z najvýznamnejších výrobkov, s ktorým sa stretávame pri ďalšom spracovaní základného skla. Jedná sa o celú skupinu výrobkov, ktorá je určená pre najrôznejšie aplikácie v architektúre, dopravných prostriedkoch a spotrebičoch. Lepené viacvrstvové sklá vyrábané v súčasnosti môžeme rozdeliť do dvoch základných kategórií na: tabuľové lepené sklá a lepené autosklá.
Tabuľové vrstvené lepené sklá sa v súčasnej dobe výrazne uplatňujú hlavne v stavebníctve pre jeho vhodné vlastnosti:

- bezpečne sa rozbíja, rozbité kúsky skla ostanú prilepené na strednej vrstve, znižujú riziko vzniku rezných a bodných rán,
- pri správnej montáži lepené sklo spravidla ostane v ráme aj po rozbití,

- ponúka bezpečie proti vandalizmu, úmyselnému fyzickému napadnutiu, dokonca aj proti strelnej zbrani,
- výrazne tlmí hluk,
- presklievajú sa celé pochôdzie podlahy,
- zasklievajú sa celé vertikálne plochy,
- bráni prieniku UV žiarenia,
- tepelne izoluje.

Vrstvené lepené sklo v automobile musí v súčasnej dobe spĺňať viacej účelov, ako tomu bolo v nedávnej minulosti. Tak ako sa vyvíjajú jednotlivé časti automobilov, vývoj neobišiel ani zdanlivo jednoduchý diel ako je sklo. Vrstvené autosklá sú dnes už bežne vyhrievané, tónované, kalené a obsahujú viaceré senzory. Čelné sklá, okrem zvýšenej bezpečnosti (musia zabrániť prepadnutiu osoby cez zasklenie, alebo prieniku telesa (kameň, ľad, atď.) do interiéru vozidla, pri náraze sa nesmú vytvoriť ostré pre posádku nebezpečné črepiny) plnia aj nasledovné nemenej dôležité funkcie:

- zníženie hluku v kabíne
- odraz slnečného žiarenia
- vyhrievanie skla – odstránenie námrazy
- umiestnené sú senzory– dažďový, svetelný, anténa, senzor pre registráciu mýtneho a pod.

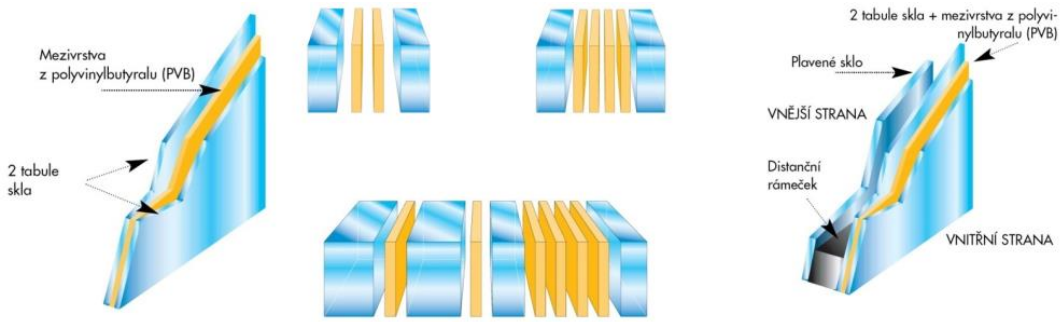
Vrstvené lepené sklá pre dopravné prostriedky sa vyrábajú o.i. aj v rôznych hrúbkach. Použitie pre čelné sklá automobilov s obvyklou hrúbkou okolo 5 mm až po sklá pre lokomotívy rýchlovlakov s hrúbkou až 40 mm.

4.2.2 Charakteristika vrstvených lepených skiel

Aby spĺňalo sklo hore uvedené požiadavky, je výroba lepených viacvrstvových skiel pomerné náročná a vyžaduje si okrem kvalitných surovín aj spoľahlivú technológiu. Kalením sa dosahuje ich vyššia pevnosť a pružnosť, ale nakoľko majú vnútorné napätie, pri rozbití sa rozpadnú na drobné úlomky, ktoré nemajú ostré hrany, takže nespôsobujú zranenia. Dvoj, resp. troj-vrstvové sklá sú spojené fóliou.

Základnou myšlienkou je vrstvenie dvoch alebo viacerých tabúľ plochého skla a ich spojenie pomocou priľnavej elastickej medzivrstvy, Obr. 4.1, čím sa zaistí bezpečné správanie sa skla po jeho rozbití alebo sa zvýši odolnosť zasklenia voči násilnému vniknutiu.

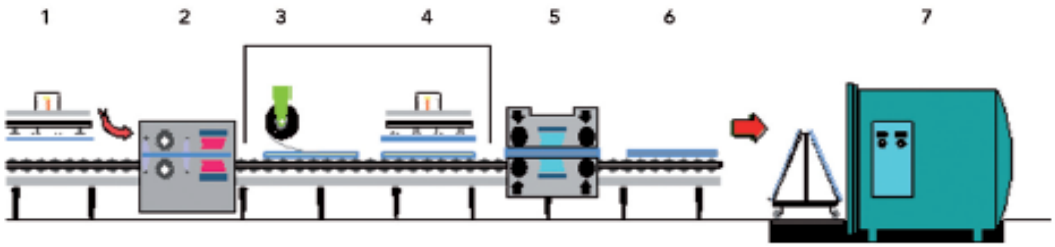
Pre vrstvenie skla sa používa ploché sklo float, vzorované sklo liate alebo výrobky odvodené z týchto základných skiel, ktoré môžu byť ďalej upravené napr. tepelne tvrdené (kalené) sklo. Medzi tabule skla sa v procese technologického vrstvenia vkladá elastický materiál s dobrou priľnavosťou ku sklu. Bežne používanými materiálmi sú polyvinylbutyral (PVB) so základnou hrúbkou 0,38 mm, etylvinylacetát (EVA) alebo ionoplast SentryGlassPlus (SGP).



Obr. 4.1 Príklady vrstveného plochého skla

Je možné vyrábať rovinné aj ohýbané vrstvené sklá, ktorých konečné vlastnosti sú ovplyvnené najmä hrúbkou a počtom tabúľ skla, hrúbkou a vlastnosťami použitej fólie. Výhodou vrstvených skiel je zvyšková únosnosť tabule po rozbití, pretože roztrieštené úlomky skla zostanú prichytené na fólii [zdroj: http://www.alfaglass.cz/ uvod/vrstvene-lepene-bezpecnostni-sklo/].

Samotná technológia výroby laminátového skla závisí na použitom type medzivrstvy. Laminátové sklá s PVB fóliou sa obvykle vyrábajú pomocí autoklávu za vysokého tlaku a teploty. Pri výrobe sa očistené sklenené tabule naskladajú na seba v určenom poradí s vloženou medzivrstvou a následne sa predohrejú na teplotu asi 70°C a zlisujú sa medzi valcami, pričom sa vytlačí prebytočný vzduch. Vrstvené sklo je ďalej lisované v autokláve pri teplote okolo 140°C pod tlakom 0,8 MPa, Obr. 4.2 Schéma postupu výroby vrstveného skla [zdroj: http://us.agc.com/sites/default /files/pdf/high/4.%20Glass%20Pocket%20Guide%20All%20About%20Glass.pdf]. Po dokončení lisovania sklo voľne chladne v priestore autoklávu pomocou vodných chladičov pri znižovaní tlaku. Použitie medzivrstvy typu EVA (etylvinylacetát) umožňuje vkladať rôzne materiály do medzivrstvy. Vrstvené sklo s EVA sa obvykle vyrába pomocí vákuového vaku a vysoké teploty v horizontálnej polohe.



Obr. 4.2 Schéma postupu výroby vrstveného skla

Schéma postupu výroby vrstveného skla: 1 – ukladanie skla, 2 – umývanie, 3 – aplikácia PVB fólie, 4 – položenie horného skla, 5 – predlisovanie, 6 – preloženie na stojan, 7 – autokláv

4.2.3 Materiály medzivrstiev – fólie vrstvených skiel

Vrstvené sklá pozostávajú z dvoch alebo viacerých vrstiev skla (žíhaného alebo kaleného) spojených do jedného kompaktného celku prostredníctvom medzivrstiev. Používané materiály medzivrstiev sú uvedené v Tab. 4.1.

Polyvinylbutyral (PVB) je najčastejšie používaným materiálom na výrobu medzivrstvovej fólie vrstveného skla. PVB je tuhá živica rozpustná v organických rozpúšťadlách okrem uhľovodíkov odolná voči kyselinám a zásadám. Má voľných až 20 % hydroxilových skupín, čo zaisťuje dobrú adhéznu pevnosť medzi sklom a vrstvou PVB založenú na tvorbe vodíkových väzieb. Zvyšovanie pružnosti a priľnavosti materiálu PVB medzivrstvy sa dosahuje pridávaním zmäkčovadiel ako sú kyselina adipová alebo polyetylénglykol. Počas procesu laminácie sú jednotlivé vrstvy skla s vloženou PVB fóliou vystavené tlaku 1,2 až 1,4 MPa pri teplote 135 až 150 °C v autokláve, čím sa zabezpečí požadovaná adhézia jednotlivých vrstiev.
V laminovanom skle sú dve sklá spojené väčšinou fóliou silným adhéznym spojom. Táto adhézia je však v procese recyklácie prekážkou a to z dôvodu zložitej separácie anorganického skla a organickej polymérnej fázy – mäkčeného PVB. Dnes je už problematika separácie tohto systému preštudovaná a v praxi sa využíva v značnej miere. Je možno tak získať čisté sklo, avšak polymér býva práve sklom či inými cudzorodými látkami znečistený v takej miere, že je pre ďalšie použitie nevyhovujúci a končí väčšinou na skládkach, pretože kvôli veľkému obsahu skla ho nie je možné spaľovať. [34]

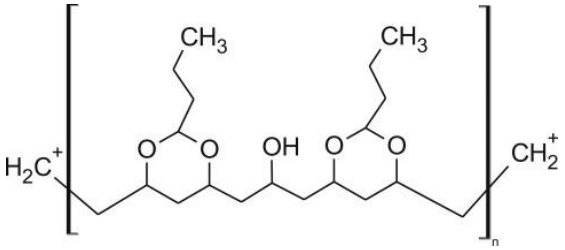
Tab. 4.1 Typy materiálov medzivrstiev vrstvených skiel a ich náchylnosť na delamináciu

Materiály medzivrstiev	Vlastnosti	Náchylnosť
Polyvinylbutyral (PVB) (termoset)	PVB je najpoužívanejším materiálom medzivrstvy. Jeho vlastnosti sú podrobne opísané nižšie.	Áno
Živice	Ich mechanické vlastnosti sa zhoršujú pôsobením ultrafialového žiarenia	Áno
Polyuretány	Problémy s tepelnou rozťažnosťou materiálu	Menej
Ionoplast (termoset)	Vyrába sa z neho SentriGlas®	Menej
Etylén-vinyl acetát (EVA)	Hoci je menej náchylný na delamináciu, EVA neodoláva rázovému zaťaženiu tak dobre ako PVB	Menej

4.2.4 Mechanizmus adhézie systému laminát „sklo – PVB fólia“

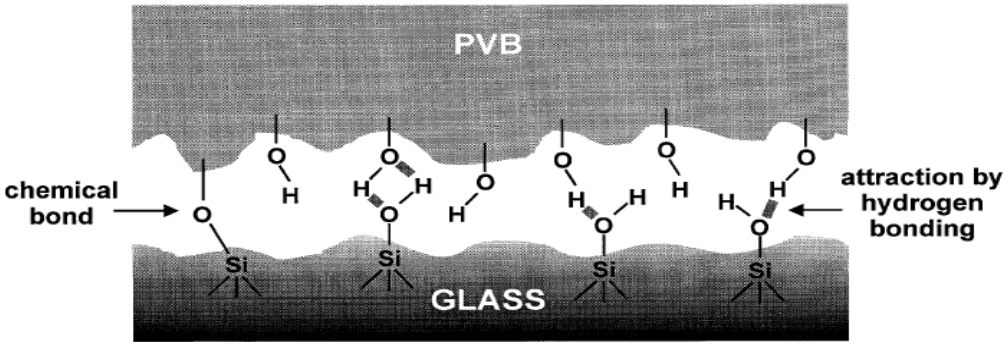
Pri hľadaní technických riešení recyklácie vrstvených lepených skiel je nevyhnutné podrobne poznať samotný mechanizmus adhézie takéhoto laminátového systému, aby bolo možné navrhnúť správnu technológiu oddelenia týchto materiálov.
Medzipovrchovú adhéznu väzbu, ktorá spája povrchy skla a PVB fólie určuje topografia povrchu každej zložky laminátu a medzimolekulové sily vytvárajúce väzby v kompozitnom lamináte. Medzivrstva z organickej živice polyvinylbutyral (PVB) patrí do skupiny kopolymérov, pretože ju tvoria dva rôzne monoméry, ktoré sa striedajú v kopolymérovom reťazci: nepolárna butyralová skupina a vysoko polárna

polyvinylalkoholová skupina, ktorá je kompatibilná s vodou, Obr. 4.3. Aplikované plastifikátory dodávajú fólii požadovanú pružnosť a umožňujú vyvážiť mechanickú pevnosť a poddajnosť bez výrazného ovplyvnenia samotnej adhézie (priľnavosti).



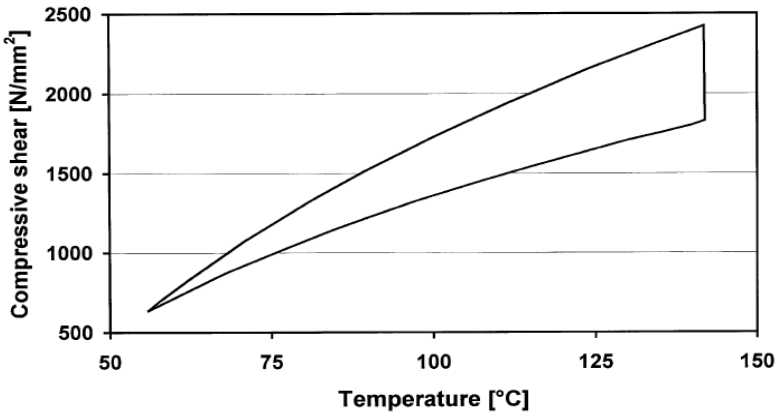
Obr. 4.3 Chemická štruktúra PVB [3]

Na druhej strane, povrch skla je možné považovať za oveľa komplexnejší chemický systém, v ktorom prevládajú polárne silanolové skupiny (-Si-OH) vznikajúce na povrchu absorpciou vody s následnou hydrolytickou reakciou na Si-O-Si väzbu. Povrch skla môže byť do určitej miery pokrytý aj vodou alebo inou látkou, ktorá s ním bola v kontakte. Ak sa tieto dve látky tesne priblížia k sebe, potom chemicky podobne sa správajúce alkoholové skupiny PVB a silanolové skupiny na povrchu skla sa skombinujú a vytvoria reverznú (vratnú), ale hustú sieť slabých vodíkových väzieb a istý podiel chemických väzieb. Aby tento proces mohol prebehnúť, materiál PVB musí byť plastický a prispôsobiť sa tvaru tak, že dokonale vyplní mikroskopicky drsný povrch skla, Obr. 4.4.



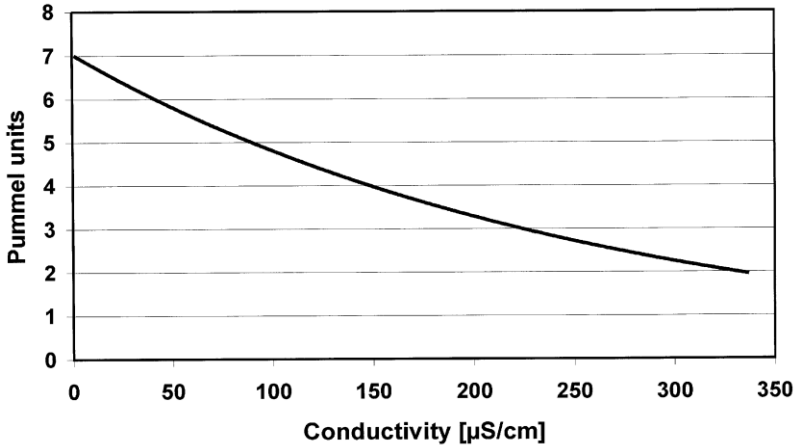
Obr. 4.4 Mechanizmus vzniku väzby v systéme sklo – PVB (chemical bond – chemická väzba; attraction by hydrogen bonding – priťahovanie vodíkovou väzbou; glass – sklo)

V autokláve pri danom tlaku a výdrži, tento proces musí prebiehať pri dostatočne vysokých teplotách, aby sa proces dokončil a dosiahol sa maximálny stupeň adhézie v závislosti od druhu skla a použitej PVB fólie. Na Obr. 4.5, je dokumentovaná závislosť pevnosti adhéznej väzby na teplote spracovania v autokláve.
chcyH



Obr. 4.5 Závislosť pevnosti v šmyku od teploty spracovania v autokláve (compressive shear – pevnosť v šmyku; temperature – teplota)

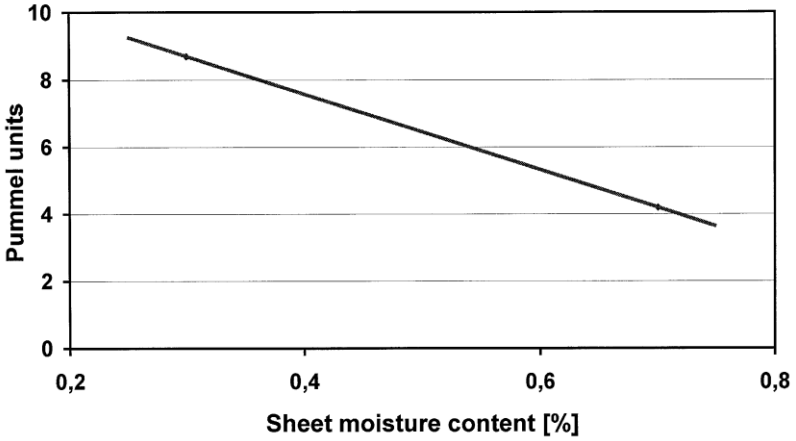
Vlastnosti skla a jeho spracovanie vrátane spôsobu spracovania PVB ovplyvňujú celkovú priľnavosť laminátu. Spomedzi faktorov, ktoré môžu negatívne ovplyvniť stupeň adhézie v systéme laminátu PVB – sklo ako sú napr. zloženie skla, korózia a kontaminácia povrchu skla, zloženie a druh PVB a pod., vykazuje najväčší negatívny efekt obsah vlhkosti v materiály PVB a charakteristika procesu prania skla spolu s kvalitou použitej vody. Ak sa v zariadení na pranie/oplachovanie používa voda s vysokým obsahom solí môžu nastať výrazné výkyvy v priľnavosti, keďže ionové znečisťujúce látky prítomné na rozhraní sklo – PVB väčšinou narušujú väzbový mechanizmus. Táto závislosť je dokumentovaná na Obr. 4.6, kde vysoký obsah solí rozpustených v oplachovej vode je vyjadrený prostredníctvom ionovej vodivosti.



Obr. 4.6 Závislosť pevnosti v šmyku od teploty spracovania v autokláve (compressive shear – pevnosť v šmyku; temperature – teplota)

Napríklad prítomnosť alkalických kovov na rozhraní PVB – sklo sa prejaví sklonom k priťahovaniu zvyškovej vlhkosti z fólie, dôsledkom čoho dochádza ku zhlukovaniu vody medzi alkoholovými skupinami PVB a ich silanolovými protipólmi s následným oslabovaním adhéznej väzby. Je to efekt, ktorý je možné aplikovať na úpravu

priľnavosti smerom k nižším hodnotám a využíva sa najmä pri vývoji typov PBV určených pre automobilový priemysel.
Ešte výraznejšie zníženie priľnavosti je možné pozorovať, ak do procesu vstúpia alkalické kovy schopné priamo vstupovať do reakcií s alkoholovými skupinami PVB, čím im znemožnia viazať sa na silanolové skupiny. Na rozdiel od výroby vrstveného skla, kedy je potrebné minimálne vo fáze oplachu používať demineralizovanú vodu namiesto priemyselnej vody, v procese delaminácie vrstveného skla je naopak žiaduce tento efekt vhodným spôsobom využiť.
Pri znižovaní priľnavosti systému fólia PVB– sklo významnú úlohu zohráva aj obsah vody v samotnej fólii. PVB je hygroskopický materiál, ktorý zvyšuje svoj obsah vody, ak je vystavený vlhkosti. Aj keď odporúčaný obsah vody v samotnej fólii laminátu by sa mal pohybovať okolo 0,4%, za nepriaznivých podmienok sa môže zvýšiť až na úroveň 2%. Keďže samotná voda je vysoko polárna látka snaží sa obsadiť voľné väzby na povrchu skla následkom čoho s rastúcim obsahom vody dochádza k progresívnemu zníženiu pevnosti adhéznej väzby ako to dokumentuje Obr. 4.7.



Obr. 4.7 Adhézia po rozbití (pummel unit) v závislosti od obsahu vody vo fólii (sheet moisture content)

Aby sa predišlo problémom súvisiacim so zhoršenou priľnavosťou dôsledkom zvýšeného obsahu vody, v procese výroby fólie je trvale monitorovaný obsah vody a je regulovaný na dolnú hranicu. Vyrobené fólie sú skladované a prepravované spôsobom brániacim prístupu okolitej vlhkosti.
Uvedená charakteristika mechanizmu adhézie systému laminát sklo – PVB fólia a vplyvu vybraných faktorov ovplyvňujúcich kvalitu priľnavosti v negatívnom zmysle sa stali teoretickým východiskom 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.

4.2.5 Množstvá vrstvených lepených skiel vo svete a v SR

Odpad z VLS vo svete

Podľa údajov z OICA celosvetová výroba áut je okolo 90 mil. áut za rok. Predpokladajúc že jedno čelné sklo vozidla obsahuje približne 13 kg skla a 1 kg PVB fólie, celkové množstvo skla na výrobu áut je približne 1170 mil. kg a 90 mil. kg PVB fólií ročne. Celkové celosvetové množstvo vyrobených PVB fólií pre automobilový a stavebný priemysel je odhadované okolo 170 mil. kg ročne [4, 34, 36, 37].
Výrobné linky celosvetovo významných výrobcov ako je firma Solutia, DuPont, Sekisui a Kuraray produkujú ročne tisíce ton PVB fólií určených k automobilovému a stavebnému použitiu, ktoré sú ďalej lisované do VLS. Celosvetovo 65 % všetkých PVB fólií je používaných v automobilových aplikáciách [4]. Naviac, k celkovým vyrábaným množstvám, musíme do produkcie zahrnúť aj vedľajšie produkty zo spracovávaných PVB fólií (5 %) a orezávaných (menej ako 10 %). To reprezentuje celkové množstvo 105 mil. kg odpadu z PVB fólií ročne.

Ploché sklo v SR

Ploché sklo tvorí podstatné množstvo zo skleneného priemyselného odpadu. V Slovenskej republike sa čisté ploché sklo nevyrába. Je importované a následne upravované na bezpečnostné alebo izolačné sklá. V Slovenskej republike sa vyrobí cca 1300 tis. m2 izolačných bezpečnostných skiel s cca 30 %-ným podielom izolačných trojskiel. Na toto množstvo sa dovezie cca 3,6 mil. m2 skla a veľkoobchody so sklom privezú ešte cca 1 mil. m2, z ktorého časť sa použije na výrobu izolačných skiel a časť na priame spracovanie do interiérov, pre sklenárov a nábytkársky priemysel. Dá sa predpokladať, že spotreba je minimálne 4 mil. m2 a ak predpokladáme hrúbku 4 mm, je to 40 000 ton.
Okrem toho sa dovezie cca 300 000 m2 izolačných skiel, ktoré sú buď priamo zabudované do stavieb, alebo sa s hotovými výrobkami vyvezú mimo Slovenska. Z dovezeného plochého skla je 80 % zabudovaného do stavieb vo forme otvorových konštrukcií a interiérového skla.
20 %, t.j. 8 tis. ton je technologický odpad. Ak predpokladáme, že 25 % izolačných skiel je použitých do rekonštrukcií, vzniká sklenený odpad z výmeny okien ročne z plochy 325 000 m2, kde je sklo vo váhe 3 mm hrúbky cca 5 tis. ton. Celkový disponibilný odpad z plochého skla na Slovensku je 13 200 ton.

Sklá zo spracovania starých vozidiel v SR

Vychádzajúc z vedeckej štúdie [1], ktorá podrobne analyzuje hmotnostné zastúpenie jednotlivých materiálov pri spracovávaní starých vozidiel, môžeme konštatovať, že množstvo odpadového skla zo spracovania priemerne veľkého osobného vozidla tvorí približne 3% hmotnosti, čo v priemere na jedno vozidlo predstavuje 33 kg. Tab. 4.2 zobrazuje priemerné materiálové zloženie starých automobilov.
Podľa štatistických údajov Zväzu automobilového priemyslu Slovenskej republiky bolo v roku 2018 spracovaných 40 510 a v roku 2019 až 55 898 osobných automobilov. Len za posledné dva roky vznikol na Slovensku odpad skla zo spracovania starých vozidiel o hmotnosti 3 181 ton. V súčasnosti môžeme teda hovoriť o priemernom spracovaní cca 1590 t/rok autoskiel.

Tab. 4.2 Priemerné materiálové zloženie starých automobilov [2,7,10,11,12]

Materiál	Hmotnostný podiel (%)
Železné kovy	65,4 – 71,0
Neželezné kovy	7,0 – 10,0
Plasty	7,0 – 9,3
Guma (vrátane pneumatík)	4,0 – 5,6
Sklo	**2,9 – 3,0**
Kvapaliny	0,9 – 6,0
Batéria	1,0 – 1,1
Polyméry	1,0 – 1,1
Elektro/Elektronika	0,4 – 1,0
Ostatné	1,0 – 5,9

Predpokladajúc že jedno čelné sklo vozidla obsahuje približne 13 kg skla a 1 kg PVB fólie [4, 34, 36, 37], možno hovoriť o priemernom ročnom množstve čelných vrstvených autoskiel LEN z spracovania starých vozidiel 675 ton. K tomuto množstvu je potrebné ešte pripočítať ročné množstvá z iných zdrojov. Ide najmä o množstvá produkované spoločnosťami, ktoré sa zaoberajú výmenou poškodených autoskiel; spoločnosťami, ktoré dovážajú autosklá na ich zapracovanie v rámci výroby automobilov (Peugeot, Volkswagen, Kia a najnovšie Land Rover) kde vzniká technologický odpad a iné zdroje.

Miera zhodnotenia vrstveného skleného odpadu tradičnými technológiami sa pohybuje na úrovni 50 až 60 %, Obr. 4.8 a Obr. 4.9. To znamená, že po spracovaní sa približne 40 až 50 % odpadu vyváža na skládky. Dosiahnutie vyššieho množstva zberu špeciálneho skla zo starých vozidiel je problematické, pretože pre mnohých najmä malých spracovateľov s autorizáciou na spracovanie starých vozidiel je triedený zber relatívne malého množstva odpadového skla ekonomicky nevýhodný a preto tento odpad často končí na skládkach bez spracovania.

Najväčšie ťažkosti pri spracovaní vrstveného skla spôsobuje separácia fólie, ktorou sú sklá zlepené a jej vyčistenie od zvyškov priľnutého skla, pretože fólia znečistená sklom je pre ďalšie priemyselné použitie nevhodná. Produkcia PVB fólie, resp. odpadu z vrstveného skla má v celosvetovom kontexte stúpajúci charakter a je potrebné sa zamerať na možnosť jej recyklácie tak, aby získaný PVB materiál bol z veľkej väčšiny zbavený skla a iných nečistôt a bolo ho možné použiť ako materiál pre opätovnú výrobu fólie lepené sklá. Na dokonalú separáciu a získanie čistých fáz laminátu sa podľa literárnych prameňov javí ako jediný použiteľný mokrý spôsob separácie vrstvy skla od PVB fólie. V každom prípade je zhodnotenie skleného odpadu podmienené ekonomickou efektivitou celého procesu.



Obr. 4.8 Čelné sklá z automobilov pred recykláciou



Obr. 4.9 Čelné sklá z automobilov po recyklácii tradičnými technológiami s mierou zhodnotenia 50 až 60 %

Problémy recyklácie autoskiel

Mokrý spôsob separácie skla od PVB fólie sa v súčasnej dobe javí ako jediný použiteľný pre dokonalú separáciu a získanie čistých zložiek ako anorganickej, tak aj organickej fázy laminátu. Najzávažnejšie problémy recyklácie PVB fólie automobilových skiel sú:

- zvyškové sklo v množstve viac ako 0,1 % v matrici PVB, ktoré už nie je možné ďalej separovať a tým sa tento recyklát stáva nevhodným pre opakovanú extrúziu,
- zvyšky tmelov z tesnenia skiel,
- farebný slnečný pás čelných skiel, ktorý v zmesi fólií znehodnotí ich požadované optické vlastnosti,
- nedostatočná identifikácia výrobcov fólií, ich chemicko-fyzikálne vlastnosti a použité zmäkčovadlo. Miešanie viac typov nie je povolené, menia sa vlastnosti PVB.

Produkcia PVB fólie, resp. odpadu z VLS má v celosvetovom vnímaní stúpajúci charakter a je nutné sa zamerať na možnosť jej recyklácie tak, aby získaný PVB materiál bol z veľkej väčšiny zbavený skla a iných nečistôt a bolo ho možné použiť ako materiál pre opätovnú výrobu fólie pre VLS. [38]

Vo vzťahu k špecifickým druhom je snaha, aby sa v Slovenskej republike spracovávalo maximálne množstvo odpadového skla, teda aj tie druhy odpadového skla, pri ktorých z dnešného pohľadu nie je zhodnotenie možné. V dôsledku toho bude narastať tlak na vývoj technológií, ktoré budú schopné bezodpadovo recyklovať takéto viacvrstvové sklá. Vyššia pridaná hodnota.

Kvantitatívny výhľad do budúcnosti v SR

Pravdepodobný vývoj skleného odpadu z recyklácie vrstvených skiel je nasledovný:

- výrobný odpad z tabuľových lepených skiel bude stúpať. Je to spôsobené dynamickým rastom výroby pre nové budovy využívajúce na opláštenie lepené sklá a súčasne rastom aplikácií skiel ako netradičných stavebných prvkov (zábradlie, schody, ...).

- výrobný odpad autoskiel z automobilových závodov bude stúpať, ako aj sklo z autoservisov a predajní autoskiel v nadväznosti na rozširujúci sa automobilový priemysel v Slovenskej republike. Očakáva sa, že 1,7 % podiel skla z recyklácie starých vozidiel bude mierne stúpať, čo súvisí so silnejším ekonomickým zázemím obyvateľov SR a s tým súvisiacou obnovou vozového parku, prísnejšou legislatívou v oblasti nakladania so starými vozidlami a fungujúcimi spracovateľskými kapacitami, ktoré majú udelenú autorizáciu na spracovanie starých vozidiel.
- 2 % podiel skla z elektroodpadu (obrazovky a monitory) bude v nasledujúcom období postupne klesať. Hlavným dôvodom je postupné nahrádzanie klasických obrazoviek a monitorov plazmovými alebo LCD obrazovkami.

4.3 Metódy a technológie oddeľovania vrstveného skla

Pri recyklácií vrstvených skiel je potrebné hľadať efektívny spôsob ako od seba jednotlivé materiály vrstiev oddeliť. Literárny a patentový prieskum [38, 39, 40] ukázal, že obecne sa uplatňujú štyri spôsoby, a to mechanické, termodynamické, chemické a ich vzájomná kombinácia. V linkách na recykláciu laminovaných skiel prevažuje aplikácia buď samotného mechanického alebo kombinovaného oddeľovania v závislosti od požadovaného výsledného produktu a jeho kvality. Z hľadiska pracovných médií prítomných v separačnom procese je možné spôsoby a z nich vyplývajúce technológie zoskupiť do dvoch kategórií, tzv. suché (mechanické alebo termodynamické oddeľovanie) a mokré spôsoby (napr. chemická separácia).

4.3.1 Mechanické oddeľovanie

Pri aplikácii postupu iba mechanického oddeľovania je vrstvené sklo podrvené na vstupnej linke vybavenej drvičom schopným rozdrviť sklo pochádzajúce nielen z osobných a nákladných automobilov, ale aj z autobusov alebo kamiónov. Drvina potom ďalej prechádza sústavou dopravníkov a separátorov, kde sa vytriedia kovy a ostatné nečistoty. Drobné časti skla sú transportované cez zónu optických senzorov, kde sa z prechádzajúcej drviny skla oddelia nečistoty, časti fólie, tesniacej gumy, atď.
Mechanický spôsob oddeľovania predstavuje jednoduché, ale iba relatívne priaznivé environmentálne riešenie, pretože jeho využívanie je vo všeobecnosti spojené s vysokou prašnosťou, vznikajúci produkt – sklený prach môže byť kontaminovaný cudzími látkami a pre sklársky priemysel tak nepredstavuje čistú surovinu vhodnú na ďalšie spracovanie a získaný recyklát PVB fólie nedosahuje 100% čistotu, čo limituje jeho ďalšie využitie. Účinnosť oddelenia materiálov vrstveného skleného odpadu mechanickým spôsobom sa pohybuje na úrovni iba okolo 50 %.
Výhody tohto riešenia:

- jednoduché,
- ekologické.

Nevýhody tohto riešenia:

- sklený prach, ktorý sklárne odmietajú,
- kontaminácia fólie sklom,

- vysoká prašnosť.

4.3.2 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 molekulárno rozptýleným zložením jednotlivých zložiek môžu byť oddelené iba pomocou tepelného procesu. Takéto 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 oddelí fáza. Spoločne s oddelením fáz dochádza k oddeleniu zmesi.

Výhodou tohto riešenia je získanie čisté skla a čistej fólie. Na druhej strane je toto riešenie neekologické a energeticky náročné.

4.3.3 Chemické oddeľovanie

Chemické oddeľovanie je mokrý spôsob separácie skla a PVB fólie. Je omnoho prijateľnejší ako mechanické (suché) spôsoby oddeľovania, pretože vodné roztoky sú schopné 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. [3, 5, 41, 42, 43, 44]

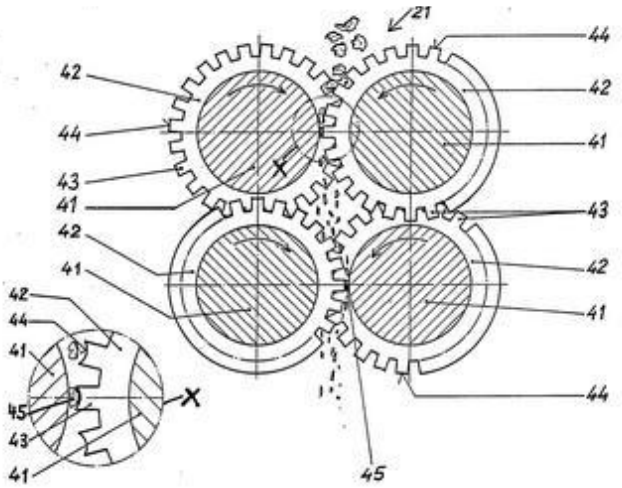
Výhodou tohto riešenia e získanie čistého skla a podľa použitých látok aj relatívne čistej fólie. Nevýhodou je podľa použitých látok možný negatívny vplyv na životné prostredie.

4.3.4 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.

4.3.5 Analýza patentových riešení recyklácie vrstvených skiel

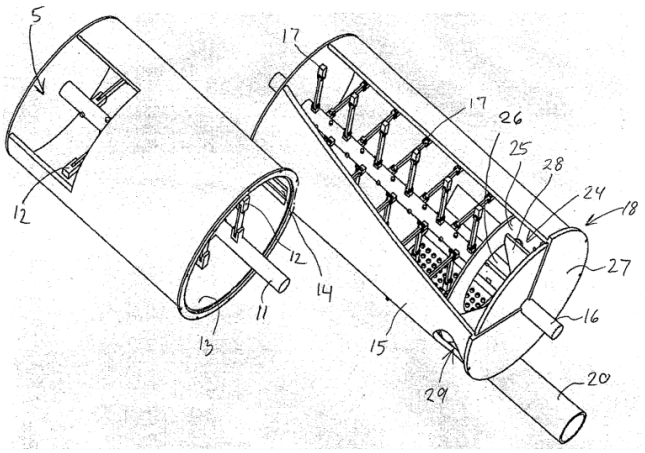
Princíp mechanickej separácie je predmetom patentu EP0249094(A2), podstata ktorého spočíva v postupnom realizovaní nasledujúcich krokov: kombinované drvenie a oddeľovanie fragmentov vrstveného skla, aby sa zmenšila veľkosť; opätovné drvenie s cieľom zmenšiť veľkosť frakcie vrstveného skla, Obr. 4.10; aplikácia mechanického tlaku na dosiahnutie separácie skla od fólie; a nakoniec pneumatická separácia zmesi skla a fólie.



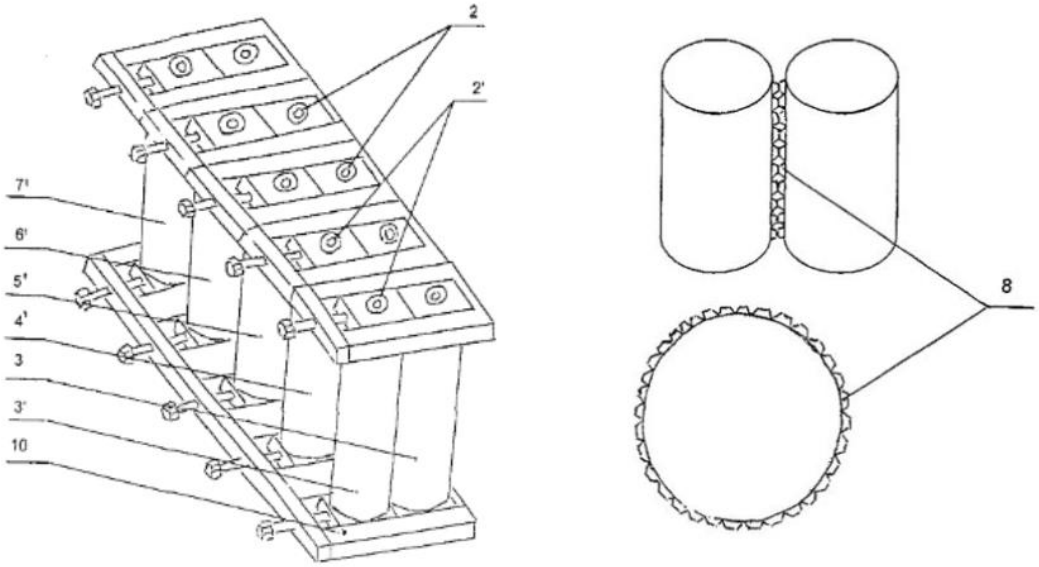
Obr. 4.10 Valce na drvenie skla podľa patentu EP0249094(A2)

Iným variantom mechanickej separácie je americký patent US8220728, ktorý je primárne zameraný na efektívne získavanie recyklátu fólie PVB, a sklená drvina je sekundárnym produktom. Podstatou vynálezu je, že v prvom kroku sa viacvrstvové sklo drví a obíja vo valcovej komore opatrenej drviacimi kladivami špecifického tvaru a prepadom v tvare mriežky na dne komory, kde sú pri spracovaní sústreďované fragmenty ťažšieho skla Obr. 4.11. Do pracovnej komory je vháňaný vzduch, ktorý z nej unáša ľahkú fóliu do ďalšej komory, kde sa fragmenty fólie podrobujú procesu prania vo vodnom prostredí.

Slovenským patentom v oblasti mechanickej separácie je patent SK286370, ktorý využíva princíp dvojice valcov otočne uložených okolo pozdĺžnej osi s upraveným povrchom. Jeden valec je uložený v nosnej konštrukcii nepohyblivo a druhý valec je uložený posuvne nastaviteľne. Dvojice otočne uložených valcov sú v nosnej konštrukcii usporiadané vertikálne a za sebou v stanovenej vzdialenosti, pričom vzdialenosť otočne uložených valcov v každej dvojici je voliteľne nastaviteľná, pričom táto vzdialenosť medzi valcami nasledujúcej dvojice je menšia ako vzdialenosť medzi valcami predchádzajúcej dvojice. Všetky valce majú povrch vybavený výstupkami alebo vybraniami Obr. 4.12.

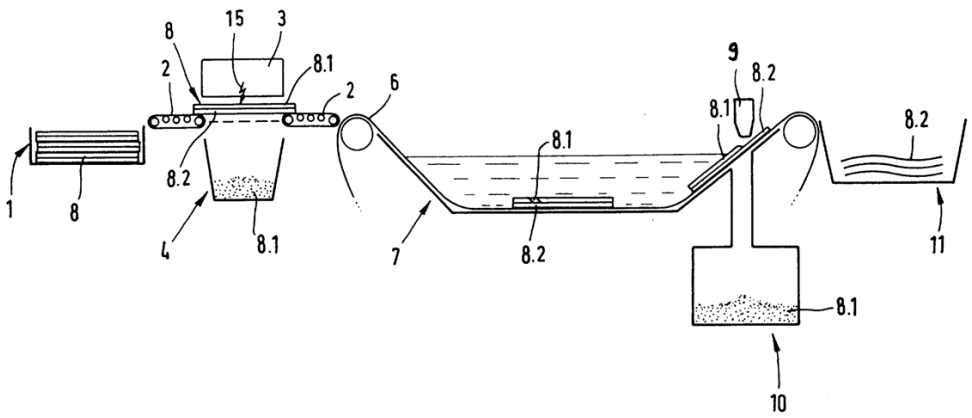


Obr. 4.11 Valce na drvenie skla podľa patentu US8220728



Obr. 4.12 Zariadenie na spracovanie odpadového skla podľa patentu SK286370

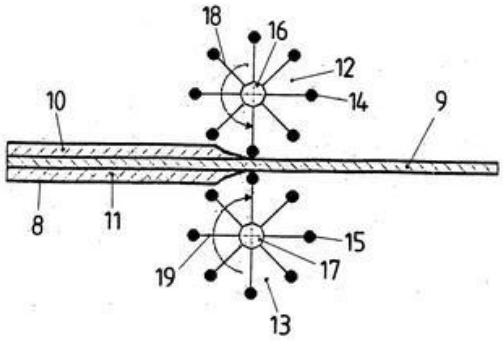
Rôzne kombinácie vyššie uvedených spôsobov oddeľovania sú podstatou väčšiny patentov. Východiskovou operáciou riešenia patentu EP 0792730 (A2) je proces fragmentácie vrstvy skla realizovaný buď jednoduchým drvením alebo napr. drvením vysokoenergetickými pulzami, po ktorom je zaradený proces separovania skla z fólie v kvapalnom prostredí s rôznym zložením a teplotou. Patent pracuje s vodným roztokom zahriatym na teplotu 40 až 70°C, v ktorom sa sklo zohrieva 10 až 30 minút na zníženie adhézie medzi vrstvami a v samotnom procese separácie sa využíva vysokotlakový prúd vody (až do 6 barov) a škrabka Obr. 4.13. Výsledkom procesu podľa tohto patentu je sklenená drvina a celistvá fólia.



Obr. 4.13 Proces separácie vrstveného skla podľa patentu EP 0792730 (A2)

Proces separácie vrstveného skla podľa patentu EP 0792730 (A2): 3 – drvič pracujúci na princípe vysokoenergetických pulzov; 8 – vrstvené sklo; 8.1 – sklo; 8.2 – fólia; 9 – škrabka; 7 – kúpeľ horúcej vody; 10 – zberná nádoba na sklo

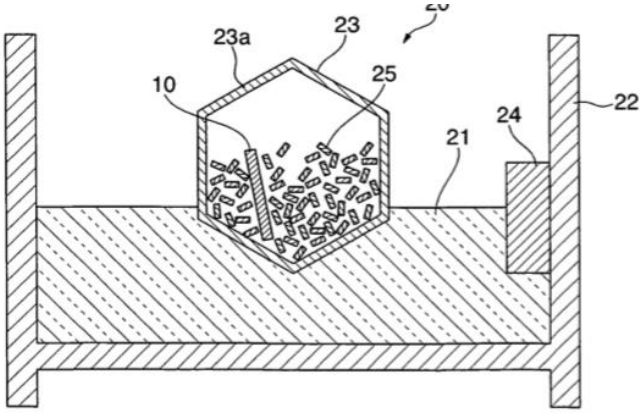
Patent EP0567876 (A1) využíva na oddelenie vrstiev skla a PVB fólie chemický postup, ktorý nasleduje po predúprave drvením, založený na použití vhodných vodných roztokov na báze kyselín, zásad, solí alebo organických rozpúšťadiel, ako napr. methanol, ethanol, iso-propanol, iso-butanol, THF (tetrahydrofuran), atď. Oddeľovací proces je možné urýchliť nanášaním roztokov detergentov na rozbité kusy skla, vírením týchto látok v kúpeli a tiež aj pôsobením rotačných drvičov Obr. 4.14, ktoré urýchlia proces oddeľovania).



Obr. 4.14 Proces separácie vrstveného skla podľa patentu EP0567876 (A1)

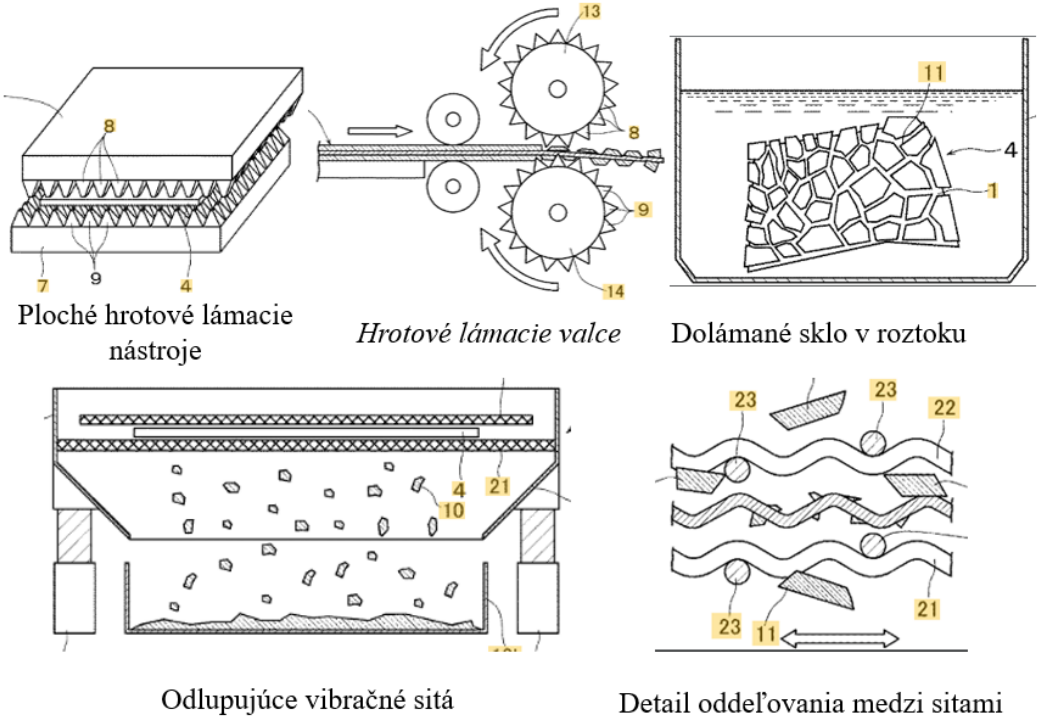
8 – panel vrstveného skla; 9 – fólia; 10, 11 – sklo; 12, 13 – rotačné drviče

Separačná technológia opísaná v patente EP 1 950 019 A1 využíva mokrú separáciu, Obr. 4.15. Vrstvené lepené sklo (10) je vložené do bubna (23) spolu s 50 – 60-timi kovovými elementami na omieľanie skla, čo máha oddeliť fóliu dod skla. Celý bubon je uložený v nádobe (22) naplnenej roztokom na separáciu medzivrstvovej fólie od skla a otáča sa vopred určenou rýchlosťou. Používa sa roztok (21) na separáciu medzivrstvovej fólie, ktorý má schopnosť leptania skla. Jeho teplota sa reguluje v rozsahu 30 až 60 ° C.

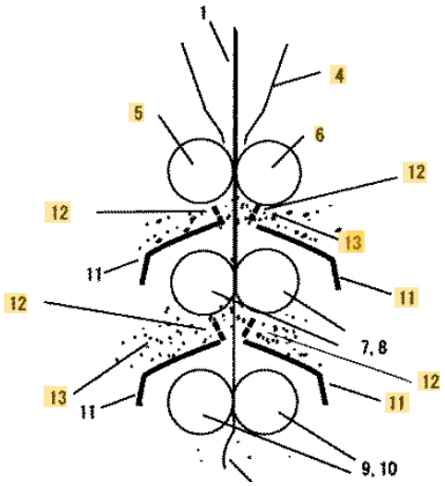


Obr. 4.15 Proces separácie vrstveného skla podľa patentu EP 1 950 019 A1

Japonský patent JP 4173030 B2 rovnako využíva kombinovaný spôsob separácie skla od medzivrstvovej fólie. Sklenené vrstvy sú medzi hrotovými plochými protichodne sa pohybujúcimi lámacimi nástrojmi resp. medzi hrotovými valcami lámané. Následne je takéto popraskané vrstvené sklo ponorené do roztoku uvoľňujúceho adhézne sily medzi sklom a fóliou. Nakoniec je sklo vložené medzi odlupujúce vibračné sitá, kde je z fólie vibráciou mechanicky sklo oddelené, Obr. 4.16.



Obr. 4.16 Proces separácie vrstveného skla podľa patentu JP 4173030 B2



Obr. 4.17 Proces separácie vrstveného skla podľa patentu JP2004181321A

Japonský patent JP2004181321A využíva na oddelenie skla od fólie sústavu dvojíc valcov, medzi ktorými prechádza popraskané vrstvené sklo a zmenou rýchlostí otáčok dvojíc valcov je sklo s fóliou napínané, čím dochádza k mechanickému prekonaniu a porušeniu adhéznych väzieb a síl medzi slom a fóliou, Obr. 4.17).

4.3.6 Existujúce technológie spracovania vrstvených skiel

Napriek vysokej cene PVB fólie a veľkému množstvu každoročne skládkovaných čelných skiel, v súčasnosti ešte nie sú masívne v praxi nasadené technológie, ktoré by oddeľovali PVB od skla s dostatočnou účinnosťou a dosahovanou vysokou čistotou oddeleného PVB za účelom možnosti opätovnej recyklácie PVB ako fólie pre vrstvené sklá.

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 [34, 45].



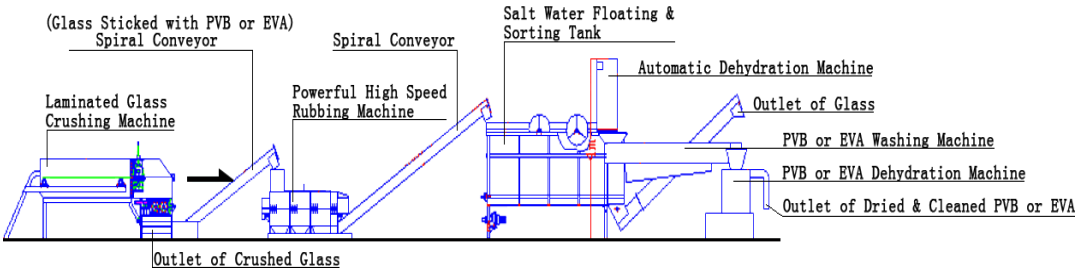
Obr. 4.18 Linka Shark Solution A/S



Obr. 4.19 PVB fólia po mechanickej separácii

Mechanickou recykláciou vrstveného skla a PVB fólie z čelných autoskiel, ako aj z laminovaného architektonického a stavebného skla sa úspešne zaoberá aj dánska spoločnosť Shark Solution A/S, ktorá má patentovaný technológiu založenú na mechanickej separácii, Obr. 4.18. Systém produkuje sklenú drvinu s granulometriou 0 – 5 mm obsahujúcu menej ako 1% kontaminujúcich látok a PVB, čo umožňuje jej nasadenie v aplikáciách s vysokými úžitkovými vlastnosťami.

Zariadenie Xinology Co., Ltd., Hong Kong predstavuje kontinuálnu linku na recykláciu vrstveného skla s oddeľovaním fólie PVB zo sklenených zvyškov. Spracovanie skla začína v drviacom stroji, ktorý mechanicky oddelí rozdrvené sklo od fólie, Obr. 4.20.



Obr. 4.20 Schéma recyklačnej linky na spracovanie vrstveného skla [zdroj: http://xinology.com:888/Glass-Processing-Equipments-Supplies-Consumables/glass-recycling]

Špirálový dopravník prepraví PVB alebo EVA fólie znečistené úlomkami skla do vysokorýchlostného trecieho stroja na ďalšie čistenie. Druhý špirálový dopravník prepraví fóliu do flotačnej a triediacej nádrže so slanou vodou, kde sú odstránené ostatné zvyšky skla na fólii. Fólia pokračuje do PVB práčky a sušičky, z ktorých výstupom je čistá a suchá PVB alebo EVA fólia. Zariadenie je možné použiť pre všetky typy vrstveného skla vrátane čelného autoskla, tvrdeného bezpečnostného skla a nepriestrelného skla, pričom dokáže spracovať ploché aj zakrivené vrstvené sklo.
Slovenská spoločnosť MAVEBA s.r.o Vranov nad Topľou v spolupráci so Strojníckou fakultou STU v Bratislave vyvinula zariadenie na recykláciu autoskiel. Technológia tejto linky pozostáva z mlyna osadeného tromi elektromotormi, v ktorom sa oddeľuje sklo od fólie, pričom sklo je podrvené na malú frakciu od 0 – 3 mm. Rozdrvená fólia a sklo padajú na striasadlo mlyna, odkiaľ sú dopravené do centrálneho zásobníka závitovkovým dopravníkom. Dopravník so závitovkou prepravuje rozdrvenú zmes skla a fólie do triediča, ktorý následne sklenenú zmes vytriedi do frakcií 0 – 0,8 mm, 0,8 – 1,6 mm, 1,6 – 3 mm a PVB fóliu cca 5x5 mm.
Španielske Technologické centrum LUREDERRA v meste Navarra vyvíja v súčasnosti recyklačnú linku na spracovanie vrstvených skiel, Obr. 4.21, s cieľom efektívneho oddelenia skla od medzivrstvy PVB. Linka využíva kombinované oddeľovanie vrstiev zahŕňajúce mechanické drvenie a chemické oddeľovanie. Výsledky čistej frakcie PVB fólie sú na Obr. 4.22.

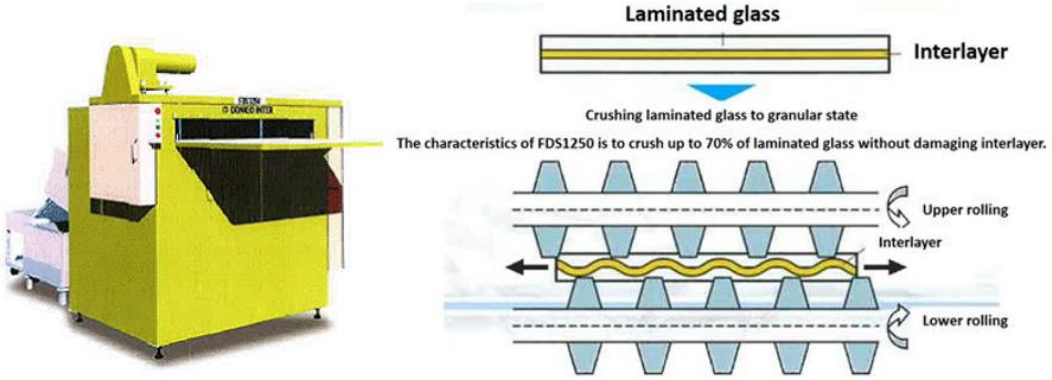
Japonská spoločnosť Donico Inter Co.,Ltd. vyvíja technológiu na spracovanie vrstvených skiel kombinovaným oddeľovaním, kde výstupom bude sklená drvina ale medzivrstvová fólia ostane v celku. Technológia využíva zariadenie na mechanické oddelenie 70 % skla z oboch strán vrstveného skla prostredníctvom dvojice valcov, Obr. 4.23. Následne je fólia čistená v linke chemicko mechanickou cestou, Obr. 4.24.



Obr. 4.21 Recyklačná linka LUREDERRA



Obr. 4.22 Oddelená čistá PVB fólia

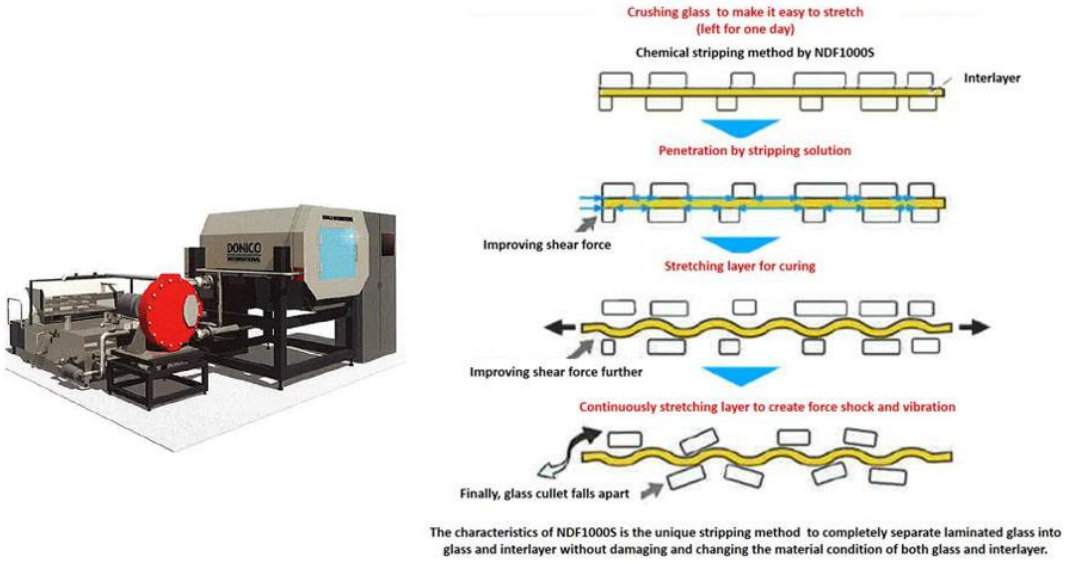


Obr. 4.23 Mechanické oddelenie 70 % skla

4.4 Recyklácia vrstveného skla a materiálové zhodnocovanie jednotlivých zložiek

Európska smernica č. 2000/53 / ES predstavuje významnú výzvu pre automobilový priemysel. Tento ambiciózny cieľ smernice stanovuje opätovné použitie alebo zhodnotenie najmenej 95% hmotnosti starých vozidiel, z čoho 90% predstavuje recykláciu. Recyklácia materiálov zo starých vozidiel je už niekoľko rokov podporovaná automobilovým priemyslom vo všetkých krajinách EÚ. Toto úsilie sa však vo väčšine krajín obmedzilo na materiály ako oceľ a hliník, a nie na odpady minoritných podielov, ako sú napríklad sklá [13]. Nový cieľ recyklácie (95%) si vyžaduje zváženie recyklácie autoskiel. Je zrejmé, že je potrebné dramaticky zvýšiť nielen zhodnotenie skla, ale aj plastov, gumy a iných nekovových materiálov.

Odstránenie skiel sa však výslovne uvádza v minimálnych prevádzkových povinnostiach pri demontáži starých vozidiel.



Obr. 4.24 Chemicko-mechanické čistenie medzivrstvovej fólie

4.4.1 Recyklácia skla

Spracované očistené sklo vo forme črepov sa môže opätovne použiť pri výrobe sklenených výrobkov a je náhradou na trhoch so surovinami. Sklársky priemysel využíva recykláciou sklených črepov dve výhody: črepy sú relatívne lacnejšie ako surovina (oxid kremičitý) a na ich tavenie v peci sa spotrebuje menej elektrickej energie [14]. Okrem uvedených ekonomických výhod šetrí recyklácia črepov veľa prírodných zdrojov. Opätovné použitie črepov teda pozitívne prispieva k životnému prostrediu hneď niekoľkými spôsobmi.

4.4.2 Uplatnenie odpadového skla na trhu

Pri spracovaní vrstveného lepeného skla oddeľovaním vrstiev skla od fólie dochádza vo väčšine prípadov k jeho mechanickej úprave, t.j. lámaniu, drveniu, mletiu, čím vzniká okrem sklených črepov aj pomerne vysoký podiel jemnej až prachovej sklenej frakcie.

Penové sklo

Najväčší potenciál využitia recyklátu z VLS má výroba penového skla, Obr. 4.25. Výroba penového skla bola patentovaná už v roku 1936 vo Francúzsku. Je to moderný ekologický tepelne izolačný materiál vyrobený z odpadového skla so širokou paletou možností použitia v stavebníctve. Nahrádza bežné stavebné tepelnoizolačné materiály, ako je polystyrén, sklená a minerálna vata, pemza alebo materiály na báze expandovaného ílu. Netoxické, tvarovo stále, nehorľavé, odolné voči starnutiu, dobre odolné voči vode, odolné proti poveternostným vplyvom, hmyzu a hlodavcom, veľmi ľahké a súčasne pevné v tlaku. Zostáva odolné voči starnutiu počas celej svojej životnosti. Penové sklo je 100 % recyklovateľné. Tieto unikátne kombinácie vlastností z neho robia materiál, bez ktorého sa v budúcnosti nezaobíde žiadna moderná ekologická stavba.



Obr. 4.25 Tabuľa z penového skla

Penové sklo spĺňa požiadavky noriem EN 13 055-1 a EN 13 055–2. Tým je garantovaný správny postup výroby a požadovaná kvalita materiálu [46]. Široké uplatnenie nájde najmä ako ľahký podkladový materiál pre konštrukciu ciest s vynikajúcou drenážnou schopnosťou, je vhodný pre základové piliere, izolácie budov, či na stabilizáciu svahov proti zosuvom. Vyrábaný produkt môže byť dodávaný ako granulát s hustotou 200 kg.m-3 a veľkosťou častíc do 10 mm, 10 – 20 mm, nad 20 mm, ďalej ako drvený materiál s hustotou 150 kg.m-3, alebo má tvar dosky 500 x500 x 100 mm s hustotou 200 kg.m-3. [47]

Oblasti využitia [47]:

- Tepelná izolácia budov a potrubí, bočné tepelnoizolačné zásypy bazénov a nádrží, Použitie podľa EN 13 055 – 1 ako tepelnoizolačné a ľahčené prísady,
- Vďaka vysokej pevnosti v tlaku, nízkej mernej hmotnosti a dobrej kombinovateľnosti s cementom sa využíva aj v stavebníctve pri výrobe betónu. Uplatnenie nachádza aj v dopravnom a inžinierskom staviteľstve, pri zakladaní stavieb, rekonštrukcii podláh a stropných konštrukcií, pri stavbe pasívnych domov,
- Penové sklo je výrobok, ktorý môže prepúšťať pary alebo naopak zabraňovať ich prieniku, v záhradníctve, pri výstavbe športových stavieb, Omietka je vhodná do vonkajšieho aj vnútorného prostredia, na všetky druhy muriva, je určená pre ručné spracovanie. Výrazne zvyšuje celkový tepelný odpor konštrukcie. Obmedzuje únik tepla z objektu vplyvom tepelných mostov v stenách. Veľmi dobre je priepustná pre vodné pary. [46]

Nábytok

Hlavným materiálom, ktorý bol pri výrobe stolíkov použitý, sú sklokryštalické dosky vyrábané spoločnosťou Chemcomex Praha, a.s. Tento materiál bol prvýkrát predstavený na výstave ForArch 2004 pod obchodným názvom GLASILEX. Jadrom výrobného procesu je zužitkovanie druhotnej suroviny – recyklovaného plochého skla, ktorého zdrojom môžu byť autosklá, črepiny, nevratné rozdrvené fľaše, [47].

Tento materiál získal cenu Ministerstva priemyslu za ekologický výrobok. Pri výrobe prechádza nadrvená zmes materiálu špecifického zloženia vysokoteplotným spracovaním. Sypká vsádzka na vstupe sa prechodom pecou mení v kompaktnú dosku

na výstupe. Monochromatická či rôzne zafarbené zrná spojené stuhnutou taveninou vytvárajú saténovo lesklé povrchy. Tento materiál je vysoko odolný voči vnútorným vplyvom. Chemickou aj mechanickou odolnosťou v mnohých ohľadoch predbehne bežné obkladové materiály. Lepšie než prírodný kameň alebo štandardné keramické materiály odoláva pôsobeniu kyselín a organických aj anorganických rozpúšťadiel. Rozhodnutie využiť GLASILEX práve pre stolné dosky, Obr. 4.26, neznamená, že by toto využitie v nábytkovom návrhárstve bolo jediné možné. Takisto je možné tento materiál použiť pre obklady fasád a všade tam, kde sa v súčasnosti používa keramika, kameň, sklo, [47].



Obr. 4.26 Stolík z materiálu GLASILEX

Dekoračné sklo

Recyklované sklo je možné použiť aj na dekoračne účely. Využíva sa pri tom tavenie a farbenie skla. [48]

Reflexné vrstvy na obrubníkoch

Alternatívnou možnosťou využitia skla je jeho aplikácia do lepidiel, prostredníctvom ktorých sa nanesie na obrubníky pri cestách. Reflexné vlastnosti skla potom zvýrazňujú obrysy vozovky pri jazde v tme alebo za zníženej viditeľnosti. [48]

Posypový materiál

Sklo, najmä zo spracovania starých vozidiel, ako ekologicky nezávadný materiál, je vhodnou náhradou za rôzne posypové materiály na cesty. [48]

Hnojivo

Sklo môže byť hnojivom, ktoré dodáva stopové prvky. Prvá zmienka je z roku 1927, kedy boli aplikované hnojivá odvodené zo zeleného fľaškového skla, farbeného kombináciou oxidov FeO / MnO. [48]

Mikrogulôčky

Iným novým výrobkom vznikajúcim procesom recyklácie/zhodnocovania odpadového skla sú sklenené mikroguľôčky, tzv. balotina. Duté sklenené mikrogulôčky sú sklenené častice s uzavretou dutinkou plynu s definovanými fyzikálnymi a chemickými vlastnosťami. V prevažnej miere sú vyrobené zo sodno-borito-kremičitého skla o vonkajšom priemere 1 – 500 μm a hrúbke steny 0,1 – 5 μm. Princíp výroby spočíva v

rozprašovaní zmesi surovín (napr. vody, vodné skla, boraxu, upravených mletých sklenených črepov) v plameni horáka. Duté mikrogulôčky sa tvarujú v plameni odparovaním vody a rozložením surovín vzniknuté plynné splodiny spôsobujú nadúvanie častíc. V ďalšom technologickom uzle sa mikrogulôčky povrchovo upravujú z dôvodu zvýšenia chemickej a mechanickej odolnosti.
Používanie sklenených mikrogulôčok – balotiny – pre dopravné značky má svoje odôvodnenie v tom, že pri osvetlení z vozidla sa stávajú vplyvom retroreflexie viditeľnými. V dôsledku lomu a guľôčkového tvaru sa svetelné lúče lomia a sú vedené k ohnisku na pigmentové čiastočky značkovacích farieb a odrážané späť ku zdroju svetla. V súčasnosti sa používajú aj ako účinný senzibilátor v priemyslových výbušninách. Ich použitie preniká do priemyslu plastov ako plnivo, prípadne nadúvadlo, uplatňujú sa v tepelnoizolačnej a vo zvukovo-izolačnej technike, v elektronike, na skladovanie toxických a korozívnych plynov, rádioaktívnych látok.

Plnivo do betónu

Výsledky prezentované vo vedeckej práci [32] ukazujú možnú aplikáciu odpadového vrstveného skla ako náhrady za recyklované betónové agregáty na výrobu betónu. Experimenty dokazujú, že pre niektoré aplikácie je takéto plnivo v betóne výhodné, pre iné aplikácie však nie.

4.4.3 Recyklácia medzivrstvy PVB

Polyvinylbutyral (PVB) je pomerne drahý plast. Vo veľkej miere sa používa ako medzivrstva vo vrstvenom skle: čelných sklách automobilov a iných vozidiel, bezpečnostnom skle a stavebnom skle. Hlavným využitím PVB vo svete sú práve lamináty bezpečnostného skla, najmä v automobilovom, leteckom a architektonickom skle. Na celom svete sa 65% všetkého PVB používa v automobilových aplikáciách [4]. Fólie sú najrýchlejšie rastúcim aplikačným segmentom PVB živíc. Laminátové sklo predstavuje až do 3% z celkového materiálu vo vozidlách. Každé čelné sklo obsahuje približne 1 kg PVB fólie, ktorá môže byť zdrojom na recykláciu [5]. Zvyšujúci sa rast cien surovín, prísna environmentálna smernica a zvyšujúce sa náklady na skládkovanie vyvolávajú potrebu na vývoj udržateľnej technológie na recykláciu týchto pevných odpadov šetrnej k životnému prostrediu. Problematika životného prostredia spojená s bežnými plastmi, ako je polyolefín, polyetyléntereftalát, či polystyrén, bola riešená rôznymi technikami [3,15,16,17,18,19,20,21,22]. Pretože PVB nepatria do tejto skupiny plastov, sú drahé a majú rôzne hi-tech aplikácie, otázka recyklácie spojená s PVB by sa mala riešiť osobitne. Hoci vo vedeckej literatúre sú opísané rôzne spôsoby recyklácie rôznych polymérov a plastov, naše dôkladné preskúmanie literatúry naznačuje, že informácie o efektívnej recyklácii PVB v dostupnej vedeckej literatúre sú obmedzené [23,24]. Z hľadiska životného prostredia a hospodárstva by sa recyklácia PVB mala riešiť ekologicky. Vo vedeckej literatúre je uvedených niekoľko prehľadov, analýz, procesov alebo štúdií vplyvu [25,26,27,28,29], ale systematická výskumná správa o efektívnom oddeľovaní skla a PVB z vrstveného skla z automobilov absentuje. Práve absencia efektívnej technológie oddelenia skla od PVB fólie a dosiahnutie jej vysokého stupňa čistoty (pod 100 ppm) je základnou bariérou jej recyklácie.

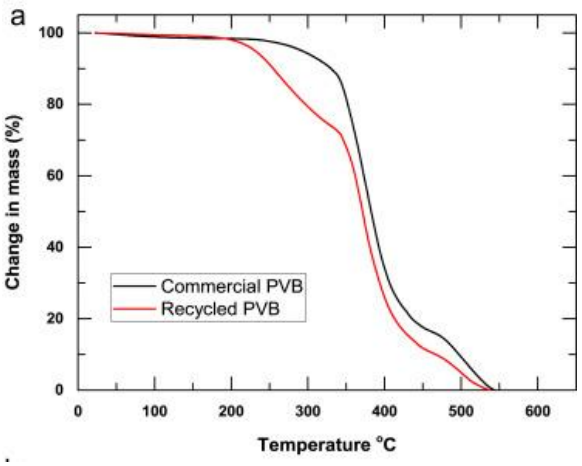
4.4.4 Uplatnenie odpadovej PVB fólie na trhu

Opätovné využitie PVB fólií pri vrstvených sklách

Ako bolo už vyššie spomenuté, efektívna recyklácia PVB fólií z vrstvených skiel a ich opätovné použitie pre tieto aplikácie je limitované mierou oddelenia skla a dosiahnutou čistotou PVB. Vo svete sa technológiu spracovania VLS až po úroveň oddelenia skla od PVB fólie do čistoty požadovanej pre jej recykláciu zaoberá len niekoľko spoločností. Väčšinou sa jedná len o pilotné, resp. prototypové technológie. Napr. nemecká spoločnosť Saperatec predstavuje v spolupráci s českým výrobcom SKLOPAN LIBEREC nový proces znovuzískavania homogénneho PVB, ktoré môže byť použité ako druhotný surový materiál pre použitie v lepenom bezpečnostnom skle. [46] Vždy je však limitujúca dosiahnutá čistota oddelenej PVB fólie.

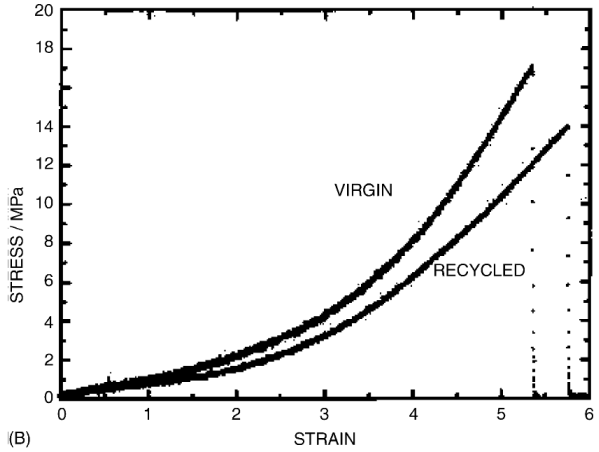
Vychádzajúc z vedeckých publikácií a výskumných správ z tejto oblasti [3,4,5,6,23,24, 25,26,27,28,29,33], musí byť vždy pre efektívne oddelenie PVB fólie od skla použitá technológia kombinovaného oddeľovania. To zahŕňa mechanické spracovanie polámaním skla alebo oddeľovanie skla (či už s porušením fólie alebo bez porušenia), následné chemické oddeľovanie s termickým vplyvom a nakoniec mechanické resp. hydrodynamické dočisťovanie, pranie a sušenie. Všetky uvedené technologické vplyvy pôsobia na vlastnosti recyklovaného PVB. Preto je nevyhnutné venovať pozornosť výskumu zmien vlastností PVB pri spracovaní a ich dopad na recykláciu.

Výsledky výskumu vedeckej práce [3] uvádzajú charakteristiku recyklovaného PVB v porovnaní s novým PVB v závislosti od vplyvu teploty za účelom zistenia vhodnosti na opakované použitie. Zmeny recyklovaného PVB vplyvom teploty boli vyhodnocované prostredníctvom termogravimetrickej analýzy (TGA). Obr. 4.27 zobrazuje TGA pre pôvodný/nový PVB a recyklovaný PVB. Pri 200 °C sa nový PVB začína stabilne rozkladať, ale od 300 °C nasleduje prudký rozklad. Zatiaľ čo recyklovaný PVB má dve rôzne teplotné oblasti s rýchlym rozkladom, t. j. 180 až 350 °C a 350 až 550 °C. Prvý prudký rozklad v teplotnej oblasti 180 – 350 °C je spôsobený rozkladom zmäkčovadiel v recyklovanom PVB.



Obr. 4.27 Porovnanie hmotnostných zmien nového a recyklovaného PVB metódou TGA [3]

Veľmi podobné experimentálne výsledky uvádza aj štúdia [4]. Priemerná strata hmotnosti (%) je zapríčinená iba v dôsledku rozkladu zmäkčovadiel. Priemerná strata hmotnosti recyklovaného PVB bola 13,62% v teplotnom rozmedzí 250 – 350 ° C. V práci [4] bolo pomocou hmotnostnej spektroskopie zistený obsah zmäkčovadiel v PVB 20 a 25 % hmotnosti



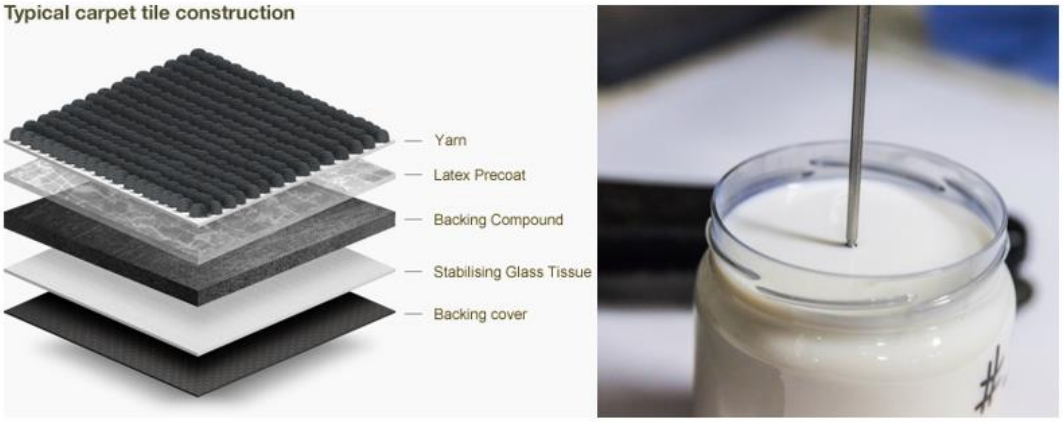
Obr. 4.28 Napäťový diagram pre nový a recyklovaný PVB [4]

Experimentálnym výskumom v práci [6], kde bol skúmaný dopad recyklácie na vlastnosti PVB fólie, bolo dokázané, že použitie recyklovanej fólie PVB pri opätovnom použití v VLS je podmienené kvantifikáciou straty zmäkčovadla, ktorá sa vyskytla počas procesu recyklácie čelného skla a prípravy zmesi. Množstvo zmäkčovadla totiž ovplyvňuje pomer viskozity dispergovanej a matricovej fázy PVB, čo zase riadi morfológiu zmesí PVB a ich vlastnosti.

Skúmané ťahové vlastnosti vzoriek novej a recyklovanej fólie PVB uvádzané v práci [4] sa merali pri izbovej teplote na štandardných ťahových vzorkách v tvare „činky“ vyrezaných priamo z filmov. Podľa Obr. 4.28 mali recyklovaný a nový PVB veľmi podobné vlastnosti, avšak recyklovaný PVB dosahoval vyššiu pevnosť v ťahu. Výskum dokázal, že recyklovaný materiál sa podstatne nelíšil od pôvodných polymérov PVB tým, že mali podobné chemické zloženie a hmotnostný podiel plastifikátora. Pôvodný aj recyklovaný materiál sa môže spolu zmiešať, pričom neboli pozorované žiadne nekompatibility medzi rôznymi druhmi. Problémy môžu vzniknúť v dôsledku straty zmäkčovadla z recyklovaného materiálu v závislosti od zvolených podmienok spracovania. Avšak pridaním dibutylu sebcate sa môže tento nedostatok vykompenzovať. Taktiež bolo laboratórne zistené, že recyklované druhy PVB sa môžu použiť na laminovanie skiel bez straty optickej čistoty.

PVB ako náhrada latexu v kobercoch

Recyklovaný PVB môže byť využitý pri výrobe kobercov, kde môže tvoriť kľúčovú časť kobercových tkanín, ktorá spája priadzu s podkladom, Obr. 4.29. Bežne túto funkciu plní syntetický latex. Recyklovaný PVB sa vytvaruje na granulát, ktorý sa ďalej spracuje na disperziu. Použitie recyklovaného PVB namiesto syntetického latexu znižuje uhlíkovú stopu o 80%.



Obr. 4.29 Zložky koberca a PVB disperzia

4.5 Koncepcia 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 koncepcia 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. recyklácia vrstiev skla si vyžaduje minimalizáciu zastúpenia prachovej frakcie skla po delaminačnom procese,
2. 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 prostredníctvom vodného kúpeľa, zvýšenej teploty a alkalického prostredia (roztok alkalických solí vo vode) pri atmosférickom tlaku. V rámci delaminačného kúpeľa bude zabezpečený 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. Ak sa preukáže v rámci plánovaných experimentov relevantné prebublávanie na

zintenzívnenie a urýchlenie delaminačného procesu, bude tento stupeň doplnený aj o takéto technické vybavenie. Pozornosť bude tiež venovaná technickému zabezpečeniu opätovného použitia vynášaného alkalického roztoku na materiáli vystupujúcom z procesu, ako aj opätovného použitia výparov skvapalnením a navrátením do procesu. V rámci realizácie projektu budú skúmané a stanovené optimálne podmienky a parametre delaminačného procesu aplikovateľného kdekoľvek vo svete (druh a koncentrácia alkalickej soli, teplota kúpeľa, dĺžka kúpeľa, spôsob premiešavania, prebublávanie atď.).

Chemické oddeľovanie skla je založené na redukcii adhéznych síl PVB. Napriek tomu tento chemický proces nie je postačujúci. Preto je nevyhnutné doplniť celkový proces o tretiu etapu zahrňujúcu odlupovanie a oškrabovanie zvyškového skla z fólie. Adhézia PVB sa delaminizačným chemickým procesom výrazne zredukuje, a preto v treťom stupni bude potrebné odlupovaním odstrániť len minimálnu zvyškovú adhéziu. Podmienkou pre použitie vhodnej technológie tretieho stupňa je zabezpečenie, že nedôjde ku kontaminácii PVB iným materiálom. Vyseparovaná PVB fólia bude prepraná a neutralizovaná v slabom kyselinovom roztoku, pričom budú odstránené aj posledné zvyšky skla z jej povrchu. Následne dôjde k vysušeniu PVB fólie.

Navrhované technologické spracovanie vrstvených skiel delaminačným procesom umožní veľmi efektívne oddeliť sklo od PVB fólie a zabezpečí vhodnú kvalitu týchto materiálov pre následnú recykláciu. Proces zabezpečí separáciu PVB fólie s obsahom priľnutého skla do 100 ppm. Toto zvyškové množstvo skla je už akceptovateľné pre priemyselnú recykláciu PVB fólií. Takto oddelená PVB fólia bude pripravená pre opätovnú extrúziu a výrobu novej PVB fólie pre viacvrstvové sklá.

Celková koncepcia technológie na spracovanie vrstvených skiel je pre lepšie znázornenie uvedená na nižšie uvedenom Obr. 4.30. Z výsledkov vykonanej analýzy vyplynul dôležitý záver, že klasická mechanická technológia dezintegrácie a následnej separácie 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.

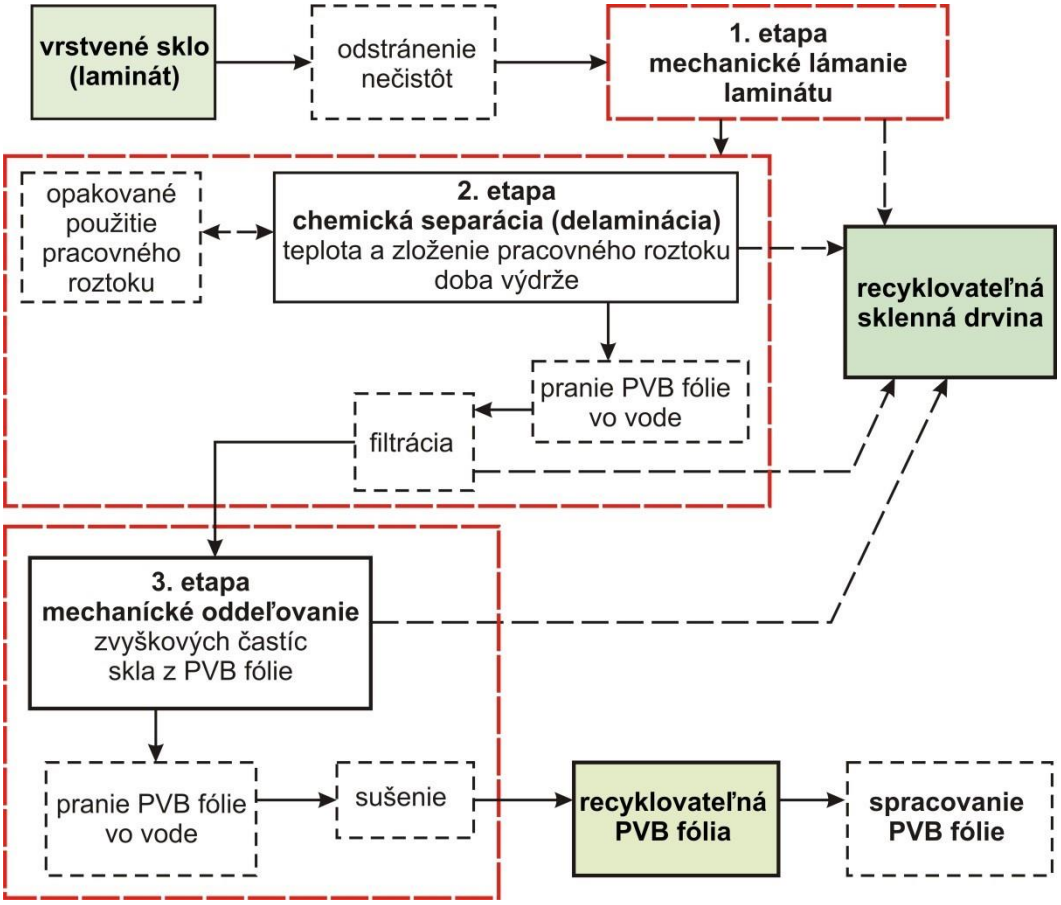
Vyťažiteľnosť čistých sklenených črepín a fólie je pri súčasne dostupných technológiách len 50 – 60 %. Zostatkový nevyseparovaný odpad putuje na skládky.

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 neefektívne.

Vznikla teda požiadavka vyvinúť technológiu technologický akceptovateľnú a ekonomický efektívnu aj pre malé a stredné veľké výkony s ročnou kapacitou 1000 – 2000 kilogramov. Cieľom našich experimentálnych aktivít bol výskum a verifikácia rôznych princípov rozrušovania.

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

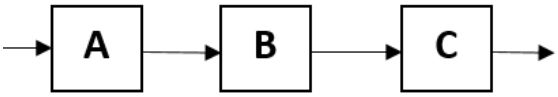


Obr. 4.30 Návrh koncepcie technológie na spracovanie vrstvených skiel

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.

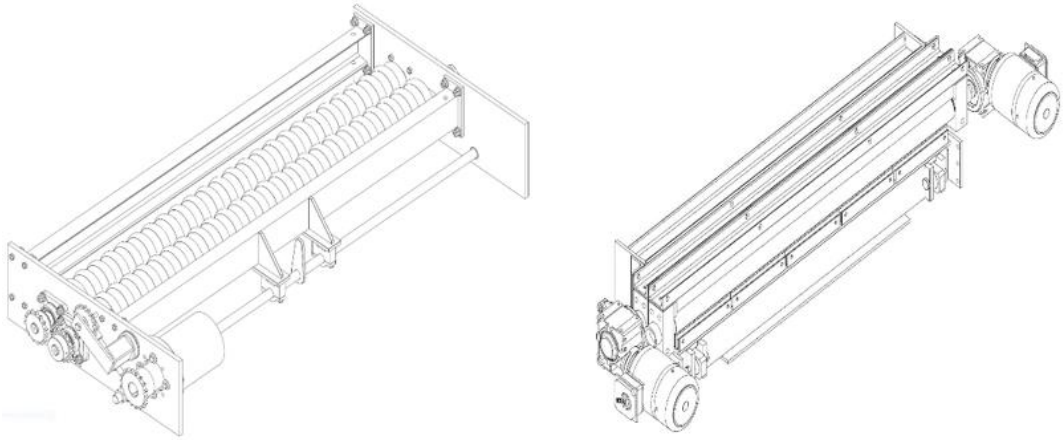
V minimálnej konfigurácii, Obr. 4.31, linka pozostáva zostava z jedného lámacieho modulu, viď Obr. 4.32 a), v ktorom je sklo lámané v priečnom aj pozdĺžnom smere medzi dvoma pármi lámacích profilových valcov. Druhým modulom linky je otrepávací

modul, viď Obr. 4.32 b), 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.



Obr. 4.31 Minimálna konfigurácia linky

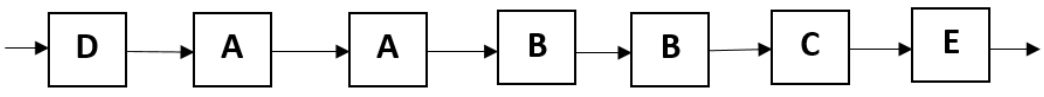
A – lámací modul, B – vibračný modul, C – stierací modul



a) lámací modul b) otrepávací modul

Obr. 4.32 Moduly dekompozičnej linky

Pri hrubých a viacnásobne vrstvených sklách je možné niektoré moduly zaradiť aj viac krát, Obr. 4.33. 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.



Obr. 4.33 Príklad širokej konfigurácie linky

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

4.6 Záver

Hlavným cieľom predloženého opis existujúcich technológií dekompozície viac vrstvených skiel. V práci je veľmi podrobne popísaná patentovaná analýza

progresívnych a perspektívnych riešení, ako aj využívané princípy existujúcich technológií.

Výsledkom týchto analýz je návrh nového, princípu mechanickej dekompizície vrstvených skiel. Navrhovaná technológia vychádza z hypotézy, že odpadové lepené sklo nie v procese spracovania drvené, ale delaminačný proces je založený na princípe zachovania celistvosti PVB fólie. Navrhovaná technológia nie je v porovnaní s klasickými mechanickými technológiami taká prašná, hlučná a nevyžaduje taký príkon strojov. Princíp „celistvosti“ fólie zabezpečí dosiahnutie jej čistoty s obsahom priľnutého skla do 100 ppm. Toto zvyškové množstvo skla je už akceptovateľné pre priemyselnú recykláciu PVB fólií. Takto oddelená PVB fólia bude pripravená pre opätovnú extrúziu a výrobu novej PVB fólie pre viacvrstvové sklá. Ďalšou podstatnou výhodou navrhnutej technológie je dosiahnutie najvyššej čistoty jednotlivých druhov surovín. Podstatnou výhodou navrhnutej technológie je až 96% výťažnosť sklenených črepov.

Ako ukazuje ideový návrh riešenia, viacstupňová modulová technológia spracovania odpadového vrstveného skla môže byť modifikovaná podľa výkonu, podľa druhu a veľkosti spracovaného odpadu jednoducho modifikovaná. Navrhnutá linka môže byť aj v mobilnom prevedení.

4.7 Použitá literatúra

[1] Vermeulen, I. et al., 2011. Automotive shredder residue (ASR): Reviewing its production from end-of-life vehicles (ELVs) and its recycling, energy or chemicals' valorisation. Journal of Hazardous Materials, Vol. 190, pp. 8–27.

[2] N. Kanari, J.-L. Pineau, S. Shallari, End-of-life vehicle recycling in the European union, JOM 8 (2003) 15–19.

[3] Swain, B. et al., Recycling of waste automotive laminated glass and valorization of polyvinyl butyral through mechanochemical separation. EnvironmentalResearch Vol. 142, (2015), pp. 615–623

[4] Dhaliwal, A. K., Hay, J. N., 2002. The characterization of polyvinyl butyral by thermal analysis. Thermochim. Acta, Vol. 391, pp. 245–255.

[5] Tupý, M., et al., 2012. PVB sheet recycling and degradation. In: Achilias Dr., Dimitris (Ed.), Material Recycling: Trends and Perspectives. InTech, Europe, University Campus STeP Ri, Slavka Krautzeka 83/A, 51000 Rijeka, Croatia.

[6] Valera, T. S., Demarquette, N. R., Polymer toughening using residue of recycled windshields: PVB film as impact modifier.European Polymer Journal 44 (2008) 755–768.

[7] M. Zameri, M. Saman, End of life vehicles recovery: process description, its impact and direction of research, J. Mek. 21 (2006) 40–52.

[8] Pištěk, D. 2008. Stanovení změn chemických vlastností PVB při různých typech degradací, Diplomová práca, UTB v Zlíne, Fakulta technologická

[9] Wade B.E., D'errico J., et al. Mar 16, 2004. Polymer sheets and methods of controlling adhesion of polymer sheets to glass, United States Patent Application US 20050208315

[10] J. Gerrard, M. Kandlikar, Is European end-of-life vehicle legislation living up to expectations? Assessing the impact of the ELV Directive on 'green' innovation and vehicle recovery, J. Clean. Prod. 15 (2007) 17–27.

[11] P. Ferrão, P. Nazareth, J. Amaral, Strategies for meeting EU end-of-life vehicle reuse/recovery targets, J. Ind. Ecol. 10 (2006) 77–93.

[12] J. Staudinger, G.A. Keoleian, Management of End-of-life Vehicles (ELVs) in the US, Rep. of the Center for Sustainable Systems, Michigan, USA (2001) No. CSS01-01.

[13] Gerrard, J. and M. Kandlikar (2007). "Is European end-of-life vehicle legislation living up to expectations? Assessing the impact of the ELV Directive on 'green' innovation and vehicle recovery." Journal of Cleaner Production 15(1): 17 – 27.

[14] Remade-Scotland (2003). Glass Recycling Handbook, Assessment of Available Technologies. Glasgow.

[15] Duval,D., MacLean, H. L., 2007. The role of productin formation in automotive plastics recycling: a financial and life cycle assessment. J. Clean. Prod. 15, 1158–1168.

[16] Fink, M., Fink, J. K., 1997. Plastics recycling coupled with enhanced oil recovery. A critical survey of the concept. J. Anal. Appl. Pyrolysis 40–41,187–200.
[17] Liguori, B., et al., 2014. The effect of recycled plastic aggregate on chemico-physical and functional properties of composite mortars. Mater. Des. 57, 578–584.
[18] Malcolm Richard, G., et al., 2011. Optimization of the recovery of plastics for recycling by density media separation cyclones. Resour. Conserv. Recycl. 55, 472–482.
[19] Shent, H., et al., 1999. A review of plastics waste recycling and the flotation of plastics. Resour. Conserv. Recycl. 25, 85–109.
[20] Subramanian, P. M., 2000. Plastics recycling and waste management in the US. Re-sour. Conserv. Recycl. 28, 253–263.
[21] Tachwali,Y., et al., 2007. Automatic multistage classification system for plastic bottles recycling. Resour. Conserv. Recycl. 52, 266–285.
[22] Tarantili, P. A., et al., 2010. Processing and properties of engineering plastics recycled from waste electrical and electronic equipment (WEEE). Polym. Degrad. Stab. 95, 405–410.
[23] Farel, R., et al., 2013a. Finding best practices for automotive glazing recycling: a network optimization model. J. Clean. Prod. 52, 446–461.
[24] Farel, R., et al., 2013b. A cost and benefit analysis of future end-of-life vehicle glazing recycling in France: a systematic approach. Resour. Conserv. Recycl. 74, 54–65.
[25] Cheng, Y. W., et al. ,2012. Operational characteristics and performance evaluation of the ELV recycling industry in Taiwan. Resour. Conserv. Recycl. 65, 29–35.
[26] Cumbul Altay, M., et al., 2011. Recycle of metals for end-of-life vehicles (ELVs) and relation to Kyoto protocol. Renew. Sustain. Energy Rev. 15, 2447–2451.
[27] [27] Suzuki, H., et al., 2001. Research on dismantling technologies for improving ELV recycling. JSAE Rev. 22, 201–203.
[28] Vermeulen, I., et al., 2011. Automotive shredder residue (ASR): reviewing its pro- duction from end-of-life vehicles (ELVs) and its recycling, energy or chemicals' valorisation. J. Hazard. Mater. 190, 8–27.
[29] Zhao, Q., Chen,M., 2011. A comparison of ELV recycling system in China and Japan and China's strategies. Resour. Conserv. Recycl. 57, 15–21.
[30] Cha J-Y, Lee C-H, Choe S. Morphology and mechanical properties of nylon 6 toughened with waste polyvinylbutyral film. J Appl Polym Sci 1998;67:1531–40.
[31] Priore, R., A patent intelligence analysis aimed at identifying eco-friendly methodologies for recycling PVB to be used as windscreens interlayer. World Patent Information 59 (2019) 101932.
[32] Arabi, N., et al., 2019. Valorization of recycled materials in development of self-compacting concrete: Mixing recycled concrete aggregates – Windshield

waste glass aggregates. Construction and Building Materials 209 (2019) 364 – 376.

[33] Tupý, M., et al., 2013. Windshield Recycling Focused on Effective Separation of PVB Sheet. Journal of Applied Polymer Science, Volume 131, Issue 4.

[34] Tupý, M., Zvoníček, J., Měřínská, D. 2008. Problematika recyklace PVB fólie určené pro bezpečnostní skla, FT UTB v Zlíne, Plasty a kaučuk.

[35] Zvoníček J. 1999. Collection of findings close to PVB extrusion process, Non-publish message, Retrim-CZ, Zlín.

[36] OICA, The International Organization of Motor Vehicle Manufacturers,.2014. [cit. 8.5. 2016], dostupné na internete: http://www.oica.net/category/production-statistics/2014-statistics/

[37] Gorokhovski A.V. Escapante-Garcia et al. 2005. Composite materials based on wastes of flat glass processing, Waste Management, Vol. 25, pp. 733 – 736.

[38] Ducháček, V. 2006. Polymery – výroba, vlastnosti, zpracování, použití, 2. vyd., Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006, ISBN 80-7080-617-6

[39] Svoboda, J. 1987. Studium vlastností polyvinylbutyralových fólií, Kandidátska dizertačná práca, VUT v Brne, Fakulta technologická.

[40] Popelková, J. 2009. Porovnání mechanických a fyzikálních změn vlastností PVB při různých typech degradací, Diplomová práce, UTB v Zlíne, Fakulta technologická.

[41] Měřínská, D., Tupý, M., Kašpárková, V. 2009. Degradation of plasticized PVB during reprocessing by kneading, Macromolecular Symposia, č. 286, str. 107 – 115.

[42] Matys, V. 1973. Studium adhezívních vlastností PVB fólie ke sklu, Diplomová práca, VUT v Brne, Fakulta technologická v Zlíne.

[43] Plaček T. 2006. Study of impurities separation and PVB trim waste re-processing, Sindat engineering.

[44] Tupý M., Měřínská D., et al. 2010. Influence of water and magnesium ion on the optical properties in various plasticized PVB sheets, Accepted for publication in Journal of Applied Polymer Science, Vol. 118, pp. 2100 –2108.

[45] Tupy, M., Merinska, D., Svoboda, P., Kalendova, A., Klasek, A., Zvonicek, J. 2013. Journal of Applied Polymer Science, 127, 3474.

[46] Česká asociace odpadového hospodářství (CAOH). 2014. [cit. 16.5.2016], dostupné na internete: http://www.caoh.cz/odborne-clanky-a-aktuality/caoh-prinasi-dalsi-pozitivni-priklad-materialoveho-vyuziti-odpadu-v-cr-penove-sklo.html

[47] EARCH.CZ. 2006. [cit. 16.5.2016], dostupné na internete: http://www.earch.cz/cs/stoly-stolky-z-noveho-ekologickeho-materialu

[48] ŠOOŠ, Ľubomír – POKUSOVÁ, Marcela – MATÚŠ, Miloš – RAFAJ, Milan – BIATH, Peter – ONDRUŠKA, Juraj. Expertná analýza možnosti aplikácie nových technológií v procese spracovávania odpadového skla nespracovateľného bežnými technológiami. Bratislava STU Strojnícka fakulta 2015. 38 s.

Materiálová recyklácia kovonosných odpadov s obsahom definovaných nedostatkových kovov do predajných produktov

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

Hlavný riešiteľ:
prof.Ing. Tomáš Havlík, DrSc

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

5 Materiálová recyklácia kovonosných odpadov s obsahom definovaných nedostatkových kovov do predajných

5.1 Úvod

Hlavným zameraním združenia UNIVNET je združenie kritickej masy výskumného, vývojového a aplikačného potenciálu Slovenskej republiky, zamerané na problematiku nových technológií a techník efektívneho zhodnocovania odpadov najmä v automobilovom priemysle s cieľom minimalizovať negatívne dopady na životné prostredie a šetriť primárne energetické a surovinové zdroje.

Združenie sa pri svojich aktivitách riadi základnými dokumentmi Európskej komisie venovanými problematike kritických surovín nevyhnutných pre udržanie konkurencieschopnosti EÚ, stratégii predchádzania vzniku odpadu a jeho recyklácie, smernicami Európskeho parlamentu a Rady o odpade, o vozidlách po dobe životnosti, o koncovom stave odpadu, o kritických surovinách nevyhnutých pre fungovanie EÚ. Zároveň sa riadi znením platného zákona o odpadoch .

Na tomto základe v chápaní aplikácií pre potreby najmä Slovenskej republiky sa rozhodlo, že jednou z riešených úloh je materiálová recyklácia a zhodnocovanie nedostatkových kovonosných odpadov najmä z vyradených automobilov a perspektíva do budúcnosti v tejto oblasti. Nositeľom tejto úlohy je v prostredí združenia UNIVNET Ústav recyklačných technológií Fakulty materiálov, metalurgie a recyklácie Technickej univerzity v Košiciach.

5.2 Súčasný stav

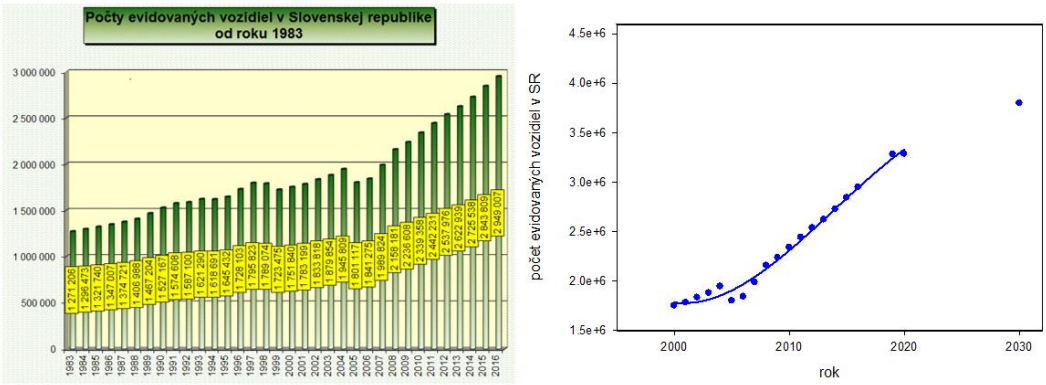
Súčasná štruktúra mobility v oblasti osobných automobilov na Slovensku sa skladá z majoritného počtu osobných automobilov na báze spaľovacích motorov a malého množstva elektrických, prípadne hybridných automobilov. Celkový počet evidovaných motorových vozidiel v SR je 3 286 258 [1]. Celkové množstvo elektromobilov v SR v roku 2020 je cca 1336 tak, ako to znázorňuje Tab. 5.1 Stav vozidlového parku k 31.12.2019 (len elektrické vozidlá) [2].

Tab. 5.1 Stav vozidlového parku k 31.12.2019 (len elektrické vozidlá) [2]

Kategória vozidla	Počet z VIN
M1 – osobné vozidlo, max. 8 miest na sedenie okrem miesta pre vodiča	1195
M1G – osobné terénne vozidlo	1
M3 – autobus nad 5 000 kg, viac ako 8 miest na sedenie okrem miesta pre vodiča	47
N1 – nákladné do 3 500 kg najväčšej prípustnej hmotnosti	93
Celkový súčet	1336

Prognózy hovoria, že do roku 2030 sa bude v Európe predávať viac elektromobilov a hybridov než áut so spaľovacím motorom. Podiel elektrických vozidiel dosiahne 40 % zo 16 miliónov v EÚ novo registrovaných automobilov za rok [3]. Extrapolácia

nárastu všetkých motorových vozidiel na Slovensku v jednotlivých rokoch, Obr. 5.1 a), hovorí o tom, že tento by mal dosiahnuť v roku 2030 počet cca 3 800 000, Obr. 5.1. b).



a) Extrapolácia nárastu všetkých motorových vozidiel na Slovensku v jednotlivých rokoch

b) Počet novo evidovaných vozidiel v SR cca 3 800 000

Obr. 5.1 Rast počtu motorových vozidiel v SR [1]

Takéto množstvá sú mimoriadne vysoké, ak uvážime, že počet obyvateľov SR v aktívnom veku je v súčasnosti 4 450 000 [4], čo predstavuje 1,35 človeka na vozidlo. Ak má podľa prognóz podiel elektrických vozidiel v roku 2030 dosiahnuť 40 % z novo registrovaných automobilov za rok, toto v slovenských podmienkach predstavuje počet okolo 1 520 000 vozidiel, čo by prinieslo obrovskú záťaž na infraštruktúru, zdroje elektrickej energie, počet nabíjacích staníc a pod. Nezanedbateľný problém by predstavovala recyklácia a spracovanie vyradených vozidiel so spaľovacím motorom. V súčasnosti sa v SR spracováva cca 40 000 vyradených vozidiel ročne, hoci kapacita recyklačných zariadení je na úrovni cca 70 000 vozidiel ročne. V každom prípade však vznikne potreba vyradiť a spracovať cca 1 500 000 vozidiel za 10 rokov, čo predstavuje priemerne 150 000 vozidiel ročne a zdá sa, že na takéto počty nie je Slovensko pripravené.

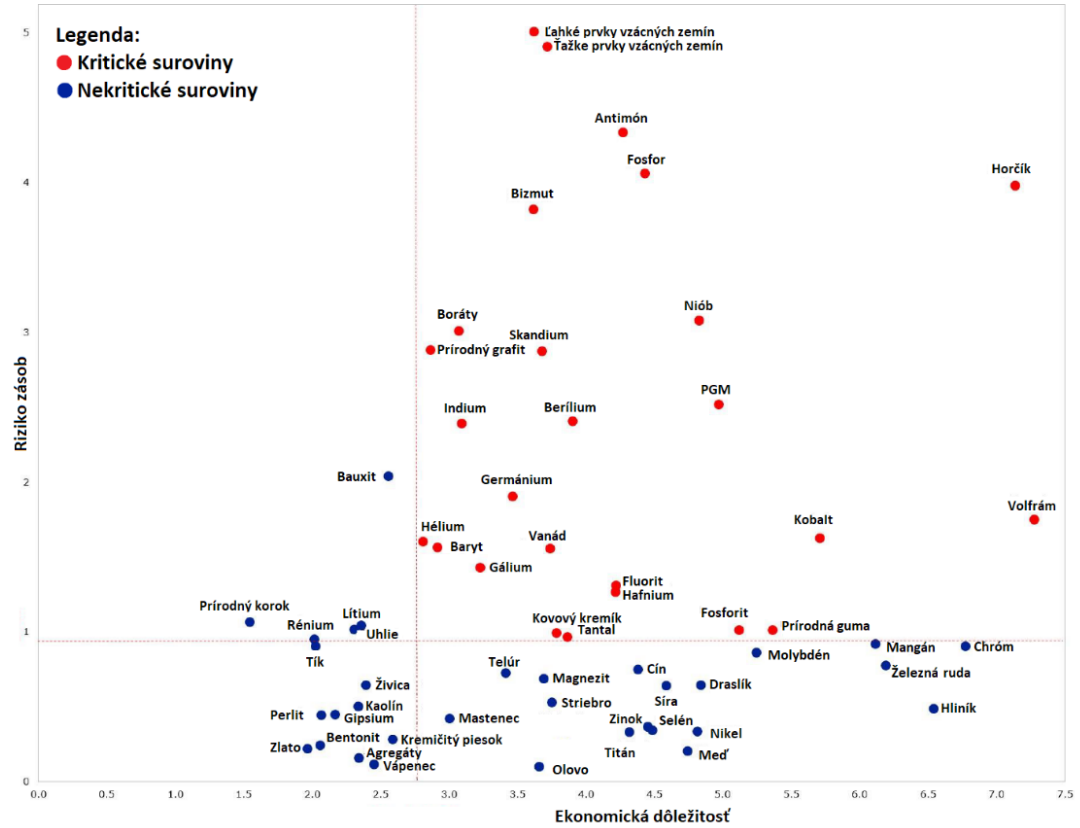
Vzhľadom na súčasnú situáciu sa však možno oprávnene domnievať, že tieto predpokladané čísla sa v slovenských podmienkach nedodržia. Podľa Repíkovej [5] bude síce rozvoj elektromobility v najbližších rokoch napredovať ako vo svete, tak aj na Slovensku a prechod na elektrický pohon prispeje k zníženiu spotreby fosílnych pohonných hmôt a k zlepšeniu kvality ovzdušia v exponovaných lokalitách so zhustenou dopravou. Aktuálny historický trend však naznačuje, že počet elektrických vozidiel vo vozovom parku SR môže v roku 2030 dosiahnuť 28 000 až 41 000. To je menej ako 1,2% – 1,8% súčasného počtu osobných vozidiel kategórie M1. V každom prípade však významne stúpne dopyt po elektrickej energii.

Uvedené fakty jednoznačne naznačujú potrebu materiálovej recyklácie jednotlivých zložiek vyradených automobilov. Celkový obsah kovov v bežnom osobnom vozidle je na úrovni 75 – 80 %, pričom sa v nich čoraz viac vyskytujú kovy s vysokou hodnotou a hlavne kovy, pre ktoré Európska únia nemá zdroje. Celkový nedostatok zdrojov v EÚ viedol už v roku 2008 k zverejneniu strategickej iniciatívy Kritické suroviny pre

Európsku úniu, ktorej výsledky sú každé tri roky prehodnocované a súčasným platným výsledkom je označenie 26, spomedzi 61 skúmaných kandidátov, kritických surovín nevyhnutných pre Európsku úniu (Tab. 5.2 Kritické kovy pre Európsku úniu (od roku 2017)).

Tab. 5.2 Kritické kovy pre Európsku úniu (od roku 2017)

Antimón	Gálium	Horčík	Skandium
Baryt	Germánium	prírodný grafit	Kremík
Berýlium	Hafnium	prírodný kaučuk	Tantal
Bizmut	Hélium	Niób	Wolfram
Boráty	Ťažké kovy vzácnych zemín	platinové kovy	Vanád
Kobalt	Indium	fosfáty	
Fluorit	Ľahké kovy vzácnych zemín	fosfor	



Obr. 5.2 Kritické suroviny pre Európsku úniu [6]

Medzi tieto kritické suroviny je zaradených 18 kovov (označených modrou farbou), ktorých je v skutočnosti 39, keďže skupina platinových kovov obsahuje 6 kovov, a skupiny ľahkých a ťažkých kovov vzácnych zemín spolu 18 kovov.

Nedostatok kritických surovín sa posudzuje v koordinátach rizika zásobovania a ekonomickej dôležitosti. Výsledkom je graf, Obr. 5.2, z ktorého aj vyplýva poradie dôležitosti jednotlivých kritických surovín pre EÚ.

Z uvedeného aj vyplýva, že proporcionálne podľa dopytu sa bude aj hýbať cena jednotlivých kovov. Tab. 5.3 Ceny kritických kovov [20.2.2020] zobrazuje súčasné ceny kritických kovov.

Tab. 5.3 Ceny kritických kovov [20.2.2020]

Kov		**cena US$/t**		**Kov**		**cena US$/t**
Antimón	Sb	5 900	ťažké kovy vzácnych zemín	Dysprózium	Dy	4 700 000
Berýlium	Be			Európium	Eu	10 000 000
Bizmut	Bi	148 000		Holmium	Ho	650 000
Kobalt	Co	33 000		Lutécium	Lu	3 000 000
Gálium	Ga	229 000		Skandium	Sc	20 000 000
Germánium	Ge	120 000		Terbium	Tb	15 000 000
Hafnium	Hf	149 000		Túlium	Tm	1 000 000
Horčík	Mg	2 500		Yterbium	Yb	150 000
Niób	Nb	42 280		Ytrium	Y	75 000
Kremík	Si	6 700	ľahké kovy vzácnych zemín	Lantán	La	37 000
Tantal	Ta	151 800		Cér	Ce	60 000
Wolfram	W	30 300		Prazeodým	Pr	660 000
Indium	In	287 000		Neodým	Nd	45 000
Vanád	V	88 000		Prométeum	Pm	460 000 000
				Samárium	Sm	5 000 000
				Gadolínium	Gd	14 600 000
				Skandium	Sc	3 460 000
				Erbium	Er	17 500 000
			platinové kovy	Irídium	Ir	46 885 000
				Osmium	Os	12 462 000
				Paládium	Pd	76 044 000
				Platina	Pt	30 280 000
				Ródium	Rh	360 592 000
				Ruténium	Ru	7 944 000

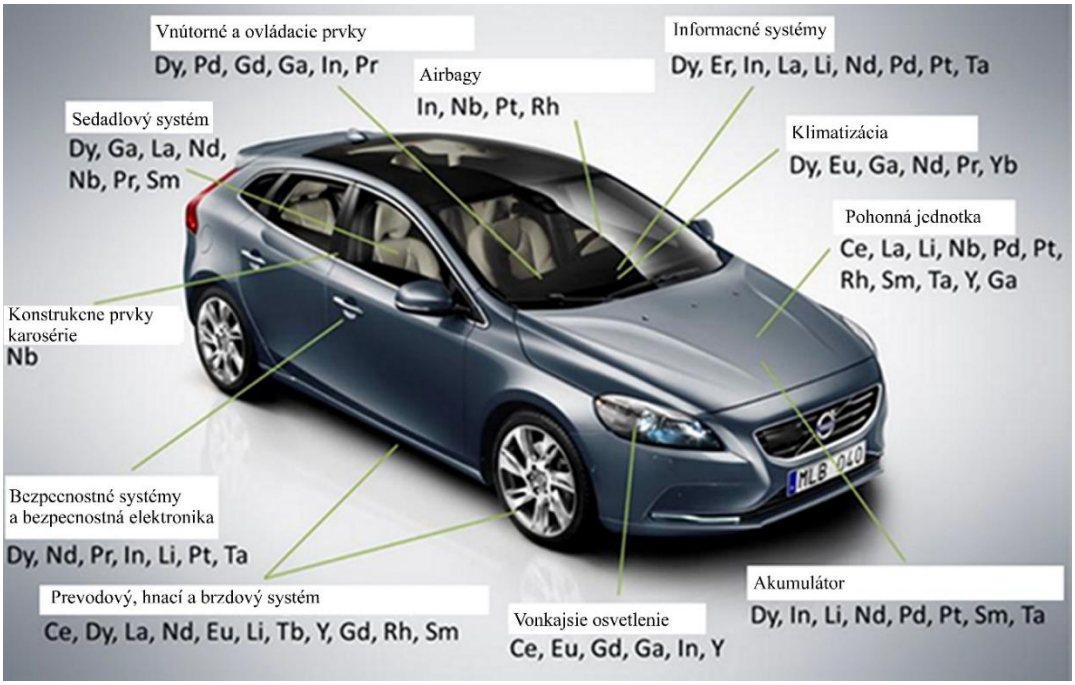
5.3 Materiálové zloženie motorových vozidiel

Obecné materiálové zloženie motorových vozidiel znázorňuje Obr. 1.13 a Obr. 1.14. Je samozrejmé, že množstvá jednotlivých kovov sa v jednotlivých vozidlách líšia v závislosti od značky, roku výroby, ale najmä od typu požívaného paliva.

V súčasnosti sa majoritne využívajú vozidlá, poháňané spaľovacím motorom s používaným palivom benzín, nafta, CNG, LPG, prípadne alkohol. Postupne sa však

dostávajú do užívania vozidlá poháňané elektrickou energiou, či už hybridné, alebo plne elektrické, využitím elektrických akumulátorov, alebo tiež vozidlá využívajúce na pohon vodík, či už priamym spaľovaním, alebo prostredníctvom palivových článkov. Takéto vozidlá používajú pre svoje konštrukčné diely množstvo iných kovov ako klasické vozidlá so spaľovacím motorom.
Kovové zložky v klasickom motorovom vozidle so spaľovacím motorom sú tvorené najmä oceľou, liatinou, hliníkom, meďou, zinkom, horčíkom a ďalšími neželeznými kovmi, Obr. 1.13 a Obr. 1.14. Oceľ, liatina a hliník sú zastúpené prevažne v karosérii, motore a nosných dieloch vozidla. Ostatné neželezné kovy sú zastúpené v menšej miere a to najmä meď a ušľachtilé kovy v elektrických dieloch a elektronike, olovo v štartovacom akumulátore, zinok v pozinkovanej karosérii, chróm v pochrómovaných častiach, kovy platinovej skupiny v autokatalyzátoroch a podobne. V súčasnosti sa pozornosť venuje najmä získavaniu kovov na báze železa, hliníka a medi. Tieto však podľa direktív EÚ pri splnení predpísaných požiadaviek môžu nadobúdať stav konca odpadu [7,8]. Úplne sa recyklujú olovené akumulátory a získava sa olovo [9].

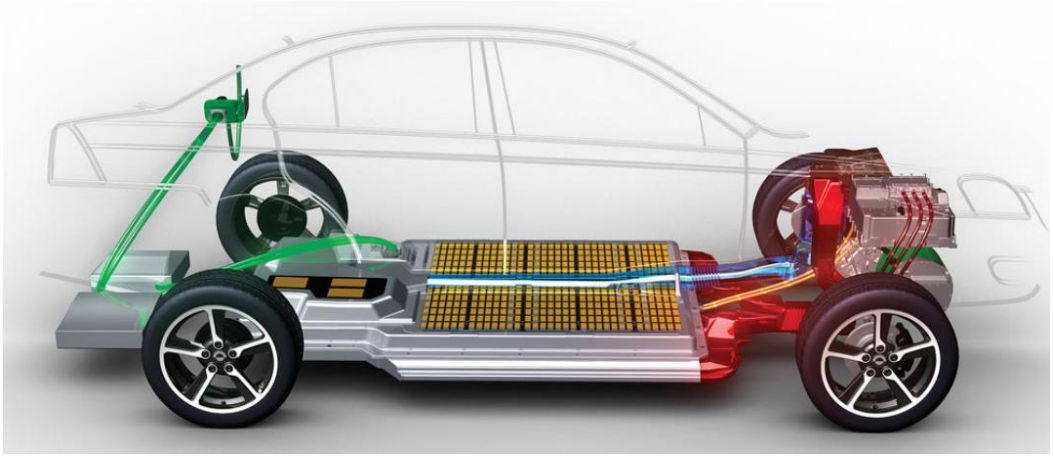
Typický príklad materiálového zloženia elektromobilu je zobrazený na Obr. 5.3.



Obr. 5.3 Materiálové zloženie elektromobilu [10]

Osobitná pozornosť je venovaná pohonnej jednotke. Obr. 5.4 zobrazuje umiestnenie akumulátora v elektromobile, Obr. 5.5 zobrazuje detailný pohľad na akumulátor vozidla Tesla.
V decembri 2015 začala Európska komisia so zavádzaním akčného plánu obehovej ekonomiky ako obnovenej stratégie už existujúcich opatrení prechodu krajín EÚ na ekonomiku s nízkou uhlíkovou stopou, ktorej cieľom je maximalizácia využívania materiálového potenciálu vznikajúcich odpadov a efektívna substitúcia primárnych

surovín sekundárnymi. Cieľom akčného plánu je taktiež podpora výroby environmentálne priateľských produktov s minimalizáciou vzniku odpadov v jednotlivých častiach diagramu obehovej ekonomiky zobrazeného na Obr. 5.6 s možnosťou ich jednoduchšej recyklácie. Výhodou zvyšovania miery recyklácie je okrem ekonomických aspektov aj šetrenie primárnych surovín, šetrenie energií, znižovanie emisií CO_2, redukcia množstva odpadov končiacich na skládkach, ochrana jednotlivých zložiek životného prostredia a tvorba nových pracovných miest v novovzniknutých recyklačných spoločnostiach [11].



Obr. 5.4 Umiestnenie akumulátora v elektromobile



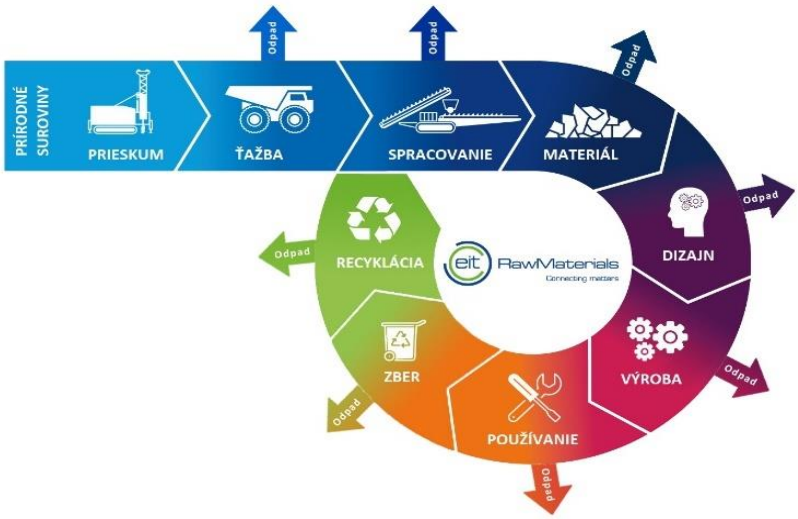
Obr. 5.5 Akumulátor elektromobilu Tesla

5.4 Zhrnutie

Vo svetle zadanej úlohy a uvedených skutočností možno konštatovať nasledovné skutočnosti:

Počet registrovaných motorových vozidiel triedy M1 na Slovensku je vysoký a prirodzeným spôsobom budú vyraďované, čo evokuje potrebu ich recyklácie. Vzhľadom na zvyšujúci sa trend využitia motorových vozidiel s alternatívnym pohonom, budú tieto postupne nahrádzať vozidlá s klasickým spaľovacím motorom, čo

znamená, že potreba recyklácie vyradených vozidiel bude čoraz vyššia a môže presiahnuť súčasné recyklačné kapacity SR.



Obr. 5.6 Diagram obehovej ekonomiky [11]

Okrem osobných vozidiel a malých nákladných vozidiel, ktoré je z legislatívneho hľadiska povinnosť recyklovať, existuje veľké množstvo ďalších vozidiel, nepodchytených odpadovou legislatívou, ako nákladné autá, autobusy, poľnohospodárske a lesnícke vozidlá, špeciálne pásové vozidlá, stavebné vozidlá, motocykle, motorové trojkolky, elektrobicykle a elektrokolobežky, atď., ktoré predstavujú veľký materiálový potenciál a mali by byť recyklované po uplynutí ich životnosti. Problém nie je len v úniku ich materiálového potenciálu, ale aj v tom, že principiálne je to nebezpečný odpad, ktorý nemusí byť náležite spracovaný a tým ohrozuje životné prostredie.

Stredná doba životnosti vozidiel je približne 10 rokov, čo znamená, že v súčasnosti a blízkej budúcnosti vyradené vozidlá sú prakticky postavené na pomerne modernej koncepcii s veľkým množstvom bezpečnostných a informačných prvkov a tým pádom obsahujú čoraz vyššie množstvo cenných kovových zložiek s vysokou hodnotou.

Pochopiteľne, nejedná sa len o vyradené vozidlá po uplynutí ich životnosti, ale aj čiastočne, alebo úplne poškodené vozidlá po škodových udalostiach. V posledných rokoch sa na území Slovenska stáva približne 15 000 dopravných nehôd, čo máva za následok aj poškodenie, alebo vyradenie vozidla pred uplynutím jeho životnosti.

Novozavádzaný segment vozidiel na báze elektropohonu nesie so sebou kvalitatívne úplne nové pohľady na ich recykláciu. Ich materiálové zloženie je z hľadiska počtu použitých konštrukčných dielov jednoduchšie, ale jednotlivé diely obsahujú množstvo cenných kovov v širokom spektre kovov s vysokou hodnotou, hoci v pomerne malom množstve, najmä kovov vzácnych zemín a kovov platinovej skupiny. Toto je aj zrejme dôvod, prečo v hierarchii kritických surovín sa kovy vzácnych zemín dostali na vrchol dôležitosti a záujmu.

Počet použitých kovov vo vozidlách je vysoký a po ich opätovnom získaní často aj s vysokou pridanou hodnotou. Z tohto hľadiska je potrebné určiť priority, ktoré určia

budúce zameranie recyklácie vyradených vozidiel. Kritéria výberu nie sú jednoduché a musia sa určiť na základe zvolených priorít a samozrejme vo svetle smerovania projektu. Tieto by minimálne mohli nasledovné:

- aká je cena potenciálne získaného kovu ?
- aká je pridaná hodnota získaného kovu ?
- existujú známe teoretické postupy získania toho ktorého kovu ?
- existujú úzke miesta získavania tých – ktorých kovov alebo ich zlúčenín ?
- ako je zabezpečená analytická časť tohto projektu z hľadiska prístrojového vybavenia a z hľadiska nevyhnutného spotrebného materiálu ?
- ako je zabezpečená laboratórna, prípadne poloprevádzková experimentálna časť projektu ?
- existuje známa technológia na recykláciu toho ktorého 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 management ? (z hľadiska experimentovania a z hľadiska navrhnutej výroby)
- aký finančný objem je možné využiť na teoretické a experimentálne štúdium daného procesu v rámci tohto projektu ?

5.5 Návrhy riešení

Z hľadiska obsahu základných kovov v starých vozidlách sa ponúka možnosť recyklácie železa a ocele z karosérií a konštrukčných dielov, hliníka a horčíka z motora a konštrukčných dielov, medi z elektroinštalácie, olova zo štartovacích akumulátorov a podobne. Tieto procesy sú však viac menej zvládnuté a pokryté jestvujúcimi recyklačnými prevádzkami v SR a s následnou finalizáciou do kovového produktu. Ďalšou zaujímavou možnosťou je recyklácia kovov platinovej skupiny z autokatalyzátorov, prípadne recyklácia elektroodpadu zo starých vozidiel, alebo niektorých špeciálnych častí, ako airbagy, brzdové systémy, riadiace jednotky a podobne.

Z tohto hľadiska je na uváženie fakt, že recyklovaný odpad na báze železa, ale aj hliníka a medi má relatívne malú pridanú hodnotu, ale vyskytuje sa vo väčšom množstve. Na druhej strane, ani takéto množstvá nemusia byť pre výrobcov primárneho kovu úplne zaujímavé. Napr. produkcia ocele v USSteel Košice, s.r.o. je na úrovni 4 000 000 ton ročne, Železiarne Podbrezová, a.s. produkuje 300 000 ton ocele ročne, Slovalco, a.s., Žiar nad Hronom produkuje 175 000 ton hliníka ročne, Kovohuty, a.s., Krompachy produkujú ročne 50 000 ton medených anód ročne. Z tohto hľadiska sú množstvá základných kovov, získaných recykláciou vyradených vozidiel menej zaujímavé.

Preto je potrebné zamerať sa skôr na kovy s vysokou pridanou hodnotou. Elementárny pohľad na Tab. 5.3 Ceny kritických kovov [20.2.2020] a následne na Obr. 5.2 ponúka

šancu na možnosť získavania kritických kovov pre EÚ. Už však bolo povedané, že celkové množstvá použitých kovov vzácnych zemín sú pomerne nízke a rozptýlené do rôznych kompozitných súčiastok a dielov, čo automaticky prináša problémy pre ich spracovanie. Z tohto hľadiska je potrebné v prvom kroku vytypovať individuálne automobilové diely, ktorých materiálové zloženie je pomerne konštantné, vyskytujú sa v zaujímavých množstvách a obsahujú zaujímavé zložky. Zároveň sa očakáva, že takéto diely nebudú prechádzať dramatickým vývojom a teda významnými materiálovými zmenami.

5.6 Navrhované komodity pre recykláciu z vyradených vozidiel

Na základe uvedených úvah navrhujeme pre recykláciu nasledovné súčasti a kovy z vyradených vozidiel:

5.6.1 Lítiové batérie a akumulátory

Čoraz častejšie využívané elektrické články na báze lítia (LiBa) po uplynutí ich životnosti sú potenciálnym zdrojom cenných kovov a kritických surovín lítia, kobaltu, niklu, mangánu, medi, hliníku, nehrdzavejúcej ocele a prírodného grafitu. Navyše, hoci elektrické články na báze lítia nie sú v Katalógu odpadov zaradené medzi nebezpečný odpad, v skutočnosti predstavujú vysoké potenciálne nebezpečenstvo pri manipulácii s nimi najmä pre vysoké zvyškové napätia a vysokú výbušnosť.

Ročne sa v krajinách EÚ uvedie na trh viac ako 70 000 ton lítiových batérií a akumulátorov, ktoré sa dovážajú samostatne, ako súčasť elektrických alebo elektronických zariadení a tiež ako akumulátory používané v hybridných a elektrických vozidlách, ktoré sa zákonite stávajú postupne odpadmi.

Možnosti spracovania LiBa v zásade možno rozdeliť na pyrometalurgické a hydrometalurgické, pričom v súčasnosti prevládajú pyrometalurgické metódy recyklácie, ktorých cieľom je získavanie zliatiny s obsahom kobaltu a niklu. Do trosky sa dostávajú ostatné prítomné kovy a taktiež časť kobaltu a niklu. Tá v súčasnosti nie je ďalej spracovávaná a využíva sa len ako stavebný materiál, čím sa nenávratne stráca časť cenných kovov. Na druhej strane hydrometalurgické procesy umožňujú komplexnejšie zhodnocovanie s možnosťou selektívneho získavania jednotlivých zložiek, ktoré sa v pyrometalurgickom zhodnocovaní nezískavajú.

V posledných rokoch sa čoraz väčšia pozornosť venuje recyklácii lítiových akumulátorov, hoci z dôvodu nákladného recyklačného procesu je v súčasnosti primárny zdroj lítia nákladovo efektívnejší. Pri recyklácií sa pozornosť sústreďuje na získavanie kobaltu a niklu pričom lítium v ostáva v troske, z ktorej sa zatiaľ nezískava hoci obsah lítia vo vznikajúcich troskách môže prevyšovať koncentráciu v rudách. V rudách sa nachádza lítium v množstvách 0.2 – 1.8 %, a teda sa trosky stávajú zaujímavé aj pre funkčnú recykláciu lítia.

Kritický kov kobalt je prítomný v lítiových akumulátoroch. Ročne sa vo svete vyrobí 135 500 ton Co, pričom výroba je sústredená v Kongu (64%), Číne (5%) a Kanade (5%). Množstvo vyrobeného kobaltu v EÚ je 1233 t, čiže 0.9% celosvetovej výroby. Spotreba kobaltu pre EÚ je 32 000 ton, pričom len 12 000 ton (37,5%) pochádza zo zdrojov EÚ. Z toho vyplýva, že zvyšok je nutné dovážať. Získavanie kobaltu

z druhotných surovín pre dopyt EÚ je v súčasnosti na úrovni 35%, čo predstavuje 11 200 ton a teda väčšina Co výrobkov sa vyrába z druhotných zdrojov. Dobrými zdrojmi kobaltu sú lítiové akumulátory s obsahom kobaltu až
do 15% a tiež niklové akumulátory s obsahom do 3% Co. Ostatnými zdrojmi môžu byť trosky z pretavovania ocelí s obsahom Co, magnety, OEEZ, kde sa Co využíva v kontaktoch (ako 15% zliatina so zlatom), v polovodičových súčiastkach a ako $CoSi_2$ obal pre integrované obvody s vysokou vodivosťou. V katalyzátoroch sa používa na odstránenie síry pri výrobe olejov a pre výrobu prekurzorov slúžiacich na výrobu PET plastov.

5.6.2 Typy batérii a akumulátorov

Batéria je podľa zákona o odpadoch [12] zdroj elektrickej energie vyrobenej priamou premenou chemickej energie, pozostávajúci z jedného alebo viacerých primárnych nedobíjateľných článkov a akumulátor pozostáva z jedného alebo viacerých sekundárnych dobíjateľných článkov. Batérie a akumulátory členia podľa účelu a miesta ich použitia na prenosné, priemyselné a automobilové.

Prenosné batérie alebo akumulátory sú hermeticky uzavreté elektrochemické články alebo sady viacerých článkov, ktoré sa môžu ručne prenášať a súčasne nie sú priemyselnou ani automobilovou batériou alebo akumulátorom. Základne chemické prvky na ktorých princípe tieto elektrochemické články fungujú sú zinok, olovo, nikel alebo lítium.

Priemyselná batérie alebo akumulátory sa používajú výhradne na priemyselné alebo profesionálne použitie alebo v dopravnom prostriedku poháňanom elektrickou energiou. V prípade elektrických dopravných prostriedkoch sa v minulosti používali taktiež olovené akumulátory, neskôr niklové a v súčasnosti lítiové akumulátory.

Automobilový akumulátor sa používa pre účely štartovania, osvetlenia alebo spúšťania motora vozidla, avšak nie na pohon. Pre tieto akumulátory sa používajú výlučne elektrochemické články na báze olova.

V súčasnosti sa do popredia dostávajú lítiové akumulátory, ktoré sa na trh dostávajú ako samostatné produkty, ako súčasť elektrických a elektronických zariadení a v súčasnosti čoraz častejšie ako pohon elektromobilov, e-bikov, e-kolobežiek alebo ako priemyselné záložné zdroje elektrickej energie. Svoje využitie nachádzajú aj primárne batérie na báze lítia, ktoré vďaka svojím vlastnostiam postupne nahrádzajú najviac používané alkalické batérie.

Lítium sa v lítiových akumulátoroch používa vo forme oxidov a z toho dôvodu sa často nazývajú aj lítium iónové. Vrstva oxidov lítia, inak nazývaná aj aktívna hmota, je nanesená na hliníkovej katóde. Anódu tvorí medená fólia, na ktorej je nanesená vrstva uhlíka. Medzi elektródami sa nachádzajú elektrolyty, poprípade semipermeabilné separátory, ktoré umožňujú prechod Li^+ iónov podľa príslušných chemických rovníc. Nabíjaním dochádza k oxidácii lítia zo štruktúry $LiMO_2$ ktoré sa deponuje na anóde vo forme Li_xC. Po pripojení na záťaž dochádza ku generovanie elektrickej energie v dôsledku opätovnej redukcie lítia a uvoľneniu voľných elektrónov.

5. Materiálová recyklácia kovonosných odpadov s obsahom definovaných nedostatkových kovov do predajných produktov

V súčasnosti sa pre výrobu lítiových akumulátorov najčastejšie používajú katódové materiály na báze LiCoO2 (LCO), LiMn2O4 (LMO), LiNiMnCoO2 (NMC), LiFePO4 (LFP), LiNiCoAlO2 (NCA).
Ako anódové materiály sa používa grafit. Jeho nevýhodou je, že pre naviazanie jedného atómu lítia je nutné použiť 6 atómov uhlíka. Výrobcovia preto uvažujú nad zámenou grafitu kremíkom, avšak výroba čisto kremíkových anód je obmedzená z dôvodu jeho veľkej zmeny objemu počas cyklov nabíjania a vybíjania. Grafitová anóda mení svoj objem o 10% avšak kremíková o 400%. Takéto zmeny v objeme by viedli k trvalému poškodeniu akumulátorov. Z toho dôvodu sa výskum zameriava na možnosti vytvorenia zmesových anód tvorených grafitom s malým množstvom kremíka [13].
Elektrolyty sa nachádzajú v lítiových elektrochemických článkoch medzi jednotlivými elektródami a ich úlohou je umožniť prechod iónom lítia z katódy na anódu bez toho aby došlo k prechodu elektrónov. Z chemického hľadiska sú tvorené rôznymi kombináciami solí lítia ako napríklad LiPF6, LiClO4, LiSO2, LiAsF6 a LiBF4 v zmesi uhličitanových rozpúšťadiel [14]. Z hľadiska budúcej recyklácie vyplýva, že aj v rámci lítiových akumulátorov sa chemické zloženie môže značne meniť, čo môže viesť ku komplikáciám v prípade ich zhodnocovania.
Na európsky trh sa každý rok uvádza veľké množstvo PPBaA s obsahom lítia. Aj keď sa lítiové BaA v súčasnosti dovážajú, v blízkej budúcnosti je naplánované otvorenie až 10 fabrík, ktoré by mali pokryť ich rýchlo narastajúcu spotrebu v elektronike a EV. Dokopy je odhadovaná produkcia 75GWh akumulátorov ročne [15]. To bude mať za následok enormný nárast v množstve a zastúpení lítiových batérií a akumulátorov uvádzaných na trh a taktiež v spotrebe jednotlivých materiálov, ktorá sa v nich používajú.
Ku dňu 26.1.2018 je na Slovensku registrovaných 1499 výrobcov batérií a akumulátorov [16], ktorí využívajú služby organizácií zodpovednosti výrobcov OZV a tretích osôb pre batérie a kumulátory, uvedených v Tab. 5.4 Organizácie zodpovednosti výrobcov pre batérie a akumulátory na Slovensku [16].

Na Slovensku však v súčasnosti nie je ani jedna spoločnosť, ktorá by spracovávala lítiové elektrické články úplnou materiálovou recykláciou.
Súčasné recyklačné technológie lítiových batérií a akumulátorov musia dosiahnuť minimálne 50% zhodnotenie priemernej hmotnosti použitých lítiových batérií a akumulátorov s minimálnym dopadom na životné prostredie a zdravie osôb a taktiež musia byť vyhodnotené ako BAT. Recyklácia sa uberá v troch základných smerovaniach, zahrňujúcich fyzikálno-mechanickú predúpravu, pyrometalurgické a/alebo hydrometalurgické spracovanie, alebo aj kombináciu pyro-hydrometalurgického spracovania.

Mechanické postupy pozostávajú zo zdrobňovania a následných triediacich procesov. Cieľom zdrobňovania je narušenie súdržnosti kompozitných materiálov, zmenšiť ich zrnitosť najčastejšie drvením a mletím a sprístupniť tak zložky nachádzajúce sa v systéme pre ďalšie spracovanie. Triedenie sa používa na oddelenie jednotlivých

zložiek matrice na základe ich fyzikálnych, mechanických alebo chemických vlastností, pričom tieto procesy zahrňujú triedenie na sitách a roštoch, magnetickú separáciu, elektrodynamickú separáciu, optické a senzorové triedenie, triedenie vo vzdušných a vodných médiách a ďalšie. K mechanickým procesom je možné zaradiť aj procesy ako peletizácia, briketovanie, paketovanie, pričom ich úlohou je spájanie materiálov do väčších zbalkov. Cieľom mechanickej predúpravy je v prípade spracovania lítiových akumulátorov oddelenie obalu, plastov a materiálu elektród od aktívnej hmoty, ktorá je tvorená katódovým a anódovým materiálom.

Tab. 5.4 Organizácie zodpovednosti výrobcov pre batérie a akumulátory na Slovensku [16]

Názov	IČO	Číslo autorizácie	Adresa
ENVIBAT	50242326	0034/BaA/OZV/A/16-3.3	Medený Hámor 6541/15, Banská Bystrica
MACH TRADE, spol. s r. o.	31347011	0003/BaA/TRO/A/16-3.3	Niklová ul., Sereď
INSA, s.r.o.	36024376	0002/BaA/TRO/A/16-3.3	Niklová ul., Sereď
Spoločný baterkový systém,n.o.	45742871	0022/BaA/OZV/A/16-3.3	Párovská 44, Nitra
SLOVMAS, a. s.	44946422	0070/BaA/OZV/A/16-3.3	Na paši 4, Bratislava
ASEKOL SK s.r.o.	45602689	0013/BaA/OZV/A/16-3.3	Lamačská cesta 45, Bratislava
SEWA, a.s.	35942355	0023/BaA/OZV/A/16-3.3	Račianska 71, Bratislava
NATUR-PACK, a.s.	35979798	0024/BaA/OZV/A/16-3.3	Ružová dolina 6, Bratislava
E-cycling s.r.o.	44714203	0033/BaA/OZV/A/16-3.3	Nad plážou 14554/33, Banská Bystrica
POWER BATTERY, s.r.o.	47335009	0036/BaA/TRO/A/16-3.3	Majerská cesta 36, Banská Bystrica
ŽOS-EKO, s.r.o.	36002445	0008/BaA/TRO/A/16-3.3	Dielenská Kružná 2, Vrútky

Mechanické poškodenie lítiových akumulátorov počas ich spracovania môže viesť ku skratu následkom zvyškových napätí, čo vedie ku zvýšeniu ich teploty a následne až ku vzniku požiaru alebo explózie. Preto je nutné predchádzať vzniku požiaru, resp. explózie počas predúpravy. Toto je jednou z najvýznamnejších operácií celého spracovania Li elektrických článkov a je potrebné teoreticky a experimentálne určiť a overiť optimálne spôsoby takejto operácie.

Pyrometalurgické metódy spracovania spočívajú v aplikácii vysokých teplôt v procese spracovania. Medzi tieto procesy patria najmä pyrolýza, kalcinácia, praženie, anaeróbna destilácia a tavenie. Procesy prebiehajú v oxidačnej, redukčnej alebo inertnej atmosfére, prípadne vo vákuu. Cieľom zvyčajne býva prevod kovov do zliatiny, ktorá sa ďalej spracúva. Časť kovov prechádza do trosky.

K výhodám pyrometalurgického spracovanie Li batérií a akumulátorov patrí najmä:

- možné využitie existujúcich prevádzok, čiže nižšie investičné náklady

- menšie nároky na triedenie vstupného materiálu a možnosť spracovania viacerých typov batérií a akumulátorov spoločne
- v niektorých prípadoch možnosť preskočenia mechanickej predúpravy.

K nevýhodám pyrometalurgického spracovania patria:

- vysoké prevádzkové náklady
- vysoké investičné náklady v prípade novej prevádzky
- potrebný dostatočný prísun vstupných surovín
- straty kovov prevodom do trosky
- nutnosť zachytávania a dočisťovania spalín.

Hydrometalurgické spracovanie spočíva v lúhovaní, čiže prevode kovov do roztoku a následnom získavaní kovov z roztokov, čiže extrakcii. Voľbou vhodných podmienok lúhovania je možné už v prvom kroku dosiahnuť vysokú selektivitu. Podľa vopred určených podmienok môže lúhovanie prebiehať v kyslých, alebo zásaditých roztokoch, v roztokoch solí, alebo ich kombinácií, kombinácií viacerých činidiel, vo viacerých stupňoch, pri rôznych teplotách, za prítomnosti oxidačných činidiel, miešania, pri rôznych tlakoch a mnohých ďalších podmienkach ovplyvňujúcich výslednú účinnosť. Všetky tieto parametre je nutné teoreticky odvodiť a experimentálne stanoviť. Vzniknuté roztoky sa následne od nerozpustných zvyškov oddeľujú najčastejšie filtráciou a roztoky sú tak pripravené pre ďalšie spracovanie alebo pre samotnú extrakciu cieľových kovov.

Opätovné získavanie kovov z roztokov opäť môže prebiehať viacerými cestami: kryštalizáciou, zrážaním alebo selektívnym zrážaním, vylučovaním málo rozpustných solí, cementáciou, elektrolytickým vylučovaním kovov z roztoku, atď. Pred samotným získavaním cieľových kovov z roztokov je často nutná rafinácia, pre ktorú sú okrem predchádzajúcich metód vhodné aj metódy ako absorpcia, adsorpcia, iónová výmena, kvapalinová extrakcia a iné.

Výhodami hydrometalurgického spracovania lítiových akumulátorov sú:

- nižšie investičné a prevádzkové náklady a možnosť regenerácie činidiel
- vhodné aj pre menšie množstva vznikajúcich odpadov
- vysoká selektivita procesu a čistota vznikajúcich produktov
- možnosť opätovného získavania grafitu
- toxické plyny vznikajú v menšom množstve, pričom môžu byť eliminované.

Nevýhodou týchto metód sú:

- vyššia citlivosť na zmenu zloženia vsádzky
- komplexnejšie technológie spracovania náročnejšie na kontrolu procesov
- neutralizácia vznikajúcich kvapalných odpadov a ich správne zneškodnovanie

Výskum v oblasti spracovania použitých lítiových akumulátorov sa v súčasnosti zameriava prevažne na hydrometalurgické, prípadne pyro-hydrometalurgické metódy spracovania. Tieto často využívajú aj mechanickú predúpravu.

5.6.3 Mechanická predúprava

Pre samotný hydrometalurgický proces s cieľom získavania kovov z aktívnej hmoty je potrebné jednotlivé zložky použitých lítiových akumulátorov účinne oddeliť. Veľká časť výskumu sa venuje spracovaniu aktívnej hmoty alebo individuálnemu spracovaniu katódového a anódového materiálu zvlášť, pričom sú tieto materiály v uvedených štúdiách oddeľované ručne. V prípade spracovania aktívnych hmôt vo väčších objemoch sa v štúdiách neuvádzajú konkrétne podmienky mechanickej predúpravy. Výskum sa v oblasti mechanickej predúpravy zameriava na analýzy a hodnotenia už využívaných krokov predúpravy drvenia a triedenia a taktiež sa zameriava na vývoj nových environmentálne prijateľnejších a účinnejších metód. Skúmanými témami sú znižovanie rizík vzniku požiarov počas drvenia, distribúcia kovov do jednotlivých zrnitostných tried, zvýšenie efektivity oddeľovania aktívnej hmoty od elektród a niektoré z uvedených štúdií sa venujú mechanicko-chemickej predúprave, ktorej cieľom je ešte pred procesom lúhovania zvýšenie jej efektivity [17 – 22].

5.6.4 Hydrometalurgické spracovanie

Obecne je potrebné konštatovať, že výskum sa v tejto oblasti významne uberá cestou hydrometalurgických metód, čo je lúhovanie v anorganických činidlách a/alebo solvometalurgických metód, čo je lúhovanie v nevodných organických činidlách. Vstupnými surovinami pre spracovanie sú najčastejšie aktívna hmota a získaná niektorými z mechanických úpravníckych procesov.

Medzi najčastejšie využívané anorganické lúhovadlo patrí kyselina sírová s prídavkom oxidačných činidiel, najčastejšie H_2O_2 [23 – 27]. Ďalšími skúmanými činidlami sú roztok kyseliny chlorovodíkovej [28 – 30], síranu amónneho alebo síranu sodného [31,32], glukózy [33], kyseliny octovej [34], kyseliny jablčnej [35], zmesi kyseliny jablčnej a citrónovej [36].

5.6.5 Pyrometalurgické spracovanie

Typickým pyrometalurgickým procesom spracovania použitých Li článkov je vysokoteplotné redukčné tavenie. V tomto procese sa žiadané kovy redukujú a získavajú v podobe zliatin, ktoré je nutné ďalej spracovať, nezriedka hydrometalurgicky . Cieľom je zvyčajne prevod niektorých kovov ako kobalt, meď, nikel do taveniny. Nevýhodou je prevod lítia a iných kovov do trosky, kde sa stratia [37].

Vo výskume [38] sa aplikovalo vákuové tavenie s cieľom odparenia lítia. Potrebné teploty sú však vyššie ako 1400^{o}C, čo diskvalifikovalo tento spôsob z ekonomického hľadiska. Ďalšie práce sa venovali praženiu aktívnej hmoty v ochrannej atmosfére dusíku alebo argónu [39,40]

Obecne sa recyklácii lítiových batérií a akumulátorov pyrometalurgickým spôsobom venuje relatívne malá pozornosť. Dôvodom zrejme je, že pokiaľ sa tieto články spracovávajú pyrometalurgicky, sú súčasťou vsádzky v robustných taviacich zariadeniach, kde tvoria malú časť vsádzky a prípadné zahorenie neovplyvní tavenie.

Hoci je získanie požadovaných kovov pyrometalurgickou recykláciou lítiových článkov relatívne jednoduché, tieto procesy nie sú priateľské voči životnému prostredia ani z hľadiska spotreby energie [41 – 44].
Z uvedeného prehľadu publikovaných výsledkov z oblasti výskumu vyplýva, že v súčasnosti sa prevažne skúmajú možnosti hydrometalurgického spracovania za použitia rozličných lúhovacích činidiel za prítomnosti oxidačných, alebo redukčných činidiel. Problémom uvedených experimentálnych štúdií je fakt, že vo väčšine prípadov spracovávajú ručne demontované katódové materiály, čo je pre využitie vo väčšom poloprevádzkovom meradle nevyužiteľné. Sledovalo sa získavanie najmä kobaltu, lítia, niklu a mangánu. Dosiahli sa účinnosti vylúhovania do roztoku na úrovniach 85 – 100 % Co, 85 – 100 % Li, 95 % Ni, 6,3 % Mn.

5.6.6 Priemyselné spracovanie použitých lítiových batérií a akumulátorov

V súčasnosti priemyselne spracováva použité LiBa viacero spoločností v komerčne využiteľných kapacitách. Tab. 5.5 Prehľad priemyselného spracovania odpadov lítiových batérií a akumulátorov uvádza prehľad dostupných údajov o spoločnostiach, ktoré uvádzajú, že spracovávajú vyradené lítiové batérie a akumulátory spolu s označením spôsobu spracovania. V prípadoch, označených otáznikom nie je známy spôsob spracovania [45].

5.6.7 Zhrnutie problematiky spracovania a recyklácie použitých lítiových batérií a akumulátorov

Spracovanie a recyklácia vyradených lítiových batérií a akumulátorov je v súčasnosti veľmi aktuálna problematika vzhľadom na významne vzrastajúcu spotrebu týchto článkov. Prakticky všetky malé elektronické zariadenia na svete (mobilné telefóny, notebooky, tablety, hodinky, kalkulačky, drobné medicínske zariadenia, rôzne prenosné meracie zariadenia, atď.) sú napájané z lítiových akumulátorov. K tomu postupne pribudnú akumulátory z vozidiel s úplným, alebo čiastočným elektropohonom.
Postupne sa definovali možné spôsoby recyklácie týchto akumulátorov s cieľom úplnej recyklácie a cieleného zisku kovov pyrometalurgickou, hydrometalurgickou alebo kombinovanou metódou. Pozornosť sa zameriavala najmä na zisk kobaltu, niklu, medi a mangánu. Postupne sa pozornosť rozširuje aj na získanie lítia, grafitu, použitého elektrolytu a kovov vzácnych zemín v nich obsiahnutých. Táto etapa nie je doriešená a je potrebné sa jej venovať.

Recyklácia akumulátorov z vozidiel s úplným, alebo čiastočným elektropohonom je na úplnom začiatku, keďže masovejší rozvoj elektromobility možno zaznamenať len za posledné dva – tri roky, pričom životnosť akumulátora je najmenej desať rokov. Najbližších najmenej desať rokov by spoločnosti na veľkokapacitnú recykláciu prakticky nemali čo robiť. To, čo v súčasnosti existuje, Tab. 5.5 Prehľad priemyselného spracovania odpadov lítiových batérií a akumulátorov, je výskum zameraný najmä na recykláciu malých prenosných lítiových batérií a akumulátorov. Z prevádzkovo-

ekonomického hľadiska je tak isto nezmyselné stavať zberné miesta formátu giga factory.

Tab. 5.5 Prehľad priemyselného spracovania odpadov lítiových batérií a akumulátorov

spoločnosť	**lokalita**	**vstupný materiál**	**spôsob**	**kapacita [t/rok]**
Shenzhen Green Eco-manufacturer	Čína	Li A	PM	20 000
Umicore	Belgicko	Li A	PM	7 000
Xstrata	Kanada	Li BaA	PM	7 000
Inmetco	USA	Li BaA	PM	6 000
Accurec	Nemecko	Neznáme	PM	6 000
JX Nippon Mining & Metals Co.	Japonsko	Neznáme	HM	5 000
Toxco - kryodrivenie	Kanada	Li BaA	HM	4 500
Akkuser Ltd	Fínsko	Li BaA	FM	4000
Fuoshan Bangpu Ni/Co High-Tech Co.	Čína	Li A	?	3 600
Revatech	Belgicko	Li A	?	3 000
TES-AMM	Singapur	Li A	?	1 200
Dowa Eco-System Co. Ltd.	Japonsko	Li BaA	?	1 000
BDT	USA	Li BaA	?	350
Stiftung Gemeinsames	Nemecko	Neznáme	?	340
SNAM	Francúzko	Li A	PM	300
Batrec AG	Švajčiarsko	Li A	FM	200
SARP	Francúzko	Li A	?	200
Sony and Sumitomo Metals	Japonsko	Li A	PM	150
G&P Batteries	Veľká Británia	Li A	?	145
Recupyl	Francúzko	Li BaA	HM	110
Metal-Tech Ltd	Izrael	Li BaA	HM	22

** PM – pyrometalurgicky, HM – hydrometalurgicky, FM – fyzikálnomechanicky*

Zdá sa, že v súčasnosti zvolil optimálny postup koncern VW. K budovanej výrobnej linke na lítiové akumulátory v meste Salzgitter sa plánuje recyklačné centrum. V prvej fáze len ako pilotnú jednotku s ročnou kapacitou na úrovni 1200 ton, čo zodpovedá vyradeniu približne 3000 elektrických vozidiel. Navrhovaná metóda je hydrometalurgická s cieľom opätovného získania minimálne 90 % základných surovín pre vlastnú výrobu.

V rámci tohto projektu sa navrhuje experimentálne skúmanie fyzikálno-mechanickej predúpravy vyradených lítiových akumulátorov a následným hydrometalurgickým spracovaním s úplnou recykláciou kovov obsiahnutých v odpade. Práce sa budú realizovať aspoň v prvej etape na odpade prenosných Li akumulátorov, pretože tieto výsledky sa dajú prakticky úplne aplikovať aj na Li autoakumulátory. Postupne budú výsledky verifikované aj na odpade originálnych akumulátorov, ktoré zabezpečí ZAP.

V blízkej budúcnosti nie je možné uvažovať o priamej aplikácii dosiahnutých výsledkov v priemyselnej recyklačnej prevádzke, keďže takáto neexistuje, ale je možné aplikovať dosiahnuté výsledky v poloprevádzkovej pilotnej recyklačnej linke ÚRT.

Potenciálne prínosy projektu

- zachovanie prístupu SR a EÚ k strategickým surovinám na báze Li, Co, Ni v súlade s iniciatívou Európskej komisie
- podpora zvyšovania výrobných kapacít a podielu recyklácie kovov v SR, príspevok k materiálovému a výrobnému potenciálu automobilového priemyslu a plánovanej výrobe akumulátorov
- zisk čistého lítia, resp. lítiových zlúčenín a ďalších kovových zložiek kobalt, nikel, meď, špecifikovaný elektrolyt s vysokou pridanou hodnotou
- rozšírenie kvalitnej výskumnej základne a vedomostného potenciálu v oblasti recyklácie kovov a najmä lítia a prvkov vzácnych zemín
- potenciál pri tvorbe nových pracovných miest, tesnejšie prepojenie VŠ, podnikov a výskumných centier
- potenciálne zvýšenie zamestnanosti najmä mladých ľudí
- aplikácia získaných výsledkov do výučbového procesu

5.7 Možnosti recyklácie kovov z vysokou pridanou hodnotou

Ako už bolo povedané moderné vozidlá, či už s klasickým alebo alternatívnym pohonom obsahujú čoraz častejšie a čoraz vo väčších množstvách kovy, ktoré sú zaradené do zoznamu kritických materiálov pre EÚ. Takéto majú po ich recyklácii zvyčajne aj vysokú pridanú hodnotu. Pozornosť je zameraná najmä na kovy platinovej skupiny, horčík, neodým a gálium. Výber bol determinovaný s ohľadom na :

- finančné krytie projektu (súčasné aj potenciálne),
- kde sa vybrané zložky vyskytujú a v akých súčiastkach, ktoré sa dajú vybrať,
- kde možno potenciálne získaný kov v slovenských podmienkach zmysluplne aplikovať,
- jestvujúci priemyselný potenciál SR.

5.7.1 Spoločná recyklácia Mg šrotu/odpadu a Nd šrotu za účelom získavania čistého Mg prášku a čistého neodýmu

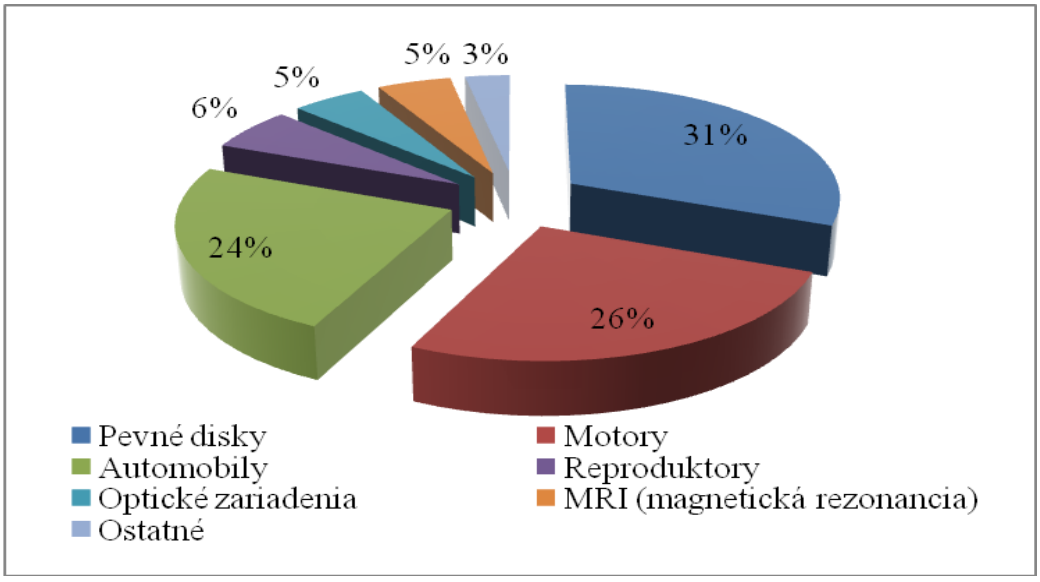
Na Slovensku existuje významný potenciál v spracovaní a recyklácii strategických surovín a zisk kovov Mg a Nd pre EÚ. Horčík, patriaci do skupiny ľahkých prvkov alkalických zemín a neodým, patriaci do skupiny prvkov vzácnych zemín, sú kovy Európskou komisiou zaradené medzi strategické suroviny.

Horčík je významný konštrukčný prvok v automobilovom, ale aj v elektrotechnickom, leteckom, energetickom a stavebnom priemysle najmä vďaka jeho unikátnym vlastnostiam ako sú nízka hustota, pevnosť, vysoká elektrická a tepelná vodivosť, odolnosť voči korózii a pod. Jeho podiel sa bude zvyšovať predovšetkým v automobilovom a leteckom sektore kvôli znižovaniu hmotnosti vozidiel a ďalších dopravných prostriedkov a budúcnosť horčíka je predovšetkým v uskladňovaní energie vo forme $Mg3H2$.

Neodým patrí medzi kovy, bez ktorých dnes nie je možný rozvoj high-tech, energetických a environmentálnych technológií a teda aj rozvoj Európy. Momentálne má nezastupiteľné miesto vo vysokointenzitných magnetoch, ktoré sa zase používajú

v elektromotoroch pre automotiv a energetiku. Podľa dostupných informácií pre vzácne zeminy neexistuje dnes žiadny komerčne dostupný proces recyklovania alebo nahradenia.
SR aj Európa v súčasnosti závisia výlučne od dovozu týchto kovov, z ktorých výrobu u neodýmu 87 % a u horčíka 86 % kontroluje Čína. Na Slovensku existujú bohaté zásoby surovín horčíka vo forme magnezitu a dolomitu a a tiež odpadov a táto dostupnosť surovín v SR je predpokladom udržateľného rastu a rozvoja EÚ v rámci medzinárodného priestoru. Zásoby primárneho magnezitu a dolomitu v SR sú dostatočnou zárukou pre potenciálny rozvoj tohto výrobného sektora a samozrejme aj výskumu v budúcnosti.
Hoci zásoby primárnych surovín neodýmu v SR nie sú významné, je zrejmý potenciál získavania Nd najmä zo sekundárnych surovín. Tieto suroviny pochádzajú najmä z magnetov z vyradených pevných diskov počítačov, elektrických motorov a generátorov vyradených generátorov veterných turbín, hybridných a plne elektrických vozidiel, rôznych elektrotechnických a medicínskych zariadení a podobne.

Hlavné využitie neodýmu je v súčasnosti predovšetkým vo forme zliatiny na výrobu permanentných neodýmových magnetov (Nd-Fe-B). Tieto magnety predstavujú v súčasnosti najsilnejšie dostupné magnety na trhu. Nd-Fe-B magnety sú zložené približne zo 66 % železa, 29 % neodýmu, 3 % dysprózia, 1 % bóru. Okrem týchto prvkov sa pre zvýšenie tepelnej odolnosti pridávané do zliatiny aj ďalšie prvky ako je kobalt. Magnety sa využívajú v rôznych priemyselných oblastiach a Obr. 5.7 popisuje technické využitie týchto magnetov.

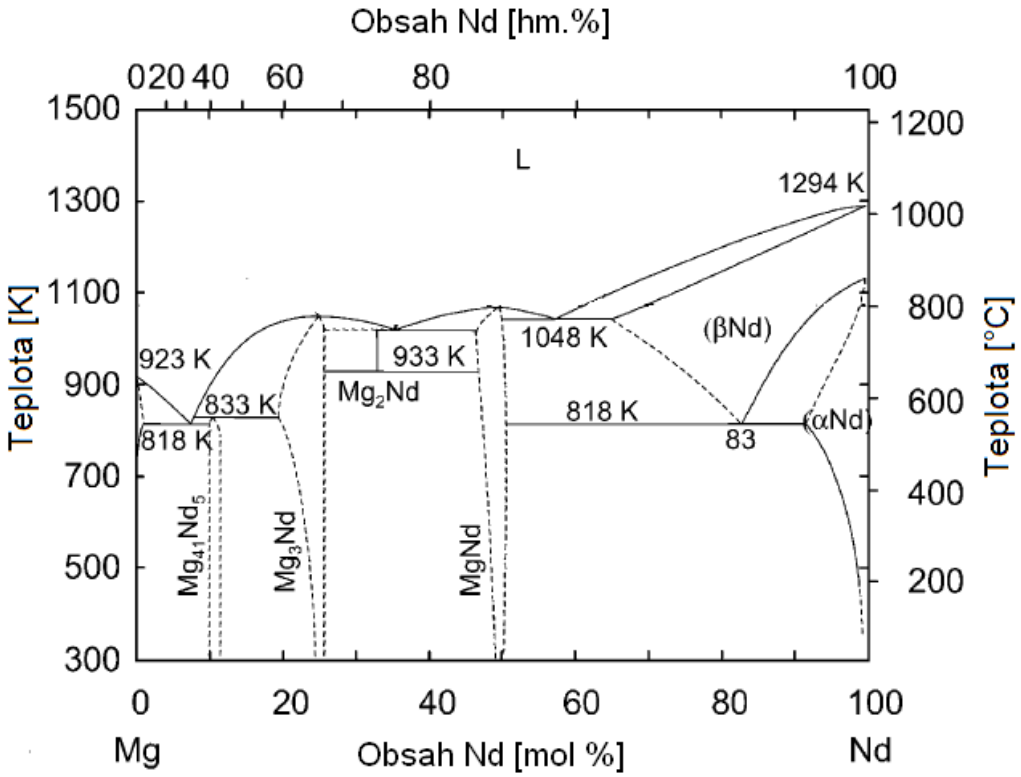


Obr. 5.7 Použitie Nd-Fe-B magnetov

Najväčšiu oblasť využitia (31%) zaberajú neodýmové magnety v oblasti informačných technológií, konkrétne v pevných diskoch. Vyradené pevné disky z osobných počítačov teda predstavujú v súčasnosti najväčší a najdôležitejší zdroj neodýmových magnetov.

Pevné disky sú tiež najväčším spotrebiteľom Nd-Fe-B magnetov spomedzi elektronického tovaru z celého sveta. Ročne sa vyrobí vo svete približne 600 mil. kusov pevných diskov. Jeden pevný disk obsahuje približne 10 až 20 gramov Nd-Fe-B zliatiny, to znamená, že ročne sa vyrobí od 6 000 do 12 000 ton Nd-Fe-B zliatiny. Podľa japonskej spoločnosti Shin-Estu sa približne jedna tretina neodýmových magnetov používa práve v pevných diskoch. V roku 2008 bolo v globálnom meradle na výrobu neodýmových magnetov do pevných diskov osobných počítačov a notebookov použitých 1 700 t neodýmu (čo predstavuje 2 150 t Nd2O3). Navyše ďalším potenciálnym zdrojom neodýmu zo sekundárnych surovín by mohli byť aj priemyselný výrobný odpad vznikajúci pri primárnej výrobe magnetov. Keďže sú Nd-Fe-B magnety krehké a lámavé často dochádza k ich poškodeniu. Odhaduje sa, že približne 20 až 30 % Nd-Fe-B magnetov je vyradených z procesu výroby z dôvodu ich poškodenia (rozlomenie, vznik úlomkov atď.). Odpad, ktorý vzniká pri jednotlivých procesoch výroby týchto magnetov, je možné rozdeliť do troch skupín:

- materiál, ktorý ostal v peci po skončení tavenia, alebo vplyvom rýchleho ochladzovania
- vyradené magnety z konečnej výroby
- zvyšky odpadov z brúsnych operácií.



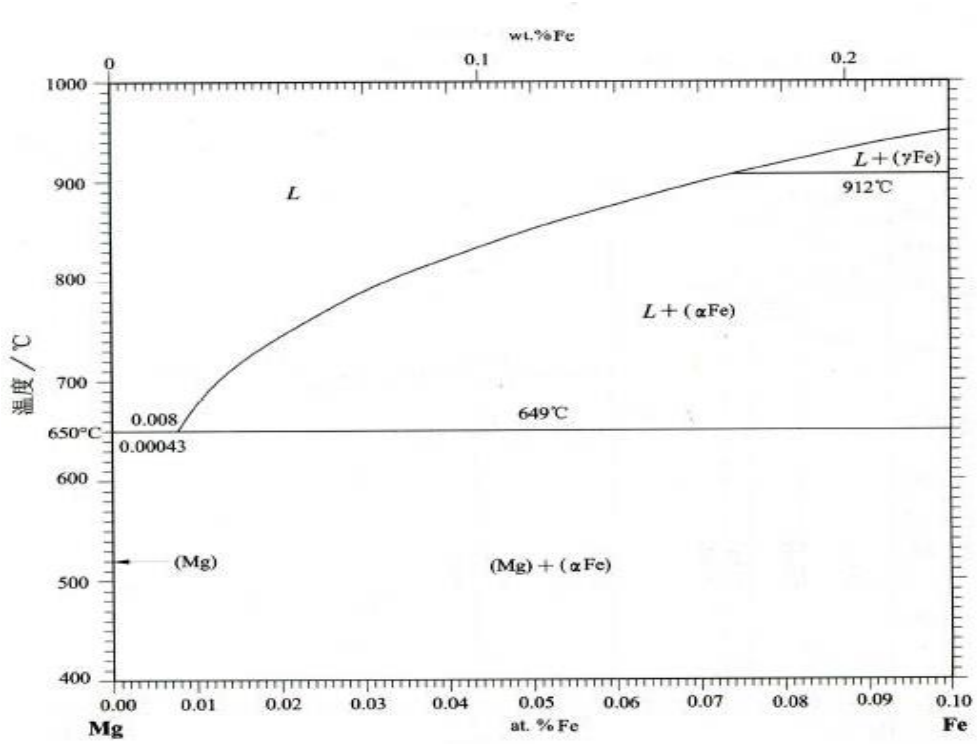
Obr. 5.8 Fázový binárny diagram Mg-Nd

Na Slovensku sa tieto magnety nevyrábajú, avšak v Českej republike existuje napr. spoločnosť Ferrite-Tech, s.r.o., ale aj iné, zaoberajúce sa výrobou Nd magnetov. Okrem toho, v blízkej budúcnosti budú významný podiel predstavovať vyradené generátory a

motory z veterných turbín, elektrických vozidiel a ďalších elektrozariadení. Samozrejme, nevyhnutnou podmienkou pre recykláciu je zabezpečenie maximálnej miery zberu odpadov s obsahom týchto magnetov. Neodým je tiež dôležitou zložkou moderných ľahkých zliatin na báze horčíka. V týchto zliatinách neodým v zmesi s cérom a horčíkom zabezpečuje relatívne vysokú žiarupevnosť, čím pevnostné charakteristiky so vzrastajúcou teplotou klesajú pomalšie ako u iných zliatin. Významný faktorom ovplyvňujúcim výrobu kovov je ich trhová cena. Cena neodýmu sa pohybuje v súčasnosti okolo 45 000 US$/tonu a horčíku 2 600 US$/tonu.

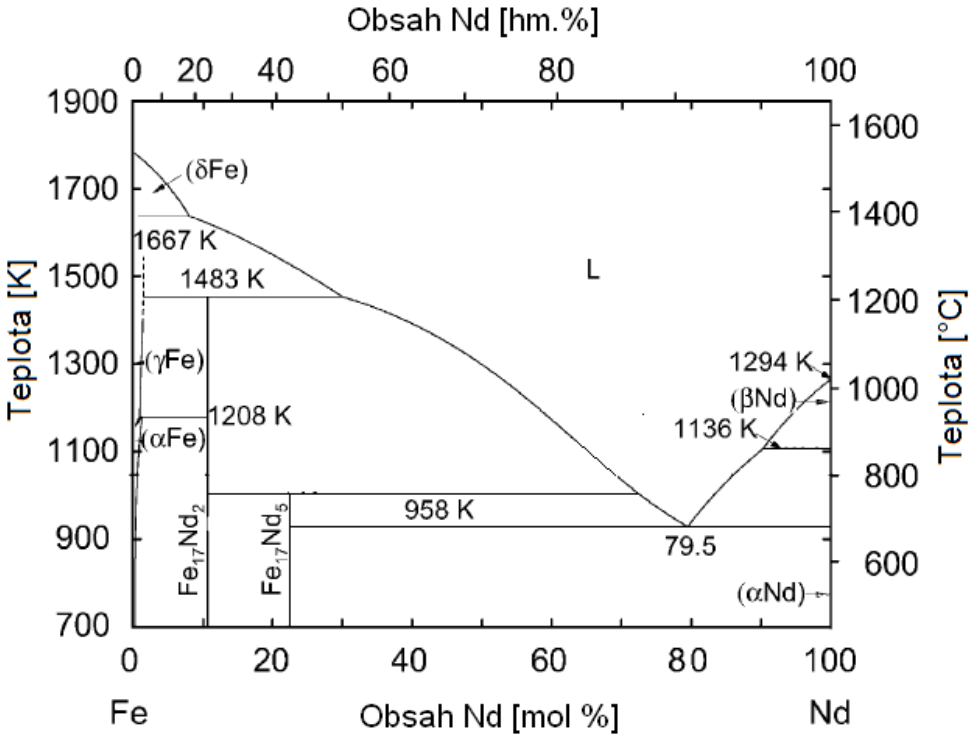
5.7.2 Idea spoločného spracovania a recyklácie Mg a Nd odpadu s cieľom získať čisté kovy

Odpady z obsahom kovového horčíka a jeho zliatin sa podľa formy, čistoty a obsahu prímesí upravujú a následne recyklujú prevažne termickými alebo mechanickými spôsobmi ako je pretavovanie, lisovanie, vákuová destilácia a pod. Horčík je kov s teplotou tavenia 650°C a teplotou varu 1 107°C. Neodým má teplotu topenia 1 024°C a teplotu varu 3 074°C. Z porovnania vlastností kovov, termodynamických predpokladov a reakcií medzi Mg a Nd vyplýva, že Mg má vysokú afinitu k neodýmu je schopný rozpúšťať v sebe Nd (rozpustnosť Nd v Mg cca 8 mol.% pri teplote 818 K), ako to vyplýva z diagramu na Obr. 5.8.



Obr. 5.9 Fázový binárny diagram Mg-Fe

Výhodou procesu zároveň je, že rozpustnosť Fe v Mg je zanedbatelná, menej ako 0.5 hm. % pri teplote okolo 1000 K, Obr. 5.9, a Nd sa tiež nerozpúšťa v Fe, čo napomáha selektívnemu oddeleniu Nd z Nd-Fe-B magnetového odpadu, Obr. 5.10.



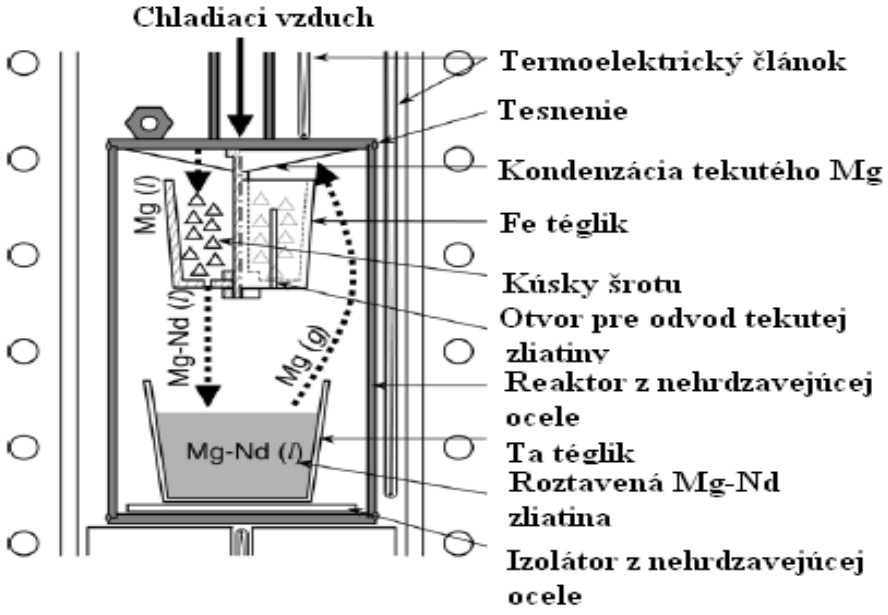
Obr. 5.10 Fázový binárny diagram Fe-Nd

5.7.3 Navrhovaný procesu recyklácie kovových odpadov s obsahom Mg a Nd

Horčík má vysoký tlak pár nad 800°C a teda transport horčíka plynnou fázou je jednoduchý. Proces recyklácie prebieha podľa schémy zobrazenej na Obr. 5.11.

Magnetová zliatina Nd-Fe-B sa vložia do železného téglika a odpadový horčík, resp. jeho zliatina sa vloží do kelímka napríklad z tantalu pre získavanie Nd-Mg zliatiny a tantalový kelímok je uložený na spodnú časť nerezového vertikálneho reaktora. Reaktor sa utesnení a uloží do elektrickej pece. Spodná časť nádoby sa ohreje na požadovanú teplotu. Vrchná časť pece sa ochladí plynom na teplotu na požadovanú nižšiu teplotu. Horčík umiestnený v spodnej časti reaktora sa vyparuje a následne kondenzuje v jej hornej časti. Skondenzovaný tekutý horčík potom steká do Nd-Fe-B šrotu a reaguje s neodýmom za vzniku Nd-Mg roztavenej zliatiny. Takto vzniknutá zliatina sa odvádza do tantalového téglika cez štrbiny v železnom kelímku. Sledovanými parametrami procesu sú pomer horčíka ku šrotu a teplota extrakcie. Neodým s čistotou viac ako 98 % a horčík o čistote 99 % sa následne získa odparením horčíka z Mg-Nd zliatiny vo vákuu. Zvyšok zo spracovania destiláciou predstavuje FeB a ďalšie nečistoty prítomné v Mg šrote.

Okrem získania čistých kovov je možnosť získavať priamo špeciálne Mg zliatiny s obsahom Nd, z ktorých najpoužívanejšia je QE22 (Mg2.5Ag2Nd0.7Zr) s vysokou pevnosťou a medzou sklzu v ťahu a výbornými vlastnosťami pri teplotách do 200°C.



Obr. 5.11 Schéma aparatúry použitej pre extrakciu neodýmu horčíkom

Proces výroby Nd z primárnych surovín je veľmi náročný, preto je výhodné ho získavať najmä zo sekundárnych surovín. Neodým sa v súčasnosti z primárnych surovín vyrába výlučne hydrometalurgicky, podobne ako ostatné lantanoidy, a to lúhovaním lantanoidových rúd zmesou minerálnych kyselín. Z výluhu sa kovy vyzrážajú prídavkom alkalických hydroxidov.

5.7.4 Zhrnutie uvažovaného procesu

Proces recyklácie Mg a Nd šrotu termickým spôsobom (destiláciou) je možné zrhnúť do nasledovných bodov:

- v prvom kroku sa v elektrickej peci odparí Mg zo znečisteného Mg zliatinového šrotu.
- v druhom kroku pary Mg skondenzujú v kondenzátore s perforovaným dnom vo vyšších častiach reaktora s kontrolovanou teplotou, kde bude umiestnený Nd šrot.
- horčík bude rozpúšťať neodým z Nd šrotu v kondenzátore, vytvárať zliatinu Mg-Nd a stekať do pripraveného téglika na spodku reaktora. Mg-Nd zliatina a zvyšky z procesu sa po ukončení procesu zo systému samostatne odstránia.
- v treťom kroku sa Mg-Nd zliatina podrobí opätovnej destilácii za účelom oddelenia Mg a Nd a získania čistých kovov alebo sa bude získavať zliatina na báze Mg-Nd.

Pre dosiahnutie výsledkov je potrebné v procese v rámci riešenia projektu preskúmať:

- vplyv parametrov ako je teplota, doba, tlak potrebné na účinnú destiláciu Mg a reakcie Nd a Mg.
- vplyv prímesí a druhu odpadu/šrotu na výťažnosť a čistotu produktov (Nd, Mg prášok).

- technické riešenie a usporiadanie reaktora a kondenzátora s cieľom dosiahnutia optimálnej spotreby energie a maximálnej výťažnosti a účinnosti procesu.
- vlastnosti a uplatnenie zvyškov z destilácie Mg (zliatinové prvky Mg a Al zliatin a pod.)
- environmentálne dopady procesu (tvorba odpadov a vedľajších produktov a emisií).
- materiálová a energetická bilanciu destilácie Mg z Mg šrotu a Mg a Nd z Mg/Nd šrotu. Porovnanie bilancií a vyhodnotenie realizovateľnosti a efektivity procesu.

5.7.5 Výstupy aktivity

Analýzou súčasného stavu poznania v oblasti recyklácie odpadov na báze Mg sa dospelo k jednoznačným záverom:

- perspektívnym smerom pre rozvoj praxe v oblasti surovín na báze Mg je podpora aktivít v oblasti recyklácie a získavania horčíka z odpadov a sekundárnych zliatin, najmä tých, ktoré nemajú iné využitie a výroba kovu s vysokou pridanou hodnotou – práškového horčíka.
- perspektívnym smerom pre rozvoj praxe v oblasti surovín na báze Mg je spoločné získavanie neodýmu z odpadových magnetov, kovu s približne 20-násobne prevyšujúcou cenou čistého horčíka. Tento smer zatiaľ nie je rozpracovaný ani výskumne ani priemyselne nikde vo svete v dostatočnej miere. Čiastočne sa tejto problematike venujú japonskí výskumníci. Dôležitým praktickým aspektom je, že získavanie Nd z odpadu pri spoločnom spracovaní nemusí byť nevyhnutne viazané na získavanie Mg a v prípade nedostatku suroviny Nd neohrozí samotný proces získavania Mg z odpadov. Recyklácia Nd môže bilanciu zisku len vylepšiť.

5.7.6 Potenciálne prínosy aktivity

- zachovanie prístupu SR a EÚ k významným strategickým surovinám na báze Mg a Ng v súlade s iniciatívou Európskej komisie
- podpora zvyšovania výrobných kapacít a podielu recyklácie kovov v SR, príspevok k materiálovému potenciálu automobilového priemyslu
- zisk čistého kovového horčíka v podobe prášku a/alebo odliatku s vyššou pridanou hodnotou s predpokladaným benefitom 1 000 000 € a viac ročne.
- možnosť získavania čistého kovového neodýmu s predpokladanou potenciálnym ziskom pre SR do 4 000 000 € ročne
- rozšírenie kvalitnej výskumnej základne a vedomostného potenciálu v oblasti recyklácie kovov a najmä horčíka a prvkov vzácnych zemín
- potenciál pri tvorbe nových pracovných miest, tesnejšie prepojenie VŠ, podnikov a výskumných centier
- potenciálne zvýšenie zamestnanosti najmä mladých ľudí
- aplikácia získaných výsledkov do výučbového procesu

Je zrejmé, že spoločnou recykláciou znečisteného šrotu Mg a odpadu z magnetov je možné získať priamo obidva čisté kovy, resp. zliatiny Nd a Mg v jednom zariadení a v principiálne v dvoch krokoch. Nespornou výhodou navrhovaného procesu teda je, že okrem horčíka sa získa mnohonásobne lukratívnejší vzácny kov – neodým v čistej forme, ktorého cena cca 20-násobne vyššia ako cena horčíka. Riadenou recirkuláciou horčíkových pár v procese destilácie a optimalizáciou procesných parametrov je možné dosiahnuť zároveň výrazné energetické úspory.

5.7.7 Recyklácia gália z vyradených vozidiel

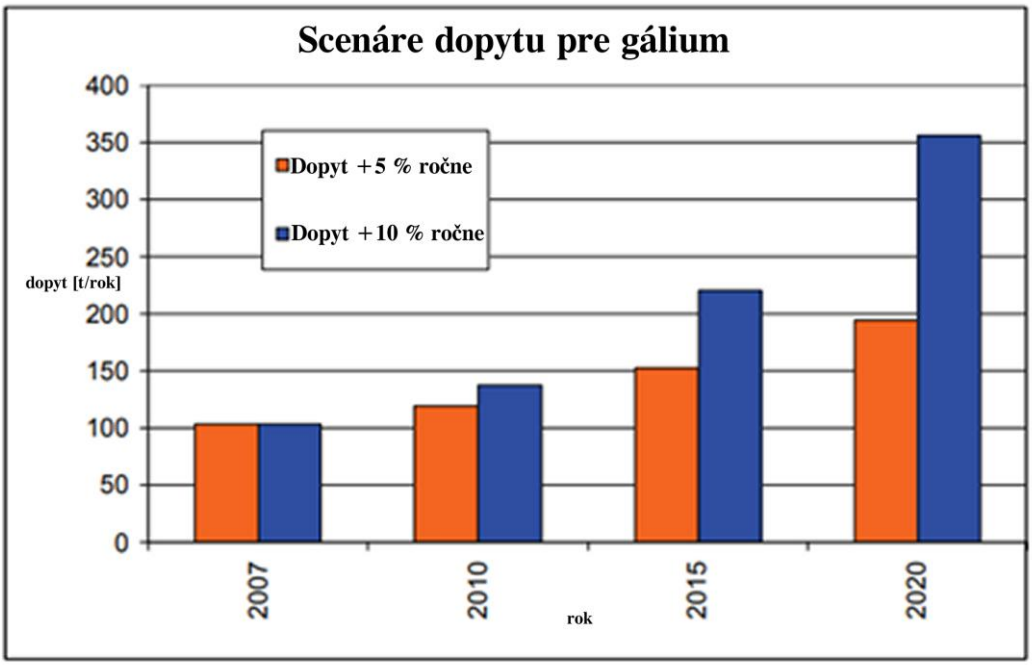
Gálium je rozptýlený vzácny kov s cenou cca 230 000 US$/t. V súčasnosti sa stáva jedným z kovov, ktoré majú nezastupiteľnú úlohu vo vysoko sofistikovanej elektronike a fotovoltike, ale tiež telekomunikačnej technike, optoelektronike, diódach a v špeciálnych aplikáciách ako špeciálne zliatiny, vysokoteplotné aplikácie, a pod. Z toho vyplýva aj jeho využitie v modernom automobilovom priemysle, najmä v elektronike, ale aj v systéme osvetlenia, sedadlovom systéme, klimatizácii, atď.

Gálium sa ako rozptýlený kov najviac vyskytuje v bauxite, pričom sa svetové zásoby gália odhadujú na viac, ako 1 000 000 ton [46]. Ďalšie zdroje gália sú v zinkových rudách, okolo 6 500 ton [47] a niekoľko miliónov ton gália sa nachádza vo fosfátových rudách s nízkym obsahom gália na úrovni 0.01 – 0.1%.

Primárna výroba gália je sústredená v rafinériách v Číne, Nemecku, Japonsku a na Ukrajine. Väčšina primárneho gália je získavaná ako vedľajší produkt pri spracovaní bauxitu v množstvách okolo 4000 t/rok. Presné čísla o spotrebe gália nie sú známe, nakoľko sa jedná o vysoko strategický kov.

Vzhľadom na unikátnosť gália a jeho zlúčenín významne stúpa jeho potreba a tým aj jeho obchodovateľnosť. Trh pre zliatiny Ga-As ročne stúpa o 7% [46] a pre niektoré galiové zlúčeniny aj viac. Nárast LED svetelných zdrojov je o každoročne o 37 % a LED svetelných zdrojov bleskoch mobilných telefónov o 23 %. Množstvo solárnych aplikácií vzrastá každoročne o 30 – 35 %. Požiadavky na elektronické zariadenia obsahujúce GaAs polovodiče vzrastá ročne o 9 % [48]. Na tomto základe týchto predpovedí sa očakávajú dva scenáre dopytu po gáliu, Obr. 5.12. Ľavý oranžový stĺpec ukazuje vzrast dopytu po gáliu ročne o 5 %, kdežto pravý modrý stĺpec ukazuje vzrast o 10 %. V roku 2020 vzrastie dopyt po gáliu takmer o 100 %, resp. o 250 % v porovnaní s rokom 1986 [47] v závislosti od scenára vzrasu dopytu po gáliu.

Recyklačné kapacity pre recykláciu gália z jeho aplikácií sú obmedzené. Najväčším recyklátorom v Európe je spoločnosť Umicor v Belgicku, ďalej spoločnosť Reclaim v Nemecku a spoločnosť PPM v Nemcku. Čo je mimoriadne dôležité je, že spoločnosť CMK s.r.o. Žarnovica na Slovensku patrí medzi špičkových svetových recyklátorov odpadových galiových produktov. Pozornosť vo všetkých prípadoch je sústredená na recykláciu substrátových GaAs dosiek, jednak tak, že sa GaAs dosky reštaurujú a opätovne dodávajú výrobcovi, ale aj na výrobu vysokočistého gália a arzénu. V princípe však tieto technológie možno s istými úpravami použiť aj na spracovania iných gáliových zlúčenín.



Obr. 5.12 Dva scenáre vzrastu dopytu po gáliu

Medzi mimoeurópskych recyklátorov gália možnos zaradiť spoločnosť NEO v Kanade. Táto spoločnosť prevádzkuje dve prevádzky – jednu na kanadsko-amerických hraniciach a druhú v USA v štáte Utah. Táto spoločnosť je zameraná takmer výlučne na recykláciu GaAs odpadov na americkom trhu.
Pravdepodobne najväčším svetovým recyklátorom odpadov s obsahom gália je čínska spoločnosť Vital, ale tiež veľké množstvo malých nelegálnych recyklátorov a "prerecyklátorov". Odhaduje sa, že v roku 2019 bola výroba galia z čínskych zdrojov cca 800 ton.
V Japonsku recykluje gálium spoločnosť Dowa, ktorá pokrýva celý japonský trh, avšak bližšie informácie, ani kapacitné nie sú známe.

Informácie o recyklácii galiových odpadov v Rusku a/alebo Ukrajine sa nepodarilo získať, ale možno predpokladať, že sa tak isto deje.
Vo všeobecnosti možno konštatovať, že primárna aj druhotná výroba gália z odpadov sú vysoko utajované skutočnosti a nie je ľahké získať aspoň približné informácie. Svedčí to tom, že gálium je vysoko strategický kov, ktorého veľká časť je využívaná aj vo vojensko-priemyselnom komplexe a vesmírnom výskume. Jeho špecialitou okrem iného je, že na trhu je požadovaný v extrémnej čistote, až 99,99999 %

5.7.8 Výstupy aktivity projektu

Analýzou súčasného stavu poznania v oblasti recyklácie odpadov na báze gália sa dospelo k záverom:
Gálium patrí medzi rozptýlené vzácne kovy a jeho potreba celosvetovo významne narastá. Jeho výroba a tiež recyklácia sa realizuje v malých prevádzkach vysoko

sofistikovaným spôsobom. Vzhľadom na čoraz silnejúcejší dopyt po high-tech elektronike a jej aplikáciách v elektromotive a fotovoltike bude v najbližších rokoch dopyt po gáliu vzrastať.

5.7.9 Potenciálne prínosy

- zachovanie prístupu SR a EÚ k významným strategickým surovinám na báze Ga v súlade s iniciatívou európskej komisie
- gálium ako kritická surovina je v centre pozornosti EÚ a potenciálne by mala byť podporovaná európskym projektom
- zisk čistého kovového gália v cene viac ako 200 000 US$ za tonu. Vyrobené druhotné gálium má obrovskú pridanú hodnotu, pričom v zásade nie je nutné uvažovať o veľkých investíciách
- recyklácia odpadov na báze gália z vyradených elektrovozidiel je veľmi perspektívna, najmä preto, že doteraz nie sú známe takéto postupy, čím by mohla byť získaná priorita v tejto oblasti najmä vývojom procesov na získavanie gália. Tento smer zatiaľ nie je rozpracovaný ani výskumne ani priemyselne nikde vo svete v dostatočnej miere
- potenciál pri tvorbe nových pracovných miest, tesnejšie prepojenie VŠ, podnikov a výskumných centier
- potenciálne zvýšenie zamestnanosti najmä mladých ľudí
- aplikácia získaných výsledkov do výučbového procesu
- rozšírenie kvalitnej výskumnej základne a vedomostného potenciálu v oblasti recyklácie kovov a najmä gália
- obrovskou výhodou je, že na Slovensku existuje spoločnosť CMK, s.r.o. Žarnovica, ktorá patrí k svetovým lídrom v tejto oblasti [49]. Vhodnou spoluprácou by malo byť možné okamžite aplikovať výstupy priamo do výrobnej praxe

5.7.10 Potenciálne úzke miesta

- Je potrebná dôkladná materiálová analýza elektrických vozidiel s cieľom určenia kvalitatívneho a kvantitatívneho zastúpenia gália a určenia prednostne recyklovateľných častí
- Je potrebné zhromaždiť dostatočné množstvo súčiastok z elektromotive s obsahom gália

5.8 Celkový záver

Aktivity Ústavu recyklačných technológií Fakulty materiálov, metalurgie a recyklácie Technickej univerzity v Košiciach ako jedného z dvoch riešiteľov z TUKE v rámci združenia UNIVNET vychádzajú z jestvujúcich predpokladov a sú zmerané nasledovne:

Ako základný zdroj druhotných surovín sa uvažujú najmä vozidlá s čiastočným, alebo úplným elektropohonom vzhľadom na ich očakávaný globálny vzostup na trhu. Tieto

obsahujú a budú obsahovať čoraz viac zložiek s obsahom kovov, ktoré sú zaradené do zoznamu Kritických surovín pre EÚ a ku ktorým má EÚ len obmedzený prístup. Tým pádom sa tieto zložky stávajú strategickými.
Priority, ktoré určia budúce zameranie materiálovej recyklácie vyradených vozidiel v globálnom ponímaní, ako aj v rámci projektu UNIVNET, sú nasledovné:

- aká je cena potenciálne získaného kovu ?
- aká je pridaná hodnota získaného kovu ?
- existujú známe teoretické postupy získania toho ktorého kovu?
- ako je zabezpečená analytická časť tohto projektu z hľadiska prístrojového vybavenia a z hľadiska nevyhnutného spotrebného materiálu ?
- ako je zabezpečená laboratórna, prípadne poloprevádzková experimentálna časť projektu ?
- existuje známa technológia na recykláciu toho ktorého 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 management ? (z hľadiska experimentovania a z hľadiska navrhnutej výroby)
- aký finančný objem je možné využiť na teoretické a experimentálne štúdium daného procesu v rámci tohto projektu ?

Nemožno očakávať, že hlboký a sofistikovaný výskum v tejto oblasti nebude finančne náročný. Pre najbližšie obdobie a s ohľadom na finančné a kapacitné možnosti sa pre ÚRT FMMR TUKE navrhujú nasledovné okruhy riešenia:

5.8.1 Recyklácia lítiových batérií a akumulátorov.

Toto je veľmi perspektívny smer aj vzhľadom na to, že lítiové akumulátory okrem automobility sú dominantne aplikované v malých elektronických zariadeniach, ako mobilné telefóny, osobné prenosné počítače, prenosné elektronické zariadenia a podobne. Ich zloženie je prakticky totožné s automobilovými akumulátormi a teda je možné začať výskum okamžite bez ohľadu na to, že vyradené automobilové lítiové akumulátory zatiaľ ešte neexistujú vo významnom dostupnom množstve.
Pozornosť je zameraná na získanie komerčných lítiových zlúčenín, prednostne aplikovateľných v akumulátorovom priemysle a získanie komerčných produktov na báze kobaltu, niklu a medi a lítia.

5.8.2 Recyklácia neodýmu

Moderné vozidlá, či už s klasickým alebo alternatívnym pohonom obsahujú čoraz častejšie a čoraz vo väčších množstvách kritické kovy pre EÚ. Takéto majú po ich recyklácii zvyčajne aj vysokú pridanú hodnotu. Pozornosť je zameraná najmä na kovy platinovej skupiny, horčík, neodým a gálium. V rámci tohto projektu sa prednostne

pozornosť zatiaľ upriamila na recykláciu neodýmu a gália. Pre recykláciu neodýmu sa ponúka nová možnosť recykláciou za pomoci pár horčíka a vzniku Nd-Mg zliatiny, ktorá sa ďalej rafinuje.
Neodým sa v podobe vysoko intenzitných magnetov okrem elektrovozidiel vyskytuje ako súčasť hardiskov, reproduktorov a podobne. Odpady týchto zariadení sú k dispozícii a preto je možné okamžite začať s vývinom procesu ich recyklácie.
Cena neodýmu sa pohybuje v súčasnosti okolo 45 000 US$/t, čo naznačuje vysokú pridanú hodnotu získaného produktu. Keďže v rámci predpokladaného recyklačného procesu sa neočakávajú veľmi vysoké investičné, alebo prevádzkové náklady a proces je možné realizovať v pomerne jednoduchých podmienkach, tento proces ponúka vysoký benefit.

5.8.3 Recyklácia gália

Podobne, ako v predošlom prípade, moderné vozidlá obsahujú gálium. Okrem toho sa gálium významne vyskytuje aj vo fotovoltických zariadeniach a v LED osvetľovacích zdrojoch a ďalších elektronických zariadeniach vzhľadom na polovodičové vlastnosti niektorých svojich zlúčenín. Gálium sa vo svojich výrobkoch vyskytuje vo viacerých možných formách od čoho závisí aj voľba jeho recyklácie. V zásade podľa okolností možnosť zvoliť pyrometalurgické, hydrometalurgické alebo kombinované spracovanie.
Cena gália sa pohybuje v súčasnosti okolo 220 000 US$/t, čo naznačuje mimoriadne vysokú pridanú hodnotu získaného produktu. Obrovskou výhodou, pre ktorú sa aj tento typ odpadov navrhuje na recykláciu, je existencia fungujúcej a prosperujúcej spoločnosti CMK, s.r.o. Žarnovica, ktorá patrí vo svojej kategórii medzi svetových lídrov v recyklácii gáliových odpadov. Takto by bolo možné preskúmané a vyvinuté procesy priamo aplikovať do praxe.

5.9 Využiteľnosť infraštruktúry Ústavu recyklačných technológií FMMR TUKE pre potreby projektu UNIVNET

Pre úspešnú realizáciu navrhovaných recyklačných procesov je potrebné okrem mentálnych kapacít aj prístrojové zázemie. ÚRT FMMR TUKE je v súčasnosti pomerne dobre vybavený zariadeniami, určenými na skúmanie v podstate akýchkoľvek procesov. Tieto sú už určené prevažne na poloprevádzkové testovanie daných procesov. V zásade možno v súčasnosti využívať nasledovné zariadenia, alebo ich celky [50]:

- Linka na fyzikálno-mechanickú úpravu (rôzne drviče a mlyny, sitovacie zariadenia, homogenizátor , nízkointenzitný a vysokointenzitný magnetický triedič, vibračný triedič, vzduchový triedič, EDDY current triedič, vodný splav)
- Mobilné filtračné zariadenia
- Tepelné spracovanie (sušiarne a muflové pece, odporová pec do 1200 oC, pyrolýzna linka, programovateľné indukčné pece, vysokoteplotná vysokovákuová pec (do 1600 oC a hlboké vákuum))
- Hydrometalurgické spracovanie (ozonizačná linka pre spracovanie odpadov, lúhovacie zariadenie vo vysokofrekvenčnom poli, lúhovacie zariadenie

v mikrovlnnom poli, poloprevádzková spracovateľská linka na hydrometalurgické spracovanie vstupných surovín kapacita)

- Analytický servis (rentgenový práškový difraktometer PANanalytical X'PERT Pro, rentgenový fluorescenčný analyzátor Shimadzu 7000, atómový absorpčný spektrometer Thermo 3300, atómový absorpčný spektrometer Varian, atómový absorpčný spektrometer ContrAA)

Zároveň je potrebné spomenúť dlhodobé aktivity pracoviska v oblasti materiálovej recyklácie odpadov, doteraz riešené tri štrukturálne projekty, dva APVV projekty, množstvo projektov VEGA a projekt H2020, všetko v oblasti materiálovej recyklácie.

Pracovisko má bohatú domácu a zahraničnú spoluprácu s partnermi RWTH Aachen, Nemecko, Aalto University, Espoo, Fínsko, University L'Aquila, Taliansko, UFRGS Porto Alegre, Brazília, NTUA Athens, Grécko, AGH Krakov, Poľsko.
Pracovisko aktívne od roku 1996 organizuje medzinárodné vedecké konferencie pod názvom Quo Vadis Recycling a v poslednom období spoluorganizuje konferencie TOP.
Pracovisko bol dva razy ocenené národnou cenou Odpadového hospodárstva SR Zlatý mravec.
Pracovisko vychováva odborníkov v študijnom odbore Ekologické a envoronmentálne vedy vo všetkých troch stupňoch vzdelávania a v prípade potreby je kedykoľvek pripravené rozbehnúť start-up aktivitu.
Dôsledne vedená materiálová recyklácia v uzavretom cykle sledujúca obehovú ekonomiku nie je lacná záležitosť. Zvolené komodity sa v tomto prípade predovšetkým opierajú o znalosti a skúsenosti mozgového trustu ÚRT. Až na základe pridelených a reálne použiteľných financií z projektu sa vypresnia konkrétne aktivity pre riešenie projektu.

5.10 Literatúra

[1]. https://www.minv.sk/?celkovy-pocet-evidovanych-vozidiel-v-sr

[2]. Koišová M.: Vnútorná informácia, Zväz automobilového priemyslu ZAP SR

[3]. https://e.dennikn.sk/minuta/1672128

[4]. https://glob.zoznam.sk/volby-v-cislach-opravnenych-volicov-pribuda-pre-mnohych-ide-o-premieru/

[5]. Repíková: Rozvoj elektromobility a jej vplyv na spotrebu pohonných hmôt a elektrickej energie v cestnej doprave v Slovenskej republike, Centrum pre hospodárske otázky, december 2019

[6]. Oznámenie Komisie Európskemu parlamentu , Rade, Európskemu hospodárskemu a sociálnemu výboru a výboru regiónov o zozname surovín kritických pre EÚ z roku 2017

[7]. Nariadenie Rady EÚ 333/2011 z 31. marca 2011, ktorým sa ustanovujú kritériá na určenie toho, kedy určité druhy kovového šrotu prestávajú byť odpadom podľa smernice Európskeho parlamentu a Rady 2008/98/ES

[8]. Nariadenie Komisie EÚ 715/2013 z 25. júla 2013 , ktorým sa ustanovujú kritériá umožňujúce určiť, kedy medený šrot prestáva byť odpadom podľa smernice Európskeho parlamentu a Rady 2008/98/ES

[9]. https://machtrade.sk/

[10]. Cullbrand K., Magnusson O.: The Use of Potentially Critical Materials in Passenger Cars, Report No. 2012:13, ISSN: 1404-8167, Chalmers University of Technology, 2011

[11]. European commision – Report on critical raw materials and circular economy, 2018, https://ec.europa.eu/commission/publications/report-critical-raw-materials-and-circular-economy_en

[12]. Zákon 79/2015 Z.z. o odpadoch a o zmene a doplnení niektorých zákonov

[13]. The future of battery technology, part. 5, http://www.visualcapitalist.com/critical-ingredients-fuel-battery-boom/

[14]. Separators for Li-Ion and Li-Metal Battery Including Ionic Liquid Based Electrolytes Based on the TFSI- and FSI- Anions, https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4159887/

[15]. Europe's coming gigafactory boom, Climatechanges news, http://www.climatechangenews.com/2018/03/28/europes-gigafactory-boom-mapped/

[16]. https://www.isoh.gov.sk/uvod/registre/zoznam-ozv-a-tretich-osob-pre-baterie-a-akumulatory.html

[17]. Ojanen, S. a kol.: Challenging the concept of electrochemical discharge using salt solutions for lithium-ion batteries recycling – Waste Management 76, 2018, 242 – 249

[18]. Wang, X. a kol.: Targeting high value metals in lithium-ion battery recycling via shredding and size-based separation – Waste Management 51, 2016, 204 – 213

[19]. He, L. a kol.: Recovery of cathode materials and Al from spent lithium-ion batteries by ultrasonic cleaning – Waste Management 46, 2015, 523 – 528
[20]. Pant, D. a kol.: Green and facile method for the recovery of spent Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide (NMC) based Lithium ion batteries – Waste Management 60, 2017, 689 – 695
[21]. Meng, Q. a kol.: Use of glucose as reductant to recover Co from spent lithium ions batteries – Waste Management 64, 2017, 214 – 218
[22]. Wang, M. a kol.: An environmental benign process for cobalt and lithium recovery from spent lithium-ion batteries by mechanochemical approach – Waste Management 51, 2016, 239 – 244
[23]. Wang, M. a kol.: Recycling of spent lithium-ion battery with polyvinyl chloride by mechanochemical process – Waste Management 67, 2017, 232 – 239
[24]. HE, L. a kol.: Leaching process for recovering valuable metals from the LiNi1/3Co1/3Mn1/3O2 cathode of lithium-ion batteries – Waste management 64, 2017, 171 – 181
[25]. Vieceli, N. a kol.: Hydrometallurgical recycling of lithium-ion batteries by reductive leaching with sodium metabisulphite – Waste Management 71, 2018, 350 – 361
[26]. Bertuol, D.A. a kol.: Recovery of cobalt from spent lithium-ion batteries using supercritical carbon dioxide extraction – Waste Management 51, 2016, 245 – 251
[27]. Prabaharan, G. a kol: Electrochemical process for electrode material of spent lithium ion batteries - Waste Management 68, 2017, 527 – 533
[28]. Takáčová, Z. a kol.: Cobalt and lithium recovery from active mass of spent Li-ion batteries: Theoretical and experimental approach – Hydrometallurgy 163, 2016, 9 –17.
[29]. Wang, X. a kol.: Hydrothermal preparation and performance of LiFePO4 by using Li3PO4 recovered from spent cathode scraps as Li source – Waste management 78, 2018, 208 – 216.
[30]. Guo, Y. a kol.: Leaching lithium from the anode electrode materials of spent lithium-ion batteries by hydrochloric acid – Waste Management 51, 2016, 227 – 233.
[31]. V Li, L. a kol.: Process for recycling mixed-cathode materials from spent lithium-ion batteries and kinetics of leaching – Waste management 71, 2018, s. 362 – 371.
[32]. Zheng, X. a kol.: Spent lithium-ion battery recycling – Reductive ammonia leaching of metals from cathode scrap by sodium sulphite Waste Management, 60, 2017, s. 680 – 688
[33]. Meng, Q. a kol.: Use of glucose as reductant to recover Co from spent lithium ions batteries – Waste Management 64, 2017, s. 214 – 218

[34]. Natarajan, S. a kol.: Recovery of value-added products from cathode and anode material of spent lithium-ion batteries – Waste Management 77, 2018, 455 – 465

[35]. Meng, Q. a kol.: A combined process for cobalt recovering and cathode material regeneration from spent LiCoO2 batteries: Process optimization and kinetics aspects – Waste Management 71, 2018, 372 – 380.

[36]. Golmohammadzadeh, R. a kol.: Recovery of lithium and cobalt from spent lithium-ion batteries using organic acids: Process optimization and kinetic aspects – Waste Management 64, 2017, 244 – 254

[37]. Zheng XH, Gao WF, Zhang XH, He MM, Lin X, Cao HB, et al.: Spent lithium-ion battery recycling—reductive ammonia leaching of metals from cathode scrap by sodium sulphite, Waste Management, 2017, 60, 680 – 688

[38]. Träger T, Friedrich B, Weyhe R: Recovery concept of value metals from automotive lithium-ion batteries, Chem. Ing. Tech., 2015,87, 11, 1550 – 1557

[39]. Li J, Wang G, Xu Z.: Environmentally-friendly oxygen-free roasting/wet magnetic separation technology for in situ recycling cobalt, lithium carbonate and graphite from spent LiCoO2/graphite lithium batteries. J. Hazard Mater 2016, 302, 97–104

[40]. Hu J.T. et al: A promising approach for the recovery of high value-added metals from spent lithium-ion batteries, J. Power Sources, 2017, 351, 192 – 199

[41]. Santana I.L. et al: Photocatalytic properties of Co3O4/LiCoO2 recycled from spent lithium-ion batteries using citric acid as leaching agent, Mater. Chem. Phys., 2017,; 190, 38 – 44

[42]. Zheng X.H. et al: Spent lithium-ion battery recycling—reductive ammonia leaching of metals from cathode scrap by sodium sulphite, Waste Management, 2017, 60, 680 – 688

[43]. Golmohammadzadeh R., Rashchi F., Vahidi E.: Recovery of lithium and cobalt from spent lithium-ion batteries using organic acids: process optimization and kinetic aspects, Waste Management, 2017, 64, 244 – 254

[44]. Wang M.M., Zhang C.C., Zhang F.S.: Recycling of spent lithium-ion battery with polyvinyl chloride by mechanochemical process, Waste Management, 2017, 67, 232 – 239

[45]. Desktop study of Lithium battery recycling process, www.sagreenfund.org.za/wordpress/wp-content/uploads/2015/07/Lithium-Battery-Recycling-Literature-Review-CM-Solutions.pdf

[46]. Kramer D.: Gallium, in Mineral commodity summaries 2008: U.S. Geological Survey

[47]. Greber J.F.: Gallium and Gallium compounds, in: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley-VCH 2005

[48]. Kramer D.A.: Minerals Yearbook 2006: Gallium, U.S. Geological Survey, July 2007

[49]. http://cmk.sk/

[50]. Technické zariadenia ÚRT FMMR , ver. 1.7, https://urt.fmmr.tuke.sk/inc_files/katalog_zariadeni/tech_zar.pdf

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

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

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

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

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

6.1 Úvod

Každoročne sa v automobilovom priemysle vyrobí okolo 96 miliónov (v roku 2019) osobných automobilov. Odhaduje sa, že tento počet bude stále stúpať. Tento nárast sa prejavuje aj každoročným zvyšovaním celkového počtu evidovaných vozidiel nielen vo svete ale aj na Slovensku. Ako uvádza Ministerstvo vnútra Slovenskej republiky v roku 2020 (29.2.2020) bolo evidovaných 2 399 817 osobných vozidiel [1]. Je zrejmé, že všetky produkty a výrobky majú svoju životnosť a tak je to aj s osobnými vozidlami. Priemerný vek vozidiel na Slovensku je 10 rokov k čomu prispieva aj individuálny dovoz ojazdených starších vozidiel zo západnej Európy.

Podľa štatistiky, ktorú na svojej stránke zverejnilo Ministerstvo vnútra Slovenskej republiky bolo v roku 2019 vyradených z evidencie 64 412 osobných vozidiel. Tieto vozidlá musia byť následne ekologicky zneškodňované autorizovanými spracovateľmi autovrakov [1]. Riešitelia projektu v tejto etape riešenia projektu zameraného na „Vývoj technológii a techník na zhodnocovanie odpadov do zvukovo a tepelnoizolačných produktov“ sa sústredí na:

- analýzu legislatívy v oblasti nakladania s vozidlami po dobe ich životnosti,
- analýzu súčasného stavu so zameraním na identifikáciu a materiálový potenciál z automobilu po dobe ich životnosti s následným jeho využitím pre vývoj a výrobu zvukovo a tepelno-izolačných produktov,
- analýzu a syntézu poznatkov zameraných na dostupné metodológie a technológie recyklácie vybraných, resp. potencionálnych komponentov z automobilov po dobe ich životnosti,
- poukázanie na možné smery výskumu v predmetnej oblasti v nasledujúcom období,
- návrh merateľných výskumných a akademických ukazovateľov pre ďalšie obdobie riešenia projektu.

6.2 Legislatíva v predmetnej oblasti

Každý rok milióny vozidiel v Európe dosiahnu koniec svojej doby životnosti. Ak sa s vozidlami po dobe životnosti nenakladá správne, môžu predstavovať hrozbu pre životné prostredie, ako aj stratený zdroj miliónov ton materiálov. Vzhľadom na neustále rastúce obavy z recyklácie vozidiel po dobe životnosti sa v mnohých častiach sveta vyvinula legislatíva, týkajúca sa danej problematiky. V tejto správe je uvedený stav s nakladaním s vozidlami po dobe ich životnosti a legislatívne predpisy v jednotlivých regiónoch sveta: Ázie, Ameriky a Európy [2].

Ázia: Japonsko patrí ku krajinám s najväčším počtom áut (1 auto na 1,7 obyvateľa v r. 2006), a ročne vyradí až 5 miliónov áut. Už od 90. rokov sa síce jednotlivé vozidlá v

Japonsku relatívne dobre recyklovali (až 80 % hmotnosti), no kvôli rastúcim cenám ukladania na skládky vnikali obavy z čierneho skládkovania, najmä kvôli nebezpečným látkam v automobiloch (primárne chlorované a fluorované chlorovodíky - CFC). V roku 2005 bol preto zavedený zákon o recyklácii vozidiel po dobe životnosti, ktorý bol podnietený obmedzeným prírodným a pozemkovým zdrojom pre skládky odpadu. Je podobný ako smernica EÚ 2000/53/ES (rozširuje sa ale na prakticky všetky vozidlá; smernica EÚ sa obmedzuje iba na osobné vozidlá a ľahké úžitkové vozidlá). Zákon stanovil, že je povinnosťou výrobcov automobilov poskytnúť demontážne príručky, zatiaľ čo za zaobchádzanie s vozidlami po dobe životnosti budú účtované majiteľom vozidiel. Zákon teda určuje výrobcom (resp. dovozcom) povinnosť spätne prijať tri typy materiálov, ktoré sa kvôli nízkej cene alebo nebezpečným vlastnostiam ťažko legálne zvládali na bežnej báze: drtené zvyšky áut, CFC a air-bagy [3].

Spotrebitelia sú v zmysle zákona povinní vozidlá odovzdať registrovanej zbernej firme, ktorá ich dopraví registrovanej firme venujúcej sa odstraňovaniu CFC, a firme rozoberajúcej a drviacej vozidlá, ktorá odstráni a spracuje recyklovateľné komponenty (pre tieto firmy funguje povoľovací režim). Zvyšok vozidla je rozdrvený. Výrobcovia, resp. dovozcovia vozidiel, registrovaní a autorizovaní ministerstvom (ekonomiky, obchodu a priemyslu, ale aj ministerstvom životného prostredia) spätne obdržia rozdrvené zvyšky áut, fluorovodíky a airbagy, a zaplatia súvisiace zberné poplatky. Poplatky za recykláciu sú platené samotnými majiteľmi už pri kúpe auta. Výšku poplatku síce určujú výrobcovia, ale vláda vydáva odporúčania alebo nariadenia ak sa poplatky zdajú neprimerané. Poplatky sú spravované samostatným centrom, ktoré rovnako zodpovedá za transparentnosť procesov cez systém elektronického hlásenia, do ktorého zúčastnené subjekty nahlasujú relevantné transakcie a potvrdzujú správne nakladanie s materiálmi. V Južnej Kórei zákon o recyklácii zdrojov elektrických a elektronických zariadení a vozidiel ponúka výrobcom aj dovozcom systém, pokiaľ ide o obmedzenia na nebezpečné látky (od 1. júla 2008), mieru recyklácie, návrh a recykláciu metód atď. [4] Na rozdiel od smernice EÚ sa tento zákon nezaoberá otázkami recyklácie pneumatík, batérií alebo airbagov. V Číne v roku 2001 Štátna rada Čínskej ľudovej republiky uzákonila „nariadenie o recyklácii vozidiel po dobe životnosti“, t. j. štatút 307, v ktorom sa ustanovujú povinnosti pre miestne samosprávy. Technologickú politiku v oblasti recyklácie automobilových výrobkov [2] prijala Národná komisia pre rozvoj a reformu (NDRC) v roku 2006 s cieľom zriadiť systém recyklácie vozidiel po dobe životnosti vrátane vyradených automobilových výrobkov. V porovnaní s Kóreou a Japonskom však bolo vymáhanie právnych predpisov pomerne slabé. V rámci tejto politiky sa do roku 2010 stanovil cieľ opätovného použitia a zhodnocovania minimálne 85 %, po roku 2010 sa toto percento zvýšilo na 95 %. Používanie nebezpečných chemikálií, ako sú olovo, kadmium, šesťmocný chróm a ortuť sú zakázané [3].

USA: V Spojených štátoch sa na federálnej úrovni nevypracovali žiadne právne predpisy, ktoré by sa zaoberali otázkami recyklácie dožitých vozidiel, aj keď sa o to niektorí senátori pokúsili už v roku 1991. Zdá sa, že hlavným argumentom je, že

uzákonenie právnych predpisov sa nepovažuje za účinný spôsob zlepšenia recyklácie. Namiesto toho sa o túto zodpovednosť delili veľkí výrobcovia v USA. V roku 1992 začali partnerstvo v oblasti recyklácie vozidiel spoločnosťou Ford, Chrysler a General Motors s cieľom uľahčiť udržateľnú recykláciu vozidiel v Severnej Amerike aj na celom svete. Ďalším výrazom, ktorý sa často uvádza v USA, je „produktový dozor“, čo znamená, že každá strana zapojená do životného cyklu produktu má spoločnú zodpovednosť za zníženie jeho environmentálneho dopadu [5].

EÚ: V EÚ je doposiaľ najvýznamnejšou legislatívou smernica 2000/53/ES, ktorá je prijatá v rámci prioritného programu Európskej komisie pre toky odpadov. Hlavným cieľom smernice 2000/53/ES o vozidlách po dobe životnosti1 je predchádzať tvorbe odpadu z vozidiel a ich súčiastok tak, aby sa znížilo koncové zneškodňovanie odpadu a jeho celkový vplyv na životné prostredie. Opatrenia, ktoré sú stanovené v tejto smernici, sú okrem toho zamerané na zlepšenie environmentálneho správania všetkých hospodárskych subjektov zapojených do životného cyklu vozidla, najmä subjektov, ktoré sa priamo podieľajú na spracovaní vozidiel po dobe životnosti. V smernici o vozidlách po dobe životnosti sa celkovo uplatňuje prístup obehového hospodárstva tým, že sa v nej podporuje ekodizajn, presadzuje odstránenie nebezpečných látok vo vozidlách a stanovujú vysoké ciele týkajúce sa opätovného použitia, recyklácie a zhodnocovania s cieľom opätovne použiť cenné materiály z vozidiel po dobe životnosti a zachovať cenné zdroje v hospodárstve. Podľa tejto smernice EÚ musia členské štáty zabezpečiť, aby boli vozidlách po dobe životnosti prevedené do ATF (autorizovaný spracovateľ starých vozidiel) a riadne recyklované. Výrobcom sa tiež odporúča, aby obmedzili používanie nebezpečných látok a zvýšili používanie recyklovaných materiálov v nových vozidlách. V smernici sa tiež prejavuje princíp prevencie v otázke dizajnu s ohľadom na celý životný cyklus - výrobcovia sú povinní zabezpečiť, aby nové vozidlá boli znovu použiteľné alebo recyklovateľné. Ciele boli stanovené pre nasledovné časové horizonty [6]:

- Od 1. júla 2003: vozidlá uvedené na trh nemôžu obsahovať olovo, ortuť, kadmium alebo šesťmocný chróm (vyňaté materiály a komponenty sú uvedené v prílohe k smernici).
- Od 1. januára 2006: na vozidlá vyrobené pred rokom 1980 – zvýšenie miery opätovného použitia a zhodnotenia na 75 %, zatiaľ čo miery opätovného použitia a recyklácie na 70 % z priemernej hmotnosti vozidla, pre vozidlá vyrobené po roku 1980 má predstavovať opätovné použitie a zužitkovanie minimálne 85 % a miera recyklácii 80 % z priemernej hmotnosti vozidla.
- Od 1. januára 2015: zvýšenie miery opätovného použitia a zhodnotenia na 95 % a miery opätovného použitia a recyklácie na 85 % z priemernej hmotnosti vozidla.

Medzi ďalšie akty v EÚ týkajúce sa vozidiel po dobe životnosti patria:

- Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2005/64/ES z 26. októbra 2005 o typovom schválení motorových vozidiel vzhľadom na ich opätovnú

využiteľnosť, recyklovateľnosť a zužitkovateľnosť, ktorou sa mení a dopĺňa smernica Rady 70/156/EHS (Ú. v. EÚ L 310, 25.11.2005, s. 10 – 27).

- Smernica 2018/849/EÚ ktorou sa menia smernice – 2000/53/ES o vozidlách po dobe životnosti, 2006/66/ES o batériách a akumulátoroch a použitých batériách a akumulátoroch a 2012/19/EÚ o odpade z elektrických a elektronických zariadení.
- Rozhodnutie Komisie 2005/293/ES z 1. apríla 2005 ustanovujúce podrobné pravidlá monitorovania cieľov opätovného využitia/spätného získavania a opätovného využitia/recyklácie, stanovených v smernici Európskeho parlamentu a Rady 2000/53/ES o vozidlách po dobe životnosti (Ú. v. EÚ L 94, 13.4.2005, s. 30 – 33)
- Rozhodnutie Komisie 2001/753/ES zo 17. októbra 2001 o dotazníku potrebnom na vyhotovenie správy členských štátov o vykonávaní smernice Európskeho parlamentu a Rady 2000/53/ES o vozidlách po dobe životnosti (Ú. v. EÚ L 282, 26.10.2001, s. 77 – 80).
- Rozhodnutie Komisie 2003/138/ES z 27. februára 2003, ktorým sa ustanovujú normy kódovania súčiastok a materiálov pre vozidlá podľa smernice Európskeho parlamentu a Rady 2000/53/ES o vozidlách po dobe životnosti (Ú. v. EÚ L 53, 28.2.2003, s. 58 – 59).
- Rozhodnutie Komisie 2002/151/ES z 19. februára 2002 o minimálnych požiadavkách pre osvedčenie o zničení vydané v súlade s článkom 5 ods. 3 smernice Európskeho parlamentu a Rady 2000/53/ES o vozidlách po dobe životnosti (Ú. v. ES L 50, 21.2.2002, s. 94 – 95).

6.2.1 Zhrnutie

Smernica 2000/53/ES o vozidlách po dobe životnosti bola prijatá so zámerom minimalizovať vplyv vozidiel po dobe životnosti na životné prostredie a zlepšiť environmentálne správanie všetkých hospodárskych subjektov zapojených do životného cyklu vozidiel. V smernici 2018/849/EÚ sa Komisii ukladá povinnosť posúdiť túto problematiku do konca roka 2020. Mimoriadnu pozornosť pri tom treba venovať vykonávaniu smernice, realizovateľnosti stanovovania cieľov pre nahlasovanie údajov za konkrétne materiály, ako aj problému v podobe vozidiel po dobe životnosti, o ktorých nie je známe, kde sa nachádzajú. V článku 9 smernice o vozidlách po dobe životnosti sa stanovuje povinnosť členských štátov predkladať Komisii v trojročných intervaloch správy o vykonávaní smernice na základe dotazníka uvedeného v rozhodnutí Komisie 2001/753/ES.

Cieľom predpisov EÚ o vozidlách po dobe životnosti je zabezpečiť, aby:

- rozobratie, recyklácia a opätovné využitie týchto vozidiel bolo šetrnejšie k životnému prostrediu,
- výrobcovia vyrábali nové vozidlá bez nebezpečných látok, čo neskôr umožní opätovné využitie súčiastok.

6.2.2 Legislatíva SR

V SR je legislatíva týkajúca sa problematiky starých vozidiel upravená:

- Nariadením vlády SR č. 153/2004 Z. z., ktorým sa ustanovujú záväzné limity a termíny pre rozsah opätovného použitia častí starých vozidiel, zhodnocovania odpadov zo spracovania starých vozidiel a ich recyklácie,
- Nariadením vlády č. 34/2010 z. Z. o technických požiadavkách na vozidlá vzhľadom na ich opätovnú využiteľnosť, recyklovateľnosť a zužitkovateľnosť,
- Vyhláškou MŽ SR č. 365/2015 Z. z., ktorou sa ustanovuje Katalóg odpadov.

Záväzné limity a termíny pre rozsah opätovného použitia častí starých vozidiel, zhodnocovania odpadov zo spracovania starých vozidiel a recyklácie starých vozidiel sú uvedené v Tab. 6.1 Záväzné limity a termíny pre rozsah opätovného použitia častí starých vozidiel. (Príloha č. 1 k nariadeniu vlády č. 153/2004 Z. z.)

Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky predložilo na základe Plánu legislatívnych úloh vlády Slovenskej republiky na rok 2019 návrh zákona č. 460/2019 Z.z., ktorým sa mení a dopĺňa zákon č. 79/2015 Z. z. o odpadoch a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov a ktorým sa menia a dopĺňajú niektoré zákony (ďalej len „návrh zákona“) z dôvodu transpozície tzv. „odpadového balíka“, ktorý tvoria smernica Európskeho parlamentu a Rady

Tab. 6.1 Záväzné limity a termíny pre rozsah opätovného použitia častí starých vozidiel

	Limit a termín pre minimálne zvýšenie rozsahu danej činnosti [1)]		
Činnosť	1. 1. 2006		1.1. 2015
Vozidlá vyrobené	pred 1.1.1980	od 1. 1 1980	všetky
Opätovné použitie častí starých vozidiel a zhodnocovanie odpadov zo spracovania starých vozidiel	75 %	85 %	95 %
Opätovné použitie častí starých vozidiel a recyklácia starých vozidiel	70 %	80 %	85%

1) k priemernej hmotnosti jedného vozidla za rok.

Príloha č. 2 k nariadeniu vlády č. 153/2004 Z. z. – Zoznam transponovaných právnych aktov – Týmto nariadením vlády sa transponuje tento právny akt Európskych spoločenstiev: Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2000/53/ES z 18. septembra 2000 o starých vozidlách.

(EÚ) 2018/849 z 30. mája 2018, ktorou sa menia smernice 2000/53/ES o vozidlách po dobe životnosti, 2006/66/ES o batériách a akumulátoroch a použitých batériách a akumulátoroch a 2012/19/EÚ o odpade z elektrických a elektronických zariadení, ďalej smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2018/850 z 30. mája 2018, ktorou sa mení smernica 1999/31/ES o skládkach odpadov, smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2018/851 z 30. mája 2018, ktorou sa mení smernica 2008/98/ES o odpade a

smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2018/852 z 30. mája 2018, ktorou sa mení smernica 94/62/ES o obaloch a odpadoch z obalov.
Na spracovanie starých vozidiel sa vyžaduje podľa národnej legislatívy autorizácia udelená Ministerstvom životného prostredia podľa § 89 ods. 1 písm. a) bod 3. zákona č.79/2015 Z. z. o odpadoch a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov. Autorizovaní spracovatelia posielajú údaje za predchádzajúci rok, získané z evidencie o spracovaní starých vozidiel formou ohlásenia 1x ročne („Ohlásenia o spracovaní starých vozidiel“). Túto povinnosť majú spracovatelia starých vozidiel uvedenú v § 21 vyhlášky MŽP SR č. 366/2015 Z. z., o evidenčnej povinnosti a ohlasovacej povinnosti v znení neskorších predpisov. Podľa § 65 ods. 1 písm. r) zákona o odpadoch sú povinní viesť a uchovávať evidenciu o spracovaní starých vozidiel. Tieto údaje z evidencie ohlasujú príslušnému orgánu štátnej správy odpadového hospodárstva, výrobcovi vozidiel a organizácii zodpovednosti výrobcov pre vozidlá, s ktorými má uzavretú zmluvu. Údaje o množstve vyzbieraných starých vozidiel zadávajú spracovatelia do elektronického systému eZAP, ktorý spravuje Združenie automobilového priemyslu Slovenskej republiky (ZAP SR). Prístup do eZAP-u má aj MŽP SR. Údaje o množstve zaregistrovaných nových vozidiel a jazdených vozidiel sú poskytované Združením automobilového priemyslu Slovenskej republiky. ZAP SR je členom európskej asociácie výrobcov automobilov ACEA. Spravuje informačný systém e-ZAP, do ktorého sú prihlásení výrobcovia a dovozcovia vozidiel, ako aj autorizovaní spracovatelia starých vozidiel. Celková hmotnosť predstavuje sumu skutočných hmotností všetkých spracovaných starých vozidiel, nakoľko každé staré vozidlo sa pred vstupom do autorizovaného zariadenia na spracovanie starých vozidiel váži. Váženie starých vozidiel sa uskutočňuje ihneď po vstupe starého vozidla do spracovateľského zariadenia. Celková hmotnosť prijatých starých vozidiel sa uvedie do „Ohlásenia o spracovaní starých vozidiel“. Na základe ohlásení, prijatých od autorizovaných spracovateľov sa potom vypočíta priemerná hmotnosť starých vozidiel.

Smernica EÚ rozširujúca zodpovednosť producentov požaduje, aby všetky automobilky prijali nevyhnutné opatrenia a umožnili identifikáciu subkomponentov v automobile na ich opätovné využitie, obnovu a recykláciu. Označenie plastových automobilových dielov už pri výrobe uľahčuje ich identifikáciu a zjednodušuje triedenie a recykláciu plastov. Existujú normy určujúce najdôležitejšie informácie, ktorými musia výrobcovia označiť plastové časti. Informácie majú obsahovať okrem typu plastu aj použitý nebezpečný materiál, spomaľovače horenia a podobne.
Splnenie cieľov stanovených v smernici EÚ o vozidlách po dobe životnosti (ELV) je v súčasnosti výzvou pre automobilový priemysel. Na splnenie požiadaviek tejto legislatívy musia byť vozidlá navrhnuté, vyrobené a zmontované s prihliadnutím na ich zneškodnenie po skončení ich životnosti. V praxi je približne 75 % ELV ľahko recyklovateľných už niekoľko rokov, zvyšných 25 % sa ukazuje podstatne náročnejšími.

6.3 Analýza súčasného stavu danej problematiky

6.3.1 Materiály vhodné na recykláciu na báze gumy a polymérov

Vývoj automobilov je na vysokej úrovni a preto sa v automobilovom priemysle využívajú nové odľahčené a špeciálne materiály, medzi ktoré patrí aj čoraz väčší podiel plastov. Vzhľadom na túto skutočnosť je demontáž autovrakov náročná. Automobil môže obsahovať až 80 rôznych druhov materiálov. Okrem približne 750 kg kovu, ktorý predstavuje 60 % hmotnosti obsahuje automobil tiež 7 % neželezných kovov. Plasty tvoria asi 10 % hmotnosti. Guma, textil a zvukovo izolačné hmoty tvoria okolo 9 %. Ostatné materiály predstavujú 4 %, prevádzkové kvapaliny tvoria 7 % hmotnosti. Po demontáži sa kovové časti metalurgicky využijú, ropné produkty sa využijú materiálovo alebo energeticky. Niektoré nepoškodené časti sa môžu využiť na náhradné diely. Sklo, batérie, elektroinštalácie, pneumatiky a niektoré druhy plastov sa spracujú a využijú sa ako polovýrobky alebo súčiastky v strojárskom alebo automobilovom priemysle opätovne. Problém nastáva so zvyškom, ktorý sa skladá z množstva nezužitkovaných častí, ktoré sa následne skládkujú na komunálnych skládkach. Medzi takýto zvyšok patrí aj molitan z autosedačiek. Materiálová štruktúra priemerného európskeho automobilu sa uvádza v Tab. 6.2 Materiálová štruktúra priemerného európskeho automobilu [7]. Po demontáži a po následnom vytriedení náhradných dielov sa získavajú druhotné suroviny. Pneumatiky, gumené časti (tesnenia, rohože), diely z termoplastov (nárazníky), izolanty z autokáblov (bužírka) a autosedačky (molitan a textília) zo spracovaných vozidiel, ktoré sú vhodné na recykláciu sa upravujú už priamo u spracovateľa, Obr. 6.1.



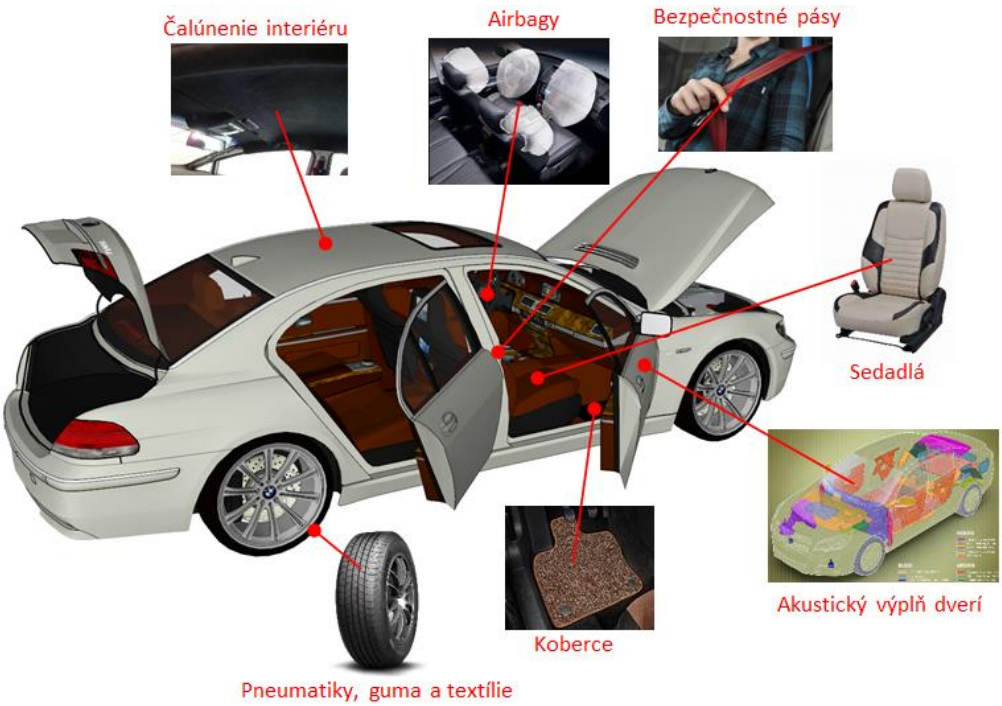
Obr. 6.1 Materiály vhodné na recykláciu a príklady úpravy u spracovateľa

Medzi takéto technológie úpravy u spracovateľa patrí samotná demontáž jednotlivých druhov materiálov a separácia týchto materiálov podľa skupín. V niektorých prípadoch sa materiál upravuje aj lisovaním, kompaktovaním alebo drvením. Následne po takejto technologickej úprave u spracovateľa je tento upravený materiál odobraný zmluvnou stranou, ktorá sa priamo zaoberá recykláciou jednotlivých materiálov a ich spracovaním na výrobky alebo polovýrobky.

Na Obr. 6.2 je znázornené rozloženie jednotlivých materiálov v korpuse automobilu, vhodných na recykláciu, resp. zhodnocovanie do zvukovo a tepelnoizolačných produktov.

Tab. 6.2 Materiálová štruktúra priemerného európskeho automobilu [7]

Materiály osobného automobilu na recykláciu	Percentuálne zastúpenie [%]	Hmotnosť recyklátov [kg]	Hmotnosť odpadu pri 35 328 automobilov [kg]
Kovy (oceľ, v menšej miere liatina)	68	748	26 425 344
Neželezné kovy (najmä hliník)	8	88	3 108 864
Plasty (najmä PP)	10	110	3 886 080
Guma (hadice, tesnenia)	2,5	27,5	971 520
Textil a zvukovo-izolačné materiály	2	22	777 216
Sklo (biele, menej farebné)	3	33	1 165 824
Farby, laky a tmely	1,5	16,5	582 912
Prevádzkové kvapaliny	2	22	777 216
Ostatné (azbestové obloženia, cestné nečistoty)	3	33	1 165 824
Spolu (priemerný európsky automobil)	**100**	**1100**	**38 860 800**



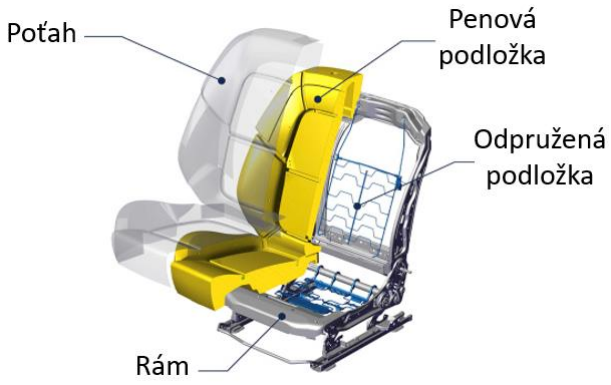
Obr. 6.2 Materiály vhodné na recykláciu

6.3.2 Identifikácia komponentov v automobile s potenciálom ich využitia v zvukovo a tepelnoizolačných produktoch

Sedadlo

Sedadlo, Obr. 6.3 Obr. 1.1pozostáva z mechanizmu na polohovanie sedadla, koľajničiek, kovového skeletu, výplne a čalúnenia. Dodatočne môže sedadlo obsahovať

aj odpruženie alebo výhrevný systém. Na výrobu výstuže, používanej v sedadlách je použitý polyamid vystužený sklenenými vláknami. Výplň sedadla je tvorená penovým syntetickým materiálom hlavne PUR molitanom. Medzi materiály používané na výrobu sedadiel sa používajú nylonové vlákna, vinylové vlákna, PVC vlákna a koža. U niektorých automobiloch sa v sedadlách môže vyskytovať aj kombinácia týchto materiálov.



Obr. 6.3 Dekompozícia predného automobilového sedadla

Akustická a tepelná izolácia automobilov

Pre zníženie prenikania hluku do interiéru automobilu a zvýšenie tepelné izolácie automobilu sú v moderných automobiloch aplikované rôzne materiály. Tieto materiály sú aplikované v rôznych častiach automobilu a častokrát sú to viacvrstvové materiály resp. sú aplikované vo viacerých vrstvách. Jedná sa o materiály na báze gumy, textilu, minerálnych vlákien, penových syntetických materiálov (PUR molitan) a kovových fólií, hlavne hliníkových pre zabezpečenie nehorľavosti a vodotesnosti. Tieto materiály sú často opatrene lepiacou vrstvou pre lepšiu montáž.

Umiestnenie zvukovo a tepelnoizolačných materiálov a automobile sa uvádza na Obr. 6.4.

Koberce

Automobilové koberce, Obr. 6.5, sú vyrobené hlavne z netkaných textilných materiálov hlavne polypropylénových vlákien. Sú umiestnené na podlahe vozidla a vyznačujú sa vysokou životnosťou a odolnosťou voči oteru.



Obr. 6.4 Umiestnenie zvukovo a tepelnoizolačných materiálov v automobile



Obr. 6.5 Automobilové koberce

Airbagy a bezpečnostné pásy

Bezpečnostné pásy, Obr. 6.6, a airbagy v automobiloch, Obr. 6.7, slúžia ako bezpečnostné prvky. Bezpečnostné pásy zabezpečujú polohu pasažierov pri kolíziách. Bezpečnostné pásy sú tenké pásy tkaných textílií s nylonovými vláknami alebo polyesterovými vláknami s vysokou odolnosť v ťahu.



Obr. 6.6 Bezpečnostné pás

Airbagy sú bezpečnostné prvky, ktoré sa aktivujú nafúknutím pri nehodách a znižujú riziko zranenia pasažierov. Jeden airbag je vyrobený z 1,8 m^2 látky. Základom pre výrobu airbagov sú nylonové vláka. Airbag je potiahnutý silikónovou vrstvou.



Obr. 6.7 Airbag

6.3.3 Charakteristika identifikovaných materiálov

Textil

Ináč nazývané aj ako automobilové textílie, majú široké využitie v interiéri automobilu a tvoria až 2 – 4 % celkovej hmotnosti auta. V priemernom automobile sa nachádza približne 45 metrov štvorcových textílií, z čoho až dve tretiny sa nachádza v interiéri. Používajú sa na výrobu kobercov, čalúnenie autosedačiek, bočných panelov dverí, čalúnenie stropu a kufra. Textílie sa taktiež využívajú pri bezpečnostných prvkoch vozidla, konkrétne bezpečnostných pásov a airbagoch. Zvyšok je využitý v pneumatikách, filtroch a hadiciach. Koberce sú dôležitou časťou interiéru, ktoré sú taktiež vyrobené z textilu a musia odolávať extrémnym teplotným rozdielom. Textil má využitie aj v čalúnení dverí a stropu, a slúži ako teplotná, zvuková a vibračná izolácia. Používa sa aj v bezpečnostných prvkoch ako sú bezpečnostné pásy a airbagy, kde sa použije cca 1 kg textilu. Technické textílie tvoria významnú časť automobilov Textilný materiál na výrobu autodielov je osobitne vyvíjaný pre náročné potreby automobilového priemyslu. Textílie využívané v automobilovom priemysle tvoria až 22 % zo všetkých druhov technických textílií, práve automobilový priemysel je ich najväčším

spotrebiteľom zo všetkých odvetví priemyslu. Požiadavky na vlastnosti textilných dielov v konštrukcii automobilu zvyšujú aj nároky na komponenty tvorené z technických textílií a kvalitatívne vlastnosti samotných textílií. Priemerná hmotnosť textílií v jednom automobile sa dnes pohybuje na úrovni približne 23 kg Zastúpenie textílií na celkovej hmotnosti vozidla bude aj naďalej narastať. Priemerná hmotnosť textilného materiálu v stredne veľkom aute vzrástla z 20 kg v roku 2000 na dnešných 23 – 26 kg, zatiaľ čo v roku 2020 sa predpokladá, že textílie dosiahnu v automobiloch zastúpenie až 35 kg. Tento rast pramení už zo spomínaných nárokov na bezpečnosť a redukciu celkovej váhy vozidla s cieľom znížiť spotrebu palivových hmôt a emisií oxidu uhličitého. Znižovanie celkovej hmotnosti vozidla zvyšovaním zastúpenia textílií sa chápe tak, že textílie v automobiloch nahrádzajú ťažšie druhy materiálov. Plastové súčasti sú nahrádzané za textilné najmä v interiéri vozidla a ako náhradu za kov môžeme chápať využitie textílií ako akustickej izolácie namiesto hrubých plechov. Technické textílie využívané v automobilovom priemysle sa neustále vyvíjajú pod tlakom najnovších požiadaviek výrobcov áut, ich užívateľov alebo legislatívy. Textílie použité v exteriéri automobilu majú predovšetkým protihlukovú funkciu, to znamená, že slúžia ako akustická izolácia proti hluku prostredia, ale aj hluku vytváranému motorom a inými pohyblivými časťami vozidla. Z nich sa na celkovom podiele textílií najviac podieľajú textilné materiály použité na stuženie pneumatík a izoláciu motorového priestoru. Najviac používanými materiálmi v interiéri vozidla sú z hľadiska textílií polyester, polypropylén a polyamid, ktoré disponujú vlastnosťami napĺňajúcimi vysoké kvalitatívne požiadavky. Z ďalších materiálov sa využíva polyamid, prírodná alebo syntetická koža, vlna alebo sklená vata. Ako doplnkové materiály sa používajú polyetylén a polyuretánové ľahké a tuhé peny (PUR).

Tab. 6.3 Percentuálne zastúpenie textílií v automobile

Textilný komponent	Percentuálne zastúpenie
Koberce	33
Čalúnenie	18
Interiérové komponenty	14
Pneumatiky	12
Bezpečnostné pásy	8
Airbagy	3,7
Iné	9,4
Celkovo	**100**

Koža

Výhodou kože, ako materiálu používaného v interiéri automobilu. Koža je alternatívou textilného čalúnenia interiéru, no vyskytuje sa skôr u drahších modeloch automobilov.

Vinylové vlákna

Inými slovami sa jedná o syntetickú kožu. Tieto vlákna sú užitočným materiálom, ktoré sa využívajú prevažne u automobilov, ktoré majú vzbudzovať dojem, že sa jedná o vyššiu triedu automobilu, Obr. 6.9. Tento materiál je hladký, elegantný a komfortný tak,

ako koža, avšak jeho cena je nižšia a je ľahší na údržbu. Je dostupný v širokej škále farieb a preto sa používa vo všetkých typoch automobilov, ktoré sú určené či už na komerčné alebo súkromné využitie. Medzi jeho výhody patrí trvácnosť a kvalita porovnateľná s inými materiálmi [20].



Obr. 6.8 Interiér automobilu zo syntetickej kože

6.3.4 Recyklácia textilu

V každej textilnej výrobe vzniká množstvo technologických odpadov, ktoré nie je možné ďalej spracovať klasickými textilnými metódami. Snaha zhodnotiť tieto materiály viedla k rozvoju nových technológií.

Existujú štyri kategórie recyklačných technológií a zahŕňajú primárny, sekundárny, terciárny a kvartérny prístup [9]:

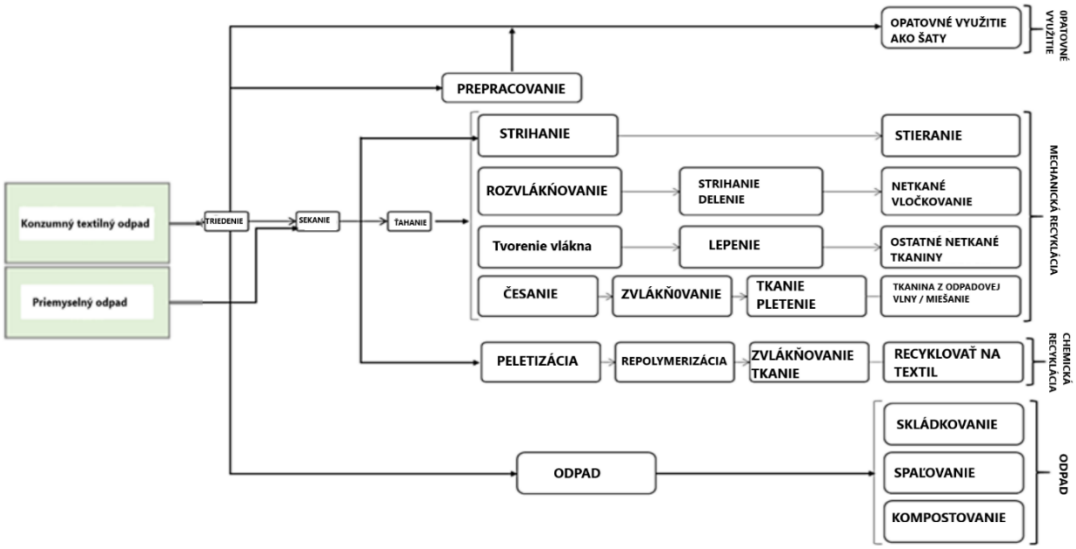
- Primárne: recyklačný materiál v pôvodnej podobe na zhodnotenie rovnakej hodnoty,
- Sekundárne: spracovanie po konzumácii výrobku obvykle mechanickými prostriedkami na produkt s rôznymi fyzikálnymi a / alebo chemickými vlastnosťami (mechanická recyklácia),
- Terciárne: procesy ako pyrolýza a hydrolýza, pri ktorých sa odpad premieňa na základné chemické zložky, monoméry alebo palivá (chemická recyklácia)
- Kvartérne (zhodnocovanie): procesy premeny odpadov na energiu, ako je spaľovanie pevného odpadu alebo využitie vyrobeného tepla.

Na Obr. 6.9 je schéme recyklácie textilu od post- konzumentov a z priemyselného odpadu [10]. Keďže recyklačný rozsah materiálov z automobilov je veľmi široký, najväčšie percento operácii pri recyklovaní textilu tvorí mechanická recyklácia odpadov. Predkladaná práca sa preto bude venovať hlavne mechanickej recyklácii.

6.3.5 Regenerácia odpadového textilu

Tento klasický smer využitia odpadového textilu za účelom úspory primárnej, prvotnej suroviny, čaká veľké zmeny a lepšiu využiteľnosť a efektivitu. V tejto oblasti je potrebné vykonať technologické inovácie a podstatný zásah v oblasti [9], [11]:

- triedenia,
- vlastnej regenerácie,
- zušľachťovania materiálov.



Obr. 6.9 Prehľad možných tokov industriálneho a spotrebiteľského textilného odpadu [10]

Ide o sledovanie problematiky zníženia podielu využitia prvotných surovín vo výrobnom procese, ich regeneráciu a recykláciu v kolobehu surovín.
Nastáva progresívne rastúci problém využitia podielu syntetických a zmesových odpadových textilov. Textilné odpady vo väčšine prípadov prichádzajú do prevádzky ako:

- netriedené,
- znečistené.

Odpady pri triedení sa delia na dve časti, a to:

- odpady, ktorých stav umožňuje pokračovanie v procese spracovania,
- odpady, ktoré je potrebné pred ďalším spracovaním upravovať.

Textilné odpady okrem znečistenia obsahujú aj rôzne predmety, ktorých prítomnosť počas procesu spracovávania môže znamenať zníženie kvality východiskovej suroviny a tiež vážne poruchy spracovacích strojov. Medzi takéto nežiaduce predmety patria gombíky, zipsy, gumy, rôzne vypchávky a kovové ozdobné predmety, pracky a pod. [11] Tieto nežiadúce predmety sa odstraňujú pomocou nožníc, nožov, pásových píl na vyrezávanie hrubých švov a ďalších nástrojov. Pri spracovávaní textilných odpadov platí, že len časť operácií sa vykonáva strojovo. Medzi operácie, ktoré sú najdôležitejšie pre proces spracovania a vykonávajú sa ručne, patrí:

- triedenie odpadov (podľa znečistenia, veľkosti, zloženia),
- odstraňovanie nežiaducich predmetov.

Základné vlastnosti textilných vlákien možno rozdeliť do dvoch základných skupín:
Primárne vlastnosti:

1. dĺžka vlákna, pomer dĺžky a šírky vlákna,
2. húževnatosť (pevnosť vlákna),

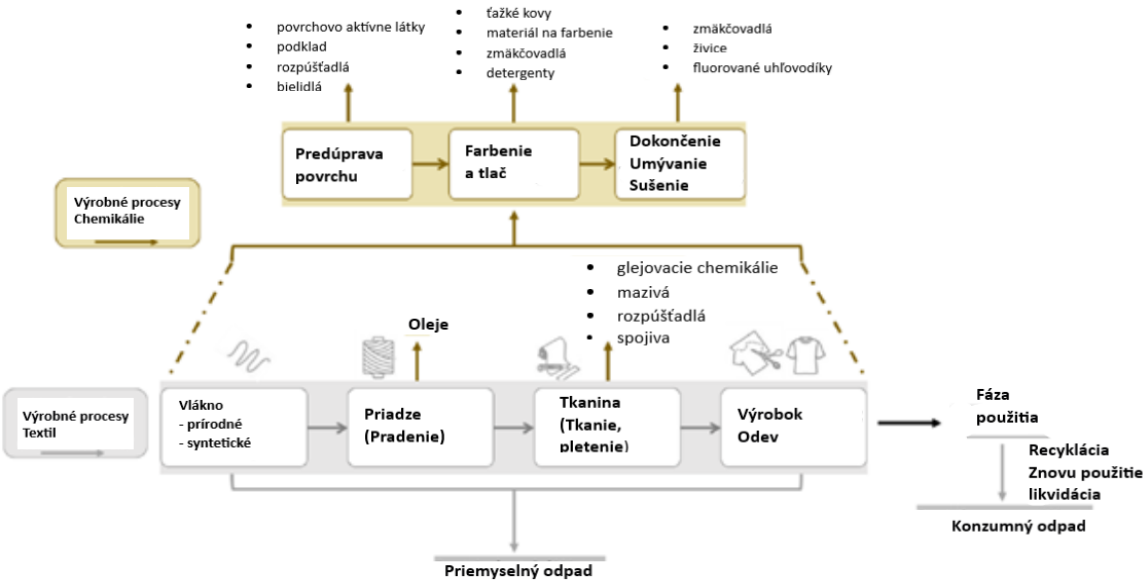
3. flexibilita (ohybnosť) vlákna,
4. prijateľná rozšíriteľnosť na spracovanie,
5. súdržnosť (kohézne vlastnosti) vlákna,
6. jednotnosť vlastností vlákna.

Sekundárne vlastnosti:

1. fyzikálny tvar (prierez, povrchová kontúra, atď.),
2. špecifická gravitácia (vplyv hmotnosti, obalu, atď.),
3. znovuzískanie vlhkosti a absorpcia vlhkosti(komfort, statická elektrina, atď.),
4. elastický charakter – naťahovanie a stlačiteľnosť vlákna,
5. termo-plastické vlastnosti (zmäkčovací bod a tepelne nastaviteľný charakter) vlákna,
6. farbiteľnosť
7. odolnosť (rezistencia) voči rozpúšťadlám, chemikáliám spôsobujúcich koróziu, mikroorganizmom a environmentálnym podmienkam),
8. horľavosť vlákna,
9. lesk vlákna

6.3.6 Triedenie textilu

Triedenie samo o sebe predstavuje jednu z najdôležitejších operácií recyklácie a zároveň jednu z najnáročnejších. Triediaci proces znamená vysoký nárast ceny východiskovej suroviny, a preto je najjednoduchšie triedenie vykonávať v mieste vzniku. Je to však prakticky nemožné z toho dôvodu, že starých textílií sa u jednotlivcov nenachádza až také množstvo.



Obr. 6.10 Materiálový a chemický odpadový tok počas výroby odevov a použitia [10]

Aby malo triedenie čo najširší dosah, dodržiavajú sa určité pravidlá, ako napr. triedenie podľa určitých charakteristických znakov. Avšak nie všetky druhy odpadov sa dajú triediť podľa rovnakých charakteristických znakov. Musí sa preto triedenie jednotlivých

druhov textilného odpadu tomu prispôsobiť. Textilné materiály sa triedia podľa rôznych kritérií, Obr. 6.10.

a) Triedenie podľa materiálového zloženia:

Recyklácia textilu a textilných materiálov je priamo závislá od zloženia materiálov.

Z ekologického hľadiska sú pre následnú recykláciu najvýhodnejšie textilné materiály z prírodných vlákien. Hľadisko výroby zohráva nepodstatnú úlohu, ale [12]:

- Netkané textílie môžu byť spájané aj chemicky, čo pri spaľovaní nie je výhodné.
- Recyklácia kompostovaním je vhodná iba pre textílie z prírodných materiálov – vlna, bavlna, ľan, keďže syntetické a chemické materiály nepodliehajú hnilobnému procesu.

Podľa triediaceho hľadiska je určujúcim znakom hlavná použitá surovina:

- prírodná – bavlna, vlna, ľan,
- umelé vlákna – polyesterové, polypropylénové, polyakrylonitrilové, polyamidové, polyetylénové.

b) Triedenie podľa farby

Delí sa do troch hlavných skupín:

- biele,
- jednofarebné odtiene (farby určitých tónov),
- pestré (zmes odpadov v rôznych farbách, alebo odpady farebne vzorované).

c) Triedenie podľa pôvodu

Znečistenie odpadov môže byť:

- organické (rastlinné a živočíšne prímesi, hrubé nečistoty,...),
- anorganické (oleje, ropné látky, farbivá, tmely,...).

Pri triedení je potrebné ďalej vytrieďovať odpady, ktoré sú pre svoje zloženie či znečistenie ďalej pre textilné spracovanie nepoužiteľné. Treba si však uvedomiť, že práve tieto odpady pre nás nepoužiteľné boli využívané pri výrobe lepenky, v stavebníctve, atď.

d) Triedenie podľa veľkosti

Veľké kusy textílií sa využívajú skôr úplne, no v závislosti od materiálu, malé a jemné kúsky odevov, tkanín majú obmedzené možnosti použitia a to najčastejšie spôsobom recyklácie – trhaním.

e) Triedenie podľa automatizácie

Delí sa do dvoch skupín:

- ručné triedenie,
- automatizované triedenie.

6.3.7 Etapy spracovania textilného odpadu pred mechanickou recykláciou

Pri spracovaní textilných odpadov rozoznávame tieto etapy [9]:

a) Preklepávacia

Odpad vyžadujúci ďalšie úpravy, postupuje pásovým dopravníkom k preklepávaciemu zariadeniu, jeho hlavným cieľom je odstránenie nežiaducich hrubých nečistôt. Odpad vstupujúci do stroja je intenzívne preklepávaný klepacími ramenami a oddelené nečistoty prepadávajú cez rošt do zásobníka.

b) Karbonizácia

Medzi samostatný proces úpravy starých textílií patrí aj karbonizácia vlny. Jej hlavnou úlohou je rozrušiť a oddeliť zložku celulózy, a to vo forme rastlinných nečistôt alebo celulózových vlákien. Karbonizácia sa vykonáva len u vlnených odpadov a len vtedy, ak ich množstvo pokryje náklady na jej realizáciu. Karbonizácia môže prebiehať:

- za mokra – odpady sa máčajú v roztoku kyseliny sírovej s prídavkom namáčadla, potom sa sušia,
- za sucha – pôsobením plynného chlorovodíka dochádza ku hydrolýze celulózy.

c) Podávacia

Takto upravený odpad postupuje až k pracím agregátom, a to prostredníctvom pásového dopravníka, ktorý je doplnený o snímacie zariadenie a zberný pásový dopravník na odvádzanie drobných nečistôt

d) Pranie v pracích agregátoch

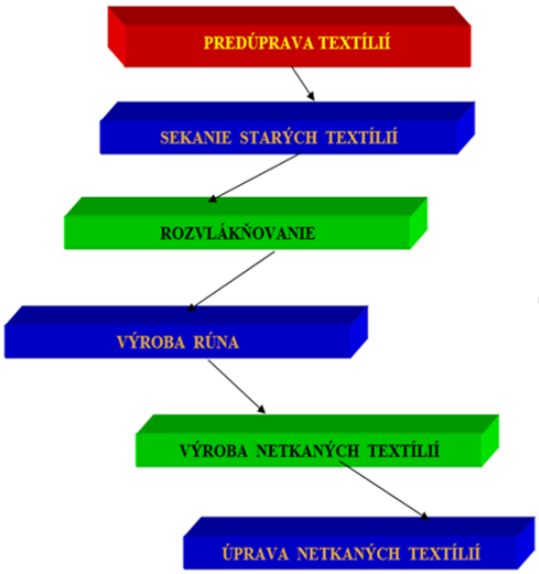
Textílie sú často znečistené mastnými látkami, farbami a inými nečistotami, preto z hygienických dôvodov je nevyhnutné ich pranie. Pracia linka sa skladá z týchto častí: prací stroj, dopravníky, žmýkacie valce, oplachovací stroj, žmýkací lis, sušiaci stroj.

Pranie textílií má viacero kladov z hľadiska technologického, ekonomického a hygienického. Sú to [12]:

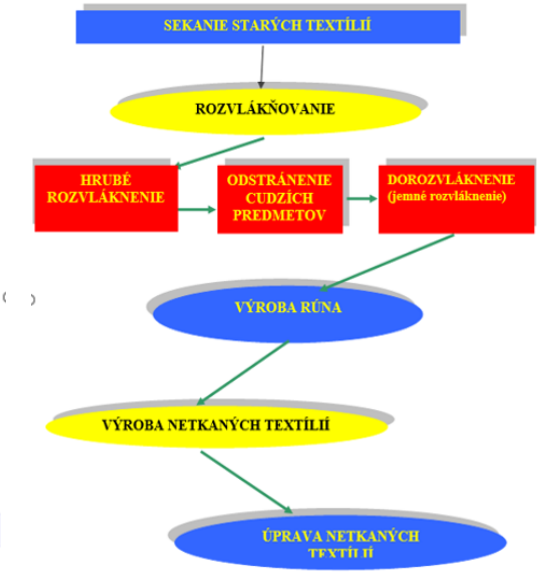
- s textíliami, ktoré prešli pracím agregátom sa lepšie pracuje, pretože na textíliách s uvoľnenou štruktúrou sa lepšie vytvára dokonalý film mastiaceho prostriedku. Takto upravená surovina sa lepšie rozvlákňuje,
- lepšia rozvlákniteľnosť odpadu má vplyv na náklady spracovania surovín,
- vyprané textílie zodpovedajú hygienickým normám.

Všetok odpad (triedený aj netriedený) sa skladuje v prepravných nádobách, baloch, čím sa docieli ľahšia manipulácia s nimi.

Pri spracovaní textilných odpadov rozoznávame tieto etapy, Obr. 6.11 a Obr. 6.12:



Obr. 6.11 Všeobecne platný postup spracovanie textílií starých textílií [9]



Obr. 6.12 Model spracovania starých [9]

6.3.8 Recyklácia tkaného textilu v strojných zariadeniach

Stroje pre recykláciu textilu sa odlišujú spôsobom, veľkosťou a možnosťou automatizácie. Typy recyklačných textilných strojov môžeme rozdeliť [9], [12]:

- rezacie stroje – výstup: najemno narezané časti odpadu,
- mykacie stroje – zabezpečujú spájanie narezaného, nasekaného, mletého odpadu do textilného plošného celku – rúna,
- odsávacie stroje – odsávajú nadbytočnú vlhkosť za pomoci tlaku,
- zariadenia na zhromažďovanie – nádoby, kontajnery na prepravu,
- balíkovacie lisy – lisovanie a balenie trhaniny a textilného odpadu,
- pracie stroje na handry – priemyselné práčky,
- zariadenia na pranie (odmasťovanie) handier – odmasťovanie a pranie narezaného textilného odpadu

6.3.9 Sekanie starých textílií

Sekaním sa dosahuje zmenšenie veľkých kusov textílií na vopred nastavenú veľkosť. Vykonáva sa strojmi [13]:

- gilotínovým,
- rotačnými.

Hlavnými funkčnými časťami sekacích strojov sú [13]:

- podávací pás,
- sekacie ústrojenstvo,
- odvádzací pás.

Zloženie sekacích strojov sa dá rozšíriť aj o detektor kovových častí, aby nedošlo počas ich prítomnosti k poškodeniu ústrojenstva zariadenia. Podmienkou výkonnosti sekacích zariadení je plynulé zásobovanie náležitým množstvom materiálu. Počas sekania dochádza k situácii, že niektoré kusy textílií sa pri prechode sekacím ústrojenstvom nerozsekajú. Pre zrovnanie veľkosti posekaného materiálu sa tento proces vykonáva na dvoch za sebou idúcich sekacích zariadeniach. Takto upravená surovina postupuje na ďalšie spracovanie. Príklady deliacich, sekacích strojov na textilný odpad je uvedený na Obr. 6.13.

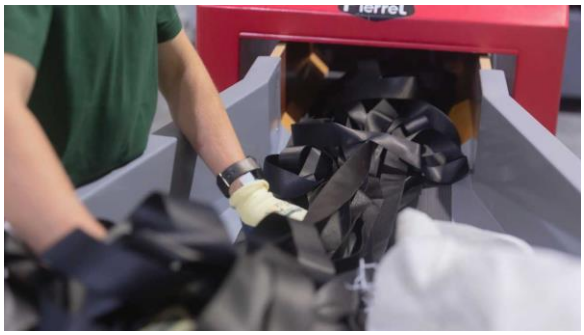


Obr. 6.13 Sekacie textilné stroje [13]

Na Obr. 6.14 Obr. 6.14 Nasekaný textil [13]je príklad vstupu polotovaru po prvej deliacej operácii. Nasekaný textil má približne rovnakú veľkosť. Na Obr. 6.15 je podávanie bezpečnostných pásov na sekanie a následné drvenie.



Obr. 6.14 Nasekaný textil [13]



Obr. 6.15 Spracovanie bezpečnostných pásov [14]

6.3.10 Rozvlákňovanie textilného odpadu

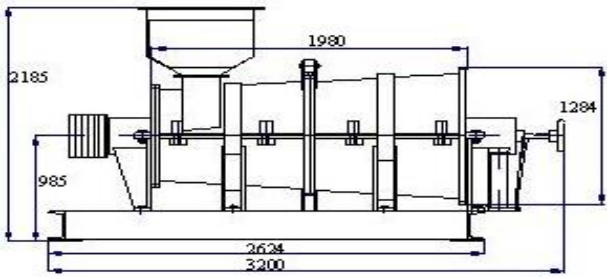
Rozvlákňovaním sa získavajú jednotlivé vlákna z vopred nasekanej textílie. K procesu dochádza na viacbubnovom trhacom stroji (3 – 5 nožov), kde je prichádzajúci odpad obohatený o mastiace prostriedky. Mastiace prostriedky sú vyrábané na báze minerálnych olejov s prídavkom emulgátorovej zložky, alebo s inými špeciálnymi prísadami. Tieto zabezpečujú premastenie odpadu a zľahčenie rozvlákňovacieho procesu. Premastené vlákna majú vyššiu pevnosť, pružnosť a odolnosť voči namáhaniu. Oleje pôsobia tiež antistaticky, nedochádza tak k ich pretrhávaniu, čo by znamenalo nárast vysokého množstva malých nepoužiteľných vlákien.

Na rozvlákňovanie sa používajú rôzne druhy rozvlákňovacích zariadení a to v závislosti od množstva odpadu, jeho druhu ako príklad je

Obr. 6.16 – Stroj Novatex RS II, Obr. 6.17 rozvlákňovacieho stroja Novatex RS II. [9]

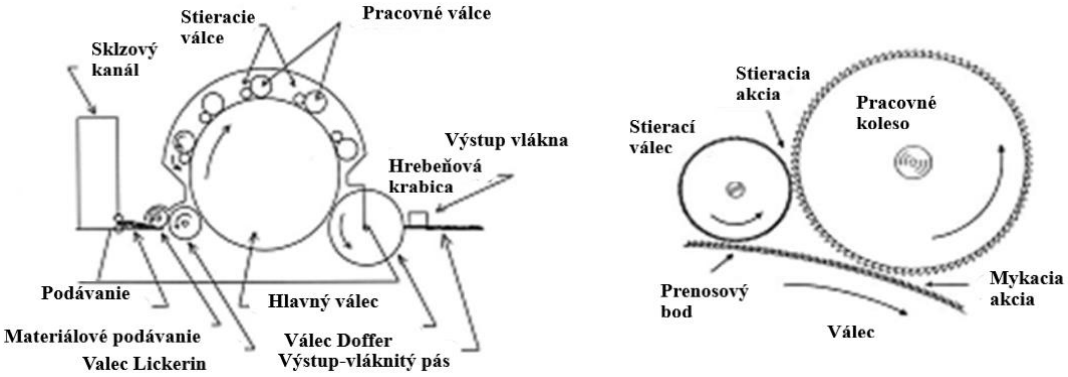


Obr. 6.16 Stroj Novatex RS II [9]



Obr. 6.17 Rozmery rozvlákňovacieho stroja Novatex RS II [9]

Princíp rozvlákňovania je znázornený na Obr. 6.18, kde pomocou upravených valcov s hrotmi dochádza počas valcovanie textilu ku rozvlákňovaniu.

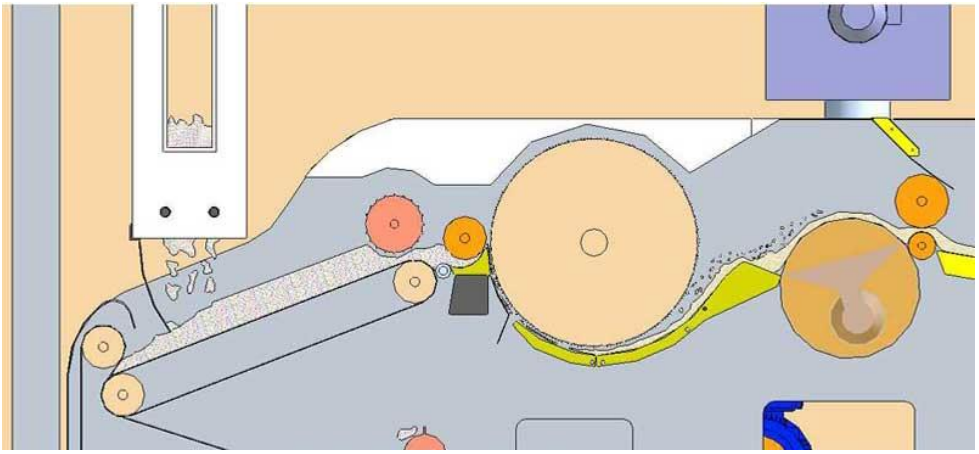


Obr. 6.18 Princíp rozvlákňovania textilu [12]

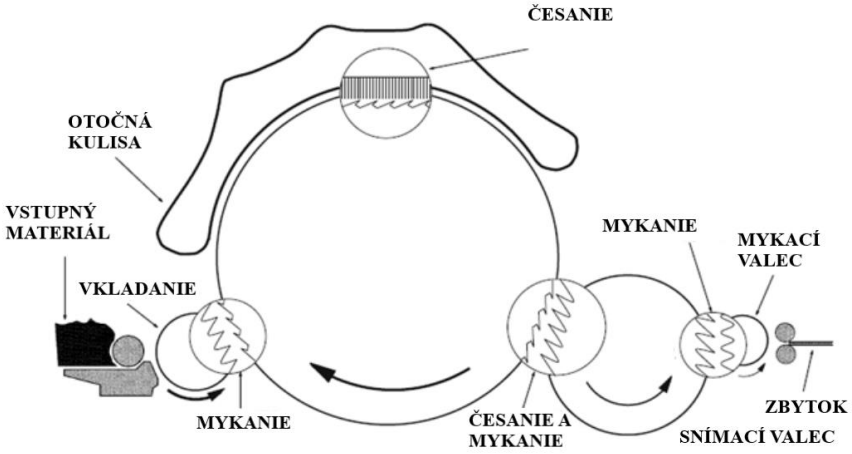
Mykacie stroje sa používajú na rozvlákňovanie textilu, kde zo zásobníka s predom nasekaného textilu dopadá na pásový dopravník polotovar, ktorý pomocou valcov je dopravovaný ku mykaciemu valcu. Schéma rozvlákňovania textilu je na Obr. 6.19.

V moderných mykacích strojoch, ako je znázornené na Obr. 6.20, prichádzajú vlákna do styku s háčikmi rozmiestnenými na rýchlo sa otáčajúcich valcoch a takmer stacionárnych plochých doskách. Prvý z troch valcov sa nazýva „odber“, predstavuje pôvodne vysoko zamotané vlákna označené ako „zamotávanie“. Zahnuté ploché dosky, známe jednoducho ako „dosky, kulisy“, priliehajúce k najväčšiemu valcu, známemu ako „valec“, pôsobia tak, že trhajú a rozkladajú materiál do jednotlivých vlákien. To vedie k vytvoreniu hladkej koherentnej siete nazývanej „Prameň“. Prenosom jednotlivých vlákien z hlavného valca do vyťahovacieho valca, známy ako „snímací valec – doffer“, sa vyrobia priadze, ktoré sú ďalej spracovávané, napínané a krútené.

Fyzikálne vlastnosti výslednej priadze kriticky závisia od vytvorenia súdržného materiálu, štruktúry vzniknutej počas procesu mykania [14].



Obr. 6.19 Schéma rozvlákňovania textilu [9]



Obr. 6.20 Princíp mykania textilu [15]

Bežne je na mykacom stroji s otáčavými plochami povrchová rýchlosť odberu 10 m/s, valec 35 m /s , a výstup nárazník 1 m / s. Približné výšky háčikov na odoberacej ploche a valci sú 5 mm a sú od seba vzdialené 6 a 15 háčikov na štvorcový centimeter, zatiaľ čo nárazníkové háky sú niekoľkokrát väčšie a medzera medzi hrotmi háčikov sa mení, ale nie je väčšia ako niekoľko milimetrov.

Rozvlákňovacie recyklačné textilné stroje môžu byť zložené a usporiadané podľa počtu valcov:

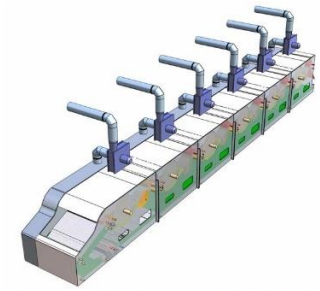
1. jednovalcové, Obr. 6.21 [17],
2. dvojvalcové, Obr. 6.22 [16],
3. viacvalcové, Obr. 6.23 a Obr. 6.24 [18].



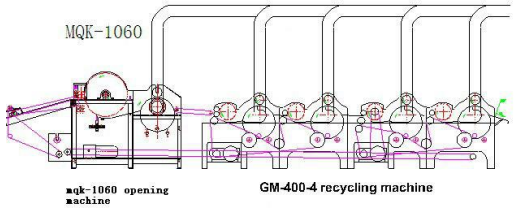
Obr. 6.21 Jednovalcový recyklačný stroj pre textilný odpad [17]



Obr. 6.22 Dvojvalcový recyklačný stroj GM 250 [16]

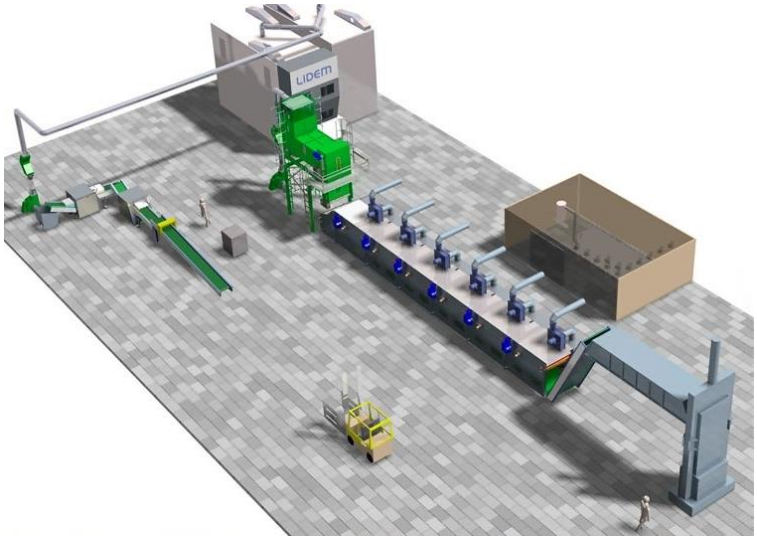


Obr. 6.23 Viacvalcová linka LIDEM [18]



Obr. 6.24 Schéma 4 valcovej rozvlákňovacej linky GM- 400-4 [18]

Príklad rozmiestnenia recyklačnej linky LIDEM je na Obr. 6.25.

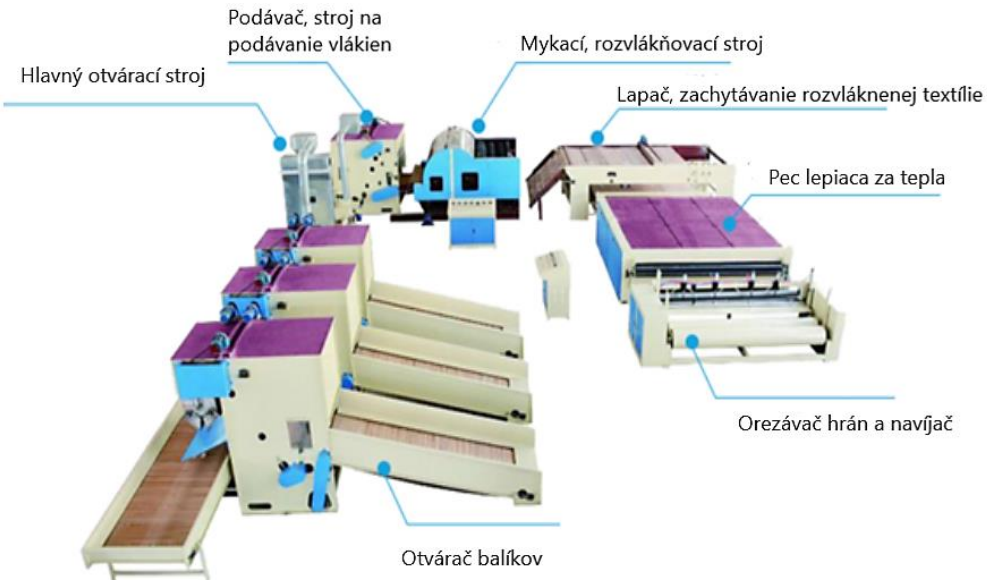


Obr. 6.25 Pohľad na celu rozvlákňovaciu linku LIDEM [18]

Príklad rozvláčňovacej linky s podávacím zariadením je na Obr. 6.26, kde na vstupe sa dodávajú balíky s nasekaným textilom a na výstupe linky vychádza rozvláčnený a lepením upravený materiál vo forme navinutého balu.

Detail rozvláčňovacích hrotov od firmy LIDEM, viď Obr. 6.27, hroty môžu mať rôznu veľkosť a hustotu usporiadania na valci alebo doskách.

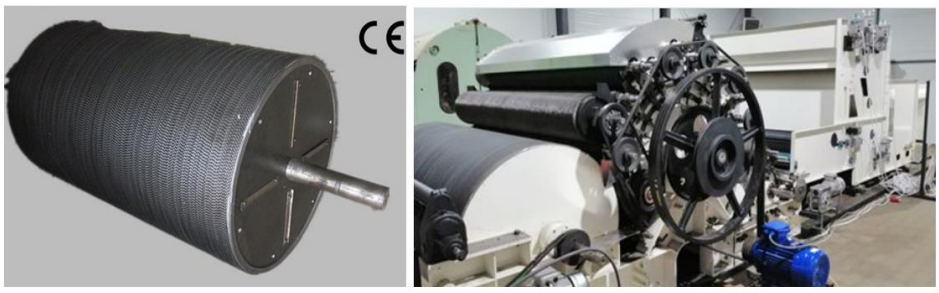
Príklad valcov s rozvlákňovacími hrotmi, viď Obr. 6.28 a Obr. 6.29.



Obr. 6.26 Rozvlákňovacia linka s podávacím zariadením [19]



Obr. 6.27 Príklady rozvláčňovacích hrotov na doskách [18]



Obr. 6.28 Rozvlákňovací valec a rozvlákňovacia linka



Obr. 6.29 Príklady rozvlákňovacích hrotov na valcoch [19]

Príklad vstupného a výstupného materiálu – textilu je na Obr. 6.30 a Obr. 6.31.



Obr. 6.30 Pred procesom spracovania [19]



Obr. 6.31 Po procese spracovania mykaním [19]

6.3.11 Výroba netkaných textílií mechanickým spôsobom

Netkaná textília vzniká nasledujúcim postupom [9]:

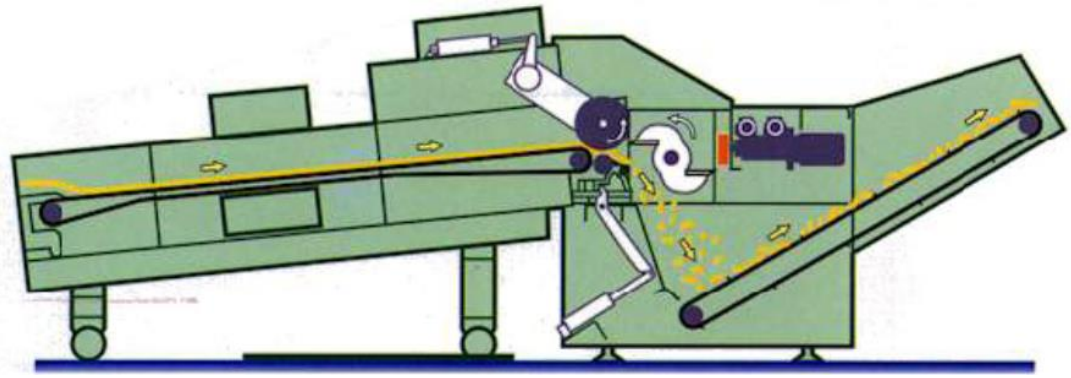
- Najprv nám vznikne pavučina – v podstate plošne usporiadaná sústava vlákien.
- Ďalej vzniká rúno – plošne usporiadaná sústava pavučín.
- Potom vzniká netkaná textília – je sústava vlákien usporiadaná v rúne, ktoré môžu byť navzájom prepojené rôznymi spôsobmi.

Medzi netkané textílie viazané mechanicky patria plošné materiály vzniknuté:

- vpichovaním, počas tohto procesu sa rúno preväzuje vlastnými vláknami, a to kolmo na rovinu rúna. Preväzovanie vykonáva sústava ihiel s ostňami, ktoré pri preniknutí cez rúno uchopia zväzok vlákien a prevlečú ho cez rúno. Na tento spôsob spracovania slúžia vpichovacie stroje
- prepletaním, tento princíp je založený na spevňovaní rúna vláknami, ktoré sa ukladajú vo vrchnej a spodnej časti rúna. Vlákna vo zväzku sa vkladajú špeciálnym zariadením do háčikov pracovných ihiel a z nich sa potom vytvárajú očká, ktoré sa navzájom preväzujú, napr. retiazkovou väzbou.

- všívaním, docielime vkladanie priadzí do podkladovej textílie. Podkladová textília sa prešíva radom ihiel umiestnených vedľa seba, ktoré pri prepichnutí pretiahnu priadzu cez podkladové textílie. Počas niekoľkých vpichnutí držia priadzu zachytávače, aby sa priadza pri spätnom pohybe nevytiahla späť na lícnu stranu, ale aby vytvorila slučku (výroba kobercov).

Technológia je založená na previazaní vlákien vo forme rúna alebo previazaní vlákien na podkladový materiál prírodného alebo syntetického pôvodu. Je možná kombinácia s inými prvkami – tkanina, pletenina, netkaná textília, priadza, papier, fólia, penový polyuretán a ďalšie. Tieto prvky sa kladú pod rúno alebo medzi dve a viac vrstiev rúna. Nová generácia predvpichovacích a vpichovacích strojov umožňuje operatívne vyhodnocovať technologické údaje o výrobe a plynule ich riadiť, Obr. 6.32.



Obr. 6.32 Vpichovací stroj s podávačom [9]

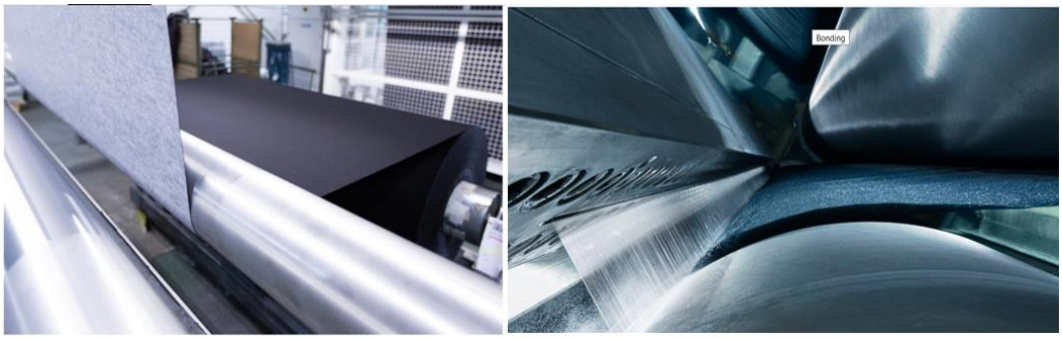
Príklad recyklácie netkaných textílií, viď Obr. 6.33 – na obrázku je vstupný materiál, použitá netkaná textília, a proces jej spracovania a zároveň výstupný polotovar po spracovaní.



Obr. 6.33 Vstupný materiál, použitá netkaná textília a jej spracovanie, Výstup zo spracovania, rozvláknitá textília tvorí jednoliatu hmotu [20]

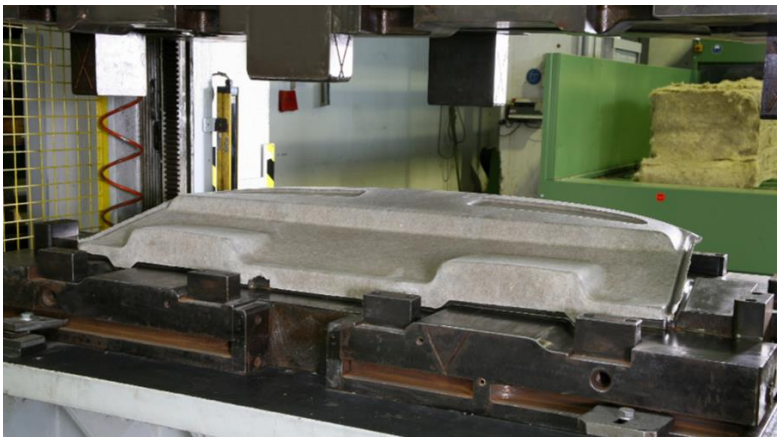
Po rozvláknení textilu môže nasledovať operácia:

- lepenie textilu na podklad, využíva ju automobilka Audi, príklad lepenia je na Obr. 6.34,
- lisovanie nových vnútorných, interiérových častí automobilov.



Obr. 6.34 Lepenie netkanej textílie na druhý textilný podklad [21]

Netkané textílie po lepení sa môžu lisovať ako ďalšie autodiely do automobilov, Obr. 6.35.



Obr. 6.35 Lisovanie netkaných textílií [22], [23]

6.3.12 Ultrazvuková technológia rozvlákňovania materiálov

Pri rozvlákňovaní sa používajú aj progresívne technológie a to hlavne ultrazvuková technológia. Táto technológia využíva vysoký počet kmitov na rozrušovanie hlavne syntetických materiálov, ale aj naopak pri spájaní materiálov. Ultrazvukové spojenie využíva vysokofrekvenčný zvuk na vytváranie lokalizovaného tepla prostredníctvom vibrácií a spôsobuje, že sa termoplastické vlákna navzájom spájajú. Príklad rozvlákňovacieho stroja je na Obr. 6.36.

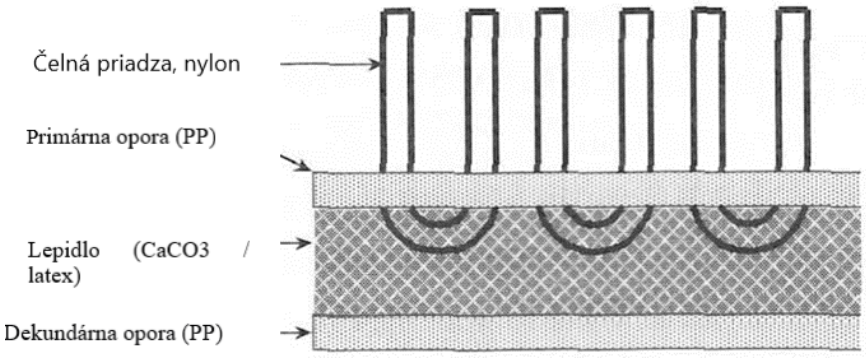
6.3.13 Recyklácia kobercov

V automobiloch sa nachádzajú koberce, ktoré tvoria interiér automobilu. Koberce sa skladajú z viacerých časti, ako je to znázornené na Obr. 6.37.

Dve vrstvy podkladu (väčšinou polypropylénové tkaniny) sú spojené so styrén-butadiénový latexový kaučukom, naplnený uhličitanom vápenatým (SBR) a čelné vlákna (väčšina z nich je z nylon 6 a nylon 6,6 s textúrou priadze) sú všívané do primárneho vlákna ako podklad [12].



Obr. 6.36 Ultrazvuk pre netkané textílie [24]

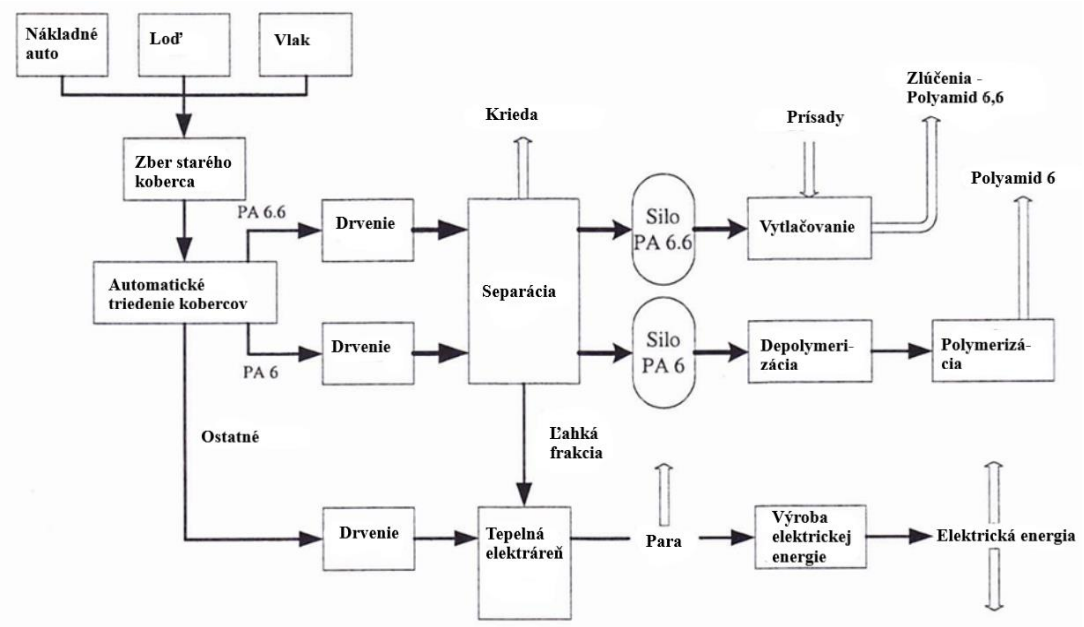


Obr. 6.37 Prierez kobercom [12]

Percentuálne zloženie materiálov koberca je najčastejšie v zložení: čelná priadza 1018 g – 50 %, lepidlo ($CaCo_3$/ latex) – 35 %, podporná časť SBR 204 g – 15 %, podporná časť, 221 g – 10 %.

Zber, triedenie a spracovanie kobercov je na Obr. 6.38.

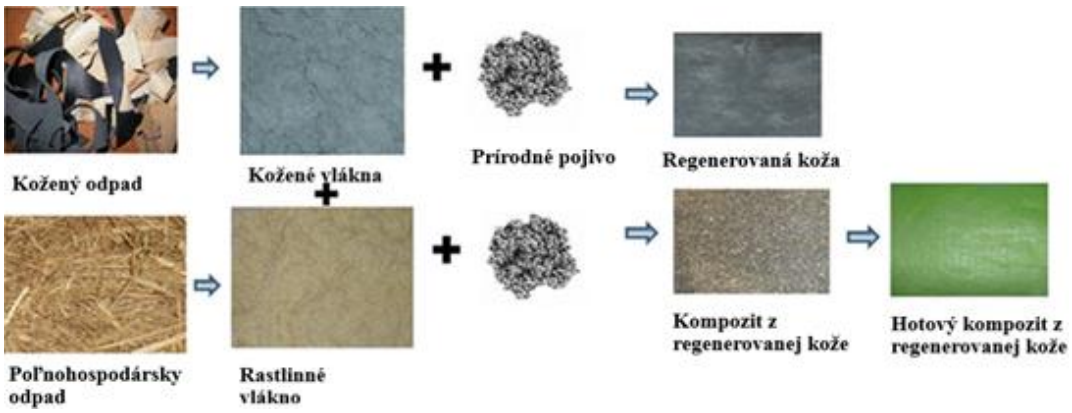
Celková spotreba vlákien v kobercovom priemysle v posledných rokoch bola približne 1,4 milióna ton: nylon 60 %, olefín 29 %, polyester 10 % a vlna 0,3 %. Medzi čelným vláknom z nylonu je asi 40 % nylon 6 a 60 % nylon 6,6. Nylon má vo všeobecnosti najlepšie výsledky zo všetkých syntetických vlákien ako kobercová tvárová priadza, ale je tiež najdrahší [12].



Obr. 6.38 Zber, triedenie a spracovanie kobercov [12]

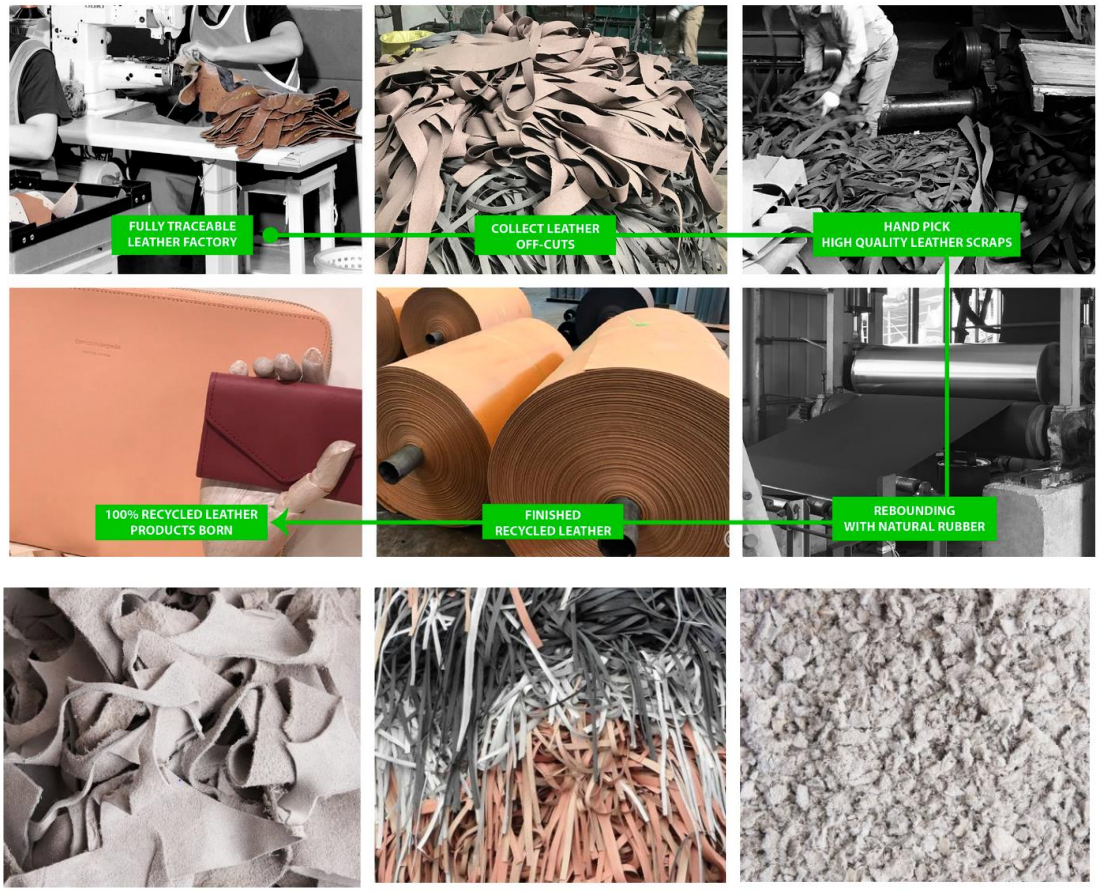
6.3.14 Recyklácia kože

Technologický postup spracovania kože je podobný ako pri spracovaní textílií. V prvej operácii sa ručne vyberajú väčšie kusy nepoškodenej kože, ktorá sa môže použiť na prípravu kabeliek alebo suvenírov.



Obr. 6.39 Postup pri recyklácii kože [25]

Ostatná časť koženého odpadu sa delí na menšie, približne rovnaké časti, ktoré sa rozvláknia a ďalej spracujú pridaním rôznych komponentov. Na Obr. 6.39 je uvedený príklad recyklácie kože. Polotovar, nastrihané časti kožených pásov, rôzne kožené odrezky a výstupná zdrvená koža je na Obr. 6.40 [25], [26].



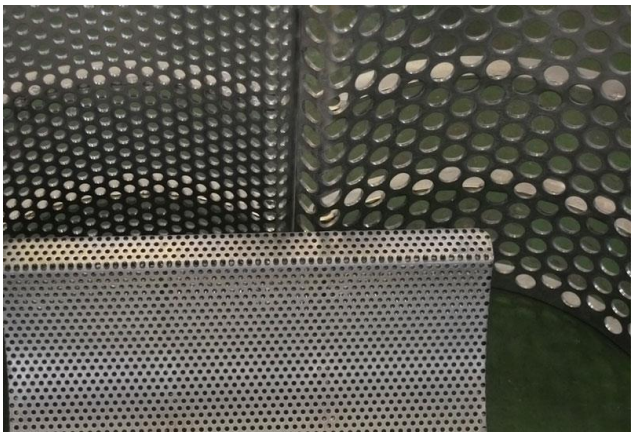
Obr. 6.40 Kožené odrezky a výsledný produkt po recyklácii [26]

6.3.15 Recyklácia molitanu – PUR peny

Veľké množstvo z automobilov tvorí aj molitan, t.j. výplň zo sedadiel a automobilového interiéru, kabíny. Pre spracovanie molitanu mechanickou cestou sa používajú drviace zariadenia, Obr. 6.41. Molitan sa drví na rôzne veľké frakcie a tieto sa triedia podľa použitých sád sít s rôzne veľkými okami, Obr. 6.42.



Obr. 6.41 Rezanie, delenie molitanu pomocou drviacich strojov [27]



Obr. 6.42 Príklad sít na triedenie veľkosti zŕn molitanu [27]

Postup a príklad recyklačnej linky pre recykláciu čistého molitanu zobrazuje Obr. 6.43. Pozostáva z prípravy molitanu, vkladania na dopravníkový pás, zberu rozdrveného molitanu do vriec, Obr. 6.44. Detail rozdrveného molitanu, viď Obr. 6.45 [28].



Obr. 6.43 Príprava molitanu a vkladanie do drviaceho stroja [28]



Obr. 6.44 Ukážka rozdrveného molitanu [28]

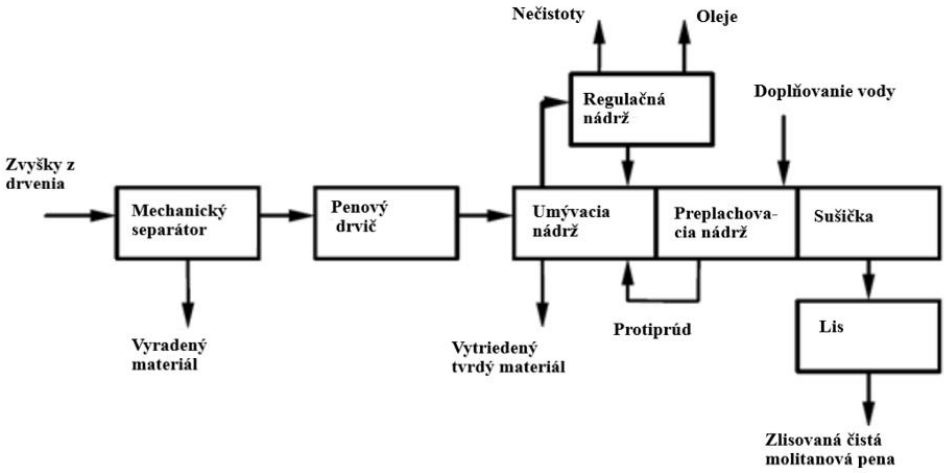


Obr. 6.45 Rozdrvené drobné časti molitanu – detail [28]

V prípade ak je molitan znečistený, môže sa prať v pracej linke. Príklad postupu spracovania molitanu je uvedený na blokovej schéme čistenia a prania molitanu, viď Obr. 6.46.

Čistiaca linka je na Obr. 6.47.

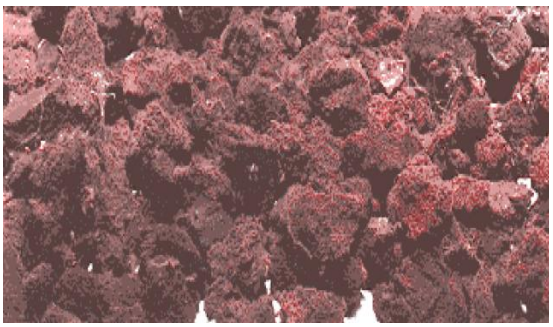
Príklad vstupného výstupného materiálu po vyčistení a vysušení z čistiacej linky je na obrázkoch Obr. 6.48 a Obr. 6.49.



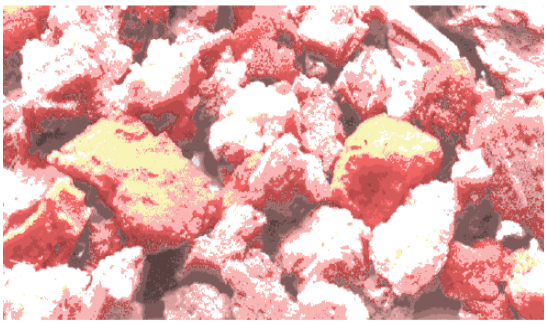
Obr. 6.46 Čistenie a pranie špinavého molitanu [29]



Obr. 6.47 Umývacie, oplachovanie a sušenie molitanu v linke [29]



Obr. 6.48 Molitan pred čistením [29]



Obr. 6.49 Polyuretanová pena po čistení [29]

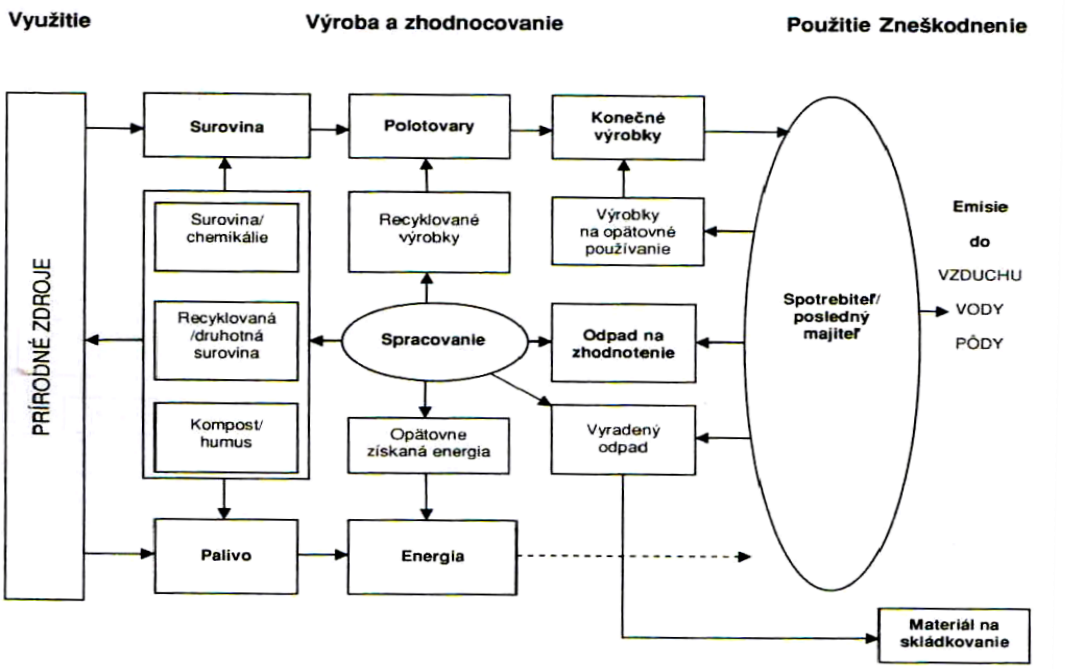
6.3.16 Recyklácia textilu z plastov

Vo svete sú sledované a rozpracované dva smery spracovania plastového odpadu [30]:

- zhodnocovanie plastov, vrátane recyklácie, Obr. 6.50
- degradácia, vrátane biodegradácie.

Plasty sú hodnotené na základe:

- Chemického zloženia.
- Chemickej štruktúry , lienárna, vetvená,
- Tuhosti – elasticita, flexibilita, tuhosť,
- Použitia
- Metóde spracovania – vstrekovanie, extrudovanie, vyfukovanie, odlievanie, atď.



Obr. 6.50 Zhodnocovanie plastov a integrované nakladanie so zdrojmi [30]

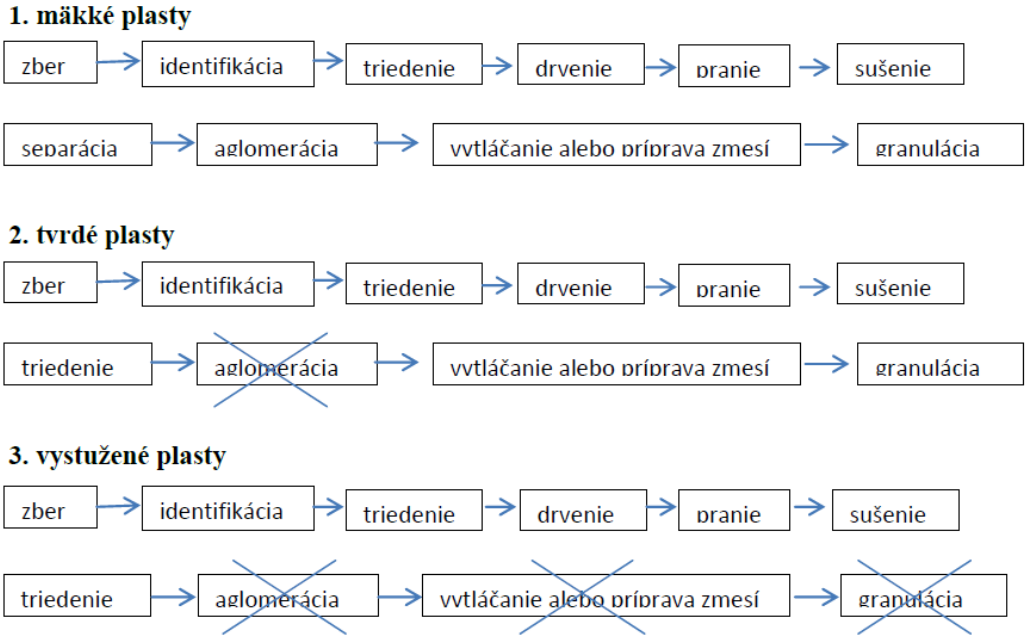
Do plastov sa pridávajú aditíva- stabilizujú proces, zlepšujú proces alebo mechanické vlastnosti a funkcie plastov , napr. pre použitie vonku v prostredí , kde je UV žiarenie, oxidácia a vysoké teploty:

- Antioxidanty 1 %.
- Tepelné a svetelné stabilizátory 5 %.
- Plastizéry 40 %.
- Materiály zvyšujúce odolnosť voči rázom 10 %.
- Pigmenty, farbivá 5 %.
- Mazivá pre formy.
- Napeňujúce členy 2 %.

- Plnivá 40 %.

Operačné kroky pre recykláciu plastov podľa normy STN ISO 15270 sú nasledovné: zber – identifikácia – triedenie – drvenie – pranie – sušenie – separácia – aglomerácia – vytláčanie alebo príprava zmesí – granulácia

Spracovanie na základe druhov plastov je uvedené na Obr. 6.51:



Obr. 6.51 Zhodnocovanie plastov a integrované nakladanie so zdrojmi [30]

Ramanov spektrometer

Rozvojom recyklácie, triedenia a skúšobníctva sa dostáva do popredia skúšanie a overenie chemického zloženia plastových materiálov pomocou spektrometrickej analýzy materiálov. Jednou z týchto metód určovania zloženia je overenie typu a vlastnosti plastu pomocou Ramanového spektrometra, Obr. 6.52. Je to rýchle a veľmi efektívne riešenie pri rýchlej identifikácii materiálu a jeho kontrole pri triedení a preberaní plastových zásielok, Obr. 6.53, a pri určení konkrétneho plastu, Obr. 6.54, Obr. 6.55 [31].

6.3.17 Recyklácia pneumatík

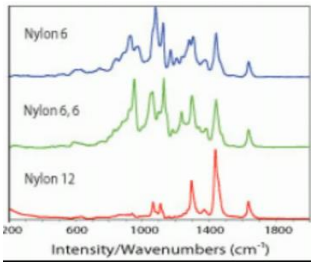
Ojazdené pneumatiky predstavujú významný zdroj druhotných surovín. Ekologické problémy s gumovým odpadom z ojazdených pneumatík majú všetky krajiny s rozvinutou automobilovou dopravou. Preto sa dnes odborná verejnosť čoraz intenzívnejšie zaoberá riešením efektívneho zhodnotenia, prípadne zneškodnenia tohto materiálu [32].



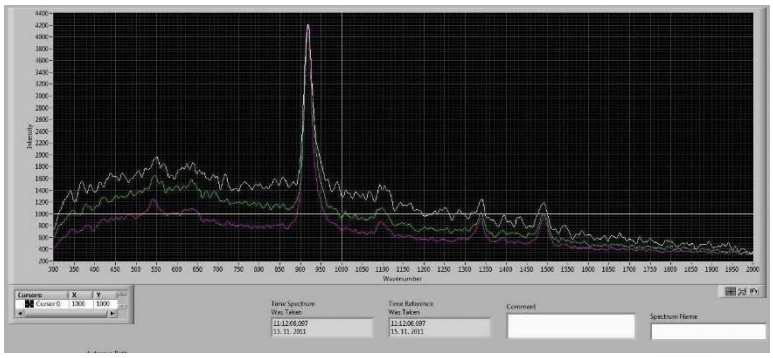
Obr. 6.52 Prístroj DeltaNu, RAPID•ID [31]



Obr. 6.53 Testovanie materiálu [31]



Obr. 6.54 Materiálové porovnanie [31]



Obr. 6.55 Grafická závislosť skúšaných materiálov[31]

Pneumatika tvorí uzavretý prstenec – toroid, Obr. 6.56. Je vyrobená predovšetkým zo zosieťovaných a nezosieťovaných makromolekulárnych materiálov a ocelí.

Behúň je vonkajšia vrstva plášťa tvorená gumou opatrenou dezénom. Jeho hlavnou úlohou je prenášať hnaciu silu vozidla na vozovku.

Nárazník tvorí prechod medzi behúňom a kostrou plášťa. Zlepšuje dynamické spojenie medzi týmito dvoma časťami a zvyšuje tiež odolnosť kostry pneumatiky proti nárazom. Na vystuženie v nárazníku sa používajú sklenené kordy alebo oceľové kordy pre nákladné automobily.

Kostra je tvorená kordovými vložkami zakotvenými okolo lán. Od druhu použitých kordov a konštrukcie plášťa závisia vlastnosti kostry. Kostra určuje viacero dôležitých vlastností pneumatiky, ako sú jej nosnosť, tvar a jazdné vlastnosti.

Pätka je zosilnená časť plášťa, ktorá umožňuje montáž pneumatiky na ráfik. Aby nedošlo k jej poškodeniu, je nutné chrániť ju z vnútornej strany pevnou pogumovanou tkaninou.

Úlohou **bočnice** je chrániť bočnú časť kostry plášťa pred poškodením. Vyrába sa zo špeciálnej kaučukovej zmesi.



Obr. 6.56 Prierez pneumatiky [32]

Ventil slúži na hustenie pneumatiky a vypúšťanie vzduchu z nej. Tento kovový alebo gumo-kovový ventil má za úlohu udržať tlak vzduchu v pneumatike v prevádzkových podmienkach. Novšie typy ventilov sa skladajú z telesa ventilu, pätky, matice a tesniaceho krúžku.

Ochranná vložka sa používa pri dušových pneumatikách na ochranu duše pred jej poškodením ráfikom.

Na výrobu plášťa pneumatiky sa používajú tieto základné suroviny:

- elastoméry (prírodný alebo syntetický kaučuk),
- prísady do kaučukovej zmesi,
- kordy z prírodných a chemických vlákien, najmä z bavlny, viskózy, polyamidu a polyesteru,
- kordy z kovových vlákien, najmä oceľových,
- oceľový drôt na pätné laná.

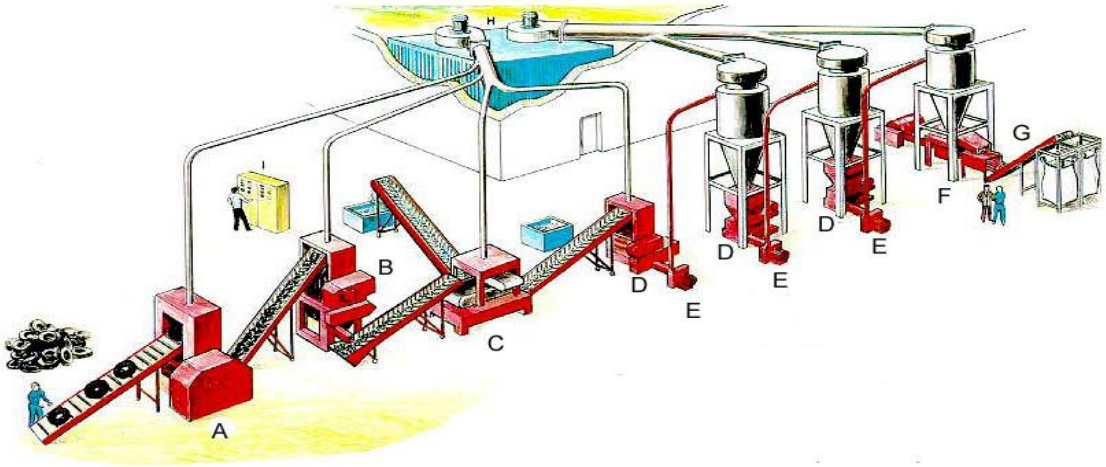
6.3.18 Nakladanie s opotrebovanými plášťami pneumatík

Oblasť recyklácie použitých pneumatík a gumy zastrešuje v Európe aj v mimoeurópskych krajinách organizácia ETRA (Europian Tyre Recycling Association). Bola založená 23. septembra 1994. Členmi sú okrem krajín Európskej únie aj Argentína, Austrália, Kanada, USA, Japonsko, Egypt, India, Izrael, Kórea, Kuvajt, Malajzia, Malta, Mexiko, Porto Rico, Rusko, Saudská Arábia, Qatar, Juhoafrická republika, Spojené arabské emiráty, Ukrajina.

V prípade, že pneumatika alebo gumový výrobok už nemôže byť ďalej využitý v pôvodnej podobe, materiál v nej obsiahnutý môže byť využitý k výrobe nových produktov.

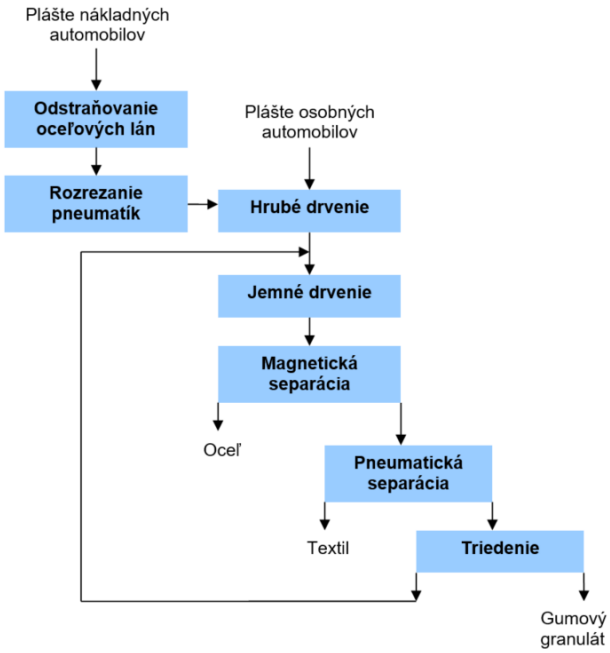
V závislosti na použitej technológii a teplote procesu drvenia rozlišujeme dve základné metódy drvenia [9], [32]:

- mechanické drvenie pri teplote okolia, Obr. 6.57, Obr. 6.58,
- kryogénne drvenie, Obr. 6.59, Obr. 6.60,
- technológia rozpadu gumy pôsobením ozónu.



Legenda: A – predradný drvič, B – granulátor, C – separátor ocele a tkanín, D – následné jemné drvenie, E – pneumatický dopravný systém, F – vzdušný filter, G – magnetická separácia, H – separátor tkanín a prachu

Obr. 6.57 Recyklačná linka gumového odpadu – mechanické drvenie pri teplote okolia [9]



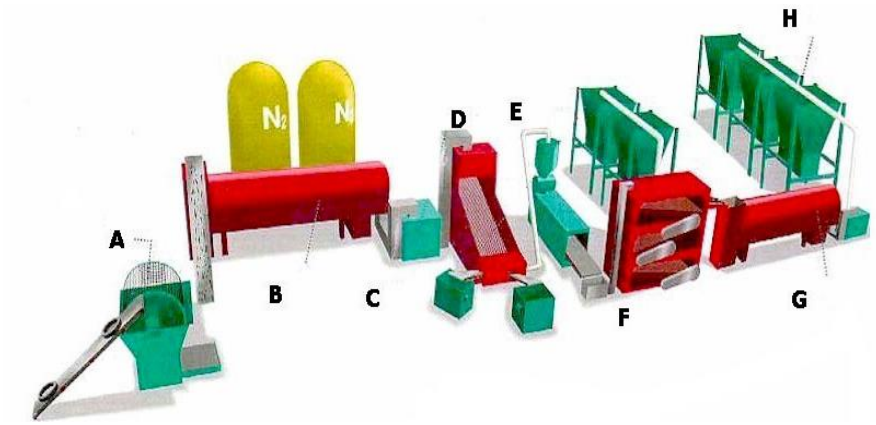
Obr. 6.58 Schéma mechanického spracovania plášťov pneumatík pri teplote okolia [9]

Pri kryogénnom spôsobe drvenia sa odpadové plášte pneumatík a guma najprv zmrazia kvapalným dusíkom alebo podchladeným vzduchom (alebo kombináciou týchto dvoch) na teplotu -80°C. Pri tejto teplote sa materiál stáva natoľko krehkým, že ho možno pomerne ľahko rozsekať strojom na sekanie gumy. Na 1 kg plášťov z pneumatík je spotreba 0,6 kg dusíka.

Pri tomto spôsobe bude gumový odpad podrvený v drviči A na veľkosť cca 50 mm a poslaný do chladiaceho tunela B, tu budú ochladené chladiacimi médiami na teplotu -100 °C.

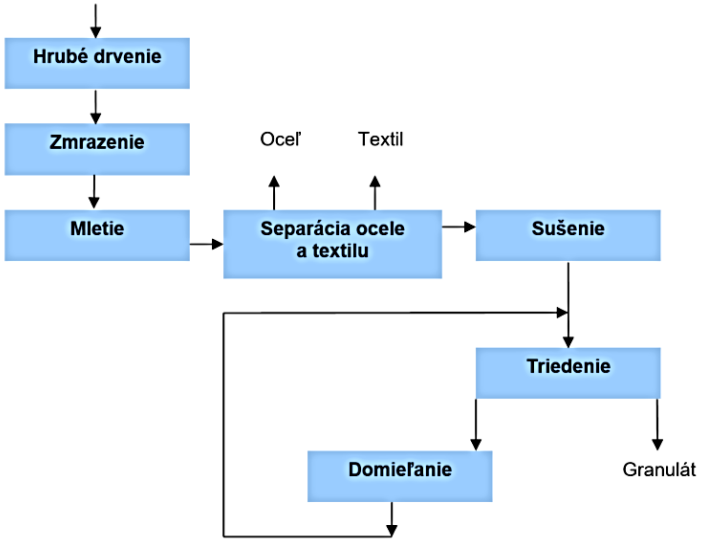
V mlyne C budú jednotlivé látky, oceľ, guma a iné látky mleté na zrnká veľkosti 0,4 – 0,6 mm. Toto relatívne veľké spektrum zŕn po procese mletia je typické pre kryogénne mletie.

Na výstupe Obr. 6.59 Kryogénny systém recyklácie gumového odpadu [9]z mlyna bude oceľ, textil a prachové častice odstránené separátorom (D). Nakoniec bude granulát vysušený v sušiči (E), potom je triedený v triediči (F) na určené veľkosti zrna. Nasleduje sekundárne drvenie (G) a uskladnenie granulátu v zásobníku (H) [9].



Obr. 6.59 Kryogénny systém recyklácie gumového odpadu [9]

Legenda: A – predradný drvič, B – mraziaci tunel, C – kladivový mlyn, D – separátor ocele a tkanín, E – sušič, F – triedič, G – dokončovacie drvenie, H – zásobník granulátu



Obr. 6.60 Schéma kryogénneho systému recyklácie opotrebovaných plášťov pneumatík [9]

Na Obr. 6.62 je postup recyklácie pneumatiky od vstupu vyradenej pneumatiky až po výstup vo forme gumového granulátu, textilného a kovového odpadu.

Postup výroby gumových rohoží nasleduje po výrobe gumového granulátu a zjednotenia veľkosti zŕn. [9], [32].



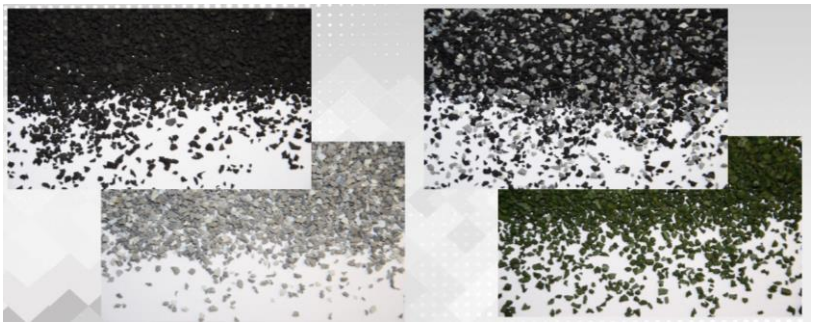
Obr. 6.61 Postup výroby gumových rohoží, príprava lisovacej formy a plnenie formy [32]



Obr. 6.62 Postupnosť spracovania opotrebovaných pneumatík [32]

Gumový granulát sa zmieša s polyuretánovým lepidlom, danou zmesou sa vyplní lisovacia forma na výrobu gumových rohoží a podľa typu a použitia týchto rohoží sa pri teplote cca 90 °C a predpísaného tlaku zlisuje gumová rohož.
Nakoniec sa necháva produkt vychladnúť v suchom prostredí. Hustota gumového granulátu závisí do požadovaných vlastností gumovej rohože. Postup lisovania je zobrazený na Obr. 6.61.
Gumový granulát ako produkt z recyklovaných plášťov pneumatík a gumy je možné použiť v rôznych oblastiach. Príklady využitia granulátu sú nasledovné: modifikované asfalty – gumovou drvinou, výplň betónov, protihlukové bariéry pri vozovkách, podkladové vrstvy vozoviek, koľajové prejazdy, parkoviská, nátery, farby, podrážky topánok, gumené dlaždice na detské ihriská, strešné šindle, gumou modifikované asfalty, absorbéry pri rázovom namáhaní, podklady a výplne pre umelé trávniky, bežecké dráhy nezávislé od počasia, tenisové kurty, fitnes centrá.

Príklady získania a použitia recyklovaných materiálov z pneumatík je uvedený v nasledujúcich prezentáciách, Obr. 6.63 až Obr. 6.66.



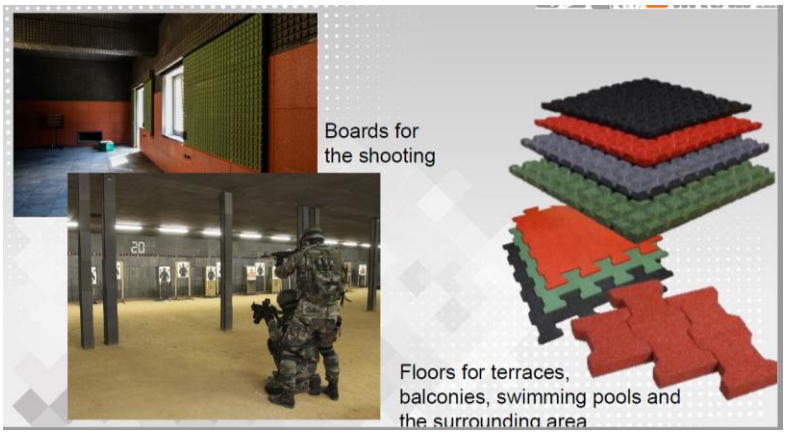
Obr. 6.63 Granuláty – rôzne veľké frakcie a farby [32]



Obr. 6.64 Textilné vlákna a oceľový kord [32]



Obr. 6.65 Využitie na športové a detské ihriská [32]



Obr. 6.66 Využitie pneumatík pre armádu a na stavbu chodníkov [32]

6.4 Vývoj eko inovatívnych zvukovo a tepelnoizolačných produktov

V Európskej únii zhruba 80 miliónov ľudí je vystavených vysokým hladinám hluku, ktoré sú neakceptovateľné, alebo vedú k prerušovaniu spánku a iným nežiadúcim vplyvom. Zhruba 170 miliónov ľudí žije v tzv. „Sivých oblastiach“, kde je hluk veľmi otravný. Pozornosť riešiteľov projektu sa sústreďuje na vývoj nových zvukovo a tepelno-izolačných materiálov vyrobených na báze recyklovaných surovín . V predloženej práve sa prezentuje riešiteľmi navrhnutá metodika merania vybraných akustických deskriptorov (koeficient zvukovej pohltivosti (α) a prenosový útlm (TL)).

6.4.1 Analýza súčasných prístupov pre hodnotenie akustických vlastností materiálov prostredníctvom impedančnej trubice

Akustické vlastnosti materiálov zohrávajú v dnešnej dobe čoraz väčšiu rolu. Deje sa tak aj na základe výrazného rastu automobilového priemyslu a nutnosti zvyšovania kvality z dôvodu konkurencieschopnosti na trhu a tiež z dôvodu rastúceho hluku z dopravy. Z týchto dôvodov sa každý deň na trhu objavujú a vyvíjajú nové akustické materiály so zvukovo izolačnými vlastnosťami. Tieto sa používajú pre pasívnu reguláciu zvuku pri navrhovaní interiérov automobilov, tovární, dielní, obytných budov, protihlukových bariér aby sa zabránilo nežiadúcemu hluku. Zisťovanie akustických vlastností je preto

nesmierne dôležité [33, 34]. Samotná regulácia hluku sa vykonáva vo všeobecnosti dvoma metódami a to aktívnymi a pasívnymi. Aktívne metódy sú v porovnaní s pasívnymi metódami oveľa nákladnejšie a zložitejšie. Pri pasívnych metódach sa využívajú porézne materiály, ako sú napr. peny, vlákna, sklenená vlna a pod., a to buď samotné alebo s prírodnými vláknami ako kompozitnými materiálmi. Tieto materiály sa v automobilovom priemysle používajú vo výplniach dverí, kufra, v strechách automobilov alebo v podlahe pod koberčekmi aby odizolovali hluk z vozovky. V stavebníctve sa používajú ako obklady stien, na stavbu samotných deliacich konštrukcií ako ich súčasť a podobne. Na účely regulácie hluku by mali byť materiály posudzované na základe svojich akustických vlastností. Absorpcia zvuku je z fyzikálneho hľadiska výsledkom premeny akustickej energie na teplo keďže energia nemôže vznikať ani zanikať a môže sa len zmeniť na iný druh energie v tomto prípade energiu tepelnú. Akustická energia sa premieňa na teplo stratami pri trení, stratou hybnosti a kolísaním teploty. Ide o proces kedy zvukové vlny rozvibrované frekvenciou zvukových vĺn prestupujú nepravidelnými pórmi materiálu čo spôsobuje zmenu smeru molekúl vzduchu, stratu hybnosti, periodickú kompresiu a to spôsobuje kolísanie teploty [35]. Bhingare N.H. a kol [36]. vo svojej štúdii opisujú vlastnosti prírodných vlákien a odpadového (recyklovateľného) materiálu a podstatné parametre, ktoré ovplyvňujú akustickú výkonnosť. Prírodné materiály sú účinnou alternatívou k tým syntetickým z dôvodu ich nízkych nákladov a menšieho vplyvu na životné prostredie. Odpadový materiál prítomný v prostredí, ako je gumová drvina z pneumatík, drevný odpad a pod. sa môžu použiť v oblasti akusticky. Taktiež kladú dôraz na súčasný výskum rôznych prírodných vláknitých materiálov, ako sú napr. juta, kenafové, kapokové a kokosové vlákna, vláknina z cukrovej trstiny atď. Je možné konštatovať, že vlastnosti týchto prírodných materiálov sa dajú efektívne použiť pre aplikáciu v akustike. Skúmaniu možností využitia odpadového kaučuku pri výrobe akustických materiálov pre jeho dobré impedančné vlastnosti sa v roku 2018 venoval tím vedcov pod vedením Xinwu X [37]. Vo svojom výskume použili gumový granulát z recyklovaných pneumatík, piliny z drevovláknitých dosiek s vysokou hustotou a peliet HDPE. Zmes bola zlisovaná do kompozitných panelov a boli do nej vyvŕtané otvory o rôznych priemeroch. Zistilo sa, že perforované panely majú vysoké koeficienty absorpcie zvuku pri frekvenciách nižších ako 1 000 Hz. Pri vyšších frekvenčných rozsahoch nevykazovala veľkosť otvorov žiadne zjavné vplyvy. Na stanovenie koeficientu absorpcie zvuku bolo vyvinutých niekoľko metód, ale jednou z najpoužívanejších metód je meranie impedančnou trubicou [38]. Impedančnú trubicu použil pri svojej experimentálnej štúdií v roku 2019 aj Tan K.N [39]. V tomto experimente sa skúmali účinky rôznych tvarov perforácie, účinky rôznych materiálov použitých na výrobu dosiek, účinky hrúbky jednotlivých dosiek a účinky hrúbky vzduchových dutín na to, ako by ovplyvnili koeficient absorpcie zvuku. V experimente bol použitý testovací frekvenčný rozsah od 50 Hz až do 1 600 Hz. Deepak A. a kol [40] v roku 2019 rovnako využili impedančnú trubicu vo svojej štúdii kde skúmali akustické vlastnosti poréznych materiálov. Vo výskume bola použitá impedančná trubica v konfigurácii s dvoma mikrofónmi. Tieto materiály boli vyrábané metódou 3D tlače.

6.4.2 Prístrojové, softvérové a ďalšie vybavenie

Impedančná trubica bola pôvodne vynájdená pre zisťovanie rýchlosti zvuku v plynoch. Neskôr bola trubica použitá na demonštrovanie stojatých zvukových vĺn. Trubica je vyrobená z tuhých, priehľadných alebo nepriehľadných materiálov na uzavretie zvuku vo vnútri trubice v jednom smere smerom k šíreniu. Impedančná trubica zjednodušuje trojrozmerné vlnové rovnice do jedno rozmerovej vlnovej rovnice. Impedančná trubica má výhodu v porovnaní s inými metódami vďaka jej kompaktnosti, nízkej cene a rýchlemu výsledku. V porovnaní s dozvukovou miestnosťou si impedančná trubica vyžaduje rozmerovo výrazne menšie vzorky testovaného materiálu. Na jednej strane impedančnej trubice je umiestnený reproduktor generujúci zvuk a na druhom konci je umiestnený držiak vzorky s pevným zakončením. Medzi reproduktorom a vzorkou sú umiestnené mikrofóny.
Skúšobné vzorky tiež spôsobia skreslenia akustického poľa v dôsledku blízkosti a platí nasledujúce odporúčanie pre minimálny rozstup medzi mikrofónmi a vzorkou, v závislosti od typu vzorky:

- Neštruktúrovaná (nečlenená): ½ priemeru alebo ½ maximálneho bočného rozmeru.
- Čiastočne štruktúrovaná (členená): l priemer alebo l maximálny bočný rozmer.
- Výrazne asymetrická: 2 priemery alebo dvojnásobok max. bočného rozmeru.

Mikrofony - v každej polohe umiestnenia sa majú používať mikrofóny toho istého typu. Okrem toho sa odporúča, aby priemery mikrofónov boli menšie ako 20 % rozstupu medzi nimi. Pre montáž na bočnú stenu sa odporúča používať mikrofóny tlakového typu. Pre mikrofóny vo vnútri trubice sa odporúča používať mikrofóny pre voľné pole.

Polohy umiestnenia mikrofónov - keď sa používajú mikrofóny namontované na stenu trubice, každý mikrofón sa má namontovať tak, aby membrána bola zarovno s vnútornou povrchovou plochou trubice. Pri používaní jediného mikrofónu v dvoch postupných polohách umiestnenia na stene trubice sa má poloha umiestnenia nepoužitého mikrofónu utesniť, aby sa vylúčilo unikanie vzduchu a aby sa zachovala hladká povrchová plocha vo vnútri trubice. Pri používaní mikrofónu s bočným odvzdušnením je dôležité, aby odvzdušňovacie otvory na vyrovnávanie tlaku neboli zablokované montážou mikrofónu. Všetky pevne stanovené polohy umiestnenia majú byť známe s presnosťou ±0,2 mm a ich rozstup sa má zaznamenať.
Držiak skúšobnej vzorky je buď zabudovaný do impedančnej trubice alebo je to osobitná súčiastka, ktorá je počas merania tesne pripevnená k jednému koncu trubice. Dĺžka držiaka vzorky má byť dostatočne veľká na inštalovanie skúšobných predmetov so vzduchovými medzerami za nimi, podľa potreby.
Systém spracovania signálu sa má skladať zo zosilňovača a z dvojkanálového analytického systému rýchlej Fourierovej transformácie (FFT). Tento systém sa vyžaduje na meranie akustického tlaku v dvoch polohách umiestnenia mikrofónov a na výpočet prenosovej funkcie medzi nimi. Zároveň sa vyžaduje generátor schopný

vytvoriť požadovaný zdrojový signál, zlučiteľný s analytickým systémom. Dynamický rozsah analyzátora by mal byť väčší ako 65 dB. Chyby v odhadovanej prenosovej v dôsledku nelinearít, rozlišovacej schopnosti, nestability a teplotnej citlivosti zariadenia na spracovanie signálu majú byť menšie ako 0,2 dB. Pri používaní jednomikrofónovej metódy má byť systém schopný vypočítať prenosovú funkciu zo signálu generátora a z dvoch signálov mikrofónu meraných postupne po sebe.
Membránový **reproduktor** (reproduktor s tlakovou komorou pre vysoké kmitočty s lievikom ako prenosovým prvkom do impedančnej trubice) sa má umiestniť na opačný koniec trubice od držiaka skúšobnej vzorky. Povrchová plocha membrány reproduktora má pokrývať minimálne dve tretiny prierezovej plochy impedančnej trubice. Os reproduktora má byť koaxiálna s trubicou. Reproduktor má byť uložený v izolačnej krabici, aby sa vylúčil bočný prenos vzduchom do mikrofónov. Pružná izolácia proti vibráciám sa má použiť medzi impedančnou trubicou a rámom reproduktora, ako aj pre krabicu reproduktora (najradšej medzi impedančnou trubicou a aj prenosovým prvkom), aby sa vylúčilo akustické budenie impedančnej trubice prenášané konštrukciou.
Generátor signálu má byť schopný generovať stacionárny signál s plochou spektrálnou hustotou v kmitočtovom rozsahu, o ktorý máme záujem. Môže podľa potreby generovať jeden alebo viac z nasledujúcich signálov: náhodný, pseudonáhodný, periodický pseudonáhodný alebo cvrlikanie.
Zakončenie reproduktora
V impedančnej trubice budú vždy vznikať rezonancie vzduchového stĺpca. Tieto sa majú potlačiť obložením (výstelkou) z materiálu s účinným pohlcovaním zvuku vo vnútri impedančnej trubice v blízkosti reproduktora s dĺžkou minimálne 200 mm.

Teplomer a barometer
Teplota v impedančnej trubici sa má merať a udržiavať konštantná počas celého merania. Snímač teploty má mať presnosť ±0,5°C alebo lepšiu. Atmosférický tlak sa má merať s toleranciou ±0,5 kPa.
Softvérové VA-Lab predstavuje nákladovo najefektívnejšie 2 alebo 4-kanálové riešenie pre všetky potreby v oblasti merania a analýzy akustiky. Ide o softvérový modul na meranie impedančných trubíc. Podporuje meranie absorpcie zvuku a izolácie zvuku v impedančných trubiciach série BSWA SW. Softvér pracuje s hardvérom BSWA MC3522 a MC3242 na získanie a analýzu údajov. Va-Lab podporuje dva spôsoby merania absorpčných koeficientov materiálu:

- Metóda s použitím pomeru stojatých vĺn (ISO10534-1).
- Metóda prepracovania funkcie (ISO10534-2).

Možnosti využitia: stavebníctvo, materiály, životné prostredie, elektrické spotrebiče/IT a domáce spotrebiče.

ISOMET 2114 – sa používa dynamickú metódu merania, ktorá umožňuje skrátiť čas merania v porovnaní s inými metódami merania. Systém ponúk umožňuje efektívnu interaktívnu komunikáciu so zariadením. Namerané údaje sa ukladajú do

vysokokapacitnej vnútornej pamäte. Obsah pamäte je prístupný z displeja alebo môže byť prenesený do PC pomocou rozhrania USB alebo RS-232. Kalibračné údaje vo vnútornej pamäti zabezpečujú zameniteľnosť sond bez ovplyvnenia presnosti merania. Dodávaný softvérový balík umožňuje aktualizáciu kalibračných koeficientov po rekalibrácii meracích sond pomocou referenčných materiálov. Zariadenie môže byť napájané zo siete alebo z interných nabíjateľných batérií pri vonkajších meraniach in situ.

Meranie tepelnej vodivosti, tepelnej difúzie, objemovej tepelnej kapacity a teploty:

- ľahká kompaktná veľkosť,
- farebný grafický displej a alfanumerická klávesnica,
- rozhranie USB a RS-232,
- vysokokapacitná vnútorná pamäť pre výsledky,
- transportné puzdro s vysokým stupňom ochrany,
- meranie vlastností prenosu tepla chemických látok, činidiel, mazacích tukov, plastov, suspenzií, peny, kaučukov atď.

optimalizácia vývoja tepelnoizolačných materiálov.

6.4.3 Návrh metodiky merania vybraných akustických deskriptorov pre vyvíjané akustické materiály

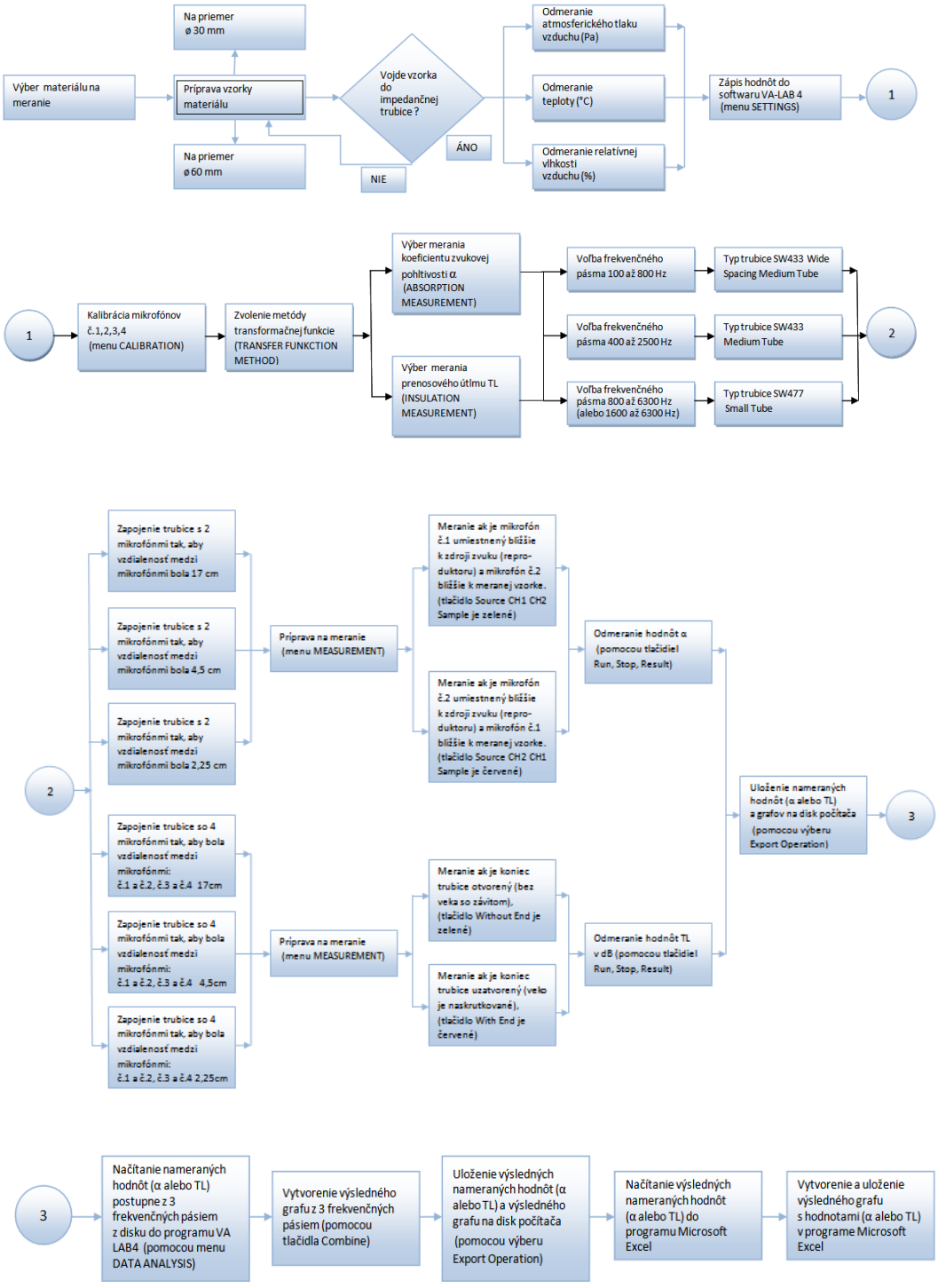
Z viacerých možných akustických deskriptorov pozornosť riešiteľov sa sústredila na nasledujúce deskriptory:

- koeficient zvukovej pohltivosti (α),
- prenosový útlm (TL).

Na meranie koeficientu zvukovej pohltivosti (α) a prenosového útlmu (TL) materiálu sú teoreticky k dispozícii dve metódy a to: metóda pomeru stojatých vĺn a metóda transformačnej funkcie. Autori vo svojej práci využívali metódu transformačnej funkcie. Pomocou tejto metódy možno merať koeficient zvukovej pohltivosti, koeficient odrazu, normálovú impedanciu a normálovú admitanciu. Na tejto metóde je založená impedančná trubica, Obr. 6.67.



Obr. 6.67 Impedančná trubica



Obr. 6.68 Metodika merania vybraných akustických deskriptorov

Navrhnutá metodika merania, Obr. 6.68, zahrňuje používanie impedančnej trubice, dve polohy umiestnenia mikrofónov a systém číslicovej kmitočtovej analýzy na určenie koeficienta zvukovej pohltivosti absorbérov zvuku pre kolmý dopad zvuku. Môže sa aplikovať aj pre určenie akustickej povrchovej impedancie alebo povrchovej admitancie pre materiály pohlcujúce zvuk. Pretože impedančné pomery materiálov pohlcujúcich

zvuk sú úmerné ich fyzickým vlastnostiam, ako je napríklad odpor proti prúdeniu vzduchu, pórovitosť, pružnosť a hustota.
Táto skúšobná metóda je podobná ako skúšobná metóda špecifikovaná v STN EN ISO 10534-1 v tom, že používa impedančnú trubicu so zdrojom zvuku pripojeným na jeden koniec a so skúšobnou vzorkou namontovanou do trubice na druhom konci. Avšak metóda merania je odlišná. V tejto skúšobnej metóde sú rovinné vlny generované v trubici zdrojom zvuku a rozklad interferenčného poľa sa dosiahne meraním akustických tlakov v dvoch pevne stanovených polohách umiestnenia s použitím mikrofónov namontovaných na stene trubice alebo mikrofónom presúvaným v trubici a následným výpočtom komplexnej akustickej prenosovej funkcie, pohltením pri kolmom dopade a impedančnými pomermi akustického materiálu.

Verifikácia navrhnutej metodiky merania akustických deskriptorov pre vyvíjané akustické materiály. Navrhnutá metodika merania bola overená pri meraní vybraných akustických deskriptorov a to: koeficientu zvukovej pohltivosti (α) a prenosového útlmu (TL), pre vyvíjané akustické materiály.

Výber materiálov pre experimentálnu časť
Merania vybraných akustických deskriptorov (koeficient zvukovej pohltivosti (α), prenosový útlm (TL)) sa vykonávalo pre nasledujúce vyvíjané akustické materiály a to:

- Ekomolitan, Obr. 6.69,
- Recyklovaná guma, Obr. 6.70,
- Nobasil, Obr. 6.71.

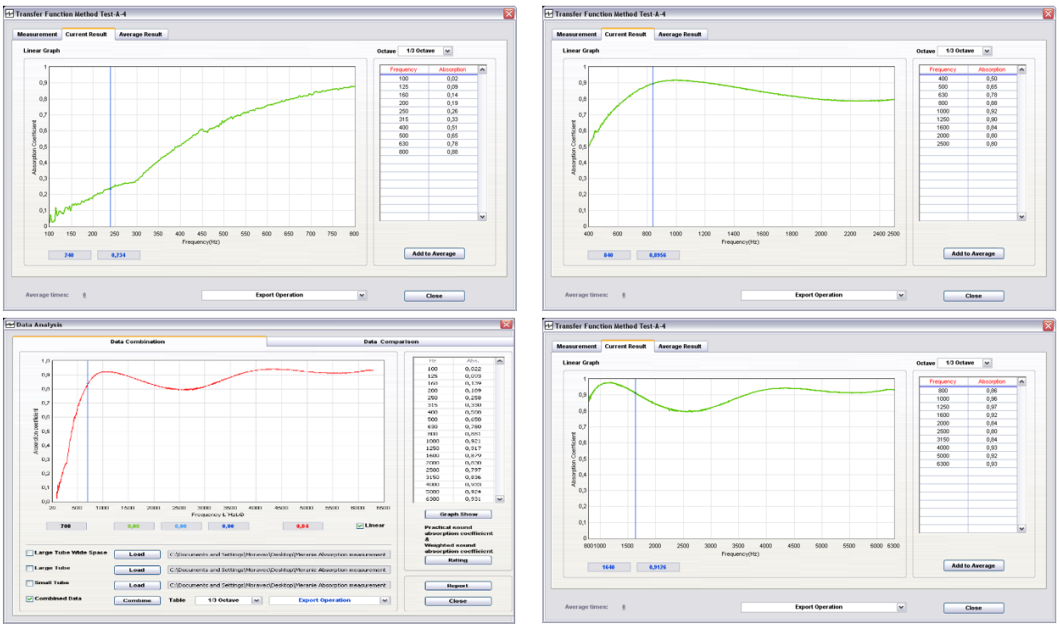
Merania boli vykonané, pre porovnanie aj na materiály Nobasil Obr. 6.71, ktorý je častou zložkou (vrstvou) rôznych sendvičových konštrukcií protihlukových stien (clôn).


Obr. 6.69 Ekomolitan

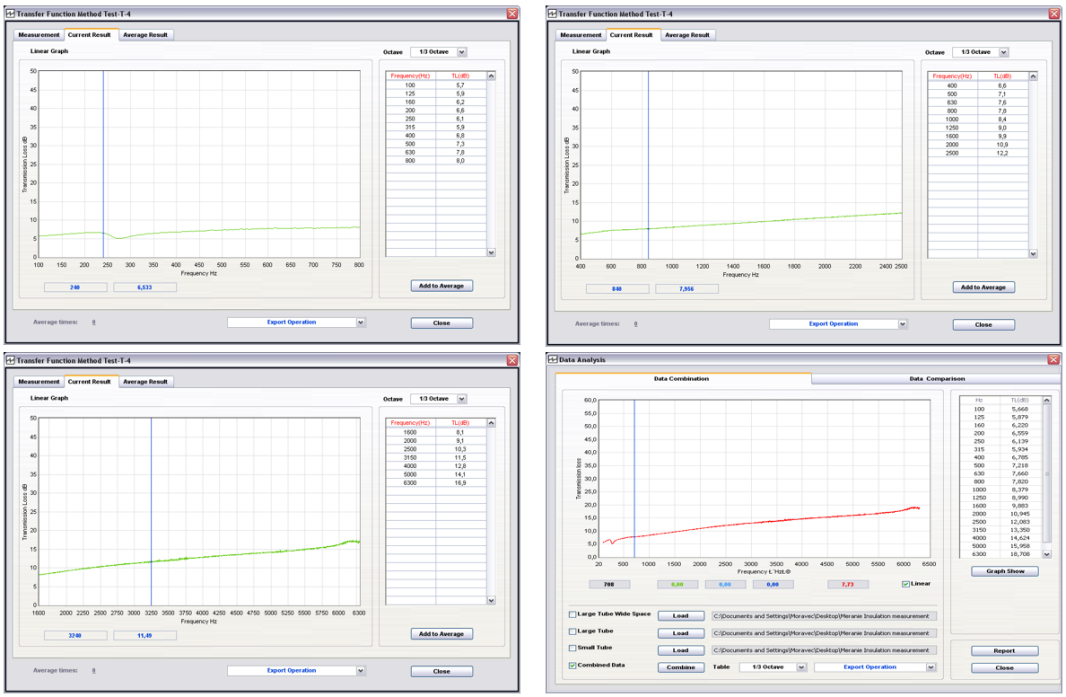

Obr. 6.70 Recyklovaná guma


Obr. 6.71 Nobasil

Namerané hodnoty koeficientu zvukovej pohltivosti a prenosového útlmu
V tejto časti príspevku sa uvádzajú výstupy z merania koeficientu zvukovej pohltivosti pre materiál Ekomolitan o hrúbke 4 cm, Obr. 6.72, a výstupy z merania prenosového útlmu pre materiál Ekomolitan o hrúbke 4 cm, Obr. 6.73. Ďalšie výstupy sú uvedené v práci [41].



Obr. 6.72 Zobrazenie koeficientu zvukovej pohltivosti pre materiál Ekomolitan o hrúbke 4 cm (4 grafy)



Obr. 6.73 Zobrazenie koeficientu zvukovej pohltivosti pre materiál Ekomolitan o hrúbke 4 cm (4 grafy)

6.4.4 Vyhodnotenie nameraných hodnôt

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. V príspevku bol meraný prenosový útlm (TL). Je to hodnota, ktorá sa udáva v dB na základe pomeru vlny dopadajúceho zvuku na prednú stranu akusticky absorpčného materiálu ku zvukovým vlnám prenášaných zo zadnej strany. TL reprezentuje tlmiace vlastnosti materiálu, čo znamená, že čím vyššia je hodnota, tým je zvuk utlmenejší.

Autormi boli vykonané merania koeficientu zvukovej pohltivosti (α) a prenosového útlmu (TL) pre rôzne materiály (Ekomolitan, Recyklovanú gumu a Nobasil) a rôzne hrúbky materiálov (2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm a 6 cm) . Pre ilustráciu sa uvádzajú výstupy z vykonaných meraní pre hrúbky materiálov 4 cm, Tab. 6.4 [42].

Tab. 6.4 Namerané hodnoty meraných vybraných deskriptorov pre materiály o hrúbke 4 cm

	Koeficient zvukovej pohltivosti (α)			Prenosový útlm (TL)		
Frekvencia f [Hz]	**Ekomolitan**	**Recyklovaná guma**	**Nobasil**	**Ekomolitan**	**Recyklovaná guma**	**Nobasil**
100	0,022	0,017	0,151	5,668	9,062	17,552
125	0,093	0,108	0,196	5,879	9,267	17,513
160	0,139	0,057	0,252	6,220	9,554	17,687
200	0,189	0,088	0,305	6,559	9,892	17,839
250	0,258	0,113	0,355	6,139	10,277	18,154
315	0,330	0,153	0,402	5,934	10,750	18,584
400	0,508	0,228	0,443	6,785	11,341	19,291
500	0,650	0,324	0,480	7,218	11,686	19,850
630	0,780	0,479	0,511	7,660	11,877	20,985
800	0,881	0,727	0,541	7,820	12,199	22,644
1000	0,921	0,771	0,576	8,379	12,232	24,677
1250	0,917	0,593	0,610	8,990	11,804	28,070
1600	0,879	0,419	0,681	9,883	11,128	22,026
2000	0,830	0,345	0,657	10,945	11,739	25,474
2500	0,797	0,359	0,753	12,083	13,752	26,920
3150	0,836	0,607	0,761	13,350	15,357	32,679
4000	0,933	0,497	0,810	14,624	15,189	21,184
5000	0,924	0,625	0,840	15,958	16,118	35,281
6300	0,931	0,624	0,875	18,708	17,485	30,942

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 4 cm boli dosiahnuté u materiálu Ekomolitan. Horšie výsledky boli namerané u materiálu Nobasil (od 500 do 630 Hz a od 1 250 do 1 600 Hz) a najhoršie u materiálu recyklovaná guma (od 500 Hz do 630 Hz a od 1250 do 1 600 Hz). Pri meraní zvukovej pohltivosti (α) materiálov o hrúbke 5 cm, výborné výsledky boli dosiahnuté pri materiály Ekomolitan (pri frekvenciách 500 Hz až 1 600 Hz), horšie výsledky u materiálu Nobasil (od 1 000 Hz do 1 600 Hz). Najhoršie výsledky boli dosiahnuté pri meraní materiálu vyrobeného

z recyklovanej gumy. Zväčšovaním hrúbky meraného materiálu sa výrazne zvyšoval aj koeficient zvukovej pohltivosti (α) u materiálu Ekomolitan.
Na základe nameraných hodnôt prenosového útlmu vybraných materiálov (Nobasil, Ekomolitan a recyklovaná guma) pri rôznych hrúbkach (2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm a 6 cm) pre frekvencie od 500 Hz do 1 500 Hz bolo zistené, že najlepšie výsledky pri všetkých meraných hrúbkach materiálu boli dosiahnuté u Nobasilu. Ďalej nasledovala recyklovaná guma a najnepriaznivejšie výsledky boli namerané u materiálu Ekomolitan.

6.5 Návrh merateľných výskumných a akademických ukazovateľov pre ďalšie riešenie

V nasledujúcom období sa predpokladá intenzívna spolupráca s viacerými univerzitným zahraničnými pracoviskami a to konkrétne:

- Technische Universität Munchen, Deutscland (prof. Seeber),
- Bergische Universität Wuppertal, Deutschland (prof. Schmidt)
- University of Novi Sad, Serbia (doc. Budak)

Výskumnými pracoviskami doma i v zahraničí:

- Bosch Siemens Hausgerete Košice (Ing. Petráška)
- Head Acoustics , Herzogenrath, Deutschland (prof. Serafimov)
- Sillentium Ltd., Tel Aviv, Izrael (prof. Slapak)
- Stered, PR Krajné s.r.o., Krajné (Ing. Plesník)

Výskumné aktivity riešiteľov budú zamerané na:

- Vývoj receptúr nových akusticky vhodných materiálov vyrobených na báze vybraných komponentov z automobilov po dobe ich životnosti,
- Overenie akustických vlastností týchto materiálov v laboratórnych podmienkach,
- Návrh konkrétnych zvukovo izolačných produktov,
- Vývoj receptúr nových tepelnoizolačných materiálov vyrobených na báze vybraných komponentov z automobilov po dobe ich životnosti,
- Overenie tepelnoizolačných vlastností v laboratórnych podmienkach,
- Návrh konkrétnych tepelnoizolačných produktov.

Predpokladá sa, že výsledkom riešenia projektu budú:

- Výstupy v karentovaných zahraničných časopisoch min. 2
- Výstupy v časopisoch (WoS, SCOPUS) min. 2
- Podané úžitkové vzory min. 2
- Podané patenty v SR min. 2
- Podané PCT prihlášky min. 1
- Zapojenie sa do zahraničného výskumného projektu min. 1
- Návrh konkrétnych zvukovo a tepelnoizolačných produktov min. 4

6.6 Literatúra

[1]. Celkový počet evidovaných vozidiel v SR. [online]. Dostupné na internete: https://www.minv.sk/?celkovy-pocet-evidovanych-vozidiel-v-sr

[2]. International Organization of Motor Vehicle Manufacturers. [online]. Dostupné na internete: http://http://oica.net/wp-content/uploads/press-release-press-conference-2013-03-06-_v3b_.pdf

[3]. Q. Zhao, M. Chen, A Comparison of ELV recycling system in China and Japan and China's strategies, Resour Conserv Recycl, 57, 2011, 15-21.

[4]. Južná Kórea (zákon o recyklácii zdrojov elektrických a elektronických zariadení). [online]. Dostupné na internete: http://www.env.go.jp/en/recycle/asian_net/Country_Information/Law_N_Regulation/Korea/Korea_RoHS_ELV_April_2007_EcoFrontier.pdf

[5]. B.J. Jody, E.J. Daniels, End-of-Life Vehicle Recycling: State of the Art of Resource Recovery from Shredder Residue, Argonne Natl Lab, 2010.

[6]. Smernica Európskeho parlamentu a Rady č. 2000/53/ES z 18. septembra 2000 o vozidlách po dobe životnosti.

[7]. Materiálová štruktúra priemerného európskeho automobilu. [online]. Dostupné na internete: http://https://www.engineering.sk/clanky2/automobilovy-priemysel/301-recyklacnetechnologievap

[8]. Umiestnenie zvukovo a tepelnoizolačných materiálov v automobile. [online]. Dostupné na internete: https://sgm-techno.com/catalog/insulation-acoustic-insulation-material

[9]. Badida, M., Bosák, M. et al: Recyklácia a recyklačné technológie, Vienala, s.r.o., Košice, 2007, 623s., ISBN 978-80-8073-946-1

[10]. K. Le: Textile recycling technologies, colouring and finishing methods, UBC Sustainability Scholar, august 2018, pp.51, (online 14.02. 2020), Dostupné na internete: https://sustain.ubc.ca/sites/sustain.ubc.ca/files/Sustainability%20Scholars/2018_Sustainability_Scholars/Reports/2018-25%20Textile%20Recycling%20Technologies%2C%20Colouring%20and%20Finishing%20Methods_Le.pd

[11]. Vasant Kothari: Recycling technology, 2007, (online 14.02. 2020), Dostupné na internete: www.vasantkothari.com

[12]. Voncina, B.: Recycling of textile materials, MDT Recycling, University of Maribor, Slovenia, pp. 37, (online 14.02. 2020), Dostupné na internete: https://www.nonwovens-industry.com/issues/2019-01/view_features/ultrasonics-for-nonwovens-251130

[13]. 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

[14]. Fossdyke,J.: Renault Develops Recycled Interior For New ZOE Electric Hatchback, 2019, Dostupné na internete: https://insideevs.com/news/382924/renault-zoe-interior/

[15]. Lee, M.E.M., Ockendon, H.: The Transfer of Fibres in the Carding Machine ,March 2006, Journal of Engineering Mathematics 54(3):261-271, (online 14.02. 2020), Dostupné na internete: https://www.researchgate.net/publication/225735865_The_Transfer_of_Fibres_in_the_Carding_Machine

[16]. Katalogový materiál Dvojvalcový recyklačný stroj GM 250, 2020, Dostupné na internete: https://www.ecvv.com/product/4822337.html

[17]. Textile Waste Recycling Machine,2020, Dostupné na internete: https://www.indiamart.com/proddetail/textile-waste-recycling-machine-13937766533.html

[18]. Katalogový materiál firmy LIDEM: recyklácia textilu, deliace stroje, linky, (online 14.02. 2020),Dostupné na internete: www.lidem.com

[19]. Katalogový materiál: Typy rozvlákňovacích hrotov (online 14.02. 2020), Dostupné na internete: http://nonwovenlines.com/products/1_1_2_blending_opener_06b.jpg

[20]. Katalogový materiál firmy Stered, (online 14.02. 2020), Dostupné na internete: http://www.stered.sk

[21]. Katalogový materiál firmy Audi: Lepenie, (online 14.02. 2020), Dostupné na internete: https://www.audi.com/en/experience-audi/models-and-technology/design/sustainable-seat-covers.html

[22]. Katalogový materiál firmy TWE–group: Recyklácia textilu, (online 14.02. 2020), Dostupné na internete: https://www.twe-group.com/en/markets/automotive/nonwovens-in-the-seat-application/

[23]. Katalogový materiál firmy TWE–group: Lisovanie, (online 14.02.2020), Dostupné na internete: https://www.twe-group.com/isowood

[24]. Ultrasonics for Nonwovens, (online 14.02. 2020),Dostupné na internete: https://www.nonwovens-industry.com/issues/2019-01/view_features/ultrasonics-for-nonwovens-251130/

[25]. 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, pages187 – 197 (2015), (online 14.02. 2020), Dostupné na internete: https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-014-0776-x

[26]. Katalogový materiál RECYC LEATHER (online 14.02. 2020), Dostupné na internete: http://www.recycleather.com/recycling/

[27]. Rezanie a drvenie molitanu, (online 15.03. 2020) Dostupné na internete : www.lidem.com

[28]. Recyklačná linka na spracovanie PUR-peny, (online 14.02. 2020), Dostupné na internete : www.lidem.com

[29]. 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 14.02. 2020), Dostupné na internete: https://publications.anl.gov/anlpubs/2007/02/58559.pdf

[30]. Katalogový materiál firmy VÚSAPL,a.s. Nitra :Recyklácia plastov , http://www.vusapl.sk/

[31]. Katalogový materiál firmy Analytik, LtD.: Spektrometer Delta-Nu, (online 14.02. 2020), Dostupné na internete: https://analytik.co.uk/news-deltanu-choose-analytik-to-distribute-worlds-smallest-raman-analysers/deltanu-choose-analytik/

[32]. Recyklácia pneumatík, (online 14.02. 2020), Dostupné na internete: https://www.avesk.sk/sk/sluzby/vyrobky/gumovy-granulat

[33]. Niresh, J. et al: Review of Acoustic Characteristics of Materials using Impedance Tube. Journal of Engineering and Applied Sciences. Vol. 10, No. 8 (2015), s. 3319 – 3326. ISSN 1819-6608.

[34]. 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), s. 1400 – 1405. ISSN 1819-6608.

[35]. 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), s. 185 – 189. ISSN 2040-7459.

[36]. Bhingare, N.H., Prakash, S., Jatti, V.S.: A Review on Natural and Waste Material Composite as Acoustic Material. Polymer Testing. Vol. 80 (2019). ISSN 0142-9418.

[37]. 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), s. 215 – 221. ISSN 0959-6526.

[38]. 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 Eng. 2012. Vol. 2, No.1 (2012), s. 872 – 888. ISBN: 978-1-62748-560-9.

[39]. Tan, K.N.: Study of Sound Absorption using Acoustic Impedance Tube (2010).

[40]. Deepak, A., Shashi, M., Venkatesham, B., Suryakumar, S.: Acoustic Characterization of Additive Manufactured Layered Porous Materials. The 48th Int. Congress and Exhibition on Noise Control Engineering (2019)

[41]. BADIDA, M. – LUMNITZER, E. – BARTKO, L.: Možnosti znižovania dopravného hluku. Košice: Elfa, 2011. 303 s. ISBN 978-80-8086-181-0.

[42]. BARTKO, Ladislav: Analýza vybraných akustických vlastností vyvíjaných materiálov vhodných pre konštrukciu protihlukových stien. Dizertačná práca, 2011. 253 s.

Recyklácia a zhodnocovanie gumy, kaučuku a plastov do nových výrobkov

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. Marek Potkány, PhD.
doc. Ing. Miroslav Dado, PhD.
doc. Ing. Marián Kučera, PhD.

7 Recyklácia a zhodnocovanie gumy, kaučuku a plastov do nových výrobkov

7.1 Úvod

Podľa Európskej asociácie výrobcov pneumatík a gumy (ETRMA) v súčasnosti po svete jazdí cez 1 miliardu automobilov [8]. Ak sa záujem o automobily nezmení, bude ich počet naďalej rásť a v roku 2030 by množstvo automobilov mohlo celosvetovo dosiahnuť dve miliardy – bez ohľadu na to, či ich už vtedy bude poháňať motor benzínový, alebo úplne iný.

Viac ako päť storočí sprevádza ľudstvo guma a výrobky z nej. Bol to jeden z míľnikov v technickej zručnosti ľudstva posúvajúci ho k novým horizontom. Guma, ako technický materiál, sa používa v súčasnosti v mnohých odvetviach priemyslu. Počet starých pneumatík stále rastie a hľadajú sa spôsoby pre ich ďalšie využitie. V priemyselne vyspelých krajinách sa ročne vyradí asi 6 000 ton ojazdených pneumatík na 1 milión obyvateľov. Z tohto veľkého množstva sa však asi len 20 % recykluje protektorovaním – ostatné sa stávajú odpadom. Na výrobu pneumatík sa používa asi 60 až 70 % z celkovej spotreby kaučuku na báze ropy.

Popri snahe využiť materiály, resp. energiu uloženú v opotrebovaných pneumatikách, je potrebné uvedomiť si možnú environmentálnu záťaž pri ich spracovaní.

Aplikácie plastov v automobiloch predstavujú obrovský trh. Plasty a ich kompozity v súčasnosti dosahujú čoraz vyššie pevnosti, chemickú i tepelnú odolnosť, ako aj odolnosť proti pôsobeniu slnečného žiarenia. Plasty v tých častiach automobilu, v ktorých by mohli pri náraze ohroziť posádku vozidla, sú netrieštivé. Pribúdajú plasty, ktoré oneskorujú horenie, alebo sú samozhášavé. Ponúkajú obrovský potenciál na znižovanie hmotnosti v automobilových aplikáciách. Vláknité plastové kompozity sú zvyčajne o 25 až 35 % ľahšie ako rovnaké oceľové diely. Joost [24] uvádza, že zníženie prevádzkovej hmotnosti vozidla o 10 % zlepšuje spotrebu paliva o 6 až 8 % a znižuje emisie CO2 o 15 – 20 g na najazdené km.

7.2 Legislatíva v oblasti odpadov z automobilového priemyslu

Súčasný stav

Podľa údajov Eurostatu ročne v krajinách EÚ vzniká **viac ako 5 miliónov ton odpadu z vyradených vozidiel**. Z tohto množstva je **94 % súčastí a materiálov opätovne použitých a zhodnotených, 88 % je opätovne použitých a recyklovaných** (Tab. 7.1). Počet dopravných prostriedkov po dobe životnosti sa v období 2008 až 2017 pohyboval v priemere okolo 5,5 mil. kusov (Tab. 7.2). Na Slovensku sa v roku 2017 vyradilo 35 462 vozidiel, celková hmotnosť odpadu predstavovala 33 183 t [15]. Vývoj zberu starých vozidiel v r. 2004 bolo oficiálne odovzdaných len 723 kusov, postupne sa však situácia mení vplyvom nových legislatívnych ustanovení (zákon č. 223/2001 Z.z.) o odpadoch.

V januári 2006 skončila možnosť ponechania si starého vozidla na základe čestného prehlásenia, čím sa naštartoval proces spracovávania starých vozidiel odbornými autorizovanými zariadeniami. V súčasnosti zber a spracovanie starých vozidiel uskutočňuje 46 spracovateľov starých vozidiel, ktorým bola udelená autorizácia na ich spracovanie [14]. Podľa dostupných analýz odpady z vyradených cestných vozidiel tvoria prevažne železné kovy (65 – 80 %), farebné kovy (6 – 6,5 %) a pneumatiky (4 – 5 %). Priemerná hmotnosť plastov a tým aj plastový odpad postupne narastá. V roku 1980 predstavovala hmotnosť plastov 88 kg na jedno auto, v roku 2000 to bolo 115 kg a v roku 2010 už 130 kg [37]. V súčasnosti sa priemerné vozidlo skladá z 12 – 15 % plastových dielov; za predpokladu, že priemerný automobil váži 1 300 kg, predstavuje to 150 až 200 kg plastu na vozidlo [32] .

Koniec životnosti automobilu a ďalšie nakladanie s odpadom pojednáva významná **Smernica Európskeho parlamentu a Rady č. 2000/53/ES** z 18. septembra 2000 [50]. Na základe uvedenej smernice členské štáty musia zabezpečiť aby automobily po dobe životnosti boli odovzdané do zariadenia oprávneného na spracovanie. Legislatíva EÚ, ktorá vstúpila do platnosti 1.1.2015, ukladá pre všetky vozidlá po dobe životnosti zvýšenie opätovného využitia materiálov minimálne na 95 % za rok, v závislosti od priemernej hmotnosti vozidla.

Tab. 7.1 Produkcia odpadu z dopravných prostriedkov (v tonách) [65]

(tonnes)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
European Union	4 798 000	7 117 000	6 106 000	5 549 000	5 109 000	5 331 000	5 279 000	5 217 000	5 129 000	5 690 000
Belgium	144 121	144 726	176 446	171 747	171 466	145 652	138 703	119 054	119 188	148 459
Bulgaria	38 600	63 027	74 422	65 428	59 191	62 723	82 258	88 066	92 111	104 457
Czechia	132 533	147 217	135 479	118 147	114 800	114 833	122 450	131 392	139 881	160 587
Denmark (¹)	101 173	99 515	104 866	100 816	114 392	128 869	118 597	109 762	100 957	134 331
Germany	387 693	1 596 831	516 128	468 459	475 719	490 771	502 656	474 379	420 113	530 311
Estonia	13 716	7 712	7 679	12 123	14 056	16 391	16 617	14 857	14 113	19 539
Ireland	136 624	163 070	169 155	139 279	105 339	98 015	92 208	79 405	104 105	149 235
Greece	51 828	115 849	92 158	104 590	78 433	81 619	79 668	84 046	45 570	38 654
Spain	712 440	913 787	805 623	644 707	659 960	772 110	761 648	724 807	642 514	651 560
France	1 046 624	1 464 843	1 548 451	1 501 850	1 229 096	1 210 605	1 115 190	1 057 580	1 103 927	1 221 498
Croatia	:	:	:	:	33 221	29 017	22 584	19 617	18 912	24 662
Italy	1 106 929	1 379 027	1 240 204	986 391	874 887	959 542	953 690	1 036 562	1 086 425	:
Cyprus	12 703	15 400	11 764	15 259	15 617	11 759	10 468	8 152	5 094	5 159
Latvia	10 578	8 946	9 650	10 115	10 435	9 037	8 983	8 989	8 253	11 681
Lithuania	19 426	19 014	22 885	27 823	26 187	31 037	33 265	31 037	27 752	27 140
Luxembourg	2 537	6 517	6 115	2 154	2 750	2 501	2 258	1 746	2 063	2 048
Hungary (²)	28 287	27 419	15 589	14 959	14 388	14 865	13 887	13 380	12 527	14 249
Malta	:	:	288	2 225	2 177	1 050	2 835	4 803	6 322	:
Netherlands	146 316	187 296	232 239	198 173	191 260	189 138	196 215	174 152	204 400	206 489
Austria	52 202	74 211	67 997	67 384	56 180	65 475	53 310	43 934	45 338	57 065
Poland	170 100	192 281	217 636	284 307	340 212	401 639	462 202	493 468	395 216	522 299
Portugal	95 691	95 703	96 242	71 664	87 020	85 960	81 193	80 494	84 473	96 794
Romania	44 031	48 424	162 276	110 035	50 732	34 566	38 137	38 851	44 637	:
Slovenia	4 790	5 428	5 305	5 703	4 528	:	5 960	:	:	:
Slovakia	29 885	54 051	27 396	30 341	26 373	29 678	24 710	23 199	34 822	33 183
Finland	96 130	89 849	118 976	135 973	118 976	99 280	101 822	107 302	123 273	138 158
Sweden	178 524	162 391	207 554	226 504	231 218	240 626	237 605	242 411	240 697	249 361
United Kingdom	1 175 195	1 289 019	1 123 872	1 185 468	1 129 392	1 116 125	1 074 747	966 657	1 246 447	1 570 909
Iceland	9 177	4 560	4 380	4 207	5 786	5 779	6 834	7 721	8 536	12 656
Liechtenstein	101	80	121	105	123	354	202	261	291	373
Norway	134 179	98 040	116 138	130 066	141 115	163 518	158 389	177 542	176 216	:

(:) not available

(¹) 2013 data: estimate

(²) 2014 data: estimate

Ďalšie európske legislatívne ustanovenia, ktoré sa úzko dotýkajú nakladania s automobilmi sú:

- **Smernica 2008/98/ES o odpade a SMERNICA EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY (EÚ) 2018/851, ktorá dopĺňa pôvodnú smernicu;**
- **Smernica 1999/31/ES o skládkach odpadov;**

- **Smernica 2000/76/ES o spaľovaní odpadov;**
- **Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006 o registrácii, hodnotení, autorizácii a obmedzovaní chemických látok (REACH).**

Dôležitým legislatívnym ustanovením pre všeobecné nakladanie s odpadom a špecificky pre spracovanie starých vozidiel je zákon č. 79/2015 Z.z. o odpadoch [64].

Tab. 7.2 Počet dopravných prostriedkov po dobe životnosti (v tonách) [67]

(number)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
European Union	5 090 000	7 711 000	6 225 000	5 568 000	5 123 000	5 084 000	5 043 000	4 969 000	4 823 000	5 281 000
Belgium	141 521	140 993	170 562	165 016	160 615	134 506	126 835	107 425	106 458	120 896
Bulgaria	38 600	55 330	69 287	62 937	57 532	61 673	80 862	85 946	92 706	102 442
Czechia	147 259	155 425	145 447	132 452	125 587	121 838	131 987	139 440	145 928	154 306
Denmark	101 042	96 830	100 480	93 487	106 504	125 650	104 413	98 929	89 039	117 124
Germany	417 534	1 778 593	500 193	466 160	476 601	500 322	512 163	473 386	412 801	506 531
Estonia	13 843	7 528	7 268	11 413	12 835	14 712	14 720	12 884	11 184	16 236
Ireland	127 612	152 455	158 237	134 960	102 073	92 467	86 950	74 910	98 213	140 788
Greece	55 201	115 670	95 162	112 454	84 456	86 205	82 863	87 050	46 573	39 761
Spain	748 071	952 367	839 637	671 927	687 824	734 776	724 820	689 760	611 446	620 055
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
Croatia (*)	:	:	:	:	35 213	32 135	19 388	16 900	20 386	21 074
Italy	1 203 184	1 610 137	1 246 546	952 461	902 611	876 052	853 584	958 245	978 960	:
Cyprus	14 273	17 303	13 219	17 145	17 547	13 212	11 160	8 293	5 151	5 453
Latvia	10 968	10 590	10 640	9 387	10 228	9 003	9 268	8 924	8 049	11 439
Lithuania	19 534	19 656	23 351	26 619	22 885	26 482	29 982	26 546	21 306	21 066
Luxembourg	2 865	6 908	6 303	2 341	2 834	2 290	2 225	1 617	1 854	1 972
Hungary	37 196	26 020	15 907	13 043	15 357	14 897	15 283	16 788	15 141	15 573
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
Austria	63 975	87 364	82 144	80 004	64 809	73 993	59 904	47 926	48 077	58 462
Poland	189 871	210 218	259 576	295 152	344 809	402 416	454 737	478 202	380 529	495 805
Portugal	107 746	107 946	107 419	77 929	92 008	92 112	86 713	84 158	88 559	99 910
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
Finland	103 000	96 270	119 000	136 000	119 000	99 300	94 540	99 630	114 460	128 280
Sweden	150 197	133 589	170 658	184 105	185 616	189 748	186 967	188 810	186 875	192 395
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
Iceland	9 386	5 109	4 195	4 075	5 824	4 463	5 245	6 063	6 527	9 483
Liechtenstein	91	72	107	94	114	326	188	230	260	326
Norway	130 018	95 000	112 537	124 563	119 905	141 452	139 920	145 098	142 280	:

(:) not available

(*) 2013 data: estimated.

Source: Eurostat (online data code: env_waselvt)

V roku 2020 je cieľom pre plastové odpady dosiahnuť 55 % materiálového zhodnotenia a zníženie skládkovania plastových odpadov na 5 %. V SR sú vybudované dostatočné spracovateľské kapacity, ktoré umožňujú dosiahnutie stanoveného cieľa. Podľa odborných odhadov sú v SR ročné recyklačné kapacity na všetky druhy plastových odpadov minimálne na úrovni 150 tis. Jedným z uvedených cieľov je podporovať financovanie technológií na recykláciu problémových druhov plastov zo spracovania starých vozidiel. V automobile sa nachádzajú rôzne typy základných plastov a polymérov, približne 66 % je tvorené nasledovnými druhmi plastov: polypropylén (32 %), polyuretán (17 %), polyvinylchlorid – PVC (16 %) [68]. Ako environmentálne najvhodnejšia sa javí materiálová recyklácia. Problémom súčasných technológií je, že získané recyklované materiály majú horšie fyzikálno-chemické vlastnosti ako pôvodný materiál. V zásade je však recyklácia plastových odpadov lepším variantom ako rekuperácia energie alebo ukladanie na skládky. V EÚ smeruje na skládky v priemere až 50 % všetkých plastov, väčšinu z nich tvoria obaly [65].

V „Programe“ boli postavené nasledovné ciele pre nakladanie s plastovými odpadmi:

	rok 2018	rok 2020
Materiálové zhodnocovanie	50 %	55 %
Energetické zhodnocovanie	10 %	15%
Skládkovanie	10%	5%
Iné nakladanie	30%	25%

Opatrenia pre recykláciu pneumatík v „Programe odpadového hospodárstva SR na roky 2016 – 2020“

Odpadové pneumatiky predstavujú dôležitý zdroj druhotných surovín. Pre odpadové pneumatiky sú vybudované dostatočné spracovateľské kapacity na ich materiálové zhodnocovanie, pričom okrem recyklácie odpadových pneumatík je v SR prevádzkované aj zariadenie na zhodnocovanie odpadových pneumatík založené na termickom štiepení polymérov. Cieľom pre odpadové pneumatiky v „Programe“ je v roku 2020 dosiahnuť mieru materiálového zhodnocovania na úroveň 80 % s 15 % energetickým zhodnocovaním a postupným znižovaním skládkovania na úroveň maximálne 1 %.
Nakladanie s odpadovými pneumatikami podrobne upravuje zákon o odpadoch 79/2015 [64]. Vzťahuje sa na ne rozšírená zodpovednosť výrobcov, ktorý musí spĺňať základné povinnosti výrobcu vyhradeného výrobku a zároveň výrobcu pneumatík. Výrobca pneumatík musí zabezpečiť nakladanie s vyzbieranými pneumatikami. Distribútor musí zabezpečiť spätný zber odpadových pneumatík, ktorý je bezplatný.

7.3 Recyklácia gumy a plastov

7.3.1 Zhodnotenie gumových odpadov a pneumatík

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. Klasickým a stále najvýznamnejším kaučukom je prírodný kaučuk. V súčasnosti si prírodný kaučuk a syntetické kaučuky v mnohých oboroch navzájom konkurujú a v mnohých prípadoch sa i účelne doplňujú. Podiel prírodného kaučuku na celkovej spotrebe kaučukov je takmer 40 %.
Všetky kaučuky sa spracúvajú vo forme zmesí s inými látkami. 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 (SiO_2, ZnO, Al_2O_3, $MgCO_3$).
Klasickými príkladmi použitia kaučukov sú dynamicky silne namáhané súčasti – pneumatiky, transportné pasy, profily, tesnenia, hadice, manžety, káblové plášte,

tlmiace elementy, podrážky. Vyžadujú vysokú flexibilitu i pri nízkych teplotách a nízku termoplastičnosť pri zvýšených teplotách.
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). Pre výrobu technickej gumy sa používa 25 – 30 % kaučukov, pre výrobu káblov a izolácií 3 – 6 %, ľahčenej gumy 2,5 – 4,5 %, pre výrobu obuvi 6 – 23 % a pre výrobu ostatných výrobkov 12,5 – 13 %.
Svetovým problémom sa stávajú, podobne ako plastové odpady, aj odpadové gumy a opotrebované pneumatiky, ktorých množstvo je stále oveľa väčšie, ako množstvo odpadu, ktoré sa dá rozumne zužitkovať.
Žiadnym regeneračným postupom nie je možné z gumového odpadu získať pôvodný kaučuk ani iné gumárenské suroviny.
Vyvíjajú sa preto rôzne metódy zhodnotenia tohto odpadu.
Jednou z metód recyklácie je materiálové zhodnotenie na polotovary, ktoré idú na ďalšie spracovanie. Nižšie mechanické, fyzikálne a chemické vlastnosti recyklovaného materiálu, oproti pôvodnej kaučukovej surovine, určujú jeho ďalšiu realizáciu.

1) Pri recyklácií (regenerácií) gumy k výrobe „regenerátu“, je odpadová mäkká guma rôzneho druhu získaná zberom pneumatík, hadíc, klinových remeňov, dopravných pásov, technickej gumy, ktorá sa vzhľadom na požadované vlastnosti konečného produktu (regenerátu) musí triediť. Väčšina regeneračných metód si vyžaduje následné drvenie gumy na malé častice. Až po chemickej alebo fyzikálnej regenerácii rozdrveného gumového odpadu (tlak 0,6 – 7,0 MPa, teplota 140 – 290 °C) sa guma stáva znovu spracovateľnou a vulkanizovateľnou. Mechanické vlastnosti gumy z regenerátu sú horšie ako zo surového kaučuku. Regenerát – rozdrvená stará guma, sa preto používa len ako prísada do kaučukových zmesí, pri výrobe hadíc, dopravných pásov, podlahovín, tesnení, podpätkov, podrážok, výplní betónov, akustických protihlukových bariér pri cestách, podkladových vrstiev ciest, dlaždíc detských ihrísk, tenisových kurtov, bežeckých dráh, strešných šindľov a pod.
   Takýmto materiálovým zhodnotením pneumatík sa zabezpečí využívanie odpadu ako druhotnej suroviny, ale problém gumového odpadu celkom nevyrieši, iba sa časovo posunie.
   V pneumatikách nie je možné regenerát používať z dôvodu zachovania vysokej odolnosti gumy voči opotrebeniu.
2) Kryogénnym alebo mechanickým mletím získaná veľmi jemná gumová drvina sa môže využiť ako plnivo do bežných kaučukových zmesí, alebo termoplastických elastomérov.
3) Hrubšia drť sa môže spracovať devulkanizáciou – mechanická regenerácia gumy.
4) Vzhľadom na vysokú výhrevnosť odpadovej gumy je najekonomickejšou cestou jej využitia energetické zhodnotenie vo forme paliva.
   V súčasnosti sa celé opotrebované pneumatiky bez predbežnej náročnej úpravy drvením spaľujú v cementárňach. Pri spaľovaní vznikajúci SO2 sa oxiduje na SO3 a bezpečne sa viaže oxidom vápenatým (CaO).

Boli vyvinuté aj špeciálne spaľovacie pece na gumenú drvinu, ktoré sú dostatočne bezpečné aj z ekologického hľadiska.

5) Z perspektívneho hľadiska je 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.
6) 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 (15 – 20 cm) v starom oleji pri 400 °C. Týmto pyrolýznym procesom sa získavajú ľahké a ťažké oleje. Prevádzkové náklady sú zatiaľ veľmi vysoké.
   Daný proces bol vyvinutý v Montebello Research Institutu, ktorý je súčasťou petrochemického koncernu Texaco, Inc, Alternate Energy and Resources Department so sídlom v New Yorku.

7.3.2 Spracovanie opotrebovaných pneumatík na Slovensku

Slovensko má dvakrát viac recyklačných kapacít na staré opotrebované pneumatiky, než ich každý rok pribudne. Aj napriek tomu z 26 000 tonového prírastku spracuje šesť novovybudovaných závodov len časť.

Najviac opotrebovaných pneumatík sa spracuje v najväčšom spracovateľskom závode, ktorý od r. 2006 prevádzkuje v priemyselnej zóne KECHNEC spoločnosť AVE SK odpadové hospodárstvo s.r.o.

Ide o materiálové zhodnotenie opotrebovaných pneumatík dánskou technológiou ELDAN, spĺňajúcou požiadavky BAT a BATNEEC. Prevádzka si zabezpečuje zber, zvoz, transport a recykláciu. Výstupným produktom je granulát o veľkostí frakcii 0 – 4 mm a lisované výrobky – gumová dlažba pre detské ihriská, športoviská, protihlukové steny a stajne .

V rámci Slovenska je realizovaná aj terciárna recyklácia opotrebovaných pneumatík, odpadových plastov a elastomérov R3 v spoločnosti DRON Industries. Bola tu vyvinutá environmentálna a ekonomicky rentabilná technológia, ktorá získala v r. 2011 ocenenie „Zlatý mravec“ v kategórií inovatívne riešenie. Vznikol patentovaný postup DTC, pomocou ktorého zhodnocujú opotrebované pneumatiky v súlade s vytýčenými požiadavkami a s výrobou hodnotných finálnych výrobkov.
Problémom ale je, že pre gumy nie je definovaný stav konca odpadu a produkty získané z gumy sú stále len „lepším odpadom“.
Termickou depolymerizáciou v kontinuálne pracujúcom zariadení spracúvajú opotrebované pneumatiky posekané na veľkosť 15 až 20 cm pri teplote do 700 °C bez prítomnosti kyslíka. Ohrev reaktora je zabezpečený spaľovaním vlastného recykláciou získaného plynu v plynových horákoch nainštalovaných v peci. Produkty termického štiepenia vo forme pár a plynov odchádzajú spoločne a v následnom kondenzačnom systéme sa získa kvapalná fáza olejov a pyrolýzny plyn sa spaľuje regulovaným spôsobom. V ďalšej časti zariadenia z pece odchádzajú tuhé zvyšky vo forme koksu a oceľových drôtov. Výťažnosť zariadenia je zhruba 45 % kvapalných produktov, 40 % tuhej frakcie, 6 % plynnej frakcie a 9 % oceľových drôtov.
Hlavnými výrobkami prevádzky sú [13]:

1) kvapalné frakcie – DRON olej (DO), ktoré predstavujú široké spektrum uhľovodíkov, ktoré sa môžu použiť ako:
   - palivo, nakoľko hodnota spaľovacieho tepla je vysoká a pohybuje sa v rozmedzí 40 až 43 MJ.kg-1
   - cenná petrochemická surovina do rafinérie ropy
2) tuhá frakcia – DRON koks (DK) – tzv. pyrouhlík, sadze, koks – môže sa použiť:
   - ako palivo s vysokým spaľovacím teplom 28 až 30 MJ.kg-1
   - ako Carbon Black do gumárenských výrobkov
3) DRON plyn (DP) – obsahuje hlavne vodík a ľahké uhľovodíky C1 až C5.
   - Používa sa na ohrev reaktora. Hodnota spaľovacieho tepla získaného pyrolýzneho plynu sa pohybuje v rozmedzí 35 až 42 MJ.m-3. Možný prebytok plynu sa môže využiť pre ohrev ďalších procesov pri valorizácií produktov – sušenie, destiláciu a pod.
4) DRON oceľové kordy (DOK)
   - majú lepšie vlastnosti ako kordy mechanického spracovania opotrebovaných pneumatík,
   - majú vyššiu sypnú hmotnosť, pri pyrolýznom spracovaní nedochádza k „vláskovaniu“, výborne sa lisujú a neobsahujú zvyšky gumy.

7.3.3 Zhodnotenie plastov v automobiloch

Recyklácia je vo všeobecnosti definovaná ako proces opätovného využitia už použitých materiálov a produktov. Pri spracovaní plastových odpadov sa rozlišuje recyklácia primárna, sekundárna, terciárna a kvartérna.
Pod **primárnou recykláciou** sa rozumie proces spracovania plastového odpadu na materiál alebo výrobok, ktorý má rovnaké alebo podobné vlastnosti, ako pôvodný. Ide o recykláciu čistého nekontaminovaného odpadu jedného typu plastu. Plastový odpad

sa pridáva k pôvodnému materiálu, ak je možné zachovať kvalitu produkcie, alebo výrobný produkt má nižšiu kvalitu. Väčšinou ide o spracovanie vnútorného odpadu priamo vo výrobe. Nie vždy je táto najjednoduchšia a najlacnejšia recyklácia realizovateľná, nakoľko v priebehu spracovania rôznych polymérov môžu prebiehať chemické reakcie, ktoré ovplyvnia fyzikálno-chemické vlastnosti daného odpadu a plast nie je vhodný na pôvodnú aplikáciu.

Pri **sekundárnej recyklácii** ide o recykláciu triedených plastov alebo recykláciu netriedených zmesí plastov v závislosti na požiadavkách trhu, kde sa dané výrobky majú realizovať. Pri spracovaní triedených plastov ide o využitie celej rady zložitých operácií separácie plastov podľa typov na základe rozdielnych hustôt, rozmerov, farby, fyzikálno-chemických vlastností alebo rozpustnosti. Druhý spôsob sekundárnej recyklácie spočíva v oddelení nepolymérnych kontaminantov od odpadových plastov a následnom roztavení zmesi polymérov bez predchádzajúcej separácie. Aj keď zjednodušenie spracovania sa zdá zaujímavé, rozdielne chemické zloženie roztavených polymérov (termodynamická nemiešateľnosť polymérov, vznik viacfázových systémov) spôsobuje zhoršené mechanické vlastnosti, ktoré je potrebné následne upravovať vzájomným pomerom zmesí, prídavkom špeciálnych aditív (ovplyvnenie adhézie), alebo prídavkom neplastových komponentov (piesok, piliny, papier, vlákna, kovové plnivá).

Terciárna recyklácia predstavuje chemickú recykláciu druhovo triedeného polymérneho odpadu na nízkomolekulové zlúčeniny, často aj monoméry. Je možné ich spätne využiť na polymerizáciu, palivo alebo zdroj chemikálií. Je to najpokročilejší spôsob chemickej recyklácie odpadového polymérneho materiálu. Do terciárnej recyklácie možno zaradiť:

- **depolymerizáciu**, kde pri zvýšenej teplote je možné z odpadového polymetyl metakrylátu (PMMA) získať opäť čistý monomér metylmetakrylát,
- často používanou **pyrolýzou** pri zvýšenej teplote za neprístupu kyslíka sa získava z odpadových polymérov, v závislosti od reakčných podmienok, veľké množstvo plynných, kvapalných a pevných produktov, ktoré je možno ďalej spracovávať,
- **splyňovaním** odpadových plastov je možné získať syntézny plyn (zmes H_2, CO, CO_2, H_2O), ktorý je možné použiť na prípravu celého radu chemických látok,
- **hydrogenáciou** plastových odpadov pri zvýšenej teplote a tlaku je možné získať vykurovacie oleje a benzín,
- pri mnohých polyméroch – polyesteroch, polyamidoch, polykarbonátoch a polyuretánoch, sa v rámci terciárnej recyklácie využívajú rôzne spôsoby **hydrolýzy** s cieľom získania východzích surovín alebo ich derivátov, ktoré je možné spätne využiť.

Kvartérna recyklácia predstavuje energetické zhodnotenie polymérnych odpadov. Spaľovanie odpadových plastov k výrobe tepla alebo elektriny je považované za najefektívnejšiu cestu k zníženiu objemu plastových odpadov, ktoré nie je možné

predchádzajúcimi spôsobmi recyklácie spracovať. Plasty majú vysokú energetickú hodnotu.

Veľa polymérnych odpadov, hlavne obalového charakteru, končí na **skládkach**. Je to pomerne jednoduchý a pravdepodobne najmenej nákladný spôsob nakladania s odpadmi. V r. 2012 v rámci EÚ bolo na skládkach uložené 38 % plastových odpadov, recykláciou zhodnotených 26 % a energeticky zhodnotených 36 %. Polymérne odpady v priebehu dlhej doby nepodliehajú významným oxidačným a biologickým premenám, čo narúša proces prirodzenej homogenizácie skládok. Snaha vyspelých krajín je zameraná na zhodnotenie plastového odpadu a na skládky sa vyváža len taký odpad, ktorý nie je možné žiadnym spôsobom zhodnotiť a ten dnes predstavuje asi 20 %.

V súčasnosti plasty pokladáme za jeden z najzávažnejších zdrojov znečistenia životného prostredia. Spracovanie odpadov z plastov a ich recyklácia mala by byť zahrnutá v ekonomicko-ekologickej stratégie štátu. Pre každú technicky vyspelú krajinu je nevyhnutné predchádzať vzniku negatívnych dôsledkov ekonomického vývoja na ekológiu a do tejto oblasti patrí aj problematika nakladania s plastovými odpadmi. Aj za cenu vynakladania vysokých nevyhnutných prostriedkov sa v súčasnosti uprednostňujú ekologické prínosy pred ekonomickými.

Heterogenita plastového odpadu je veľká. Odpad môže byť rôzny a s tým súvisí aj nakladanie s ním. Odpadové plasty vo všeobecnosti sa delia na štyri kategórie:

1) Do prvej kategórie sa zaraďujú plasty jedného druhu (neznečistené), ktoré sa môžu vrátiť do procesu, v ktorom vznikli. Predstavujú napríklad technologický vnútorný odpad výrobcu o známom chemickom zložení.
2) Druhú kategóriu predstavujú plasty jedného druhu, ale kontaminované, ktoré sa nemôžu priamo vrátiť do procesu, v ktorom vznikli, ale vzhľadom na známe chemické zloženie je možné ich podrobiť ďalšiemu spracovaniu s iným koncovým využitím.
3) Tretiu kategóriu tvoria plastové odpady zmesové o známom zložení a bez obsahu neplastových kontaminantov.
4) Najkomplikovanejšiu štvrtú kategóriu predstavuje plastový odpad náhodne zozbieraný a komunálny odpad.

Z ekologického hľadiska najprijateľnejšiu formou nakladania s plastovými odpadmi je ich recyklácia, ktorej výber je závislý od príslušnej kategórie plastového odpadu.

Medzi dôležité ekonomicko-ekologické činitele, ktoré ovplyvňujú riešenie problematiky odpadov v priemyselne vyspelých krajinách patrí:

1) obmedzenie negatívnych ekologických vplyvov skládok odpadov – vylúčenie vzniku divokých skládok, vysoké poplatky za riadenie skládok, prísne predpisy pre výber lokality a prevádzkovanie skládok;
2) spracovanie odpadov – recyklácia;
3) vládna podpora spracovateľom odpadov – dotácie z fondu pre ochranu životného prostredia, úverová politika, colné zvýhodnenie druhotných surovín.

Tab. 7.3 Energetická charakteristika vybraných odpadov

P. č.	Plast	**Spaľovacie teplo ($MJ.kg^{-1}$)**	**Popol (%)**
1.	Drevný odpad (a.s.)	16 – 20	0,1 – 1,1
2.	Papierový odpad	13 – 17	11 – 16
3.	Slama	16 – 19	4 – 6
4.	Polyetylénový odpad	46,2	0
5.	Polypropylénový odpad	44,4	2,8
6.	Polystyrénový odpad	41.1	0,3
7.	Polyamidový odpad	29,6	1,3
8.	PET– odpad	22.9	0,1
9.	Pneumatikový odpad	40,3	1,2
10.	Tetrapak	21,8	12,8

Vďaka uvedeným činiteľom sa predpokladá pokles odpadov (hlavne plastových a gumových) v prospech recyklácie.

Na spracovanie plastových odpadov všetkých typov termoplastov s približne rovnakým tavným indexom bolo vyvinuté zariadenie – REMARKER. Zariadenie umožňuje dvojfázovým postupom spracovať termoplastický odpad až s 30 % obsahom prísad na veľkoplošné prepravky.

Podobne sa spracúvajú plastové odpady s papierovými odpadmi v pomere 1:1 na palety, záhradný nábytok, okenné rámy, dekoratívne kvetináče a iné. Dokonca aj netriedené plastové odpady v zmesi s prachom, drevom, hliníkom, papierom, lepenkou, je možné spracovať na rôzne prepážky, cievky, latky na plot, melioračné trubky, spracovaním na homogénny odpadový granulát za použitia mohutného vytláčacieho stroja.

V súčasnej dobe sa spracovatelia plastových odpadov nemusia tvrdo pridŕžať len ekonomického hľadiska, súvisiaceho s tým, že druhotná surovina musí mať nižšiu cenu než pôvodná. S ohľadom na ochranu životného prostredia už začína prevládať ekologické hľadisko a hľadajú sa nové oblasti recyklácie plastových odpadov. Otázka recyklácie je veľmi vážna a ani hospodársky vysoko rozvinuté krajiny ju nemajú dostatočne zvládnutú.

Dôležitým faktorom ochrany životného prostredia je aj spracovanie starých ojazdených vozidiel. EÚ prijala direktívu, ktorá má zabezpečiť environmentálne priaznivejšiu recykláciu starých áut. Určuje kvalifikovateľné ciele opätovného využitia, recyklácie a obnovy áut a ich komponentov. Vyvíja tlak na producentov, aby pri výrobe nových vozidiel brali ohľad aj na ich recyklovateľnosť. Každý návrh auta má zohľadnenú ekonomiku recyklácie a k otázke recyklácie sa pristupuje systematicky už pri konštrukcii automobilu.

V automobilovom priemysle plastové komponenty nemajú len dekoratívnu funkciu, ale sú aj dôležitým konštrukčným materiálom. Vďaka mnohým výhodným vlastnostiam, ako sú nízka cena, malá hustota, výborná odolnosť voči korózii, odolnosť voči chemikáliám, odolnosť voči atmosférickým a poveternostným vplyvom, výborné mechanické vlastnosti, dobré tvarovanie, spracovanie a farbenie, nízka tepelná vodivosť

(v procese spracovania ju možno prídavkom kovových práškov upravovať), vysoká pevnosť, tuhosť, dobré tlmenie hluku a pod., nachádzajú plasty široké uplatnenie aj v automobilových komponentoch. V súčasnosti sa plasty používajú na výrobu najrôznejších dielov karosérií, vrátane kapôt, nárazníkov a najmä dielov pre vnútorné vybavenie karosérie. Pre štandardný európsky automobil sa uvádza pre plasty, gumu, textil a zvukovo-izolačné materiály 14,5 % zastúpenie.

V aute majú vysoké zastúpenie polyolefíny, pre ktoré je charakteristická najväčšia svetová produkcia, nízka cena, dobrá spracovateľnosť, dobré úžitkové vlastnosti a jednoduchá recyklácia. Ich vlastnosti sú závislé od molekulovej hmotnosti a stupňa kryštalinity.

Najväčšie zastúpenie plastov je uvádzané pre polypropylén (PP), Obr. 7.1, ktorý sa používa na výrobu výliskov schránok, puzdier, rozvodov kúrenia, mriežky. Expandovaný polypropylén (EPP) vďaka vynikajúcim mechanickým vlastnostiam – pružnosť, pevnosť v tlaku, schopnosť veľkej absorpcie energie, sa používa v exteriéri aj interiéri auta ako súčasť nárazníkov, sedadiel, batožinových priestorov, hlavových opierok, výplní kobercov. Spĺňa najprísnejšie kritéria aj v oblasti ochrany šoku, tepelnej a zvukovej izolácie.

Polypropylén spolu s **polyetylénom**, z ktorého sú tenkostenné výlisky, palivové nádrže a hadice sa dnes vo forme odpadových plastov takmer úplne zhodnocujú v hospodársky vyspelých štátoch. Spracovávajú sa na fólie, doskové materiály, kryty elektroprístrojov, vstrekované dielce, trubky pre zavlažovanie, rôzne prepravky a pod.

Terciárnou recykláciou – nízkoteplotnou pyrolýzou je z nich možné získať celý rad plynných zložiek, kvapalných olejov a tuhý zvyšok s vysokým energetickým obsahom. Pri týchto polyolefínoch sa môže využiť tiež kvartérna recyklácia, nakoľko je ich možné spáliť bez vzniku škodlivých emisií.

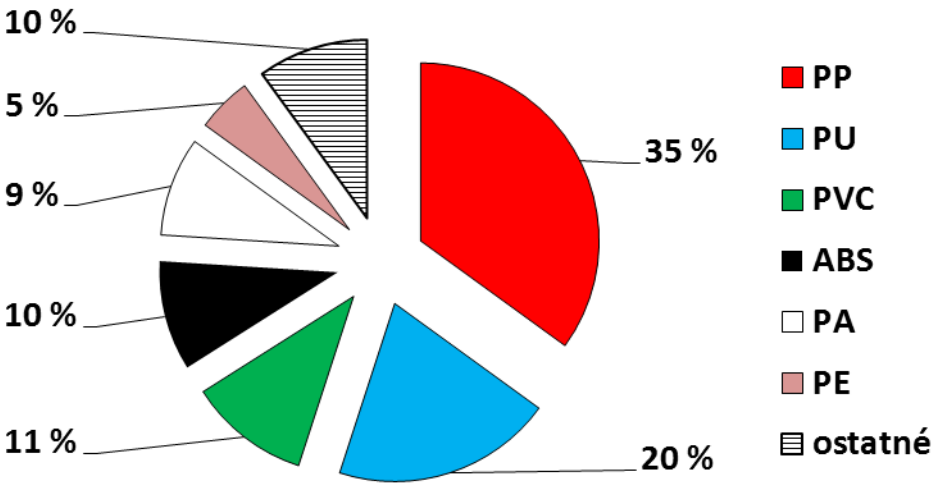
V aute je tiež zastúpený **polystyrén** (PS), pre ktorý je charakteristická nízka cena dobrá spracovateľnosť. Štandardný PS má vysoký lesk, výborné elektroizolačné vlastnosti, krehkosť, vysoký index lomu, amorfná štruktúra, transparentnosť, dostatočná odolnosť voči tepelnej degradácii a oxidácii pri normálnej teplote, odolnosť voči alkoholu, vode, minerálnym olejom, zriedeným anorganickým kyselinám. Fotooxidáciou však žltne a krehne.

PS v aute je buď vo forme rôznych krytov alebo penový použitý na rôzne izolačné výplne panelových stropov, nenamáhaných penových panelov. Expandovaný polystyrén (EPS) je ultra ľahký, ale silný materiál. Slúži predovšetkým na ochranu, tlmenie nárazov a izoláciu. Má nízku hmotnosť a dokáže výborne absorbovať energiu. Používa sa na výrobu stĺpikov riadenia, sedadlá, nárazníky, karosérie. Okrem výborných tepelnoizolačných vlastností má nízku nasiakavosť, vysokú pevnosť v tlaku, ťahu a ohybe.

Okrem priameho zhodnotenia PS na rôzne profily pre konštrukciu regálov, kvetinových stien, rukovätí pre rôzne náradia, sa môže pyrolyticky spracovať s veľkým výťažkom styrénu, ktorý sa môže ďalej použiť na polymerizáciu.

V aute sa využívajú obidve formy **polyvinylchloridu** (PVC). Je to masovo vyrábaný syntetický plast. Podľa spôsobu výroby a spracovania má vysokú pevnosť v ťahu,

húževnatosť, odolnosť voči ohňu, odolnosť voči chemikáliám v závislosti na stupni zmäkčenia a teploty, absorpcia vody vzrastá s obsahom zmäkčovadla. Problematická je tepelná a svetelná stabilizácia. Mäkčený PVC sa v aute používa ako povrchová vrstva plastických koží, fólie, výlisky, profily, hadice a nemäkčený pri výrobe namáhaných výliskov, profilov, a dosiek.



Obr. 7.1 Podiel jednotlivých plastov v automobile

PP - polypropylén, PU - polyuretán, PVC - polyvinylchlorid,
ABS - Akrylonitrilbutadiénstyrén, PA - Polyamid, PE - Polyetylén

PVC bez zmäkčovadiel (novodur) má odolnosť voči vode, kyselinám, alkáliám, organickým zlúčeninám, kyslíku, vodnej pare, má vysokú tvrdosť, odolnosť proti oderu, mechanickú pevnosť, dobré elektroizolačné vlastnosti, vysoký lesk, čírosť a samozhášavosť.
Z odpadov PVC sa vyrábajú kanalizačné trubky, vytlačované profily a dosky. PVC z koženiek sa používa na modifikáciu rozmerovej stálosti výrobkov a odolnosti voči oderu. Zmiešané odpady polyvinylchloridov a polyolefínov sa spracúvajú na palety a dielce pre podlahy priemyslových podnikov.
Pomerne vysoké zastúpenie v aute má **polyuretán** (PU), ktorý sa používa pri výrobe presných tenkostenných výliskov, manžiet rovnobežných kĺbov a prachoviek kĺbov.
Ľahčený PU sa využíva v nábytkárskom a automobilovovom priemysle, na izolačné a tesnice pásky, laminovanie textilu, obaloviny, izolačné materiály v stavebníctve, lepidlá a vlákna. Polyuretánový odpad sa používa ako prísada do zmesí termoplastických polyuretánov na zvýšenie rozmerovej stálosti a odolnosti voči oderu.
V automobiloch má zastúpenie aj **ABS** terpolymér akrylonitrilu, butadiénu a styrénu. Má tvrdý, lesklý povrch, atraktívny vzhľad a umožňuje aj galvanické pokovanie. V automobiloch sa ABS využívajú na tvarovo zložité a namáhané výlisky, mriežky, kryty chladiča, dovetranie, rámčeky svetlometov, tvarové kryty volantu, púzdra spätných zrkadiel, kryty nábojov kolies, prístrojové dosky, veľkoplošné diely kapoty,

kryciu vrstvu bezpečnostného panelu, kryciu vrstvu stropných panelov, dosky vákuovo ťahané, povrchové a vnútorné diely karosérie.
Na výrobu krytov s dobrou odolnosťou pri nízkych teplotách sa v autách používa aj kopolymér styrénu a a akronitrilu – **SAN**. Je z polystyrénov chemicky najviac odolný a dlhodobo vydrží aj pri teplote 85 °C. Používa sa na výrobky vystužené sklenými vláknami, kryty projektorov, vnútorné vybavenie automobilov.
Svoje miesto v automobilovom priemysle má aj **polymetylakrylát** (PMMK) (organické sklo – plexisklo, Umaplex). Vďaka svojej čírosti a bezfarebnosti aj vo veľkých hrúbkach (92 % priepustnosť svetla) sa používa na zasklenie obytných prívesov karavánov a dopravných prostriedkov. Aj v náročných klimatických podmienkach si zachováva odolnosť voči poveternostným vplyvom, má odolnosť voči vode, zriedeným kyselinám a hydroxidom, dá sa dobre mechanicky obrábať, má tepelnú odolnosť do 80 °C, ale nízku povrchovú tvrdosť.
Polykarbonát (PC), ktorý je technicky významným konštrukčným plastom sa nachádza v aute vo forme vysoko húževnatých výliskov. Charakterizuje ho vysoká priepustnosť svetla, vysoká rázová húževnatosť, dobré elektroizolačné vlastnosti, vysoká mechanická pevnosť v ťahu, nízka nasiakavosť vody, odolnosť voči UV žiareniu a chemikáliám a rozmerová stabilita do 140 °C.
Polyamid (PA) je súčasťou namáhaných dielov kľučiek, ovládania okien a klzných púzdier. Rôzne druhy polyamidov majú vysokú tvrdosť, húževnatosť, odolnosť voči oderu a dobré elektroizolačné vlastnosti, ktoré závisia od absorpcie vody. Používajú sa vo forme konštrukčného plastu ako ložiská, ozubených kolies, cievok, antikoróznych povlakov kovov, elektroizolačných vrstiev, kord do pneumatík, dopravných pásov, kobercových vlákien, sít a pod.
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, problematickejšiu recykláciu plastov oproti kovom, obrovským prínosom pre recykláciu plastových odpadov je dohoda Asociácie európskych výrobcov, že každý plastový diel v aute vážiaci viac ako 100 gramov je označený kódom, ktorý umožňuje pri demontáži opotrebovaných áut identifikovať druh plastu.

7.4 Životný cyklus odpadových pneumatík a plastov v automobilovom priemysle

Automobilový priemysel je jedným z najrýchlejšie sa rozvíjajúcich odvetví svetovej ekonomiky. Rozvoj tohto odvetvia však so sebou priniesol aj určité negatíva. Jedným z kľúčových bodov vývoja automobilového priemyslu je aj úsilie o zníženie negatívneho vplyvu priemyslu na životné prostredie, a to nielen počas fázy používania vozidla ale aj pri jeho následnej zneškodňovaní.
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

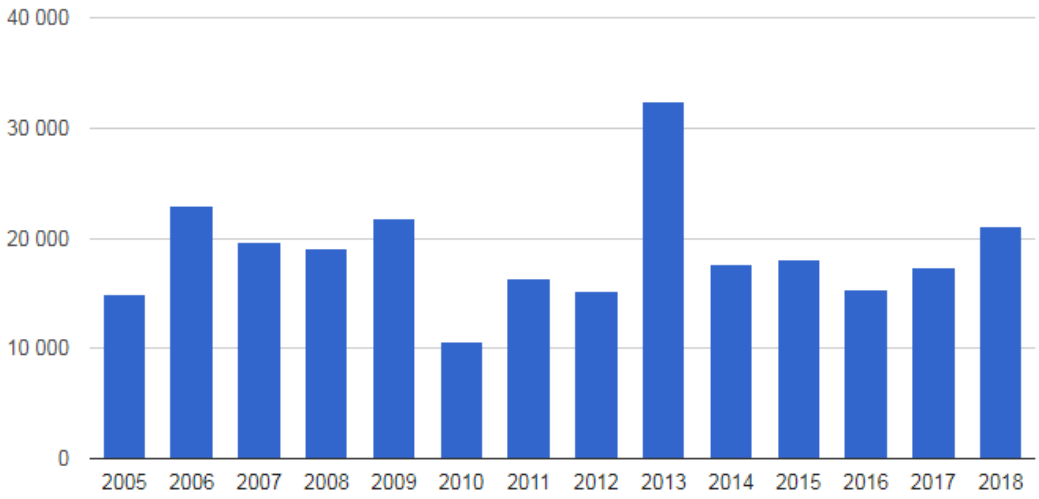
hospodárstva zachovať hodnotu materiálov a produktov čo najdlhšie. Zvyšovanie podielu recyklácie odpadov je jedným zo základných predpokladov uzatvorenia kruhu v rámci obehového hospodárstva [20].

7.4.1 Posudzovanie životného cyklu odpadových pneumatík

Základné legislatívne požiadavky v Slovenskej republike súvisiace s odpadovými pneumatikami sú uvedené v zákone č. 79/2015 Z. z. o odpadoch v znení neskorších predpisov [64]. Pneumatika na účely tohto zákona je súčasť sústavy kolesa, určeného pre motorové vozidlá a nemotorové vozidlá, vyrobená z prírodného kaučuku alebo syntetického kaučuku bez ráfikov. Protektorovaná pneumatika je pneumatika, ktorej opotrebované časti boli obnovené studenou alebo teplou metódou protektorovania. Odpadová pneumatika je pneumatika, ktorá je odpadom. V zmysle uvedeného zákona je zakázané zneškodňovať odpadové pneumatiky skládkovaním okrem pneumatík, ktoré sú použité ako konštrukčný materiál pri budovaní skládky, pneumatík z bicyklov a pneumatík s väčším vonkajším priemerom ako 1400 mm. Konečný používateľ pneumatiky je povinný pneumatiku po tom, ako sa stala odpadovou pneumatikou, odovzdať distribútorovi pneumatík, na zberný dvor alebo na iné miesto, ak tak obec určí okrem odpadových pneumatík umiestnených na kolesách starého vozidla odovzdávaného osobe oprávnenej na zber starých vozidiel alebo spracovateľovi starých vozidiel. Pneumatika je výrobok patriaci do skupiny výrobkov, na ktoré sa vzťahuje rozšírená zodpovednosť výrobcu. Rozšírená zodpovednosť výrobcu pneumatík je súhrn povinností vzťahujúcich sa na pneumatiku počas všetkých fáz jej životného cyklu, ktorých cieľom je predchádzanie vzniku odpadu a posilnenie opätovného použitia, recyklácie alebo iného zhodnotenia. Výrobca pneumatík je okrem iného povinný zabezpečiť nakladanie s odpadovými pneumatikami, spätný zber odpadových pneumatík, prevzatie odpadových pneumatík vyzbieraných v rámci spätného zberu a odovzdanie odpadových pneumatík prednostne do zariadenia na materiálové zhodnocovanie odpadových pneumatík. Podľa údajov z Informačného systému odpadového hospodárstva [21] bolo k 1. marcu 2020 na Slovensku registrovaných 211 výrobcov pneumatík (pozn.: Výrobca pneumatík je fyzická osoba – podnikateľ alebo právnická osoba, ktorá v rámci svojej podnikateľskej činnosti bez ohľadu na použitú techniku predaja, vrátane predaja na základe zmluvy uzatváranej na diaľku, uvádza pneumatiky na trh Slovenskej republiky samostatne.) a 4 autorizované organizácie zodpovednosti výrobcov pre pneumatiky (ELT Management Company Slovakia s.r.o., NOWAS s.r.o., SLOVMAS a.s., OZV Pneu s.r.o.).

V roku 2018 vzniklo na Slovensku 21 062,34 ton odpadových pneumatík [34]. Vývoj množstva odpadových pneumatík od roku 2005 je zobrazený na Obr. 7.2.V súčasnosti sa na Slovensku v zásade využívajú tri spôsoby nakladania s odpadovými pneumatikami: materiálové zhodnocovanie (mechanická dezintegrácia, termická depolymerizácia), energetické zhodnocovanie (spaľovanie v cementárňach) a protektorovanie. V nakladaní s odpadovými pneumatikami prevláda dlhodobo materiálové zhodnocovanie. V roku 2018 dosiahla úroveň ich materiálového zhodnotenia 89,8 %, energeticky ich bolo zhodnotených 9,15 %. Cieľom pre odpadové

pneumatiky je do roku 2020 dosiahnuť mieru materiálového zhodnocovania na úrovni 80 % s 15 % energetickým zhodnocovaním [33]. V súčasnosti je vybudovaný celoslovenský systém zberu, zvozu a materiálového spracovania opotrebovaných pneumatík s ročnou kapacitou spracovania 48 000 t. Čo sa týka spracovania opotrebovaných pneumatík, je na Slovensku vybudovaná ročná spracovateľská kapacita opotrebovaných pneumatík, ktorá je schopná zabezpečiť materiálové zhodnotenie všetkých pneumatík. Nie je však dostatočne zabezpečený zber opotrebovaných pneumatík a ich preprava do zhodnocovacích zariadení. Výroba druhotných surovín vznikajúcich spracovaním opotrebovaných pneumatík je energeticky náročná a zhodnotenie druhotných surovín zapracovaním do nových výrobkov je nedostatočné. Výrobky nie sú konkurencieschopné [34].



Obr. 7.2 Množstvo opotrebovaných pneumatík v tonách [34]

Sumárny prehľad existujúcich spôsobov nakladania s pneumatikami uvádzajú v prehľadovej štúdii Rowhani a Rainy [45]. Príklady použitia gumového granulátu z recyklovaných pneumatík:

- prísada do asfaltových zmesí,
- prísada do betónu,
- výrobky (napr. spomaľovacie retardéry, pätníky, stĺpiky, kvetináče, obrubníky, dlažby, nábehy, schody, protipádové povrchy detských ihrísk, športové povrchy, podlahy, ustajnenie a podstielky pre hospodárske a domáce zvieratá, bokovnice na železničné priecestia, antivibračné rohože, protihlukové steny, zásyp do umelých trávnikov, sorbenty ropných látok, mulčovací materiál v poľnohospodárstve).

7.4.2 Posudzovanie životného cyklu plastov

Využívanie plastov v automobilovom priemysle má svoju dlhodobú históriu. Kým v počiatkoch bolo využitie celuloidu limitované vysokými horľavými vlastnosťami materiálov, postupom času sa využívaním bakelitu, bioplastov, PVC a iných polymérov

vylepšovali nielen tepelné vlastnosti, ale aj ich mechanická odolnosť. Kým v prvopočiatkoch bolo primárnym dôvodom využitia plastov snaha o zníženie hmotnosti vozidla, dnes je kladený dôraz aj na zvýšenie užívateľského komfortu a najmä na ekologickú stránku zníženia obsahu emisií v zmysle ochrany životného prostredia. Vacek [58] vo svojej štúdii uvádza, že využitie plastov v automobilovom priemysle rastie a s ním sa zvyšuje aj spektrum využiteľnosti rôznych druhov polymérov. Uplatnenie plastov však dokáže nielen vylepšiť spotrebiteľský komfort, ale vytvárať aj potenciál úspory z hľadiska energie a taktiež emisií.

a) Úspora energií závisí od snahy nahradiť kovové diely, s potrebou výrazne vyššej teploty ich spracovania a tvarovania dielmi z plastov, ktoré majú nižšiu energetickú záťaž vo výrobnom procese. Samozrejmosťou však je aby plastové diely spĺňali priemyselné štandardy schopnosti využívania pri teplote vyššej ako 150 °C.
b) Dôležitejšia je úspora emisií spojená so znižovaním hmotnosti, ktorá vedie k zníženej produkcii CO2. Podľa prepočtov, ktoré uvádza Dobroň [11] je možné znížením hmotnosti auta o 100 kg znížiť spotrebu približne o 0,4 litra pohonných hmôt na 100 km. Podiel plastov tak, v stredne veľkom osobnom aute, narástol za posledných 20 rokov z približne zo 6 na viac ako 15 %.

Ochrana životného prostredia a zlepšenie kvality ovzdušia je dôležitým cieľom Európskej komisie. V automobilovom priemysle sú právne predpisy a normy EÚ zamerané na zníženie emisií CO2, NO2 a tuhých znečisťujúcich látok. Európska komisia uvádza že cestná doprava je hlavným zdrojom emisií skleníkových plynov a produkuje približne 15 % emisií CO2 v krajinách EÚ [67]. Komisia sa zameriava na zníženie emisií najmä z nasledovných kategórií vozidiel:

- ľahké úžitkové vozidlá (osobné a dodávkové vozidlá)
- ťažké úžitkové vozidlá (autokary, autobusy, nákladné autá)
- necestné pojazdné stroje (rýpadlá, buldozéry, čelné nakladače).

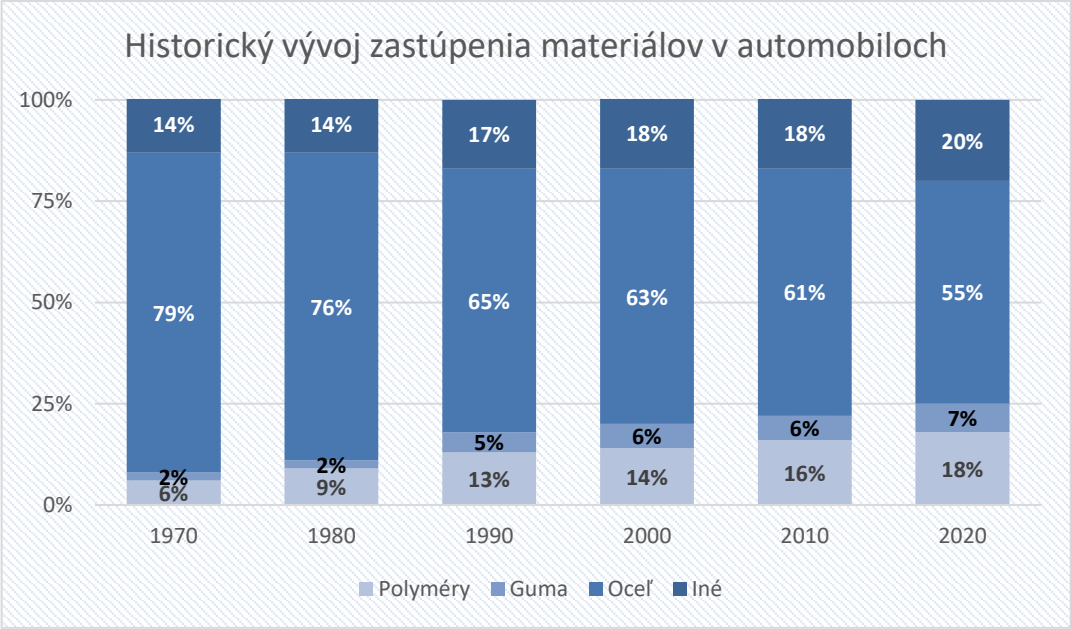
Záväzné emisné limity sa už zaviedli pre ľahké a ťažké vozidlá. Environmentálne požiadavky na poľnohospodárske a lesné traktory a dvoj- alebo trojkolesové vozidlá budú zahrnuté v budúcich nariadeniach.

Kongsak [25] vo svojej štúdii uvádza, že zvýšeným využívaním plastov v automobiloch, z podielu menej ako 10 % v 80-tych rokoch minulého storočia až na súčasný podiel do 18 %, bolo dokázané zníženie priemernej hmotnosti o 200 kg, Obr. 7.3. Dôvodom je najmä ľahkosť, trvanlivosť a tvarovateľnosť plastov.

Posudzovanie životného cyklu – Life Cycle Assessment (LCA)

Meranie vplyvu na životné prostredie a odhalenia potenciálu zníženia jeho negatívneho pôsobenia je možné kvantifikovať prostredníctvom strategického prístupu tzv. ekologickej bilancie. V súčasnosti sa pre komplexné posúdenie životného cyklu produktu na životné prostredie vo svete aplikuje analytická metóda environmentálneho manažmentu s názvom Life Cycle Assessment – LCA. V slovenčine označovaná ako analýza (posudzovanie) životného cyklu alebo aj ako analýza od kolísky po hrob „from-

cradle-to-grave“4. Posudzovanie životného cyklu je metóda porovnávania environmentálnych vplyvov produktov, výrobkov alebo služieb, s ohľadom na ich životný cyklus. Do úvahy sa berú emisie do všetkých zložiek životného prostredia počas výroby, používania i zneškodňovania produktu.



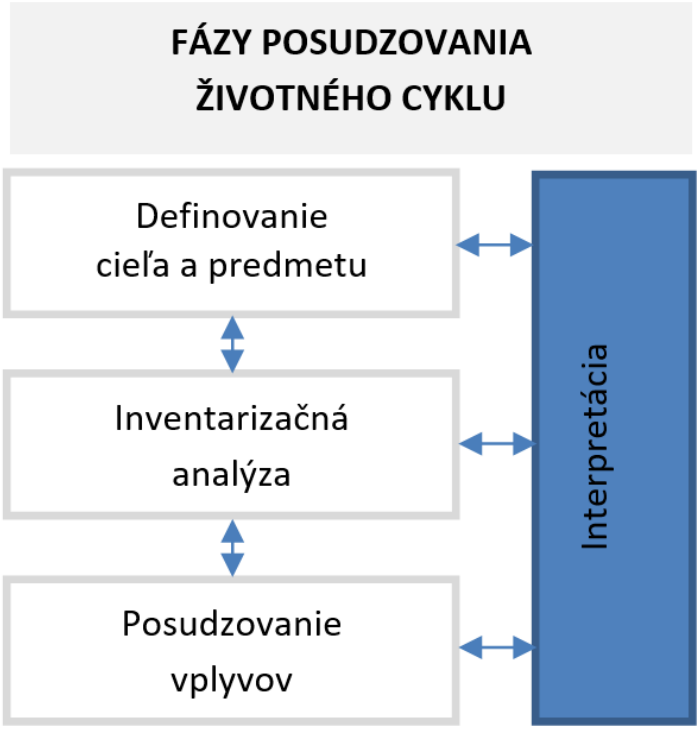
Obr. 7.3 História využitia materiálov v automobiloch [25]

Práve v oblasti plastov je možné vysvetliť jej podstatu. S narastajúcim objemom plastov vystúpila logicky do popredia snaha o riešenie problémov spojených s ich manipuláciou a zneškodňovaním a to najmä použitých obalových prostriedkov. Cieľom využitia LCA v tejto oblasti bolo optimalizovať ich parametre tak, aby sa dosiahlo čo možno najmenšie zaťaženie životného prostredia, a to najmä v súvislosti s využitím zdrojov, spôsobom výroby, prepravou a distribúciou, ale aj spotrebou a zneškodnením po uplynutí doby ich životnosti. Najzávažnejším hľadiskom v posudzovaní ekologických dosahov je spotreba energie, čo súvisí s limitovaným množstvom energetických zdrojov, ale i sprevádzajúcimi negatívnymi javmi, ako sú atmosférické emisie prospievajúce k tvorbe kyslých dažďov, smogu a skleníkového efektu. V rámci analýzy LCA sú teda zahrnuté aj procesy získavania surovín, výroby materiálov a energie, pomocné procesy či subprocesy. Podľa mnohých autorov Wu et al. [63], Vilches et al. [60], a Su et al. [52] , ktorí aplikovali túto metódu v mnohých oblastiach priemyslu, má metóda LCA pevne danú štruktúru a vykonáva sa podľa medzinárodných noriem radu ISO 14040.

[4] Od kolísky po hrob - „from-cradle-to-grave“ je pojem posúdenia vplyvu produktu na životné prostredie vo všetkých fázach životného cyklu (t. j. od ťažby surovín, cez spracovanie materiálov, výrobu, distribúciu, používanie, opravy, údržby, až po zneškodňovanie alebo recykláciu). Defining Life Cycle Assessment (LCA). US Environmental Protection Agency. Web: http://www.gdrc.org/uem/lca/lca-define.html.

Metodika LCA obsahuje v podstate štyri opakujúce sa kroky, resp. fázy, Obr. 7.4:

1) Vymedzenie cieľa a rozsahu (Goal and Scope Definition), ide o špecifikáciu aká veľká časť životného cyklu produktu bude zahrnutá do hodnotenia a na čo bude hodnotenie slúžiť. Táto fáza popisuje kritériá slúžiace na porovnávanie systémov a zvolený časový horizont.
2) Inventarizácia životného cyklu (Life Cycle Inventory – LCI). Táto fáza obsahuje popis materiálových a energetických tokov v rámci produktového systému a predovšetkým jeho interakcie s okolím, spotrebované suroviny a emisie do prostredia. Špecifikuje všetky významné procesy a vedľajšie toky energie a materiálov.
3) Hodnotenie vplyvu na životný cyklus (Lify Cycle Impact Assesment – LCIA), prezentuje výsledky indikátorov všetkých dopadových kategórií, ich vzájomné zhodnotenie významnosti každej dopadovej kategórie normalizáciou, prípadne vážením.
4) Interpretácia výsledkov (Interpretation of Results), zahŕňa kritické preskúmanie, zistenie citlivosti dát a prezentáciu výsledkov.



Obr. 7.4 Hlavné fázy životného cyklu LCA [22]

Ako hodnotené faktory sa často využívajú nasledovné environmentálne hľadiská

Zabudovaná primárna energia (PEI) je údaj v MJ, ktorý v sebe zahŕňa množstvo spotrebovanej primárnej energie v danom materiály. Ide o energiu vynaloženú na získanie suroviny, výrobu a dopravu materiálu. Emisie CO2 ekv. (GWP), teda potenciál globálneho otepľovania, zahŕňajú emisie látok prispievajúcich ku skleníkovému efektu.

Oxid uhličitý sa vzhľadom k najväčším produkovaným množstvám používa ako ekvivalent. Sledovaným ukazovateľom je, koľko kilogramov CO2 bolo uvoľnených pri výrobe materiálu. Nie každý materiál má pozitívnu bilanciu CO2.

Tab. 7.4 Faktory environmentálneho hľadiska

Parameter	Názov	Jednotka
PEI	Zabudovaná primárna energia	[MJ/kg]
GWP	Potenciál globálneho otepľovania	[kg CO_2 eq./kg]
AP	Potenciál okysľovania životného prostredia	[g SO_2 eq./kg]
EP	Eutrofizačný potenciál	[g $(PO_4)^{3-}$ eq./kg]
ODP	Potenciál poškodzovania ozónovej vrstvy	[g R-11 eq./kg]
POCP	Fotochemický potenciál tvorby oxidantov	[g C_2H_4 eq./kg]

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa EN ISO 14 040 a 14 044

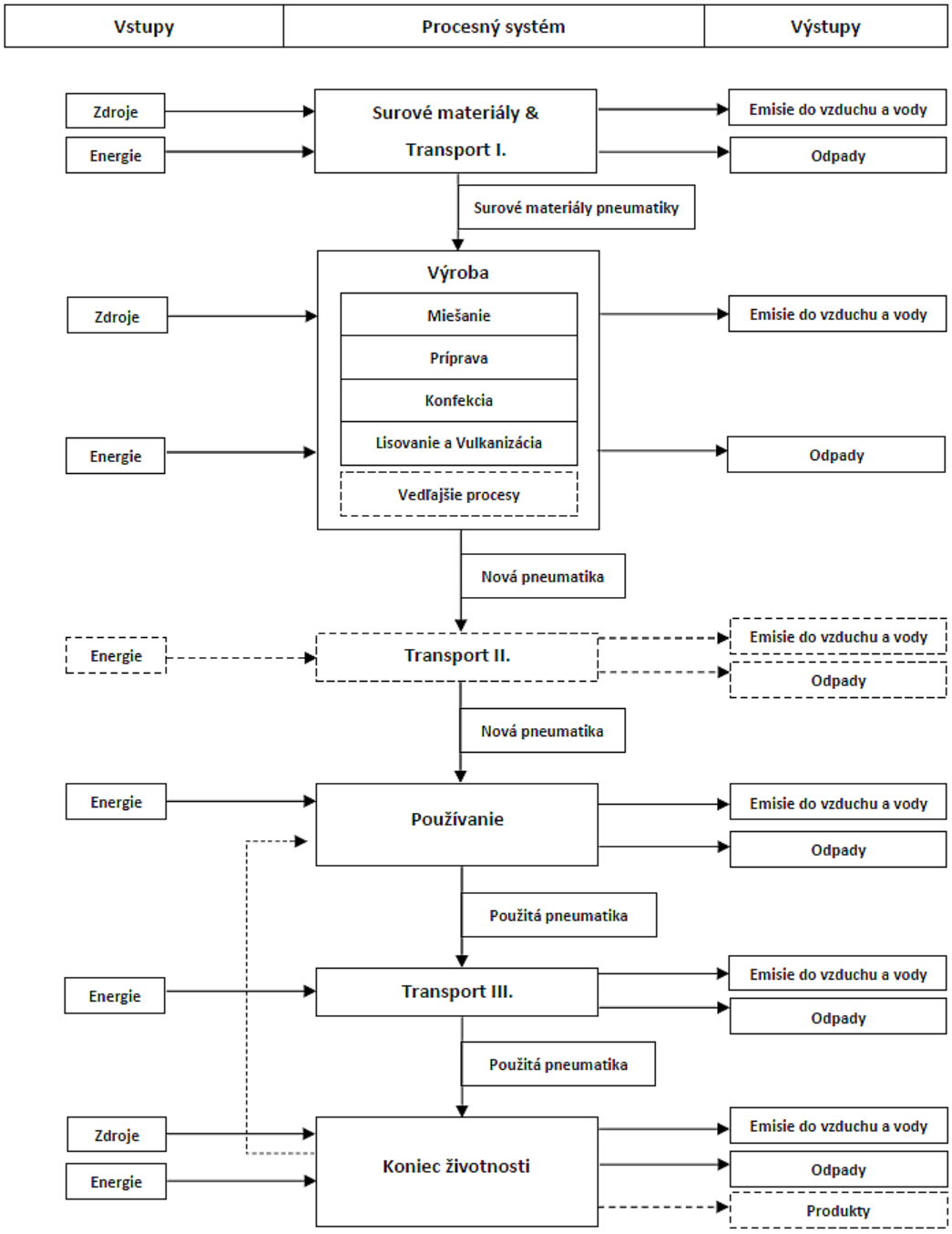
Práve drevo alebo iné obnoviteľné suroviny počas rastu absorbujú viac CO2 ako sa uvoľní pri ich príprave a zabudovaní do stavby. Emisie SO2 ekv. (AP), teda potenciál okysľovania životného prostredia, poukazuje na hodnotenie, kde sa ako ekvivalent používa oxid siričitý. Údaj zahŕňa aj ďalšie plyny podieľajúce sa na acidifikácii, predovšetkým oxidy dusíka a amoniaku. Tento údaj nám dáva informácie o miere poškodzovania kyslými dažďami vodných, lesných a pôdnych ekosystémov, ale aj budov. Eutrofizačný potenciál (EP) je definovaný, ako potenciál spôsobiť nadmerné obohacovanie vody a pôdy o živiny, čo môže viesť k zvýšenému rastu biomasy. Potenciál poškodzovania ozónovej vrstvy (ODP) sa často používa v spojení s potenciálom globálneho otepľovania zlúčeniny (GWP) ako meradlo toho, nakoľko môže byť environmentálne škodlivé. Fotochemický potenciál tvorby oxidantov (POCP) je známy aj ako fotochemický smog.

Aktuálne využitie LCA je možné nájsť v mnohých odvetviach priemyslu. Osobné skúsenosti máme s jej využitím v oblasti stavebného priemyslu v rámci porovnateľnosti vybraných environmentálnych faktorov pri realizácii referenčnej stavby na báze dreva a silikátu. V automobilovom priemysle poskytuje literatúra niekoľko štúdií, ktoré porovnávajú eko-profil vozidiel s rôznymi technológiami pohonu, ako sú spaľovacie motory, čisto elektrické, hybridné a plug-in hybridné automobily. Existujú štúdie LCA, ktoré sa zameriavajú iba na konkrétne komponenty batérií elektrických vozidiel, ako sú trakčné batérie a výkonová elektronika (Van den Bossche et al. [59],; Matheys et al. [31], Daimler AG [9], Majeau-Bettez et al. [30], , väčšinou na základe dôverných LC súpisov. Na druhej strane niekoľko prác hodnotí environmentálny vplyv zavádzania elektrických a hybridných automobilov s prihliadnutím na celé vozidlo (Donateo et al. [12], Nanaki, Koroneos [35], Girardi et al. [19],). Mnohé z týchto výskumov využívajú zásoby založené na súhrnných údajoch z uverejnených zdrojov a skúmajú výrobu hnacej jednotky/batérie elektrických vozidiel s rôznymi úrovňami podrobnosti a transparentnosti. Niektoré z nich sa navyše zaoberajú iba špecifickými fázami životného cyklu automobilu (LC), ako je použitie alebo výroba vozidiel. Najpresnejšie

štúdie, ktoré vykonávajú environmentálne porovnanie konvenčných a elektrických automobilov, sú Bauer et al. [4], Tagliaferri et al. [55], a Lombardi et al. [29],.
Metóda posudzovania životného cyklu (LCA – z angl. Life Cycle Assessment) určuje environmentálne aspekty a možné environmentálne vplyvy (napr. využívanie zdrojov a environmentálne dôsledky znečisťovania) počas celého životného cyklu produktu od získavania surovín, cez výrobu, používanie, nakladanie po skončení životnosti, recyklovanie až po konečné zneškodňovanie (t.j. od kolísky po hrob). Požiadavky na metódu posudzovania životného cyklu (LCA) sú špecifikované v technických normách STN EN ISO 14040:2006 Environmentálne manažérstvo -Posudzovanie životného cyklu [22]. Princípy a štruktúra a STN EN ISO 14044:2006 Environmentálne manažérstvo - Posudzovanie životného cyklu [23]. Požiadavky a pokyny. Charakteristickou črtou metódy LCA je jej holistický (celostný) prístup. Tento jednak zabezpečuje, že sú monitorované kompletné materiálové a energetické toky, čo umožňuje identifikovať všetky negatívne dopady spojené s jednotlivými etapami životného cyklu posudzovaného produktu, ale súčasne zabraňuje posúvaniu problémov medzi týmito etapami. Napríklad, za účelom zníženia spotreby pohonných hmôt (redukcia čerpania neobnoviteľných zdrojov energie – nafty a množstva emisií do ovzdušia počas prevádzky automobilu) navrhne konštruktér na výrobu karosérie automobilu miesto ocele hliník (zníženie hmotnosti automobilu). Problém však nevyriešil, ale len posunul do inej etapy životného cyklu automobilu, pretože výroba hliníka je energeticky omnoho náročnejšia ako výroba ocele. Komparatívny charakter metódy teda umožňuje rozhodnúť o zvolenom postupe až po porovnaní viacerých variantov riešenia.

V nasledovnej časti je uvedený literárny prehľad publikovaných LCA štúdií súvisiacich s pneumatikami za ostatnú dekádu. Clauzade et al. [7] v LCA štúdií porovnali 9 rozličných metód zhodnotenia odpadových pneumatík (cementárne – palivová náhrada, zlievarne – náhrada zlievarenského koksu, oceliarne – náhrada antracitu resp. kovového šrotu, mestské vykurovanie – palivová náhrada, retenčné nádrže – náhrada betónového resp. plastového bloku, infiltračné nádrže – náhrada štrku, výlisky – náhrada polyuretánu v antivibračných rohožiach, syntetické trávniky – náhrada EPDM elastoméru a jazdecké podlahy – náhrada piesku) v podmienkach Francúzska. Výsledky štúdie naznačili, že všetky posudzované metódy dosiahli lepšie environmentálne ukazovatele ako metódy s pôvodnými produktmi.
Kořínek [26] v LCA štúdií posúdil a vyhodnotil energetické, materiálové a emisné toky a potenciálne vplyvy pneumatiky osobného automobilu na životné prostredie s akcentom na komparáciu rôznych spôsobov materiálového a energetického využitia v podmienkach Českej republiky. Výsledky štúdie indikujú, že v životnom cykle pneumatiky dominuje fáza ťažby surovín/výroby materiálov. Pri vzájomnej komparácií jednotlivých spôsobov nakladania s odpadovou pneumatikou (mechanické drvenie, pyrolýza, spaľovanie) neboli z pohľadu environmentálnych vplyvov zistené signifikantné rozdiely.

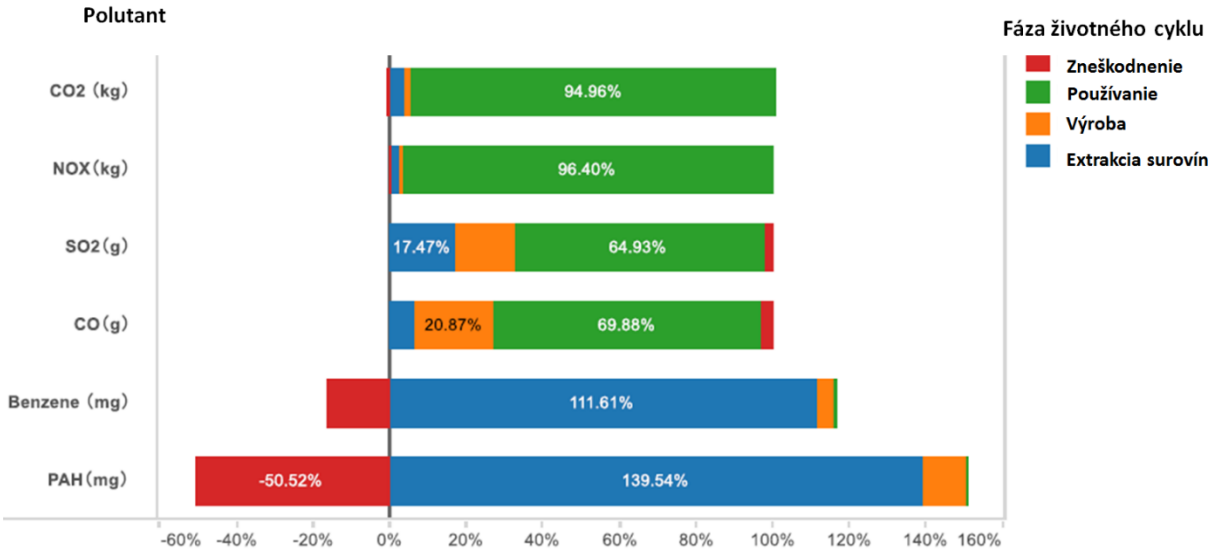
Feraldi et al. [17] prostredníctvom LCA štúdie navzájom porovnali environmentálne dopady spojené s materiálovým zhodnocovaním (mechanickým drvením) a energetickým zhodnocovaním (spaľovaním v cementárňach) odpadových pneumatík v podmienkach USA. Výsledky tejto štúdie naznačujú, že materiálové zhodnocovanie odpadových pneumatík je z pohľadu environmentálnych vplyvov priaznivejším spôsobom nakladania s odpadovými pneumatikami.



Obr. 7.5 Príklad rozsahu a hraníc systému pri posudzovaní životného cyklu pneumatiky [60]

Sun et al. [53] hodnotili a kvantifikovali environmentálne vplyvy radiálnej pneumatiky pre osobné vozidlá s cieľom identifikovať kľúčové fázy jej životného cyklu, ktoré

významne prispievajú k celkovej environmentálnej záťaži v podmienkach Číny. Výsledky štúdie naznačujú, že fáza požívania má najvýznamnejší vplyv na životné prostredie z pohľadu životného cyklu pneumatiky.



Obr. 7.6 Distribúcia majoritných polutantov emitovaných počas životného cyklu pneumatiky [75]

Djadouni et al. [10] prostredníctvom komparatívnej LCA štúdie porovnali environmentálne vplyvy dvoch typov konštrukcií oporných systémov: tradičný systém oporného múru s pieskovou výplňou a alternatívny systém oporného múru s výplňou z gumového granulátu získaného mechanickým drvením odpadových pneumatík. Výsledky štúdie preukázali, že alternatívny systém spôsobuje menšiu záťaž pre životné prostredie ako tradičný systém.

Varinský [60] použil metódu LCA pre posúdenie a porovnanie dopadov na životné prostredie spôsobených reprezentačnými scenármi pri používaní kombinácie letnej a zimnej pneumatiky a celoročnej pneumatiky osobného automobilu. Dospel k záveru, že fáza používania pneumatiky je najvýznamnejšou z fáz jej životného cyklu z pohľadu environmentálnych vplyvov u všetkých troch posudzovaných typoch pneumatík, s tým že nižší environmentálny vplyv spôsobuje celoročná pneumatika.

Piotrowska et al. [39] použili v rámci LCA štúdie pneumatiky osobného automobilu tri rozličné metódy na hodnotenie kategórie vplyvov. Z výsledkov štúdie vyplýva, že najvýznamnejší dopad z pohľadu emisií bol zaznamenaný pre ovzdušie (96 %) a najvyššia spotreba energie bola zistená pre fázu požívania pneumatiky. Za účelom redukcie environmentálnych dopadov pneumatík na životné prostredie autori štúdie zdôrazňujú nevyhnutnosť zvýšenia energetickej efektívnosti recyklačných metód.

Eranki a Landis [16] v komparatívnej LCA štúdií zisťovali rozdielnosť environmentálnych vplyvov medzi tradičnou pneumatikou vyrobenou zo zmesi prírodného a syntetického kaučuku a pneumatikou vyrobenou z prírodného kaučuku z rastliny guayule. Pri obidvoch typoch pneumatík bol zaznamenaný najväčší environmentálny vplyv vo fáze používania. Z celkových výsledkov posúdenia

životného cyklu vykazovala pneumatika z guayule v porovnaní s tradičnou pneumatikou nižšiu záťaž na životné prostredie.
Aj napriek tomu, že vyššie uvedený prehľad publikovaných LCA štúdií nie je kompletný, je možné konštatovať, že metóda LCA je vďaka svojej komplexnosti perspektívnym nástrojom environmentálneho hodnotenia pneumatík. V intenciách pripravovaných legislatívnych zmien (napr. Program odpadového hospodárstva SR na roky 2021 – 2025, novelizácia Nariadenia Európskeho parlamentu a Rady (ES) č. 1222/2009 o označovaní pneumatík vzhľadom na palivovú úspornosť a iné základné požiadavky, nový štandard environmentálneho označovania pre pneumatiky) si metóda LCA určite nájde svoje uplatnenie aj pri posudzovaní environmentálnych vplyvov budúcich inovatívnych riešení v oblasti recyklácie odpadových pneumatík v podmienkach Slovenskej republiky.
Hlavné prínosy metódy posudzovania životného cyklu:

- Porovnávanie environmentálnych vplyvov produktov s ohľadom na ich funkciu.
- Hodnotenie environmentálnych vplyvov s ohľadom na celý životný cyklus produktu.
- Zavedenie hraníc systému pre jasné vyjadrenie rozsahu produktového systému.
- Vyjadrovanie zásahov do životného prostredia nie výpočtom emisných tokov, ale použitím definovaných kategórií vplyvu – prevedenie hmotnostne vyjadrených emisných tokov na konkrétne hodnoty výsledkov indikátorov kategórií dopadu.

Kalkulácia životného cyklu Life Cycle Costing – LCC

Druhou metódou posudzujúcou kalkulačný cyklus produktov, avšak z pohľadu kvantifikácie ich nákladovosti vo všetkých fázach životného cyklu je tzv. LCC kalkulácia. Ide o kalkulačná metódu, ktorá hodnotí za určitú posudzovanú časovú periódu (životný cyklus) všetky dôležité náklady, pričom tie sú prepočítavané na súčasnú hodnotu. A to zohľadnením časového faktora vplyvu inflácie, nárastu cien energií, úrokových sadzieb a pod.
Určiť dĺžku životného cyklu pomerne zložité. Norma síce určuje základné postupy, treba však povedať, že je nutné k tomuto bodu pristupovať citlivo a expertne, aby výsledky neboli skreslené.
Mnoho štúdií sa stotožňuje s vyjadrením určitej úrovne hotovostného toku. Ten je počas životného cyklu prepočítaný na súčasnú hodnotu podľa princípu nasledovného vzťahu:

$$\mathrm{LCC} = -Inv. + \sum_{t=1}^{LC} C_t \times \frac{(1+r)^n - 1}{(1+r)^n \times r} \pm \left(\frac{1}{(1+r)^n} \mathrm{x}\ ZC\right) \qquad (1)$$

Kde: Inv. – znamená výšku investície (resp. obstarávacej ceny), Ct – hotovostný tok prevádzkových nákladov v n roku, r – diskontná sadzba, t – počet rokov, ZC – zostatková cena.

Jej využitie je možné nájsť v mnohých oblastiach priemyslu. Napríklad autori Kunttu et al. [27], ale aj Seif Rabbani [47] aplikujú jej využitie v podmienkach priemyselnej výroby. Využívanie LCC je, z pohľadu vysokých investičných a následne aj prevádzkových nákladov, časté najmä v stavebníctve. O tom sa diskutuje v publikáciách

Brown et al. [9], Stephan, Stephan [51]. Táto metodika je najbežnejšie používaná aj v súvislosti s problematikou životného prostredia a ekológie, ako je uvedené v prácach Rigamonti et al. [44], Schmidt Rivera et al. [48], ale aj Qiao et al. [41]. Príležitostne je možné nájsť publikácie zaoberajúce sa uplatňovaním tohto výpočtu v železničnej doprave. Venujú sa jej napr. Babel, Szkoda [7], ale aj v cestnej doprave [49, 66].
Vo všeobecnosti je možné konštatovať, že LCC kalkulácia je vhodný nástroj pre porovnávanie akejkoľvek rozhodovacej úlohy týkajúcej sa investičného rozhodovania v porovnávacích kritériách výšky investície, nákladov na jej prevádzku, ako aj expertného odhadu nákladov na jej zneškodňovanie či ďalšie zhodnotenie. Typickými príkladmi sú napr. porovnávania investície a prevádzky elektrického auta a auta na pohonné hmoty, výstavby a prevádzky murovaného domu a drevostavby, obstarania a údržby špecializovaných technológii (napr. CNC strojov od rôznych dodávateľov)

7.5 Dostupné technológie spracovania gumy a plastov a ich uplatnenie

Plasty sú cenné prírodné zdroje, ktoré sa vyrábajú z fosílnych zdrojov s vysokými environmentálnymi a energetickými nákladmi. V súčasnosti máme k plastom postoj ako ku lacnej komodite pre krátkodobé použitie, ktorú po využití vyhodíme. V danej situácii dochádza ku konfliktu určitých faktorov:

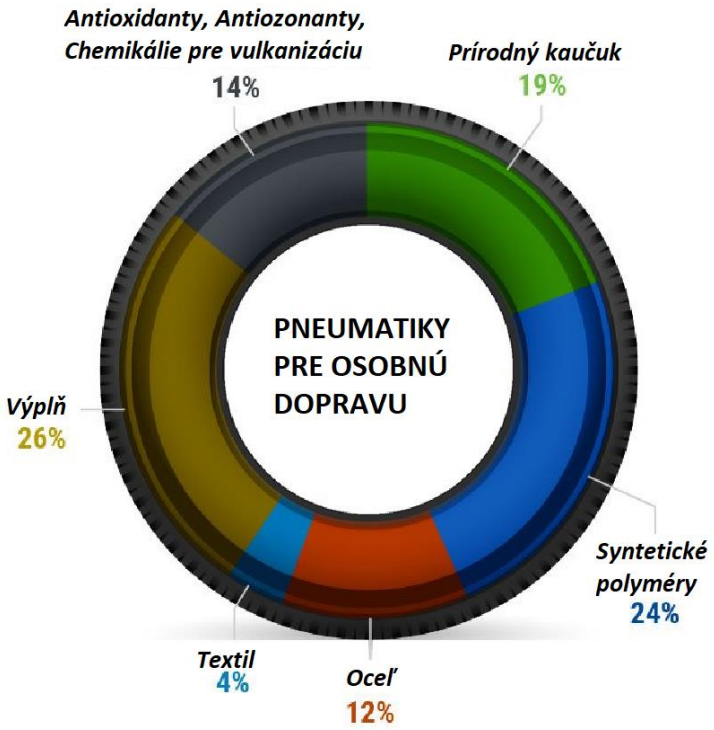
- zvyšuje sa naša spotreba,
- zvyšuje sa naša závislosť na plastoch,
- so spotrebou sa zvyšuje množstvo výrobkov vyrábaných z polymérov, ktoré je nemožné vo väčšine prípadov separovať a tým pádom aj recyklovať,
- takto vzniknutý odpad môžeme skládkovať alebo spaľovať a začať tento cyklus s výrobou nových plastov z fosílnych zdrojov,
- daná situácia vedie k plieneniu prírodných zdrojov a zvyšovaniu environmentálnej záťaže.

V dôsledku rozvoja spoločnosti vo svete stúpa dopyt po pneumatikách a s tým úmerne súvisí aj produkcia odpadových pneumatík [2]. Odpadové pneumatiky predstavujú globálny problém a stále väčšie riziko pre životné prostredie, pretože nie sú biologicky rozložiteľné, často sú nesprávne skladované a zneškodňované. Tieto zásoby predstavujú hrozbu neriadených požiarov a ďalších environmentálnych rizík. Je odhadované, že každoročne končí životnosť takmer 1000 miliónov pneumatík a viac ako 50 % je vyradené bez akéhokoľvek ďalšieho využitia [3].
Ukladanie pneumatík na skládku po skončení ich životnosti bolo zakázané Európskou komisiou v roku 1999. V mnohých krajinách je preto študovaná recyklácia a zhodnocovanie odpadových pneumatík. Týmto krokom bolo nutné prehodnotiť pohľad a prístup k odpadu, aby sa zvýšilo ich využitie a drasticky znížilo množstvo, ktoré vyžaduje ich odstránenie alebo skladovanie [10].
Najjednoduchším a najlacnejším spôsobom zneškodňovania odpadových pneumatík predstavuje ich spaľovanie. Pri horení pneumatík, teda pri oxidačnej reakcii, sa najväčšia časť premení na oxidy uhlíka a sadze. Tiež sa uvoľňujú látky ako butadién a styrén, alifatické a aromatické uhľovodíky, benzén, toluén, fenylacetylén apod. Obsiahnutá síra reaguje na oxid siričitý a sírne deriváty. V splodinách môžeme nájsť

ťažké kovy, ako napríklad olovo [57]. Použitie pneumatík ako palivo nie je ekonomicky atraktívne a k ohľadu na životné prostredie je jej využitie ako druhotnej suroviny výhodnejšie. Odpadová pneumatika ako surovina má pre jej ďalšie spracovanie a zhodnotenie vysoký potenciál. Produkty z nej vyrobené môžu byť použité v rôznych civilných a priemyselných odvetviach, ako napr. v dopravnom staviteľstve, v poľnohospodárstve, v pobrežnom staviteľstve, v oporných múroch, apod. [56].

7.5.1 Pneumatiky

Recyklácia pneumatík umožňuje získavanie vzácnych materiálov, úsporu energie vo vzťahu k primárnej výrobe a zníženie množstva odpadu. Ojazdené pneumatiky predstavujú najväčší podiel z celkového množstva recyklovaného kaučuku. Opotrebovaná pneumatika obsahuje rad chemikálií s energetickým potenciálom, ale je aj zdrojom druhotnej suroviny. Pneumatiky sú vyrobené z pružného gumového materiálu, ktorého konštrukcia je vystužená textilnými a kovovými materiálmi. Zloženie pneumatiky je z materiálov s obsahom kaučuku, sadzí, oceľových vložiek, olejov a vulkanizačných činidiel, syntetickej gumy a textilu. Na Obr. 7.7 je zobrazené percentuálne zloženie pneumatík pre osobnú dopravu [18].

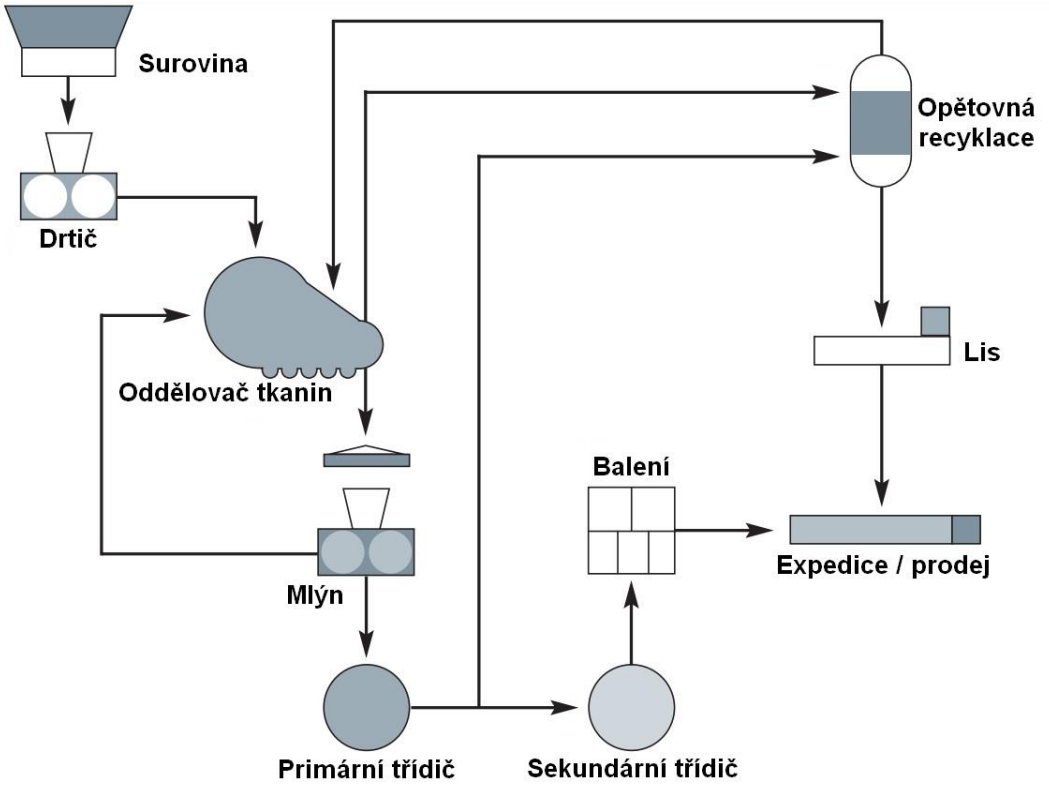


Obr. 7.7 Zloženie pneumatík pre osobnú dopravu [28, 54]

Pri recyklácii pneumatík je potrebné prijať určité opatrenia a to [10]:

- znížiť riziko znečistenia pri dočasnom uskladnení ojazdených pneumatík,
- zvýšiť využiteľnosť ojazdených pneumatík,
- znížiť spotrebu surovín, najmä tých, ktoré majú pôvod u neobnoviteľných zdrojov a použitím ojazdených pneumatík ako druhotných surovín.

Použitie pneumatiky ako zdrojovej suroviny vedie k trom kategóriám výrobkov. Sú nimi gumené granule, oceľové drôtiky, nylonové a textilné vlákna. Pomocou moderných technológií je možné tieto materiály spätne oddeľovať od gumenej drviny, takže je možné materiál recyklovať alebo ďalej využiť [18].



Obr. 7.8 Proces drvenia pneumatík a separácia materiálu [54, 62]

Odpadové pneumatiky sú privedené do primárneho drviča s pevnými nožmi, ktorý ich rozreže na veľkosť 50 – 300 mm. V tejto fáze môžu byť použité ako plnivo napr. do drenážneho systému, biofilmového reaktora, alebo sú využívané pre sekundárne drvenie. Po primárnej fáze postupujú gumené rezy do granulátora, ktorý rezaním a strihaním redukuje gumu na rozmery od 10 – 50 mm. Následne prejde materiál sitom s pevnou veľkosťou otvorov. Ďalším stupňom, ktorým prechádza gumový materiál je magnetický triedič, kde dochádza k separácii oceľových drôtených častíc. Pre odstránenie textilných a nylonových vlákien je použitý vzduchovo-gravitačný separátor. Do gumeného materiálu je vháňaný vzduch a na základe gravitácie a hmotnosti jednotlivých častíc dochádza k separácii. Pre získanie materiálov jemnejšia frakcia <10 mm, je potrebné aby materiál prešiel radom granulačných mlynov, Obr. 7.8. Vzniknutý materiál je distribuovaný pod názvom gumený prach. Môžu existovať ďalšie procesné fázy, napr. sekundárny zber kovových prvkov, alebo mletie v mokrom procese za vzniku častíc s veľkosťou až ≤100 μm [62].

Kaučuk môže byť vyrábaný v rôznych veľkostiach od najmenšieho prášku až po granuláty, ktoré sa využívajú na rôzne účely. Aby recyklovaná guma mohla byť náhradou za nový kaučuk, je veľmi dôležité, aby kvalita recyklovanej gumy bola

vysoká. Musí byť úplne čistá a veľkosť častíc musí byť jednotná. Pokiaľ budú splnené tieto požiadavky na kvalitu, zistí priemysel, že recyklovaná guma je úplne schopná nahradiť pôvodnú surovinu. Výsledkom následného spracovania gumovej drte je rozrezaný materiál rôznych veľkostí a typov v závislosti od jeho použitia [10]:

- gumené štiepky (veľkosť 20 – 50 mm),
- gumový granulát (0,8 – 20 mm),
- gumený prach (<0,8 mm).

Použitie drvenej gumy v zmesi asfaltových dlažieb sa ukázalo ako úspešné kvôli dobrej kompatibilite a interakcii medzi gumenými časticami a asfaltovým spojivom. Výskum použitia gumových častíc do betónových kompozitov už bol zdokumentovaný a preverený, avšak informácie o veľkosti gumových častíc alebo ich rozložení v betóne, ktoré môžu tiež ovplyvniť konkrétne vlastnosti sú obmedzené [28].

7.5.2 Technológie na opakované použitie – protektorovanie

Protektorovanie je na vulkanizovanie nového behúňa na ojazdenú pneumatiku. Prináša úsporu nákladov užívateľom vozidiel, šetrí suroviny a energie.
Protektor je označenie pre renovovanú pneumatiku. Protektorovanie ojazdenej pneumatiky predlžuje ich životnosť pri kvalitatívne podobných jazdných vlastnostiach a zároveň ide o ekologickú recykláciu pneumatiky [40].
Podľa ISO sú tri protektorovacie systémy:

- Integrálna, obnova behúňa a bočnice.
- Polointegrálna, obnovujúca behúň a časť bočnej steny.
- Iba nášľap.

Existujú dva protektorovacie systémy podľa adhézneho systému:

- Horúce protektorovanie, proces vulkanizácie sa vykonáva v lisovacích strojoch pri teplotách 150 – 160 ° C.
- Studené protektorovanie, proces vulkanizácie je uskutočňovaný v autoklávoch pri teplotách medzi 98 – 125 ° C.

Protektorovanie znižuje náklady na suroviny (30 – 50 %) a generáciu pneumatiky po dobe životnosti a prináša rovnaké výhody ako nová pneumatika. Pokiaľ ide o nevýhody, počet protektorovaných podpor pneumatiky je obmedzený a jej vlastnosti sa po čase zhoršujú [14, 42, 43, 46].

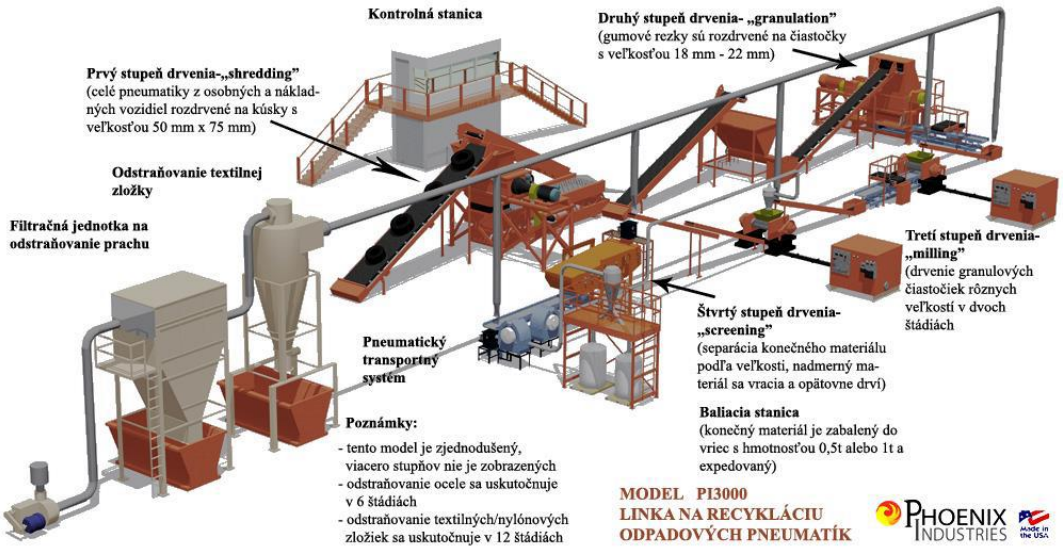
7.5.3 Technológie na opakované použitie – prerezávanie pneumatík

Ide o prakticky najlacnejší spôsob obnovy opotrebovaných pneumatík. Vykonáva sa vyrezávaním novej vzorky dezénu do ojazdeného behúňa. Tohto predĺženia životnosti je používané predovšetkým u nákladných automobilov. Nutnosťou je, aby toto prehĺbenie pneumatika umožňovala. Spozná sa podľa označenia "REGROOVABLE" čo znamená, že konštrukcia plášťa dovoľuje dodatočné prehĺbenie dezénových drážok.

7.5.4 Technológie na recykláciu pneumatík

Ide o výrobu regranulátu – granulátu, ktorý sa dá použiť ako nový výrobný materiál. Tato metóda patrí medzi tzv. bezodpadovej technológie. Cieľom bezodpadovej technológie je maximálnou mierou spracovať vzniknutý odpad účelným spôsobom, to znamená recyklovať ho a vrátiť na trh formou toho istého, ale obnoveného výrobku alebo rôznych iných produktov. Z odpadových pneumatík možno získať kvalitný gumový granulát, ktorý možno ďalej spracovávať do rôznych produktov. Technológia recyklácie je založená na vlastnostiach gumy, predovšetkým na možnosti opätovnej recyklácie. Ďalšie vlastnosti, ako elasticita, dlhá stálosť a dlhá životnosť pri relatívne nemenných vlastnostiach, sú vlastnosťami, kvôli ktorým sa tejto technológii dáva prednosť pred metódou nejakého totálneho zneškodňovania, akou je napríklad spaľovanie.

Najbežnejší technologický postup mechanického spracovania opotrebovaných pneumatík je umytie – hrubé drvenie – jemné drvenie – separácia materiálov (kov, textil, guma) – granulácia – sitovanie – balenie. Gumový granulát získaný spracovaním ojazdených pneumatík sa označuje ako SBR granulát, pretože je na báze styrene-butadiénovej gumy (styrene-butadiene rubber = SBR).



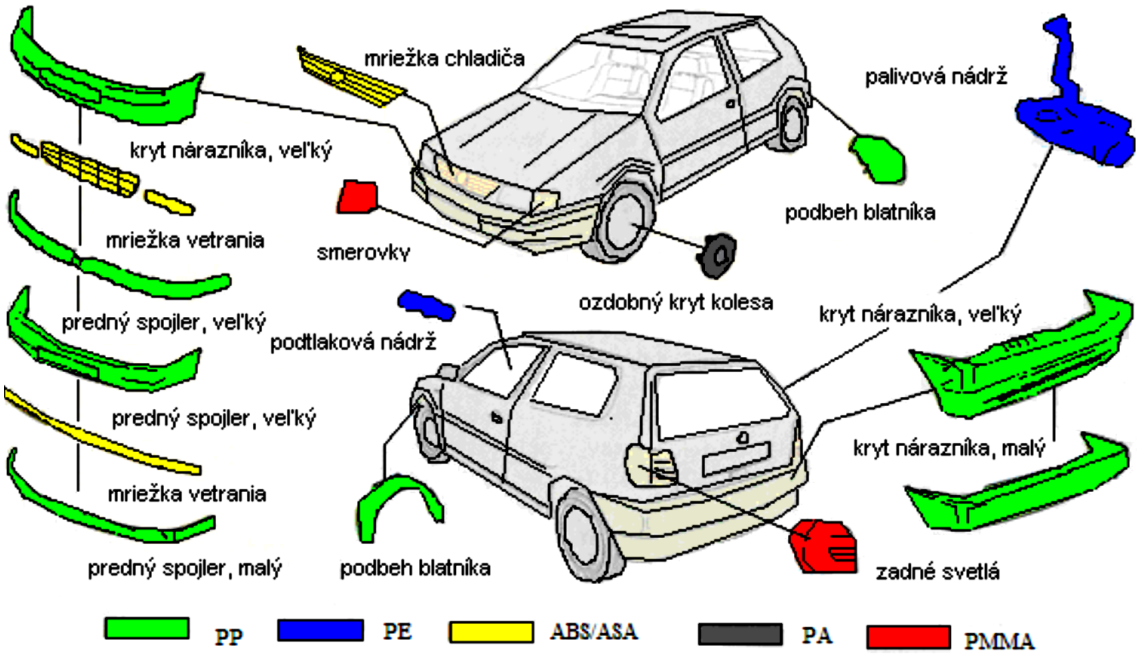
Obr. 7.9 Recyklačné zariadenie na výrobu gumového granulátu [38]

Gumový granulát z odpadových pneumatík môžeme získať niekoľkými spôsobmi. Najbežnejším postupom výroby je viacnásobné mechanické mletie (drvenie) pneumatík za bežnej teploty, Obr. 7.9. Pneumatiky sa zoberú zo skladových priestorov a privezú sa do recyklačného zariadenia (linky). Pred položením na valcový dopravník je pneumatika zbavená oceľových pätných lán pomocou vytrhávača, aby sa zabránilo poškodeniu a predĺžila sa životnosť drviča.

7.5.5 Zdroje plastov v automobile

V interiéri každého automobilu je dominantná prístrojová doska, na ktorej sú umiestnené všetky potrebné ukazovatele napr. rýchlosti, otáčok, spotreby paliva, teploty a iné. Je súčasťou palubnej dosky kde sa nachádza aj mnoho odkladacích priestorov a

ďalšie prístroje. Stredový panel je medzi prednými sedadlami, výstuž do sedadiel je vyrobená z polyamidu, ktorý sa vystužuje sklenenými vláknami. Ďalej sú tu madlá, riadiaca páka ako aj clony pred slnkom. Z exteriéru automobilu upúta najmä pohľad spredu, kde dominuje výrazná maska chladiča so znakom automobilky a svetlomety s čírou optikou. V zadnej časti je to nárazník a svetlomety.



Obr. 7.10 Druhy plastov v exteriéri [36]

Pri niektorých automobiloch to môže byť aj krídlo. Z plastov je vyrábaná aj palivová nádrž a palivové potrubie. Nárazník je súčiastka s vysokou nárazovou odolnosťou, musí byť odolný i voči vplyvom pohonných hmôt, olejov, tukov a všetkých chemikálií, s ktorými vozidlo prichádza do styku pri pohybe alebo parkovaní vo vonkajšom prostredí. Svetlomety musia mať číru optiku aby zabezpečili viditeľnosť automobilu počas dňa. Palivová nádrž musí zabezpečiť dostatočnú zásobu paliva pre automobil. Plastová palivová nádrž nedovoľuje vytvorenie elektrického náboja. Na Obr. 7.10 sú zobrazené diely a druhy plastov ako aj ich umiestnenie v exteriéri vozidla [36].

7.6 Literatúra

[1] Adamcová, D., Research of selected types of municipal waste with focus on waste tyres. Brno, 2011. Dissertation. Mendel University in Brno, Faculty of AgriSciences, Department of Applied and Landscape Ecology.

[2] Al Rawahi, Z., Bilal Waris, M. Use of recycled tires in non-structural concrete. MATEC Web of Conferences. 2017, 120, 03002. ISSN 2261-236X. DOI:10.1051/matecconf/201712003002

[3] Babel, M., Szkoda, M., Diesel locomotive efficiency and reliability improvement as a result of power unit load control system modernisation. Eksploatacja i Niezawodnosc. 2016, Vol. 18, Issue 1, pp. 38 – 49. ISSN 1507-2711.

[4] Bauer C., Hofer J., Althaus H-J, Del Duce A., Simons A., The environmental performance of current and future passenger vehicles: Life cycle assessment based on a novel scenario analysis framework. Applied Energy, 157 (2015), pp. 871 – 883

[5] Brown, N.W.O., Malmqvist, T., Bai, W., Molinari, M., Sustainability assessment of renovation packages for increased energy efficiency for multi-family buildings in Sweden. Building and Environment, 2013, Vol. 61, pp. 140 – 148. ISSN 0360-1323.

[6] Bulei, C., Todor, M. P., Heput, T., Kiss, I., Directions for material recovery of used tires and their use in the production of new products intended for the industry of civil construction and pavements. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018, 294(1), 012064. ISSN 1757-899X. DOI:10.1088/1757-899X/294/1/012064

[7] Clauzade, C., Osset, P., Hugrel, C. et al. Life cycle assessment of nine recovery methods for end-of-life tyres. Int J Life Cycle Assess 15, 883–892 (2010). https://doi.org/10.1007/s11367-010-0224-z

[8] Czajczyńska D., Czajka K. M., Krzyżyńska R.,, Jouhara H., Experimental analysis of waste tyres as a sustainable source of energy. In: E3S Web of Conferences, 100, 2019.

[9] Daimler, A.G., Sustainable mobility strategy – The road to emission free mobility,

[10] Djadouni, H., Trouzine, H., Gomes Correia, A. et al. Life cycle assessment of retaining wall backfilled with shredded tires. International Journal of Life Cycle Assessment, 24(3), pp. 581 – 589.

[11] Dobroň, M., Plasty v automobilovém průmyslu, 2011 [cit. 2020. 02.10.]. Available online: (https://www.mmspektrum.com/clanek/plasty-v-automobilovem-prumyslu.html),

[12] Donateo, T., Ingrosso, F., Lacandia, F., Pagliara, E., Impact of hybrid and electric mobility in a medium sized historic city. SAE Technical Paper 2013–24–0077.

[13] DRON Industries. Dostupné na internete: http://www.dron.sk/profil-spoločnosti/predstavenie-technologie/produkty

[14] Dubkov, K., A., Semikolenov, S., V., Ivanov, D., P., Panov, G., I., Parmon, V., N. Reclamation of waste tyre rubber with nitrous oxide. In Polym. Degrad. Stab., 2012, 97. S. 1123 – 1130.

[15] Enviroportál. Dostupné na: https://www.enviroportal.sk/indicator/detail?id=903

[16] Eranki, P.L. and Landis, A.E. 2019. Pathway to domestic natural rubber production: a cradle-to-grave life cycle assessment of the first guayule automobile tire manufactured in the United States. International Journal of Life Cycle Assessment, 24(8), pp. 1348 – 1359.

[17] Feraldi, R., Cashman, S., Huff, M. et al. Comparative LCA of treatment options for US scrap tires: material recycling and tire-derived fuel combustion. International Journal of Life Cycle Assessment, 18(3), pp. 613 – 625.

[18] Fries, J.: Stroje pro zpracovaní odpadu, Ediční středisko VŠB – TUO, Ostrava 2007

[19] Girardi P., Gargiulo A., Brambilla P.C., A comparative LCA of an electric vehicle and an internal combustion engine vehicle using the apprpriate power mix: the Italian case study. International Journal of Life Cycle Assessment, 20 (2015), pp. 1127 – 1142

[20] Guštafíková, T. et al. 2019. Obehové hospodárstvo – budúcnosť rozvoja Slovenska. Bratislava: MŽP SR a SAŽP, 2019. ISBN 978-80-8213-001-3.

[21] Informačný systém odpadového hospodárstva. 2019. Zoznam výrobcov pneumatík. Zoznam OZV pre pneumatiky. Dostupné z: https://www.isoh.gov.sk/uvod/registre.html.

[22] ISO 14040:2006, Environmental management - Life cycle assessment- Principles and framework.

[23] ISO 14044:2006, Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines

[24] Joost, W. J., . Reducing Vehicle Weight and Improving U.S. Energy Efficiency Using Integrated Computational Materials Engineering. The Journal of the Minerals, Metals & Materials Society 64, 9 (2012). Dostupné na: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/End-of-life_vehicle_statistics#Number_of_end-of-life_vehicles

[25] Kongsak, D., Plastic in car - Trend, Application and Their Busines, 2014 [cit. 2020. 02.28.]. Available online: (http://thaiplastics.org/content_attachment/attach/6.plastic_in_automotive_.pdf), staženo dne 15. 1. 2018

[26] Kořínek, R. 2012. Posuzování vybraných způsobů materiálového a energetického využití osobní pneumatiky v rámci celého jejího životního cyklu metodou LCA.[online]. Disertační práce. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta., 2012. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/100564/KOR089_HGF_P2102_2102V009_2013.pdf

[27] Kunttu, S., Reunanen, M., Raukola, J., Frankenhaeuser, K., Frankenhaeuser, K., Executing sustainable business in practice a case study on how to support sustainable investment decisions. Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2015, Vol. 19, pp. 1095 – 1107. ISSN 2195-4356.

[28] Li, Guoqiang, Michael A. Stubblefield, Gregory Garrick, John Eggers, Christopher Abadie, Baoshan Huang. Development of waste tire modified concrete. Cement and Concrete Research. 2004, 34(12), 2283–2289. ISSN 0008-8846. DOI:10.1016/j.cemconres.2004.04.013

[29] Lombardi, L., Tribioli, L., Cozzolino, R., Bell, G., Comparative environmental assessment of conventional. Electric, hybrid, and fuel cell powertrain based on LCA. International Journal of Life Cycle Assessment, 22 (2017), pp. 1989 – 2006

[30] Majeau-Bettez, G., Hawkins, T.R., Strømman, A.H., Life cycle environmental assessment of lithium-ion and nickel metal hydride batteries for plug-in hybrid and battery electric vehicles. Environmental Science & Technology, 45 (10) (2011), pp. 4548 – 4554

[31] Matheys, J., Mierlo, J.V., Timmermans, J.M., Van den Bossche P., Life-cycle assessment of batteries in the context of the EU directive on end-of-life vehicles. International Journal of Vehicle Design, 46 (2) (2008), pp. 189 – 203 Engineering for biomass processing

[32] Miller L., Soulliere K., Sawyer-Beaulieu S., Tseng S., Tam E., Challenges and Alternatives to Plastics Recycling in the Automotive Sector. Review. In: Materials 2014, 7, 5883-5902; doi:10.3390/ma7085883

[33] Ministerstvo životného prostredia. 2015. Program odpadového hospodárstva SR na roky 2016 – 2020. Dostupné z: https://www.minzp.sk/files/sekcia-enviromentalneho-hodnotenia-riadenia/odpady-a-obaly/registre-a-zoznamy/poh-sr-2016-2020_vestnik.pdf

[34] Ministerstvo životného prostredia. 2019. Databáza environmentálnych indikátorov. Dostupné z: https://www.enviroportal.sk/indicator/detail?id=561

[35] Nanaki, E.A., Koroneos, C.J., Comparative economic and environmental analysis of conventional. Hybrid and electric vehicles e the case study of Greece. Journal of Cleaner Production, 53 (2013), pp. 261 – 266

[36] Olexová, M., Kicková, M., Herditzky, A., Plastové komponenty ako neoddeliteľná súčasť automobilu v dnešnej dobe. 12/2008. http://www.www.sjf.tuke.sk [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné na: http://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/12-2008/pdf/104-105.pdf

[37] Ondrovič T. et al.: Recyklácia odpadových plastov z vozidiel po skončení doby životnosti. In: Strojárstvo/Strojírenství 3/2015, s.92 – 93

[38] Phoenix Industries, Waste Tire Recycling Plants, http://www.phoenixindustries.com [online]. [cit. 2020-02-28]. Dostupné na: http://www.phoenixindustries.com/tire_recycling_plants.html

[39] Piotrowska, K., Kruszelnicka, W., Bałdowska-Witos, P., Kasner, R., Rudnicki, J., Tomporowski, A., Flizikowski, J., and Opielak, M., Assessment of the Environmental Impact of a Car Tire throughout Its Lifecycle Using the LCA Method. Materials (Basel, Switzerland), 12(24), 4177.

[40] Protektorovanie pneumatík, http://www.protektorovaniepneumatik.sk [online]. [cit. 2020-02-29]. Dostupné na: http://www.protektorovaniepneumatik.sk/co-je-protektorovanie-protektor.html

[41] Qiao, Y., Dawson, A., Flintsch, G., Evaluating the effects of climate change on road maintenance intervention strategies and Life-Cycle Costs. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2015, Vol. 41, pp 492 – 503. ISSN 1361-9209.

[42] Ramos, G., Alguacil, F. J., López, F. A., The recycling of end-of-life tyres. technological review, Revista De Metalurgia, 47 (3), 273-284, 2011, ISSN: 0034-8570, eISSN: 1988-4222, doi: 10.3989/revmetalm.1052

[43] Reschner, K.. Scrap Tire Recycling; A Summary of Prevalent Disposal and Recycling Methods. 2008. [online]. 2008. [cit. 2020-02-08]. Dostupné na: <http://www.entire-engineering.de/Scrap_Tire_Recycling.pdf>.

[44] Rigamonti, L., Sterpi, I., Grosso, M., Integrated municipal waste management systems: An indicator to assess their environmental and economic sustainability. Ecological Indicators, 2016, Vol. 60. pp. 1 – 7. ISSN 1470-160X.

[45] Rowhani, A. and Rainey, T. J., Scrap Tyre Management Pathways and Their Use as a Fuel—A Review. Energies, 9(11), 888.

[46] Samarskiy, B. Analysis of modernization of tire recycling machine for improvement of environmental sustainability and feasibility. 2014. [online]. 2014. [cit. 2020-02-03]. Dostupné na: https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/74303/Samarskiy_Boris.pdf?sequence=1.

[47] Seif, J., Rabbani, M., Component based life cycle costing in replacement decisions. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 2014, Vol. 20, Issue 4, pp. 436-452. ISSN: 1355-2511.

[48] Schmidt Rivera, X., Azapagic C. A., Life cycle costs and environmental impacts of roduction and consumption of ready and home-made meals. Journal of Cleaner Production, 2016, Vol. 112, Issue 1, pp. 214 – 228. ISSN 0959-6526.

[49] Simkova, I., Konecny, V., Key performance indicators in logistics and road transport. In: Logi - Scientific Journal on Transport and Logistics, 2014, Vol. 5, No. 2, pp. 87-96, ISSN 1804-3216.

[50] Smernica Európskeho parlamentu a Rady č. 2000/53/ES z 18. septembra 2000 o vozidlách po dobe životnosti. dostupné na: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/ALL/?uri=CELEX:32000L0053

[51] Stephan, A., Stephan, L. Life cycle energy and cost analysis of embodied, operational and user-transport energy reduction measures for residential

buildings. Applied Energy, 2016, Vol. 161, Issue 1, pp. 445 – 464. ISSN 0306-2619.

[52] Su, S. et al. 2017. Dynamic LCA framework for environmental impact assessment of buildings. In Energy and Buildings, 2017. vol. 149, p. 310 – 320.

[53] Sun, X., Liu, J., Hong, J. and Lu, B. 2016. Life cycle assessment of Chinese radial passenger vehicle tire. International Journal of Life Cycle Assessment, 21(12), pp. 1749 – 1758.

[54] Svoboda, J., Václavík, V., Klus, L., Využitie možností gumového materiálu po recyklácii odpadových pneumatík, Magazín Mobilita-Stroje-Technológie-Ekológia, ročník 13, č. 74, 6/2018 [online]. 2018. [cit. 2020-03-08]. Dostupné na: https://ekomagazin.sk/magaziny/062018

[55] Tagliaferri C., Evangelisti S., Accponcia F., Domenech T., Ekins P., Barletta D., Lettieri P., Life cycle assessment of future and hybrid vehicles: A cradle-to-grave systems engineering approach. Chemical Engineering Research and Design, 112 (2016), pp. 298 – 309

[56] Thomas, B. S., Ramesh C. G., A comprehensive review on the applications of waste tire rubber in cement concrete. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016, 54, 1323 – 1333. ISSN 1364-0321. DOI:10.1016/j.rser.2015.10.092

[57] Toutanji, H. A., The use of rubber tire particles in concrete to replace mineral aggregates. Cement and Concrete Composites. 1996, 18(2), 135 – 139. ISSN 0958-9465. DOI:10.1016/0958-9465(95)00010-0

[58] Vacek Z., Historie použití plastů v automobilech: Z dehtu i konopí, 2011 [cit. 2020. 02.10.]. Available online: (http://veteran.auto.cz/retro-news/historie-pouziti-plastu-v-automobilechz-dehtu-i-konopi/),

[59] Van den Bossche, P., Vergels, F., VanMierlo, J., Matheys, J., Van Autenboer, W. SUBAT: An assessment of sustainable battery technology. Journal of Power Sources, 162 (2) (2006), pp. 913 – 919

[60] Varinský, T. 2019. Posudzovanie životného cyklu vybraného priemyselného výrobku Komparatívna analýza pneumatík osobného vozidla. [online]. Diplomová práce.
Dostupné z:
https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/85107/F2-DP-2019-Varinsky-Tomas-Diplomovaprace-Varinsky.pdf

[61] Vilches, A., Garcia-Martinez, A., Sanchez-Monta˜nes, B., Life cycle assessment (LCA) of building refurbishment: A literature review. In Energy and Buildings, 2017, vol. 135, p. 286 – 301.

[62] Waste & Resources Action Programme. Tyre-derived rubber materials, A technical report on the manufacture of tyre-derived rubber materials. B.m.: Envoronment Agency. 2007. http://www.pharosproject.net [online]. [cit. 2020-02-28]. Dostupné na:
https://www.pharosproject.net/uploads/files/sources/1828/1330040519.pdf

[63] Wu, X., Peng, B., Lin, B., 2017. A dynamic life cycle carbon emission assessment on green andnon-green buildings in China. In Energy and Buildings, 2017, vol. 149, p. 272 – 281.
[64] Zákon č. 79/2015 Z. z. o odpadoch a o zmene a doplnení niektorých zákonov. dostupný na: https://www.zakonypreludi.sk/zz/2015-79
[65] Zelená kniha. Európska stratégia pre riešenie problematiky plastového odpadu v životnom prostredí. Európska komisia, 2013. https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_waselvt&lang=en
[66] Zhang, J., Wnag, J.J. Liu, K., Highway life – cycle cost analysis with environment impact considered. Journal of Chang´an University (Natural Science Edition), 2014, Vol. 34, Issue 3, pp. 128 – 132. ISSN 1671-8879.
[67] https://ec.europa.eu/growth/sectors/automotive/environment-protection_en [cit. 2020. 02.28.].
[68] https://www.plasticsindustry.org/sites/default/files/2016-03256-SPI-PMW-Auto-Recycle-web.pdf [cit. 2020. 02.02.].

Energetické zhodnocovanie odpadov z automobilového priemyslu

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

8.1 Úvod

Problematika zneškodňovania odpadov ako takých je otázkou nie len súčasnosti ale aj budúcnosti. Ľudstvo žije v dnešnej dobe ako konzumná spoločnosť, čo má za následok hromadenie odpadu, ktorý je potrebné recyklovať alebo inak využiť. Z dôvodu, že svet má obmedzené zdroje, či už surovinové alebo potravinové, a náš dopyt po nich je neobmedzený, dostáva sa do popredia myšlienka udržateľného rozvoja. Náš súčasný model získavania prírodných zdrojov, ich spracovania, využívania a zneškodňovania vo forme odpadov (lineárna ekonomika) predstavuje definíciu neudržateľnosti a preto sa v dnešnej dobe do popredia dostáva stratégia udržateľného rozvoja vo forme opätovného využívania komponentov alebo materiálov – cirkulárna ekonomika. Cirkulárna ekonomika je stratégiou udržateľného rozvoja, ktorá vytvára funkčné a zdravé vzťahy medzi prírodou a ľudskou spoločnosťou. Dokonalým uzatváraním tokov materiálov v dlhotrvajúcich cykloch oponuje nášmu súčasnému lineárnemu systému, kde sú suroviny premenené na produkty, predané a po skončení ich životnosti spaľované alebo skládkované. Základné princípy cirkulárnej ekonomiky sú založené na myšlienke, aby všetky toky materiálu a produktov mohli byť opätovne zapojené do svojho cyklu po ich použití, tak aby sa stali opätovne zdrojmi pre nové produkty a služby. V ideálnom prípade by odpad ako taký už nemal viac existovať. Keďže zavedenie cirkulárnej ekonomiky je proces s dlhodobým horizontom splniteľnosti, spôsob ako sa efektívne vysporiadať s odpadom v dnešnej dobe, je jeho recyklácia. Recykláciu môžeme chápať ako krok k priblíženiu sa k cirkulárnej ekonomike.

V oblasti automobilového priemyslu je recyklácia obzvlášť dôležitá. Recyklácia vozidiel po dobe životnosti, následné spracovanie vyseparovaného materiálu a jeho opätovné použitie chráni životné prostredie, šetrí prírodné zdroje vstupných surovín a znižuje náklady na výrobu. Európska únia každoročne vyprodukuje 8 až 9 miliónov ton vozidiel po dobe životnosti. Kvalita recyklácie v automobilovom priemysle nezávisí len na použitých technológiách pri recyklácii, spôsobu spracovania vozidiel po dobe životnosti a spôsobu spracovania vyseparovaného materiálu, ale aj od materiálov použitých pri výrobe automobilu, ich schopnosti recyklácie súčasnými známymi metódami a tým predchádzaniu vzniku odpadov nevyužiteľných pre opätovné spracovanie po dobe životnosti. Podľa viacerých štúdií je nutné znižovať a kontrolovať spotrebu nebezpečných látok nachádzajúcich sa vo vozidlách, aby sa zabránilo ich vstupu do životného prostredia, aby sa následne uľahčila recyklácia a zabránilo sa nutnosti zneškodňovania nebezpečných látok skládkovaním. Takéto opatrenia by mali zabezpečiť, aby sa niektoré látky nedostávali ani do spaľovní, ani na skládky odpadu. Navyše, súčasná legislatíva EÚ postupne obmedzuje možnosti skládkovania odpadu a ako vhodnejší spôsob nakladania s odpadom je zvolené jeho energetické zhodnocovanie. V súčasnosti legislatíva EÚ zjednocuje spôsoby recyklácie automobilov po dobe životnosti vo všetkých členských štátoch, udáva ciele a horizonty splnenia, mnohokrát veľmi ambicióznych cieľov.

8.2 Súčasný stav problematiky energetického zhodnocovania odpadu z automobilov po dobe životnosti

Výrazná obnova osobných automobilov zo strany užívateľov, spôsobená zastaranosťou osobných automobilov, úrovňou motorizácie, emisnými limitmi a napríklad tvorbou nízkoemisných zón v mestách, dovozom ojazdených automobilov zo zahraničia a zvýšená kúpna sila obyvateľstva, vyvolali nutne požiadavku na ekologické spracovanie automobilov po dobe životnosti. Odpady ako celok sú produktom činnosti ľudskej spoločnosti a to vo všetkých jej sférach. S rastom cien vstupných surovín a energie do procesu výroby sa do popredia dostáva snaha využívať odpady ako významné zdroje druhotných surovín a energie – získavanie tepla a elektrickej energie. Recyklovanie automobilov po dobe životnosti, ale aj odpadov z automobilového priemyslu ako celku, je významným zdrojom surovín a energie pre výrobu nových produktov, nielen nových automobilov. Energetické zhodnocovanie odpadov z automobilového priemyslu – konverzia odpadov na tepelnú a elektrickú energiu, môže znížiť energetickú náročnosť priemyselnej výroby, samotného procesu recyklácie a byť zdrojom energií aj pre obyvateľstvo. Jedným z hlavných problémov pri energetickom využití odpadu z automobilu po dobe životnosti je druhovo veľmi nesúrodý materiál, z ktorého je vyrobený. Odpad z recyklácie automobilov určený na energetické zhodnotenie obsahuje najmä prevádzkové kvapaliny, plasty, textil, sklo, papier ale aj nevytriedené drobné časti železných aj neželezných kovov, a pod. (v závislosti na zvolenej technológii spracovania autovraku). Oddeľovanie jednotlivých druhov materiálov je energeticky a technologicky náročné a ekonomicky nákladné, náročnosť procesu narastá so zmenšujúcou sa veľkosťou materiálu a narastajúcim množstvom zložiek materiálu. Možnosti energetického zhodnotenia odpadu záležia na materiáloch použitých pri výrobe vozidla. Materiálové zloženie automobilov sa v dnešnej dobe posúva smerom k ľahkým materiálom, ako sú napríklad hliník, horčík, početne zastúpené sú plasty alebo kompozity. Daný trend je možné pozorovať na historickom vývoji materiálového zloženia automobilov, v 70-tych rokoch európske automobily obsahovali hmotnostne okolo 80 % železných materiálov, len 2 % hliníka a 2% plastov, v polovici 80-tych rokov obsahovali okolo 70% železných materiálov, 5 % hliníka a približne 10 % plastov. V súčasnej dobe je podiel plastov okolo 25 %, ide hlavne o termoplasty (polykarbonáty, modifikované polyfenolenoxidy, polyetylensulfidy, termoplastické elastoméry, polyestery,...), častokrát vystužené sklenými, uhlíkovými alebo aramidovými vláknami. Opätovná využiteľnosť materiálov pri recyklácii a technologický postup energetického zhodnotenia odpadu sú preto závislé najmä na roku výroby autovraku a z toho vyplývajúce materiálové zloženie.

Pri nakladaní s vozidlami po dobe životnosti od roku 2015 smernica 3/2000 EÚ vyžaduje recyklovať a spätne získavať energiu až 95 % priemernej hmotnosti vyradeného automobilu. Za recykláciu je považované opätovné spracovanie odpadových materiálov vo výrobnom procese pre pôvodný účel alebo na iné účely, okrem spätného získavania energií. Spätné získavanie energií znamená používanie spáliteľného odpadu ako prostriedku na výrobu energie prostredníctvom priameho

spaľovania s iným odpadom alebo bez neho, avšak so získaním tepla (2000/53/ES). Pre opätovné využitie a recykláciu platí minimálny limit 85 % priemernej hmotnosti vozidla, z čoho vyplýva, že energeticky zhodnotiť možno 10 % priemernej hmotnosti vyradeného automobilu po dobe životnosti. Táto smernica, prijatá v roku 2000, dala dostatočne dlhý čas výrobcom automobilov, aby podnikli kroky vedúce k tomuto ambicióznemu cieľu. Výrobcovia zaviedli kódovanie jednotlivých častí vozidla, súčiastok a materiálov. Súčasné automobily sú vybavené jednotným systémom kódov, ktoré definujú typ materiálu a tým aj spôsob nakladania s danou súčasťou vozidla po dobe životnosti. Pri zneškodňovaní mladších vozidiel je preto možné oddeliť súčiastky, ktoré sa smú opravovať alebo časti, ktoré sú napríklad vyrobené z rovnakého typu materiálu, napr. plastu a dajú sa spracovať v jednom balíku ako surovina, alebo je možné ich energeticky využiť a už dopredu predpokladať spôsob ich energetického využitia. Tento inovatívny prístup európskych výrobcov automobilov k recyklácii a spätnom získavaní je vzorom aj pre iné krajiny. Európsky výrobcovia automobilov sú súčasnými svetovými lídrami v oblasti recyklácie automobilov a využívajú tzv. odhadovaný životný cyklus „Life Cycle Assessment (LCA)“, aby navrhovali a vyrábali environmentálne prijateľnejšie autá. Výrobcovia automobilov spolupracujú so svojimi dodávateľmi, aby rozvinuli alebo zhodnotili inovačné technológie pre recykláciu materiálov, chemickú recykláciu a energetické zhodnotenie odpadov.

8.3 Energetické zhodnotenie odpadu z automobilov po dobe životnosti vo vybraných krajinách EÚ

Recyklácia automobilov po dobe životnosti je problémom nielen Slovenskej republiky alebo EÚ, jedná sa o problematiku celosvetovú. Vo všeobecnosti platí, že vyspelejšie krajiny majú s recykláciou automobilov menej problémov, nielen vďaka vyspelejšej technológii, ale aj z pohľadu odpredaja použitých automobilov do ďalších ekonomicky menej vyspelých krajín, kde sú tieto automobily ešte dlho v užívaní a kde dožijú. Problém ekologického zneškodňovania autovrakov je preto presunutý práve na tieto krajiny, zneškodňovanie vozidiel po dobe životnosti sa presúva skôr zo západnej do strednej a východnej Európy. Pre všetky krajiny EÚ platí smernica č. 2000/53/ES o vozidlách po dobe životnosti, ktorá je implementovaná do zákonov jednotlivých členských štátov. Nasledujúca časť sa venuje stavu problematiky energetického využívania odpadov z autovrakov v SR a niektorých vybraných členských krajinách EÚ.

8.3.1 Slovenská republika

Podľa databázy Ministerstva vnútra SR je k 29.2.2020 celkový počet vozidiel evidovaných v SR 3 289 977 [4.1] a trend má každoročne stúpajúcu tendenciu. Počty novo evidovaných vozidiel každým rokom narastajú, v roku 2019 bolo novo evidovaných vozidiel 134 703 kusov a počet individuálne dovezených vozidiel zo zahraničia 85 900 kusov. Každoročný nárast počtu evidovaných vozidiel je možné prisudzovať zlepšujúcej sa ekonomickej situácii, nárastu kúpyschopnosti obyvateľstva a takisto postupnej obnove vozidlového parku. Naproti tomu v roku 2019 bol počet

vozidiel vyradených z evidencie 79 431 kusov a z toho počet vozidiel vyradených z cestnej premávky bolo 53 925 kusov. Rozdiel v týchto číslach poukazuje na využívanie opatrenia dočasného vyradenia vozidla z cestnej premávky napríklad pre opravu, poruchu, haváriu, alebo inú nespôsobilosť vozidla na prevádzku na cestných komunikáciách. Počet vozidiel vyradených z cestnej premávky každoročne narastá, v dnešnej dobe je tento trend možné pripisovať stále sa sprísňujúcim podmienkam pre udelenie osvedčenia o kontrole technického stavu vozidla a osvedčenia o emisnej kontrole. Kým v 90-tych rokoch minulého storočia bola priemerná životnosť automobilu v SR 18 rokov, tak na začiatku 21. storočia to bolo už len 13 rokov, v súčasnosti je priemerná životnosť automobilu len 11 rokov. V súčasnosti (stav k 25.2.2020) je na Slovensku v prevádzke 46 autorizovaných spracovateľov starých vozidiel. V SR sú využívané len dva spôsoby spracovania vozidiel po dobe životnosti a to buď úplná demontáž alebo šrédrovanie. Technologické spôsoby energetického zhodnocovania odpadov, nielen z automobilového priemyslu v SR, je podľa súčasne platnej legislatívy možné rozdeliť na spaľovne a zariadenia na spoluspaľovanie odpadov (zákon SR č. 79/2015 Z. z.). Legislatívne je **spaľovňa odpadov** stacionárne technické zariadenie alebo mobilné technické zariadenie, ktoré slúži na tepelnú úpravu odpadov s využitím alebo bez využitia tepla vznikajúceho pri spaľovaní; sú to zariadenia na spaľovanie odpadov:

- oxidáciou,
- zariadenia na iné postupy tepelnej úpravy odpadov, ako je:
    - pyrolýza,
    - splyňovanie,
    - plazmové procesy,

  ak sa látky vzniknuté pri týchto postupoch následne spália.

Legislatívne je **zariadenie na spoluspaľovanie odpadov** stacionárne alebo mobilné zariadenie, ktorého hlavným účelom je:

- výroba energie alebo
- iného materiálového produktu, v ktorom sa odpady používajú ako:
    - riadne palivo,
    - prídavné palivo,
    - v ktorom sa odpady tepelne upravujú na účely ich zneškodnenia oxidáciou odpadov, ako aj inými procesmi tepelného spracovania,
    - ak sa spoluspaľovanie odpadov uskutočňuje tak, že hlavným účelom zariadenia na spoluspaľovanie odpadov nie je výroba energie alebo iného materiálového produktu, ale tepelná úprava odpadov. Zariadenie na spoluspaľovanie odpadov sa nepovažuje za spaľovňu odpadov.

Súčasná platná legislatíva určuje rozsah platnosti požiadaviek na spaľovanie odpadov, a to napr. kedy sa požiadavky na spaľovanie neuplatňujú, špecifické technické požiadavky, špecifické podmienky prevádzkovania spaľovacích zariadení a pod.

Členenie a kategorizácia spaľovní odpadov a zariadení na spoluspaľovanie odpadov podľa Prílohy č. 1 vyhlášky č. 410/2012 Z. z.

Kat. 5.1 Spaľovne odpadov:

- spaľujúce nebezpečný odpad s projektovanou kapacitou: > 10 t/d (veľký zdroj), > 0 a súčasne ≤ 10 t/d (stredný zdroj)
- spaľujúce iný ako nebezpečný odpad s projektovanou kapacitou > 3 t/h (veľký zdroj), > 0 a súčasne ≤ 3 t/h (stredný zdroj)

Zariadenia na spoluspaľovanie odpadov sa kategorizujú podľa kategórie predmetnej technológie; ak je spoluspaľovanie súčasťou technológie, ktorej kapacita zodpovedá prahovej kapacite ustanovenej pre malé zdroje, technológia sa začleňuje ako stredný zdroj.

Špecifické technické požiadavky a špecifické podmienky prevádzkovania (časť II prílohy č. 5 vyhl. MŽP SR č. 410/2012 Z. z. v znení neskorších predpisov) – spaľovne odpadov a zariadenia na spoluspaľovanie odpadov musia plniť tieto špecifické technické požiadavky a špecifické podmienky prevádzkovania:

- účinnosť spaľovania (obsah TOC vo zvyškovej škváre a popole: strata žíhaním < 3%, alebo spáliteľný podiel < 5%),
- teplotu (850°C resp. 1100 °C, ak ide o odpad s obsahom chlóru 1% a viac) počas zdržnej doby najmenej 2 sekundy,
- prídavný horák,
- automatický systém na odstavenie prísunu odpadu,
- požiadavky na manipuláciu a medziskladovanie odpadov.

Vo vymedzených prípadoch (bod 9 časti II prílohy č. 5 vyhl. č. 410/2012 Z. z.) možno určiť iné podmienky prevádzkovania.

Špecifické emisné limity (príloha č. 5 vyhl. MŽP SR č. 410/2012 Z. z. v znení neskorších predpisov) – pre spaľovne odpadov a zariadenia na spoluspaľovanie odpadov sú ustanovené emisné limity do ovzdušia pre tieto znečisťujúce látky:

- tuhé znečisťujúce látky (TZL), SO2, NOx, TOC, HCl, HF, CO,
- ťažké kovy (Tl+Cd, Hg, Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V),
- polychlorované dibenzodioxíny a polychlorované dibenzofuránY (PCDD+PCDF).

V súčasnosti sú na území SR v prevádzke viaceré spaľovne odpadov a zariadenia na spoluspaľovanie odpadu. Pre energetické zhodnotenie odpadu z automobilového priemyslu sú k dispozícii dve veľké spaľovne komunálneho odpadu (*OLO Bratislava, a.s.* – kapacita 32,7 t/h, *KOSIT, a.s.* – kapacita 10 t/h), jedna stredná (*FCC Slovensko, s.r.o.* – kapacita 1 500 t/rok), jedna veľká spaľovňa priemyselného odpadu (*Slovnaft, a.s.* – kapacita 3,7 t/h) a štyri stredné spaľovne priemyselného odpadu (*Duslo, a.s.* – kapacita 1,26 t/h, *Light Stabilizers, s.r.o.* – kapacita 0,18 t/h, *Fecupral, s.r.o.* – kapacita 0,15 t/h, *Archív SB, s.r.o.* – kapacita 0,1458 t/h). Pre energetické zhodnotenie odpadu z automobilového priemyslu je na území SR k dispozícii šesť zariadení na spoluspaľovanie odpadov (*CRH, a.s.*prevádzka Rohožník – rotačná pec (portlandský cement) – kapacita 32 t/h, rotačná pec (biely cement) – kapacita 2,5 t/h, prevádzka Turňa nad Bodvou – tuhé alternatívne palivo – kapacita 9 t/h, *Carmeuse Slovakia, s.r.o.* –

rotačná pec – tuhé alternatívne palivo – kapacita 7,2 t/h, *Cemmac, a.s.* – nebezpečné odpady – kapacita 5 500 t/rok, nie nebezpečné odpady – kapacita 60 000 t/rok, *Považská cementáreň, a.s.* – nebezpečné odpady – kapacita 5 t/hod, 10 000 t/rok, nie nebezpečné odpady – 80 000 t/rok, z toho: povolené zložky spoluspaľovaných tuhých upravených odpadov – 12 t/hod, 70 000 t/rok, povolené zložky spoluspaľovaných odpadov na biologickej báze – 9 t/hod, 35 000 t/rok, povolené zložky spoluspaľovaných odpadov na živočíšnej báze –9 t/hod, 50 000 t/rok, povolené zložky spoluspaľovaných odpadov charakteru práškového uhlia – 6 t/hod, 25 000 t/rok, povolené zložky spoluspaľovaných odpadov na báze gumy – 4 t/hod, 10 000 t/rok, *Mondi SCP*, a. s. – kapacita 28 501 t. vzd.s./rok) [35].

Ako uvádzajú Ministerstvo životného prostredia a Ministerstvo hospodárstva SR, sieť spaľovní a zariadení na spoluspaľovanie odpadu nie je postačujúca a kapacitne nie je vyhovujúca pre splnenie záväzku SR voči EÚ o obmedzení skládkovania komunálneho a priemyselného odpadu. Tieto zariadenia kapacitne nepostačujú ani na spracovanie komunálneho odpadu. Preto, ako riešenie problému, ako naložiť s odpadom všetkého druhu sa javia byť výhodné možné alternatívy, a to buď vo výstavbe nových spaľovacích zariadení (v tejto otázke je okrem finančnej stránky výstavby problémom aj veľký odpor občanov voči výstavbe), zapojiť teplárne do spoluspaľovania najmä tuhého odpadu (pokusy o spaľovanie tuhého alternatívneho paliva z odpadu – TAP), alebo využívať nové technológie v segmente výroby alternatívnych palív z odpadu (napríklad splyňovanie plastov a pod.).

8.3.2 Česká republika

V Českej republike je aktuálne podľa štatistík EÚ viac ako 4,5 miliónov registrovaných osobných automobilov. Priemerný vek automobilového parku je 15,86 roku, z toho osobné vozidlá 12,82 roku. Existujú však značné rozdiely v jednotlivých krajoch a okresoch ČR. Každoročný počet vozidiel vyradených z evidencie je približne rovnaký ako počet novo evidovaných automobilov, novo evidované automobily sú rozdelené v pomere 2:3 pre nové a individuálne dovezené vozidlá. Ročne je recyklovaných približne 155-tisíc autovrakov [34].

Donedávna Česká republika svojou spracovateľskou infraštruktúrou autovrakov zaostávala za trendom vývoja EÚ, v dnešnej dobe, za pomoci zákonov a dotácií sú ich spracovateľské prevádzky na porovnateľnej úrovni s vyspelými krajinami EÚ. Počet spracovateľov autovrakov každoročne narastá.

Odpad priemyselný a komunálny je energeticky využívaný v spaľovniach odpadov a v zariadeniach pre spoluspaľovanie odpadov. V súčasnosti sú v ČR v prevádzke štyri veľké spaľovne komunálneho odpadu (Praha, Brno, Liberec a Plzeň, Plzeňská spaľovňa je najnovšia, v prevádzke od roku 2016), štrnásť spaľovní len pre priemyselné odpady (rovnomerne rozložené po celom území Českej republiky – v priemyselných oblastiach) a päť zariadení na spoluspaľovanie priemyselného a komunálneho odpadu (hlavne cementárne).

8.3.3 Nemecko

V Nemecku je aktuálne podľa štatistík EÚ viac ako 47 miliónov registrovaných osobných automobilov. Z tohto počtu je každoročne vyradených z evidencie približne 3,2 milióna vozidiel, pričom zhruba 650 až 700-tisíc z nich sa nejakým spôsobom vráti do prevádzky v krajinách mimo Nemecko, sú to automobily pre individuálny vývoz [34].

Podľa platnej Nemeckej vyhlášky o vozidlách s ukončenou životnosťou je umožnené každému majiteľovi vrátiť vozidlo s ukončenou životnosťou priamo výrobcovi alebo dovozcovi bez poplatku. Nemecko má v EÚ najviac rozvinutú sieť autorizovaných demontážnych a šrédrovacích zariadení a sieť všetkých ďalších subjektov nakladajúcich s autovrakmi. To je dôvod, prečo je Nemecko na popredných miestach v EÚ v recyklácii automobilov po dobe životnosti, s dosahovaním 95 % znovupoužitia, recyklácie a energetického zhodnotenia autovrakov [34].

Na energetické zhodnotenie odpadu z automobilového priemyslu sú využívané spaľovne komunálneho a priemyselného odpadu, zariadenia na spoluspaľovanie odpadu a v praxi sú už zavedené aj prevádzky na splyňovanie a pyrolýzne spracovanie odpadu. Prevádzky sú rovnomerne rozmiestnené po celom území, skládkovaním sú spracovávané v podstate len nespáliteľné zvyšky po energetickom využití odpadu (podľa Eurostat, podiel dopadu spracovávaného skládkovaním je 7 % z celkového množstva, jedná sa najmä o popol, aj ten je spracovávaný do takej podoby, aby ho bolo možné neskôr s nástupom nových technológií využiť). Z dôvodu veľkého energetického využívania odpadu všetkého druhu sa odpad stáva komoditou s ktorou sa obchoduje.

8.3.4 Taliansko

V Taliansku je aktuálne podľa štatistík EÚ viac ako 36 miliónov registrovaných osobných automobilov. Počet registrácii nových vozidiel každoročne prevyšuje približne o 350-tisíc počet osobných automobilov vyradených z evidencie. Z týchto vyradených automobilov je približne 25 % percent vyvezených do zahraničia a okolo 71 % je spracovaných v Taliansku [34]. Na rozdiel od Nemecka, kde je rozloženie spracovateľských prevádzok pomerne rovnomerné, v Taliansku sú v objeme spracovaných automobilov po dobe životnosti značné rozdiely, sever sa podieľa 45 %, stred 20 % a juh 35 % na spracovaní celkového ročného počtu autovrakov [34].

Na energetickom spracovaní odpadu z automobilového priemyslu sa rovnako ako v Nemecku podieľajú spaľovne komunálneho a priemyselného odpadu a zariadenia na spoluspaľovanie odpadu.

8.4 Druhy odpadov zo starých vozidiel podľa katalógu odpadov a spôsoby ich energetického zhodnocovania

Automobil ako výrobok sa skladá asi z 30-tisíc komponentov, materiálová skladba v sebe zahŕňa železné a neželezné kovy, sklo, plasty (hlavne polypropylén), gumu, papier, kožu uhlíkové vlákna, náterové látky a pod. Automobil obsahuje aj materiály, ktoré z hľadiska recyklácie nie sú príliš využiteľné (koža, papier, lepenka, keramika)

a tieto materiály sú väčšinou spaľované, alebo priamo ukladané na skládku odpadu. Vo všeobecnosti je možné starý automobil rozdeliť na dve triedy odpadu, nebezpečný a ostatný.
Nebezpečný odpad (N) sú samotné vyradené vozidlá pred vysušením, olejové filtre, výbušné časti (napr. bezpečnostné vzduchové vankúše, dopínače pásov s pyropatrónou a pod.), brzdové platničky a obloženie obsahujúce azbest, prevádzkové kvapaliny (brzdová, chladiaca kvapalina, motorový a prevodový olej, mazacie tuky...), odpady z elektrických a elektronických zariadení, nebezpečné časti, olovené akumulátory, oddelene zhromažďovaný elektrolyt z akumulátorov, použité katalyzátory a podobne (Zákon SR č. 79/2015 Z. z.).
Ostatný odpad (O) sú staré vozidlá neobsahujúce prevádzkové kvapaliny (po vysušení) a iné nebezpečné dielce, opotrebované pneumatiky, nádrže na skvapalnený plyn, nemrznúce kvapaliny do ostrekovačov, železné a neželezné kovy, plasty, koža, sklo a časti ďalej inak nešpecifikované (Zákon SR č. 79/2015 Z. z.).
Jednotlivé technologické kroky spracovania autovrakov produkujú odpad, ktorý je možné energeticky zhodnotiť, miera celkového podielu hmotnosti starého automobilu pre energetické zhodnotenie je daná smernicou 2000/53/ES. Za energeticky významné je možno považovať pohonné hmoty a prevádzkové kvapaliny, odpad z pneumatického triedenia po šrédrovaní, penový uretán, textílie a poťahy – väčšinou syntetické, koža, plasty, guma a ostatný všeobecný odpad vhodný na spálenie, ktorý je v poslednom kroku spracovania rozdrvený v závitovkovom drviči.

8.4.1 Energeticky využiteľný odpad z recyklácie automobilov

Plasty: použiteľné diely sa využívajú, ako náhradné súčiastky pri priamom predaji zákazníkom. Každý plastový diel v automobile hmotnosťou viac ako 100g je podľa dohody Asociácie európskych výrobcov označený kódom, ktorý umožňuje identifikovať druh plastu, a tak jednoduchšie zaistiť recykláciu, prípadne rozhodnúť o jeho vhodnosti pre energetické zhodnotenie. Plasty získané z autovrakov sú využívané ako druhotná surovina napr. pre stavebníctvo, alebo sú využívané v energetickom priemysle. Do kategórie plastového odpadu je možné zaradiť aj zvyšky z káblového šrotu, tie sú tvorené káblovými izoláciami, koncovkami, konektormi a pod.
Guma: ojazdené plášte pneumatík sa spracovávajú drvením. Drvina gumy sa často používa ako náhrada konvenčných palív napríklad v cementárňach. Staré pneumatiky obsahujú 18 – 20 % oceľového kordu a látkovej tkaniny.
Odpadový olej a koža: sú vhodné na energetické zhodnotenie – spálenie v spaľovni komunálneho dopadu alebo inej technológii so spaľovacím zariadením (napr. cementárenská pec).
Syntetické textílie a poťahy: tvoria približne 2,5 % hmotnosti vozidla, po spracovaní trhaním sú vhodné, ako polotovar pre zberne k ďalšiemu spracovaniu, alebo na energetické zhodnotenie. V SR je polotovar zo zmiešaných textilných odpadov zo spracovania vozidiel spracovaný na recyklát, ktorý je spracovaný zmiešaním s gumovou drvinou a následne homogenizovaný, čím vznikajú izolačné a konštrukčné dosky pre stavebníctvo.

Ostatný nepoužiteľný odpad: v závislosti na jeho zložení sa dá ešte energeticky využiť pri použití vhodnej technológie (napr. pyrolýza) a až v poslednom kroku sú zvyšky určené na odvoz na skládku komunálneho odpadu.

8.4.2 Energetické zhodnotenie prevádzkových kvapalín

Odpadové motorové a prevodové oleje: Viaceré štúdie uvádzajú, že už niekoľko rokov je celkový trend vo svete v regenerácii odpadových olejov, alebo ich využití na energetické účely (či už vo forme ich priameho spaľovania, alebo modifikovania a následnej výroby syntetickej náhrady konvenčného paliva). Používajú sa predovšetkým v:

- cementárňach a vápenkách, kde recyklované oleje nahradzujú mazut,
- veľkých tepelných zdrojoch, kde upravené odpadové oleje nahrádzajú vykurovacie oleje alebo zemný plyn.
- z olejov je však možné vyrábať aj syntetické benzíny a nafty.

V súvislosti so zberom odpadových olejov sa nesmie zabudnúť na riadny zber a zneškodnenie vyradených olejových filtrov, ktoré poväčšine končia v spaľovniach.
Chladiace a brzdové kvapaliny: Viaceré štúdie a materiály uvádzajú, že odpadová chladiaca kvapalina a odpadová brzdová kvapalina sú podľa katalógu odpadov zaradené medzi nebezpečné odpady a preto ich ekologické zneškodnenie je možné previesť jedine a výhradne spálením v spaľovni odpadov. Recyklácia odpadovej chladiacej a brzdovej kvapaliny, za použitia recyklačnej linky, by bola v súčasnej dobe neekonomická. Hranica návratnosti investície do stavby recyklačnej linky by bola pri zbere minimálne 500 ton ročne, čo je v podmienkach SR nereálne.

8.4.3 Energetické zhodnotenie starých pneumatík a gumy

Ako uvádzajú zdroje, použité pneumatiky predstavujú osobitú kategóriu odpadov a po uplynutí životnosti sú často skladované na obrovských haldách, kde čakajú na svoje spracovanie. Podiel vzniknutého odpadu zberom opotrebovaných pneumatík predstavuje v SR ročne takmer 23-tisíc ton ročne. Existuje viacero technologických postupov ich zhodnocovania, pretože pre tento druh odpadu sa našlo dostatočné uplatnenie v praxi. Pre energetické zhodnocovanie starých pneumatík sa využíva spaľovanie, ktoré prebieha pri teplote spaľovania 1 460°C. Výhrevnosť je takmer rovnaká ako výhrevnosť čierneho uhlia. Spaľovanie je náročnejšie ako spaľovanie uhlia, nutné je sledovanie parametrov spaľovania, hlavne produkciu NO_x a TZL. Využíva sa najmä v cementárenských rotačných peciach, používa sa ako doplnkové palivo (spoluspaľovanie), ktoré vďaka vysokému energetickému potenciálu šetrí hlavné palivo (výhrevnosť približne 25 $MJ.kg^{-1}$, popolnatosť cca 5 – 7 %). Cementárne využívajú staré pneumatiky nielen energeticky, ale aj materiálovo. V cementárenských peciach pochádza približne 7 % spotrebovaného tepla zo starých pneumatík, čo je v prepočte približne 20-tisíc ton spálených pneumatík ročne. V SR sú to CRH, a.s. prevádzka Rohožník a prevádzka Turňa nad Bodvou, Carmeuse Slovakia, s.r.o., Cemmac, a.s., Považská cementáreň, a.s.

8.4.4 Energetické zhodnotenie plastov

V súčasnosti je podiel plastov na celkovej hmotnosti automobilu v priemere okolo 10 až 15 %, z objemového hľadiska až do 30 %. Ako ukazuje historický vývoj v konštrukcii a materiálom zložení automobilov, podiel plastových súčastí neustále narastá. Literatúra uvádza, že v dnešných automobiloch sa nachádza vyše sto rôznych výrobkových skupín a sortimentov, kde sa používajú plasty. Plasty poskytujú možnosť na recykláciu, recyklovať je možné buď len vytriedený, jednodruhový odpad a vyrábať z neho možno i technicky náročné výrobky, alebo môžeme recyklovať zmes plastového odpadu rôzneho druhu a výrobky z neho budú mať len určité, dosť úzko ohraničené využitie. Energetické zhodnocovanie plastov je možné so správne zvolenou technológiou, buď priameho spaľovania alebo spoluspaľovania, splyňovaním alebo pyrolýzou. Vhodnosť danej technológie je závislá najmä na druhu plastu a prítomnosť cudzorodých, neplastových prímesí (zvyšky kovov, gumy, nátery – farby a laky a pod.). Rôzni výrobcovia používajú na výrobu častí automobilov rôzne plastové materiály, niektoré súčasti automobilov sú zložené aj z viacerých druhov plastov, napríklad nárazníky sa vyrábajú z PP, PUR, PC/PBT, ale i z PBT, PC, PET, PPE/PA, prístrojové dosky sa vyrábajú z PC/ABS, PUR, TPE/PP, PP, PC, ABS, PVC, ale i z PA, PE, PPE/PS. Tieto skutočnosti si vyžadujú veľké nároky na identifikáciu materiálov pri recyklácii, alebo aj energetickom zhodnocovaní plastov. Vo všeobecnosti možno plastový odpad z automobilu rozdeliť na polypropylén 35 %, polyuretán 20 %, PVC 11 %, ABS 10 %, polyamid 9 %, polyetylén 5 % a ostatný nešpecifikovaný 10 %. Do kategórie plastového odpadu je možné zaradiť aj zvyšky z káblového šrotu, tie sú tvorené káblovými izoláciami, koncovkami, konektormi a pod., sú tvorené najmä PVC a ABS a ďalej sa už nerecyklujú, sú určené primárne na energetické zhodnotenie. 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. Nesúrodosť vstupného materiálu pre energetické zhodnocovanie zvyšuje technologickú náročnosť celého procesu, od spaľovania po čistenie spalín a odstraňovanie limitovaných škodlivín.

8.5 Spôsoby energetického zhodnocovania odpadov z automobilového priemyslu

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.

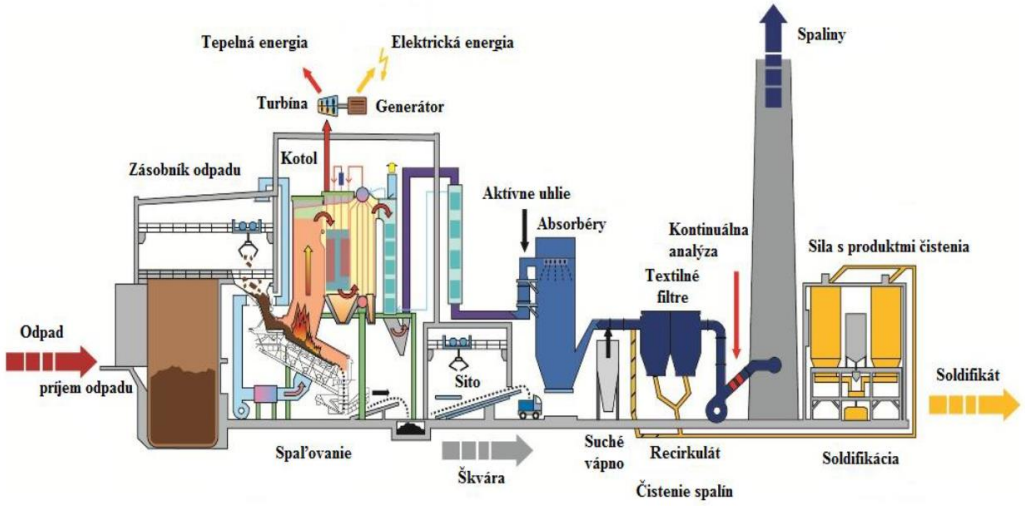
Konečnými technológiami energetického zhodnocovania odpadov z automobilového priemyslu je spaľovanie, splyňovanie, pyrolýza a plazmové splyňovanie, najvýhodnejšie je ak sú všetky technológie v spojení s kogeneráciou. Kogeneračná výroba tepla a elektrickej energie aspoň čiastočne pokrýva vysokú energetickú náročnosť recyklácie autovrakov (príkon technologických liniek, najmä šrédrovacích je niekoľko stoviek kilowattov).

Náhradou fosílnych palív, ktoré sú používané v bežných elektrárňach, najviac zariadenia „Waste to Energy“ prispievajú k ochrane klímy. V porovnaní s bežnými elektrárňami (prevádzkovanými na uhlie, olej alebo plyn) sú emisie CO_2 zo zariadení Waste to Energy podstatne nižšie. Iba plynom vyhrievané elektrárne vykazujú ešte nižšie emisie ako zariadenia Waste to Energy, ktoré vyrábajú výhradne elektrinu (v Európe je ich menšina). Väčšina zariadení Waste to Energy naopak vyrába teplo alebo funguje ako kombinovaná výroba elektriny a tepla, a to s nižšími emisiami ako plynom vyhrievané elektrárne. Spálením 1 tony odpadov možno získať tepelnú energiu k výrobe 3 ton pary. Pri priemernej výhrevnosti možno z 1 tony odpadu získať 1750 kWh využiteľnej energie. To je ekvivalentné k 250 kg vykurovacieho oleja. Energetické využívanie odpadov je z hľadiska životného prostredia z väčšej časti neutrálneho vzťahu k oxidu uhličitému, ktorý vznikne oxidáciou uhlíka [14].

8.5.1 Spaľovanie

Spaľovanie je odporúčané smernicami EÚ ako jedna z metód zneškodňovania odpadov z automobilového priemyslu, ktorá pri dodržaní stanovených podmienok, vyhovuje prísnym požiadavkám na ochranu životného prostredia. Považovať spaľovanie odpadov za výhodné z hľadiska ich energetického zhodnotenia 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 najčastejšie spolu s konvenčnými palivami. V prípade tuhých odpadov (plasty, guma, textil, papier a pod.) sú to zmesi spolu s uhlím, biomasou a pod., čím sa vytvorí „tuhé alternatívne palivo – TAP“. Horenie tejto zmesi môže byť ešte podporené prídavným plynným palivom na 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 a miešanie a horenie nastáva až v spaľovacej komore.

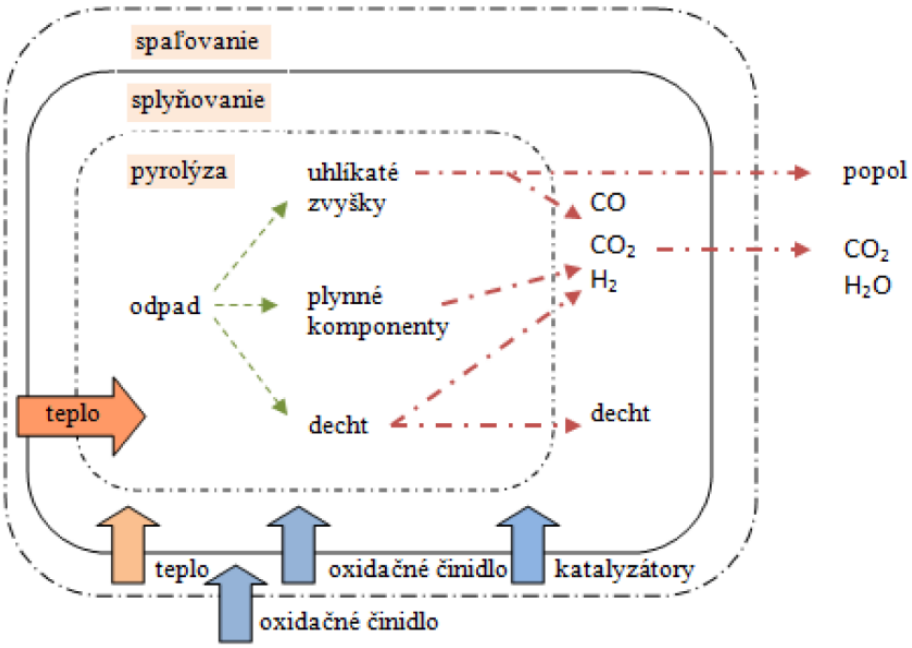


Obr. 8.1 Technologická schéma spaľovne [11]

Všetky spôsoby spaľovania odpadov z automobilového priemyslu musia za každých podmienok plniť emisné limity – plynných emisií (CO, SO_2, NO_x, ale aj napr. dioxínov, furánov, nelimitovaných škodlivín a pod.) aj TZL.

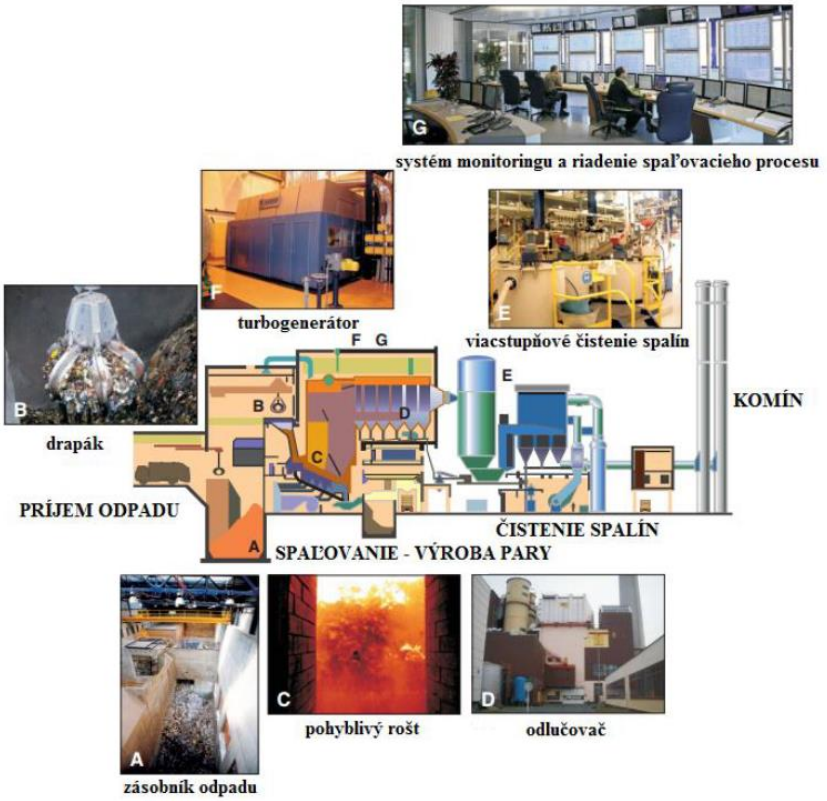
Tuhé alternatívne palivo (TAP) je materiál, ktorý vznikne separáciou a úpravou odpadových materiálov zložených z plastov, papiera, textilu, gumy a iných spáliteľných látok. Je to drvená zmes látok z vybraných priemyselných a triedených komunálnych odpadov, ktoré majú jasne definované zloženie látok a určenú granulometrickú štruktúru, z ktorej vznikne 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 zhodnotenie sú vhodné najmä zložky odpadu s vysokou výhrevnosťou napríklad: suchý papier – 17 MJ.kg-1, guma – 35 MJ.kg-1, PET fľaše – 23 MJ.kg-1, plast z recyklácie – 25 MJ.kg-1, plastová fólia –

42 MJ.kg-1, plast tvrdý – 34 MJ.kg-1, textil zmiešaný – 20 MJ.kg-1, drevo suché – 17 MJ.kg-1, kože, topánky – 19 MJ.kg-1.
Výhoda spaľovania TAP spočíva najmä vo vlastnostiach výsledného materiálu, kde je výhrevnosť porovnateľná s kvalitným hnedým uhlím, pričom sa dá zložením a kvalitou vstupných materiálov dosiahnuť výhrevnosť porovnateľná s čiernym uhlím a súčasne sa pritom zníži množstvo škodlivých látok.

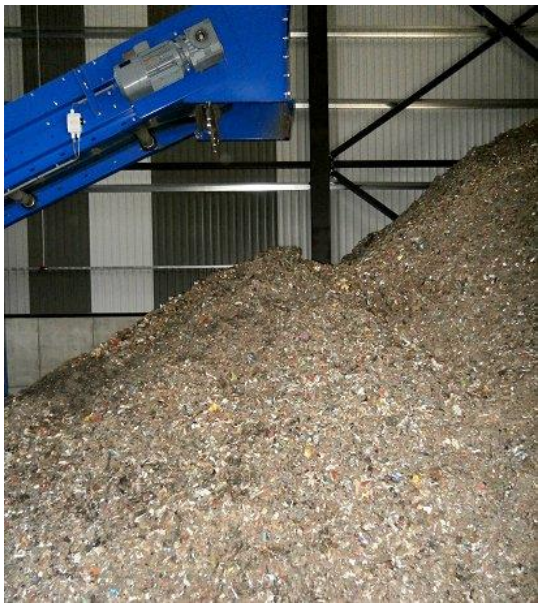


Obr. 8.2 Hlavné zlúčeniny a produkty vznikajúce v procesoch termického spracovania odpadov [2]

V Slovenskej republike nie je v súčasnosti v žiadnom všeobecne záväznom právnom predpise definovaný termín TAP. Pojem TAP je však vo všeobecnosti zaužívaný prevažne podnikateľmi spracovávajúcimi a upravujúcimi odpady, ktoré ďalej ponúkajú odberateľom ako alternatívne palivo. Namiesto pojmu TAP sa v oblasti odpadového hospodárstva používa pre výsledok zhodnocovania a úpravy odpadov zaradenie v zmysle Katalógu odpadov pod evid. č. 19 12 10 – horľavý odpad (palivo z odpadov), nakoľko tento produkt podľa súčasných právnych predpisov nenadobudol stav konca odpadu a je stále považovaný za odpad, ktorý je určený na spaľovanie alebo spoluspaľovanie v energetických zariadeniach, cementárenských peciach a pod.. Vzhľadom na schválenie národného predpisu pre stav konca odpadu (Ministerská vyhláška Talianska č. 22 z roku 2014) komisiou EÚ, možno TAP ako výsledok mechanicko-biologickej úpravy odpadov nie len spaľovať, resp. špeciálne spoluspaľovať, ale môžu byť využívané aj ako palivo (výrobok). Vzhľadom na implementáciu právnych aktov EÚ do legislatívy jednotlivých štátov možno v dohľadom čase očakávať prijatie právneho predpisu, ktorý bude pojmy a zaradenie TAP jednoznačne definovať v rámci zákonodarstva Slovenskej republiky (toho času je vo fáze prípravy vyhláška zaoberajúca sa problematikou TAP).



Obr. 8.3 Technologická schéma spaľovne [11]



Obr. 8.4 Tuhé alternatívne palivo - TAP [36]

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 odpad, komunálny odpad, priemyselný odpad, komerčný odpad, stavebný odpad, odpad z demolácií a splaškový kal, z čoho 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.
Na základe CEN/TC 343 boli zvolené tri parametre, ktorými je možné rýchlo a jednoducho popísať (klasifikovať) dané TAP:

- Výhrevnosť (z angl. NCV – Net Calorific Value) – jedná sa o ukazovateľ trhovej hodnoty TAP, ktorý nepriamo udáva predstavu o aký typ paliva sa jedná. Výhrevnosť je najdôležitejšou vlastnosťou TAP ako paliva.
- Obsah chlóru (Cl) – je nežiaducou prímesou v TAP. Prispieva ku korózii. Vysoký obsah chlóru má negatívny vplyv na životné prostredie a zároveň znižuje trhovú hodnotu produkovaného TAP.
- Obsah ortuti (Hg) – zo všetkých relevantných ťažkých kovov, ktoré sa v alternatívnom palive môžu vyskytovať je Hg vybraná ako ukazovateľ environmentálnej kvality TAP. Vzhľadom na svoju vysokú prchavosť sa práve v prípade Hg predpokladá jeho uvoľňovanie do okolitého prostredia. Pri hodnotení LCA (z angl. Life-cycle Assessment = hodnotenie životného cyklu) bola Hg identifikovaná ako jeden z najdôležitejších faktorov využívania TAP. Všetky dostupné informácie o TAP, rovnako aj LCA štúdie poukazujú, že ďalšie ťažké kovy, predovšetkým kadmium (Cd) a tálium (Tl), majú pri hodnotení kvality TAP len obmedzený význam. Napriek skutočnosti, že systém klasifikácie sa sústreďuje najmä na prítomnosť Hg, aj ostatné ťažké kovy prítomné v tomto palive identifikované podľa smernice o spaľovaní odpadov musia plniť parametre stanovené v technickej norme EN 15359.

Vyššie uvedená trojica parametrov klasifikácie ponúka okamžitú a pomerne spoľahlivú predstavu o celkovej kvalite TAP. Každý parameter ponúka informáciu o danom palive z rozličného pohľadu: výhrevnosť ako základná vlastnosť každého paliva, obsah Cl udáva informáciu o koróznych účinkoch a prítomnosť Hg vypovedá o kvalite z hľadiska životného prostredia.
Spaľovne komunálneho a priemyselného odpadu (napr. z automobilového priemyslu) sú vybavené stále modernizujúcimi sa technológiami spaľovania:

- spaľovanie na rôznych druhoch roštov,
- spaľovanie v rotačných peciach,
- fluidné spaľovanie.

- a technológiami čistenia spalín:
- suchá metóda čistenia spalín,
- polosuchá metóda čistenia spalín,
- mokrá metóda čistenia spalín,
- technológia SNCR,
- systém DeNOx a systém DeDiox, v miestne a technicky vhodnej kombinácii.

Sektor spaľovania prechádza počas ostatných 10 až 15 rokov rýchlym technologickým rozvojom. Mnohé zo zmien v tomto sektore boli vyvolané právnymi predpismi týkajúcimi sa konkrétne tohto odvetvia, čo malo zvlášť za následok znižovanie emisií do ovzdušia z jednotlivých prevádzok. Proces rozvoja je nepretržitý, s vývojom takých techník v tomto sektore, ktoré limitujú náklady a súčasne sa udržiava alebo zdokonaľuje starostlivosť o životné prostredie. Cieľom spaľovania odpadu, spoločne s väčšinou spôsobov nakladania s odpadmi, je spracovávať odpad tak, aby sa zmenšoval jeho objem a nebezpečnosť, pričom sa zachytia (a tým skoncentrujú) alebo rozložia potenciálne nebezpečné látky. Procesy spaľovania môžu byť tiež prostriedkom umožňujúcim zhodnocovať energiu, nerasty alebo chemické látky obsiahnuté v odpade [11].

V súčasnosti je jednou zo základných podmienok v etape projektovania a konštruovania, ako aj v etape prevádzky, opráv, údržby a recyklingu, zohľadnenie požiadaviek bezpečnosti a environmentálnej vhodnosti. Prispieva k tomu aj sústava právnych a technických predpisov v oblasti bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci, bezpečnosti technických zariadení a ochrany životného prostredia. Spaľovne odpadov predstavuje napriek sústavnému zvyšovaniu ich environmentálnej bezpečnosti istú mieru rizika hlavne pre zdravie človeka. Z toho dôvodu je lepšie, ak sú postavené ďaleko od obytnej zóny miest (napr. spaľovňa mesta Kodaň približne 20 km od sídla). Niektoré spaľovne sa postupujúcou výstavbou sídiel stali súčasťou miest. Tu je nevyhnutná modernizácia spaľovní, dobudovanie nových systémov čistenia spalín alebo výstavba nových spaľovní so zodpovedajúcim stavom techniky. Environmentálne vplyvy spaľovní odpadov sa hodnotia z viacerých uhlov pohľadu. K pozitívnemu vývoju environmentálnej bezpečnosti prispieva celosvetový trend sprísňovania legislatívnych požiadaviek na spaľovne odpadov, zvlášť sprísňovanie emisných limitov. Environmentálna bezpečnosť niektorých spaľovní sa v priebehu vývoja tak zvýšila, že ich dokonca ani nenazývajú spaľovňami, ale elektrárňami, teplárňami či výhrevňami na odpad. Je to však aj z iných dôvodov, pretože obyvateľstvo lepšie akceptuje tepláreň, ktorá môže byt oveľa väčším znečisťovateľom ovzdušia vrátane dioxínov ako tzv. high-tech spaľovňa odpadov (spaľovne najvyššej úrovne). Príkladom toho je spaľovňa komunálnych odpadov vo Viedni priamo v obytnom centre štvrte Simmering. Súčasné spaľovne sa stavajú priamo v mestských aglomeráciách a preto odpad nie je nutné voziť na dlhé vzdialenosti, využije sa priamo v mieste vzniku a vyrobené teplo možno využiť na vykurovanie v systémoch centrálneho zásobovania teplom. Žiadne iné energetické odvetvie s výnimkou jadrových elektrární nie je tak pod drobnohľadom legislatívy a ekologických organizácií ako spaľovne. Tento prístup vedie k vývoji špičkovej technológie s emisiami na úrovni plynových kotolní. Bezpečnosť zariadení je dôležitým

hľadiskom pri plánovaní, výstavbe a prevádzke spaľovne odpadu. Zaistenie vysokej úrovne bezpečnosti zariadení a jeho prevádzky vyžaduje vybavenie príslušnými bezpečnostnými a ochrannými systémami. Tie slúžia k čo možno najlepšej prevencii výskytu porúch alebo havárií, ktoré by mohli mať negatívne dopady na životné prostredie v blízkosti zariadení alebo k obmedzeniu takýchto dopadov pri výskyte porúch a havárií. Príslušné bezpečnostné prvky v spaľovni odpadu slúžia k tomu, aby pokryli potenciálne zdroje nebezpečenstva, predovšetkým v oblastiach, kde sú prítomné alebo môžu vzniknúť určité látky, tak aby množstvo týchto látok bolo bezpečné. Odpady je možné využiť pomocou klasického spaľovania v roštových peciach, spaľovaním vo fluidnej vrstve alebo pyrolýznymi procesmi s výrobou syntéznych plynov, ktoré môžu nahradiť neobnoviteľný zdroj – zemný plyn. Spaľovanie odpadov v moderných spaľovacích zariadeniach vybavených čistením spalín je z hľadiska ochrany životného prostredia bezpečným procesom, rozšíreným vo všetkých štátoch s vysokou úrovňou starostlivosti o životné prostredie [11].

Pre spaľovanie kvapalných odpadov zo spracovania vozidiel po dobe životnosti je vhodné použitie horákov. Spaľovanie kvapalných palív nastáva v plynnej fáze. Preto za účelom inicializovať a udržať správnu chemickú zmes kvapalné palivo - vzduch, sú pre palivo nevyhnutné špecifické prípravné kroky. Kontinuálny prúd kvapalného paliva prúdiaceho v rámci niekoľkých milisekúnd musí byť:

1) správne redukovaný za účelom rýchleho miešania so vzduchom,
2) priestorovo správne rozmiestnený s dostatočnou hybnosťou pre miešanie paliva so vzduchom,
3) dostatočne zohriaty a odparovaný za účelom roznecovania a horenia.

Horák spaľujúci kvapalné palivo, ako napríklad vykurovací olej alebo kvapalné odpady, je mechanický stroj s kontinuálnym horením, používaný na prípravu paliva pre spaľovanie vo vykurovaní, ako napríklad kotly, pece a ohrievače vody. Horák kombinuje kvapalné palivo s určitým množstvom vzduchu potrebného pre horenie, obyčajne vo forme spreja a túto zmes dodáva do bodu, kde nastáva zapálenie. Palivová zmes, kvapalné palivo – vzduch, môže byť vopred pripravená (premix) alebo sa môže pripravovať difúzne. Kvapalné palivo vstupuje do horáka, kde nastáva jeho atomizovanie, rozbitie vstupujúceho kvapalného prúdu na kvapôčky tvoriace jemnú hmlu. Veľkosť kvapôčiek je niekoľko mikrónov a to z niekoľkých dôvodov: aby sa palivo dobre miešalo, bolo rýchlo obklopené spaľovacím vzduchom za vytvorenia horľavej zmesi, nastávalo rýchle vyparovanie a zapálenie. Palivo je pre horenie pripravené buď odparovaním alebo atomizovaním. Tieto dve metódy prípravy palivovej zmesi paliva a vzduchu sú používané v štyroch základných typoch horákov na kvapalné palivá používaných v komerčnom, priemyselnom a obytnom vykurovaní:

1) horák s mechanickým atomizovaním,
2) horák s atomizovaním pomocou plynu,
3) odparovací typ (panvový typ) horáku,
4) rotačný typ horáku.

Ich výber a použitie závisí na kapitálových a prevádzkových nákladoch, ich maximálnej kapacite (kg.min-1, alebo l.min-1), škále požadovaných operačných pomerov (pomer menovitého a minimálneho použiteľného výkonu) a želaného tvaru plameňa.

Minimálne energetické vstupy, požadované pre atomizovanie, sú stanovené viskozitou paliva v bode atomizovania. Na charakterizovanie požiadaviek na rozprašovač sa najčastejšie používa kinematická viskozita. Viskozita je vlastnosť paliva, závislá na teplote ale aj na chemickom zložení paliva, prímesi v kvapalnom odpade častokrát spôsobujú nestabilitu v tvorbe palivovej zmesi. Vzduch potrebný pre spaľovanie je do horáka dodávaný dvomi rozdielnymi spôsobmi:

1) privádzaný spolu s palivom alebo zároveň s palivom ako primárny vzduch,
2) privádzaný do zóny plameňa alebo do zóny po spaľovaní za plameň ako sekundárny vzduch.

Relatívne množstvo primárneho vzduchu k sekundárnemu vzduchu je stanovené podmienkami spaľovania, ako aj zvláštnosťami individuálneho návrhu horáka. Po zapálení je teplo pre horiace kvapôčky dodávané plameňom a obklopujúcimi nahriatymi povrchmi. Proces horenia má súvis s rozprašovačom kvapalného paliva, alebo geometriou otvoru dýzy, čistotou, ako aj s tlakom, viskozitou a povrchovým napätím kvapalného paliva. Kvapky horia difúznym plameňom. Odparovanie nastane na povrchu kvapky, zanechajúc tak častice uhlíka, ktoré horia svietivým plameňom. Tvar a veľkosť plameňa ovplyvňuje účinnosť spaľovania. Proces závisí od kvapalného paliva, návrhu horáka, množstva dodávaného vzduchu a režimu jeho distribúcie. Kvapalné palivá a teda aj kvapalné odpady horia turbulentným difúznym plameňom a potrebujú rozstrekovanie kvapiek na zvýšenie plochy povrchu, ktorý bude k dispozícii pre kyslík, prestup tepla a miešanie kvapiek so spaľovacím vzduchom. Prúdenie v spaľovacej komore je závislé na čase potrebnom na miešanie, vytvorenie palivovej zmesi, zdržnej doby na ohriatie paliva, jeho spálenie a tvorbu konečných produktov spaľovania. Zdržná doba má zásadný vplyv na dohorenie medziproduktov, ktoré môžu vznikať pri spaľovaní kvapalných odpadov z automobilového priemyslu [28].

Horák odparovacieho typu - Výhodami olejového horáka odparovacieho (panvového) typu sú jeho nízke prevádzkové náklady. Spomedzi všetkých typov je najmenej nákladný pri použití, ale má limitované výkonové aplikácie v energetike. Jeho použitie je aktuálne len v malých štruktúrach umiestnených v miernych klimatických podmienkach. Odparovacie horáky môžu byť rozdelené do troch nasledovných typov:

1) panvové horáky s prirodzeným ťahom,
2) panvové horáky s umelým (núteným) ťahom,
3) prírubové horáky.

Horák rotačného typu – Rotačné olejové horáky sú zvyčajne použité vo vykurovacích systémoch komerčných alebo priemyselných budov, aj keď môžu byť a bývali používané pre obytné vykurovacie aplikácie. Pre vykurovacie účely sú k dispozícií nasledovné typy rotačných olejových horákov:

1) vertikálny rotačný horák,
2) horizontálny rotačný horák,
3) rotačný horák so stenovým plameňom.

Rotačný miskový horák je schopný použitia s množstvom rozdielnych tekutých palív a kvapalných odpadov bez vyžadovanej modifikácie hlavného horáka. Kvapalné palivo je podávané cez dutý hriadeľ do zúženého konca otvorenej misky, ktorá sa okolo svojej osi otáča rýchlosťou 4000-6000 otáčok za minútu. Olejový film sa posúva pozdĺž

povrchu misky a je odstrekovaný cez široký koniec okraja misky odstredivou silou vo forme olejových kvapôčiek. Olejové kvapôčky sú emitované z otáčajúcej sa misky, sú rozbité do hmly a po zrážke s prúdom primárneho vzduchu s vysokou rýchlosťou smerujú osovo okolo misky. Ventilátor alebo oddelený kompresor tvaruje vytvorený film paliva do kužeľa. Výhody atomizovania pomocou rotačného miskového horáka sú, že pomer menovitého výkonu k minimálnemu použiteľnému výkonu je až do 5:1. Horák má schopnosť zvládnuť prípravu vysoko viskóznych palív a poskytuje hospodárnu prevádzku v režime s predohrevom paliva. Palivo dodávané do horáku nemusí byť pod vysokým tlakom, čo je ideálne pri aplikáciách, kde sa spaľuje kvapalný odpad, ktorý obsahuje veľký podiel pevných častíc. Viskozitu paliva nie je potrebné veľmi znižovať. Hlavnou nevýhodou rotačného miskového horáka je jeho väčšia náchylnosť k zanášaniu sadzami [28].

Horák s atomizovaním pomocou plynu - tento typ atomizovania sa tiež nazýva dvojtekutinové atomizovanie (twin-fluid). Jednou tekutinou je kvapalné palivo a druhou je atomizačný plyn (stlačený vzduch alebo para), ktorý poskytuje energiu pre atomizovanie. Preto je dostupná energia nezávislá od rýchlosti toku kvapalného paliva a veľkosť kvapiek je viac stála v celom prevádzkovom rozsahu horáka. Atomizovanie nastáva prostredníctvom výmeny hybnosti medzi dvoma prúdmi, paliva a vzduchu alebo parami. Pre veľkú väčšinu dvojtekutinových aplikácii v nízkych, stredných alebo vysokých tlakoch je atomizujúca tekutina vzduch. Pre vysoko viskózne palivá, odpady a zvyškové palivové oleje je prednostná atomizačná tekutina para, pretože okrem toho dodáva aj teplo a tlak. Parné atomizovanie však redukuje teplotu plameňa. Výhodou atomizovania tekutinami oproti mechanickému atomizovaniu je dosahovanie zvýšeného turn-down pomeru až 10:1, zatiaľ čo hlavná nevýhoda je cena a zložitosť dodávky atomizujúcej tekutiny pod tlakom. Podľa tlaku atomizačnej tekutiny tieto horáky delíme na:

1) Horáky nízkotlaké
2) Horáky stredotlaké
3) Horáky vysokotlaké

Horák rozprašovacieho typu – Pre svoju pomerne jednoduchú konštrukciu a jednoduchú viacparamertickú reguláciu je pre spaľovanie bežných kvapalných odpadov ako najvhodnejší prostriedok horák rozprašovacieho typu. Atomizácia paliva je na základe mechanického princípu.

Atomizovanie mechanickými prostriedkami využíva rozstrek kvapôčiek paliva produkovaný pumpovaním palivového oleja alebo kvapalného odpadu cez dýzu. Atomizované palivo z dýzy zvyčajne vychádza ako dutý kužeľ, ktorý sa potom mieša so vzduchom a horí. Výstup je kontrolovaný tlakom a viskozitou paliva, ktorá je závislá na teplote. Pomer menovitého výkonu k minimálnemu použiteľnému výkonu s jednoduchými tlakovými prúdovými horákmi je nízky (približne 2:1), čo znamená, že účinnosť atomizácie prudko klesá, keď horák pracuje mimo návrhového pásma. Rozprašovací typ atomizačného olejového horáka je dostupný buď ako nízkotlaký alebo ako vysokotlaký typ (častejšie používaný). Ich investičné náklady sú väčšie, ale ďalšie prevádzkové náklady sú nízke. Výhodou týchto atomizérov je ich jednoduchosť. Pri spaľovaní palív s obsahom pevných častíc (napríklad nefiltrované kvapalné odpady)

treba posúdiť problémy spojené s opotrebením a upchávaním otvorov dýz. Najdôležitejšou súčasťou horáka je rozprašovacia sústava, tvorená palivovým čerpadlom, zapaľovacími elektródami a dýzou horáka. Dýza horáka mení palivový olej do podoby, ktorá môže byť spaľovaná v spaľovacej komore. Dosahuje to núteným prechodom kvapalného paliva pod tlakom cez malý otvor na konci dýzy. Atomizované palivo je zapálené elektrickou iskrou medzi elektródami. Najdôležitejším komponentom podieľajúcom sa na príprave palivovej zmesi je dýza horáka. Musí dodávať fixné množstvo paliva do spaľovacej komory a dodržať rovnaký tvar lúča vstrekovaného paliva. Uhol a tvar lúča vstrekovaného paliva musí byť vhodný pre špecifické požiadavky horáka. Dýza horáka atomizuje palivo (rozkladá ho na extrémne malé kvapôčky) tak, aby mohlo nastať rýchlejšie odparovanie nutné pre horenie. Výber palivovej dýzy z hľadiska produkovaného tvaru kužeľa rozstrekovaného paliva je závislý najmä od charakteru prúdenia spaľovacieho vzduchu cez horák. Môžu sa vytvoriť dva základné typy kužeľov rozstrekovaného paliva:

1) dutý kužeľ,
2) plný kužeľ.

Lúč v tvare dutého kužeľa je odporúčaný pre použitie v menších horákoch. Vyznačuje sa koncentráciou kvapiek paliva všade okolo vonkajšieho okraja rozstrekovaného paliva. Nie je tu žiadny, alebo len malý výskyt kvapiek paliva v centre kužeľa. Hlavnou výhodou dutého kužeľa je stabilnejší tvar a uhol vystrekovaného lúča paliva aj pri nepriaznivých podmienkach, čo má vplyv na lepšie zapálenie a stabilnejší plameň. Táto vlastnosť je výhodná najmä pri použití palív s väčšou viskozitou, ktorá môže spôsobiť zmenšenie uhlu lúča rozstrekovaného paliva a zväčšenie kvapiek paliva. Plný kužeľ je charakterizovaný rovnakou alebo skoro rovnakou distribúciou kvapiek paliva v celom kuželi rozstrekovaného paliva. Dýzy produkujúce tento tvar kužeľa sú obzvlášť odporúčané pre hladké zapálenie v olejových horákoch spaľujúcich väčšie množstvo paliva. Sú tiež odporúčané všade tam, kde je požadovaný dlhý plameň. Výrobcovia palivových dýz tiež poskytujú špeciálne druhy dýz pre špeciálne použitie. Poskytujú prechod medzi plným a dutým kužeľom, hovorí sa im poloplné kužele (Danfoss), alebo tiež kužele tvaru W (Delavan). Pri nižších prietokoch paliva majú sklon tvoriť skôr dutý kužeľ a pri vyšších prietokoch majú sklon tvoriť skôr plný kužeľ. Špeciálnym typom dýz sú dýzy pre horáky, ktoré produkujú nízke emisie NO_x (low NO_x). Jednou z takýchto dýz je aj palivová dýza Danfoss LN použiteľná v menších horákoch. Dýza má špeciálnu charakteristiku atomizovania, distribúcie kvapiek paliva a najmä veľkosť kvapiek. Dýza tvorí špeciálny dutý kužeľ rozstrekovaného paliva s nepatrne väčšími kvapkami v strede lúča.

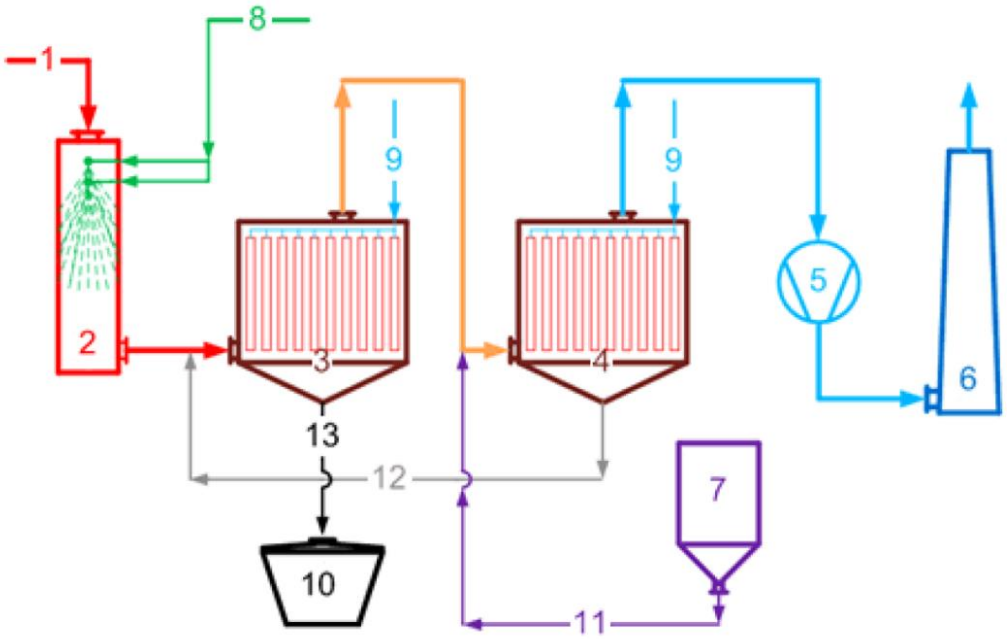
Dýzy olejových horákov sú taktiež charakterizované na základe uhlu lúča rozstrekovaného paliva. Uhol lúča rozstrekovaného paliva sa vzťahuje na vrcholový uhol kužeľa lúča a tento uhol máva obvykle rozsah od 30° do 90°. Výber uhla bude závisieť od požiadaviek horáka na vzduch (charakter prúdenia) a od tvaru a veľkosti spaľovacej komory.

Na trhu sú dostupné kombinované horáky ako kombinácie olejových a plynových horákov, ktoré sú schopné spaľovať kvapalné aj plynné palivo. Nazývajú sa dvojpalivové a umožňujú použitie týchto palív oddelene alebo súčasne v rovnakom

horáku. Toto je obzvlášť výhodné v oblastiach, kde býva k dispozícii lacný plyn, alebo pre spaľovanie kvapalných odpadov, kedy plynový horák slúži na štart a stabilizáciu horenia, obsahuje nezávislé zapaľovanie a riadiace systémy pre obe palivá [28].

8.5.2 Emisie zo spaľovania odpadov

Nevyhnutnou súčasťou technologického procesu spaľovania odpadov je päťstupňový systém čistenia spalín. Prvý stupeň čistenia spalín je inštalovaný priamo do spaľovacej komory kotla. Chemické reakcie zaistia výraznú redukciu množstva oxidov dusíka v spalinách. Druhým stupňom čistenia spalín je adsorpcia ťažkých kovov a perzistentných organických polutantov typu PCDD/F, PCB a PAU. Tretí stupeň čistenia spalín spočíva v nástreku jemne rozprášenej vodnej vápennej suspenzie do prúdu spalín. Plynné spaliny z kotlov sú privedené dymovodom do absorpčných nádob, kde prebieha vyčistenie spalín. Do dymovodu medzi absorbéry a textilné filtre je inštalovaný štvrtý stupeň čistenia spalín, ktorý je založený na suchej vápennej metóde, spočívajúcej v prídavku suchého haseného vápna do prúdu spalín. Tento systém čistenia sa spúšťa automaticky v prípade zvýšenej koncentrácie kyslých zložiek spalín.



Obr. 8.5 Schéma čistenia spalín

Schéma čistenia spalín:
1 – vstup spalín, 2 – chladiaca komora, 3 – suchý filter I. stupeň, 4 – suchý filter II. stupeň, 5 – odťahový ventilátor, 6 – komín, 7 – zásobník sorbentu, 8 – chladiaca voda, 9 – pneumatické čistenie filtrov, 10 – kontajner, 11 – pridávanie sorbentu, 12 – recirkulácia sorbentu. [11]

Piatym stupňom čistenia spalín sú textilné filtre, ktoré slúžia k odlúčeniu všetkých mechanických nečistôt a pevných reakčných produktov zo spalín. Konečný produkt z

čistenia spalín je zložený z vápenatých solí, popolčeka, aktívneho uhlia a prebytku reagentov.
Celý proces čistenia spalín je ovládaný riadiacim systémom automaticky tak, aby na výstupe zo systému čistenia spalín bol zvyškový obsah sledovaných škodlivín nižší, ako sú prípustné emisné limity. Účinnosť čistenia spalín je u znečisťujúcich látok na úrovni 99 %. Pred vstupom do komína sa spaliny nepretržite monitorujú a sú vyhodnocované [11].

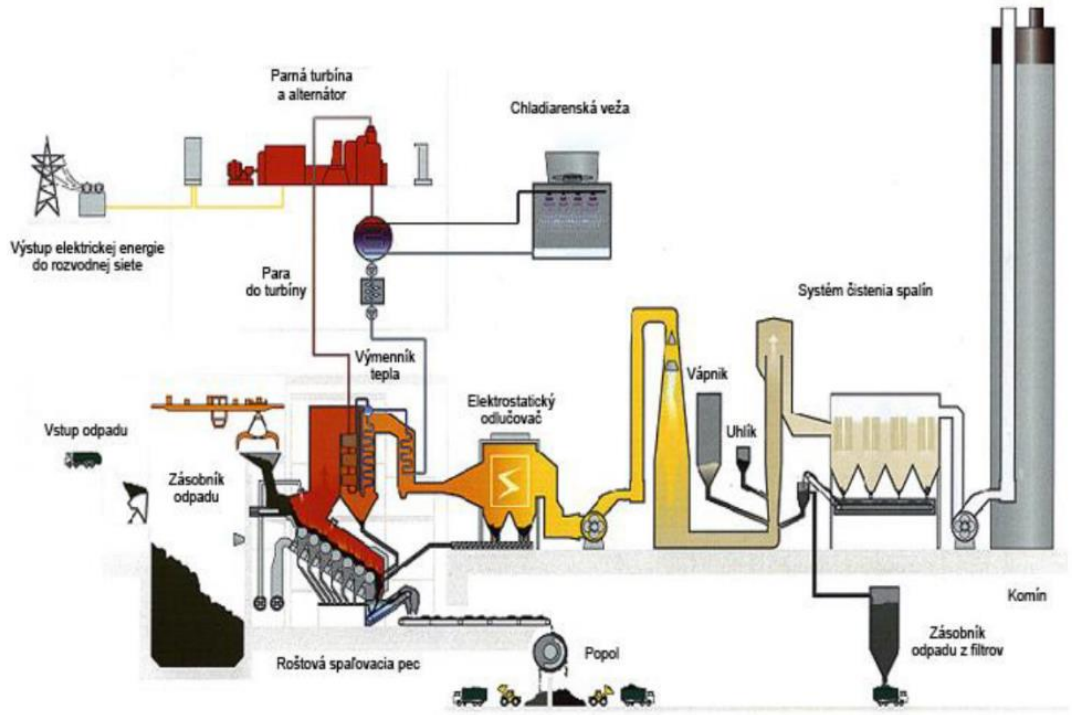
Ak sa jedná o spaľovacie procesy v oblasti odpadov ako takých, najčastejšie diskutovanými sú emisie dioxínov. Dioxíny zahrňujú skupinu asi 200 chlórovaných organických zlúčenín, z ktorých je iba malá časť toxická. Vyjadrujú sa v ekvivalentnej koncentrácii (TEQ) najtoxickejšej formy 2,3,7,8-tetrachlordibenzodioxin TCDD. Dioxíny vznikajú pri všetkých spaľovacích procesoch za prítomnosti Cl a kyslíku – napríklad v elektrárňach, v cementárňach, pri neriadenom spaľovaní na záhradkách, pri fajčení cigariet, ale tiež pri sopečnej činnosti alebo pri lesných požiaroch. O skutočnom podiele spaľovní svedčí údaj švajčiarskeho ministerstva životného prostredia: v roku 2000 boli celkové emisie zo spaľovní 16 g dioxínov (TEQ), zatiaľ čo z nekontrolovateľného spaľovania v domácnostiach sa emitovalo 27 – 30 g. Nemecké Ministerstvo životného prostredia vypočítalo, že v ovzduší v Nemecku by bolo minimálne o 3 tony arzénu a 5 000 ton popolčeka viac, keby energiu, ktorú dnes vyrábajú zariadenia „Waste to Energy“, musela byť vyrobená v bežných elektrárňach. Moderné spaľovne spaľujú odpady pri oveľa vyšších teplotách, pri ktorých sú dioxíny zničené. Napríklad, moderná spaľovňa komunálneho odpadu, ktorá môže spaľovať aj odpad z automobilového priemyslu a ktorá spracováva 1 milión ton odpadov za prísnych podmienok, ktoré sa kontrolujú, vypúšťa do ovzdušia iba 0,54 gramov dioxínov. EPA uviedla vo svojej správe (v roku 2001), že 60 000 ton odpadov spálených nelegálne v domácnostiach vyprodukovalo 18 gramov dioxínov. Tepelné zhodnotenie odpadov a ďalších produktov vyrobených z obnoviteľných surovín je možné považovať za neutrálne, pokiaľ ide o tvorbu CO2. Pri priemernej výhrevnosti možno z 1 tony odpadu získať 1750 kWh využiteľnej energie. To je ekvivalentné k 250 kg vykurovacieho oleja. V roku 2000 zverejnila komisia pre výskum príčiny rakoviny (Commission of Carcinogenity) správu, ktorej predmetom boli ochorenia rakovinou v okolí zariadení na spaľovanie odpadov vo Veľkej Británii. Správa dospela k záveru, že „potenciálne riziko“ rakoviny, ktoré by mohlo byť zapríčinené blízkosťou zariadení na spaľovanie odpadov, je mimoriadne nízke a ani za pomoci najmodernejších techník nie je merateľné [11].

8.5.3 Základné druhy spaľovacích zariadení na zneškodňovanie odpadov

Spaľovňa so spaľovacím roštom

Spaľovňa so spaľovacím roštom pracuje v nepretržitej prevádzke. Navezený komunálny a priemyselný odpad sa najprv mieša, následne stláča hydraulickým lisom a potom postupuje do spaľovacej pece, kde je zapálený plynovými horákmi. Odpad, vzhľadom na svoje zloženie, horí ďalej sám pri teplote minimálne 850 °C a postupuje roštom až do úplného vyhorenia. Po spálení vznikne troska, ktorá predstavuje okolo 220 kg na 1

tonu spáleného odpadu a čo je veľká výhoda, len 10 % spáleného objemu. Vzniknutá troska sa očistí od feromagnetických materiálov a následne sa zmiešava s cementom a vodou – vzniká troskový betón. Troskový betón sa vozí na skládku, kde sa z neho vytvára ochranný val, ktorý po vytvrdnutí utesňuje skládku smerom navonok a bráni prenikaniu škodlivín do pôdy [11].



Obr. 8.6 Spaľovňa so spaľovacím roštom [11]

Technologický postup spaľovania odpadov v roštovej peci

Vozidlo privážajúce odpad prechádza mostovou váhou, kde je evidované množstvo a druh odpadu. Po odchode z váhy prichádza vozidlo na násypnú plošinu. Nakladač presunie odpad do zásobníka odpadu, kde ho obsluha žeriavu homogenizuje. Na rovnomerné dávkovanie odpadu do kotla slúži podávacie zariadenie umiestnené pod násypnou šachtou. Podávací stôl sa pohybuje na kladkách, po koľajniciach. Odpady sú vytláčané na 1. valec pri pohybe vpred. Zásoba odpadov v plnej šachte slúži ako tesnenie voči okolitému prostrediu. Valcové rošty slúžiace na plynulé podávanie odpadu sú umiestnene stupňovito pod uhlom 30°. Na prvých dvoch valcoch je pásmo sušenia, zapaľovania a rozhorievania, na ďalších dvoch valcoch je pásmo intenzívneho spaľovania, piaty valec slúži ako dohorievaci a šiesty ako chladiaci. Každý valec je zabezpečený plynule regulovateľným pohonom, aby otáčky boli prispôsobené priebehu horenia. Priebeh spaľovania ovplyvňujú fyzikálne a chemické vlastnosti odpadu (obsah vody a horľavín). Palivo – odpad je schopné samostatného horenia iba v prípade, ak obsahuje dostatočný podiel horľavín. Pri vysokom podiele vody a popola, odpad nie je schopný samostatného horenia. Preto je treba privádzať podporné stabilizačné palivo. V tomto prípade sa používa zemný plyn. Používa sa pri nábehu na zapálenie odpadu

potom na udržovanie plameňa v kúrenisku. V palivovom lôžku prebieha sušenie a ohrievanie na zápalnú teplotu. Najskôr sa zapaľujú drobné čiastočky, ktoré vytvárajú zápalné hniezda a nakoniec začína horenie tuhých časti odpadu. Sušenie, splyňovanie a horenie sa urýchľuje stálym presypávaním a miešaním na valcoch. Vzhľadom na potrebu udržiavať spaľovanie v oxidačnej atmosfére privádza sa do spaľovacieho priestoru 2,5 – násobné množstvo vzduchu [11].
Teplo potrebné na zapálenie odpadu sa dodáva:

- z horákov,
- sálaním z klenby a bočných stien spaľovacej komory,
- sálaním z ohniska.

Dobré vyhorenie je podmienené dostatočnou teplotou spaľovania, ktorá sa má pohybovať v rozmedzí 500 – 1150 °C.
Pri spaľovaní odpadov sa najčastejšie používajú tieto druhy roštov: posuvné rošty – vertikálne alebo šikmé, valcové rošty, rotačné pece – priemyselný odpad.
Riadenie procesu prívodu vzduchu sa deje pomocou snímačov umiestnených v spaľovacej komore a tie následne dávajú impulz škrtiacim orgánom prívodu vzduchu do jednotlivých zón. Týmto procesom je zaručený optimálny stupeň vyhorenia a zároveň je zabránené nadmernému ochladzovaniu stien komory prívodom nadmerného množstva vzduchu, ktorý sa nezúčastňuje na spaľovaní.

Roštové pece sa delia na:

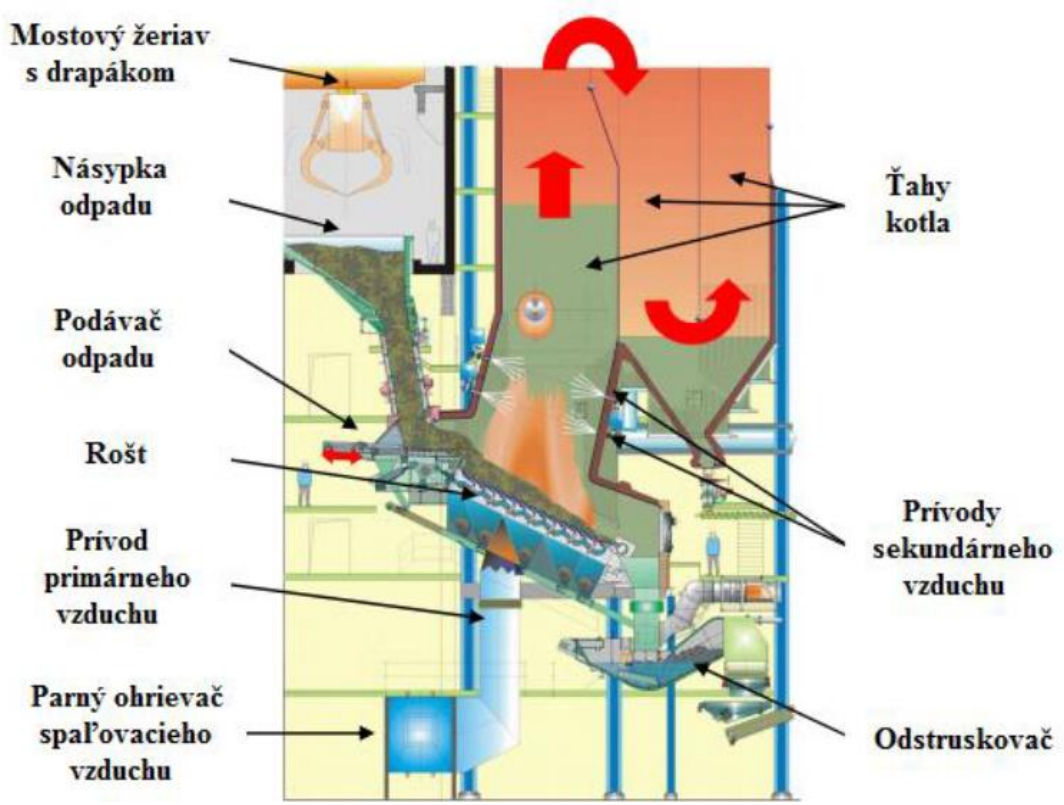
- pece s pevnými roštmi,
- pece s pohyblivými roštmi:
- pásové rošty; posuvné rošty; otočné rošty a valcové rošty.

Etážové pece – v každej etáži sú otočné ramená so zhŕňačom, ktorý zabezpečuje kruhový pohyb odpadu. Zhŕňače sú inštalované tak, aby sa odpady, ktoré sú v jednej etáži zhŕňané k obvodu a v ďalšej etáži ku stredu, prepadávajú do spodnej etáže otvorom v segmente. Spaľovací vzduch sa pohybuje rovnomerne s povrchom odpadov. Výška etáži býva 60 – 80 cm, preto sa odpad pred dávkovaním do zariadenia drví na menšiu frakciu [11].

Fluidná pec – je charakterizovaná veľmi vysokou kapacitou vyhrievania, zabezpečeného fluidizáciou nosného média (piesku) zo spodnej časti pece vháňaním vzduchu. Týmto spôsobom dochádza k lepšiemu prestupu tepla. Pec má valcovitý tvar a odpad pred dávkovaním musí byť rozdrvený a homogenizovaný. Spaľovne s fluidnými lôžkami sú používané na spaľovanie rozptýleného odpadu, napríklad paliva z odpadov a čistiarenských kalov. Kotle pracujú na princípe spaľovania paliva vo fluidnej vrstve, to znamená, že pevné látky sa udržiavajú vo vznose prúdom tekutiny. Fluidná vrstva tvorí disperzný systém, ktorý sa vytvára prietokom plynu cez vrstvu častíc nasypaných na pórovité dno – fluidný rošt. Fluidnú vrstvu tvorí palivo, odsírovácie aditívum (väčšinou vápenec) a aditívum pre stabilitu vrstvy (inertný materiál – piesok alebo popol). Výhody fluidného spaľovania spočívajú v tom, že je možnosť dávkovania vápenca do kotla, za účelom odsírenia spalín (účinnosť 40 – 95

%) – fluidné kotle nepotrebujú vybudované odsírovacie zariadenie za kotlom; nízke teploty vo fluidnej vrstve a odstupňovaný prívod vzduchu do ohniska – redukcia NO_x v spalinách; vo fluidných kotloch možno spaľovať aj menej hodnotné palivá a odpady s veľmi nízkou výhrevnosťou; spaľovanie prebieha s vyšším zaťažením roštovej plochy oproti klasickým roštovým kotlom – menšie rozmery roštu; nižšia komínová strata vďaka nižšej teplote odsírených spalín na konci kotla (v dôsledku nižšieho rosného bodu). Účinnosť kotlov býva pri menovitých parametroch 92 – 94 % [11].

Muflové a šachtové pece



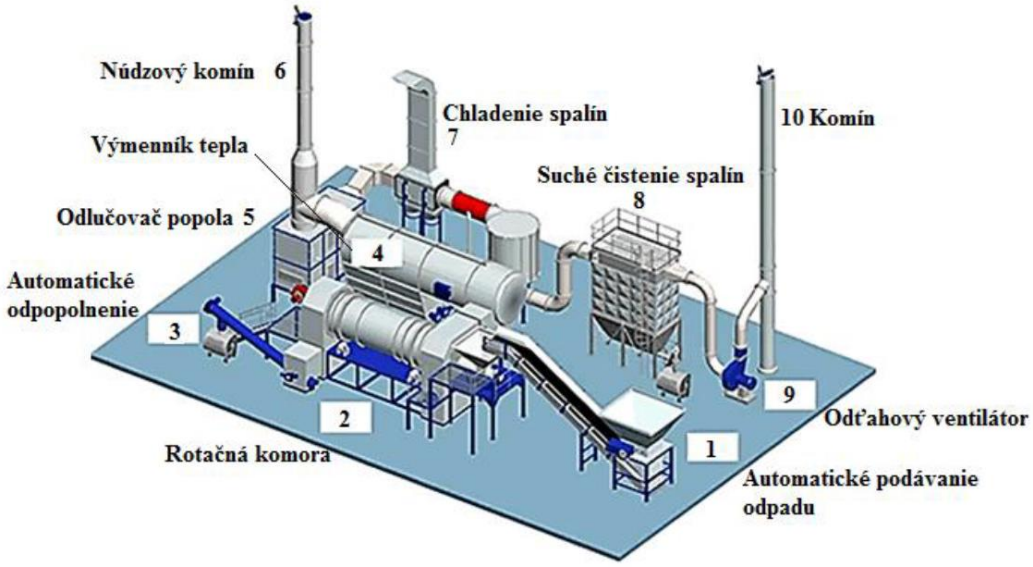
Obr. 8.7 Schéma kotla s príslušenstvom [11]

Muflovou pecou sa rozumie spaľovanie bez roštu. Uvedená pec je vhodná pre spaľovanie niektorých priemyselných odpadov, ktoré menia počas spaľovania svoje skupenstvo, napríklad plasty, ktoré pôsobením vysokých teplôt prechádzajú z tuhého skupenstva na kvapalné a plynné. Šachtové pece sú používané v mnohých priemyselných a najmä hutníckych prevádzkach. Vsádzka klesá šachtou dole proti stúpajúcim spalinám a vzduchu (protiprúdový princíp).

Spaľovne s rotačnou pecou

Spaľovne s rotačnou pecou pracujú pri teplote približne 1200 °C. Odpad vstupuje na jednej strane do rotačnej pece a postupným premiešavaným a úplným spaľovaním vystupuje na druhej strane popol, ktorý je transportovaný do zberného kontajnera. Výhodou spaľovne s rotačnou pecou okrem nepretržitej prevádzky je, že môže súčasne spaľovať tuhý a tekutý odpad ako aj vedľajšie živočíšne produkty. Rotačné ohnisko

pracuje priebežne v kombinácii s podávacím a zavážacím zariadením. Systém ohniska je jednoduchou, robustnou konštrukciou, skladá sa z vymurovaného oceľového plášťa, hnacej a ložiskovej konštrukcie a tiež z krúžkov, vodiacich a prítlačných kladiek a z ozubeného venca. Odpady a spaľovací vzduch sú privádzané čelnou stenou do rotačného ohniska. Vplyvom akumulovaného tepla ohňovzdornej výmurovky dochádza k veľmi intenzívnemu sálaniu ohniska na odpady. Na základe prirodzeného priebehu spaľovania je rotačné ohnisko rozdelené na pásmo sušenia, odplynenia, na vlastné spaľovacie pásmo a pásmo dohorievania. Bezprostredne po sušení dôjde k nízkoteplotnej karbonizácii a k zapáleniu materiálu. V predných pásmach je teplota o niečo nižšia ako v ostatných častiach zariadenia na tepelné spracovanie odpadu [11].



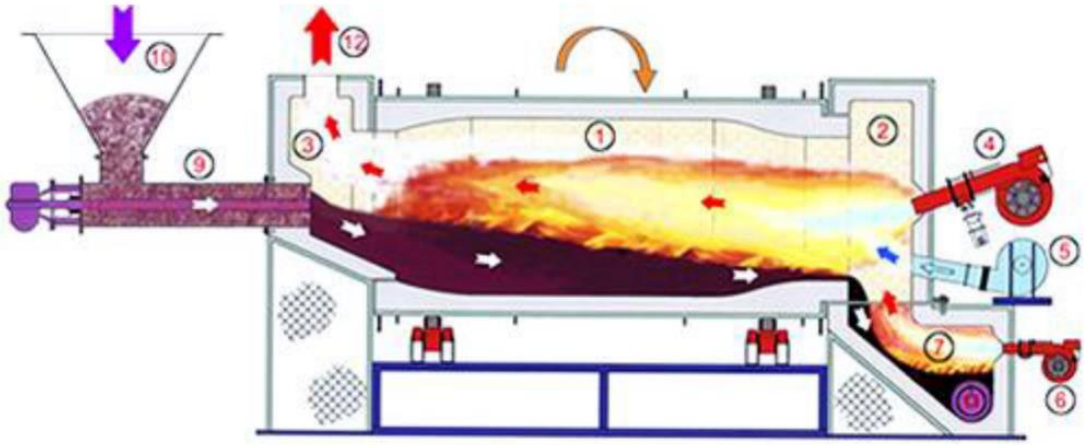
Obr. 8.8 Spaľovňa s rotačnou pecou [11]

Rotačné pece v cementárňach môžu spaľovať odpad po jeho úprave a znalosti jeho chemického zloženia. Skúsenosti ukazujú, že prírodné palivá je možné nahradiť odpadom až do 65 %. Počas ustálenej prevádzky možno spaľovať, tzv. druhotné palivá, t.j. odpady, ak majú taký energetický potenciál, ktorý umožní dosiahnuť teploty 1800 – 2000 °C v hlavnom horáku. Náhradné palivá môžu obsahovať aj látky využiteľné pri výrobe slinku, avšak niektoré sú neprijateľné (odpady s vysokým obsahom chlóru a ortuti).

Pre úspešné zneškodňovanie odpadov v cementárskych peciach je potrebné dodržať nasledovné podmienky:

- poznať zloženie odpadu,
- odpad dávkovať do najvýhodnejšieho miesta technologického procesu,
- dodržať stabilné podmienky výrobnej technológie.

Pri spracovaní odpadov v cementárenských rotačných peciach nedochádza k tvorbe druhotných odpadov, preto ich môžeme klasifikovať ako bezodpadové, zvyškové produkty po spaľovaní sú použité v cementových zmesiach.



Obr. 8.9 Popis princípu činnosti rotačnej pece

Popis princípu činnosti rotačnej pece:
1 – hlavná komora, 2 – predná spaľovacia komora, 3 – zadná spaľovacia komora, 4 – hlavný horák, 5 – prívod primárneho vzduchu, 6 – horák dohorievacej komory, 7 – dohorievaca komora, 8 – pohon rotačnej pece, 9 – podávanie odpadu, 10 – prísun odpadu, 11 – prívod vzduchu v dohorievacej komore. [11]

Odpady spracovávané v cementárenských peciach môžu nahrádzať suroviny aj palivá súčasne. Dávkovanie odpadov môže byť vykonávané 3 cestami. Pridávaním k surovinám sa zneškodňujú takmer výlučne odpady, ktoré suroviny súčasne nahrádzajú. Do chladnejšej časti pece, kde je teplota hmoty približne 950 °C a v plynnej fáze dosahuje asi 1150 °C môžu byť cez dvojitý uzáver pridávané také odpady, ktoré potrebujú na zneškodnenie okamžite vyššiu teplotu alebo sú zdrojmi užitočného tepla pre daný moment technologickej prevádzky. Odpady sa tu dávkujú balené vo vreciach. Tretia cesta dávkovania odpadu do pece je buď cez jestvujúce horáky, alebo horáky ktoré sa na tento účel špeciálne upravujú. V tomto prípade teplota spaľovania dosahuje 1800 – 2000 °C a doba zdržania škodlivín v plynnej fáze nad teplotou 1200 °C je 5 – 7 sekúnd. V tuhej fáze je približne 2 hodiny. Silné alkalické prostredie pece a výmenníka tepla je zárukou dokonalého vypratia škodlivých kyslých plynov, najmä chlóru a oxidov síry.

8.5.4 Splyňovanie

Po spaľovaní má splyňovanie dlhodobú históriu vývoja, ktorá sa v minulosti najviac preslávila procesom karbonizácie biomasy za účelom získania drevného uhlia. 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

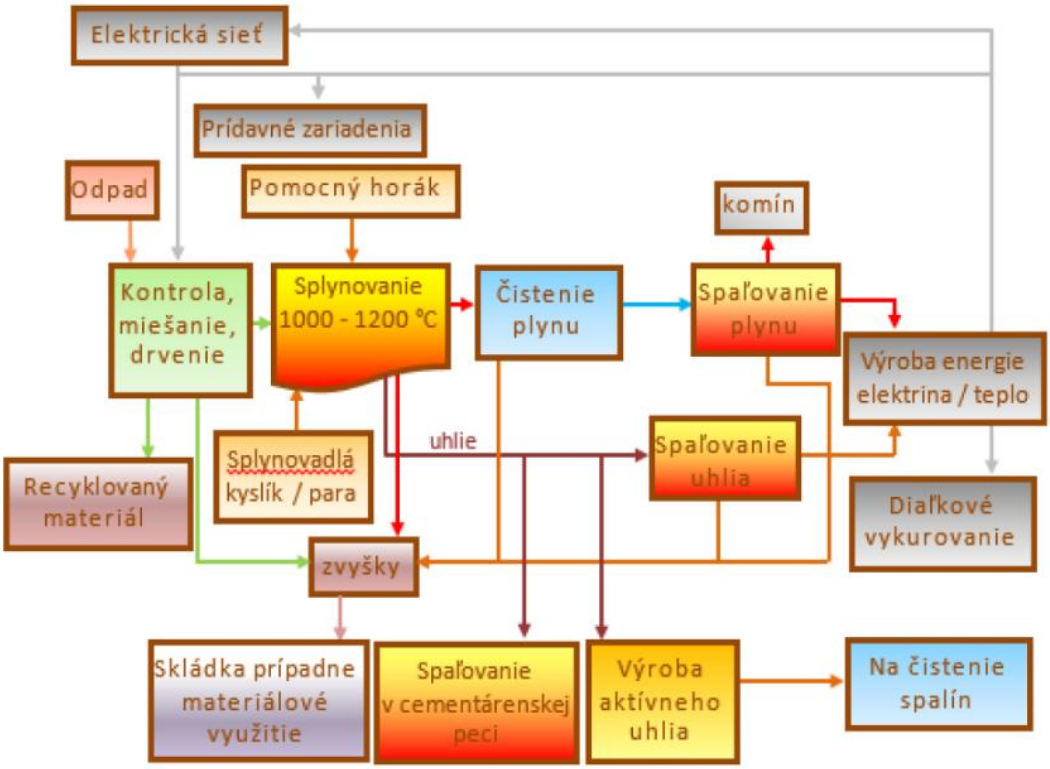
možnosť čiastočného zabezpečenia energetickej potreby spoločnosti splyňovaním menej hodnotných fosílnych palív a odpadov a zvyšovanie energetickej sebestačnosti krajín, nedisponujúcich zásobami kvalitných fosílnych zdrojov. Splyňovanie odpadov je komplexný proces, zahŕňajúci mnohé fyzikálne a chemické 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.



Obr. 8.10 Všeobecná schéma možnosti splyňovania pri energetickom zhodnocovaní odpadov [11]

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.

8.5.5 Splyňovanie odpadov v plazmovej peci

Splyňovanie odpadov v plazmovom reaktore je jeden z nádejných spôsobov energetického zhodnotenia odpadu z automobilového priemyslu, ktorého základom je plazmový oblúk. Plazma označuje ionizovaný stav hmoty a s ním je aj spojená všeobecne prijímaná definícia. Plazmatické skupenstvo vzniká za podmienok čiastočnej alebo úplnej ionizácie plynu v podmienkach kvázi-neutrality a od bežných plynov sa líši najmä nasledujúcimi vlastnosťami:

- chemicky homogénny plyn,

- na rozdiel od plynov je plazma elektricky vodivá,
- má veľkú tepelnú kapacitu a tepelnú vodivosť,
- pri dostatočnej koncentrácii nabitých častí sú vlastnosti plynu podstatne ovplyvnené vzájomnými Coulombovskými silami [2].

Plazma, ako chemicky aktívne médium, sa v závislosti od teploty elektrónov a ťažkých častíc rozdeľuje do dvoch kategórií:

- LTE plazma – plazma s lokálnou termodynamickou rovnováhou – termická plazma,
- non-LTE plazma – plazma bez miestnej termodynamickej rovnováhy – studená plazma.

Principiálne môžeme plazmu generovať viacerými spôsobmi:

- výboj generovaný prostredníctvom zdrojov o malých výkonoch,
- výboj generovaný pomocou krátkych impulzov,
- dielektrický bariérový výboj,
- výboj budený v héliovom prostredí,
- výboj generovaný pri značnom ofukovaní jeho výbojového stĺpca,
- mikrovýboje [2].

8.5.6 Výboje v plynoch

Generátory slabo ionizovanej plazmy, založené na metodike ionizácie plynného média medzi systémom elektród, zvyčajne používajú zdroj jednosmerného prúdu a pracujú na princípe dosiahnutia prierazu medzi elektródami. Pri prieraze sa medzi elektródami rozvinie výboj, ktorého existencia je podmienená tokom elektrického prúdu medzi katódou a anódou. Správanie sa výboja je ovplyvnené nielen zložením a tlakovým parametrom plazmového plynu, ale vo výraznej miere aj tvarom elektród a vlastnosťami zdroja napätia. Poznáme viacero typov výboja v plynnom prostredí:

- tlecí výboj generovaný jednosmerným prúdom,
- korónový výboj,
- rádiofrekvenčný atmosférický tlejivý výboj,
- dielektrický bariérový výboj (objemový, povrchový, alebo difúzny),
- mikrovlnný výboj,
- plazmový oblúkový výboj, tie sa využívajú napr. v oblúkových plazmových horákoch s nezávislým oblúkom, oblúkových plazmových horákoch so závislým oblúkom (spracovanie a zhodnocovanie elektricky dobre vodivých odpadov).

Nízkoteplotná plazma je využívaná aj v priemyselných procesoch, ako napríklad pri zváraní a delení materiálu plazmovým oblúkom, plazmovom naprašovaní, plazmovom leptaní, svietení plazmou, pri úprave textílií pomocou plazmy, pri vytváraní umelých diamantových vrstiev, uplatnenie plazma má aj v medicíne a automobilovom priemysle, potravinárstve, plazmové zobrazovacie jednotky, plazmové iónové pohony a urýchľovače častíc a taktiež v odpadovom hospodárstve [2].

Plazmový plyn (argón, dusík,...) prechádzajúci horákom v elektrickom poli vysokej intenzity je transformovaný na plazmu s teplotou niekoľko tisíc stupňov Celzia. Pri

takejto teplote dochádza k rozkladu vsádzky reaktora na jednoduché plynné a kvapalné zlúčeniny, plynným produktom je vysokohorľavý plyn obsahujúci najmä vodík, oxid uhoľnatý a vodnú paru, bez dioxínov, furánov a NO_x, svojím zložením sa podobá reformovanému plynu, s výhrevnosťou 1/4 až 1/3 zemného plynu, plyn je možné využívať ako palivo v kogeneračných jednotkách a v klasických plynových horákoch. Nesplynené inertné zložky vsádzky odpadu sú roztavené a vytvoria na dne plazmového reaktora trosku, ktorá je odpichnutá, schladená a neskôr je možné využiť ju v stavebníctve. Troska tvorí približne 2 % hmotnosti vsádzky. Výhodou tejto technológie spracovania odpadov z automobilového priemyslu je možnosť splyňovať tuhé aj kvapalné odpady priamo, bez zložitejšej úpravy pred procesom. Pri vysokých teplotách dochádza k dokonalému a vysokoúčinnému rozkladu vsádzky, výsledkom je vysokohorľavý plyn s relatívne malým objemom, ale s vysokým obsahom vodíka a oxidu uhoľnatého [2].

Plazma v odpadovom hospodárstve je využívaná na zmiernenie environmentálnych dopadov priamo a nepriamo súvisiacich s nakladaním, zhodnocovaním a zneškodňovaním tuhého odpadu, hlavne nebezpečného. Technológia plazmového splyňovania a tavenia, využívaná hlavne v metalurgických procesoch a pri syntéze materiálov, sa vo vyspelých krajinách sveta používa tiež na zneškodňovanie nebezpečného odpadu. Spracovanie odpadu v plazmovom reaktore predstavuje komplexný proces, zahŕňajúci početné fyzikálne a chemické interakcie, pri teplote vyššej ako 1000 °C. Použitie plazmy v odpadovom hospodárstve má jedinečné výhody oproti tradičným spôsobom zhodnocovania odpadu:

- vysoká teplota plazmového oblúkového výboja (možnosť termického spracovania odpadu pri teplote niekoľko tisíc °C),
- rýchly ohrev častíc v dôsledku výmeny tepla medzi časticou a prúdom plazmy,
- rýchly rozpad časti odpadu s explozívnym uvoľnením prchavých látok,
- ultrafialové žiarenie, emitované zo slabo ionizovanej plazmy zabezpečuje rozklad halogénových uhľovodíkov,
- širokospektrálne využitie,
- výstupné produkty z procesu spracovania sú pri dodržaní technologických postupov predvídateľné a prijateľné k životnému prostrediu,
- využitie odpadu ako zdroja energie.

V súčasnosti je plazmová technológia využívaná hlavne pri zneškodňovaní týchto odpadov:

- vitrifikácia popolčeka,
- odpady obsahujúce azbest,
- zdravotnícky odpad,
- odpad z hutníckeho priemyslu.

Prvá technológia využívajúca plazmu bola vyvinutá nemeckým vynálezcom E.W. Siemensom. Na základe teoretických znalostí a experimentálnych výsledkov v oblasti nízkoteplotnej plazmy sa dnes konštruujú plazmové reaktory, ktoré pracujú s vysokou účinnosťou. Existuje veľký počet rôznych konštrukcií plazmových horákov, ktoré sú zdrojmi nízkoteplotnej plazmy. Najčastejšie sú to typy:

- Plasmadust Process (Švédsko) – pôvodne bola technológia vyvinutá pre spracovanie úletov vznikajúcich pri výrobe ocele v elektrických oblúkových peciach, neskôr modifikovaná aj na spracovanie úletov z výrob nerezových ocelí a v súčasnosti slúži aj na zneškodňovanie komunálneho a priemyselného odpadu,
- Westinghouse Plasma – fired cupola Process – technológia bola navrhnutá na tavenie menej hodnotného železného šrotu a následne bola modifikovaná na zneškodňovanie odpadov tavením a splyňovaním,
- RCL´S Plasma Gasification Process – technológia vyvinutá na zneškodňovanie nebezpečných odpadov,
- Startech´s Plasma Waste Converter (PWCTM) Technology – technológia priamo vyvinutá na zneškodňovanie odpadov,
- Thermal Destruction and Recovery (TDR) Process – technológia slúži najmä na zneškodňovanie plastov,
- Plasma Arc Centrifugal Treatment (PACT) Process – technológia na plazmové splyňovanie a tavenie organických a anorganických odpadov, bez využitia energetického obsahu odpadu,
- Davy McKee Technology – technológia sa využíva na tavenie jemnozrnných odpadov vznikajúcich v oceliarenskom priemysle,
- Tetronic Plasma System (TPS) – technológia slúži najmä na zneškodňovanie automobilových katalyzátorov, ako aj iných jemnozrnných materiálov vznikajúcich pri výrobe ocele,
- Linde Plasmarc Furnace – technológia slúži na tavenie jemnozrnných oceliarskych odpadov,
- Plasminox Process – technológia bola vyvinutá na spracovanie úletov vznikajúcich pri výrobe nehrdzavejúcej ocele,
- MINTEK Process – experimentálny plazmový reaktor,
- Canham and Aurich Plasma Technology – technológia na spracovanie opotrebovaných katalyzátorov, používaných v ropnom a chemickom priemysle.

Ako bolo naznačené, plazmových technológií na spracovanie odpadu komunálneho a priemyselného je na trhu dostatok a technológie dosahujú vysokú účinnosť.

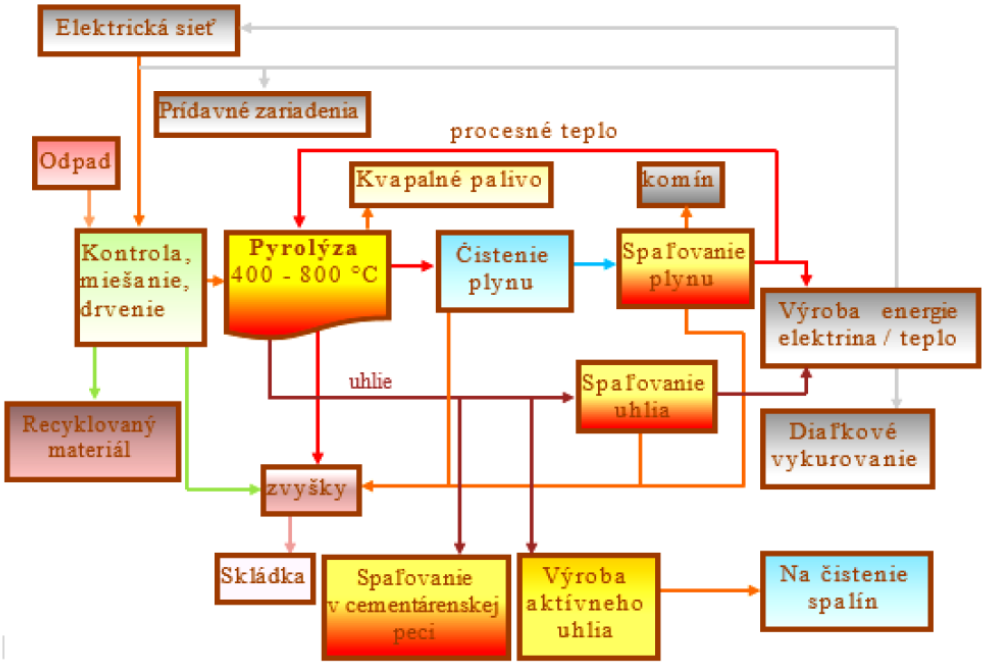
8.5.7 Pyrolýza

Využitie pyrolýzy pri energetickom zhodnocovaní odpadových plastov je jeden z najvýhodnejších spôsobov. Pyrolýza je tepelné spracovanie odpadových látok v pyrolýznej peci, alebo reaktore prie 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

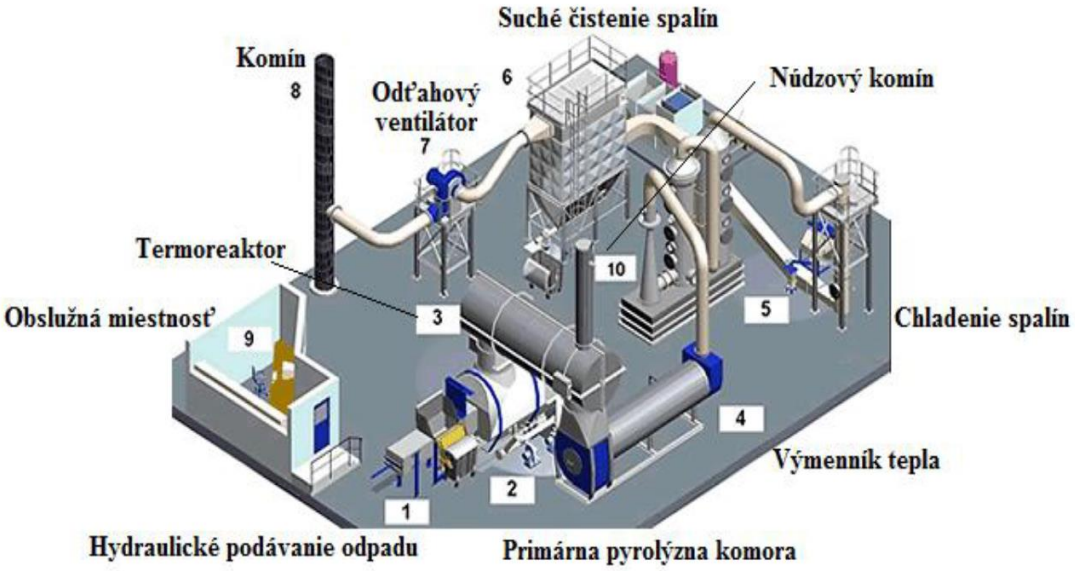
plastových odpadov. Proces pyrolýzneho spracovania plastov spočíva v skvapalnení, pyrolýze a katalytickom rozštiepení plastov, pri ktorom sú odpadové plasty premenené na kvapalné uhľovodíky vhodné ako palivo (plasty sú pretvorené na „pôvodný“ materiál). Týmto spôsobom je možné spracovať takmer všetky 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 [11].
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.

Komorová pyrolýzna spaľovňa, a priebeh spracovania odpadu: odpad je zo zberného kontajnera (300 – 1000 l) vysypaný do násypnej komory spaľovacieho zariadenia pomocou hydraulického zariadenia, odkiaľ je hydraulickým piestom tlačený do primárnej spaľovacej komory. Pomocou štartovacích horákov (plynových alebo naftových) sa odpad zapáli a horí pri teplote max. 750 °C. Horľavé plyny pokračujú do predhriateho termoreaktora, kde horia pri teplote 1200 °C a zdržaní približne 2 sekundy, čím je zabezpečené dokonalé spálenie všetkých toxických látok. Horúce spaliny pokračujú cez tepelný výmenník do čistiaceho zariadenia spalín, kde sa chemicky odlučujú zvyšné nečistoty obsiahnuté v spalinách. Vyčistené spaliny pokračujú do

komína. Po ukončení pyrolýzneho cyklu (na približne 8 – 12 hod.) a vychladnutí primárnej komory je popol vysypaný do zberného kontajnera [11].



Obr. 8.11 Všeobecná schéma možnosti pyrolýzy pri energetickom zhodnocovaní odpadov [11]



Obr. 8.12 Komorová pyrolýzna spaľovňa [11]

8.6 Očakávaný vývoj v oblasti energetického zhodnocovania odpadov z automobilov po dobe životnosti

Neustály nárast počtu evidovaných automobilov, ale aj sprísňujúca sa legislatíva o prevádzke a emisných limitoch bude produkovať stále väčší počet automobilov po dobe životnosti. Tieto automobily je nutné ekologicky spracovať a nevyužiteľný odpad minimalizovať, čo povedie k zvýšenému tlaku na spracovateľské prevádzky nielen z pohľadu spracovateľskej kapacity, ale aj z pohľadu zavádzania nových technológií spracovania. Do úvahy je potrebné brať aj vývoj v oblasti materiálov a konštrukcie automobilov, o desať rokov budú autá zrejme z úplne iných materiálov ako sú dnes. V oblastí nových konštrukčných materiálov sa využívajú nové hybridné materiály (oceľ – plast, oceľ – hliník – horčík, hliník – plast, oceľ – keramické materiály,...), pri ktorých je súčasne s vývojom, nutné uvažovať aj o recyklácii po dobe životnosti. Do popredia sa dostávajú polyméry, v posledných rokoch sa stali veľmi dôležitým materiálom v automobilovom priemysle. Dôvodom nárastu aplikácie polymérov v konštrukcii automobilov je ich nižšia hmotnosť, v porovnaní s kovmi, umožňujúca úsporu paliva, nízka cena plastov znižujúca výrobné náklady, ako aj výhodné vlastnosti vedúce častokrát ku zvýšeniu bezpečnosti. Aplikácia plastov bude v konštrukcii automobilov v budúcnosti spojená pravdepodobne s využitím nových typov konštrukčných plastov, rozšírením využívania termoplastických elastomérov, prípravou a aplikáciou nových typov kompozitných materiálov vystužených uhlíkovými vláknami, využívaním hybridných materiálov, aplikáciou inteligentných plastov a inteligentných textilných materiálov, navrhovaním dielcov z biodegradovateľných plastov, plastov vyrobených z obnoviteľných zdrojov, ako aj kompozitov s prírodnými výstužnými vláknami.

Pre environmentálnu a ekonomickú optimalizáciu recyklačných systémov je potrebné prispôsobiť konštruovanie výrobkov celému životnému cyklu, znižovať environmentálne dopady a obmedzovať čerpanie pôvodných prírodných zdrojov. Hneď na začiatku procesu výroby je dôležité brať do úvahy z akých materiálov bude automobil vyrábaný, aby sme sa vyhli situácii, ktorá by mohla byť z pohľadu odpadu z automobilov po dobe životnosti neudržateľná. Takýto nový dizajnový koncept pre udržateľný vývoj automobilového priemyslu sa nazýva „Design for Recycling“ (DFR) resp. „Recycling Oriented Design“ (ROD), ktorý starostlivo vyhodnocuje výber materiálov a surovín z pohľadu recyklácie, demontáže, ktorá nastane po dobe životnosti automobilu. Pre jednoduchšiu recykláciu z konštrukčného hľadiska používať buď iba jeden materiál, alebo aspoň redukovať materiálovú rôznorodosť. Čím je recyklovaný materiál nesúrodejší, tým je následné spracovanie ťažšie, finančne náročnejšie a nevyužiteľný odpad väčší. Ideálnym riešením je obmedziť tieto odpady preventívnym prístupom a to od koncepcie až po konečnú podobu vozidla, aby sa zabezpečilo zníženie a kontrola nebezpečných nerecyklovateľných látok. Aj energetické zhodnocovanie takýchto odpadov je technologicky jednoduchšie.

Pre energetické zhodnocovanie odpadov z automobilového priemyslu v SR sa javí do budúcnosti ako technologicky najjednoduchšie a najvýhodnejšie využitie spoluspaľovania s iným palivom, to platí najmä pre tuhé palivá. V súčasnej dobe postupného útlmu ťažby a použitia uhlia je tento prístup nanajvýš vhodný, najmä pre

teplárne a výhrevne (centrálne zdroje tepla). Ustúpením od použitia uhlia ako paliva nie je veľa možností ako ho nahradiť. Prechod všetkých teplární a výhrevní na biomasu alebo iný „zelený zdroj“ nie je možný, prechod teplární na zemný plyn by znamenal nárast ceny tepla pre konečného spotrebiteľa, preto prechod na spoluspaľovanie odpadu s plynným palivom alebo biomasou je riešením tejto situácie. Všetky v súčasnosti prevádzkované veľké zdroje tepla na tuhé palivo sú vybavené technológiou spracovania spalín na vysokej úrovni, s online monitorovaním a kontrolou a sú schopné eliminovať nežiadúce emisie, ktoré môžu vznikať pri spoluspaľovaní odpadu. Preto je veľmi žiadúce venovať sa spoluspaľovaniu odpadov a výskumu v oblasti výroby tuhého alternatívneho paliva z odpadu.

Druhou perspektívnou cestou využitia odpadu z automobilového priemyslu je jeho splyňovanie za prítomnosti katalyzátora, najmä plastov na báze polyolefínov (polyalkénov) a polypropylénov. Po splyňovaní dochádza k ochladeniu fluidnej zmesi nasýtených uhľovodíkov a začne prebiehať proces frakčnej destilácie – oddeľovania jednotlivých ropných frakcií, čím sa plasty premenia na základnú kvapalnú surovinu a neskvapalniteľné zložky tvoria syntézny plyn. Výsledný kvapalný produkt zodpovedá frakčným zložením ľahkému vykurovaciemu oleju, motorovej nafte a voskom. Tieto výsledné produkty môžu byť použité buď priamo ako palivo alebo ako vstupná surovina pre petrochemický priemysel.

Každé energetické zhodnotenie odpadov z automobilového priemyslu by malo smerovať ku kogeneračnej výrobe tepla a elektrickej energie, čím by sa znížila energetická náročnosť procesu recyklácie automobilov po dobe životnosti.

8.7 Ciele energetického zhodnocovania odpadov z automobilového priemyslu

Ako ukázal teoretický rozbor súčasného stavu, spracovanie automobilov po dobe životnosti produkuje odpad, ktorý je možné recyklovať alebo energeticky využiť. Z procesu recyklácie sú získavané železné a neželezné kovy, ktoré sú významným zdrojom druhotných surovín, sklo, ktoré je možné opäť roztaviť a opätovne použiť, plasty a iný materiál (papier, koža, textil,...), ktorý je možné zhodnocovať a recyklovať, prípadne využiť jeho energetický potenciál v termálnom procese. Podľa druhu odpadu, ktorý je určený na energetické zhodnotenie, je potrebné zvoliť vhodný spôsob a technológiu termálnej premeny.

Pre dosiahnutie stanovených cieľov v tejto etape projektu sme doposiaľ zrealizovali tieto kroky:

- naštudovanie dostupnej relevantnej literatúry a zákonov,
- príprava laboratórnych meracích prístrojov – servis, kalibrácia a pod.,
- vypracovanie vstupnej analýzy environmentálnych dopadov spaľovania plastového odpadu,
- návrh ďalšieho smerovania a určenie cieľov projektu v oblasti energetického zhodnocovania odpadov z automobilového priemyslu.

Pre energetické zhodnotenie prevádzkových kvapalín a mazacích tukov po procese vysušovania autovraku sú použiteľné technológie regenerácie odpadových olejov, alebo

ich využívanie na energetické účely (či už vo forme ich priameho spaľovania, alebo modifikovania a následnej výroby syntetickej náhrady konvenčného paliva). Spaľovanie môže v technológiách nahradiť zdroje konvenčného paliva. Spaľovanie je možné v cementárenských peciach alebo horákoch. Pre dokonalé nastavenie spaľovacieho procesu je nevyhnutné poznať fyzikálno-chemické vlastnosti spaľovaného kvapalného paliva, z ktorých vyplývajú spôsoby spaľovania, množstvo spaľovacieho vzduchu, výhrevnosť palivovej zmesi, produkcia plynných emisií a TZL a pod. Kvapalné palivá je možné spaľovať v horákoch na vykurovací olej, ktoré je nutné upraviť, aby boli schopné pracovať s konkrétnym palivom efektívne a s čo najnižšími emisiami. Pre energetické zhodnotenie kvapalných odpadov z automobilového priemyslu sú vhodné odparovacie a rotačné horáky, ako aj horáky rozprašovacie (s tvorbou palivovej zmesi pomocou stlačeného vzduchu alebo rozprašovaním stačeného paliva cez palivovú dýzu). Vhodnosť zvoleného riešenia konštrukčného návrhu modifikovaného olejového horáka bude overená experimentálnymi meraniami výkonových a prevádzkových parametrov (účinnosti, emisie, teploty a pod.). So spaľovaním alternatívnych a nekonvenčných kvapalných palív má riešiteľský kolektív dostatočné skúsenosti, zaoberali sme sa viacerými projektami ich využitia v oblasti energetiky a dopravy.

Pre energetické zhodnotenie tuhých látok z procesu spracovania automobilov po dobe životnosti (plasty, papier, koža a pod.) je vhodné buď priame spaľovanie alebo spoluspaľovanie s iným palivom (vytvorenie zmesi konvenčného paliva a tuhého odpadu – tuhé alternatívne palivo TAP), prípadne splyňovanie, pyrolýza, alebo splyňovanie v plazmovom reaktore. Pre výber správneho spôsobu energetického zhodnotenia tuhého odpadu je nevyhnuté poznať jeho materiálovú skladbu, fyzikálno-chemické vlastnosti jednotlivých zložiek, z nich potom vyplynú chemické reakcie pri termálnom využití, vznik produktov a medziproduktov termálneho rozkladu. Pre priame spaľovanie, ako technologicky najjednoduchší proces, alebo spaľovanie vytvoreného TAP je nevyhnutné upraviť spaľovacie zariadenie tak, aby bolo zabezpečené ekonomicky a ekologicky efektívne využitie paliva. Tvorba TAP je závislá na materiálovom zložení odpadu, jeho fyzikálno-chemických vlastnostiach (frakcia, homogenita a pod.) a na vlastnostiach konvenčného paliva, s ktorým bude TAP vytvárané. Je nutné overiť viaceré kombinácie dvojíc odpad – konvenčné palivo. Vhodnosť zvoleného riešenia bude overená experimentálnymi meraniami výkonových a prevádzkových parametrov (účinnosti, emisie, teploty a pod.). Využívanie TAP je výhodné nielen z pohľadu spracovania odpadu, ale aj z pohľadu náhrady časti konvenčného paliva, napr. uhlia, v zdrojoch tepla, napr. v teplárňach. Riešiteľský kolektív má dostatočné skúsenosti s použitím TAPu, zaoberali sme sa viacerými projektami s jeho využitím pre spoločnosť Žilinská teplárenská, a.s., kde je využitie TAP obzvlášť výhodné, pretože v teplárni je ako palivo používané uhlie so zemným plynom ako podporným palivom (podporné palivo dokáže stabilizovať horenie TAPu aj nižšej kvality) a technológia spracovania spalín v teplárni je na veľmi vysokej a modernej úrovni. Návrh optimálneho spôsobu energetického zhodnotenia tuhého odpadu z recyklácie autovrakov bude založený na technológii spaľovania, splyňovania, pyrolýze, prípadne splyňovania v plazmovom reaktore.

Pre dosiahnutie stanovených cieľov je potrebné:

- nadviazanie spolupráce so spracovateľmi vyradených automobilov a spracovateľmi jednotlivých komodít,
- presne určiť druhy odpadov vhodné pre energetické zhodnotenie,
- poznať presné materiálové zloženie zmesí odpadových látok, množstevné zastúpenie jednotlivých zložiek v zmesi, ktoré sú určené na energetické zhodnotenie – odoberanie vzoriek zo spracovateľských prevádzok, ich analýza a pod.,
- poznať presné chemické a fyzikálne vlastnosti jednotlivých zložiek, ktoré sú určené na energetické zhodnotenie (výhrevnosť, spalné teplo, vlhkosť, chemické zloženie, charakteristické teploty spaľovania – zápalná, samovznietenia,...),
- zistenie reálnych teplôt počas spaľovacieho procesu, množstvo a zloženie spalín, množstvo popola a jeho vlastnosti – charakteristické teploty, chemické zloženie popola a granulometriu a pod.,
- chemicky popísať celý spaľovací proces s tvorbou medziproduktov a konečných produktov spaľovania a navrhnúť spôsob úpravy spalín a zneškodňovania zvyškov po spaľovaní,
- návštevou vybraných spracovateľských prevádzok v SR a okolitých štátoch získať informácie o „správnej praxi“ v oblasti spracovania automobilov po dobe životnosti a o spôsobe energetického zhodnocovania odpadu z automobilového priemyslu.

Po experimentálnom získaní vyššie spomenutých vlastností budúceho paliva je nevyhnutné navrhnúť optimálny spôsob energetického zhodnotenia pre kvapalné a tuhé palivo, navrhnúť konštrukciu daných zariadení, postaviť ich a experimentálne overiť predpokladané výkonové a prevádzkové parametre. Optimalizovať jednotlivé kroky spôsobu získavania a úpravy jednotlivých typov palív, napr. navrhnúť spôsob prípravy odpadu pre TAP, jeho spracovanie a miešanie s rôznymi druhmi konvenčných palív. Optimalizačnými krokmi optimalizovať celý technologický proces od získavania paliva, jeho úpravy, energetického zhodnotenia až po úpravu spalín a zvyškov po spaľovaní, pre dosiahnutie ekologickej a ekonomickej prevádzky. Predpokladáme aj optimalizáciu samotných navrhnutých spaľovacích zariadení na základe najmodernejších metód experimentov a počítačových simulácií.

Riešiteľský tím zo Žilinskej univerzity má dostatočnú kapacitu, dostatočné skúsenosti s navrhovaním energetických procesov a experimentálnymi meraniami v danej oblasti, pre dosiahnutie stanovených cieľov má pre experimentálnu časť výskumu k dispozícii najmodernejšiu meraciu techniku:

- ICP spektrometer s optickou spektrometriou (ThermoScientific ICP) – je navrhnutý pre hodnotenie kvantitatívneho chemického zloženia kvapalín. Je možné vykonávať chemickú analýzu prakticky akéhokoľvek materiálu po jeho rozpustení vo vhodnom rozpúšťadle.
- Mikrovlnný rozkladný systém pre prípravu vzoriek na spektrometrickú analýzu (CEM Mars 6) – rozkladný systém umožňuje prípravu organických a anorganických tekutých vzoriek pre následnú analýzu pomocou ICP

spektrometra umožňujúcu presnú detekciu chemického zloženia testovaných vzoriek.

- Analyzátor C-H-N-O-S (ThermoScientific FLASH 2000 CHNS/O) – zariadenie špeciálne určené pre analýzu ľahkých prvkov a to uhlíka, vodíka, dusíka, síry a kyslíka. Analýza funguje na princípe spaľovania práškových vzoriek pri vysokých teplotách tzn., že kompaktnú vzorku je potrebné pred analýzou dostať do práškového stavu.
- Energiovo-disperzný röntgen-fluorescenčný spektrometer (ThermoScientific QuantiX EDXRF) – slúži na určovanie chemického zloženia materiálov na základe röntgenovej fluorescencie, nepoškodzuje povrch materiálu.
- Zariadenie na termickú analýzu TG, DTA, DSC (Linseis STA PT1600) - využíva techniku simultánnej termickej analýzy, pri ktorej sú analyzované zmeny zloženia a vlastností študovaného systému pri teplotnom zaťažení. Zariadenie je vysoko univerzálny prístroj na meranie nasledovných parametrov: oxidačná/tepelná stabilita materiálov, zloženie viac zložkových systémov, predikcia životnosti materiálov, vplyv prostredia na materiály, vlhkosť a obsah prchavých látok, prechodová teplota.
- Termogravimetrický analyzátor (LECO TGA 701) – zariadenie na stanovenie obsahu vlhkosti, prchavých látok a popola vo vzorkách z rôznych organických, anorganických a syntetických materiálov. Slúži na analýzu váhových úbytkov vzoriek v závislosti na riadenom náraste teploty v riadenom prostredí.
- Analyzátor taviteľnosti popola (LECO AF 700) – zariadenie slúži na sledovanie procesu deformácie vzoriek popola z uhlia, koksu a biomasy a formovacích hmôt v závislosti na teplote. Poskytuje automatické vyhodnotenie charakteristickej deformačnej teploty (IT - teplota deformácie, ST - teplota mäknutia, HT – teplota tavenia, FT- teplota tečenia) vďaka špeciálnej funkcii softvéru automatického vyhodnotenia obrazu (IRF) získaného z digitálnej kamery, ktorá objektívne zaznamenáva a ukladá kompletný proces analýzy.
- Elementárny analyzátor paliva (LECO CHN628 s prídavným modulom S) – analyzátor na stanovenie obsahu dusíka, vodíka, uhlíka a síry v organických materiáloch pre aplikácie od potravín až po palivá. Využíva sa v oblasti chemických procesov, poľnohospodárstve a potravinárstve. Zariadenie využíva princíp Dumasovej spaľovacej metódy, patentovaný systém balastnej nádoby a alikvotného oddeľovača, ktorý pracuje s minimálnymi objemami plynov.
- Analyzátor spalín pre meranie CxHy (ABB AO2020 s MultiFID14) – analyzátor na kontinuálne meranie koncentrácie uhľovodíkov v plynoch a parách.
- Analyzátor spalín pre meranie O2, CO, SO2, NOx, CO2 (ABB EL3020 s Uras26 a Magnos206) – analyzátor na kontinuálne meranie koncentrácie jednotlivých zložiek v plynoch a parách.
- Merač pre kontinuálne meranie TZL (Tecora Isostack G4) – zariadenie pre kontinuálne meranie tuhých znečisťujúcich častíc, minimálne veľkosti 2.5, 10 a viac ako 10 μm, určený pre meranie koncentrácie TZL, ťažkých kovov, dioxínov, HCl a HF v emisiách. Prístroj tvoria dve samostatné jednotky – malý

ľahký inteligentný regulátor a väčšie čerpadlo na odber vzoriek, ktoré umožňujú pohodlné meranie v teréne.

- Systém pre meranie distribúcie a počtu pevných častíc v spalinách z malých spaľovacích zariadení do výkonu 100 kW (TSI model 3330) – zariadenie na rýchle a presné meranie koncentrácie častíc a distribúcie veľkostí častíc pri použití jediného zariadenia. Koncentrácia častíc zobrazuje počet a hmotnosť častíc s možnosťou vstupu indexu lomu a hustoty častíc.
- Systém na meranie dioxínov a furánov (Dioxin monitoring system) – zariadenie na nepretržité monitorovanie emisií dioxínov a furánov.
- Aerodynamický čítač častíc na princípe spektrometra (TSI model 3321) – poskytuje aerodynamické meranie častíc s vysokým rozlíšením v reálnom čase.
- Aerosólový diluter (TSI model 3302A) – znižuje koncentrácie častíc s vysokou koncentráciou aerosólov, ktoré poskytujú reprezentatívnu vzorku pre aerodynamický čítač častíc.
- Plynový chromatograf – termostat (Shimadzu GCMS QP2010PLUS) – plynový chromatograf a hmotnostný spektrometer je určený na kvalitatívnu a kvantitatívnu analýzu skúmanej látky s vysokou citlivosťou. Využíva patentovanú technológiu ASSP (Advanced Scan Speed Protocol), čo umožňuje skenovať 20000 u/sekundu bez straty citlivosti alebo spektrálneho skreslenia, systém umožňuje množstvo funkcií podľa voľby chromatografickej kolóny. Umožňuje priamy nástrek vzorky, jednoduchú rozšíriteľnosť bez akýchkoľvek zmien v GC, hmotnostné spektrum pri analýze vzoriek s vysokou koncentráciou.
- Preosievačka s priestorovým pohybom na 50 kg preosievanej látky a sadou sít (Retsch AS 450 Control) – analytický sitovací stroj sa používa na suché a mokré sitovanie. 3D odhadzovací pohyb zabezpečuje optimálne využitie otvoreného priestoru sita a umožňuje rovnomerné rozloženie vzorky po celom povrchu sitovania. Spĺňa všetky kritériá pre meracie zariadenia podľa požiadaviek normy ISO 9001. RETSCH má patentovanú technológiu plynulej transformácie energie (Continuous Energy Transformation Technology - CET Technology), na ktorej je založený pohon sitovacieho stroja AS 450 Control. Technológia CET poskytuje podstatne vyšší energetický vstup ako technológie používané v bežných sitovacích strojoch. AS 450 Control dosahuje najvyššiu amplitúdu i s maximálnym zaťažením, ktorá zaisťuje optimálnu separačnú účinnosť a vysokú reprodukovateľnosť.

8.8 Literatúra

[1] BEUKENS, A. 2013. Incineration Technologies, Springer 2013. 90 s. ISBN 978-1-4614-5751-0.

[2] ČARNOGURSKÁ, M. – LAZÁR, M. 2013. 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] DAVIS, G. – KINCAID, L. 1994. Car recycling and environmental improvement in Western Europe. [online]. 1994, p.1 [cit.2010-02-16]. Dostupné na: http://www.p2pays.org/ref/24/23758.pdf.

[5] HESTER, R.E. – HARRISON, R.M. 1994. Waste Incineration and the Envirinment, Royal Society of Chemistry 1994. 158 s. ISBN 0-85404-205-9.

[6] HŘEBÍČEK, J. a kol. 2009. Integrovaný systém nakládání s odpady na regionální úrovni. Brno 2009. s. 202, ISBN 978-80-85763-54-6.

[7] HUDEC, I. 2008. Použitie plastov pri konštrukcii a výrobe automobilov. In: ai magazine, roč. 1, 2008, č. 1, s. 48, ISSN 1337-7612.

[8] CHMIELEWSKÁ, E. 1997. Odpady, Bratislava: Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, 149 s.

[9] CHMIELEWSKÁ, E. – KURUC, J. 2008. Odpady, Nakladanie s tuhým neaktívným a rádioaktívným odpadom, Bratislava: Univerzita Komenského, 336 s.

[10] CHRISTIANOVÁ, A. 2000. Uplatnění preventivního přístupu k problematice autovraku (smernice EU k autovrakům, minimalizace odpadů). In: Halousková, O.: Recyklace jako součást životního cyklu automobilu. Seč : Juniorcentrum Seč, 2000, s. 26, ISBN 80-7080-410-6.

[11] JANDAČKA, J. a kol. 2014. Energetické využitie komunálneho odpadu. Žilina: UNIZA – edis, 2014. 170 s. ISBN 978-80-554-0923-8.

[12] JANDAČKA, J. a kol. 2014. Produkcia komunálneho odpadu. Žilina: UNIZA – edis, 2014. 113 s. ISBN 978-80-554-0897-2.

[13] KANARI, N. – PINEAU, J.L. – SHALLARI, S. 2003. End-Of-Life Vehicle Recycling in European union. In: JOM the member juornal of The Minerals, Metals & materials Society [online]. 2003, vol. 55, no. 8 [cit.2020-01-28] s. 15. Dostupné na: http://www.tms.org/pubs/journals/JOM/JOMbyIssue.asp?issue=JOM\2003\August.

[14] KARAGIANNIDIS, A. 2012. Waste to Energy, Opportunities and Challengers for Developing and Transition Economies, Springer 2012. 370 s. ISBN 978-1-4471-2305-7.

[15] KNAPČÍKOVÁ, L. – ORAVEC, P. 2009. Vyuţitie pyrolýzy pri zhodnocovaní odpadových plastov. In: Najnovšie trendy, v strojárstve a odpadovom

hospodárstve [zborník na CD ROM]. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2009, s. 190–194. ISBN 978-80-552-0208-2.

[16] KOSCELNÍK, B. 2008. Spracovanie starých vozidiel. In: Automotive Engineering Journal, roč.1, 2008, č. 2, s. 88–89, ISSN 1337-7671.

[17] KOSCELNÍK, B. 2008. Vraky ako biznis. In: Automotive Engineering Journal, roč.1, 2008, č. 2, s. 91, ISSN 1337-7671.

[18] KOVÁČ, B. – MATĚJKA, R. 2009. Ekologické spracovanie osobných automobilov po dobe životnosti. In: Doprava a spoje [online elektronický časopis]. 2009, č. 1, s.36–41 [cit.2020-02-25]. Dostupné na: http://fpedas.uniza.sk/dopravaaspoje/2009/1/kovac.pdf ISSN 1336-7676.

[19] KOVÁČ, B. 2007. Implementácia európskeho práva pri recyklácii cestných motorových vozidiel po dobe životnosti. In: Doprava a spoje [online elektronický časopis]. 2007, č. 1, s.38–42 [cit.2020-02-25]. Dostupné na: http://fpedas.uniza.sk/dopravaaspoje/rok.php?rok=2007&c=1 ISSN 1336-7676.

[20] LIPTAI, P. – PAVLÍKOVÁ, A. 2008. Recyklácia plášťov pneumatík a gumy. In: Automotive Engineering Journal, roč.1, 2008, č. november-december, s. 80, ISSN 1337-7671.

[21] LYSÝ, J. 2010. Technologické zariadenia prevádzky na spracovanie vrakov automobilov, SPU Nitra

[22] 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.

[23] MÁTEL, F. 2008. Recyklácia plastov z ojazdených vozidiel. In: ai magazine, roč. 1, 2008, č. 1, s. 50, ISSN 1337-7612.

[24] Materiálové zloženie automobilu – Dostupné na internete: http://www.engineering.sk/index.php/clanky2/automobilovy-priemysel/301-recyklacnetechnologievap

[25] NESVADBA, J. – VELEK, K. 1983. Tuhé dopady. Praha : SNTL – Nakladatelství technické literatury. 1983, 312 s.

[26] ORLOVSKÝ, I. – HATAL, M. – JADINÁKOVÁ, J. A. 2009. Ako zhodnotiť opotrebované pneumatiky. In: Automotive Engineering Journal, roč.2, 2009, č. máj-jún, s. 44, ISSN 1337-7671.

[27] PADO, R. 2007. Autovraky. [online]. 2007, [cit.2010-02-23] Dostupné na: http://www.biospotrebitel.sk/clanok/1288-autovraky.htm. Parfer Siti S.p.A. [online]. [cit.2010-03-01] Dostupné na: http://www.parfersiti.com/index.php?action=main&locale=en_US

[28] PATSCH, M. 2011. Horák pre spaľovanie glycerínu vo vybraných energetických zariadeniach. Doktorandská dizertačná správa, Žilinská univerzita v Žiline, 2011.

[29] PAVLÍKOVÁ, A. – VYSOCKÝ, M. 2009. Recyklačne orientované konštruovanie. In: ai magazine, roč. 2, 2009, č. 4, s. 60, ISSN 1337–7612.

[30] PÍCHA, J. 2000. Zneškodňování a recyklace provozních kapalin automobilu. In: Halousková, O.: Recyklace jako součást životního cyklu automobilu. Seč: Juniorcentrum Seč, 2000, s. 72–73, ISBN 80-7080-410-6.
[31] PUIGJANER, L. 2011. Syngas from Waste, Emerging Technologies, Springer 2011. 327 s. ISBN 978-0-85729-539-2.
[32] Plasty používané na výrobu automobilu – Dostupné na internete: http://www.plasticportal.sk/sk/progresivne-vyvijane-polymerne-kompozity-v-automotive.html/c/1945
[33] Smernica Európskeho parlamentu a rady č. 2000/53/ES
[34] https://ec.europa.eu/eurostat
[35] www.enviroportal.sk
[36] www.odpady-portal.sk

Obrázky

Obr. 1.1 Znečisťovanie životného prostredia vyhadzovaním plastov, gúm a pod. do prírody 2
Obr. 1.2 Kovový šrot 5
Obr. 1.3 Farebné kovy 5
Obr. 1.4 Plasty 5
Obr. 1.5 Molitan, koženky, textílie 5
Obr. 1.6 Pneumatiky 6
Obr. 1.7 Guma ostatná 6
Obr. 1.8 Olej ,pohonné hmoty, chladiaca kvapalina, brzdová kvapalina 6
Obr. 1.9 Katalyzátor, batéria 6
Obr. 1.11 Elektronika 7
Obr. 1.10 Svietidlá 7
Obr. 1.12 Sklo 7
Obr. 1.13 Podiel hmotnosti hlavných dielov 7
Obr. 1.14 Hmotnosti podľa druhu materiálov 7
Obr. 1.15 Gumová dlažba pre detské ihriská a športové povrhy 11
Obr. 1.16 Pneumatiky a gumový odpad 11
Obr. 1.17 Koberce , textílie, obloženia interiéru ap. 13
Obr. 1.18 Výrobky STERED pre priemysel, pre domácnosť, pre dopravu 13
Obr. 1.19 Izolačné panely 14
Obr. 2.1 Miera motorizácie vo svete (celkový počet automobilov na tisíc obyvateľov) Zdroj: Vlastná úprava z OICA, http://www.oica.net 23
Obr. 2.2 Vývoj počtu evidovaných vozidiel v SR. Zdroj: Ochotnický a kol. (2017). . 24
Obr. 2.3 Štruktúra evidovaných hlavných skupín vozidiel v SR (počet). Zdroj: Spracované z evidencie MV SR 25
Obr. 2.4 Životný cyklus výrobkov a automobilov. Zdroj: Fluence and Fluence Z.E. Life cycle assessment, RENAULT 2011. 25
Obr. 2.5 Regionálne rozloženie výrobcov automobilov a ich dodávateľov. Zdroj: Luptáčik a kol., Národohospodársky význam automobilového priemyslu na Slovensku, EUBA 2013. 28
Obr. 2.6 Produkcia generovaná vývozom komponentov v mil. Eur. Zdroj: Luptáčik a kol., Národohospodársky význam automobilového priemyslu na Slovensku, EUBA 2013. 29
Obr. 2.7 Štruktúra zamestnanosti v automobilovom priemysle Zdroj: Luptáčik a kol., Národohospodársky význam automobilového priemyslu na Slovensku, EUBA 2013. 30
Obr. 2.8 Výskumná platforma zhodnocovania odpadov z automobilového priemyslu [16] 32
Obr. 2.9 Celkové zhodnotenie odpadov z VPŽ za rok 2013 v krajinách Európy 33
Obr. 2.10 Plnenie cieľov zhodnotenia a recyklácie odpadov z VPŽ za rok 2012 v EÚ 33
Obr. 2.11 Zdroje odpadu z prevádzky motorových vozidiel 40

Obr. 2.12 Schéma hodnotenia dopadov životného cyklu automobilov na ekonomiku Upravené z: http://isoconsultantpune.com/wp-content/uploads/2016/09/Life-Cycle-Assessment.pdf 42
Obr. 3.1 Vývoj vzniku odpadov [8] 50
Obr. 3.2 Vznik odpadov podľa NACE, 2018 [8] 51
Obr. 3.3 Vývoj počtu starých vozidiel odovzdaných na spracovanie do autorizovaných zariadení podľa MŽP SR a systému eZAP v rokoch 2006 až 2012 54
Obr. 3.4 ISOH – Informačný systém odpadového hospodárstva MŽP SR [12] 55
Obr. 3.5 Koncepcia integrovaného informačného systému odpadového hospodárstva (model 2011) 58
Obr. 3.6 Funkčná schéma výskumnej platformy (model 2015) 60
Obr. 3.7 Architektúra informačnej platformy 63
Obr. 3.8 Integrovaná platforma „SmartOdpady“ s interaktívnou mapou a vyhľadávaním 64
Obr. 3.9 Grafické rozhranie informačnej platformy 64
Obr. 3.10 Koncepcia vnútornej štruktúry integrovanej platformy „Smart Odpady“ ... 65
Obr. 3.11 Základná navigácia platformy 66
Obr. 3.12 Štruktúra funkcionality „nakladanie s odpadom“ informačného subsystému integrovanej platformy „SmartOdpady“ 66
Obr. 3.13 Interaktívne vyhľadávanie v katalógu odpadov 67
Obr. 3.14 Štruktúra funkcionality vyhľadávania partnera pre výskum a vývoj 67
Obr. 3.15 Registre a zdrojové tabuľky 68
Obr. 3.16 Základná schéma záznamu zariadenia na spracovanie odpadu 69
Obr. 3.17 Štruktúra záznamu v registri zariadení na spracovanie odpadu 69
Obr. 4.1 Príklady vrstveného plochého skla 80
Obr. 4.2 Schéma postupu výroby vrstveného skla 80
Obr. 4.3 Chemická štruktúra PVB [3] 82
Obr. 4.4 Mechanizmus vzniku väzby v systéme sklo – PVB (chemical bond – chemická väzba; attraction by hydrogen bonding – priťahovanie vodíkovou väzbou; glass – sklo) 82
Obr. 4.5 Závislosť pevnosti v šmyku od teploty spracovania v autokláve (compressive shear – pevnosť v šmyku; temperature – teplota) 83
Obr. 4.6 Závislosť pevnosti v šmyku od teploty spracovania v autokláve (compressive shear – pevnosť v šmyku; temperature – teplota) 83
Obr. 4.7 Adhézia po rozbití (pummel unit) v závislosti od obsahu vody vo fólii (sheet moisture content) 84
Obr. 4.8 Čelné sklá z automobilov pred recykláciou 87
Obr. 4.9 Čelné sklá z automobilov po recyklácii tradičnými technológiami s mierou zhodnotenia 50 až 60 % 87
Obr. 4.10 Valce na drvenie skla podľa patentu EP0249094(A2) 90
Obr. 4.11 Valce na drvenie skla podľa patentu US8220728 91
Obr. 4.12 Zariadenie na spracovanie odpadového skla podľa patentu SK286370 91
Obr. 4.13 Proces separácie vrstveného skla podľa patentu EP 0792730 (A2) 92
Obr. 4.14 Proces separácie vrstveného skla podľa patentu EP0567876 (A1) 92

Obr. 4.15 Proces separácie vrstveného skla podľa patentu EP 1 950 019 A1 93
Obr. 4.16 Proces separácie vrstveného skla podľa patentu JP 4173030 B2..... 93
Obr. 4.17 Proces separácie vrstveného skla podľa patentu JP2004181321A 94
Obr. 4.18 Linka Shark Solution A/S 94
Obr. 4.19 PVB fólia po mechanickej separácii 94
Obr. 4.20 Schéma recyklačnej linky na spracovanie vrstveného skla [zdroj: http://xinology.com:888/Glass-Processing-Equipments-Supplies-Consumables/glass-recycling]..... 95
Obr. 4.21 Recyklačná linka LUREDERRA 96
Obr. 4.22 Oddelená čistá PVB fólia 96
Obr. 4.23 Mechanické oddelenie 70 % skla 96
Obr. 4.24 Chemicko-mechanické čistenie medzivrstvovej fólie..... 97
Obr. 4.25 Tabuľa z penového skla 98
Obr. 4.26 Stolík z materiálu GLASILEX..... 99
Obr. 4.27 Porovnanie hmotnostných zmien nového a recyklovaného PVB metódou TGA [3] 101
Obr. 4.28 Napäťový diagram pre nový a recyklovaný PVB [4] 102
Obr. 4.29 Zložky koberca a PVB disperzia..... 103
Obr. 4.30 Návrh koncepcie technológie na spracovanie vrstvených skiel..... 105
Obr. 4.31 Minimálna konfigurácia linky..... 106
Obr. 4.32 Moduly dekompozičnej linky 106
Obr. 4.33 Príklad širokej konfigurácie linky..... 106
Obr. 5.1 Rast počtu motorových vozidiel v SR [1]..... 113
Obr. 5.2 Kritické suroviny pre Európsku úniu [6] 114
Obr. 5.3 Materiálové zloženie elektromobilu [10]..... 116
Obr. 5.4 Umiestnenie akumulátora v elektromobile 117
Obr. 5.5 Akumulátor elektromobilu Tesla 117
Obr. 5.6 Diagram obehovej ekonomiky [11] 118
Obr. 5.7 Použitie Nd-Fe-B magnetov..... 129
Obr. 5.8 Fázový binárny diagram Mg-Nd..... 130
Obr. 5.9 Fázový binárny diagram Mg-Fe..... 131
Obr. 5.10 Fázový binárny diagram Fe-Nd 132
Obr. 5.11 Schéma aparatúry použitej pre extrakciu neodýmu horčíkom..... 133
Obr. 5.12 Dva scenáre vzrastu dopytu po gáliu 136
Obr. 6.1 Materiály vhodné na recykláciu a príklady úpravy u spracovateľa 152
Obr. 6.2 Materiály vhodné na recykláciu..... 153
Obr. 6.3 Dekompozícia predného automobilového sedadla..... 154
Obr. 6.4 Umiestnenie zvukovo a tepelnoizolačných materiálov v automobile..... 155
Obr. 6.5 Automobilové koberce..... 155
Obr. 6.6 Bezpečnostné pás 156
Obr. 6.7 Airbag..... 156
Obr. 6.8 Interiér automobilu zo syntetickej kože 158
Obr. 6.9 Prehľad možných tokov industriálneho a spotrebiteľského textilného odpadu [10] 159

Obr. 6.10 Materiálový a chemický odpadový tok počas výroby odevov a použitia [10] 160
Obr. 6.11 Všeobecne platný postup spracovanie textílií starých textílií [9] 163
Obr. 6.12 Model spracovania starých [9] 163
Obr. 6.13 Sekacie textilné stroje [13] 164
Obr. 6.14 Nasekaný textil [13] 164
Obr. 6.15 Spracovanie bezpečnostných pásov [14] 164
Obr. 6.16 Stroj Novatex RS II [9] 165
Obr. 6.17 Rozmery rozvlákňovacieho stroja Novatex RS II [9] 165
Obr. 6.18 Princíp rozvlákňovania textilu [12] 165
Obr. 6.19 Schéma rozvlákňovania textilu [9] 166
Obr. 6.20 Princíp mykania textilu [15] 166
Obr. 6.21 Jednovalcový recyklačný stroj pre textilný odpad [17] 167
Obr. 6.22 Dvojvalcový recyklačný stroj GM 250 [16] 167
Obr. 6.23 Viacvalcová linka LIDEM [18] 167
Obr. 6.24 Schéma 4 valcovej rozvlákňovacej linky GM- 400-4 [18] 167
Obr. 6.25 Pohľad na celu rozvlákňovaciu linku LIDEM [18] 167
Obr. 6.26 Rozvlákňovacia linka s podávacím zariadením [19] 168
Obr. 6.27 Príklady rozvláčňovacích hrotov na doskách [18] 168
Obr. 6.28 Rozvlákňovací valec a rozvlákňovacia linka 168
Obr. 6.29 Príklady rozvlákňovacích hrotov na valcoch [19] 169
Obr. 6.30 Pred procesom spracovania [19] 169
Obr. 6.31 Po procese spracovania mykaním [19] 169
Obr. 6.32 Vpichovací stroj s podávačom [9] 170
Obr. 6.33 Vstupný materiál, použitá netkaná textília a jej spracovanie, Výstup zo spracovania, rozvláknitá textília tvorí jednoliatu hmotu [20] 170
Obr. 6.34 Lepenie netkanej textílie na druhý textilný podklad [21] 171
Obr. 6.35 Lisovanie netkaných textílií [22], [23] 171
Obr. 6.36 Ultrazvuk pre netkané textílie [24] 172
Obr. 6.37 Prierez kobercom [12] 172
Obr. 6.38 Zber, triedenie a spracovanie kobercov [12] 173
Obr. 6.39 Postup pri recyklácii kože [25] 173
Obr. 6.40 Kožené odrezky a výsledný produkt po recyklácii [26] 174
Obr. 6.41 Rezanie, delenie molitanu pomocou drviacich strojov [27] 174
Obr. 6.42 Príklad sít na triedenie veľkosti zŕn molitanu [27] 175
Obr. 6.43 Príprava molitanu a vkladanie do drviaceho stroja [28] 175
Obr. 6.44 Ukážka rozdrveného molitanu [28] 175
Obr. 6.45 Rozdrvené drobné časti molitanu – detail [28] 175
Obr. 6.46 Čistenie a pranie špinavého molitanu [29] 176
Obr. 6.47 Umývacie, oplachovanie a sušenie molitanu v linke [29] 176
Obr. 6.48 Molitan pred čistením [29] 176
Obr. 6.49 Polyuretanová pena po čistení [29] 176
Obr. 6.50 Zhodnocovanie plastov a integrované nakladanie so zdrojmi [30] 177
Obr. 6.51 Zhodnocovanie plastov a integrované nakladanie so zdrojmi [30] 178

Obr. 6.52 Prístroj DeltaNu, RAPID•ID [31] 179
Obr. 6.53 Testovanie materiálu [31] 179
Obr. 6.54 Materiálové porovnanie [31] 179
Obr. 6.55 Grafická závislosť skúšaných materiálov[31] 179
Obr. 6.56 Prierez pneumatiky [32] 180
Obr. 6.57 Recyklačná linka gumového odpadu – mechanické drvenie pri teplote okolia [9] 181
Obr. 6.58 Schéma mechanického spracovania plášťov pneumatík pri teplote okolia [9] 181
Obr. 6.59 Kryogénny systém recyklácie gumového odpadu [9] 182
Obr. 6.60 Schéma kryogénneho systému recyklácie opotrebovaných plášťov pneumatík [9] 182
Obr. 6.61 Postup výroby gumových rohoží, príprava lisovacej formy a plnenie formy [32] 183
Obr. 6.62 Postupnosť spracovania opotrebovaných pneumatík [32] 183
Obr. 6.63 Granuláty – rôzne veľké frakcie a farby [32] 184
Obr. 6.64 Textilné vlákna a oceľový kord [32] 184
Obr. 6.65 Využitie na športové a detské ihriská [32] 185
Obr. 6.66 Využitie pneumatík pre armádu a na stavbu chodníkov [32] 185
Obr. 6.67 Impedančná trubica 189
Obr. 6.68 Metodika merania vybraných akustických deskriptorov 190
Obr. 6.69 Ekomolitan 191
Obr. 6.70 Recyklovaná guma 191
Obr. 6.71 Nobasil 191
Obr. 6.72 Zobrazenie koeficientu zvukovej pohltivosti pre materiál Ekomolitan o hrúbke 4 cm (4 grafy) 192
Obr. 6.73 Zobrazenie koeficientu zvukovej pohltivosti pre materiál Ekomolitan o hrúbke 4 cm (4 grafy) 192
Obr. 7.1 Podiel jednotlivých plastov v automobile 211
Obr. 7.2 Množstvo opotrebovaných pneumatík v tonách [34] 214
Obr. 7.3 História využitia materiálov v automobiloch [25] 216
Obr. 7.4 Hlavné fázy životného cyklu LCA [22] 217
Obr. 7.5 Príklad rozsahu a hraníc systému pri posudzovaní životného cyklu pneumatiky [60] 220
Obr. 7.6 Distribúcia majoritných polutantov emitovaných počas životného cyklu pneumatiky [75] 221
Obr. 7.7 Zloženie pneumatík pre osobnú dopravu [28, 54] 224
Obr. 7.8 Proces drvenia pneumatík a separácia materiálu [54, 62] 225
Obr. 7.9 Recyklačné zariadenie na výrobu gumového granulátu [38] 227
Obr. 7.10 Druhy plastov v exteriéri [36] 228
Obr. 8.1 Technologická schéma spaľovne [11] 247
Obr. 8.2 Hlavné zlúčeniny a produkty vznikajúce v procesoch termického spracovania odpadov [2] 248

Obr. 8.3 Technologická schéma spaľovne [11] 249
Obr. 8.4 Tuhé alternatívne palivo - TAP [36] 249
Obr. 8.5 Schéma čistenia spalín 256
Obr. 8.6 Spaľovňa so spaľovacím roštom [11] 258
Obr. 8.7 Schéma kotla s príslušenstvom [11] 260
Obr. 8.8 Spaľovňa s rotačnou pecou [11] 261
Obr. 8.9 Popis princípu činnosti rotačnej pece 262
Obr. 8.10 Všeobecná schéma možnosti splyňovania pri energetickom zhodnocovaní odpadov [11] 264
Obr. 8.11 Všeobecná schéma možnosti pyrolýzy pri energetickom zhodnocovaní odpadov [11] 269
Obr. 8.12 Komorová pyrolýzna spaľovňa [11] 269

Tabuľky

Tab. 1.1 Priemerné množstvá materiálov získaných z jedného vozidla 8
Tab. 2.1 Vývoj vybraných multiplikátorov pre automobilový priemysel. Zdroj: Luptáčik a kol., Národohospodársky význam automobilového priemyslu na Slovensku, EUBA 2013 31
Tab. 2.2 Výpočet celkového objemu spracovaných vozidiel 35
Tab. 2.3 Predpokladané objemy hlavných prúdov odpadov 35
Tab. 2.4 Počty autorizovaných spracovateľov starých vozidiel pri jednotlivých stratégiách (pri súčasnej existujúcej sieti 40 autorizovaných spracovateľov starých vozidiel) 39
Tab. 2.5 Premenné zdroje odpadu Zdroj: Vlastné spracovanie [16,25] 41
Tab. 4.1 Typy materiálov medzivrstiev vrstvených skiel a ich náchylnosť na delamináciu 81
Tab. 4.2 Priemerné materiálové zloženie starých automobilov [2,7,10,11,12] 86
Tab. 5.1 Stav vozidlového parku k 31.12.2019 (len elektrické vozidlá) [2] 112
Tab. 5.2 Kritické kovy pre Európsku úniu (od roku 2017) 114
Tab. 5.3 Ceny kritických kovov [20.2.2020] 115
Tab. 5.4 Organizácie zodpovednosti výrobcov pre batérie a akumulátory na Slovensku [16] 123
Tab. 5.5 Prehľad priemyselného spracovania odpadov lítiových batérií a akumulátorov 127
Tab. 6.1 Záväzné limity a termíny pre rozsah opätovného použitia častí starých vozidiel 150
Tab. 6.2 Materiálová štruktúra priemerného európskeho automobilu [7] 153
Tab. 6.3 Percentuálne zastúpenie textílií v automobile 157
Tab. 6.4 Namerané hodnoty meraných vybraných deskriptorov pre materiály o hrúbke 4 cm 193
Tab. 7.1 Produkcia odpadu z dopravných prostriedkov (v tonách) [65] 201
Tab. 7.2 Počet dopravných prostriedkov po dobe životnosti (v tonách) [67] 202
Tab. 7.3 Energetická charakteristika vybraných odpadov 209
Tab. 7.4 Faktory environmentálneho hľadiska 218

Stav a vízie zhodnocovania odpadov z automobilového priemyslu SR

UNIVNET – Univerzitná a priemyselná výskumno-edukačná platforma recyklujúcej spoločnosti

Editor: Dr.h.c. prof. Ing. Ľubomír Šooš, PhD.

Technická úprava: Mgr. Henrich Hipča, ZAP SR
Grafická úprava: Zuzana Gališinová, BA

Vydala Slovenská technická univerzita v Bratislave vo Vydavateľstve SPEKTRUM STU, Bratislava, Vazovova 5, v roku 2020

Rozsah 285 strán, 192 obrázkov, 21 tabuliek, 39,6 AH, 39,6 VH, náklad 150 výtlačkov 1 vydanie

ISBN: 978-80-227-5039-4