

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra technologií a měření

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Návrh postupu likvidace kolejového vozidla a zpětné
využití jeho podsystémů**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Patrik ČERNÝ**

Osobní číslo: **E16N0002P**

Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**

Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**

Název tématu: **Návrh postupu likvidace kolejového vozidla a zpětné využití jeho podsystémů**

Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Zpracujte přehled současné legislativy týkající se likvidace kolejových vozidel
2. Uveďte seznam materiálů použitých v příslušném kolejovém vozidle
3. Analyzujte výrobní procesy z hlediska enviromentálních dopadů a navrhňte jejich vylepšení
4. Navrhňte postup likvidace kolejového vozidla a zpětné využití jeho podsystémů
5. Proveďte celkové zhodnocení uvedených skutečností, navrhňte opatření do budoucnosti, uveďte výhled vývoje v této oblasti

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Příslušné technické normy
2. Legislativa ČR, EU
3. Firemní dokumentace a materiály ŠKODA Transportation

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Pavel Trnka, Ph.D.

Katedra technologií a měření

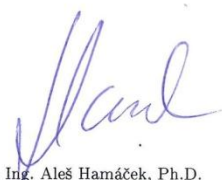
Konzultant diplomové práce: Ing. Jiří Vokoun

Datum zadání diplomové práce: 10. října 2017

Termín odevzdání diplomové práce: 24. května 2018


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 10. října 2017

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na environmentální dopady spojené s oblastí kolejových vozidel. V práci je shrnuta základní legislativa týkající se ochrany životního prostředí a legislativa související s likvidací kolejového vozidla. Další část je věnována environmentálním dopadům kolejového vozidla během jednotlivých fází jeho životního cyklu, s detailnějším zaměřením na materiálové složení a výrobní procesy. Následující část uvádí návrh likvidace kolejového vozidla. Poslední část práce je věnována zpětnému využití podsystémů, včetně návrhu na vylepšení.

Klíčová slova

Kolejové vozidlo, tramvaj, legislativa, environmentální dopady, životní cyklus, likvidace, zpětné využití

Abstract

The diploma thesis is focused on environmental impacts connected to the field of rolling stocks. The thesis summarizes the basic environmental protection legislation and legislation related to the disposal of the rolling stock. Next part is dedicated to the environmental impacts of the rolling stock during individual phases of its life cycle, with the focus on the material composition and manufacturing processes. The following part introduces proposal of disposal process of the rolling stock. The last part is devoted for the reusability of subsystems including suggestion to improvement.

Key words

Rolling stock, tram, legislation, environmental impacts, life cycle, disposal, reuse

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 17.5.2018

Patrik Černý

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Pavlu Trnkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Další poděkování patří společnosti Škoda Transportation a.s. za poskytnuté materiály, cenné rady a možnost nahlédnutí do praxe v oblasti kolejových vozidel.

Obsah

ÚVOD	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
1 LEGISLATIVA.....	11
1.1 LEGISLATIVA TÝKAJÍCÍ SE LIKVIDACE KOLEJOVÉHO VOZIDLA	11
1.1.1 <i>Legislativa stanovena v ČR.....</i>	11
1.1.2 <i>Legislativa stanovena Evropskou unií.....</i>	16
1.2 LEGISLATIVA ZABÝVAJÍCÍ SE ENVIRONMENTÁLNÍMI DOPADY	17
1.2.1 <i>Zákon o životním prostředí.....</i>	17
1.2.2 <i>Zákon o ochraně ovzduší.....</i>	17
1.2.3 <i>Zákon o ochraně vod.....</i>	18
1.2.4 <i>Zákon o posuzování vlivů na životní prostředí.....</i>	18
1.2.5 <i>Zákon o chemických látkách a chemických přípravcích.....</i>	19
1.2.6 <i>Normy řady ISO 14000.....</i>	19
2 KOLEJOVÉ VOZIDLA Z ENVIRONMENTÁLNÍHO HLEDISKA	20
2.1 ENVIRONMENTÁLNÍ DOPADY TĚŽBY SUROVIN	22
2.2 ENVIRONMENTÁLNÍ DOPADY DOPRAVY	23
2.3 ENVIRONMENTÁLNÍ DOPADY VÝROBY.....	24
2.3.1 <i>Materiálové složení kolejového vozidla.....</i>	24
2.3.2 <i>Výrobní procesy kolejového vozidla.....</i>	31
2.4 ENVIRONMENTÁLNÍ DOPADY UŽÍVÁNÍ.....	46
2.5 ENVIRONMENTÁLNÍ DOPADY PO SKONČENÍ ŽIVOTNOSTI.....	47
2.5.1 <i>Recyklace.....</i>	47
2.5.2 <i>Energetické využití.....</i>	47
2.5.3 <i>Likvidace.....</i>	47
3 POSTUP LIKVIDACE KOLEJOVÉHO VOZIDLA.....	48
3.1 LIKVIDACE KOLEJOVÉHO VOZIDLA V ČESKÉ REPUBLICE	53
4 ZPĚTNÉ VYUŽITÍ PODSYSTÉMŮ	56
4.1 URČENÍ MÍRY ZPĚTNÉHO VYUŽITÍ KOLEJOVÉHO VOZIDLA.....	57
4.2 MATERIÁLOVÉ LISTY PRO JEDNOTLIVÉ KOMPONENTY	62
4.3 ZHODNOCENÍ UVEDENÝCH SKUTEČNOSTÍ	64
ZÁVĚR	66
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....	68

Úvod

Kolejová vozidla zastávají velmi důležitou pozici v oblasti přepravy. Ať už se jedná o přepravu městskou, kde zejména ve velkých městech je využití kolejových vozidel velké a jen těžko by bylo v dnešní době možné fungovat bez nich, tak o přepravu meziměstskou, kde kolejová vozidla mají také své místo. Hlavně v městské hromadné dopravě budou mít kolejová vozidla v budoucnu ještě velké slovo a uplatnění, lidé se totiž potřebují efektivně přepravovat, což osobní přeprava ve velkoměstech neposkytuje.

S postupným vývojem lidstva se zvyšují nároky každého jedince na osobní blahobyt. Populace neustále narůstá, dochází ke zlepšování a rozšiřování technologií, zvyšuje se veškerá produkce, což sebou ale nese i velmi negativní dopady na přírodu a životní prostředí. Ovlivňování životního prostředí člověkem je čím dál zásadnější a viditelnější. Na dopady způsobené lidstvem se společnost zaměřuje čím dál více a toto téma bude s dalšími roky více a více skloňované.

Jak už výše zmiňovaný text napovídá, diplomová práce je zaměřena na téma spojující kolejová vozidla a dopady lidstva na životní prostředí. Konkrétně se diplomová práce zabývá environmentálními dopady kolejového vozidla během celého životního cyklu. Myšlenka diplomové práce je ta, že dopady nepředstavuje jen provoz nebo likvidace, ale je potřeba se na danou problematiku podívat z daleko širšího pohledu.

V diplomové práci je první kapitola věnovaná legislativě, která je rozdělena na dvě podkapitoly - legislativa týkající se likvidace kolejového vozidla a legislativa zabývající se environmentálními dopady. Poté následuje kapitola rozebírající kolejové vozidla z environmentálního hlediska, zde je rozebírán celý životní cyklus vozidla, od úplného počátku - těžba surovin, které jsou potřeba pro výrobu materiálů, přes výrobu vozidla po používání a likvidaci. Podrobně se v této kapitole rozebírá materiálové složení a výrobní procesy kolejového vozidla.

Poslední část diplomové práci se věnuje likvidaci kolejového vozidla a zpětnému využití jeho podsystémů. Zde je popsán postup likvidace vozidla a hned poté následuje výpočet zpětného využití podsystémů vzorového kolejového vozidla, včetně návrhu opatření na zlepšení dané problematiky.

Seznam symbolů a zkratek

Sb	Sbírka zákonů
EEZ	Elektrická a elektronická zařízení
PBB	Polybromované bifenyly
PDBE	Polybromované difenylethery
ES	Evropský parlament a rada
ISO	International Organization for Standardization – Mezinárodní organizace pro normalizaci
LCA	Life cycle assessment – Posuzování životního cyklu
CO ₂	Oxid uhličitý
N ₂ O	Oxid dusný
CO	Oxid uhelnatý
NO _x	Oxidy dusíku
DIN	Deutsche Industrie Norm – Německý ústav pro průmyslovou normalizaci
PVC	Polyvinylchlorid
PE	Polyetylen
PS	Polystyren
MIG	Metal inert gas – Kovový inertní plyn
MAG	Metal active gas – Kovový aktivní plyn
TZL	Tuhé znečišťující látky
VOC	Volatile organic compound – Těkavá organická látka
C _x H _y	Uhlovodíky
UVB	Ultrafialové středněvlnné záření
UVC	Ultrafialové krátkovlnné záření
RK	Rotační koncentrátor
TOJ	Termická oxidační jednotka
PUR	Polyuretan
EU	Evropská unie
DPP	Dopravní podnik hlavního města Prahy
MRF	Material recovery factor – Faktor materiálového využití
ERF	Energy recovery factor – Faktor energetického využití
UNIFE	Union des Industries Ferroviaries Européennes – Svaz železničních průmyslových odvětví

1 Legislativa

V dnešní době je kladen důraz na různé aspekty produktů, mezi ně může patřit například bezpečnost, kvalita, ekologie atd. Aby bylo aspektů dosaženo je potřeba si stanovit podmínky, podmínky, které budou jasně dané a budou pro všechny stejné. Právě tímto se zabývá legislativa. V rámci legislativy se může jednat o zákony, vyhlášky, směrnice, normy atd.

Následující kapitola bude rozdělena na dvě hlavní části. První část bude věnována legislativě týkající se likvidace kolejového vozidla. Druhá část se bude věnovat zákonům spjatými s ochranou životního prostředí.

1.1 Legislativa týkající se likvidace kolejového vozidla

Všeobecná legislativa týkající se pouze problematiky kolejových vozidel neexistuje, je tudíž nutné řídit se legislativou, která obsahuje souvislosti s kolejovými vozidly. Tuto legislativu můžeme rozdělit na další dvě části. Jednu část v rámci České republiky a druhou v rámci Evropské unie.

1.1.1 Legislativa stanovená v ČR

Legislativa týkající se likvidací kolejových vozidel je převážně obsažena v zákonu č. 185/2001 Sb., zákon ze dne 15. května 2001 o odpadech a o změně některých dalších zákonů. Zákon nabyl účinnosti 1. 1. 2002. Tento zákon v aktuálním znění od 1. 7. 2017 obsahuje 18 částí, 14 příloh a vybraná ustanovení novel. [1]

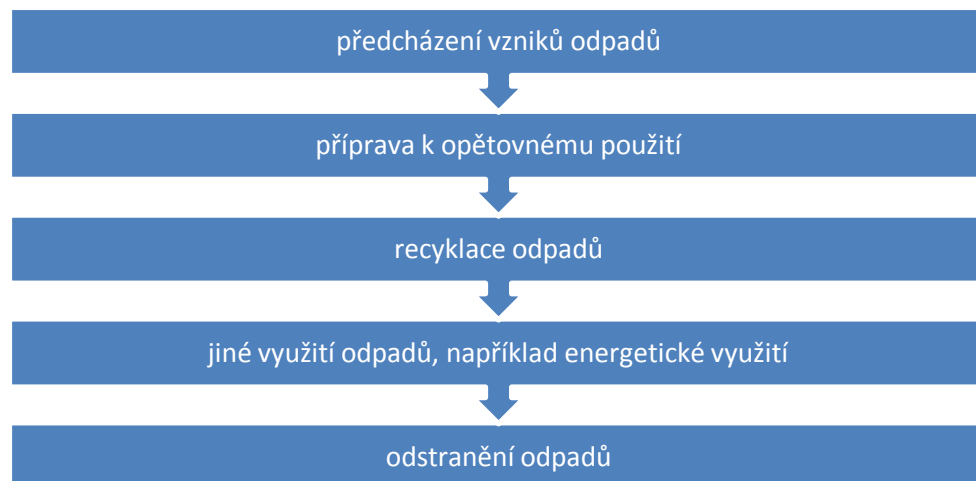
Část první obsahuje základní ustanovení, uvádí, že zákon zapracovává příslušné předpisy Evropské unie, vztahuje se na nakládání se všemi odpady (mimo některé výjimky) a vysvětluje, že odpad je jakákoliv movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má povinnost případně úmysl se jí zbavit. [1]

Druhá část zákona se zabývá zařazováním odpadů a hodnocením jejich nebezpečných vlastností. Odpady se zařazují podle katalogu odpadů, případně jedná-li se o odpad nebezpečný, zařazují se ještě do kategorie - nebezpečný odpad. [1]

Původce s oprávněnou osobou mají povinnost odpad dle katalogu zařadit. Katalog odpadů vydává ministerstvo životního prostředí. Nedá-li se odpad jednoznačně podle katalogu zařadit, zařadí odpad ministerstvo dle návrhu obecního úřadu obce s rozšířenou působností. Pokud odpad vykazuje alespoň jednu nebezpečnou vlastnost (vlastnosti jsou uvedeny v příloze podle předpisu Evropské unie o nebezpečných vlastnostech odpadů), je uveden v katalogu jako nebezpečný. Dojde-li ke znečištění nebo smíšení s některým z odpadů, které jsou uvedeny v katalogu jako nebezpečné, je povinnost původce s oprávněnou osobou tento odpad zařadit také do kategorie nebezpečných odpadů. [1]

Kolejová vozidla se podle katalogu odpadů zařazují do kategorie **16 01 04* Autovraky**, v případě, že obsahují kapaliny a jiné nebezpečné části a do kategorie **16 01 06 Autovraky zbavené kapalin a jiných nebezpečných součástí**. [2]

Hodnocením nebezpečných vlastností se zabývá právnická nebo fyzická osoba pověřená ministerstvem. Původce nebo oprávněná osoba mohou požádat o vyloučení nebezpečných vlastností odpadu, vlastnosti hodnotí jedna nebo více pověřených osob (podle žádosti původce nebo oprávněné osoby) a zjistí-li pověřená osoba či osoby, že nebezpečné vlastnosti odpad nemá, vydá žadateli osvědčení o vyloučení nebezpečných odpadů. [1]



Obr. 1: Hierarchie způsobů nakládání s odpady [1]

V rámci odpadového hospodářství musí být dodržována hierarchie znázorněná na Obr. 1. Od hierarchie je možné se odklonit, ale jen v případech, kde je to při posouzení celkových

dopadů životního cyklu (zahrnuje vznik odpadu a nakládání s ním) z hlediska ochrany životního prostředí výhodné. [1]

Třetí část obsahuje povinnosti při nakládání s odpady. Každý má povinnost při své činnosti předcházet vzniku odpadů, snažit se omezit jejich množství a nebezpečné vlastnosti. V případech, kdy vzniku nelze zabránit, musí být odpady využity nebo odstraněny způsobem neohrožující lidské zdraví a životní prostředí. Právnická nebo fyzická osoba provádějící podnikání, která vyrábí výrobky, musí vyrábět tak, aby byl omezen vznik nevyužitelných odpadů, hlavně pak odpadů nebezpečných. Právnická či fyzická osoba oprávněna podnikat a uvádějící výrobky na trh, musí v dokumentaci výrobku, na obalu, v návodu, případně jinou formou informace uvádět způsob využití nebo odstranění částí, které nelze spotřebovat. [1]

Možnost převzetí odpadu jiným majitelem je možná pouze za předpokladu, že se jedná o právnickou nebo fyzickou osobu, která má oprávnění k podnikání a je provozovatelem zařízení k využití, k odstranění, ke sběru nebo výkupu určitého odpadu. Povinnost každého je prověřit si, zdali je osoba, které odpad předává podle tohoto zákona oprávněna odpad přijmout. Pokud se oprávněním neprokáže, nesmí jí být odpad předán. [1]

Je zakázáno míchat nebezpečný odpad s jiným druhem nebezpečného odpadu, případně s ostatními odpady, výjimka je možná pouze za souhlasu příslušného krajského úřadu. Dojde-li ke smíšení nebezpečného odpadu a je v ohrožení ochrana životního prostředí nebo lidské zdraví, musí být nebezpečný odpad roztřízen. [1]

Nebezpečné odpady musí být při balení písemně označeny a opatřeny grafickým symbolem. Původce a oprávněná osoba, je povinna zpracovat identifikační list a v místě nakládání nebezpečný odpad tímto listem vybavit. [1]

Nakládal-li původce a oprávněná osoba v posledních 2 letech s nebezpečnými odpady ve větším množství než je 100 tun za rok, je povinnost zajistit odborné nakládání s odpady skrze odborně způsobilou osobu tzv. odpadového hospodáře. Odpadový hospodář odpovídá původci za odborné zajištění nakládání s odpady. Odpadovým hospodářem může být fyzická osoba, za podmínek buď dokončené VŠ studium + 3 roky praxe za posledních 10 let nebo SŠ studium + 5 let praxe za posledních 10 let. Skončí-li odpadový hospodář a přetrvává

podmínka 100 tun za rok, musí do 30 dní původce stanovit nového odpadového hospodáře. [1]

Část čtvrtá vypovídá o povinnostech při nakládání s vybranými výrobky, vybranými odpady a vybranými zařízeními, tím se rozumí např. baterie a akumulátory, elektrická a elektronická zařízení nebo odpadní oleje. Společnost, která podniká s výše zmíněnými odpady a zařízeními je povinna příslušným správním úřadům v daném úseku působnosti poskytovat informace týkající se vybraných odpadů či zařízení. [1]

Společnost nakládající s odpadními oleji je povinna přednostně zajistit regeneraci odpadních olejů, není-li to možné zajistit spalování olejů. Pokud není technicky možné ani spalování, je potřeba zajistit skladování či odstranění olejů. [1]

V oblasti baterií a akumulátorů je zakázáno uvádět do oběhu produkty obsahující více než 0,0005 % hmotnosti rtuti, bez ohledu na to, zdali jsou či nejsou zabudované do elektrozařízení či jiných výrobků. Jedná-li se o přenosné baterie a akumulátory, platí zákaz pro uvádění do oběhu pro produkty obsahující více než 0,002 % hmotnosti kadmia, výjimkou jsou přenosné baterie a akumulátory pro nouzové a poplašné systémy, včetně nouzového osvětlení. [1]

U elektrozařízení, které vyžaduje zabudování baterií nebo akumulátorů musí výrobce výrobky navrhovat tak, aby bylo možné použít a odpadní baterie nebo akumulátory bezpečně vyjmout bez asistence výrobce. V případech elektrozařízení, kde jsou zabudované baterie či akumulátory je povinností výrobce dodat návod, popisující bezpečné vyjmutí nezávislé na výrobci. Návod je výrobce povinen předat společně s výrobkem. Na požádání kontrolních orgánů je výrobce povinen předložit technickou dokumentaci prokazující kritéria popsána výše. Osoba dovážející baterie nebo akumulátory je povinna celnímu úřadu prokázat splnění podmínek týkajících se maximálního množství rtuti, případně kadmia. Výrobce zajišťuje označení baterií a akumulátorů grafickým symbolem značící oddělený sběr a zpětný odběr. Přenosné baterie a akumulátory musí obsahovat viditelné, čitelné a nesmazatelné údaje o kapacitě. [1]

Část šestá obsahuje evidenci a ohlašování odpadů a zařízení. Původci odpadů mají povinnost vést evidenci odpadů a způsoby nakládání s nimi. Eviduje se každá provozovna zvlášť a každý druh odpadu samostatně. Pokud původce produkuje nebo nakládá s více než

100 kilogramy nebezpečných odpadů za kalendářní rok nebo s více než 100 tunami ostatních odpadů za kalendářní rok je povinen každý rok posílat do 15. února následujícího roku pravdivé a úplně hlášení o druzích, množství odpadů a způsobech nakládání s nimi obecnímu úřadu dle místa provozovny. Společnost musí evidenci uchovávat po dobu nejméně 5 let. [1]

V případě přepravy nebezpečných odpadů je nutné ohlásit danou přepravu ministerstvu prostřednictvím integrovaného systému a to před jejím zahájením. Odpad vzniklý v České republice je odstraňován a využíván přednostně v České republice. Přeshraniční dovoz odpadu za účelem odstranění odpadu je zakázán. [1]

Při nedodržení dosud zmíněných věcí může dojít k přestupku společnosti. Například se jedná:

- nevede-li společnost evidenci odpadů a zařízení v rozsahu a způsobem stanoveným
- nearchivuje-li po dobu určenou evidenci
- neplní-li ohlašovací povinnost ve stanoveném rozsahu
- nezašle-li správnímu úřadu ve stanoveném termínu a ve stanoveném rozsahu údaje o nakládání s odpady.
- nezabezpečí-li odpady před únikem, odcizením nebo znehodnocením
- nezpracuje-li identifikační list nebezpečného odpadu, případně místa nakládání s nebezpečným odpadem tímto listem nevybaví
- nezařadí-li odpad podle katalogu odpadů
- dojde-li k předání odpadu osobě, která k převzetí nemá oprávnění
- dojde-li k převzetí odpadu, přestože na to společnost nemá oprávnění
- provozuje-li zařízení k využívání nebo odstraňování odpadů bez příslušného souhlasu
- nezajistí-li zpětný odběr použitých výrobků, případně jinou povinnost týkající se zpětného odběru
- nejmenuje-li odpadového hospodáře v případech kdy je to stanovené
- zařadí-li odpad nebezpečný jako odpad ostatní nebo nakládá-li s tímto odpadem jako s ostatním
- mísí-li odpad nebezpečný s odpadem ostatním, bez souhlasu správního úřadu
- nakládá-li s nebezpečným odpadem bez potřebného souhlasu správního úřadu

Za přestupek je možno uložit pokutu až do výše 50 000 000 Kč, dle daného přestupku, opakuje-li se přestupek, ukládá se pokuta ve výši dvojnásobku horní hranice podle daného přestupku. [1]

Další legislativa týkající se likvidace kolejových vozidel je zahrnuta ve vyhlášce č. 352/2005 Sb. o podrobnostech nakládání s elektrozařízeními a elektroodpadu a o bližších

podmínkách financování nakládání s nimi (vyhláška o nakládání s elektrozařízeními a elektroodpadu). Tato vyhláška zpracovává předpisy Evropské unie a upřesňuje, doplňuje a rozšiřuje informace ze zákona č. 185/2001 Sb. [3]

1.1.2 Legislativa stanovená Evropskou unií

Kromě zákonů a vyhlášek stanových v České republice jsou směrodatné také směrnice Evropského parlamentu. Směrnic je celá řada a řídí se podle nich všechny členské státy. Níže budou vedeny některé z nich.

Směrnice Evropského parlamentu a rady 2011/65/EU ze dne 8. června 2011 o omezování používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních udává, že EEZ zařízení uváděny na trh včetně kabelů a náhradních dílů nesmí obsahovat určité materiály. Jedná se o: olovo, rtuť, kadmium, šestimocný chrom, polybromované bifenyly (PBB) a polybromované difenylethery (PBDE). V případě homogenních materiálů je dána maximální hodnota hmotností koncentrace 0,1 %. Dalším důležitým požadavkem na výrobce je vypracování EU o shodě, jedná se o dokument, kterým výrobce potvrzuje, že se výrobek ztotožňuje s předepsanými požadavky. Poté je nutno výrobek opatřit značkou CE, která dokládá, že výrobek byl před uvedením na trh Evropského hospodářského prostoru posouzen o splnění legislativních požadavků EU. Povinností výrobce je také uchovávání technické dokumentace a EU prohlášení o shodě po dobu 10 let od uvedení EEZ na trh. [4]

O registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek vypovídá směrnice Evropského parlamentu a rady (ES) č. 1907/2006. Tato směrnice by měla zajistit vysokou úroveň ochrany lidského zdraví a životního prostředí. Nařízení je založeno na zásadě, že výrobci, dovozci a uživatelé zajišťují, že na trhu se pohybují látky, které nepůsobí negativně na lidské zdraví nebo životní prostředí. [5]

Z hlediska kolejových vozidel je také nutno zmínit, že na kolejové vozidlo jako takové se nevztahuje směrnice Evropského parlamentu a rady 2000/53/ES o vozidlech s ukončenou životností, a tedy ani část čtvrtá, Díl 7 zákona o odpadech, týkající se autovraků. Kolejové vozidlo nemá značku a není zařazeno mezi vozidla s ukončenou životností. Z tohoto důvodu za kolejové vozidlo zodpovídá majitel, nikoliv společnost uvádějící kolejové vozidlo na trh. Po skončení životnosti kolejového vozidla se tedy likvidací zabývá samotný majitel. [6]

1.2 Legislativa zabývající se environmentálními dopady

Vzhledem k tomu, že ochrana životního prostředí je velmi vážným tématem, existuje k ní celá řada platné legislativy. V této kapitole bude zmíněna nejdůležitější legislativa týkající se environmentálními dopady.

1.2.1 Zákon o životním prostředí

Zmínka o životním prostředí byla včleněna již do listiny základních lidských práv a to v následujícím znění: „Každý má právo na příznivé životní prostředí“. Zdrojem legislativy zabývající se životním prostředím je stejnojmenný zákon č. 17/1992 Sb. o životním prostředí. Účelem tohoto zákona je vymezit základní pojmy, stanovit základní zásady ochrany životního prostředí, povinnosti právnických a fyzických osob při ochraně a zlepšování stavu životního prostředí a při využívání přírodních zdrojů. Hlavní myšlenka tohoto zákona vychází z principu trvale udržitelného rozvoje. V zákonu je mimo jiné definován pojem životní prostředí a to tak, že životní prostředí je vše, co vytváří přirozené podmínky pro život organismů, včetně člověka a je předpokladem jeho budoucího vývoje. Také jsou definovány jednotlivé složky životního prostředí – ovzduší, voda, horniny, půda, organismy, ekosystémy, energie. [7,8]

1.2.2 Zákon o ochraně ovzduší

Ochraně ovzduší se věnuje zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, v platném znění. V zákonu jsou stanoveny práva a povinnosti jak pro ochranu ovzduší jako takového, tak i pro ochranu ozonové vrstvy Země. Zmíněn je také fakt, že předcházením znečišťování ovzduší napomáhá a snižuje rizika pro život, lidské zdraví a zdraví zvířat. Společnost má za povinnost předcházet a zamezovat znečišťování ovzduší a zajistit minimalizaci vypouštěných látek znečišťující ovzduší, které jsou v tomto zákoně uvedeny. Existuje však výjimka, při kterém zákon o ovzduší neplatí, jedná se o mimořádné události jako je zdolávání požárů, likvidace následků nebezpečných epidemií atd. [9]

U odpadních plynů musí být v podmínkách provozování zdroje zabezpečující ochranu životního prostředí uvedeno, jakým způsobem budou vypouštěny. Pro látky znečišťující ovzduší ze středního či velkého zdroje platí, je-li to technicky možné, odvádění do ovzduší vymezeným způsobem – výduchem, komínem, případně výpustí z přístroje pro omezování emisí s určenou výškou. [9]

V zákoně je dále uvedeno, kdy a jaké pravomoci předává obcím a krajům. Společnost vlastníci zdroj znečištění ovzduší je povinna na vyžádání orgánu či po stanovení předpisu na ochranu ovzduší poskytnout veškeré a pravdivé informace týkající se těchto zdrojů. [9]

1.2.3 Zákon o ochraně vod

Problematicke ochrany vod se věnuje zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). Hlavním úkolem tohoto zákona je ochrana povrchové a podzemní vody, dále stanovení podmínek pro hospodárné využívání vodních zdrojů a pro zachování i zlepšení jakosti povrchových a podzemních vod, vytvoření podmínek pro snižování nepříznivých účinků povodí, zajištění bezpečnosti vodních děl v souladu s právem Evropských společenství, zajištění ochrany vodních ekosystémů a zajištění obyvatel zásobami pitné vody. [10]

Zákon dále uvádí, že podzemní a povrchová voda není vlastním majetkem a není ani součástí pozemku, na kterém (pod kterým) se nachází. Právo k těmto vodám upravuje tento zákon. [10]

Vodní zákon se věnuje i poplatkům, jedná se o poplatek za odebrané množství podzemní vody a poplatek za vypouštění odpadních vod do vod povrchových. Poplatek za znečištění vypouštěných odpadních vod je právnícká nebo fyzická osoba povinna platit, jestliže vypouštěné odpadní vody překročí v příslušném ukazateli znečištění zároveň hmotností a koncentrační limit. Ukazatele znečištění, hmotnostní a koncentrační limity, včetně sazeb poplatků jsou uvedeny v příloze tohoto zákona. [10]

1.2.4 Zákon o posuzování vlivů na životní prostředí

V platné legislativě je možné naleznout i zákon o posuzování vlivů na životní prostředí a to zákon č. 100/2001 Sb. o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů. Posuzovanými vlivy jsou ty, které mají vliv na obyvatelstvo, veřejné zdraví a vlivy na životní prostředí, zahrnující vlivy na živočichy a rostliny, ekosystémy atd. Cílem tohoto zákona je nalézt, popsat a zhodnotit možné odhadované vlivy záměrů na životní prostředí, cílem tohoto postupu je snížení škodlivých vlivů na životní prostředí. [11]

1.2.5 Zákon o chemických látkách a chemických přípravcích

Zmínka o chemických látkách, je v zákoně č. 267/2015 o ochraně veřejného zdraví, kde jsou uvedeny povinnosti při nakládání s nimi a to nejen z hlediska veřejného zdraví, ale také z hlediska životního prostředí. [12]

Podrobně se poté chemickým látkám a přípravkům věnuje zákon č. 350/2011 Sb. o chemických látkách a chemických směsích a o změně některých zákonů (chemický zákon). [13]

1.2.6 Normy řady ISO 14000

Technická norma je vyjádření požadavků na to, aby byl výrobek, proces nebo služba za specifických podmínek vhodný pro daný účel. Technické normy jsou pouze vhodné doporučení, jejich dodržování není povinné. [14]

Normy týkající se životního prostředí jsou normy řady ISO 14000 – systémy environmentálního managementu, jsou zaměřeny na management životního prostředí v organizaci. ISO 14000 je vydáváno mezinárodní organizací pro standardizaci ISO. [15]

Do rodiny ISO 14000 patří celá řada norem, zde jsou ty nejběžnější:

- ISO 14001 Systémy environmentálního managementu (Environmental management system) Systém managementu životního prostředí - Požadavky a průvodce
- ISO 14004 Systém managementu životního prostředí - Obecný průvodce principy, systémem a podpůrnými technikami
- ISO 14005 Systém managementu životního prostředí - Průvodce implementací včetně hodnocení výkonnosti
- ISO 14006 Systém managementu životního prostředí - Průvodce pro ecodesign
- ISO 14015 Management životního prostředí - Hodnocení organizací (EASO)
- ISO 14031 Management životního prostředí - Průvodce hodnocením výkonnosti
- ISO/TS 14033 Management životního prostředí - Kvantitativní environmentální informace - Průvodce a příklady
- ISO 14040 Management životního prostředí - Hodnocení životního cyklu - Principy a rámec
- ISO 14044 Management životního prostředí - Hodnocení životního cyklu - Požadavky a průvodce
- ISO 14045 Management životního prostředí - Hodnocení eco-efektivnosti produkčního systému - Principy, požadavky, průvodce

2 Kolejové vozidla z environmentálního hlediska

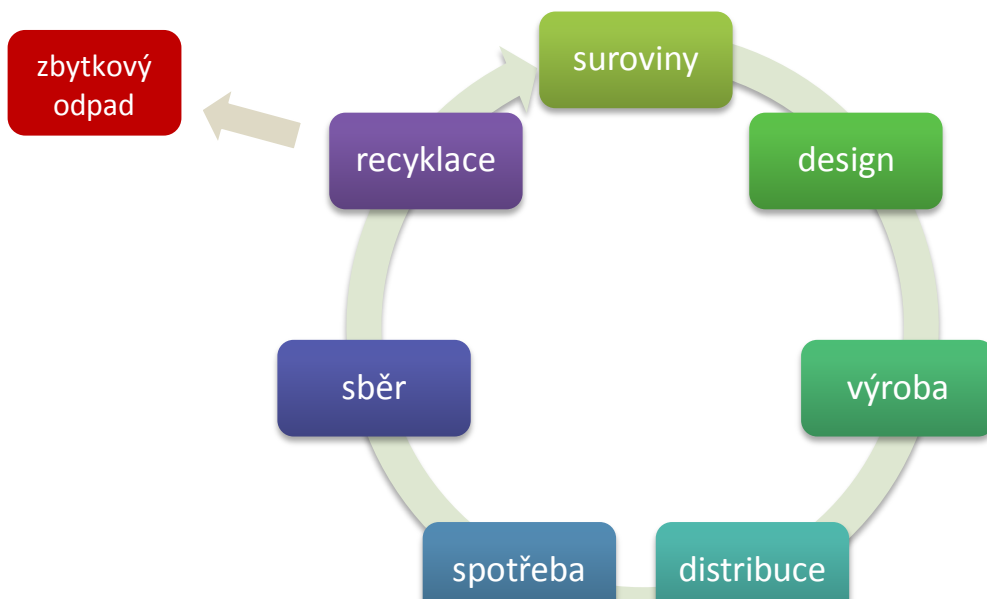
Chceme-li se podívat na kolejové vozidlo z environmentálního hlediska, je potřeba se nad daným problémem zamyslet a podrobněji ho analyzovat. S postupným zlepšováním technologií lidstva, zvyšováním nároků na osobní blahobyt a navyšováním populace se zhoršují environmentální dopady na Zemi.

Dosud nastavený systém společnosti, který pracuje na principu lineární ekonomiky, přestává být udržitelný. V lineární ekonomice velice pracně získáváme vstupní suroviny, které přeměníme na produkty a služby a po ukončení často velmi krátkého životního cyklu se jich zbavujeme. Tyto materiály poté buď spalujeme ve spalovnách, nebo skladujeme na skládkách a přicházíme tak o velké množství cenných materiálů. Znázornění modelu lineární ekonomiky je naznačen na *Obr. 2.* [16]



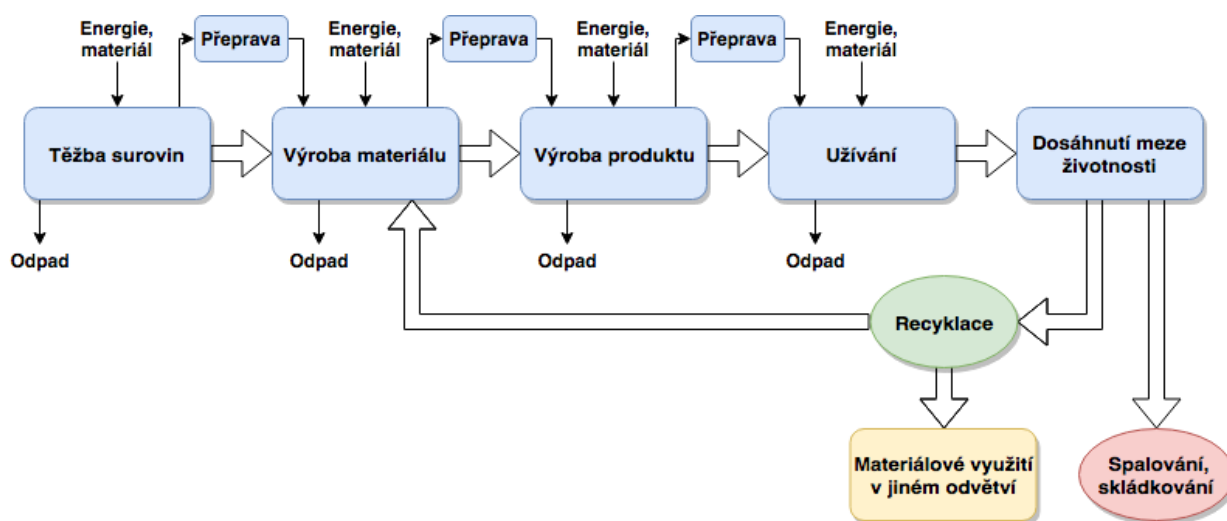
Obr. 2: Lineární ekonomika [16]

Do povědomí dnešní doby už se ovšem začíná dostávat pojem cirkulární ekonomika. Tento model se inspirovuje přírodními ekosystémy, které si zakládají na dokonalých a funkčních cyklech organických živin. Cirkulární ekonomika se to poté snaží aplikovat v lidské společnosti. Hlavními principy této koncepce jsou: a) uzavírání toků materiálů do cyklů, kde neztrácejí hodnotu; b) čerpání energie z obnovitelných a udržitelných zdrojů; c) navrhování produktů a služeb tak, aby neměly negativní dopady na přírodní ekosystémy a lidské zdroje. Model také na odpad nenahlíží jako na odpad, nýbrž jako na zdroj, který je možno dále využít. Cirkulární ekonomika je integrální součástí udržitelného rozvoje. Udržitelný rozvoj znamená rozvoj lidské společnosti, který je v rámci hospodářského a společenského pokroku v souladu s plnohodnotným zachováním životního prostředí. Jedním z hlavních cílů udržitelného rozvoje, je zachování životního prostředí pro budoucí generace v co možná nejméně změněném stavu. Model cirkulární ekonomiky je naznačen na *Obr. 3.* [16]



Obr. 3: Cirkulární ekonomika [16]

Při analýze kolejového vozidla je potřeba si uvědomit, že environmentální dopady za životní cyklus produktu se neskládají jen ze samotné výroby produktu a likvidace produktu, ale jedná se o daleko složitější a komplikovanější téma. Komplexními environmentální dopady produktu se zabývá metoda posuzování životního cyklu (anglicky life cycle assessment, neboli LCA). Do životního cyklu se zahrnují procesy získávání surovin, doprava, výroba, užívání, úprava po skončení životnosti, recyklace a odstraňování. Zaměřuje se na energetické a surovinové náklady a dopad na životní prostředí pro každý z nich. [17,18]



Obr. 4: Životní cyklus kolejového vozidla

2.1 Environmentální dopady těžby surovin

Těžba surovin doprovází lidstvo už od nepaměti, stačí zabrouzdat do dávné historie a vzpomenout si na těžbu pazourku našich předků. Postupem času se ovšem rozvíjely specifické potřeby surovin, technologie jejich těžení i způsoby využití daných surovin až do současné podoby. [19]

Těžbou surovin rozumíme proces, při kterém získáváme přírodní zdroje z povrchu planety. Takto získáváme rudy (železné rudy, rudy barevných kovů), paliva (uhlí, ropa, zemní plyn) a suroviny nerudné (fosfáty, síra, písek). Roční těžba surovin je celosvětově odhadována na 30 miliard tun ročně. Těžba může být buď hlubinná, nebo povrchová, obě tyto kategorie ovlivňují více či méně životní prostředí a proto je důležité tuto kategorii zmínit. [20,21]

Hlubinné či povrchové doly zásadně ovlivňují povrch Země. Může docházet k závažnému znečišťování povrchové či podzemní vody chemikáliemi a těžkými kovy, tento problém je ještě vážnější v rozvojových zemích, kde obyvatelstvo je přímo závislé na přístupu k čisté pitné vodě. V některých oblastech může docházet k nabeování ekosystému, kdy dojde k velkému poklesu různých druhů zvířectva. Také je nutné zmínit velkou spotřebu vody, při oddělování nerostů od písku či kamene, tím může docházet k poklesu spodních vod. [20]

K ovlivňování bohužel může docházet i po skončení těžby. Hlavním ekologickým problémem je vyplachování kyselin (kyselé vody) z uzavřených a opuštěných dolů. [20]



Obr. 5: Důl na těžbu železné rudy (převzato z [22])

2.2 Environmentální dopady dopravy

Vzhledem k tomu, že ke každému vyrobenému produktu se je nutné několikrát během životního cyklu využít dopravu, je potřeba tuto část do environmentálních dopadů zahrnout. Začíná se od dopravy vytěžených surovin, které jsou potřeba k výrobě materiálu, přes přepravu samotného materiálu, k přepravě hotového produktu až po přepravu produktu vyřazeného.

Dopady z dopravy jsou spojené zejména při spalování fosilních paliv. Fosilní paliva někdy také označované jako neobnovitelné zdroje jsou význačné velkým obsahem uhlíku, jedná se o uhlí, ropu či zemní plyn. Fosilní paliva se spotřebovávají buď přímo ve spalovacích motorech (automobilová, kamionová doprava) nebo při výrobě elektrické energie, která je zapotřebí pro provoz například vlaků. V dopravě vzniká velké množství skleníkových plynů (například oxid uhličitý - CO_2 nebo oxid dusný - N_2O), které přispívají ke změnám klimatu na Zemi. Za rok 2015 byly celkové emise z dopravy v České republice 18 960,7 tisíc tun oxidu uhličitého (CO_2), 66,9 tisíc tun oxidu uhelnatého (CO) a 42,8 tisíc tun oxidů dusíku (NO_x). Spotřeba energie v silniční dopravě v ČR za rok 2015 dosáhla 40 432,1 terajoule, z toho 35 881,2 bylo ze spotřeby motorové nafty. Normy na povolené emise vozidel silniční dopravy jsou stále přísnější, bohužel dochází k neustálému nárůstu přepravních výkonů, tím pádem nedochází k tak velkému poklesu emisí, jaký by byl potřeba. [23,24]



Obr. 6: Znečišťování dopravou (převzato z [25])

2.3 Environmentální dopady výroby

Z hlediska environmentálních dopadů výroby můžeme problematiku rozdělit na dvě podkategorie. První podkategorii je samotné materiálové složení kolejového vozidla, druhou podkategorii jsou výrobní procesy kolejového vozidla. Pro lepší představu bude tato kapitola zaměřena na konkrétní řadu kolejových vozidel, kolejovým vozidlem bude tramvaj. Z hlediska materiálového složení je nutno podotknout, že není možné transparentně rozřadit 100 % obsaženého materiálu v kolejovém vozidle a to z toho důvodu, že mnoho částí je dodáváno od různých dodavatelů, kteří neposkytují detailní údaje o složení jejich výrobků.

2.3.1 Materiálové složení kolejového vozidla

Ocel – základní materiál tramvaje, ocel je nosným konstrukčním materiálem a tvoří celou kostru (také označována jako hrubá stavba). Pro představu, ocel může tvořit 70 – 80 % z celkové hmotnosti kolejového vozidla. Ocel je slitina železa, uhlíku a dalších prvků s podmínkou, že obsahuje maximálně 2% uhlíku. V případě, že materiál obsahuje 2 % - 4 % uhlíku jedná se o litinu. Hlavní vliv na vlastnosti oceli určují příměsi, ať už ty které vlastnosti oceli zlepšují (mangan, křemík, nikl, chrom, wolfram atd.), tak i ty které vlastnosti ovlivňují negativně (kyslík, síra, fosfor). Výroba probíhá ve specializovaných hutních provozech, tzv. ocelárnách. Vzhledem k tomu, že surové železo obsahuje okolo 4 % uhlíku, je nutné množství snížit, k tomu dochází v kyslíkových konvertorech, Siemens – Martinových pecích, případně v elektricky vytápěných pecích. Mimo uhlík je také potřeba snížit množství prvků ovlivňující vlastnosti negativně jako je síra, či fosfor, všeobecně se tomuto procesu říká zkujňování. [26]

Kyslíkové konvertory pracují na principu vhánění kyslíku dnem konvertoru pod tlakem, kdy tavenina začne během krátké doby vařit, přidá se vápno, které vytvoří kapalnou strusku a ta naváže pevné zplodiny a nežádoucí prvky. Uhlík se spaluje na CO a CO₂ a uniká v plynné podobě. Legující prvky (prvky, které zlepšují vlastnosti oceli, například se jedná o nikl, chrom, vanad, mangan atd.) se přidávají na konci procesu. Siemens – Martinská pec má plochou nístěj ze žáruvzdorného zdiva, v níž je surové železo s případným přídatkem šrotu, k ohřívání dochází plamenem generátorového plynu a vzduchu, nebo spalováním těžkým olejem. Elektrické pece jsou obloukové nebo indukční. Elektrický proud přichází do tří svislých elektrod procházející klenbou pece, mezi elektrodami a materiálem se uzavírá oblouk, u tohoto typu se dá dosáhnout teploty až 3500 °C a tudíž se využívá pro legovací prvky, které jsou těžko tavitelné (wolfram, molybden). [27]

Ocel jako taková není životnímu prostředí nebezpečná, dá se snadno recyklovat a v praxi k tomu také dochází, jelikož cena recyklace je nepoměrně nižší než výroba oceli nové. Dalším velkým plusem, který podporuje recyklaci oceli je fakt, že při procesu recyklace nedochází ke zhoršování vlastností. Recyklací oceli dochází ke snížení spotřeby energie průmyslu až o 75 %. Ročně se recykluje zhruba 75 % z celkové roční produkce oceli. Každá tuna recyklované oceli ušetří 1131 kg železné rudy, 633 kg uhlí a 64 kg vápence.[28]



Obr. 7: Ocelová hrubá stavba článku tramvaje

Skelný laminát – neboli sklolaminát je materiál, ze kterého je tvořeno čelo tramvají, vnější i vnitřní obložení, zakrytování podvozků, sloupky, kryty atd. Sklolaminát je kompozitní materiál, který je složen z výztuže a pojiva, výztuž dodává materiálu pevnost, pojivo drží celý materiál pohromadě. Výztuž je ze skelného vlákna, nebo skelné rohože, pojivem je buď polyesterová, nebo epoxidová pryskyřice. Běžnější typ je pryskyřice polyesterová, která má vyvážené mechanické, elektrické a chemické vlastnosti. Epoxidová pryskyřice je používána s kvalitními výztužemi. Skelné lamináty mohou být klasické, nebo

samozhášivé. U samozhášivých je použita samozhášivá polyesterová pryskyřice, tyto lamináty jsou vhodné pro dopravní prostředky a tudíž tedy pro kolejová vozidla. Samozhášivé lamináty splňují normu DIN 55010 - 2, která se zabývá požárními testy komponentů obsažených v kolejových vozidlech. Problém u sklolaminátů nastává po skončení životnosti, sklolamináty jsou totiž víceméně nerecyklovatelné. [29-30]



Obr. 8: Laminátová čela tramvaje

Hliník – je používán pro různé profily, kabelové kanály, plechy, pásy, desky, případně jako spojovací materiál. Používá se také jako vodič, hlavně pro vysoké proudy, z důvodu možnosti velké proudové zatížitelnosti. Hliník je měkký, dobře tvárný, lehký kov. Odolnost proti korozi stoupá s jeho čistotou. Hliník je jeden z nejvíce recyklovaných materiálů, 90 % automotive a stavebních částí je na konci životního cyklu recyklováno. Recyklace je energeticky velmi úsporná, dochází k ní k úspoře 90 % energie oproti variantě výroby nového materiálu. [30,31]

Pryž – se využívá nejčastěji jako těsnění, méně obvyklé je využití pryže pro výrobu hadic. Pryž je elastomer, který se vyrábí z kaučuku pomocí vulkanizace. Elastomery mají specifické vlastnosti, při mechanické namáhání dochází k mírnému natahování, aniž by došlo k přetrhnutí, po skončení deformačních sil se materiál vrací do původního tvaru. Vulkanizace je fyzikálně – chemický proces, při kterém dochází ke změně struktury z plastické kaučukové směsi na pryž, tento proces nastává za pomoci vulkanizačního činidla (nejčastěji síra) nebo energie. Po skončení životního cyklu je pryž možné recyklovat nebo energeticky využít. [30]

Plasty – mají široké možnosti využití. Využívají se k izolaci vodičů, vyrábí se z nich kryty, hadice, koncovky, vývodky. Z plastů je také složeno lino, které je používáno jako horní vrstva podlahy. Dále se využívají také pro interiér vozidla - sedačky pro cestující a řidiče. Plasty dělíme na termoplasty a reaktoplasty. Termoplast je materiál, který je od určité teploty tvárný, takže se snadno zpracovává, po ochlazení se vrací do původního stavu, výhodou je, že při tomto procesu nedochází k degradaci vlastností. Mezi termoplasty patří polyvinylchlorid (PVC), polyetylen (PE), polystyren (PS) atd. Reaktoplast je materiál, který je za pomoci tepla vytvrzován, tímto dojde k zesítnění, tento jev je nevratný, při dalším pokusu o změnu formy materiálu dojde k degradaci. Mezi reaktoplasty patří hlavně pryskyřice (epoxidová, fenolytická), kaučuky, silikony atd. Termoplasty lze díky jeho vlastnostem zmíněných výše snadno recyklovat, což je velká výhoda, je totiž možné provádět recyklaci teoreticky nekonečněkrát. U reaktoplastů je recyklace složitější, až skoro nemožná, nelze totiž materiál roztavit a znovu použít, je ale možné materiál rozdrtit a použít znovu přidáním k jinému materiálu. [30]



Obr. 9: Příklad využití plastů v kolejovém vozidle – sedačky, lino

Překližka – může být v kolejových vozidlech použita jako podlaha (pod vrstvou lina) a jako vnitřní vybavení interiéru. Možné využití je i pro sedačky cestujících. Překližka vzniká slepením tří nebo více vrstev loupaných nebo krájených dýh (tenký list nebo pás dřeva). Dýhy se na sebe lepí kolmo ke směru vláken, tím se zamezí nestabilitě materiálu a je možnost vytvořit desku velkých rozměrů a výborných vlastností. Překližku je možné recyklovat, případně lze energeticky využít v zařízeních k tomu určených, kde dojde k vypořádání se s lepidly používaných k lepení jednotlivých vrstev. [32,33]



Obr. 10: Překližka připravená k montáži (vlevo) a překližka po namotávání (vpravo)

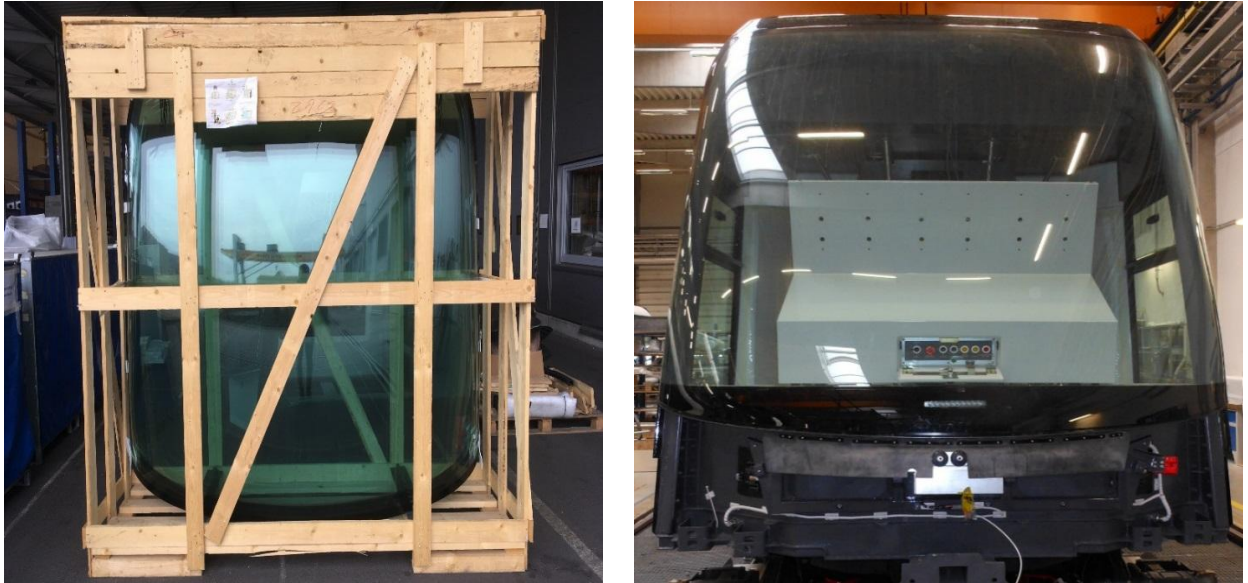
Měď – se používá jako vodič, na výrobu drátů, sdělovacích vodičů, vinutí a jiných částí transformátorů a elektrických točivých strojů a součástí elektrických přístrojů. Má výbornou elektrickou vodivost, pro porovnání, hliník má 60 % vodivosti mědi. Se zvyšující se teplotou vodivost ovšem klesá. Měď je jeden z mála materiálů, které je možno recyklovat bez ztráty vlastností, není rozdíl mezi mědí recyklovanou (druhovýroba) a mědí vytěženou (prvovýroba). Recyklace mědi je vysoce ekologicky efektivní způsob zavedení cenného materiálu zpátky do oběhu. Na recyklaci mědi je potřeba až o 85 % méně energie než při prvotní výrobě. Každoročně recyklace mědi ušetří 40 milionů tun CO₂ a ekvivalentně 100 milionů MWh elektřiny. [30,34]

Izolace (pěna) – izolace ve formě pěn mají v kolejovém vozidle úlohu zvukové a tepelné izolace. Jako izolace se používá například flexibilní pěna Basotect s otevřenými buňkami vyrobená z melaminové pryskyřice, charakteristickým rysem této pěny je rozměrná síťová struktura skládající se ze štíhlých a tedy snadno ohýbatelných vláken. Mezi vlastnosti patří odolnost vůči plamenu, konstantní fyzikální vlastnosti v širokém rozsahu teplot, teplota používání až do 240 °C, vysoká zvuková absorpční schopnost, dobrá tepelná izolace a v neposlední řadě nízká hmotnost. Dalšími materiály využívaným pro tepelnou a zvukovou izolaci kolejových vozidel jsou polyuretanové pěny, polyetylenové pěny, případně je možné použít i polyesterové netkané textilie. V případě materiálu Basotect po skončení životnosti není možná následná recyklace, je však možné zařadit tento materiál mezi běžný odpad. [35,36]



Obr. 11: Izolace využívané v kolejových vozidlech

Sklo – je využíváno pro okna a pro zástěnu kabiny řidiče. Sklo se používá tvrzené, to má oproti klasickému sklu odlišné vlastnosti. Tvrzené sklo se vyrábí speciálním procesem ohřevu, kdy se sklo zahřeje na 600 °C, poté se postupně ochlazuje, což vyvolá permanentní povrchové tlakové napětí, díky čemuž dojde ke zvýšení odolnosti proti mechanickému a tepelnému namáhání. Další výhodou tvrzeného skla je jeho rozpad. Při rozbití se rozpadá na malé neostré střípky, takže nemůže dojít k poranění. Tvrzené sklo je možné recyklovat, ale jelikož má jinou stavbu než sklo obyčejné, je nutné ho recyklovat samostatně. [37]



Obr. 12: Čelní okno před montáží - ještě zabaleno (vlevo) a čelní okno již nalepené (vpravo)

Lepidla – důležité materiály využívající se ke spojování materiálu. U kolejových vozidel se lepí okna, lamináty, podlahy, překližkové desky, plechy atd. Běžně používaná lepidla jsou například značky Sikaflex či Loctite. Po skončení životnosti je nutné lepidla bezpečně zlikvidovat, recyklace není možná. Lepidla se po skončení životnosti předávají specializovaným firmám, které mají technologie a možnosti dané materiály zlikvidovat. [38,39]

Barvy, Nátěrové hmoty – nátěrové hmoty jsou používány jako ochranný prvek, chrání proti korozi, oděru, plní ale také například účely tlumení - tlumící hmoty. Používá se celá řada různých nátěrových hmot. V dnešní době už je kladen velký důraz na omezení používání materiálů obsahujících škodlivé látky. Natírá se podvozek, hrubá stavba, laminátové díly, nátěrové hmoty jsou použity i pro konzervaci dutin. Nátěry jsou prováděny základní a vrchní. Mezi výrobce nátěrových hmot používajících se u kolejových vozidel patří například Mäder-Lacke nebo Terotex (Henkel). Nátěrové hmoty mohou být na bázi rozpouštědel, případně vodou ředitelné. Vodou ředitelné nátěrové hmoty se vlastnostmi výrazně neliší, jsou ale nehořlavé a ekologičtější. Nátěrové hmoty je možno recyklovat nebo likvidovat, je ovšem nutné aby tyto procesy prováděla specializovaná společnost s řádným oprávněním. [40,41]



Obr. 13: sklad nátěrových hmot a barev

Dalšími materiály používanými v oblasti kolejových vozidel v malém objemu jsou: mosaz, stříbro, zlato, maziva, provozní kapaliny, chemické přípravky a další.

2.3.2 Výrobní procesy kolejového vozidla

Výroba kolejového vozidla je řazena do dopravního strojírenství, nežli je kolejové vozidlo vyrobeno do finální podoby je potřeba provést mnoho procesů, jedná se o různorodé procesy, které s sebou přináší i environmentální dopady, proto je potřeba věnovat této problematice zvýšenou pozornost. Vzhledem k tomu, že procesů skrze celou výrobu kolejového vozidla je mnoho, bude v této kapitole věnována pozornost jen procesům s největším rizikem environmentálních dopadů. Dále je nutné zmínit, že tato kapitola bude podložena fakty z praxe, jelikož bude popisována výroba z reálné společnosti – Škody Transportation.

Svařování

Svařování je proces, při kterém za působení tepla, respektive tlaku a za případného použití přídavného materiálu vzniká nerozebíratelný spoj dvou a více součástí, většinou se jedná o tvářené hutní polotovary (plechy, tyče, pásy, trubky a jiné profily), případně odlitky. Výhoda svařování je velká pevnost, trvanlivost a těsnost, naopak nevýhodou je nerozebíratelný spoj, změna struktury, případně vznik vnitřních pnutí a výskyt vnitřních vad materiálu. [42]

Z hlediska rozdělení existuje celá řada typů svařování, hlavními kategoriemi jsou za a) působení tepla, b) působení tepla a tlaku, c) působení tlaku. Nejvyužívanějším typem svařování je svařování elektrickým obloukem, které patří do kategorie za působení tepla. Tento princip je využíváno i společností Škoda Transportation. Svařuje se v ochranné atmosféře metodou MAG a MIG. [42]

MAG (metal active gas) je metoda, která využívá aktivní plyn. Aktivní znamená, že se plyn podílí na procesech při svařování. Nejčastěji využívaný je plyn CO₂ (oxid uhličitý) nebo směs Argonu a CO₂. Důležitým faktem je také to, že MAG metodou se svařují oceli. [43]

MIG (metal inert gas) je metoda, která využívá inertní plyn. Inertní znamená, že se plyn na procesech při svařování nepodílí. Nejčastěji se používá samotný Argon, samotné Helium nebo směs Argonu a Helia. MIG metoda se používá na svařování hliníku, mědi, titanu a obecně lehkých kovů. [42]

Ve společnosti Škoda Transportation dochází ke svařování kovových dílů, částí, konstrukcí, celků ve dvou halách. Svařování provádí pracovník ručně pomocí svařovacího agregátu buď ve svařovacích boxech, nebo na prostoru daného pracoviště (záleží na rozměru svařovaného objektu), případně se svařování provádí na robotizovaném pracovišti. Používají se svařovací agregáty Fronius a Kempí + svařovací automaty typu MAG 650 a MIG 650. Při svařování dochází ke vzniku toxických zplodin a prachových částic, které mohou být nebezpečné jak z hlediska zdraví pracovníků, tak z hlediska kvality ovzduší. Další hrozbou je zvýšená hrozba vzniku požáru, jelikož se při svařování pracuje s vysoce hořlavými látky. Je nutno tedy dbát na opatření ke snížení dopadů způsobených svařováním.

V první hale jednotlivá pracoviště svařování kovů nejsou centrálně odsávaná, nemají tedy přímý výdech do volného ovzduší. Případné vznikající škodliviny - TZL (tuhé znečišťující látky) ze svařování unikají do pracovního prostoru haly a emise, které unikají netěsnostmi haly do volného ovzduší, jsou fugitivními emisemi (fugitivní emise jsou znečišťující látky, u kterých nelze měřením určit všechny veličiny určené k výpočtu hmotnostního toku). Systém výměny vzduchu je prováděn centrální vzduchotechnikou. Ke zvýšení kvality ovzduší jsou v hale umístěny 3 pračky vzduchu značky Plymovent (*Obr. 14*).

Použitý systém je tzv. DILUTER, jedná se řešení, které neobsahuje potrubí. Toto provedení se využívá převážně v případech, kdy není možné zvolit zdrojové odsávání. Celá pračka se skládá ze tří částí: filtrační jednotky (na obrázku bílá část), ventilátoru (na obrázku šedý čtverec) a samotného Diluteru (na obrázku černé trysky). Diluter má šest směrových trysek a jedná se o cirkulační vzduchovou jednotku. Jednotka za pomoci výstupních regulovatelných trysek recirkuluje vyčištěný vzduch zpět do haly. K optimalizaci výkonu pomáhá fakt, že je možno každou trysku samostatně natáčet. [43]



Obr. 14: Vzduchová pračka značky Plymovent – systém DILUTER

V druhé hale jsou jednotlivá pracoviště svařování kovů odsávaná napojením na centrální systém odsávání, tím je odsávaná vzdušina vedena do centrální filtrační stanice. Na *Obr. 15* je vidět sestava vtažné jednotky a na *Obr. 16* poté detailně filtrační zařízení. Modrá krychle představuje odtahový ventilátor, dva modré válce zase představují filtr TZL. Z pracovišť je tedy centrálně odsáván vzduch včetně škodlivin, který jde za pomoci odtahové ventilátoru do filtru TZL, ten škodliviny zachytí a čistý vzduch poté přes výdouch odchází do okolí. Zachycený prach (škodliviny) je vyskladňován do nádob pod filtry. Likvidaci provádí smluvní firma.



Obr. 15: Sestava vtažné jednotky + filtrační zařízení z haly

Provoz svařování kovů je v jednotlivých halách variabilní a podle požadavku výroby se může měnit. Může také docházet k přesunům svařovacích agregátů mezi jednotlivými halami a z toho důvodu se vykazuje používání svařovacích agregátů jako celek. Po sečtení jednotlivých agregátů se zdroj zařazuje dle přílohy č. 2 k zákonu č. 201/2012 Sb., ve znění pozdějších předpisů, o ochraně ovzduší, mezi vyjmenovanými stacionárními zdroji znečišťování ovzduší – v kapitole „Povrchová úprava kovů a plastů a jiných nekovových předmětů a jejich zpracování“ pod kód 4.14 – Svařování kovových materiálů s celkovým elektrickým příkonem 1 000 kVA nebo vyšším. Pro tuto kategorii je dle zákona stanoven emisní limit TZL (mg/m^3) – 50. [9]



Obr. 16: Filtrační zařízení detailně

Lakování

Lakování je proces povrchové úpravy, při kterém jsou nanášeny různé nátěrové systémy. Lakování je jedním z nejrozšířenějších povrchových úprav. Původní záměr lakování byl ochránit výrobek před korozí, jelikož nátěr zamezuje přístupu vody a látek poškozujících povrch výrobku. Postupem času začalo ale lakování plnit úkol i estetického vylepšení výrobku. Způsob lakování je buď mokrý, nebo práškový. Nátěrové hmoty jsou organické látky, které jsou nejčastěji nanášeny v tekutém stavu a skládají se z pojiva, rozpouštědla, pigmentu, plnidla a aditiva. [44]

Z hlediska environmentálních dopadů jsou nejproblematictější složkou rozpouštědla a to z toho důvodu, že jsou zdrojem emisí těkavých organických látek (značené jako VOC). Těkavými organickými látky se označují snadno odpařitelné, převážně zdraví škodlivé látky. Typickým zástupcem jsou uhlovodíky C_xH_y (sloučeniny uhlíku a vodíku). Těkavé organické látky jsou škodlivé jak pro lidské zdraví, tak i pro životní prostředí (vzduch, voda, půda). Halogenové VOC například způsobují úbytek množství ozonu ve stratosféře. Ozon plní ochranou funkci před UVB a UVC zářením, který je pro lidský organismus nebezpečné, dochází díky němu ke zrychlenému stárnutí kůže, zvýšení rizika rakoviny kůže, poškození imunitního systému atd. [45]

Ve společnosti Škoda Transportation se lakování provádí v jedné hale. Hala je rozdělena na několik částí, které slouží pro přípravné operace před lakování a pro samotné lakování. Lakování probíhá mokrým i práškovým způsobem. Do procesu lakování nezahrneme jen samotné nanášení, ale i přípravu barev. Míchání barev se provádí v samostatné místnosti haly v tzv. skladu nátěrových hmot, ve kterém jsou instalována dvě pracoviště pro míchání. Jedná se o pracovní prostor s okapovým roštem, na kterém provádí obsluha přípravu nátěrových hmot. Dojde-li k rozlití, stéká barva do nádoby pod roštem k dalšímu využití nebo je likvidována smluvní firmou. Nad pracovními prostory jsou umístěné digestoře, které slouží k odsávání. Odtahy z digestoří jsou pak svedeny do centrálního potrubí odtahu vzdušiny, k odtahu pomáhá společný odtahový ventilátor. Odsávaná vzdušina je vedena potrubím nad střechou haly.

Další částí haly, v které už dochází k samotnému lakování, se nazývá krátký box se sušárnou. V prostoru krátkého boxu provádí pracovníci ruční nástřik nátěrových hmot vozidel nebo jejich dílů. Krátký box je určen spíše pro menší kolejová vozidla a jejich díly. Box je určen pouze pro ruční nástřik. Box obsahuje plynový hořák a výdech hořáku. Na krátký box přímo navazuje horkovzdušná sušárna, ve které dochází k sušení nátěrových hmot, čemuž pomáhá instalovaný plynový hořák, který ohřívá přírodní vzduch ze vztažené jednotky do prostoru boxu. Teplota cirkulovaného vzduchu dosahuje 80 °C. Spaliny z hořáku jsou vyvedeny samostatným výduchem nad střechu objektu do volného ovzduší. Sušárna je vybavena analyzátozem nebezpečných koncentrací plynů. Při provozu krátkého boxu se sušárnou je v činnosti účinný systém filtrace TZL (účinnost 99 %). Odvod předčištěné vzdušiny z kabiny je pomocí vzt. jednotky, dále dochází k vedení potrubím do centrálního systému filtrace VOC.

Poslední část haly věnovaná lakování je tzv. kombinovaný box. Jedná se o dlouhý box, který lze za pomoci vrat rozdělit na tři nezávislá pracoviště. V každé třetině kombinovaného boxu je hořák pro ohřev přívodního vzduchu a výdech hořáku (komín). Po lakování se tedy přímo na pracovišti i suší. Při provozu je opět v účinnosti filtrace TZL, která je opět řešena přes suchý filtrační systém. Odvod předčištěné vzdušiny z kabiny je za pomoci vzt. jednotky, poté je vedena potrubím do centrálního systému filtrace VOC.

Centrální systém filtrace VOC se nachází na ploše střechy haly. Likvidace VOC probíhá kontinuálním způsobem, kdy znečištěná vzdušina je z jednotlivých pracovišť (vstupní teplota

25 °C) přiváděna společným potrubím k rotačnímu koncentrátoru (RK – *Obr. 17*), kde dochází ke zvýšení koncentrace VOC v poměru cca 10-20:1 a následné likvidace VOC v termicko-oxidační jednotce (TOJ). Samotný rotační koncentrátor je částečně za provozu desorbován – regenerován a regenerovaná část rotačního koncentrátoru je následně ochlazena na pracovní teplotu, může pracovat i nezávisle na provozu spalovny (TOJ).



Obr. 17: Rotační koncentrátor

Rotační koncentrátor (výplň – voštinový zeolit) je rozdělen na 3 části – výšece:

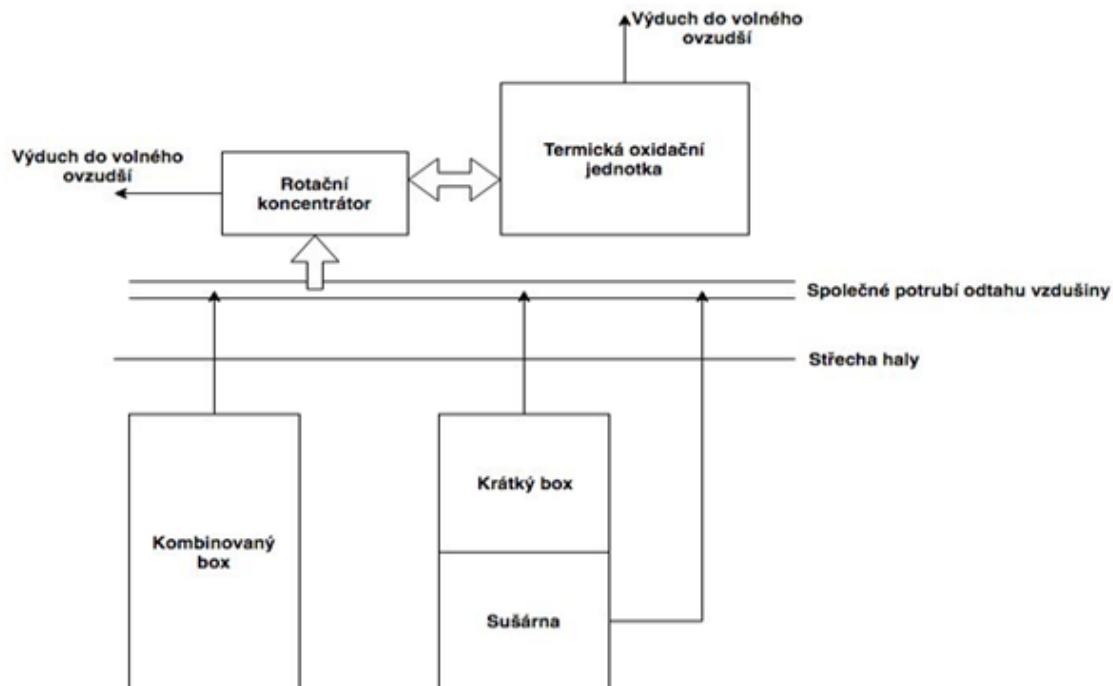
- Procesní (300 – 310°obvodových)
- Chladicí (20 – 30°obvodových)
- Desorpční (25 – 30°obvodových)

Samotné VOC jsou zachytávány na povrchu na principu mezimolekulárních sil. Desorpční vzduch je veden přes chladicí výseč rotačního koncentrátoru a je dohříván na teplotu 182 °C v předehřívacím výměníku. Průchodem přes desorpční výseč rotačního koncentrátoru jsou VOC vytěsněny z náplně zeolitů a následně vyčištěny (spáleny) v TOJ – Obr. 18.



Obr. 18: Termicko-oxidační jednotka

Technologie RK + TOJ je navržena jako kontinuální provoz likvidace emisí VOC s požadovanou účinností, jako bezobslužný provoz. Koncentrované VOC jsou likvidovány v TOJ při teplotách cca 330 – 350 °C. Spaliny jsou využity k předehřevu vzduchu vstupujícího do katalytického reaktoru a k předehřevu regeneračního vzduchu na desorpční teplotu.



Obr. 19: Blokové schéma systému na filtraci VOC

Z hlediska lakování je zdroj zařazen dle přílohy č. 2 k zákonu č. 201/2012 Sb., ve znění pozdějších předpisů, o ochraně ovzduší, mezi vyjmenovanými stacionárními zdroji znečišťování ovzduší – v kapitole „Použití organických rozpouštědel“ pod kódem 9.14 – Nátěry při výrobě nových silničních a kolejových vozidel s celkovou projektovanou spotřebou organických rozpouštědel 15 t/rok nebo větší. Emisní limit VOC je stanovený pro kategorii, do které společnost spadá (roční produkce – méně nebo rovno 2000 ks kolejových vozidel) na 50 g/m^3 . Povinnost provozovatele dle vyhlášky č. 415/2012 Sb. ve znění pozdějších předpisů je provést jedenkrát za rok měření emisí. Měření zajišťuje provozovatel prostřednictvím autorizované osoby. [9, 46]

Lepení

Proces lepení je spojení dvou různých ploch prostřednictvím lepidla, které má dobrou přilnavost k oběma plochám. Lepidlo se z důvodu dokonalého přilnutí musí nanášet vždy v kapalném stavu. Pevnost lepeného spoje je závislá na čtyřech parametrech: přilnavost lepidla k lepenému povrchu (adheze), soudržnost hmoty lepidla – vnitřní pevnost (koheze), smáčivost lepeného povrchu lepidlem a pevnosti lepeného materiálu. [47]

Přehled základních skupin lepidel je následovný:

- Reaktivní dvousložková (vytvrzení chemickou reakcí)
- Reaktivní jednosložková (vulkanizací vzdušnou reakcí)
- Rozpouštědlová (odpařením rozpouštědel)
- Vodná roztoková (odpařením vody)
- Vodná disperzní (odpařením vody a spojením částec polymeru do souvislého filmu)
- Tavná (do lepidivého stavu se přivedou roztavením, vytvrzení ochlazením)

Hlavní složky lepidla jsou rozpouštědla, plniva a tvrdidla. Z environmentálního hlediska jsou stejně jako v případě nátěrových hmot nejproblematičtější rozpouštědla. [47]

Lepení se ve společnosti Škoda Transportation provádí převážně pomocí dvousložkových polyuretanových lepidel nanášenými pomocí automatického směšovače, vytvrzování pak probíhá v hale za běžné teploty. Proces lepení probíhá v drtivé většině objemu v hale k tomu určené, ovšem v malé míře může lepení probíhat i v ostatních halách a to například při opravném lepení. Hala je rozdělena na několik pracovišť. Jedno pracoviště je věnováno přípravě oken, zde se připravují lepené plochy oken. Před lepením se povrch čistí od případného prachu pomocí vodou navlhčené utěrky, poté následuje několikastupňové odmaštění čistícími přípravky (obsahují VOC) a dochází k aktivování tzv. aktivátory. Následuje už jen nátěr primerem (tmelem) a přemístění na pracoviště určené k lepení oken. Odvětrávání pracoviště během přípravy je realizováno digestořemi (Obr. 20), které jsou umístěny nad pracovními stoly a výduchy jsou vyvedeny na střechnu haly.



Obr. 20: Digestoře na pracovišti přípravy oken

Dvě pracoviště jsou určeny k lepení opláštění, podlah a oken. Před samotným lepením je potřeba povrch očistit, „aktivovat“, případně nanést „primer“ (tmel). Jak se provádí čištění, viz kapitola „odmašťování“. Odvětrávání pracovišť provádí odsávací ventilátory (Obr. 21), které mají vyvedeny výduchy nad střechu haly.



Obr. 21: Odsávací ventilátory

Odmašťovací a čisticí přípravky a lepidla (vstupní surovin) jsou skladovány ve skladovacím kontejneru vedle haly (Obr. 22), kontejner je vybaven výměnou vzduchu a klimatizací a to z toho důvodu, aby byla v kontejneru bezpečná mez koncentrace nebezpečných látek. Denní spotřeba vstupních surovin je skladována na výše zmíněných pracovištích v plechových skříních.



Obr. 22: Skladovací kontejner

Čisticí prostředky, lepidla, znečištěné hadry, použité rukavice, nádoby na čisticí prostředky a lepidla atd. jsou předávány externí firmě, která zajišťuje odbornou likvidaci nebo recyklaci.

Lepení nemá v povolení provozu podle zákona č. 201/2012 Sb. stanovený emisní strop ani emisní limit. Měření emisí znečišťujících látek z lepení nemusí provozovatel provádět. Zjišťování úrovně znečišťování se provádí výpočtem z roční hmotnostní bilance organický rozpouštědel dle vyhlášky č. 415/2012 Sb. [9, 46]

Odmašťování

V případě odmašťování se nejedná o hlavní proces, nýbrž o proces pomocný. Přesto patří mezi procesy, které je nutno zmínit. Jedná se o proces, při kterém se z výrobků odstraňuje mastnota a nečistoty. K odmašťování se ve společnosti používají prostředky na bázi organických rozpouštědel. Při používání dochází k úniku VOC do okolí. Někdy se v průmyslu odmašťování označuje také jako praní. Technologie odmašťování jsou různé, mezi hlavní ale patří odmašťování ruční, ponorem, postřikem, tlakově či ultrazvukem.

Odmašťování probíhá dle potřeby v několika halách, odmašťování je potřebný proces pro lepení, svařování, lakování atd. Odmašťuje se ručně pomocí hadrů a prostředků k tomu určených. Princip spočívá v pečlivém otírání potřebných částí vyráběného dílu hadry namočenými v odmašťovacích prostředcích a následném vytření dílu do sucha dalším hadrem. Znečištěné hadry se po použití ukládají do nádob k tomu určených, které jsou umístěny na pracovišti, naplněné nádoby se předávají smluvní firmě k likvidaci. Pokud by k odmašťování v případech, kdy je to potřebné nedošlo, mohlo by dojít k snížení pevnosti svaru, špatné přilnavosti nátěrových hmot, nedokonalému přilepení atd.

Odmašťování je velmi proměnlivý proces, vše se odvíjí od momentální potřeby výroby. V jednotlivých halách nedochází při odmašťování k odsávání, přímý výdech do volného ovzduší neexistuje, z čehož vyplývá, že VOC při odmašťování unikají do pracovního prostoru haly a emise, unikají netěsnostmi haly do volného ovzduší a jsou tedy fugitivními emisemi.

Odmašťování je zařazeno dle přílohy č. 2 k zákonu č. 201/2012 Sb., ve znění pozdějších předpisů, o ochraně ovzduší, mezi vyjmenovanými stacionárními zdroji znečištění ovzduší – v kapitole „Použití organických rozpouštědel“ pod kódem 9.6 – Odmašťování a čištění povrchů prostředky s obsahem organických látek, které nejsou uvedeny pod kódem 9.5, s celkovou projektovanou spotřebou organických rozpouštědel 0,6 t za rok nebo větší. U odmašťování se jedná o zdroj znečištění ovzduší, který nemá přímý dopad na ovzduší, neboť není přímý výdech do ovzduší. VOC tedy zůstávají v prostoru provozu haly a platí zde limitní koncentrace dle zákonných předpisů hygienických orgánů, jiné limity stanoveny nejsou. [9]

Návrh vylepšení výrobních procesů

Svařování – proces svařování jak už bylo zmíněno v předchozím textu, probíhá ve dvou halách, v první hale – starší, jsou umístěny 3 pračky vzduchu. V druhé hale – nové, je systém centrálního odsávání, který je napojen na centrální filtrační zařízení TZL. Emisní limity TZL nařízené legislativou (50 mg/m^3) jsou plněny s velkou rezervou. V nové hale má filtrační zařízení TZL účinnost 98-99 %, systém tedy není nutno vylepšovat, ovšem je nutné soustředit se na kontrolu a údržbu. Provádět pravidelné kontroly filtračních kapes ve filtru, trvale sledovat výdych z filtrace TZL, sledovat pravidelně těsnost celého systému a v případě zjištění jakéhokoliv problému okamžitě daný problém řešit. Dále provádět pravidelné čištění filtrů a provádět čištění v co nejkratším časovém rozsahu, aby se minimalizoval únik TZL do ovzduší. Posledním opatřením je včasné vyskladňování zachyceného prachu. Ve starší hale by bylo možné k zefektivnění přidat další pračku/pračky vzduchu, případně analyzovat možnost použití systému zdrojového odsávání stejně jako je tomu v hale nové.

Lakování – při provozu lakovny je v činnosti filtr TZL s účinností 99 %. Rotační koncentrátor a termická oxidační jednotka se zase starají o likvidaci VOC. Z hlediska limitů se jedná o spolehlivé řešení, emisní limit VOC je stanoven na 50 mg/m^3 , ten je se značnou rezervou splněn. Při měření byl emisní limit VOC zhruba desetinásobně menší, než je dovolená mez. Přesto je možné najít i řešení na zlepšení, jedná se například o snahu používat více vodou ředitelných laků, které jsou ekologičtější (3x – 5x nižší koncentrace VOC). Z *Tab. 1* je také možné vidět, že je potřeba věnovat pozornost ředidlům, které jsou zdrojem velkého množství VOC, proto je zapotřebí zmapovat momentální trendy a zkusit najít ekologičtější ekvivalent.

Tab. 1: Přehled prostředků použitých pro lakování v roce 2017

Nátěrová hmota	Spotřeba v kg	Obsah VOC v %	Obsah VOC v kg
Syntetika	58	45	26,1
PUR	11236	50	5618
Tmely PE	4129	12	495,48
Epoxidové laky	2149	33	709,17
Vodou ředitelné laky	3579	10	357,9
Ředidla	9870	100	9870

Lepení – při lepení je opět největší hrozbou z hlediska environmentálních dopadů únik VOC. Během procesu lepení momentálně nedochází k žádné likvidaci VOC unikajících do ovzduší. Jediné opatření je výměna vzduchu a to hlavně z hlediska bezpečí pracovníků. Přestože se nejedná o velkou koncentraci VOC, bylo by vhodné analyzovat situaci a realizovat opatření/zařízení, které by likvidaci VOC provádělo a tím se tak snížily dopady na životní prostředí. Dalším opatřením, kterým je možné zlepšit environmentální dopady je analýza lepidel na vodní bázi a snaha tyto materiály do výrobních procesů začlenit.

Odmašťování – v Tab. 2 je uveden přehled přípravků používaných pro odmašťování. Ke zlepšení procesu odmašťování z hlediska environmentálních dopadů by bylo přínosné zauvažovat o používání alkalických rozpouštědleh. Jedná se o rozpouštědla, která neobsahují žádné VOC, jsou tedy ekologičtější, nehořlavé, jsou levné, jejich nevýhodou je ale vznik odpadní vody.

Další návrhem je realizace i jiného způsobu odmašťování než jen ručního, jedná se o odmašťování postřikem či ponorem, k tomu slouží i mycí stoly či průmyslové pračky pro odmašťování. S možnou změnou způsobu odmašťování by také přicházelo v úvahu soustředit tento proces do jednoho místa (haly), tato hala by byla také vybaveny systémem na likvidaci VOC unikajících při odmašťování. Průmyslové pračky mají zase výhodu v tom, že dochází k menší spotřebě odmašťovačů, než je tomu při odmašťování ručním.

Tab. 2: Přehled prostředků použitých pro odmašťování v roce 2017

Název látky	Spotřeba v kg	Obsah VOC v %	Obsah VOC v kg
Teroson PU 8550	1162	79	917,98
Ředidlo C 6000	817	88	718,96
Technický benzín	683	72,5	495,18
Sika Aktivátor	361	94,19	340,03
Sika Primer 215	213	64,39	137,15
Sika Primer 206 G+P	198	57,57	113,99
Terostat 450	43	99	42,57
Sika Adprep 5901	26	94	24,44
Loctite 7063	14	100	14,00
Terostat 8519	1,7	58	0,99
Lih technický	0,9	95	0,86

Poslední návrh se týká všech zmiňovaných procesů – pravidelně proškolovat pracovníky na jednotlivých pracovištích a to i v intervalech kratších než jsou dané zákonem. Dbát na to, aby nedocházelo k zbytečnému plýtvání materiálů, s důrazem na materiály obsahující nebezpečné látky.

2.4 Environmentální dopady užívání

Vzhledem k tomu, že tramvaje jsou poháněny elektrickou energií ze sítě a nepotřebují žádné palivo, jsou emise vyvolané užíváním těchto kolejových vozidel nulové. Nulové emise jsou velkou výhodou těchto vozidel, jedná se totiž o udržitelnou dopravu, pro názornost si stačí uvést příklad, na trase z bodu A do bodu B se potřebuje přepravit 150 osob, v případě, že tyto osoby využijí tramvaj, přepraví se jednou tramvají za nulových emisí, zvolí-li ale osoby osobní automobily bude potřeba několik desítek dopravních prostředků a během přepravy vznikne mnoho emisí. Moderní tramvaje jsou mimo jiné také tiché a nevytváří hluk.

Další výhodou je možnost dodávání energie zpátky do sítě, k tomuto procesu dochází při brzdění tramvaje a nazývá se rekuperace. Elektromotor při rekuperaci funguje v generátorovém režimu a přeměňuje při brzdění kinetickou energii na energii elektrickou, kterou vrací zpět do sítě. Nutno podotknout, že proces rekuperace má své úskalí a to taková, že elektrická energie vytvořená při procesu rekuperace musí být ihned spotřebována jiným vozidlem nebo vrácena zpět do rozvodné sítě, to ovšem není vždy možné a proto dochází ke spalování energie v brzdových odpornících či mechanických brzdách. Tato úskalí je ovšem možno odbourat a to v případě využití akumulčních prvků. Pro kolejová vozidla je nutno použít akumulční prvky, které splňují následující podmínky: schopnost pojmout dostatečné množství energie, dostatečná dynamika při příjmu i výdeji energie, vysoká účinnost a hustota energie, tyto podmínky nejvíce splňují superkapacitory. Akumulční prvky jsou umístěny buď přímo na vozidle, nebo u tramvajové trati. V případě umístění na vozidle jsou ztráty menší, nedochází totiž ke ztrátám na vedení. [48]

Environmentálními dopady užívání kolejových vozidel tedy primárně rozumíme spotřebovávání elektrické energie a s tím spojené procesy.

2.5 Environmentální dopady po skončení životnosti

Environmentální dopady po skončení životnosti lze rozdělit na tři podkategorie, jednou je recyklace, druhou energetické využití a třetí likvidace. Z informací uvedených na začátku druhé kapitoly o lineární a cirkulární ekonomice vyplývá, že z hlediska environmentálních dopadů se snažíme, aby byl možný co největší podíl recyklovatelných materiálů obsažených v kolejovém vozidle, ideální stav je 100%, což ale reálně samozřejmě není možné.

2.5.1 Recyklace

V případě recyklace lze říci, že z globálního hlediska jsou environmentální dopady pozitivní. Je pravdou, že k tomu aby mohlo dojít k recyklaci, je potřebná určitá energie, rovněž jsou potřeba pokročilé technologie a může vznikat i vedlejší produkt nebo odpad. V porovnání s materiálem, který by se musel likvidovat a následně by se místo tohoto materiálu vyráběl nový, je to ale zanedbatelné.

2.5.2 Energetické využití

Materiál (odpad) jako takový nemusí být pouze surovinou, ale může být i zdrojem energie. K energetickému využití odpadu dochází ve spalovnách odpadu, spaluje se primárně komunální odpad, v některých případech jsou ale možné spalovat i materiály používané v průmyslu. Energie je v podobě tepla, které je dále možné přeměnit na elektrickou energii v parních elektrárnách. Z environmentálního hlediska je výhodou to, že díky energetickému využití dojde k určité úspoře fosilních paliv, nevýhodou jsou ovšem emise, které jsou díky čistícím procesům snižovány, přesto z komína spalovny určité emise do ovzduší odchází (případně jsou obsaženy v popelu). [23]

2.5.3 Likvidace

Pojmem likvidace rozumíme spalování (bez energetického využití) nebo skládkování materiálu na k tomu určených místech (skládkách). Z environmentálního hlediska je likvidace tím nejhorším možným způsobem, jakým je možné s materiálem po skončení životnosti zacházet. Při spalování dochází k unikání emisí do ovzduší, v případě skládkování se zase narušuje terén, vzniká skládkový plyn (metan a oxid uhličitý) a je potřeba dávat pozor, aby nepronikla skládková voda do okolního prostředí a podzemních vod. [23]

3 Postup likvidace kolejového vozidla

Z hlediska environmentálních dopadů je likvidace (recyklace) kolejového vozidla po skončení životního cyklu velmi důležitou fází produktu. Vhodná likvidace snižuje environmentální dopady.

S kolejovými vozidly se po skončení životnosti zachází jako s nebezpečným odpadem. Legislativa problematiky likvidace a recyklace kolejových vozidel jako taková není momentálně na úrovni EU zpracována. Výjimkou mohou být legislativní nařízení na úrovni jednotlivých členských států, jako tomu je například v Polsku, kde je nutné, aby příručka pro provoz a údržbu obsahovala kapitolu zabývající se pokyny pro recyklaci kolejového vozidla. Na úrovni EU ovšem žádná legislativa neexistuje a proto je všechna společenská zodpovědnost na výrobcí a následném vlastníkovi kolejového vozidla. [49]

V České republice není legislativa zcela jednoznačná, na kolejové vozidlo se nevztahuje směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/53/ES o vozidlech s ukončenou životností, a tedy ani část čtvrtá, díl 7 zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, upravující autovraky, protože kolejové vozidlo není určeno k provozu na pozemních komunikacích, z toho důvodu nemá výrobce povinnost přikládat k produktu i postup likvidace po skončení jeho životnosti. Ovšem všeobecná povinnost §10 odstavce 3 zákona o odpadech, týkající se předcházení odpadů říká, že právnická osoba nebo právnická osoba oprávněná k podnikání a uvádějící výrobky na trh je povinna uvádět v průvodní dokumentaci, výrobku, na obalu, v návodu na použití nebo jinou vhodnou formou informace o způsobu využití nebo odstranění nespotřebovaných částí výrobku. Z výše uvedených skutečností je vidět, že záleží na každém, jak si daný zákon vyloží.

Na *Obr. 23* je znázorněna posloupnost jednotlivých fází postupu likvidace kolejového vozidla, které byly navrženy dle momentálních trendů v oblasti kolejových vozidel. Celkem se jedná o šest navazujících hlavních kroků. V textu níže jsou pak tyto jednotlivé kroky podrobně popsány.



Obr. 23: Jednotlivé kroky likvidace kolejového vozidla

Prvním krokem celého procesu je určení, kdy kolejové vozidlo dosáhlo konce své životnosti. U většiny běžných tramvají se životnost pohybuje mezi 30 - 40 roky, postupem času se začnou zvyšovat náklady na údržbu, na opravy a navyšuje se počet poruch do takové míry, že je efektivnější pořídit si nové kolejové vozidlo, a tudíž dojde k rozhodnutí o vyřazení starého vozidla.

Druhým krokem je přeprava vyřazeného kolejového vozidla do míst, kde bude moci dojít k bezpečné likvidaci, nebude hrozit, že dojde ke znečištění okolního životního prostředí nebo ohrožení lidského zdraví.



Obr. 24: Nakládání tramvaje před následnou přepravou (převzato z [50])

Třetí krok už je příprava na samotnou likvidaci, z vozidla musí být prvotně odstraněny znečišťující látky a nebezpečný odpad. Odčerpány jsou tedy všechny provozní kapaliny - brzdová kapalina, oleje, nemrznoucí kapaliny. Vše je potřeba odčerpat do oddělených nádob, které se poté předají specializovaným firmám zabývajícím se likvidací a recyklací těchto látek. Olej je možno specializovaným procesem regenerovat. Neodčerpávají se pouze provozní kapaliny, které jsou obsaženy v komponentech, se kterými se počítá k znovu použití. Dále se odstraní nebezpečný odpad – baterie, hasicí přístroje, plyny, výbušné látky, písek používaný pro brzdění tramvaje atd. Nebezpečný odpad se opět připraví na předání specializovaným firmám, které mají zkušenosti a oprávnění s daným materiálem pracovat.

Čtvrtým krokem je demontáž. Demontují se části, které je dále možné využít, nebo je možnost je přímo recyklovat. Nejprve se demontují komponenty, které se znovu použijí, při demontáži těchto komponentů je potřeba dávat pozor aby nešlo k poškození. Samozřejmostí před znovu použitím je důkladná kontrola, v případě zjištění nějakých závad je potřeba aby došlo dle závažnosti k jejich opravě, v opačném případě stačí danou komponentu jen renovovat. Po první vlně demontáže dochází i na vlnu druhou v té se demontují části, které budou určeny k recyklaci. Může se například jednat o sedadla, sklo, podlahu, elektronické části, které se dále rozebírají atd. Vhodné je demontovat co největší počet komponentů, demontování je ovšem časově náročné a tudíž i ekonomicky, proto je potřeba zvolit vhodný kompromis. Čím více komponentů se demontuje, tím je likvidace (recyklace) jednodušší a efektivnější.

Pro likvidaci kolejového vozidla je k zefektivnění potřeba mít přehled použitých materiálů v jednotlivých částech, to by měl zajistit výrobce vozidla, majitel by měl mít přehlednou databázi s materiálovým složením daných částí. Nedemontují se části, u kterých není zřejmé materiálové složení, části u kterých by demontáž byla náročná a tudíž nevýhodná a části, které obsahují materiály, pro které není známa recyklační technologie. Po demontáži se části určené k recyklaci předávají specializovaným společnostem.

Na *Obr. 25 a 26* je vidět průběžně a finálně odstrojená tramvaj připravovaná na recyklaci.



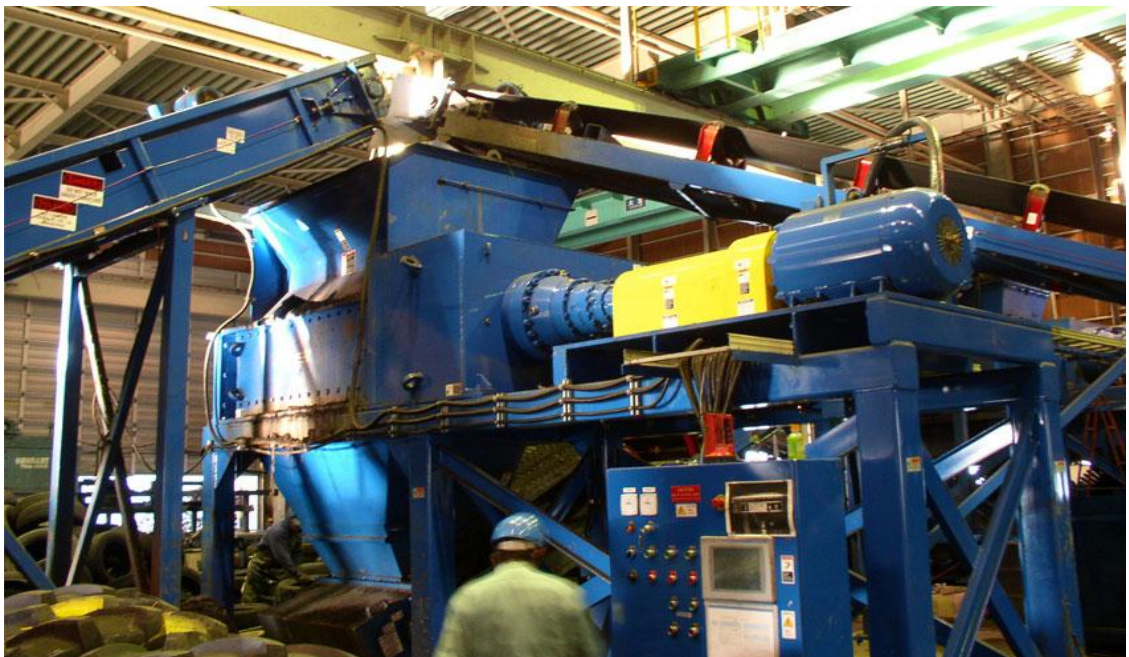
Obr. 25: Průběžně odstrojená tramvaj (převzato z [51])



Obr. 26: Finálně odstrojená tramvaj (převzato z [51])

Pátým krokem je drcení. Po odstranění nebezpečného odpadu, provozních kapalin a částí určených k recyklaci nebo znovu použití přichází na řadu proces drcení. Existují tři způsoby, jak je možné rozdrcení provést, jedná se o stříhání, trhání a rozlámání. Stříhání je operací, kdy dochází k řezání materiálu. Stejně jako u nůžek i zde záleží na ostrosti řezných hran, které pracují proti sobě a na toleranci mezi nimi. Trháním se rozumí natahování materiálu až do takového míry, že dojde k přetrhnutí (rozpadnutí), toho je možné využít hlavně u materiálů, které je možno snadno roztrhnout (textilie, plasty, měkké kovy atd.). Poslední možností je rozlámání, to je výhodné u křehkých materiálů (sklo, tvrdé plasty nebo některé kovy). Na rozdíl od trhání dochází u lámání při rozpadnutí materiálu k uvolnění energie výbušně, proto je nutné dávat si pozor na bezpečnost, aby nedošlo k poranění. Při využití průmyslového drtiče jsou využity všechny tři způsoby najednou, tím je dosaženo optimálního způsobu zpracování. [52]

Hlavním úkolem drtiče je získání kovových materiálů. Dochází k oddělení materiálů na následující skupiny: železné kovy (oceli a železo), neželezné kovy (hliník, měď, zinek), plasty, sklo, keramika, vlákna (textil), zbytky (nátěry, prach), zbývající minerály (písek) atd. Na *Obr. 27* je příklad drtiče jako celku, na *Obr. 28* je vidět dvouhřídelový drtič. Jedná se o dvouhřídelový stříhací stroj od firmy SSI Shredding Systems, který má vysokým točivým momentem a je konstruovaný tak, aby efektivně zpracoval širokou škálu tvrdých materiálů, zpracovává tedy kovy, plasty atd. [52]



Obr. 27: Dual - Shear M140 – celek (převzato z [52])



Obr. 28: Dual - Shear M140 – dvouhřídelový drtič (převzato z [52])

Šestým a zároveň i posledním krokem je zpracování materiálů. Poté, co dojde k rozdrcení a rozdělení materiálu může dojít k předání materiálu do specializovaných zařízení. Předávají se všechny části a materiály mimo těch, které se přímo využijí pro další účely. Ocel se předává po drcení ocelárnám, stejně tak jako neželezné kovy se předají zařízením pro recyklaci kovů. Procesem speciální recyklace si musí projít baterie, prvky obsahující nebezpečné látky, oleje, provozní kapaliny, elektronika, elektrické a plastové prvky. Některé části oddělené při drcení lze použít v průmyslu, jde například o polymerní granulát, který je možno spalovat ve vysoké peci. [49]

3.1 Likvidace kolejového vozidla v České republice

Jak již bylo zmíněno, likvidace kolejového vozidla je z hlediska environmentálních dopadů velmi důležitou fází, aby nedocházelo k zbytečnému plýtvání materiálu, který poté může končit na skládkách je zapotřebí věnovat této problematice pozornost. Bohužel situace v České republice není vzhledem k životnímu prostředí z globálního hlediska úplně ideální. Koncový uživatelé (majitelé), což jsou v České republice výhradně dopravní podniky, totiž většinou kolejové vozidlo po překročení meze životnosti nelikvidují, nýbrž prodávají do rozvojových zemí na východ (nejčastěji touto zemí bývá Ukrajina), kde je kolejové vozidlo ještě nějaký čas v provozu. Prodej bývá zpravidla uskutečněn přes třetí subjekt

(zprostředkovatele), to znamená, že dopravní podnik kolejové vozidlo prodá zprostředkovateli, který se zabývá exportem do zahraničí a ten celý obchod realizuje. Pro majitele má tato cesta určité výhody, odprodejem totiž zaniká veškerá povinnost kolejové vozidlo likvidovat, všechny povinnosti jsou přeneseny na nového majitele. Další výhodou je v ceně, v případě, že dojde k odprodeji do zahraničí, jedná se o tzv. provozuschopné vozidlo a cena může být 4-5 násobně vyšší než když se vozidlo prodá jako neprovozuschopné do šrotu.

V posledním desetiletí došlo v České republice k několika prodejům tramvají do zahraničí. Mezi lety 2008 – 2011 prodal dopravní podnik hlavního města Prahy (DPP) celkem 41 vyřazených tramvají, mimo jiné i do KLDL. V roce 2012 následovalo dalších 54 tramvají, které zaměřily na Ukrajinu a do Ruska, prodej byl uskutečněn přes aukci a výsledná cena za 54 tramvají byla přes 8 miliónů korun, kdyby došlo ke šrotování, odhadovaný zisk by byl mezi 2 - 3 miliony korun. V roce 2016 DPP darovalo jako humanitární pomoc dvě tramvaje do ukrajinského města Mariupolu zmítaného válkou, v roce 2017 následovalo dalších 8. V roce 2016 se uskutečnil také prodej 20 vyřazených tramvají do bulharské Sofie, které v roce 2017 následovalo dalších 10. Dopravní podnik v Ostravě v roce 2015 prováděl dražbu 10 vyřazených tramvají, nejvyšší nabídka vyhrávala a vozidlo si mohl koupit kdokoliv. Dopravní podnik v Brně na začátku roku 2018 podepsal prodej dvou tramvají do Polska, konkrétně do Poznaně. Je nutno podotknout, že zmíněný výčet není kompletní, jde jen o názorné příklady. [53-55]



Obr. 29: Jedna z vyřazených tramvají, směřující do Bulharska (převzato z [53])

Neprodává-li majitel tramvaj jako provozuschopnou, přichází na řadu varianta druhá, sešrotování. Sešrotování provádí odborná firma, která k tomu má příslušné oprávnění. Majitel při sešrotování přepisuje vozidlo na nového vlastníka, stejně jako při prodeji provozuschopného vozidla. Možností výběru odborné firmy může být více, nejčastěji má ale dopravní podnik podepsané dlouhodobější spolupráce s firmami zabývajícími se šrotováním nebo případně nabízí vozidlo k odprodeji veřejně jako šrot, poté je hodnotícím faktorem, kdo nabídne víc korun za jednu tunu vozidla. Na *Obr. 30* je vidět šrotování externí firmou neprovozuschopné tramvaje v Brně.



Obr. 30: Šrotování specializovanou firmou (převzato z [56])

4 Zpětné využití podsystémů

Likvidace kolejového vozidla je jak již bylo zmíněno velmi důležitou fází, aby bylo možné likvidaci nějak vyhodnotit, je možné zaměřit se na vyčíslení míry zpětného využití podsystémů. Zpětné využití můžeme definovat jako recyklaci materiálů ať už jako původního materiálu nebo přidáním k materiálu jinému, popřípadě energetické využití (spalování).

Jak již bylo několikrát zmiňováno, základním materiálem kolejového vozidla je v drtivém případě ocel. Jak se ocel vyrábí, bylo uvedeno v kapitole 2.3.1. Recyklovaná ocel (šrot) se zpracovává v elektrických obloukových pecích, ve vysokých pecích se šrot jen v malé míře přidává k surovému železu. Ocel se může recyklovat nesčítelněkrát beze změny vlastností, překážkou nejsou ani různé povrchové úpravy, které byly během využívání provedeny. Bylo také zjištěno, že emise CO₂ z výroby oceli klesají s každým recyklačním cyklem. Jediné na co je potřeba si dát pozor, je dělení oceli před recyklačním cyklem do kategorií, které jsou si svým složením podobné. To znamená, že není vhodné recyklovat ocel ze směsi, kde jeden druh šrotu pocházejí například z tenkých plechů a k tomu právě třeba konstrukční ocel pocházející z kolejového vozidla. V rámci kolejového vozidla je tedy ale možné po recyklaci použít ocel ke stejným účelům, ke kterým byla původně použita. [57]

Neželezné kovy, mezi které patří například měď a hliník se dají stejně jako ocel bezproblémově recyklovat, po recyklaci je tyto materiály možno použít znovu ke stejnému účelu.

Pryž je materiál, u kterého už neplatí, že by šel opětovně použít se stejnými vlastnostmi, jakož tomu bylo v předchozích případech. Pryž je možné regenerovat, recyklovat a spalovat. Chemická a tepelná regenerace probíhá za určité teploty a tlaku a trvá v řádu hodin, bohužel po regeneraci nedosahuje pryž vlastností, které dosahoval původní materiál, to je důvod, proč není regenerace využívána ve větším měřítku. Využití nachází k výrobě nové pryže, kam se regenerovaná pryž přidává (zhruba 10 % z celkového objemu). Další možností je recyklace, recyklovaná drť pryže se využívá například jako plnivo do asfaltu. Pryž se dá i spalovat, neboli energeticky využívat, pryž ovšem obsahuje ekologicky závadnou síru. Tento problém je řešen převedením síry z pryže na inertní síran vápenatý, čehož se využívá ve stavebnictví (výroba sádry). [58]

Termoplasty je možné bez velkých komplikací recyklovat, tento proces je možné provádět víceméně nekonečněkrát, materiál je možné využít ke stejným účelům. U reaktoplastů je recyklace velmi složitý proces, dochází v této oblasti stále k vyvíjení nových technologií, dají se ale rozebrat a použít jako přídatný materiál.

Překližku můžeme recyklovat, středová vrstva je tvořena novým materiálem, vrstvy povrchové jsou tvořeny rozdrčenou starou překližkou a plastovými vlákny. Poté se materiál jako celek ohřeje a natlakuje, tím dojde ke spojení, poté už stačí jen ochladit. Překližku je možné využít i energeticky, musí k tomu však dojít ve specializovaných zařízeních, které jsou schopny se vypořádat s lepidly spojující jednotlivé vrstvy.

Skelný laminát je z hlediska opětovného použití celkem problematický materiál. Nedá se zcela recyklovat, ale ani energeticky využít. Při speciálních procesech je možné recyklovat zhruba 30 % materiálu, který se poté využívá hlavně v cementářském průmyslu jako plnivo. Častěji dochází ke spalování ve speciálních spalovnách, kde se teplo využívá k vytápění nebo k výrobě elektrické energie. Ze spalování ovšem zůstane okolo 60 % odpadu ve formě popelu, který je kvůli anorganickým látkám nebezpečný. [59]

Sklo je možné recyklovat a znovu z něj vyrobit stejný materiál. Izolace (pěny) je nemožné recyklovat, je ovšem možné tyto materiály energeticky využít.

4.1 Určení míry zpětného využití kolejového vozidla

V dnešní době už zákazníci často kladou požadavky úzce spojené s environmentálními dopady, jako je například minimální míra recyklovatelnosti daného kolejového vozidla, zákaz používání určitého typu materiálu atd. Tím pádem jsou výrobci nuceni se danou tématikou zabývat v předstihu.

K tomu aby bylo možné zhodnotit využitelnost kolejového vozidla po skončení životnosti, je zapotřebí kvantifikovat míru zpětného využití. Bude se jednat o procentuální vyjádření materiálů, které je možno využít vůči celkové hmotnosti kolejového vozidla. V první řadě je nutné zhotovit přehled použitých materiálů a všechny kategorie vyčíslit, což je provedeno na vzorovém kolejovém vozidle v *Tab. 3*.

Tab.3: Materiálové složení vzorového kolejového vozidla

Materiál	Hmotnost (kg)	Procentuálně (%)
Ocel	29448,85	78,64
Nerez	1108,45	2,96
Hliník	378,22	1,01
Měď	26,21	0,07
Mosaz	11,23	0,03
Skelný laminát	1063,51	2,84
Kompozit	415,67	1,11
Plast	737,72	1,97
Pryž	224,69	0,6
Sklo	509,29	1,36
Izolace (pěny)	97,36	0,26
Překližka	116,09	0,31
Barvy, lepidla, čističe	265,88	0,71
Mazivo	243,41	0,65
Textil	3,74	0,01
Strojní komponenty	2186,94	5,84
Elektrokomponenty	610,40	1,63
Celkem	37447,67	100

Rozdělení v Tab. 3 je nedostatečné, na určení míry zpětného využití je ale možné aplikovat rozdělení materiálů použité v normě ISO 22628:2002, která je zaměřena na recyklovatelnost silničních vozidel, ta byla ještě rozšířena asociací UNIFE, která zastupuje evropský železniční průmysl. Podle této normy byl materiál přerozdělen (Tab. 4). [60, 61]

Tab.4: Materiálové složení dle ISO 22628:2002

Index	Kategorie	Materiál	Hmotnost (kg)	Procentuálně (%)
1	Kovy	Železné kovy	32088,16	85,69
2		Neželezné kovy	853,06	2,28
3	Elastomery	Elastomery	224,69	0,60
4	Polymery	Termoplasty (bez výplně)	663,94	1,77
5		Termoplasty (skelná výplň)	0,00	0,00
6		Reaktoplasty (bez výplně)	171,14	0,46
7		Reaktoplasty (skelná výplň)	1063,51	2,84
8		Polymery vyztuž. uhlíkovými nebo přírodními vlákny	415,67	1,11
9	Sklo	Sklo	509,29	1,36
10		Bezpečnostní sklo (sklo odolné proti rozbití)	0,00	0,00
11	Náplně	Olej, mazivo atd.	462,10	1,23
12		Kyseliny a další kapaliny	265,88	0,71
13	Modifikované organické přírodní látky	Kůže, dřevo, bavlna...	119,83	0,32
14	Ostatní	Elektrické a elektronické součásti	610,40	1,63
15		Keramika	0,00	0,00
16		Minerální vlna	0,00	0,00
	Celkem		37447,67	100,00

Po přerozdělení materiálu je ještě nutné definovat dva pojmy, tzv. MRF (material recovery factor) což zahrnuje materiál, který je možné znovu použít a tzv. ERF (energy recovery factor), jenž zahrnuje materiál, který je možno energeticky využít.

MRF tedy slouží k určení materiálového využití daného kolejového vozidla. Do vztahu se zavádí následovně:

$$m_{i(rec)} = m_{i(celk)} * MRF_i$$

$m_{i(celk)}$ = množství daného materiálu ke zpracování

$m_{i(rec)}$ = výsledné množství znovu použitelného materiálu

MRF = faktor materiálové využití

ERF obdobně slouží k určení energetického využití daného kolejového vozidla. Do vztahu se zavádí následovně:

$$m_{i(ene)} = m_{i(celk)} * ERF_i$$

$m_{i(celk)}$ = množství daného materiálu ke zpracování

$m_{i(ene)}$ = výsledné množství energeticky využitelného materiálu

ERF = faktor energetického využití

Nyní je ještě nezbytné definovat MRF a ERF pro jednotlivé materiály, o to se postarala asociace UNIFE a to následovně:

Tab. 5: Přehled MRF a ERF kategorií 1 - 8

Index	1	2	3	4	5	6	7	8
Materiál	Železné kovy	Neželezné kovy	Elastomery	Termoplasty (bez výplně)	Termoplasty (skelná výplň)	Reaktoplasty (bez výplně)	Reaktoplasty (skelná výplň)	Polymery vyztužené uhlíkovými nebo přírodními vlákny
MRF	98%	98%	80%	100%	67%	100%	67%	67%
ERF	0%	0%	20%	0%	33%	0%	33%	33%
Zbytek	2%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tab. 6: Přehled MRF a ERF kategorií 9 - 16

Index	9	10	11	12	13	14	15	16
Materiál	Sklo	Bezpečnostní sklo (sklo odolné proti rozbití)	Olej, mazivo atd.	Kyseliny a další kapaliny	Kůže, dřevo, bavlna...	Elektrické a elektronické součásti	Keramika	Minerální vlna
MRF	100%	94%	0%	83%	95%	79%	43%	97%
ERF	0%	0%	100%	0%	5%	19%	0%	0%
Zbytek	0%	6%	0%	17%	0%	2%	57%	3%

Po dosazení MRF a ERF pro jednotlivé materiály vypadá materiálové a energetické využití následovně:

Tab. 7: Materiálové a energetické využití jednotlivých materiálů

Index	Materiál	Hmotnost (kg)	Procentuálně (%)	$m_{i(rec)}$ (kg)	$m_{i(ene)}$ (kg)
1	Železné kovy	32088,16	85,69	31446,39	-
2	Neželezné kovy	853,06	2,28	836,00	-
3	Elastomery	224,69	0,60	179,75	44,94
4	Termoplasty (bez výplně)	663,94	1,77	663,94	-
5	Termoplasty (skelná výplň)	0,00	0,00	0,00	0,00
6	Reaktoplasty (bez výplně)	171,14	0,46	171,14	-
7	Reaktoplasty (skelná výplň)	1063,51	2,84	712,55	350,96
8	Polymery vyztužené uhlíkovými nebo přírodními vlákny	415,67	1,11	278,50	137,17
9	Sklo	509,29	1,36	509,29	-
10	Bezpečn. sklo (sklo odolné proti rozbití)	0,00	0,00	0,00	-
11	Olej, mazivo atd.	462,10	1,23	-	462,10
12	Kyseliny a další kapaliny	265,88	0,71	220,68	-
13	Kůže, dřevo, bavlna...	119,83	0,32	113,84	5,99
14	Elektrické a elektronické součásti	610,40	1,63	482,22	115,98
15	Keramika	0,00	0,00	0,00	-
16	Minerální vlna	0,00	0,00	0,00	-
	Celkem	37447,67	100,00	35614,30	1117,14

Vzorová ukázka výpočtu pro "elastomery" vypadá následovně:

$$m_{3(rec)} = 224,69 * 0,8 = 179,75 \text{ (kg)}$$

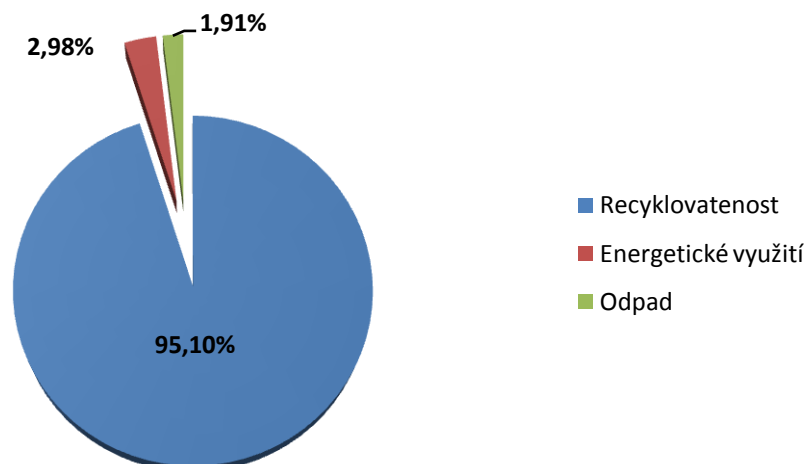
$$m_{3(ene)} = 224,69 * 0,2 = 44,94 \text{ (kg)}$$

Nyní už je možné určit míru recyklovatelnosti a zpětného využití kolejového vozidla.

Míra recyklovatelnosti je podíl výsledného množství znovu použitelného materiálu vůči celkové hmotnosti kolejového vozidla, vynásobená stem aby bylo možné dosáhnout procentuálního závěru. Míra recyklovatelnosti je tedy $(35614,30/37447,67)*100 = \mathbf{95,10 \%}$

Míra zpětného využití je podíl výsledného množství znovu použitelného materiálu spolu s výsledným množstvím energeticky využitelného materiálu vůči celkové hmotnosti kolejového vozidla, vynásobená stem. Míra zpětného využití je $(36731,44/37447,67)*100 = \mathbf{98,09 \%}$

Z výše uvedeného výpočtu vyplývá, že odpadu je **1,91 %** z celkové hmotnosti vozidla.



Obr. 31: Přehled využitelnosti kolejového vozidla po skončení životnosti

Bohužel je nutné konstatovat, že provedený výpočet je optimističtější, než je realita a to z několika důvodů. Počet kategorií, do kterých se materiály rozdělují, dle ISO 22628:2002 není dle mého názoru dostatečný, bylo by vhodné přidat více kategorií, aby bylo možné dospět k reálnějšímu výsledku. Dalším otázkou jsou hodnoty MRF a ERF pro jednotlivé materiály. Je otázkou zdali je možné tvrdit, že po zpracování například termoplastů se skleněnou výplní nevznikne žádný odpad. Pro názornost je možné ukázat i na příkladu, skelný laminát, který byl pro účel výpočtu zařazen do kategorie "Reaktoplasty (skelná výplň)", bude těžko stoprocentně zpracován, aniž by nevznikl žádný odpad.

Posledním problémem, ovšem zásadním je samotné zařazení materiálů do kategorií. Podíváme-li se do původní *Tab. 3*, je zde obsažena kategorie "strojní komponenty", bohužel je těžko určitelné co vše a v jakém měřítku dané komponenty obsahuje. Pro výše uvedený výpočet bylo uvažováno o složení "železné kovy", "neželezné kovy" a "olej a maziva" v poměru 70:20:10, jde však jen o odhad a realita bude zcela určitě odlišná. Zásadním problémem je, že např. zmiňované strojní komponenty jsou dodávány dodavateli, kteří neposkytují detailní složení komponentů.

Výpočet zpětného využití byl tedy proveden v rámci možností dle normy ISO a dalších doporučení asociací UNIFE, je však nutné brát výsledek s rezervou.

4.2 Materiálové listy pro jednotlivé komponenty

Jak už bylo zmíněno v předchozí kapitole, dost zásadním problémem k výpočtu zpětného využití kolejového vozidla je zařazení dodávaných komponent. Dodavatel dodá komponenty bez podrobného složení, tím vzniká problém správného zařazení do jednotlivých kategorií a do výsledku se vnáší zkreslení. Tento problém by mohlo vyřešit opatření tzv. materiálových listů. Jednalo by se o materiálové listy, které by se odesílali k vyplnění dodavatelům. Dodavatel by tedy společně s komponenty přikládal i vyplněné materiálové listy, rozřazení by pak bylo už snadné a transparentní.

Byl navržen materiálový list, obsahující nejdůležitější informace vedoucí k lepšímu vyhodnocení zpětného využití kolejového vozidla.

Tab. 8: Prázdný materiálový list

Výrobce:		Komponent:		Model (typ / varianta):			
No.	Materiálová kategorie	Díl (Umístění)	Číslo kusovníku	Pozice	Hmotnost		Typ odpadu (Ostatní/nebezpečný odpad)
					Kg	Podíl	
					0,000	0,00%	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							

Materiálové kategorie budou využívány stejné jako při vzorovém výpočtu, tedy uvedené asociací UNIFE, která rozšířila normu ISO 22628. Nyní už příklad vyplněného materiálového listu jedné komponenty, pro vzorovou ukázkou byl vybrán tlumič.

Tab. 9: Vyplněný materiálový list

Výrobce: Tenneco		Komponent: Tlumič		Model (typ / varianta): Monroe® ShockAbsorber			
No.	Materiálová kategorie	Díl (Umístění)	Číslo kusovníku	Pozice	Hmotnost		Typ odpadu (Ostatní/nebezpečný odpad)
					Kg	Podíl	
					10,216	100,00%	
1	1	Válec s okem	XXX-YYY-ZZZ	1	4,100	40,13%	Ostatní odpad
2	1	Víko	XXX-YYY-ZZZ	2	1,100	10,77%	Ostatní odpad
3	1	Píst	XXX-YYY-ZZZ	3	1,600	15,66%	Ostatní odpad
4	1	Pístnice s okem	XXX-YYY-ZZZ	4	0,900	8,81%	Ostatní odpad
5	1	Čep	XXX-YYY-ZZZ	5	0,400	3,92%	Ostatní odpad
6	2	Čep	XXX-YYY-ZZZ	5	0,007	0,07%	Ostatní odpad
7	4	Tlumicí manžeta	XXX-YYY-ZZZ	7	0,007	0,07%	Ostatní odpad
8	4	Tlumicí matice	XXX-YYY-ZZZ	8	0,008	0,08%	Ostatní odpad
9	4	Stírací kroužek	XXX-YYY-ZZZ	9	0,020	0,20%	Ostatní odpad
10	4	Pístnicové těsnění	XXX-YYY-ZZZ	10	0,030	0,29%	Ostatní odpad
11	4	Vodící pás (Pístnice)	XXX-YYY-ZZZ	11	0,011	0,11%	Ostatní odpad
12	4	Vodící pás (Píst)	XXX-YYY-ZZZ	12	0,014	0,14%	Ostatní odpad
13	4	Pístní těsnění	XXX-YYY-ZZZ	13	0,010	0,10%	Ostatní odpad
14	3	O-kroužek (píst)	XXX-YYY-ZZZ	14	0,004	0,04%	Ostatní odpad
15	3	O-kroužek (dno a víko)	XXX-YYY-ZZZ	15	0,005	0,05%	Ostatní odpad
16	12	Monroe® ShockAbsorberOil	XXX-YYY-ZZZ	6	1,600	15,66%	Nebezpečný odpad
17	12	Monroe® ShockAbsorberOil	XXX-YYY-ZZZ	6	0,320	3,13%	Nebezpečný odpad
18	12	Monroe® ShockAbsorberOil	XXX-YYY-ZZZ	6	0,040	0,39%	Nebezpečný odpad
19	12	Monroe® ShockAbsorberOil	XXX-YYY-ZZZ	6	0,040	0,39%	Nebezpečný odpad
20						0,00%	

Nyní už je zhotoven vyplněný materiálový list jednoho komponentu, vzhledem k tomu, že jeden komponent ale může obsahovat desítky řádků jednotlivých částí a je potřeba se dostat k celkovému zastoupení jednotlivých kategorií je zapotřebí ještě navrhnout tabulku, kam se budou „překlápět“ data z materiálového listu. Návrh této tabulky může být viděn v Tab. 10.

Tab.10: Přehled materiálového složení komponentu

Výrobce: Tenneco			Hmotnost produktu				
Komponent: Tlumič			m _{SUM} (kg)		10,216		
Model (typ / varianta): Monroe® Shock Absorber							
Materiálový rozpad							
Železné kovy ₁	Neželezné kovy ₂	Elastomery ₃	Termoplasty (bez výplně) ₄	Termoplasty (skelná výplň) ₅	Reaktoplasty (bez výplně) ₆	Reaktoplasty (skelná výplň) ₇	Polymery vyztužené uhlíkovými nebo přírodními vlákny ₈
8,100	0,007	0,009	0,100	0,000	0,000	0,000	0,000
79,28%	0,07%	0,09%	0,98%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Sklo ₉	Bezpečnostní sklo (sklo odolné proti rozbití) ₁₀	Olej, mazivo atd. ₁₁	Kyseliny a další kapaliny ₁₂	Kůže, dřevo, bavlna... ₁₃	Elektrické a elektronické součásti ₁₄	Keramika ₁₅	Minerální vlna ₁₆
0,000	0,000	0,000	2,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,00%	0,00%	0,00%	19,58%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Nyní už je návrh hotov, zapisování bude probíhat vzhledem k „překlápění dat“ v elektronické podobě. Využit lze například Microsoft Excel. Potřebné bude ještě zřídit úložiště/databázi, kde se budou data všech komponentů shromažďovat, to už je ale ovšem na individuálním řešení jednotlivých firem.

4.3 Zhodnocení uvedených skutečností

Jak je z práce patrné, téma environmentálních dopadů v oblasti kolejových vozidel je rozsáhlé, zasahuje do několika oblastí a je nutné brát v potaz všechny stádia životního cyklu.

Pokud má v oblasti kolejových vozidel dojít ke zlepšení situace, ať už z hlediska environmentálních dopadů tak z hlediska všeobecného, je zapotřebí aby v oblasti legislativy došlo ke stanovení specifických podmínek přímo pro kolejová vozidla. Momentální stav není dostačující, jelikož není k dispozici legislativa specifická přímo pro kolejová vozidla.

Podíváme-li se na jednotlivé fáze životního cyklu, tak z hlediska těžby surovin je potřeba těžbu omezit a tím zamezit změnám povrchu Země, toho je možno docílit hlavně omezením plýtvání surovin, které už jsou v oběhu, jinými slovy řečeno je potřeba aby společnost měla co největší snahu přejít z ekonomiky lineární (nemá uzavřený tok surovin) na ekonomiku

cirkulární (má uzavřený tok surovin). Z hlediska přepravy je směr ke zlepšení jasný, je zapotřebí všechny přepravní úkony realizovat efektivně a snažit se o celkové omezení, dojde tím přímo ke snížení emisí a spotřebě fosilních paliv.

Fáze výroby, která byla rozdělena na materiálové složení a výrobní procesy je stěžejní, ovlivňuje totiž hned několik dalších fází. Podle zvolených materiálů, ze kterých se kolejové vozidlo bude skládat, vzniká požadavek na těžbu surovin. Na druhou stranu likvidace po skončení životnosti je také přímo ovlivněna volbou složení kolejového vozidla. Zvolí-li se stavba kolejového vozidla vhodně, je možné většinu materiálů použít znovu a nedojde ke zbytečnému plýtvání surovin. Je tedy zapotřebí důkladně se zamyslet nad stavbou již při návrhu a brát v potaz i možné negativní dopady při nevhodně zvolené stavbě kolejového vozidla. V této oblasti je možno dosáhnout zlepšení například ve spolupráci s různými vývojovými centry zabývající se jak vývojem inovativních materiálů, tak technologiemi zpracování (znovupoužitím) již používaných druhů. Z hlediska výrobních procesů je možno docílit zlepšení snahou omezit látky nebezpečné a využitím technologií, které tyto látky likvidují a zamezují tím úniku látek do volného prostředí.

Ohledně likvidace kolejového vozidla již bylo vše podstatné zmíněno v předchozím textu. K tomu aby bylo možné dosáhnout přesnějších výsledků zpětného využití podsystémů kolejového vozidla bylo navrženo opatření, opatření tzv. materiálových listů. Jedná se o předem připravený dokument v elektronické formě, který je zaslán dodavateli k vyplnění, ten při dodání komponentů předává jak samotné komponenty, tak vyplněné materiálové listy. Výrobce kolejových vozidel data získaná dodavateli shromažďuje a díky detailnímu složení může přesněji vyhodnocovat materiálové složení a dopady svých produktů.

Kolejová vozidla jako taková mají neodmyslitelné zastoupení v dopravní přepravě, se zvyšujícím se růstem populace na Zemi a rozšiřování velkoměst bude v budoucnu dost pravděpodobně docházet ke zvyšujícímu se poptávce o tyto dopravní prostředky. Bude na ně ovšem také kladena pozornost z hlediska ovlivňování životního prostředí jak z řad zájemců o tyto vozidla tak z pohledu široké veřejnosti. Je tedy nutné, aby se společnosti zabývající se výrobou kolejových vozidel v dostatečném předstihu zajímali o environmentální dopady spojené s jejich výrobky a případně dané dopady eliminovala nebo alespoň co nejvíce minimalizovala.

Závěr

Cílem diplomové práce bylo zmapovat oblast kolejových vozidel z hlediska environmentálních dopadů a to z širšího úhlu pohledu. Práce poukázala na skutečnost, že je potřeba brát v úvahu všechny stádia životního cyklu, zaměřovat se jen na jednu fázi je nedostatečné.

Z hlediska legislativy týkající se kolejových vozidel bylo zjištěno, že nynější legislativa je nedostačující. Legislativa určená jen pro kolejová v podstatě neexistuje, je tedy zapotřebí, aby se orgány zodpovědné za tuto oblast problematice věnovaly a legislativu stanovily. O faktu nedostatečné legislativy svědčí už jen to, že kolejové vozidlo se sice po skončení životnosti dle katalogu odpadů zařazuje do kategorie zahrnující autovraky, ovšem legislativa pro likvidaci autovraků na něj neplatí a to z toho důvodu, že kolejové vozidlo není určeno k provozu po pozemní komunikaci. Přestože se kolejová vozidla nevyrábí v tak velkém množství, jakož tomu je například v automobilovém průmyslu, stále se jedná z hlediska použitých materiálů o nezanedbatelné hmotnostní množství.

K tomu aby byl možný udržitelný rozvoj lidstva, je potřeba, aby společnost přestala fungovat na principu lineární ekonomiky a začala aplikovat principy ekonomiky cirkulární. Nejinak tomu je v oblasti kolejových vozidel. Tato skutečnost se dá ovlivnit již při návrhu a to vhodně zvolenými materiály, dále ale také vhodnými výrobními procesy, minimalizací přepravy, či správně zvolenými metodami zpracování po skončení životnosti. Možností jak minimalizovat environmentální dopady je tedy celá řada.

V diplomové práci bylo materiálově rozřazeno vzorové kolejové vozidlo, konkrétně tramvaj. Analyzovány byly také vybrané (nejproblematičtější) výrobní procesy firmy Škoda Transportation, mezi které patřilo svařování, lakování, lepení a odmašťování. Všechny procesy z pohledu závazné legislativy jsou plněny s velkou rezervou, z hlediska environmentálního je však možnost ke zlepšení. Zlepšení je možno dosáhnout např. používáním látek a přípravků obsahující méně VOC (těkavých organických látek), tedy používáním méně ekologicky závadných látek a přípravků nebo využitím technologií, které nebezpečné látky likvidují.

Poslední část diplomové práce byla věnovaná likvidaci a zpětnému využití podsystémů kolejového vozidla, tedy poslední fázi celého životního cyklu. V této části byl navržen postup likvidace podle momentálně dostupných trendů a bylo navrženo jedno z opatření, jak celou situaci zlepšit. Byl proveden výpočet zpětného využití podsystémů, dle normy ISO 22628 pro automobilový průmysl s rozšířením o doporučení asociace UNIFE zabývající se kolejovými vozidly.

Podle zmíněného výpočtu bylo dosaženo hodnoty zpětného využití podsystémů kolejového vozidla 98,09%, což jak již bylo zmíněno v práci, je optimističtější míra zpětného využití, než je realita. Hlavním důvodem tohoto tvrzení je fakt, že mnoho částí kolejového vozidla dodávají různí dodavatelé bez bližší specifikace materiálového složení. Například kategorie strojních komponentů, která zaujímala skoro 6% celkové hmotnosti vozidla, byla rozřazena dle odhadu bez podrobnější znalosti jednotlivých komponent.

Vzhledem k výše zmíněným faktům, byl k podrobnějšímu a transparentnímu složení jednotlivých komponentů navržen materiálový list. Materiálový list umožní přesnější výpočet zpětného využití podsystémů kolejového vozidla a dále materiálový list umožní porovnávat jednotlivé dodavatele z hlediska kvality dodávaných komponentů.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů
- [2] Vyhláška č. 93/2016 Sb., o katalogu odpadů
- [3] Vyhláška č. 352/2005 Sb., o podrobnostech nakládání s elektrozařízeními a elektroodpady a o bližších podmínkách financování nakládání s nimi (vyhláška o nakládání s elektrozařízeními a elektroodpady)
- [4] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2011/65/EU ze dne 8. června 2011 o omezení používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních. In: *Úřední věstník*, L 174, 1. 7. 2011, s. 88-110. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32011L0065>
- [5] Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006 ze dne 18. prosince 2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek, o zřízení Evropské agentury pro chemické látky, o změně směrnice 1999/45/ES a o zrušení nařízení Rady (EHS) č. 793/93, nařízení Komise (ES) č. 1488/94, směrnice Rady 76/769/EHS a směrnic Komise 91/155/EHS, 93/67/EHS, 93/105/ES a 2000/21/ES. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:136:0003:0280:cs:PDF>
- [6] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/53/ES ze dne 18. září 2000 o vozidlech s ukončenou životností. In: *Úřední věstník*, L 269, 21. 10. 2000, s34-43. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=celex%3A32000L0053>
- [7] Listina základních práv a svobod. In Sbírká zákonů, Česká republika. 1992, roč. 1993, částka 1, usnesení předsednictva České národní rady č. 2, s. 22. Dostupné z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=z&id=22426>
- [8] Zákon č. 17/1992 Sb., o životním prostředí
- [9] Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší
- [10] Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)
- [11] Zákon č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí
- [12] Zákon č. 267/2015 Sb., o ochraně veřejného zdraví
- [13] Zákon č. 350/2011 Sb., o chemických látkách a chemických směsích a o změně některých zákonů
- [14] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. *Co je to technická norma*. [online]. [Cit. 07.11.2017]. Dostupné z: <http://www.unmz.cz/urad/co-je-to-technicka-norma->
- [15] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 14000 family – Environmental management*. [online]. [Cit. 08.11.2017]. Dostupné z: <https://www.iso.org/iso-14001-environmental-management.html>

- [16] Institut cirkulární ekonomiky. [online]. [Cit. 10.11.2017]. Dostupné z: <https://incien.org/>
- [17] ČSN EN ISO 14040. *Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Zásady a osnova*. 2. vyd. Praha: Český normalizační institut, 2006. 36 s
- [18] ČSN EN ISO 14044. *Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Požadavky a směrnice*. 1. vyd. Praha: Český normalizační institut, 2006. 68 s.
- [19] EnviWeb.cz – zpravodajství o životním prostředí, profesní ekologie, odborné akce. *Vliv těžby a úpravy nerostných surovin na životní prostředí*. [online]. ©1999 [cit. 15.11.2017]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/91964>
- [20] BANKWATCH NETWORK. [online]. [Cit. 15.11.2017]. Dostupné z: https://bankwatch.org/documents/extractives_mining_CZ.pdf
- [21] ANTROPOGENEZE V GEOLOGOII. [online]. [Cit. 15.11.2017]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/elportal/estud/pdf/js10/antropog/web/pages/4-1-dusledky-tezby-zpracovani-nerostnych-surovin.html>
- [22] EMPRESA MEDIA A.S. [online]. [Cit. 17.11.2017]. Dostupné z: https://www.tyden.cz/rubriky/veda/planeta-zeme/bakterie-v-pravekych-oceanech-cerpaly-energie-z-zeleza_268178.html
- [23] VÍTEJTE NA ZEMI... [online]. [Cit. 20.11.2017]. Dostupné z: <http://www.vitejenazemi.cz/>
- [24] MINISTERSTVO DOPRAVY ČR. [online]. [Cit. 20.11.2017]. Dostupné z: <https://www.mdcz.cz/Statistiky/Souhrne-ukazatele/Celkove-emise-z-dopravy/Celkove-emise-z-dopravy>
- [25] EMPRESA MEDIA A.S. [online]. [Cit. 20.11.2017]. Dostupné z: https://www.tyden.cz/rubriky/domaci/doprava/znecistení-netrapi-jen-ostavu-i-brno-prekracuje-limity-prachu_189037.html
- [26] LIPTÁK, Jan a SEDLÁČEK, Josef. *Úvod do elektrotechnických materiálů*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 978-80-01-03191-9
- [27] JIRÁSEK, Jakub a VAVRO, Martin.: *Nerostné suroviny a jejich využití*. Ostrava: Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR & Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1378-3
- [28] NATIONAL RECYCLING WEEK. [online]. [Cit. 22.11.2017]. Dostupné z: <http://recyclingweek.planetark.org/>
- [29] KOMPOZITY MICHALÍK S.R.O. [online]. [Cit. 24.11.2017]. Dostupné z: <http://www.kompozity-michalik.cz/materialy>
- [30] KUČEROVÁ, Eva. *Elektrotechnické materiály*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2002. ISBN 80-7082-940-0.

- [31] THE ALUMINIUM ASSOCIATION. [online]. [Cit. 20.01.2018]. Dostupné z: <http://www.aluminum.org/industries/production/recycling>
- [32] KAPLAN S.R.O. [online]. [cit. 26.01.2018]. Dostupné z: <http://www.kaplanpraha.cz/>
- [33] GLOBAL ENVIRONMENT CENTRE FOUNDATION. [online]. [Cit. 27.01.2018]. Dostupné z: <http://gec.jp/>
- [34] INTERNATIONAL COPPER ASSOCIATION. [online]. [Cit. 28.01.2018]. Dostupné z: <http://copperalliance.org/wordpress/wp-content/uploads/2017/03/ica-copper-recycling-1405-A4-low-res.pdf>
- [35] BASF.[online]. [cit. 29.01.2018]. Dostupné z: <http://product-finder.basf.com/group/corporate/product-finder/en/brand/BASOTECT>
- [36] CELLOFOAM CZ S.R.O. [online]. [Cit. 29.01.2018]. Dostupné z: <http://www.cellofoam.cz>
- [37] ALFAGLASS S.R.O. [online]. [Cit. 04.02.2018]. Dostupné z: <http://www.alfaglass.cz/uvod/tvrzena-bezpecnostni-kalena-skla>
- [38] ŠKODA TRANSPORTATION A.S. *Návodka TE č. 308 – Lepení podlah T15*. Plzeň: Škoda Transportation, ©2011
- [39] SIKA CZ S.R.O. *Bezpečnostní list Sikaflex – 265*. Brno: Sika CZ s.r.o, ©2017
- [40] ŠKODA TRANSPORTATION A.S. *Návodka TE č. 318 – nátěr tramvaje typ T15*. Plzeň: Škoda Transportation, ©2010
- [41] MÄDERLACKE.[online]. [Cit. 10.02.2018]. Dostupné z: <http://www.maederlacke.ch>
- [42] BENEŠ, Libor. *Přehled svařování*. [online]. [Cit. 12.02.2018]. Dostupné z:http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/svarovani/UT_01_Prehled_svarovani_T08.pdf
- [43] PLYMOVENT. [online]. [Cit. 14.02.2018]. Dostupné z: <http://plymovent.cz/cs/system-diluter-1017>
- [44] MBLAK. [online]. [Cit. 15.02.2018]. Dostupné z: <http://www.mblak.cz/>
- [45] KUDLÁČEK, Ivan. *Ekologie pro elektrotechniky*. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04392-9.
- [46] Vyhláška č.415/2012 Sb. o přípustné úrovni znečištění a jejím zjištění a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší
- [47] STACHEMA CZ S.R.O. [online]. [Cit. 15.02.2018]. Dostupné z http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/lepeni/Teorie_lepeni%20_%20LEAR.pdf
- [48] ELSTNER Vlastislav. *Zvýšení účinnosti rekuperace na tramvajové trati*. [online]. [Cit. 16.02.2018]. Dostupné z: <https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/508/1/elsner.pdf>

- [49] MERKISZ-GURANOWSKA A., MERKISZ J., JACYNA M., PYZA D., STAWECKA H. *Railvehicles recycling* . [online]. [Cit. 20.02.2018]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/267759263_Rail_vehicles_recycling
- [50] TRAMVAJKLUB BRNO. [online]. [Cit. 20.02.2018]. Dostupné z: <http://tramvajklub.info/2016-brezen>
- [51] PRAŽSKÉ TRAMVAJE. [online]. [Cit. 10.03.2018]. Dostupné z: <http://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cislocianku=2006040811>
- [52] SSI SHREDING SYSTEM. [online]. [Cit. 10.03.2018]. Dostupné z: <https://www.ssiworld.com>
- [53] DOPRAVNÍ PODNIKA HLAVNÍHO MĚSTA PRAHY. [online]. [Cit. 15.03.2018]. Dostupné z: <https://www.dpp.cz>
- [54] DOPRAVNÍ PODNIK OSTRAVA. [online]. [Cit. 15.03.2018]. Dostupné z: <https://www.dpo.cz>
- [55] DOPRAVNÍ PODNIK MĚSTA BRNO. [online]. [Cit. 15.03.2018]. Dostupné z: <https://www.dpmb.cz>
- [56] BRNĚNSKÁ MHD. [online]. [Cit. 15.03.2018]. Dostupné z: <https://www.bmhd.cz>
- [57] EUROPEAN STEEL ASSOCIATION. [online]. [Cit. 15.03.2018]. Dostupné z: <http://www.eurofer.org/Sustainable%20Steel/Steel%20Recycling.fhtml>
- [58] COLUMBIA UNIVERSITY IN THE CITY OF NEW YORK. [online]. [Cit. 15.03.2018]. Dostupné z: http://www.seas.columbia.edu/earth/RRC/documents/recycling_rubber.pdf
- [59] ČESKÁ SPOLEČNOST PRO VĚTRNOU ENERGII. [online]. [Cit. 20.3.2018]. Dostupné z: http://www.csve.cz/img/wysiwyg/file/Likvidace%20VtE%20-%20recyklace%20materi%C3%A1l%C5%AF%20p%C5%99%C3%ADloha%20C4%8D_1.pdf
- [60] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Road vehicles - Recyclability and recoverability - Calculation method*. Dostupné z: <https://www.iso.org/standard/35061.html>
- [61] UNIFE THE EUROPEAN RAIL INDUSTRY. *Recyclability and Recoverability Calculation Method Railway Rolling Stock* .[online]. [Cit. 29.3.2018]. Dostupné z: <http://unife.org/component/attachments/?task=download&id=326>