

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE

ANALÝZA MATERIÁLOVÉHO TOKU POUŽITÝCH

PNEUMATIK V ČESKÉ REPUBLICE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Anna Petruželková, Ph.D.

Diplomant: Bc. Tereza Kvapilová

2022

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Tereza Kvapilová

Inženýrská ekologie

Ochrana přírody

Název práce

Analýza materiálového toku použitých pneumatik v České republice

Název anglicky

Material flow analysis of used tyres in Czech Republic

Cíle práce

- 1) Identifikovat a kvantifikovat materiálové toky použitých pneumatik v odpadovém hospodářství České republiky;
- 2) Způsoby využívání použitých pneumatik popsané v rešeršní části práce rozdělit podle míry uzavírání materiálových toků do cyklů a podle souladu s hierarchií nakládání s odpady;
- 3) Posoudit míru uzavírání materiálových toků odpadních pneumatik do cyklů a soulad materiálových toků pneumatik s hierarchií odpadového hospodářství při nakládání s použitými pneumatikami v České republice.

Metodika

Metody a zdroje dat:

- 1) V rešeršní části práce budou identifikovány nejčastější způsoby využívání použitých pneumatik v České republice. Kvantifikace jednotlivých materiálových toků použitých pneumatik bude provedena na základě dat poskytnutých státní správou, tedy Českou informační agenturou životního prostředí ve spolupráci s Českou inspekcí životního prostředí. Do analýzy mohou být také v případě potřeby zahrnuta korporátní data. Materiálové toky budou kvantifikovány minimálně v kategoriích: roční produkce odpadních pneumatik a roční dovoz odpadních pneumatik ze zahraničí na straně vstupů; roční vývoz do ostatních zemí, materiálové využití, energetické využití pneumatik a jiné využití pneumatik. Počet kategorií může být zvýšen a bude záležet na míře agregace dostupných dat. Výstupem bude Sankeyův diagram materiálových toků pneumatik v odpadovém hospodářství v České republice.
- 2) Na základě poznatků z rešeršní části práce bude sestavena tabulka jednotlivých způsobů využívání použitých pneumatik s rozdělením podle míry uzavírání materiálových toků pneumatik a podle souladu s hierarchií odpadového hospodářství.
- 3) U jednotlivých způsobů využívání odpadů bude doplněno, do jaké míry je tento způsob využívání pneumatik zastoupen v České republice (v tunách nebo v %) a to z výsledků kvantifikace materiálových toků. Na základě sestavené tabulky bude kriticky hodnocena úroveň využívání odpadních pneumatik v České republice a nastavena případná doporučení pro zlepšení současného stavu.

Doporučený rozsah práce

40 stran textu bez příloh

Klíčová slova

recyklace pneumatik, zasypávání, energetické využití, přeshraniční přeprava odpadů

Doporučené zdroje informací

Brunner, P. H. et Rechberger, H., 2004. Practical handbook of material flow analysis. The International Journal of Life Cycle Assessment 9: 337 – 338.

Kočí V., 2009: POSUZOVÁNÍ ŽIVOTNÍHO CYKLU – Life Cycle Assessment – LCA. Vodní zdroje Ekomonitor, Chrudim, 264.

Předběžný termín obhajoby

2021/22 LS – FZP

Vedoucí práce

Ing. Anna Petruželková, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

Konzultant

Ing. Jaroslav Dvořák, Ph.D. (ČiŽP/ Oddělení odpadového hospodářství)

Elektronicky schváleno dne 7. 1. 2022

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 11. 1. 2022

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 24. 03. 2022

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Analýza materiálového toku použitých pneumatik v České republice vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 28.03.2022

.....

(podpis autora práce)

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucí této diplomové práce paní Ing. Anně Petruželkové, Ph.D. a konzultantovi Ing. Jaroslavu Dvořákovi, Ph.D., za vedení diplomové práce, pomoc při její realizaci, připomínky a trpělivost. Dále bych chtěla poděkovat paní RNDr. Evě Horákové za poskytnutí dat, bez kterých by realizace této práce nebyla možná.

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je identifikovat a kvantifikovat materiálové toky odpadních pneumatik v České republice, posoudit soulad fyzického nakládání s odpadními pneumatikami s hierarchií odpadového hospodářství a posoudit míru uzavírání materiálových toků do cyklů.

Procesy recyklace s využitím kaučuku, kovu a textilních vláken, energetické využití zejména v cementárnách a využití při rekultivacích byly identifikovány jako nejčastější způsoby využívání odpadů z pneumatik v České republice. Některé způsoby využití odpadních pneumatik popsané v rešeršní části práce nebyly v České republice vůbec používány. Takovým případem je také pyrolýza, která může být ekologicky přijatelnější ve srovnání s energetickým využitím při přímém spalování.

Kvantifikace materiálových toků byla provedena na makroekonomické úrovni České republiky. Data státní správy poskytnutá Českou agenturou životního prostředí (CENIA) a extrapolovaná korporátní data byla zpracována pomocí běžných metod analýzy materiálových toků.

V roce 2020 byla při nakládání s odpadními pneumatikami v České republice míra uzavírání materiálových toků do cyklů přibližně 32 % hmotnostních, a to přes skutečnost, že odstraněno bez užitečného účelu bylo pouze 0,17 %. Jiné využití včetně energetického a použití k užitečnému účelu na skládkách odpadů převažovala s 62,2 % nad recyklací. Využití pneumatik k rekultivačním účelům dominovalo mezi způsoby jiného využití. Předpokládané dokončení technické části rekultivací u Mydlovar na Českobudějovicku v roce 2024 může způsobit přebytek až 42 000 t pneumatik ročně v systému odpadového hospodářství České republiky a některých dalších zemí Evropské unie.

Klíčová slova: recyklace pneumatik, zasypávání, energetické využití, přeshraniční přeprava odpadů

ABSTRACT

The aim of this master thesis is to identify and quantify the material flows of waste tyres in the Czech Republic, to assess the compliance of the physical management of waste tyres with the waste management hierarchy and to assess the degree of closure of material flows into cycles.

Recycling processes using rubber, metal and textile fibres, energy recovery, especially in cement plants, and use in restoration projects were identified as the most common ways of using waste tyres in the Czech Republic. Some of the waste tyre recovery methods described in the research part of the thesis were not used at all in the Czech Republic. One such case is pyrolysis, which may be more environmentally acceptable compared to energy recovery by direct incineration.

The quantification of material flows was carried out at the macroeconomic level of the Czech Republic. State administration data provided by the Czech Environmental Agency (CENIA) and extrapolated corporate data were processed using conventional material flow analysis methods.

In 2020, the rate of closure of material flows to cycles in waste tyre management in the Czech Republic was approximately 32 % by weight, despite the fact that only 0,17 % were disposed of without a useful purpose. Other recovery, including energy recovery and beneficial use in landfills, outweighed recycling by 62,2 %. The use of tyres for restoration purposes dominated among other uses. The anticipated completion of the technical part of the restoration at Mydlovar in České Budějovice in 2024 may result in a surplus of up to 42 000 tons of tyres per year in the waste management system of the Czech Republic and some other EU countries.

Key words: recycling of tyres, landfilling, waste of energy, transboundary movement of waste

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíle práce	3
3. Metodika	4
3.1. Analýza materiálových toků.....	4
3.1.1. Identifikace nejčastějších způsobů nakládání s odpadními pneumatikami.....	4
3.1.2. Nastavení hranic posuzovaného systému v prostoru a čase.....	4
3.1.3. Kvantifikace materiálových toků na základě získaných dat	5
3.2. Rozdělení způsobů nakládání s odpadními pneumatikami podle míry uzavírání materiálových toků	7
3.3. Kritické hodnocení úrovně využití pneumatik v České republice	7
4. Literární rešerše	8
4.1. Pneumatiky	8
4.2. Odpadní pneumatiky	10
4.3. Nakládání s odpadními pneumatikami	11
4.3.1. Materiálové využití – recyklace	13
4.3.2. Opětovné využití	18
4.3.3. Energetické využití.....	19
4.3.4. Využití jako rekultivačního materiálu a použití na skládkách.....	21
4.3.5. Přeshraniční přeprava pneumatik.....	22
4.4. Analýza materiálových toků.....	24
5. Výsledky	27
5.1. Identifikace a kvantifikace materiálových toků odpadních pneumatik v České republice	27
5.2. Míra uzavírání materiálových toků do cyklů a soulad s hierarchií odpadového hospodářství při nakládání s odpadními pneumatikami v ČR.....	28
6. Diskuse.....	31
7. Závěr a přínos práce.....	34
8. Přehled literatury a použitých zdrojů.....	35
9. Přílohy.....	1

1. Úvod

Vývoj moderní společnosti jde ruku v ruce s rozvojem automobilismu, a to má za následek vznik odpadu z opotřebovaných pneumatik (Ministerstvo průmyslu a obchodu ©2018 b). Opětovné využívání materiálů z odpadů a recyklace jsou historicky zakořeněny v lidské společnosti. Podporují lepší hospodaření se zdroji, předcházení vzniku odpadů, snižují závislost na přírodních zdrojích a napomáhají k dosažení cílů udržitelného rozvoje (Letcher et al. 2021). Prvními náznaky organizovaného nakládání s odpady bylo, když lidé začali odstraňovat odpadky z míst, kde žijí. Dnes je nakládání s odpadem směsí různých postupů a možností zpracování, které obsahují strategie prevence a sběru odpadu. (Brunner et Rechberge, 2004).

Pneumatiky se řadí mezi výrobky, u kterých se dají všechny jejich části energeticky nebo materiálově využít, a jsou tedy potenciálním zdrojem druhotných surovin (Ministerstvo průmyslu a obchodu ©2018 b). Skládání pneumatik je zakázáno Směrnicí Rady 1999/31/ES o skládkách odpadů od roku 2006 a smějí se v současnosti na skládkách využívat pouze při jejich výstavbě nebo uzavírání. Většina odpadních pneumatik by tedy měla být opětovně využita nebo použita jako zdroj energie nebo materiálu (Ministerstvo průmyslu a obchodu ©2018 a).

V České republice je zavedena rozšířená odpovědnost výrobců pneumatik, která výrobcům a dovozcům ukládá odpovědnost za nakládání s odpadními pneumatikami, přičemž rozsah odpovědnosti je dán množstvím pneumatik, které výrobce uvede na trh (Ministerstvo průmyslu a obchodu ©2018 a). Podle zákona je výrobce povinen zřídit místo zpětného odběru pneumatik a nejčastěji je tato povinnost plněna kolektivním systémem. Zatím jediným provozovatelem kolektivního systému je v České republice společnost ELT Management Company Czech Republic – ELTMA. Společnost ELTMA uvádí, že v roce 2020 bylo do kolektivního systému zapsáno přes 3 200 míst zpětného odběru, kam spotřebitelé odevzdali přes 49 892 tun odpadních pneumatik. Účastníci kolektivního systému ELTMA ve stejném roce uvedli na trh 55 960 tun pneumatik. To je více než 89 % úrovně zpětného odběru. Zatímco v roce 2020 byla stanovena povinná míra zpětného odběru na 65 % (Odbor odpadů MŽP ©2021), podle přílohy č. 2 k zákonu č. 542/2020 Sb. o výrobcích s ukončenou životností, se minimální úroveň zpětného odběru zvedla v roce 2021 na 70 % a v roce 2022 a dál na 80 %.

Hlavními dvěma cíli plánu odpadového hospodářství ČR pro období 2015–2024 v rámci odpadních pneumatik, vypracovaného Ministerstvem životního prostředí v roce 2014 jsou:

- a. Zvýšení úrovně zpětného odběru pneumatik (hmotnostní poměr pneumatik vysbíraných a pneumatik uvedených na trh v témže roce) na 80 % v roce 2020.
- b. Dosažení vysoké míry využití při zpracování odpadních pneumatik. Pro využití, opětovné použití a recyklaci při zpracování pneumatik, dosáhnout 100 % hmotnostního podílu využitých odpadních pneumatik na celkové množství vysbíraných odpadních pneumatik.

2. Cíle práce

1. Identifikovat a kvantifikovat materiálové toky použitých pneumatik v odpadovém hospodářství České republiky;
2. Způsoby využívání použitých pneumatik popsané v rešeršní části práce rozdělit podle míry uzavírání materiálových toků do cyklů a podle souladu s hierarchií nakládání s odpady;
3. Posoudit míru uzavírání materiálových toků odpadních pneumatik do cyklů a soulad materiálových toků pneumatik s hierarchií odpadového hospodářství při nakládání s použitými pneumatikami v České republice;

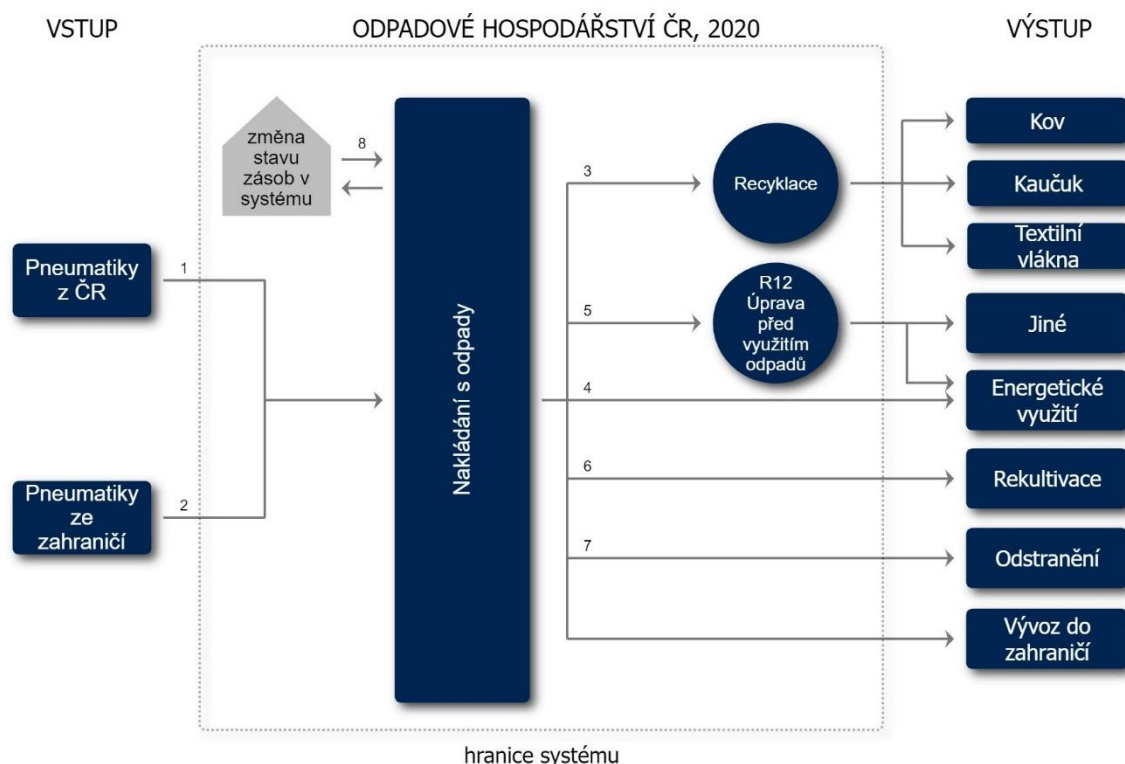
3. Metodika

3.1. Analýza materiálových toků

3.1.1. Identifikace nejčastějších způsobů nakládání s odpadními pneumatikami

Na základě rešeršní části práce byly v dostupné literatuře identifikovány a popsány nejčastější způsoby využívání použitých pneumatik v České republice. Byla navštívena firma RPG Recycling, s.r.o., kde byly pořízeny fotografie z recyklace pneumatik a poskytnuta komerční data pro kvantifikaci výstupů z recyklační linky. Dále byla navštívena firma GELPO s.r.o., která se zabývá zpracováním gumového granulátu na výrobky různých druhů a taktéž umožnila nafotit jejich výrobky pro účely této práce.

3.1.2. Nastavení hranic posuzovaného systému v prostoru a čase



Obrázek 1 Schéma nastavení hranic systému (vytvořeno v programu Sankey Flow Show)

Pod pojmem recyklace je myšleno převážně drcení pneumatik s následným materiálovým využitím granulátu a kovů; R12 je označení pro úpravu před využitím odpadů

Nastavení hranic posuzovaného ekonomického systému „nakládání s odpady z pneumatik“ proběhlo na základě principů analýzy materiálových toků (Brunner et

Rechberge, 2004). Uvnitř hranic systému jsou zahrnuty procesy nakládání s odpady před ukončením odpadového režimu materiálu nebo před jeho přechodem do životního prostředí. Jednotlivé procesy a toky, které byly identifikovány jako podstatné pro účely této práce, jsou popsány v diagramu na obrázku 1. Pro vytvoření diagramu znázorňujícího hranice systému byl použit volně přístupný online program Sankey Flow Show společnosti THORTEC Software GmbH (2022), který byl využit následně pro vytvoření Sankeyova digramu.

3.1.3. Kvantifikace materiálových toků na základě získaných dat

Kvantifikace jednotlivých materiálových toků použitých pneumatik bude provedena na základě dat poskytnutých státní správou, tedy Českou informační agenturou životního prostředí. Data pocházela z veřejně nepřístupné části Informačního systému odpadového hospodářství (ISOH) a vycházela z ročních hlášení o produkci a způsobech nakládání s odpady, které byly zaslány státní správě osobami oprávněnými pro nakládání s odpady a vybranými obcemi a původci odpadů za rok 2020.

Materiálové toky byly kvantifikovány na základě dat poskytnutých agenturou CENIA (příloha 11) na straně vstupů do odpadového hospodářství v kategoriích: množství odpadních pneumatik z České republiky a množství odpadních pneumatik ze zahraničí; na straně výstupů v kategoriích: množství materiálově využitých odpadních pneumatik, množství pneumatik upravených před jejich využitím, množství energeticky využitých pneumatik, množství pneumatik využitých při rekultivacích, množství pneumatik použitých na skládkách a množství pneumatik přeshraničně přepravených z České republiky. Na základě dat od CENIA byla zjištěna změna stavu zásob pneumatik v systému odpadového hospodářství České republiky, sestavením bilance vstupů a výstupů byl výpočet ověřen. Přiřazení kódů nakládání k jednotlivým materiálovým tokům je znázorněno v tabulce 1. Státní správa má sice k dispozici data od jednotlivých provozovatelů zařízení pro nakládání s odpady, ale z důvodu zachování obchodního tajemství je možno v podobných případech zveřejnit pouze data agregovaná a anonymizovaná.

Označení ¹	Význam materiálového toku	Kódy nakládání
<i>Vstupy odpadních pneumatik</i>		
1	Produkce na území České republiky ²	A00+BN30+N60
2	Odpadní pneumatiky ze zahraničí	N6
<i>Výstupy odpadních pneumatik</i>		
3	Materiálové využití – recyklace ³	R3+R5
4	Přímé energetické využití ⁴	R1
5	Úprava odpadu před jeho využitím ⁵	R12
6	Rekultivace, využití na povrchu terénu, použití na skládce k užitečnému účelu ⁶	N1+N12+N11+R11 ⁷
7	Odstraňování uložením na skládku nebo spalováním bez využití energie	D1+D10
<i>Změna stavu zásob odpadních pneumatik</i>		
8	Změna stavu zásob v systému odpadového hospodářství ČR ²	N5 – C00

Tabulka 1 Způsob výpočtu materiálových toků na základě dat poskytnutých agenturou CENIA.

Vzhledem ke skutečnosti, že metody pro stanovení indikátorů odpadového hospodářství pro účely Ministerstva životního prostředí nerozlišují mezi recyklací a jinými způsoby využití nebo použití odpadů jako materiálu, byly pro účely této práce použity odlišné metody.

Pozn.: ¹ označení materiálového toku v diagramu na obrázku 1. ² Započteny pneumatiky, se kterými se nakládá již v režimu zákona o odpadech (nezahrnuty pneumatiky, které byly pouze na místech zpětného odběru). ³ Recyklací se rozumí pro účely této práce způsoby využití pneumatik, při kterých jsou uzavírány materiálové toky do cyklů a převážná část odpadu se stává součástí produktu, kterým je surovina, předmět nebo stavba. ⁴ Přímým energetickým využitím se rozumí energetické využití převážné části odpadu bez jeho předchozí úpravy. ⁵ Z této úpravy vznikají odpady po úpravě, další toky nelze kvantifikovat na základě agregovaných dat od společnosti CENIA. ⁶ Jedná se o způsoby použití a využití odpadů, při kterých nejsou uzavírány materiálové toky do cyklů. Odpady jsou jednorázově využity, použity nebo odstraněny s částečně užitečným účelem a obvykle trvale zůstávají v krajině. ⁷ Kód R11 se v roce 2020 využíval prakticky výhradně pro rekultivaci bývalých kalojemů v okolí státního podniku DIAMO v Mydlovarech.

Analýza se částečně opírá o korporátní data (spol. RPG Recycling s.r.o., identifikována jako společnost s nejvýznamnějším vstupem pneumatik k recyklaci v České republice), ze kterých vyplývá, že při recyklaci všech typů pneumatik vzniká v dlouhodobém horizontu železo a ocel v množství přibližně 15 % hm. vstupů a výmětová textilní vlákna v množství přibližně 15 % hm. vstupů, zbytek výstupů tvoří pryžový granulát. Extrapolací těchto korporátních dat byly kvantifikovány materiálové toky pro všechny výstupy z recyklace. Materiálové toky výstupů z úpravy odpadů

(evidované v datech agentury CENIA jako způsob nakládání s odpady R12) byly identifikovány tak, že část vystupujících odpadů je recyklována a část odpadů je energeticky využita, přičemž nelze vyloučit ani jiný způsob využití těchto výstupů nebo jejich vývoz. Část odpadů po úpravě způsobem R12 pochází pouze z třídění pneumatik, v datech se projeví znovu s kódem N40, tento tok proto nebyl zařazen mezi vstupy. Další významná část výstupů z úpravy tvoří odpady zařazené ve skupině 19 podle Katalogu odpadů a kvantifikace materiálových toků z těchto procesů není možná bez znalosti korporátních dat (oslovené společnosti odmítly poskytnout data).

Kvantifikace materiálových toků byla znázorněna pomocí Sankeyova diagramu materiálových toků pneumatik v odpadovém hospodářství v České republice s použitím programu, který je zmíněn v kapitole 3.1.2.

3.2. Rozdělení způsobů nakládání s odpadními pneumatikami podle míry uzavírání materiálových toků

Na základě poznatků z rešeršní části práce byla sestavena tabulka jednotlivých způsobů využívání použitých pneumatik s rozdělením podle míry uzavírání materiálových toků pneumatik a podle souladu s hierarchií odpadového hospodářství.

3.3. Kritické hodnocení úrovně využití pneumatik v České republice

U jednotlivých způsobů využívání odpadů bylo doplněno, do jaké míry je tento způsob využívání pneumatik zastoupen v České republice (v % hm.) a to z výsledků kvantifikace materiálových toků. Byla také sestavena pyramida zjednodušené pyramidy, ve které bylo vynecháno předcházení vzniku odpadů a opětovné použití, protože práce je zaměřena na odpadové hospodářství, tedy až na fázi, kdy se movitá věc stává odpadem. Na základě sestavené tabulky byla v diskuzi kriticky hodnocena úroveň využívání odpadních pneumatik v České republice a nastavena případná doporučení pro zlepšení současného stavu.

4. Literární rešerše

4.1. Pneumatiky

Za vynálezce pneumatiky je považován Angličan John Boyd Dunlop, který svou první pneumatiku vyrobil koncem 19. století. Od počátku se pneumatiky vyráběly z přírodního kaučuku a výztužných materiálů, tedy ocelových drátů a tkaniny. Kvůli vylepšení produktu se začala používat řada syntetických materiálů, nejen pryž, ale i syntetické tkaniny, plniva a další chemikálie, které zlepšují výkonnostní charakteristiky pneumatik (Letcher et al. 2021). Syntetické kaučuky jsou využívány na výrobu běhounů a zajišťují přilnavost pneumatik k povrchu, zatímco přírodní kaučuk se používá v pláštích vyžadujících vysokou odolnost (Araujo-Morera et al. 2021 ex. Anderbilt et al. 2010). Jako plniva se často používají saze, jelikož pryži dodávají pevnost a tvrdost a zároveň zvyšují odolnost proti zahřívání, opotřebením a foto oxidaci. (Beňová et al. 2012) Důležitou součástí pneumatik jsou také ocelové kordy, které zajišťují stabilitu a tuhost pneumatiky (Araujo-Morera et al. 2021 ex. Anderbilt et al. 2010). Technologie výroby pneumatik je založena na vulkanizační reakci, která probíhá mezi přírodními a syntetickými kaučuky, sírou a pomocnými látkami. Vznikají elastomerní řetězce, které vytvářejí zesíťovanou sktrukturu pryže. Proto jsou pneumatiky elastické, nerozpustné a netavitelné (White et De 2001). Díky materiálovému složení a energetickým vlastnostem jsou odpadní pneumatiky významným zdrojem materiálu a energie (Beňová et al. 2012). Směs pneumatik se obecně skládá z elastomeru (přírodní nebo syntetický kaučuk), ztužujících činidel (uhlíkové saze), vulkanizačních činidel (sloučeniny síry), plastifikačních činidel (uhlovodíkové oleje), urychlovačů a ochranných prostředků (antioxidanty, stabilizátory). Toto složení se liší u nových a ojetých pneumatik (viz. Tabulka 2) (Sharma et al. 2000), protože ojeté pneumatiky přijdou o část hmotnosti jejich otěrem. Otěr z pneumatik je tzv. rozptýleným tokem a řadí se mezi rozptýlené ztráty dle metodického průvodce SEEA 2012 (Eurostat 2001) a přibližně 16 % hm. končí v okolí vozovek, ve vodě a v půdě (Sieber a kol., 2020).

Složení pneumatiky	Osobní auto		Nákladní auto	
	Nová (%)	Ojetá (%)	Nová (%)	Ojetá (%)
Pryž/elastomer	48	47	45	43
Uhlíkové saze	22	21,5	22	21
Ocel	15	16,5	25	27
Textilní vlákna	5	5,5	–	–
Oxid zinečnatý	1,2	1	2,2	2
Síra	1	1	1	1
Aditiva	8	7,5	6	6

Tabulka 2 Složení nových a použitých pneumatik; převzato a přeloženo od Sharma et al. 2000

Existuje mnoho kategorií pneumatik, přičemž každá se vyznačuje jinými funkcemi a vlastnostmi. Současné pneumatiky jsou směsicí mnoha materiálů a každý je navržen tak, aby optimalizoval jejich funkční vlastnosti za různých provozních podmínek. Materiálové složení pneumatik se tedy liší podle kategorie (osobní automobil, nákladní automobil, užitkový vůz apod.), pro kterou jsou pneumatiky určeny (Letcher et al. 2021).

V České republice se dle § 3 zákona č. 542/2020 Sb. O výrobcích s ukončenou životností v platném znění (dále jen „zákon č. 542/2020 Sb.“), za pneumatiku považuje „*pružná součást sestavy kola, která je z přírodního nebo syntetického kaučuku a vyztužujících materiálů bez ráfku s výjimkou kola k použití na zařízeních tažených či tlačných osobou, která jde pěšky, na jízdním kole nebo na osobním zdravotnickém prostředku či na rehabilitační nebo kompenzační pomůcce*“.

V současné době jsou pneumatiky nedílnou součástí ekonomiky každé země, která se při přepravě zboží a osob spoléhá na automobilovou nebo leteckou dopravu (Letcher et al. 2021). International Rubber Study Group odhadla, že v roce 2018 bylo celosvětově vyprodukováno 17,1 milionů tun pneumatik. Takový trh současně generuje velké množství pneumatik s ukončenou životností (The Freedonia Group ©2018), přičemž odpadních pneumatik se každoročně celosvětově vyprodukuje téměř 3 miliardy (Policella et al. 2019). Ukázalo se, že pneumatiky, u kterých byla ukončena životnost, jsou důležitou druhotnou surovinou pro širokou škálu průmyslových odvětví (Letcher et al. 2021). Pokud jsou pneumatiky vyrobené z kvalitní pryže, jsou velkým potenciálním zdrojem pro gumárenský průmysl (Gent et Walter 2006).

Zesíťovaná struktura pryže a chemické složení pneumatik dělají z pneumatik výrobek vysoce odolný vůči biologickému a fotochemickému rozkladu, vysokým teplotám a chemickým činidlům (White et De 2001), což ztěžuje následnou recyklaci a další zpracování. V důsledku vysoké odolnosti se životnost pneumatiky na skládce odhaduje na 80–100 let. Při skládkování navíc hrozí riziko požáru, při kterém se do atmosféry uvolňují škodlivé látky (Martínez et al. 2013). Manhart (2016) uvádí, že riziko a zátěž pro životní prostředí může představovat vývoz pneumatik do rozvojových zemí, kde často dochází ke spalování a skládkování. Při hoření pneumatik se do půdy, vody a ovzduší uvolňují toxické výpary, oleje a škodlivé látky a při skládkování se mohou vytvářet lícniště hmyzích druhů, které jsou přenašeči chorob, jako je například horečka dengue nebo žlutá zimnice.

4.2. Odpadní pneumatiky

Dle § 3 zákona č. 542/2020 Sb. se za odpadní pneumatiku považuje „*pneumatika, která se stala odpadem*“. Zákon č. 541/2020 Sb. o odpadech v platném znění (dále jen „zákon č. 541/2020 Sb.“) § 4 definuje odpad jako „*každou movitou věc, které se osoba zbavuje, má úmysl nebo povinnost se jí zbavit*“. Úmysl se movité věci zbavit má dle zákona osoba, „*pokud tuto věc není možné používat k původnímu účelu*“. A povinnost zbavit se movité věci v případě pneumatik vzniká, pokud „*ji osoba nepoužívá nebo ji není možné používat k původnímu účelu a tato věc současně ohrožuje životní prostředí nebo byla vyřazena na základě jiného právního předpisu*“.

Platí zde výjimky v případě, že se osoba zbavuje pneumatik v rámci zpětného odběru použitých pneumatik. V tomto případě se na pneumatiky nahlíží jako na odpad až po předání osobě, která má oprávnění k jejich odstranění nebo využití. Pouhé odevzdání v rámci zpětného odběru pneumatik z nich odpad nedělá. Tuto výjimku ovšem nelze aplikovat, pokud jsou zpětně odebrané pneumatiky určené k přeshraniční přepravě (Manhart 2016), protože § 3 zákona 542/2020 Sb. již považuje výrobky s ukončenou životností za odpad.

Zákon č. 542/2020 Sb. určuje, že „*výrobce pneumatik je povinen na vlastní náklady zajistit zpětný odběr pneumatik s ukončenou životností a jejich následné zpracování a využití nebo odstranění za podmínek stanovených tímto zákonem*“. Výrobce tedy musí zřídit místo zpětného odběru pneumatik a informovat o tomto místě konečného uživatele. Toto místo musí být viditelně označené a veřejně přístupné pro konečného

uživatelé. Provozovatel místa má povinnost „zpětně odebraný výrobek s ukončenou životností předat pouze zpracovateli určenému výrobcem“. Povinnost zpětného odběru použitých pneumatik může být plněna:

- a. Individuálním systémem – „vytvořený a provozovaný samostatně, svým jménem a na vlastní náklady jedním výrobcem“.
- b. Kolektivním systémem – „vytvořený více výrobci pneumatik a provozovaný právnickou osobou, která ho provozuje na základě oprávnění vydaného ministerstvem podle zákona“.

Od roku 2016 je v České republice jedna nezisková společnost s ručením omezeným, která získala oprávnění provozovat kolektivní systém zpětného odběru pneumatik, a tou je ELT Management Company Czech Republic (ELTMA). Důležitým kritériem pro zpětný odběr a využití odpadních pneumatik, je údaj, kolik nových pneumatik se v ČR uvede na trh (Ministerstvo průmyslu a obchodu ©2018 b).

4.3. Nakládání s odpadními pneumatikami

Odpovědnost za nakládání s odpadními pneumatikami nesou jejich výrobci a dovozci. Rozsah zodpovědnosti se určuje na základě množství pneumatik uvedených na trh. Úroveň zpětného odběru pneumatik se vyjadřuje v procentech jako poměr hmotnosti odpadních pneumatik sebraných v daném roce a hmotností pneumatik uvedených na trh v témže roce. Hlavním cílem je zabránit skládkování pneumatik a podpořit rozvoj trhu který souvisí s druhotnými surovinami a výrobky z odpadních pneumatik. Ve Směrnici Rady 1999/31/ES o skládkách odpadů byl v roce 2006 zakotven zákaz skládkování pneumatik. Veškeré odpadní pneumatiky by tak měly být využívány energeticky, materiálově nebo protektorovány (Ministerstvo průmyslu a obchodu ©2018 a).

V dnešní době se častěji využívá pojem oběhové hospodářství, který nahrazuje pojem „jednorázovost“ pojmy „obnovení“ a „navrácení“ (Araujo-Morera et al. 2021). Jedná se o model nazývaný 3R, neboli „Reduce“ – omezit, „Reuse“ – znovu použít a „Recycle“ – recyklovat (Gaustad et al. 2018), který byl postupně rozšířen na model 7R (obrázek 2). Tento nový model oběhového hospodářství je obohacen o pojmy „Redesign“ – navrhnout jinak, „Renew“ - obnovit, „Repair“ – opravit a „Recover“ – získat zpět (Reike et al. 2018). Oběhové hospodářství je založeno na opětovném použití, opravě, obnově a recyklaci zdrojů tak, aby znovu vytvářely hodnotu a

docházelo tak k jejich efektivnímu využití (Ellen MacArthur Foundation 2020). U pneumatik se oběhové hospodářství soustředí na vývoj nových a inovativních pneumatik („redesign“), rozvoj technologií, kterými se snižuje hmotnost pneumatik („reduce“) a vytváření nových technologií pro prodloužení životnosti („repair“, „reuse“). Dále se zabývá získáváním použitelných vedlejších produktů v rámci materiálového oběhu („recover“), pomocí devulkanizace odpadního materiálu získat kaučuk s podobnými vlastnostmi jaké má kaučuk panenský („recycle“) a náhradou produktů získaných z ropy jinými přírodními surovinami („renew“) (Araujo-Morera et al. 2021).



Obrázek 2 Oběhové hospodářství model 7R (Araujo-Morera et al. 2021)

Reduce – omezit, Reuse – znovu použít, Recycle – recyklovat,
 Redesign – navrhnout jinak, Renew – obnovit, Repair – opravit,
 Recover – získat zpět

Mezi dva hlavní způsoby zhodnocování odpadu se řadí energetické využití a materiálová recyklace, které snižují jeho ekologické i ekonomické dopady. Tyto dva způsoby společně nabízejí alternativní prostředky, čímž se snižuje spotřeba původních zdrojů. V Evropské unii se energetické využití pohybuje mezi 36 a 38 % ročně v kombinaci s materiálovým využitím na 38 %, protektorováním, které slouží jako

přechodný krok u zhruba 7 % odpadních pneumatik (převážně pro nákladní vozidla) a exportem, který je v současnosti na 11 %. Pneumatiky se řadí k produktům, jejichž odpad se nejvíce zhodnocuje, a to odpovídá každoročnímu udržitelnému zpracování jejich odpadu na konzistentní úrovni 91 % (Letcher et al. 2021). Dle § 11 zákona č. 541/2020 Sb. je materiálové využití odpadu definováno jako „způsob využití odpadů zahrnující přípravu k opětovnému použití, recyklaci a zaspávání, s výjimkou energetického využití a přepracování na materiály, které mají být použity jako palivo nebo jiné prostředky k výrobě energie“. A recyklaci se rozumí „využití odpadu, kterým je odpad znovu zpracován na výrobky, materiály nebo látky pro původní nebo jiné účely. Recyklace nezahrnuje energetické využití a přepracování na materiály, které mají být použity jako palivo nebo jako zaspávací materiál“.

Recyklace pneumatik je specifickým odvětvím, protože (Letcher et al. 2021):

- a. Pneumatiky jsou 100% recyklovatelné. Díky materiálovému základu jsou pneumatiky potenciálním zdrojem druhotných surovin, které se dají dále využít (Ministerstvo průmyslu a obchodu ©2018 b). Pryž, ocel i textil se separují pomocí recyklačních technologií.
- b. Vyrábí se ze stejných materiálů po celém světě, za použití obdobných technologií jen s mírnými odchylkami, které se týkají převážně odlišných velikostí.
- c. Protektorováním se může prodloužit životnost pneumatik.
- d. Výsledné produkty z recyklace pneumatik se využívají i v jiných odvětvích.
- e. Podle evropské legislativy se pneumatiky, kusy pneumatik a jejich recyklované zbytky nesmí ukládat na skládky. To vede k vývoji nových způsobů zhodnocování.

4.3.1. Materiálové využití – recyklace

Než se pneumatiky začnou zpracovávat, musí být zbaveny nečistot, jako je sklo, kameny nebo různé jiné předměty. V řetězci zpracování pneumatik se využívá od nejjednodušších technologií mechanických řezacích zařízení až po složité vícefázové chemické, mechanochemické nebo tepelné procesy. Cílem těchto technologií není rozpustit nebo roztavit kaučuk do původní směsi, ale využít a zlepšit vybrané vlastnosti

sloučeniny (Letcher et al. 2021). Recyklace pneumatik může probíhat jako mechanické zpracování, při kterém se získávají pryžové materiály různých stupňů rozmělnění nebo jako devulkanizace, během které vznikají pryžové regeneráty (De et al. 2005).

Existují 4 základní úrovně zpracování při recyklaci pneumatik (Letcher et al. 2021):

1. Zničení struktury pneumatiky: Výchozí surovinou jsou pneumatiky osobních a nákladních automobilů. Jedná se o mechanické poškození (nejčastěji komprese, lisování nebo řezání), kdy vzniká materiál pro použití ve stavebním nebo ekologickém inženýrství nebo je možné ho využít pro další recyklaci.
2. Oddělení částí pneumatik: Výchozí surovinou jsou celé pneumatiky nebo výsledný produkt z úrovně 1. Jde o oddělení hlavních složek, tedy pryže, kovu a textílie. Nejběžněji využívanými technologiemi jsou mechanické a kryogenní drcení. Výstupy této úrovně mohou být přímo použity nebo se používají jako vstupní surovina pro úroveň 3.
3. Technologie vícenásobného ošetření: Výchozí surovinou jsou produkty vzniklé v úrovni 1 nebo 2, které jsou těmito technologiemi dále zpracovávány mechanicky, tepelně, chemicky nebo mechanochemicky. Cílem je vylepšení určitých vlastností materiálu.
4. Vylepšení materiálu: Vstupní surovinou jsou produkty z úrovně 3. V rámci této úrovně se materiály zušlechťují, upravují nebo se vytváří specifické vlastnosti materiálů. Výstupy této úrovně jsou vylepšené, regenerované, povrchově upravené nebo devulkanizované materiály, vylepšené pyrolytické uhlí nebo nové sloučeniny.

Prvním krokem v rámci recyklace pneumatik je odstranění patek. Jde o proces, během kterého se pomocí řezání odstraní pogumované ocelové dráty (příloha 3). Dále se z pneumatiky odstraňuje bočnice, tu lze použít přímo ve stavebnictví nebo dále zpracovat. Pomocí řezání se z kostry odebere i běhoun, který se může využít přímo nebo se používá jako surovina pro další zpracování. Následuje sekání sekacími noži, kterým se pneumatiky zmenší na kusy o velikosti 5-30 cm, takzvanou drť (obrázek 3 a 4). Drť se dále zpracovává na chipsy o velikosti 1-5 cm (Letcher et al. 2021). Drcení

probíhá na recyklační lince, která je sestavená až ze čtyř stupňů drcení (Ministerstvo průmyslu a obchodu ©2018 b).



Obrázek 3 Sekání pneumatik na drť



Obrázek 4 Drť o velikosti 5-30 cm

Tento proces může být prováděn řezáním, střídáním, nárazem nebo jejich kombinací. Volba metody závisí na výchozí formě produktu, požadovaných finálních vlastnostech pryže a cílové ceně (Araujo-Morera et al. 2021). Drcení může být buď proces mechanický nebo kryogenní. Mechanické drcení probíhá při pokojové teplotě. Materiál prochází přes jeden nebo více granulátorů (obrázek 5 a 6), které postupně zmenšují velikost chipsů. Během tohoto procesu se kovové součásti oddělí pomocí magnetického separátoru a zbytky textilu se odlučují prostřednictvím sít a pneumatického odsávání (Letcher et al. 2021).



Obrázek 5 Linka na zpracování/drcení pryže



Obrázek 6 Linka na zpracování/drcení pryže

Kryogenní drcení probíhá za použití kapalného dusíku, který ochladí rozřezané kusy pneumatik na teplotu nižší, než je teplota skelného přechodu pryže, což je okolo $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Myhre a MacKillop 2002). Zchlazením přichází pryž o pružné vlastnosti a stává se z ní křehký materiál. Následuje drcení, při kterém dochází k uvolňování kovu a textilních vláken. Uvolněný textil a kov se oddělují magnetickými sítami a prosévacími stanicemi. Oba procesy drcení mohou probíhat opakovaně, aby vznikla požadovaná

velikost výstupního granulátu (Letcher et al. 2021). Granulát získaný kryogenním drcením je čistší než granulát získaný mechanickým drcením, ale má vyšší vlhkost. Nevýhodou kryogenního procesu je vysoká cena kapalného dusíku (Rezník 2002). Výstupními produkty zpracování pneumatik jsou pryžový granulát, textilní vlákno a ocelový kord. Společnost RPG Recycling, s.r.o. uvádí výstupní materiály v poměru 15 % textilní vlákno, 15 % ocelový kord a 70 % granulát různých frakcí (obrázek 7).



Obrázek 7 Výstupní produkty ze zpracování pneumatik (zleva: textilní vlákno, ocelový kord, prach a granulát)

Využití granulátu může být různé: (Ministerstvo průmyslu a obchodu ©2018 b)

- a. Přidává se do asfaltových povrchů vozovek. Takový povrch je odolnější vůči stárnutí, tepelně stabilnější, má lepší elasticitu a tím je méně náchylný k vyježdění (Sienkiewicz et al 2012).
- b. Používá se k výrobě antivibračních rohoží a bokovnic, které se používají v železniční a tramvajové infrastruktuře (příloha 10).
- c. Výroba protihlukových stěn.
- d. Komunální využití gumových výrobků – kolečka na kontejnery, dilatační výplň pro předizolované potrubí pokládající se do země, dorazy v parkovacích domech, kanalizační vpusti (příloha 7).
- e. Na výrobu produktů pro sport a zábavu (příloha 4, 5, 6, 8 a 9).
- f. K výrobě produktů pro zvýšenou bezpečnost – protiskluzové stěrky, gumové obrubníky, pádové desky pro dětská hřiště, gumové polovegetační tvárnice atd.

- g. Výrobky pro zemědělce – stájové rohože, hipotex pro kolbiště jezdeckého sportu, povrchy cvičných drah chránící koně před zvýšeným opotřebením kloubů.



Obrázek 8 Pryžový granulát



Obrázek 9 Pryžový granulát

Granulát (obrázek 8 a 9) má dobré termoizolační vlastnosti, nízkou měrnou hmotnost a je odolný vůči vlivům okolního prostředí. Díky těmto vlastnostem se často využívá ve stavebnictví jako výplň tunelových konstrukcí, podzemních chodeb a silničních násypů. Dá se využívat i pro tvorbu drenážních vrstev násypů a odvodňovacích příkopů (Xiao a Amirkhanian 2010). Také se přidává do betonu a jeho přídavek vylepšuje odolnost proti praskání a lámání, podporuje zvukovou a tepelnou izolaci a snižuje přenos vibrací (Hallmark-Haack et al. 2019). Pryžový granulát se v čistírnách odpadních vod využívá jako vrstva, která absorbuje rtuť a další těžké kovy a organická rozpouštědla (Araujo-Morera et al. 2021).



Obrázek 10 Odseparovaný kovový šrot



Obrázek 11 Odseparované textilní vlákno

Odseparovaný ocelový šrot (obrázek 10) se taví, zatímco textil (obrázek 11) se spaluje pro získání energie nebo se používá k výrobě tepelně izolační materiálů ve stavebnictví (Sienkiewicz et al 2012). Tyto materiály, tedy ocelová vlákna i textilní polymerová vlákna se dají použít do inovativních betonových směsí, což může mít vliv na

vlastnosti materiálu. Může tedy vzniknout ocelový vláknobeton nebo textilní vláknobeton. Ocelová vlákna v betonu zvyšují jeho pevnost a trvanlivost. Zároveň má beton lepší povrchové vlastnosti a nižší prostupnost. (Letcher et al. 2021).

Dalšími způsoby recyklace je regenerace a devulkanizace, ve kterých je cílem opětovné získání polymerního materiálu (Araujo-Morera 2021). Hlavním mechanismem devulkanizace je štěpení příčných vazeb, zatímco u regenerace probíhá náhodné štěpení s vysokým procentem rozpadu polymeru (Letcher et al. 2021). Při devulkanizaci probíhá rozklad zesíťované struktury vulkanizovaného kaučuku v důsledku porušení poly-, di- a monosírových zesíťovaných vazeb, které vznikly během vulkanizace původního materiálu (Myhre et MacKillop 2002). Jde o selektivní rozpad chemické sítě a dochází ke štěpení vazeb uhlík-síra nebo síra-síra (Sabzekar et al. 2015). Regenerace je proces, během kterého se granulát smíchá s chemickými činidly a oleji, tepelně se rozloží a poté se mechanicky zpracuje (Letcher et al. 2021). Pro výrobu gumových regenerátů se využívá mnoho způsobů, mezi které patří: termomechanický, termochemický, fyzikální (mikrovlnný, ultrazvukový) a biologický. Ve všech procesech probíhají přeměny vedoucí k depolymeraci, oxidaci a často i k degradaci hlavních řetězců kaučukového polymeru. Tím se snižuje viskozita výsledného materiálu, který se používá do směsí na výrobu méně náročných produktů (Sienkiewicz et al 2012). Prvky, které ovlivňují vlastnosti výstupního materiálu, jsou: chemické složení použitého materiálu, doba trvání rozkladu a poměr mechanického a tepelného rozkladu. Většina takto vzniklého materiálu se vrací do automobilového průmyslu (Letcher et al. 2021).

Ve stavebnictví se využívají i celé pneumatiky bez jakéhokoliv ošetření. Vlastnosti jako je elasticita a tlumení vibrací, hluku a nárazů z pneumatik dělá materiál vhodný k použití na ochranné bariéry podél silnic, svažující se břehy nábreží, nárazníky pro lodě, umělé útesy, které poskytují ochranu mořským organismům nebo na izolaci pro základy budov (Murugan et al. 2008).

4.3.2. Opětovné využití

Od počátku 20. století se protektorování využívalo k prodloužení životnosti pneumatik a možnosti opětovného použití. Běžně se protektují pneumatiky pro nákladní automobily, autobusy a letadla, ale protektorování pneumatik pro osobní automobily se již ve většině zemí nepovažuje za ekonomicky životaschopný proces (Letcher et al.

2021). Pneumatika se může protektorovat několikrát, záleží na typu: pro osobní automobil 2-3krát, pro lehké nákladní vozy 4-5krát, pro těžké nákladní vozy 8-9krát a pneumatiky letadel až 14krát (Sharma 2013). Protektorování spočívá ve výměně opotřebované pryže za nový běhoun. V tomto procesu se opotřebovaný běhoun obrousí z pneumatiky a ke kostře pneumatiky se pomocí vulkanizace přidá nový běhoun (Sharma et al. 2000). Při nízkoteplotním způsobu se kostra pneumatiky potáhne vrstvou kaučukové směsi, která působí jako pojivo a běhoun vhodného vzoru a velikosti se nalisuje na kostru, a to vše se vulkanizuje v autoklávu při teplotě okolo 100°C 4-5 hodin. Zatímco při vysokoteplotním způsobu se na kostru nanese kaučuková směs a vulkanizuje se ve formě vytvářející dezén běhounu při teplotě 150-180°C a zvýšeném tlaku (Giere'a et al. 2006). Tím se opraví oběžná plocha opotřebované pneumatiky. Pomocí tohoto způsobu lze snížit množství vzniklého odpadu a ušetřit až 80 % surovin i energie, které jsou potřeba k výrobě nové pneumatiky (Beňová et al. 2012). Například k výrobě jedné pneumatiky pro nákladní vozidlo se spotřebuje přibližně 83 litrů oleje, zatímco na protektorovanou pneumatiku je potřeba přibližně 26 litrů (Gent et Walter 2006). Podle Araujo-Morera et al. 2021 má protektorování ekonomické a environmentální přínosy a je určitou zárukou, že se pneumatiky nebudou vyhazovat nerozvázně, což přispívá k využití oběhového hospodářství.

4.3.3. Energetické využití

Opětovné použití pneumatik je způsob, který má omezenou využitelnost a recyklace sama o sobě nemůže zmírnit problém s odstraňováním velkého množství odpadních pneumatik (Martínez et al. 2013). Proto je dosud nejrozšířenějším způsobem nakládání s odpadními pneumatikami v České republice energetické využití (Ministerstvo průmyslu a obchodu ©2018 b). Hlavní výhodou této metody je snížení velkého množství odpadu a využití energie s případným materiálovým využitím. Naopak zásadní nevýhodou je vytváření toxických plynů (Manoharan et Naskar 2019). Pneumatiky se používají jako palivo v teplárnách, elektrárnách nebo v cementářských pecích, protože mají vysokou výhřevnost a to 30 MJ/kg (Beňová et al. 2012), což je činí konkurenceschopnými vůči uhlí, které má nižší výhřevnost (Giere'a et al. 2006). Stávají se tak náhradou neobnovitelných zdrojů surovin a energie. Přibližně 36 % pneumatik v Evropské unii je využito jako doplňkové nefosilní palivo v procesu získávání energie (Letcher et al. 2021).

Spalování lze obecně označit za redukci spalitelných odpadů na chemicky nereaktivní zbytky. Proces probíhá při teplotě nad 400 °C a je exotermní. Teplo, které při spalování vzniká je možné využít k vytápění, průmyslovému zpracování nebo k výrobě elektřiny. Spalování odpadu v parogeneračních spalovnách a jeho využití jako paliva je pokročilá a osvědčená technologie, jak využívat odpadní energii. Účinnost spalování závisí na fyzikálních vlastnostech paliva a konstrukci spalovacího zařízení (Sharma et al. 2000).

Do cementářských pecí jdou pneumatiky v celku nebo nadrcené, záleží na použité technologii. V pecích dochází k plnému materiálovému a energetickému využití (Ministerstvo průmyslu a obchodu ©2018 b). Proces výroby cementu využívá kov obsažený v pneumatikách, aniž by se zhoršila kvalita cementu. K výhodám používání pneumatik v pecích patří jejich energetické využití, zachování neobnovitelných paliv a snížení nákladů na výrobu cementu. Zároveň k tomu, aby se v cementářských pecích mohla využívat směs koksu a odpadních pneumatik není potřeba dělat velké úpravy v provozu a v uspořádání závodu (Martínez et al. 2013).

Alternativou k energetickému využití v cementárnách je pyrolytické štěpení (nebo také reverzní polymerace, tepelná depolymerizace nebo krakování polymeru) bez přístupu kyslíku. Jedná se o termický rozklad, kterým se získává energie a znovu použitelné materiály. Tento materiálově-energetický proces je ekologicky přijatelný (Beňová et al. 2012) a řeší problém s likvidací odpadních pneumatik, a zároveň umožňuje využití energie. Díky pyrolýze se můžou zpracovávat odpady, které se jinak těžko recyklují. Pyrolytickým zahříváním suroviny za nepřítomnosti kyslíku dochází k dehydrataci, krakování, izomerizaci, dehydrogenaci, aromatizaci a kondenzaci (Martínez et al. 2013). Existuje několik typů pyrolyzérů, mezi které patří například fluidní lože, pevné lože nebo rotační lože. Zvolený typ pyrolyzéro má vliv na výtěžnost kapalně a plynné fáze a na složení a kvalitu aktivního uhlí nebo vyprodukovaných sazí (Lewandowski et al. 2019). Produkty pyrolýzy jsou v plynném, kapalném i pevném skupenství (Beňová et al. 2012). Plynná fáze může být díky své vysoké výhřevnosti 29,9-42,1 MJ/m³ využita bez jakékoli úpravy jako topný plyn pro samotný proces (Cai et al. 2019). A je bohatá na organické sloučeniny (vodík H₂, methan CH₄, ethylen C₂H₄, ethan C₂H₆, oxid uhelnatý CO, oxid uhličitý CO₂ a sirovodík H₂S) (Imbernon et Norvez 2016). Kapalnou fází tvoří dehet, voda, aromatické uhlovodíky a organické látky (černo-hnědá směs organických sloučenin = oleje) s vysokou výhřevností

(Torretta et al. 2015). Ta se dá používat jako palivo nebo zdroj chemických látek. Uhlíkaté pevné látky s vysokou energetickou hodnotou se používají v gumárenském průmyslu jako výztuha, aktivní uhlí, bezkouřové palivo (Beňová et al. 2012) nebo jako náhrada za některé druhy sazí v inkoustech, tonerech do tiskáren, barvách a pneumatikách (Letcher et al. 2021). Podíly vzniklých skupenství se různí v závislosti na procesních podmínkách a použitém materiálu (Beňová et al. 2012).

Výhodou pyrolýzy oproti spalování za přítomnosti kyslíku je menší objem vzniklých plynů na tunu zpracované suroviny. Vyprodukuje se menší množství oxidu uhličitého ve srovnání s přímým spalováním nebo spalováním jiných fosilních paliv, které se používají na výrobu energie (Martínez et al. 2013). Pyrolýza také generuje menší množství dusíku, oxidu síry a škodlivých složek těžkých kovů, oproti jiným způsobům likvidace pneumatik, tudíž má menší negativní dopad na životní prostředí (Lewandowski et al 2019). Vzniká znovupoužitelný pevný a kapalný materiál, čímž se odpad zhodnocuje. Většina síry se zadržuje v uhlíkaté pevné fázi. Plynné a kapalné produkty tedy obsahují minimální množství síry a jsou vhodné k použití jako palivo s nízkými emisemi síry. Pyrolýza má menší dopady na znečištění ovzduší, protože většina vyprodukovaných plynů se v procesu spálí jako palivo. Naopak velkou nevýhodou je neexistence širokého trhu pro využití kapalně a pevně frakce, které při pyrolýze vznikají (Martínez et al. 2013).

4.3.4. Využití jako rekultivačního materiálu a použití na skládkách

Odpadní pneumatiky se v České republice z části využívají i k jiným účelům, například pro překrývání odkaliště materiálu z těžby uranu u Mydlovar na Českobudějovicku (Beňová et al. 2012). Dle posudku k záměru „Použití vyřazených pneumatik pro konstrukci roznášecí vrstvy při sanaci odkaliště K IV/E“ se zde pneumatiky využívají k rekultivaci vodního díla a jedná se o ekologickou stavbu a odstraňování následků vzniklých hornickou činností. Z odpadních pneumatik se nad polotekutým materiálem odkaliště vytváří roznášecí vrstva, která má omezit potíže s nedostatečným množstvím lehkého sanačního materiálu, jako je například popelovina a s neúnosností uloženého tixotropního rmutu. Záměr má být realizován na celkové ploše 380 626 m² s využitím 223 600 tun pneumatik. Pneumatiky se používají celé i drcené společně s klasickým sanačním materiálem, přičemž celé pneumatiky mají být zajišťovány z tuzemských zdrojů a drcené pneumatiky z dovozu (Hammer et al. 2004). Rekultivace odkališť v oblasti Mydlovar na Českobudějovicku

se skládá z technické části rekultivace, ve které se využívají pneumatiky, a z biologické části rekultivace, ve které se pneumatiky nevyužívají. V technické části rekultivací odkališť je vytvářena vrstva o mocnosti 2–7 m z pneumatik (Havránková et al. 2015). Přehled společností, které provozují povolená zařízení pro nakládání s odpadními pneumatikami v oblasti Mydlovar je v příloze 12. Dle dostupných zdrojů má být technická část rekultivace dokončena přibližně v roce 2024 (Vláda ČR, 2016), z toho důvodu se nabízí otázka, zda po dokončení technické části rekultivace bude dostatečná kapacita pro využití odpadních pneumatik v České republice.

Příloha č. 5 k vyhlášce č. 294/2005 Sb. v minulém znění, o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 SB., o podrobnostech nakládání s odpady uvádí „seznam odpadů, které je zakázáno ukládat na skládky a používat jako technologický materiál nebo využívat na povrchu terénu“, kam spadají „odpady vznikající z výrobků podléhajících povinnosti zpětného odběru s výjimkou využívání pneumatik při výstavbě a uzavírání skládek“. 7.8.2021 vstoupila v platnost Vyhláška č. 273/2021 Sb. v platném znění o podrobnostech nakládání s odpady, kde je podle přílohy č. 4 „zakázáno využívat k zasypávání odpady na bázi pryže“. Současně v příloze č. 11 této vyhlášky, která uvádí „seznam odpadů, které mohou být využívány jako technologický materiál pro technické zabezpečení skládek, k vytváření vyrovnávací vrstvy pod uzavírací těsnicí vrstvou skládky, odplyňovací vrstvy, uzavírací těsnicí vrstvy skládky, ochranné vrstvy skládky a svrchní rekultivační vrstvy skládky“, nejsou uvedeny pneumatiky, které se v katalogů odpadů uvádí pod kódem 16 01 03. Odbor odpadů MŽP ©2020 uvádí, že na technické zabezpečení skládky nebo jako technologický materiál je možné využívat jen odpady vymezené v prováděcí vyhlášce.

4.3.5. Přeshraniční přeprava pneumatik

Přeshraniční přeprava odpadů se řídí Nařízením Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1013/2006, o přepravě odpadů. Pokud se posuzuje, zda se jedná o přepravu odpadu, musí se zohlednit potenciální vliv věci na životní prostředí, v jakém stavu se věc nachází, způsob přepravy a úmysl vlastníka zbavit se věci. Platí, že pokud byl materiál odpadem ještě před zahájením přepravy, jedná se o odpad i při přepravě. U pneumatik lze toto uplatnit, pokud byly odevzdány ve sběrných dvorech. Pokud byly odevzdány na místě zpětného odběru pneumatik, pracuje se s nimi jako s odpadem, až když se předají osobě oprávněné k jejich využití nebo odstranění (Manhart 2016). Toto ale

není možné aplikovat při přeshraniční přepravě, protože podle Nařízení vlády č. 352/2014 Sb. v minulém znění 01.01.2015-31.12.2020 (dále už jen „Nařízení vlády č. 352/2014 Sb.“) *„se zpětně odebrané výrobky při přeshraniční přepravě z České republiky do zahraničí považují za odpady okamžikem předání zpětně odebraných výrobků k přeshraniční přepravě“*.

Pokud nejsou pneumatiky převáženy jako odpad, musí být dále využitelné v souladu s českými předpisy. To znamená, že plášť nesmí být poškozen a nesmí na něm být žádná trhлина. Dezén pneumatiky musí být větší než 1,6 mm a neměly by být starší než 10 let. Způsob uložení pneumatik při přepravě musí vypovídat o úmyslu dalšího využití. Pneumatiky tedy nesmějí být při přepravě deformovány a poškozeny. (Manhart 2016).

Přepřavované pneumatiky se tedy považují za odpad, pokud se přepřavují za účelem protektorování, mají hloubku dezénu menší než 1,6 mm, jsou poškozené, jejich stáří je více než 10 let nebo jsou při přepravě uloženy tak, že je zjevná nemožnost dalšího využití. Použité pneumatiky se řadí na Zelený seznam odpadů pod kódem B3140. Kde B je označení pro seznam B = příloha IX Basilejské úmluvy; B3 = odpad obsahující převážně organické složky, které mohou obsahovat kovy a anorganické látky; B3140 = použité pneumatiky, s výjimkou těch, které jsou určeny pro postupy uvedené v příloze IVA (Manhart 2016). Konkrétně jsou to pneumatiky určené pro protektorování, energetické využití a opětovné využití. (VÚV TGM 2013) Podle Nařízení vlády č. 352/2014 Sb. obecně platí, že *„přepřava odpadů z ČR za účelem jejich odstranění je povolena pouze, pokud v ČR není dostatečná kapacita k odstranění odpadu způsobem příznivým z hlediska vlivu na životní prostředí. A přepřava odpadu do ČR za účelem odstranění je zakázána“*. Odpad je možné do ČR dovážet za účelem jeho využití, ale *„pouze do zařízení, která se provozují s platnými právními předpisy a mají dostatečnou kapacitu“*. Pokud je pro přepřavu požadováno písemné oznámení a získání souhlasu, orgánem, který je oprávněn toto schválení vydat, je ministerstvo (Manhart 2016). Přehled nařízení ohledně vývozu a dovozu odpadních pneumatik přes hranice České republiky je shrnutý v tabulce 3.

	Vývoz z ČR	Dovoz do ČR
Státy EU	Postup dle č. 18 Nařízení o přepravě odpadů	Postup dle č. 18 Nařízení o přepravě odpadů
Státy, na které se vztahuje Rozhodnutí OECD ¹	Postup dle č. 18 Nařízení o přepravě odpadů	Postup dle č. 18 Nařízení o přepravě odpadů
Třetí země (ne EU, ne Rozhodnutí OECD), které jsou smluvními stranami Basilejské úmluvy	Zákaz ² nebo Předchozí písemné oznámení a souhlas ² nebo Postup dle č. 18 Nařízení o přepravě odpadů	Postup dle č. 18 Nařízení o přepravě odpadů
Státy, které nejsou smluvními stranami Basilejské úmluvy	Zákaz ² nebo Předchozí písemné oznámení a souhlas ² nebo Postup dle č. 18 Nařízení o přepravě odpadů	Zákaz

Tabulka 3 Přehled režimů dovozu a vývozu odpadních pneumatik pro využití (Manhart 2016)

¹ Rozhodnutí Rady OECD o kontrole pohybů odpadů přes hranice; členské země OECD: Austrálie, Belgie, Česko, Dánsko, Estonsko, Finsko, Francie, Chile, Irsko, Island, Itálie, Izrael, Japonsko, Jižní Korea, Kanada, Lucembursko, Maďarsko, Mexiko, Německo, Nizozemsko, Norsko, Nový Zéland, Polsko, Portugalsko, Rakousko, Řecko, Slovensko, Slovinsko, Španělsko, Švédsko, Švýcarsko, Turecko, USA, Velká Británie

² Viz. Čl. 37 Nařízení o přepravě odpadů a Nařízení č. 1418/2007; Jednotlivé země byly osloveny, aby sdělily své požadavky na dovoz odpadu.

4.4. Analýza materiálových toků

V analýze materiálových toků jde o systematické hodnocení toků a zásob materiálů v rámci systému, který je definovaný v čase a prostoru. Analýza poskytuje kompletní soubor informací o veškerých tocích a zásobách daného materiálu v rámci systému. Pomocí vyvažování vstupů a výstupů se zobrazí toky odpadů a zátěže životního prostředí a dají se identifikovat jejich zdroje. Pokud nejsou vstupy a výstupy v rovnováze, chybí jeden nebo několik toků nebo byly chybně stanoveny. Analýzou materiálových toků je možné včas určit problémy, jako je budoucí zatížení životního prostředí nebo vyčerpání zdrojů (Brunner et Rechberge, 2004). Také slouží k naplnění vyšší úrovně recyklace a snižování ztrát potenciálních druhotných surovin (Evropská komise 2014). Společně s analýzou energetických toků tyto metody představují způsob kvantifikace socio-ekonomického metabolismu a hodnocení zátěže životního prostředí (Kovanda, 2008).

Na straně vstupů a výstupů je materiál, kterým mohou být jak látky, tak zboží. Procesem se rozumí přeprava, skladování nebo přeměna materiálu. Zásoby jsou brány jako zásobárny materiálu v rámci systému. Systém je soubor materiálových toků, procesů a zásob v definované hranici. Jednotlivé procesy se propojují pomocí materiálových toků. Toky, které vstupují do procesu jsou vstupy a toky, které z procesu vystupují jsou výstupy. Toky, které prochází hranicemi systému se nazývají exporty nebo importy (Brunner et Rechberge, 2004). Hranice systému mohou být definovány časově, prostorově nebo tematicky. Časová hranice se obvykle volí na jeden rok, prostorová je ve většině případech definována geografickými, administrativními nebo hydrologickými hranicemi (Allesch et Brunner 2015). K zobrazení výsledků analýzy materiálových toků se často používají Sankeyovy diagramy, které se mohou nazývat tzv. „viditelným jazykem průmyslové ekologie“ (Graedel 2019). Diagram zobrazuje všechny importy a exporty, materiálové toky, procesy a zásoby, přičemž by vše mělo být pojmenováno a kvantifikováno (Brunner et Rechberge, 2004). Velikost toků je v diagramu znázorněna šířkou jednotlivých čar (Graedel 2019).

V rámci odpadového hospodářství je analýza materiálových toků důležitým nástrojem při nakládání s látkami, protože je možné přesně určit základní složení odpadů. Dále se využívá pro zkoumání hospodaření s látkami v recyklačních zařízeních. Může přispívat k inovaci produktů, aby se lépe upravovaly nebo recyklovaly. K charakterizaci odpadních materiálů se používají různé parametry (Brunner et Rechberge, 2004):

- a. Materiály nebo frakce tuhého komunálního odpadu
- b. Fyzikální, chemické nebo biochemické parametry (výchřevnost, hustota, biologická rozložitelnost apod.)
- c. Koncentrace látek

Pokud se řeší konkrétní problém odpadového hospodářství, není nutné analyzovat všechny parametry. Pro analýzu pevného odpadu existují tři hlavní metody (Brunner et Rechberge, 2004):

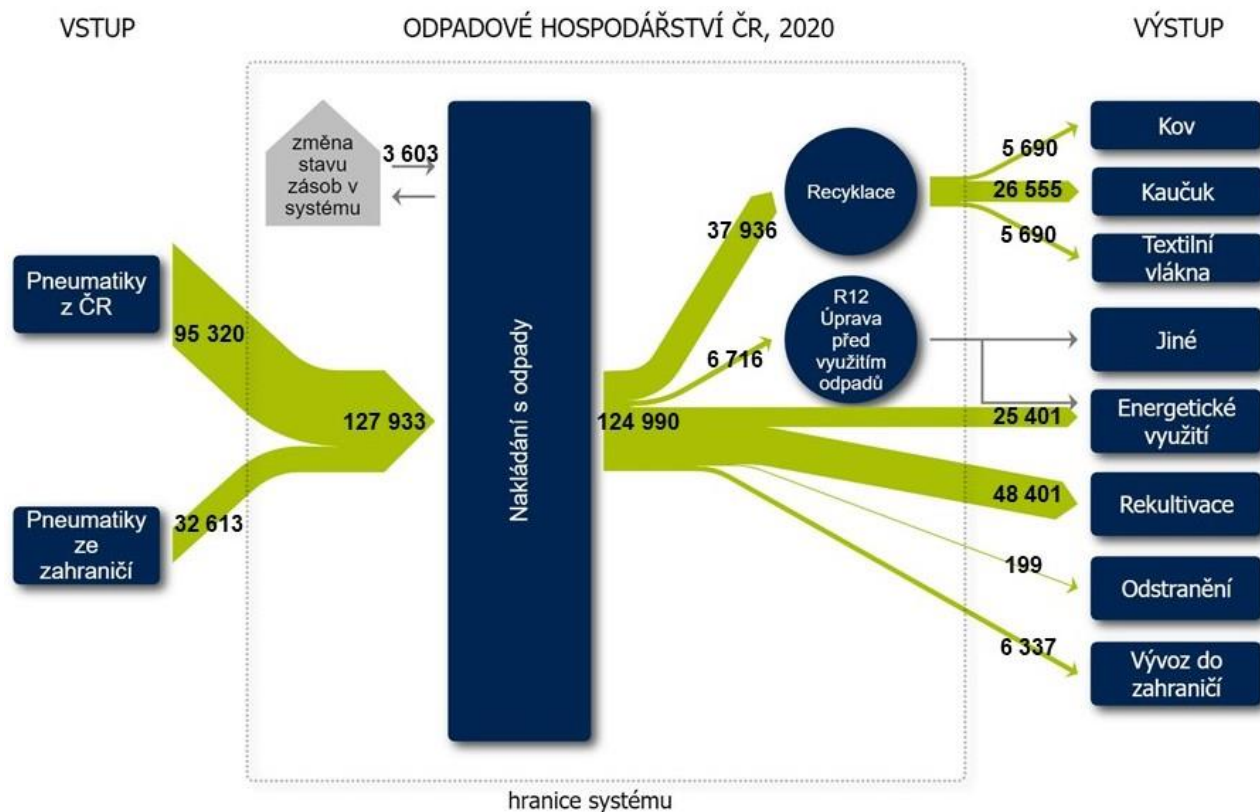
- a. Přímá analýza, kdy se odebírá a analyzuje pouze vzorek z celkem generovaného tuhého komunálního odpadu.

- b. Nepřímá analýza tuhého komunálního odpadu, analýza tržního produktu. V tomto případě jsou zapotřebí data o výrobě zboží a o osudu zboží při používání a spotřebě.
- c. Nepřímá analýza, která využívá informace o produktech k výpočtu složení tuhého komunálního odpadu.

Pro tuto práci byla použita nepřímá metoda, která podle Brunnera a Rechbergeho 2004, počítá s tím, že se zboží vyrábí a spotřebovává a poté se recykluje nebo likviduje jako odpad. Výhodou tohoto způsobu je, že není potřeba provádět žádná měření a je zde potenciál předvídat trendy do budoucna. Nevýhodou je závislost na údajích o výrobě a spotřebě.

5. Výsledky

5.1. Identifikace a kvantifikace materiálových toků odpadních pneumatik v České republice



Obrázek 12 Sankeyův diagram materiálových toků, hodnoty jednotlivých materiálových toků jsou zobrazeny v množství tun (t)

Pod recyklaci spadá převážně drcení pneumatik s následným materiálovým využitím granulátu a kovů.

Výsledky kvantifikace dat jednotlivých materiálových toků použitých pneumatik byly vypočteny podle tabulky 1 na základě dat poskytnutých agenturou CENIA (příloha 11). Následně byly přeneseny do Sankeyova diagramu (obrázek 12), který znázorňuje hodnoty materiálových toků v množství tun. Drobná nevyváženost vstupů a výstupů pravděpodobně vznikla uvedením špatných kódů v ročních hlášeních o produkci a způsobech nakládání s odpady, které byly zaslány státní správě osobami oprávněnými pro nakládání s odpady.

Z diagramu je patrné, že nejvíce odpadních pneumatik bylo v roce 2020 využito na rekultivaci, přičemž převážná část takto využitých pneumatik (necelých 89 %, protože odpady označené kódem R11 se v roce 2020 využívaly prakticky výhradně pro

rekultivaci bývalých kalojemů) se používá na technickou část rekultivace odkaliště v oblasti Mydlovar.

Druhý největší materiálový tok se týká recyklace. Z korporátních dat poskytnutých společností RPG Recycling, s.r.o. vyplývá, že se přímo v jejich provozu ročně zpracuje okolo 25 000 tun pneumatik a výstupními materiály jsou kaučuk, kov a textilní vlákno v poměru 15 %:15 %:70 %. Mezi další firmy, které se v České republice zabývají zpracováním pneumatik pro následné materiálové využití, patří například Tasy s.r.o. nebo SH Drtiče, s.r.o.

Vysoké procento je i u energetického využití pneumatik, téměř čtvrtina (21,5 %) z celkových výstupů. Energetickým využitím v ČR se rozumí převážně spalování v cementárnách. Do cementářských pecí se využívají celé pneumatiky a to znamená, že se společně s kaučukem (17 781 t) spálí také kov (3 810 t) a textil (3 810 t).

Toky z úpravy R12 nebylo možné kvantifikovat na základě poskytnutých dat od společnosti CENIA a korporátní data nebyla od oslovených společností poskytnuta.

Stav zásob v systému se během roku 2020 zmenšil o 3 603 tun. Na konci roku zásoby stále činily téměř 46 000 tun odpadních pneumatik.

Nelze přehlédnout, že dovoz odpadních pneumatik významně převyšuje vývoz.

5.2. Míra uzavírání materiálových toků do cyklů a soulad s hierarchií odpadového hospodářství při nakládání s odpadními pneumatikami v ČR

Míra uzavírání materiálových toků do cyklů byla v roce 2020 přibližně 32 %. Míra nejistoty u tohoto výsledku odpovídá přibližně 5,7 % odpadních pneumatik, které byly předmětem úpravy před jejich konečným využitím. Také lze ale předpokládat, že podstatná část textilních vláken z pneumatik byla předmětem energetického využití (až cca 4,8 %). Plnění hierarchie odpadového hospodářství při nakládání s odpadními pneumatikami je hodnocena v tabulce 4 a graficky znázorněna na obrázku 13.

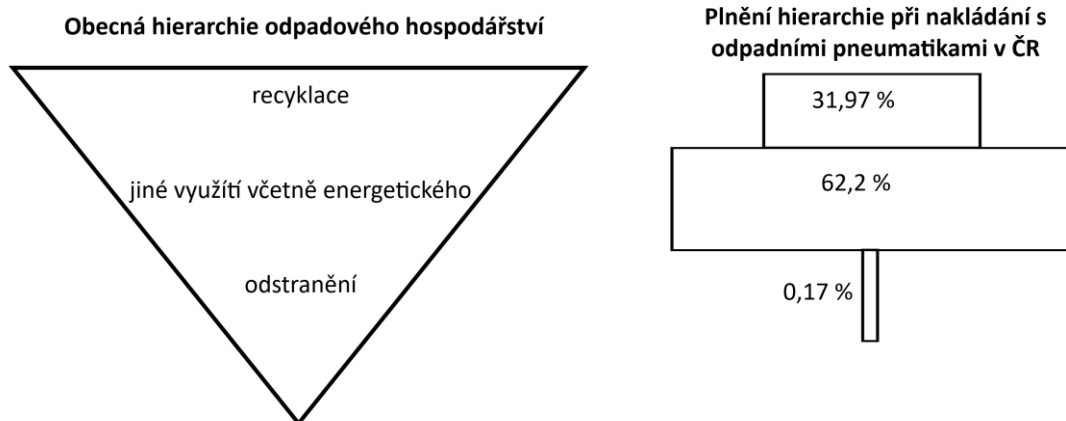
Hierarchie nakládání s odpady	Označení	Způsoby nakládání s odpadními pneumatikami	Podíl způsobu nakládání s odpadními pneumatikami	Podíl způsobu nakládání s odpadními pneumatikami dle hierarchie
Předcházení vzniku odpadů	-	-	-	-
Příprava k opětovnému použití	-	Protektorování ¹	-	-
Recyklace	3	Převážně drcení pneumatik s následným materiálovým využitím granulátu a kovů	31,97 %	31,97 %
Jiné využití včetně energetického využití	4	Energetické využití celých pneumatik	21,41 %	67,86 %
	6	Rekultivace, využití na povrchu terénu (zasypávání) a použití na skládce k užitečnému účelu ²	40,79 %	
	5	Úprava odpadů před využitím k rekultivacím nebo k energetickému využití ³	5,66 %	
Odstranění	7 (D1)	Odstranění uložením na skládce bez použití k užitečnému účelu	0,11 %	0,17 %
	7 (D10)	Odstranění spalováním bez využití energie	0,06 %	

Tabulka 4 Hierarchie nakládání s odpady dle § 3 zákona č. 541/2020 Sb.

¹ obvykle mimo režim odpadů

² ačkoliv se dle současně používaných výpočtů řadí použití odpadů na skládce k užitečnému účelu k materiálovému využití (podle postupu Ministerstva životního prostředí), případně k zasypávání (podle postupu Českého statistického úřadu), bude třeba tento přístup přehodnotit od roku 2024, kdy se podle současně platného zákona o odpadech řadí i použití odpadů k užitečnému účelu na skládce k jejich odstranění. Množství odpadních pneumatik použitých na skládce bylo vzhledem k množství pneumatik použitých k rekultivačním účelům prakticky zanedbatelné.

³ odpady upravené způsobem R12, další osud materiálů nelze určit bez korporátních dat.



Obrázek 13 Plnění hierarchie odpadového hospodářství při nakládání s odpadními pneumatikami v České republice

6. Diskuse

Na základě dat poskytnutých státní správou se podařilo do vysoké míry sestavit Sankeyův diagram materiálových toků odpadních pneumatik v České republice za rok 2020. Rok 2020 byl posledním rokem, za který byla k dispozici v době přípravy této práce data na národní úrovni. Na základě výsledků práce se podařilo porovnat skutečné nakládání s odpadními pneumatikami v České republice s hierarchií odpadového hospodářství a cíle práce tak byl splněny s určitými nejistotami. Vzhledem ke způsobu vedení průběžné evidence o odpadech podle českých právních předpisů platných v roce 2020 nebylo možno s dostatečnou přesností kvantifikovat materiálové toky odpadů vzniklých úpravou odpadních pneumatik evidovanou pod kódem R12. Za tímto účelem by bylo třeba použít korporátní data, které oslovené společnosti neposkytly. Tato skutečnost nemusí být dána pouze neochotou těchto společností ke spolupráci, ale také skutečností, že oslovené společnosti upravují různé druhy odpadů a odpady vznikající z této úpravy zařazují pod stejné druhy odpadů, zejména skupiny 19 Katalogu odpadů [„odpady ze zařízení na zpracování (využívání a odstraňování) odpadu, z čistíren odpadních vod...“] a nemají povinnost znát přesné údaje o odpadech vzniklých právě z pneumatik. Upraveno bylo tímto způsobem v roce 2020 necelých 5,7 % odpadních pneumatik. Pro účely této práce byl tento materiálový tok zařazen na základě odhadu do kategorie „jiné využití včetně energetického využití“, ale nelze vyloučit, že část odpadů vznikajících z úpravy odpadů je recyklována. Presentována je tak v souladu s principem předběžné opatrnosti mírně pesimistická varianta. Na základě dat poskytnutých státní správou také nelze uspokojivě sestavit bilanci vstupů a výstupů. V datech hlášených převážně osobami nakládajícími s odpady se objevují určité nepřesnosti, například byly pravděpodobně použity v ojedinělých případech chybné kódy nakládání s odpady, zejména však byl za rok 2020 ohlášen inventurní rozdíl 6 500 tun. Tato hodnota je přibližně dvojnásobnou hodnotou vypočtené změny stavu zásob odpadních pneumatik v zařízeních pro nakládání s nimi. Cílem práce nebylo poskytnout údaje o množství použitých pneumatik – pneumatik s ukončenou životností – na místech zpětného odběru. Tato množství nemusí být totiž na základě právních předpisů nijak evidována.

Z výsledků práce vyplývá, že v roce 2020 byla hierarchie nakládání s odpady při nakládání s použitými pneumatikami plněna pouze částečně. Podíl odstraněných pneumatik byl sice nízký, vysoce převažovalo ale jiné využití odpadů včetně

energetického využití (68 %) nad recyklací (32 %) a lze tak konstatovat, že k uzavírání materiálových toků do cyklů při nakládání s odpadními pneumatikami docházelo pouze částečně. Tato skutečnost se příliš nezmění ani v případě optimistické varianty – při započtení materiálového toku upravených odpadních pneumatik. Alarmující skutečností je, že přibližně 41 % odpadních pneumatik bylo využito při rekultivaci odkališť bývalé úpravny uranových rud DIAMO, s.p., u Mydlovar. V roce 2024 by mělo dojít k ukončení technické části rekultivací. Při zachování současných materiálových toků odpadních pneumatik by to v roce 2025 a dalších letech způsobilo přebytek přibližně 43 000 tun odpadních pneumatik na českém trhu.

Do značné míry by tento problém mohlo řešit omezení dovozu odpadních pneumatik ze zahraničí (rozdíl importu a exportu byl v roce 2020 přibližně 26 000 tun). Omezení dovozu odpadních pneumatik ze zemí EU je ale z pohledu správních orgánů poměrně obtížné, protože pneumatiky jsou odpady tzv. „zeleného seznamu“, tedy jejich přeprava je v souladu s nařízením ES č. 1013/2006 o přepravě odpadů možná bez předchozího povolení a do značné míry je ovlivněna jen běžnými tržními mechanismy. Zároveň by omezení vývozu neřešilo přebytek úplně, protože domácí přebytek by tvořil přibližně 17 000 tun. Situaci tak může vyřešit lepší podpora zpracovatelů odpadů, kteří recyklují nebo jinak využívají odpadní pneumatiky. Zároveň lze očekávat zvýšení cen za předání odpadních pneumatik do zařízení pro nakládání s nimi a s tím spojené zvýšené náklady výrobců a dovozců nových pneumatik, kteří plní své povinnosti sami nebo prostřednictvím kolektivního systému (ELTMA).

Vzhledem ke skutečnosti, že podstatná část pneumatik byla předmětem jiného využití včetně energetického využití, lze také dovodit, že spolu s kaučukem nedošlo v roce 2020 k uzavření materiálových toků do cyklů také u přibližně 11 tis. tun železa, které tyto odpadní pneumatiky obsahovaly.

S přihlédnutím ke skutečnosti, že metody pro stanovení indikátorů odpadového hospodářství pro účely Ministerstva životního prostředí popsané v dokumentu „Matematické vyjádření výpočtu soustavy indikátorů OH v souladu s vyhláškou č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady v platném znění, nerozlišují mezi recyklací a jinými způsoby použití nebo využití odpadů jako materiálu, jsou způsoby použité v této práci odlišné od způsobů popsaných ve výše zmíněném dokumentu.

V tabulce 2 (Sharma et al. 2000) je uveden podíl složek pneumatik, kde u pneumatik osobních aut je podíl textilních vláken 5 %, u ojetých 5,5 % a u pneumatik z nákladních aut je uvedeno, že žádná textilní vlákna neobsahují. Stejná data o podílu textilních vláken v pneumatikách uvádí Letcher et al. 2021 a zmiňuje, že poměr složek se může měnit v závislosti na kontinentu, avšak ne významným způsobem. Společnost ETRMA 2015 uvádí stejná data pro pneumatiky osobních automobilů i nákladních aut jako výše zmíněné, ale doplňuje údaje ještě o kategorii mimosilničních vozidel (OTR), kde je zmíněn podíl textilu 10 %. Od společnosti RPG Recycling, s.r.o. bylo zjištěno, že výstup textilních vláken z linky na drcení pneumatik je v poměru k odseparovanému pryžovému granulátu a kovu 15 %. Rozdíl 10 % ze zjištěných dat je poměrně znatelný a pravděpodobně je způsobený tím, že firma RPG Recycling s.r.o. zpracovává i velké množství nadrozměrných pneumatik (OTR) (příloha 1 a 2), které mají oproti pneumatikám z osobních automobilů větší hmotnost a mají větší poměr textilních vláken. Ojeté pneumatiky také ztrácí část své hmotnosti otěrem vrchních vrstev a tím se zvyšuje poměr textilního vlákna. Rozdíl v množství vláken může být také dán tím, že se ne vždy podaří vlákna dokonale separovat od pryže (viz obrázek 7).

Jedním ze dvou cílů Ministerstva životního prostředí v Plánu odpadového hospodářství ČR pro období 2015–2024, které jsou zmíněny v úvodu této práce, je navýšení minimální úrovně zpětného odběru pneumatik na 80 % v roce 2020. To se bohužel nepodařilo a v roce 2020 byla tato úroveň stanovena na 65 %. Podle zákona č. 542/2020 Sb. se minimální úroveň má zvednout na 80 % v roce 2022. Dalším cílem je dosáhnout vysoké míry využití při zpracování odpadních pneumatik, konkrétně 100 % od roku 2016. Pokud vstupy počítají i s dovozem pneumatik ze zahraničí, byl tento cíl v roce 2020 naplněn z 92,6 %. Do využití jsou započítány výstupy z recyklace, ale i výstupy z úpravy před využitím odpadů, které v této práci nejsou dále kvantifikovány, energetické využití a využití pro rekultivaci. Pokud by byly materiálové toky zachovány v současné podobě a v roce 2024 bude ukončena technická část rekultivace odkališť u Mydlovar, kde se v roce 2020 využilo 89 % z celkového počtu pneumatik využitých k rekultivaci a obdobným účelům, byl by tento cíl naplněn pouze z 59 %.

7. Závěr a přínos práce

Na základě výsledků práce lze konstatovat, že míra uzavírání materiálových toků do cyklů při nakládání s odpadními pneumatikami v České republice byla v roce 2020 mírně neuspokojivá a dosahovala úrovně přibližně 32 % (min. 27,2 %, max. 37,7 %). Míra nejistoty vyplývá ze skutečnosti, že 5,7 % odpadních pneumatik, bylo předmětem úpravy před jejich konečným využitím nebo neznámým způsobem a 4,8 % výstupů tvořila textilní vlákna, která mohla být energeticky využita). Nejvýznamnějším materiálový tok odpadních pneumatik směřoval k „jinému využití včetně energetického využití“, tedy na nižší úroveň hierarchie odpadového hospodářství. V rámci jiného využití převažovalo využití k rekultivačním účelům, které probíhalo převážně v okolí Mydlovar na Českobudějovicku. Vzhledem k předpokládanému dokončení rekultivačních prací v této lokalitě je možné, že dojde k přebytku odpadních pneumatik po roce 2024. V nejbližší době by pro to měla být přijata opatření ze strany zpracovatelů, kolektivního systému ELTMA i samostatně plnicích výrobců a dovozců nových pneumatik a státní správy, která by vedla ke zvýšení zpracovatelských kapacit na odpadní pneumatiky nebo k omezení importu odpadních pneumatik z ostatních zemí EU, který tvořil v roce 2020 přibližně 25 % vstupů odpadních pneumatik do zařízení pro nakládání s nimi. Situaci také může pozitivně ovlivnit vědeckotechnický a společenský rozvoj a s ním spojené zvýšení poptávky po výrobcích z recyklátů.

8. Přehled literatury a použitých zdrojů

1. Allesch A., Brunner P. H., 2015: Material flow analysis as a decision support tool for waste management: A literature review. *Journal of industrial ecology*, 19-5: 753-764,
2. Araujo-Morera et al. 2021 ex. Anderbilt T. H. E. V. et al. 2010: *Rubber Handbook* 06856: 853-1400.
3. Araujo-Morera J., Verdejo R., Lopéz-Manchado M. A., Hernández Santana M., 2021: Sustainable mobility: The route of tires through the circular economy model. *Waste Management* 126: 309-322.
4. Beňová E., Mikulová Z., Baudišová B., Danihelka P., 2012: Použité pneumatiky – skládkování nebo recyklace? *Spektrum* 1/2012, Ostrava: 47-52. ISSN 1804-1639.
5. Brunner P. H., Rechberger H., 2004: *Practical Handbook of material flow analysis*. CRC Press. ISBN: 0-203-59141-0. 333 s.
6. Cai H., Liu J., Kuo J., Buyukada M., Evrendilek F., 2019: Thermal characteristics, kinetics, gas emissions and thermodynamic simulations of (co-)combustions of textile dyeing sludge and waste tea. *Journal of Cleaner Production* 239.
7. De S. K., Isayev A., Khait K., 2005: *Rubber recycling*. Taylor & Francis Group, Florida, 528 s. ISBN: 978-0-203-49933-7
8. Ellen MacArthur Foundation, 2020: *The Circular Economy In Detail* (online)[cit. 2022.01.15], dostupné z <https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/explore/the-circular-economy-in-detail>.
9. ELT Management Company Czech Republic s.r.o., 2021: *Výroční shrnutí 2020*. Dostupné z <https://www.eltma.cz/aktuality/vyrocní-shrnutí-2020>.
10. ETRMA, 2015: *End-of-life Tyre, Report 2015*. Dostupné z <https://www.etrma.org/wp-content/uploads/2019/09/elt-report-v9a-final.pdf>
11. Eurostat, 2001: *Economy-wide Material Flow Accounts and Derived Indicators: A Methodological Guide*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 92 s.
12. Evropská komise, 2014: *Směrnice evropského parlamentu a rady: kterou se mění směrnice 2008/98/ES o odpadech, směrnice 94/62/ES o obalech a obalových odpadech, směrnice 1999/31/ES o skládkách odpadů, směrnice 2000/53/ES o vozidlech s ukončenou životností, směrnice 2006/66/ES o bateriích a akumulátorech a odpadních bateriích a akumulátorech a směrnice 2012/19/EU o odpadních elektrických a elektronických zařízeních.*

13. Gaustad G., Krystofik M., Bustamante M., Badami K., 2018: Circular economy strategies for mitigating critical material supply issues. *Resources, Conservation and Recycling* 135: 24-33.
14. Gent A. N. et Walter J. D., 2006: Pneumatic Tire. *Mechanical Engineering Faculty Research*, 699 s.
15. Gieré R., Smith K., Blackford M., 2006: Chemical composition of fuels and emissions from a coal + tire combustion experiment in a power station. *Fuel* 85: 2278-2285.
16. Graedel T. E., 2019: Material FLOW Analysis from Origin to Evolution. *Environmental Science & Technology* 53 (21): 12188-12196.
17. Hallmark-Haack B. L., Hernandez N. B., Williams R. Ch., Cochran E. W., 2019: Ground tire rubber modification for improved asphalt storage stability. *Energy & Fuels* 33 (4): 2659-2664.
18. Hammer V., 2004: Posudek na dokumentaci hodnocení vlivů na životní prostředí podle přílohy č. 5, zákona č. 100/2001 Sb. a ve znění pozdějších předpisů záměru použití vyřazených pneumatik pro konstrukci roznášecí vrstvy při sanaci odkaliště k IV/E. *Ekosystem spol. s.r.o.*, 67 s.
19. Havránková R., Havránek J., Kaňkovský J., Řepa L., Zolzer F., 2015: The radiological situation around the former uranium processing plant MAPE Mydlovary, Czech Republic. *Nuclear Technology and Radiation Protection*, 30(2), 132-138.
20. Imbernon L., Norvez S., 2016: From landlifting to vitrimer chemistry in rubber life cycle. *European Polymer Journal* 82: 347-376.
21. Kovanda J., 2008: Indikátory materiálových toků pro Českou republiku: Trendy, analýza decouplingu a nejistoty. *Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze, Ústav pro životní prostředí, Praha*. 77 s. (disertační práce)
22. Letcher T. M., Shulman V. L., Amirkhanian S., 2021: *Tire waste and recycling*. Academic Press, ISBN 978-0-12-820685-0.
23. Lewandowski W. M., Janiszewicz K., Kosakowski W., 2019: Efficiency and proportions of waste tyre pyrolysis products depending on the reactor type – A review. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 140, 25-53.
24. Manhart J., 2016: Metodika odboru odpadů Ministerstva životního prostředí k přeshraniční přepravě použitých pneumatik.
25. Manoharan P., Naskar K., 2019: Recycling of tire rubbers and their re-usability. In: Kim J. K., Saha P., Thomas S., Haponiuk J. T., Aswathi M. K. (eds.): *Rubber recycling: Challenges and Developments*. Royal society of chemistry, Velká Británie, 102-128. ISBN: 978-1-78801-348-2.

26. Martínez J. D., Puy N., Murillo R., García T., Navarro M. V., Mastral M., 2013: Waste tyre pyrolysis – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 23: 179-213.
27. Ministerstvo průmyslu a obchodu, ©2018: Aktualizace politiky druhotných surovin České republiky pro období 2019-2022.
28. Ministerstvo průmyslu a obchodu, ©2018: Politika druhotných surovin České republiky: Přílohy.
29. Ministerstvo životního prostředí, ©2014: Plán odpadového hospodářství České republiky pro období 2015–2024.
30. Murugan S., Ramaswamy M. C., Nagarajan G., 2008: The use of tyre pyrolysis oil in diesel engines. *Waste Management* 28: 2743-2749.
31. Myhre M., MacKillop D. A., 2002: Rubber recycling. *Rubber Chemistry and Technology* 75: 429-474.
32. Nařízení vlády č. 352/2014 Sb., v minulém znění 01.01.2015-31.12.2020.
33. Odbor odpadů MŽP, ©2020: Nový zákon o odpadech – metodické podklady.
34. Odbor odpadů MŽP, ©2021: Vybrané ukazatele odpadového hospodářství v oblasti zpětného odběru pneumatik do roku 2019.
35. Policella M., Wang Z., Burra K. G., Gupta A. K., 2019: Characteristics of syngas from pyrolysis and CO₂ – assisted gasification of waste tires. *Applied Energy* 254.
36. Reike D., Vermeulen W., Witjes S., 2018: The circular economy: New of Refurbished as CE 3.0? – Exploring controversies in the conceptualization of the circular economy through a focus on history and resource value retention options. *Resources, Conservation and Recycling* 135: 246-264.
37. Reznik I., 2002: Method and apparatus for coolong air to cryogenic temperatures for recycling. United States Patent, US 6360547 B1.
38. Sabzekar M., Chenar M. P., Mortazavi M., Kariminejad M., Asadi S., Zohuri G., 2015: Influence of process variables on chemical devulcanization of sulfur.cured natural rubber. *Polymer Degradation and Stability* 118: 88-95.
39. Sharma A., 2013: Retreading of tyres. *International Journal od Engineering and Advanced Technology* 2: 143-145. ISSN 2249-8958.
40. Sharma V. K., Fortuna F., Mincarini M., Berillo M., Cornacchia G., 2000: Disposal of waste tyres for energy recovery and safe environment. *Applied Energy* 65: 381-394.
41. Sieber R. Kawecki D., Nowack B., 2020: Dynamic probabilistic material flow analysis of rubber release from tires into the environment. *Environmental Pollution* 258: 113573.

42. Sienkiewicz M., Kucinska-Lipka J., Janik H., Balas A., 2012: Progress in used tyres management in the European Union: A review. Waste Management 32: 1742-1751.
43. The Freedonia group, ©2018: Global Tires. 297 s.
44. Thorotec Software GmbH, 2022, dostupné z <https://www.sankeyflowshow.com/index.html>.
45. Torretta V., Rada E. C., Ragazzi M., Trulli E., Istrate I. A., Cioca L. I., 2015: Treatment and disposal of tyres: Two EU approaches. Waste Management 45: 152-160.
46. Vláda ČR: Registr smluv. Smlouva o dodávky biologicky oživitelných zemitých materiálů, dostupné z <https://smlouvy.gov.cz/smlouva/8210915>
47. VÚV TGM, 2013: Manuál pro zařazování odpadů do „Zeleného seznamu“. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce.
48. Vyhláška č. 273/2021 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, v platném znění.
49. Vyhláška č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, v minulém znění 1.9.2019 – 31.12.2020.
50. White J. R., De S. K., 2001: Rubber technologist's handbook. Rapra Technology Limited, Velká Británie, 576 s. ISBN: 1-85957-262-6.
51. Xiao F., Amirkhanian S. N., 2009: Laboratory investigation of utilizing high percentage of RAP in rubberized asphalt mixture. Materials and Structures 43 (1): 223-233.
52. Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech, v platném znění.
53. Zákon č. 542/2020 Sb., o výrobcích s ukončenou životností, v platném znění.

9. Přílohy



Příloha 1 Pneumatiky určené ke zpracování v rámci recyklačního procesu ve firmě RPG Recycling, s.r.o.



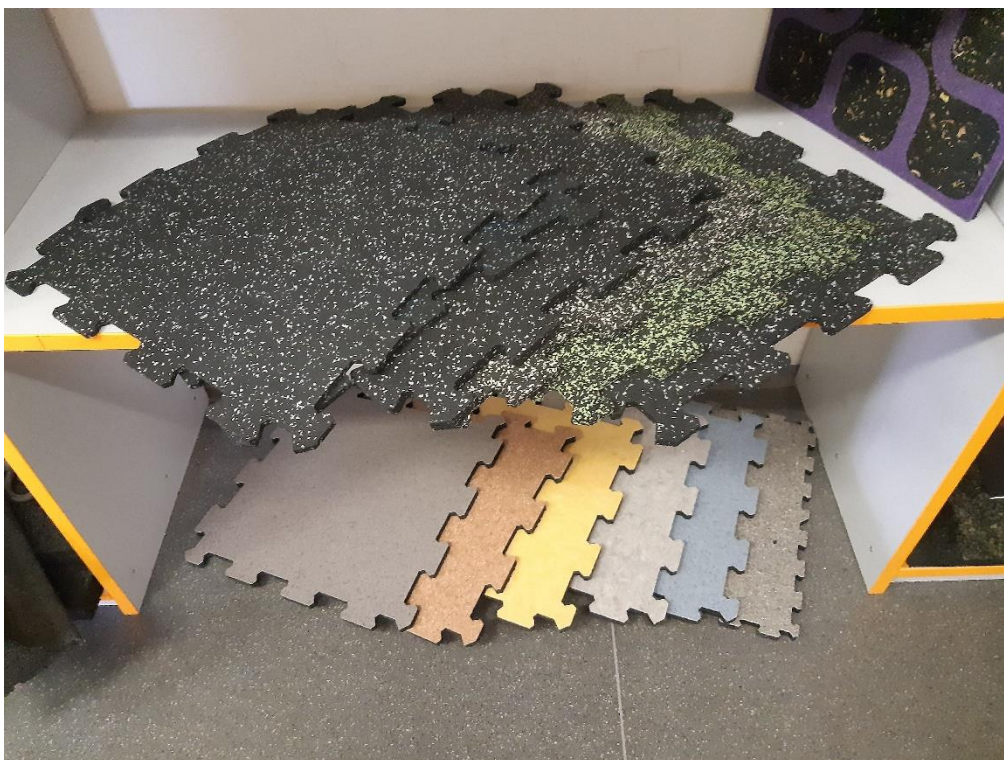
Příloha 2 Ve firmě RPG Recycling, s.r.o. zpracovávají pneumatiky všech rozměrů a druhů



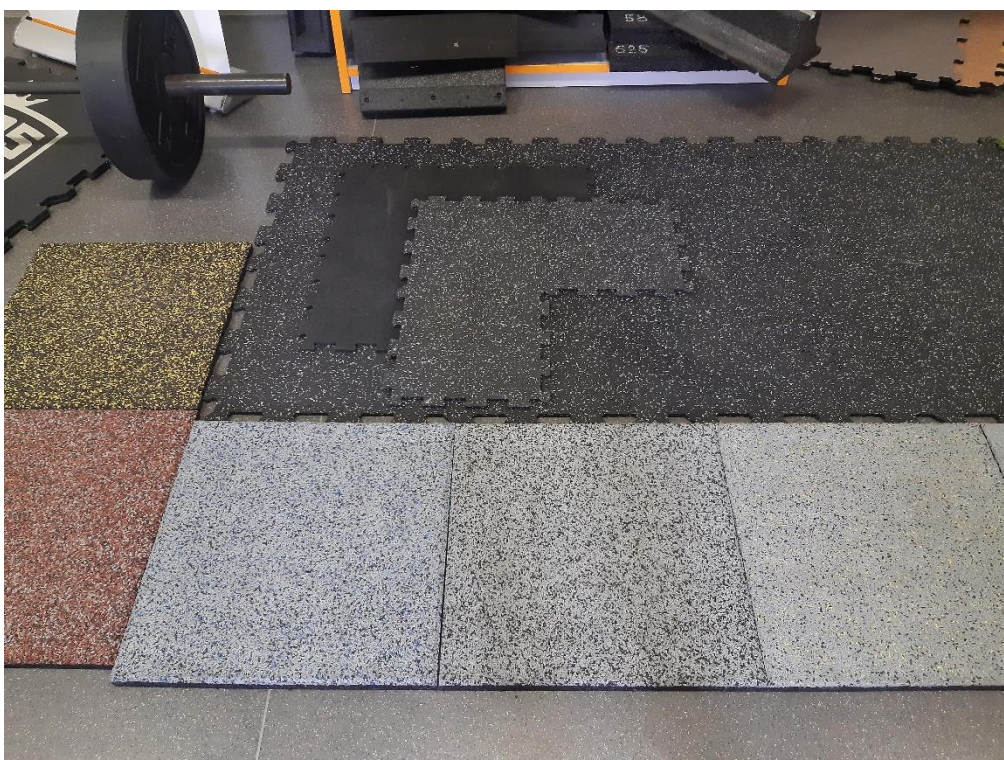
Příloha 3 Pneumatiky zbavené ocelové výztuže



Příloha 4 Výrobky firmy Gelpo s.r.o. – podklad pod umělý trávník, podloží do sportovišť, podlahy pro fitness, dětská hřiště, kolem ledové plochy, pro šatny apod.



Příloha 5 Výrobky firmy Gelpo s.r.o. – podlahy pro fitness, dětská hřiště, kolem ledové plochy, pro šatny apod.



Příloha 6 Výrobky firmy Gelpo s.r.o. – podlahy pro fitness, dětská hřiště, kolem ledové plochy, pro šatny, antivibrační a protihlukové desky, protiskluzové podložky apod.



Příloha 7 Výrobky firmy Gelpo s.r.o. – kanalizační vpust'



Příloha 8 Výrobky firmy Gelpo s.r.o. – protidrazové obklady stěn na střelnice, shootblocky



Příloha 9 Výrobky firmy Gelpo s.r.o. – činka



Příloha 10 Výrobky firmy Gelpo s.r.o. – bokovnice (obložení kolejnic)

Poskytnutá data: 16 01 03 Pneumatiky – materiálové toky, rok 2020, agentura CENIA

Zdroj dat: Data v pracovní databázi ISOH (PDISOH)
 Rok: 2020
 Kódy nakládání: bez omezení
 Odpad: 160103 - Pneumatiky
 Územní členění: celá ČR

ROK	Katalogové číslo odpadu	Odpad – název	Kód nakládání	Nakládání – popis	Množství + (t)	Množství - (t)
2020	160103	Pneumatiky	A00	Produkce odpadu (vlastní vyprodukovaný odpad)	30 958,730	
2020	160103	Pneumatiky	C00	Množství odpadu převedené z minulého roku (zůstatek na skladu k 1. lednu vykazovaného roku)	49 319,874	
2020	160103	Pneumatiky	D1	Ukládání v úrovni nebo pod úrovní terénu (skládkování)		131,622
2020	160103	Pneumatiky	D10	Spalování na pevnině		66,959
2020	160103	Pneumatiky	N1	Využití odpadů na povrchu terénu s výjimkou využití odpadů na skládce		2 992,496
2020	160103	Pneumatiky	N11	Využití odpadu na rekultivace skládek		991,016
2020	160103	Pneumatiky	N12	Ukládání odpadů jako technologický materiál na zajištění skládky		1 475,569
2020	160103	Pneumatiky	N30	Převzetí elektrozařízení pocházejících z domácností podle § 37g písm. f) zákona od fyzické osoby - občana nebo právnické osoby, převzetí zpětně odebraných některých výrobků od právnické osoby nebo fyzické osoby oprávněné k podnikání, která zajišťuje zpětný odběr podle § 37k, § 31g, § 31h nebo § 38 zákona , první převzetí autovraku, když bylo zároveň vydáno potvrzení o převzetí dle § 37b zákona, první převzetí vozidel z různých druhů dopravy (železniční, letecká, lodní a další) určených k využití nebo	64 344,860	

ROK	Katalogové číslo odpadu	Odpad – název	Kód nakládání	Nakládání – popis	Množství + (t)	Množství - (t)
				převzetí odpadů od fyzické osoby - občana mimo obecní systém sběru a nakládání s komunálními odpady		
2020	160103	Pneumatiky	N5	Zůstatek na skladu k 31. prosinci vykazovaného roku		45 716,484
2020	160103	Pneumatiky	N6	Přeshraniční přeprava odpadu z členského státu EU do ČR	32 613,100	
2020	160103	Pneumatiky	N60	Staré zátěže, živelné pohromy, černé skládky apod.	16,660	
2020	160103	Pneumatiky	N7	Přeshraniční přeprava odpadu do členského státu EU z ČR		6 337,178
2020	160103	Pneumatiky	R1	Využití odpadu způsobem obdobným jako paliva nebo jiným způsobem k výrobě energie		25 400,687
2020	160103	Pneumatiky	R11	Využití odpadů získaných některým ze způsobů uvedených pod označením R1 až R10		42 941,550
2020	160103	Pneumatiky	R12	Úprava odpadů před využitím některým ze způsobů uvedených pod označením R1 až R11		6 716,410
2020	160103	Pneumatiky	R3	Recyklace nebo zpětné získávání organických látek, které se nepoužívají jako rozpouštědla (včetně biologických procesů mimo kompostování a biologickou dekontaminaci)		36 592,824
2020	160103	Pneumatiky	R5	Recyklace/zpětné získávání ostatních anorganických materiálů		1 343,486

Příloha 11 Data poskytnutá společností CENIA pro účely této práce



Příloha 12 Zařízení určená pro využívání odpadních pneumatik v okolí Mydlovar a jejich provozovatelé. Z veřejné části registru zařízení a spisů ISOH.