

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní

Ústav řízení a ekonomiky podniku

Posudzovanie životného cyklu vybraného priemyselného výrobku

Komparatívna analýza pneumatík osobného vozidla

Life cycle assessment of a selected industrial product

Comparative analysis of passenger car tires

Diplomová práce

Studijní obor: Řízení a ekonomika podniku

Vedoucí práce: Ing. Barbora Stieberová, Ph.D.

Tomáš Varinský

2019

Prehlásenie:

Prehlasujem, že som svoju diplomovú prácu vypracoval samostatne a použil som iba podklady uvedené v priloženom zozname zdrojov.

Nemám závažný dôvod proti použitiu tohto školského diela v zmysle §60 zákona č. 121/2000 Zb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon).

V Prahe dňa 26.7.2019

Podpis:

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'C. M. H. J.', written in a cursive style.

Pod'akovanie

Na tomto mieste by som rád poďakoval vedúcej práce, Ing. Barbore Stieberovej, Ph.D. za poskytnutie a odporúčanie literatúry, smerovanie, konzultácie a trpezlivosť počas písania práce. Tiež by som chcel poďakovať Ing. Petrovi Mojtovi z Continental Matador Rubber Púchov s.r.o. za ochotu, poskytnutie informácií a zdrojov. Nakoniec ďakujem rodine za podporu počas celého štúdia.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Varinský** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **473619**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav řízení a ekonomiky podniku**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Řízení a ekonomika podniku**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Posuzování životního cyklu vybraného průmyslového výrobku

Název diplomové práce anglicky:

Life cycle assessment of selected industrial product

Pokyny pro vypracování:

1. Úvod do problematiky
2. Zásady a postup zpracování LCA (Life Cycle Assessment)
3. Zpracování LCA studie
4. Výhodnocení výsledků a návrh doporučení
5. Závěr

Seznam doporučené literatury:

1. Baumann, H.; Tillman, A.M.: The Hitch Hiker's guide to LCA, 2004
2. Hauschild, M.Z. et al. Life cycle assessment, Springer, 2018
3. Ashby, M.F.: Materials and the Environment: Eco-informed Material Choice, Butterworth-Heinemann, 2012

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Barbora Stieberová, Ph.D., ústav řízení a ekonomiky podniku FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **28.03.2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **26.07.2019**

Platnost zadání diplomové práce: **28.02.2020**


Ing. Barbora Stieberová, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

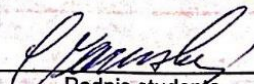

prof. Ing. František Freiberg, CSc.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

30.4.2019
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Anotácia

Záverečná práca je zameraná na problematiku LCA – Analýzy ekologických dopadov životného cyklu aplikovanú na porovnanie troch vybraných modelov pneumatík osobného automobilu v štyroch scenároch životného cyklu pomocou simulačného software SimaPro.

V teoretickej časti je popísaná ESA – Environmentálna systémová analýza, LCA Posudzovanie životného cyklu, ďalej je predstavený software SimaPro a nakoniec komplexne popísaný životný cyklus pneumatiky osobného automobilu.

Praktická časť pozostáva zo samotnej komparatívnej LCA štúdie pomocou SimaPro, ekonomického zhodnotenia, interpretácie a vyhodnotenia výsledkov a návrhov zníženia dopadov a ďalšieho výskumu.

Kľúčové slová

Posudzovanie životného cyklu, SimaPro, Pneumatika, ReCiPe, Environmentálne dopady

Abstract

The thesis is focused on the LCA – Life Cycle Assessment methodology applied on comparison of three chosen passenger car tire models in four life cycle scenarios with help of the SimaPro LCA simulation software.

Theoretical part consists of introduction to the concepts Environmental Systems Analysis, Life Cycle Assessment, LCA Simulation software in general and SimaPro software in particular and finally the passenger car tire life cycle is described.

Practical part is composed of the comparative LCA study itself, conducted through the SimaPro software, then the economical assessment follows and finally the interpretations and evaluation of the results and proposals regarding environmental impact reduction and further research are presented.

Key words

Life Cycle Assessment, SimaPro, Tire, ReCiPe, Environmental impacts

Obsah

Zoznam použitých skratiek	8
1. Úvod.....	9
2. Teoretická časť.....	10
2.1 ESA - Environmentálna systémová analýza	10
2.1.1 Definícia	10
2.1.2 Nástroje ESA.....	10
2.2 LCA – Posudzovanie životného cyklu	12
2.2.1 Vznik a metodologický vývin.....	12
2.2.2 Aplikácie	13
2.2.3 Harmonizácia a štandardizácia, ISO	13
2.2.4 Metodológia.....	14
2.2.5 Stanovenie cieľa a rozsahu	14
2.2.6 Inventarizačná analýza.....	15
2.2.7 Posudzovanie dopadov	15
2.2.8 Metódy vyhodnotenia dopadov LCIA – Life Cycle Impact Assessment	16
2.3 SimaPro Software	22
2.3.1 LCA Softwarové nástroje.....	22
2.3.2 SimaPro	22
2.3.3 Postup použitia SimaPro	24
2.4 Životný cyklus pneumatiky osobného automobilu.....	25
2.4.1 Surové materiály	25
2.4.2 Výrobný proces	28
2.4.3 Transport.....	31
2.4.4 Užívateľská fáza	32
2.4.5 Spracovanie odpadu a recyklácia	33
3. Praktická časť.....	35
3.1 Stanovenie cieľa a rozsahu	35
3.1.1 Cieľ štúdie	35
3.1.2 Dôvody pre vykonanie štúdie	35
3.1.3 Zmýšľaná skupina adresátov.....	35
3.1.4 Funkcia a funkčná jednotka	36

3.1.5	Rozsah štúdie a hranice systému.....	36
3.1.6	Použitá databáza a charakterizačná metóda.....	39
3.2	Inventarizačná analýza.....	40
3.2.1	Zdroje dát.....	40
3.2.2	Procesy produktového systému	41
3.3	Hodnotenie životného cyklu LCIA	48
3.3.1	Letný plášť.....	48
3.3.2	Zimný plášť.....	51
3.3.3	Celoročný plášť	53
3.3.4	Kombinácia Zimný/Letný plášť	56
3.3.5	Komparatívna analýza.....	59
3.3.6	Ekonomické zhodnotenie – Life Cycle Costing	62
3.4	Interpretácia a návrhy.....	64
3.4.1	Surové materiály & Transport	64
3.4.2	Výroba.....	64
3.4.3	Používanie	65
3.4.4	Koniec životnosti.....	65
3.4.5	Ekonomické zhodnotenie	66
3.4.6	Zhrnutie.....	66
4.	Záver	68
	Zdroje.....	69
	Zoznam obrázkov.....	72
	Zoznam tabuliek	73
	Prílohy.....	74
	Príloha 1. Abrazíva – Emisie do vzduchu	74
	Príloha 2. Abrazíva – Emisie do vody, zeme	75

Zoznam použitých skratiek

ESA – Environmental Systems Analysis

EMS – Environmental Management System

SEA – Strategic Environmental Assessment

CBA – Cost - Benefit Analysis

EIA – Environmental Impact Assessment

RA – Risk Assessment

MFA – Material Flow Analysis

LCA – Life Cycle Assessment

MIPS - Material Input Per unit Service

LCC – Life Cycle Costing

SETAC - Society of Environmental Toxicology and Chemistry

ISO – International Standards Organisation

LCIA – Life Cycle Impact Assessment

LCI – Life Cycle Inventory

EÚ – Európska únia

ELT – End-of-life Tire

CMR – Continental Matador Rubber

SR – Slovenská Republika

ČR – Česká republika

RRC – Rolling Resistance Coefficient

NEDC - New European Driving Cycle

HWFET - The Highway Fuel Economy Test

1. Úvod

Táto záverečná práca je zameraná na problematiku LCA – Analýzy ekologických dopadov životného cyklu aplikovaných na porovnanie vybraných modelov pneumatík osobného automobilu.

Cieľmi práce sú:

- Uvedenie do problematiky LCA, a konkrétne životného cyklu pneumatiky
- Prezentácia materiálových a energetických tokov v rôznych fázach života pneumatiky
- Kvantifikácia a zhodnotenie emisií a odpadov, ktoré môžu mať vplyv na životné prostredie
- Identifikácia hlavných vplyvov počas života pneumatiky ako podnet na redukciiu potenciálnych environmentálnych vplyvov
- Porovnanie environmentálnych vplyvov viacerých kombinácií používania jednotlivých reprezentačných modelov pneumatík
- Zhodnotenie ekologických a ekonomických dôsledkov jednotlivých možností
- Vytvorenie podkladu pre výuku v oblasti LCA

V teoretickej časti je popísaná ESA – Environmentálna analýza systémov všeobecne a následne problematika LCA, od vzniku, aplikácií až po kompletný popis metodológie a interpretácie. Je predstavený simulačný software SimaPro a jeho praktické použitie. Tiež je všeobecne popísaný životný cyklus pneumatiky, cez akvizíciu surovín, výrobu, až po používanie a koniec života.

V praktickej časti je vykonaná komparatívna LCA analýza pomocou software SimaPro, počas ktorej sú porovnané vybrané plášte pneumatík v štyroch scenároch životného cyklu z hľadiska ich environmentálnych dopadov. Najskôr je zdokumentovaná inventarizačná analýza a zber údajov potrebných na simuláciu, spolu s potrebnými výpočtami. Následne sú prezentované, interpretované a vyhodnotené výsledky čiastkových, komparatívnej simulácie a ekonomického zhodnotenia produktov a ponúknuté návrhy na zníženie ekologických vplyvov a možnosti ďalšieho výskumu v oblasti.

2. Teoretická časť

2.1 ESA - Environmentálna systémová analýza

2.1.1 Definícia

Koncept environmentálnej systémovej analýzy (ESA) je definovaný ako systematický a systémovo založený prístup pre popisovanie ľudských vplyvov na životné prostredie vzhľadom ku súčasným a budúcim environmentálnym problémom. [1]

Existuje však viacero definícií, napríklad skupina ESA na Wageningen University v Holandsku to popisuje ako kvantitatívnu a multidisciplinárnu výskumnú oblasť zameranú na kombinovanie, interpretáciu a komunikáciu vedomostí z prírodných a sociálnych vied a technológií, zatiaľ čo výskumné oddelenie ESA na Chalmers University of Technology popisuje ESA ako súhrn metód a nástrojov pre environmentálne zhodnotenie technických systémov rôznych druhov. [2]

Môže byť vykonávaná buď za účelom utvárania poznania, odborného porozumenia (popisná ESA), alebo ako priamy alebo nepriamy podklad pre podporu rozhodovacieho procesu (normatívna ESA). Využíva retrospektívne aj perspektívne prístupy k informáciám a obsahuje vo svojom rámci radu procedurálnych a analytických nástrojov.

2.1.2 Nástroje ESA

Existuje pomerne veľký počet ESA nástrojov vyvinutých pre riešenie environmentálnych problémov, rozlišovaných na procedurálne a analytické. Procedurálne nástroje sa zameriavajú na zlepšovanie procesov vedúcich k rozhodovaniu, zatiaľ čo analytické poskytujú informácie, ktoré môžu byť použité na komunikáciu, optimalizáciu skúmaného systému, porovnávanie jednotlivých alternatív atď. Analytické nástroje môžu byť používané ako súčasť procedurálnych.

Analytické nástroje môžu byť orientované na popis stavu, alebo na dôsledky špecifikovanej voľby, veľa z nástrojov však môže byť použité na oboje z týchto cieľov a preto je potrebné rozlišovať použitú metodológiu, napr. o použití marginálnych alebo priemerných údajov. Procedurálne nástroje v sebe zahŕňajú tiež nástroje na operačný management spoločnosti (EMS) a nástroje na strategické rozhodovanie (SEA). [2]

Environmentálne nástroje vznikali z rôznych podnetov a v rôznych časových obdobiach, niektoré ešte predtým, ako bol publikovaný koherentný koncept ESA v roku 2000.

Napríklad ekonomické nástroje ako CBA (Analýza nákladov a prínosov) vznikali za účelom zahrnutia environmentálnej problematiky do celkového hodnotenia, zatiaľ čo LCA (Posudzovanie životného cyklu) a EIA (Posudzovanie vplyvu na životné prostredie) boli viac zamerané na posúdenie environmentálnych aspektov. [1] [3]

Posudzovanie vplyvu na životné prostredie, ktoré sa radí medzi procedurálne nástroje, v súčasnosti rozlišujeme na posudzovanie zámerov (EIA, Environmental Impact Assessment) a Posudzovanie koncepcií (SEA, Strategic Environmental Assessment). Obidve tieto varianty sú v určitých projektoch vyžadované Zákonom č. 100/2001. Medzi ďalšie procedurálne nástroje patrí aj Environmentálny systém riadenia (EMS, Environmental Management System) alebo Environmentálny audit. [1]

Z pomedzi analytických nástrojov sa používa Hodnotenie rizika (RA, Risk Assessment). Je to pomerne široký pojem, ktorý obsahuje zároveň riziká chemických látok a zároveň riziká nehôd na pracovisku. Analýza materiálových tokov (MFA, Material Flow Analysis) je používaná na kvantifikovanie tokov zásob a materiálov v pevne definovanom systéme. Môže byť použitá v rôznych kontextoch aj na regionálnej škále a môže byť obsiahnutá v metodike iných nástrojov.

Na porovnanie viacerých alternatív z perspektívy celkového životného cyklu produktu alebo procesu sa využíva Posudzovanie životného cyklu (LCA, Life Cycle Assessment), kde sú hodnotené potenciálne vplyvy produktov alebo služieb, vrátane vplyvov zo získavania surových materiálov, výroby, používania, dopravy a spracovania odpadu. Nástroj Materiálových intenzít na jednotku služieb (MIPS, Material Input Per unit Service), pracuje na podobnom princípe, ale zahŕňa v sebe iba materiálové vstupy počas životného cyklu. Hodnotenie nákladov životného cyklu (LCC, Life Cycle Costing), sa zaoberá najviac cenovo efektívnym riešením z viacerých alternatív pohľadu životného cyklu výrobku alebo služby, pričom spoločenské alebo environmentálne faktory môžu byť zahrnuté tiež. [2]

2.2 LCA – Posudzovanie životného cyklu

2.2.1 Vznik a metodologický vývin

Prvé metódy založené na životnom cykle vznikali v 60. rokoch minulého storočia ako kolaborácie medzi univerzitami a priemyslom a slúžili ako predchodcovia dnešnej LCA. Vývoj metód sa dial predovšetkým v severnej Európe a v USA, ktoré sa najviac podobali na MFA, keďže boli zamerané na sledovanie energií, zásob, emisií a tvorbu pevného odpadu z každého jednotlivého priemyselného procesu v životnom cykle. [4]

Ako sa inventáre stávali stále zložitejšími, počiatočné zameranie na fyzické toky v životnom cykle bolo rozšírené o potenciálne environmentálne vplyvy týchto inventárnych zmien – zo zoznamu použitých zdrojov a emisií bola vypočítaná rada indikátorov pre daný produkt ukazujúca rôzne vplyvy ako zmena podnebia, eutrofizácia a nedostatky zdrojov. [4]

V prvých rokoch histórie LCA boli často špecifické ciele metód menené verejnými obavami, neexistovala konzistencia a harmonizácia aplikovaných postupov. Počas niektorých rokov bolo zameranie na tvorbu pevného odpadu, zatiaľ čo počas fluktuácií ceny ropy sa zameriavalo na energetickú spotrebu. [5]

Rané metódy posudzovania vplyvov často reprezentovali emisie ako objemy vzduchu alebo vody potrebné na zriedenie emisie na bezpečnú úroveň (Švajčiarska Ecopoint z 80. rokov). Počas 90. rokov boli vyvinuté mnohé metódy posudzovania vplyvov, medzi inými CML92 (1992) v Holandsku, ktorá sledovala midpoint indikátory v strede životného cyklu, EPS vo Švédsku (1999), Eco-indicator 99 (1999) v Holandsku. Začiatky 90. rokov zaznamenali aj zrodenie prvých LCA databáz.

Modelovanie čoraz komplexnejších systémov a objem prístupných dát vytvoril potrebu pre dedikovaný LCA software a prvé verzie programov SimaPro a GaBi boli vydané okolo 1990. V 21. storočí boli metódy posudzovania ďalej vylepšované – zistenie, že môže prísť k veľkým rozdielom v senzitivite prostredia viedlo k vydaniu metódy EDIP2003, ktorá priestorovo rozdeľovala neglobálne vplyvy ako eutrofizácia a acidifikácia. Hybridné LCA sa objavili ako kombinácia procesnej a vstup/výstup inventárnej analýzy. Uznávajúc sociálne vplyvy udržateľnosti, sociálne LCA kvantifikujú tieto vplyvy životných cyklov produktov. Bol vytvorený rámec pre posudzovanie udržateľnosti životného cyklu (LCSA, Life Cycle Sustainability Assessment), ktorý kombinuje dokopy environmentálne, sociálne a ekonomické aspekty. [4]

2.2.2 Aplikácie

Mnohé z prvých LCA štúdií boli zamerané na analýzu obalov, napr. plastické fľaše boli porovnávané so znova naplniteľnými sklenenými. Štúdie boli často objednávané spoločnosťami, ktoré produkovali alebo používali tieto obaly, ako prvá LCA pre Coca-Colu v 1969. Neskôr v 80. rokoch sa porovnávali v Európe mliečne kartóny a vratné obaly. Viacero štúdií prinieslo rozdielne výsledky, čo spôsobilo medzinárodnú kolaboráciu, čo zároveň s štandardizáciou a harmonizáciou v 90. rokoch malo za dôsledok rozšírenia zamerania na množstvo iných produktov. [4]

Po prelome tisícročia boli LCA štúdie čoraz viac vykonávané v makro prostrediach, ako napr. národné energetické a odpadové systémy. Podľa štúdie z roku 2011 bolo až 56% LCA analýz z poľnohospodárskeho sektora, zatiaľ čo z ostatných spotrebných tovarov a energetické priemyslov boli menej časté. [6]

2.2.3 Harmonizácia a štandardizácia, ISO

Po vlne záujmu o LCA v 80. rokoch vznikla potreba vyvinutia metodológie a harmonizácie metód aby bola zaručená konzistencia štúdií. Preto po sérií workshopov organizovaných Spoločnosťou Environmentálnej Toxikológie a Chémie (SETAC) v roku 1990 a neskôr, boli vyvinuté prvé predpisy pre LCA v 1993. [4]

Následne bol v roku 1993 započatý proces štandardizácie pod Medzinárodnou organizáciou pre štandardizáciu (ISO), za účelom vyvinutia globálneho štandardu pre LCA. Tento štandard mal reagovať na potreby priemyslu, ktorý potreboval štandardizované vierohodné LCA metódy pre vývoj a marketing svojich ekologickejších produktov. Výsledkom boli normy, ktoré v revízii z roku 2006 majú v ČR podobu dvoch smerníc:

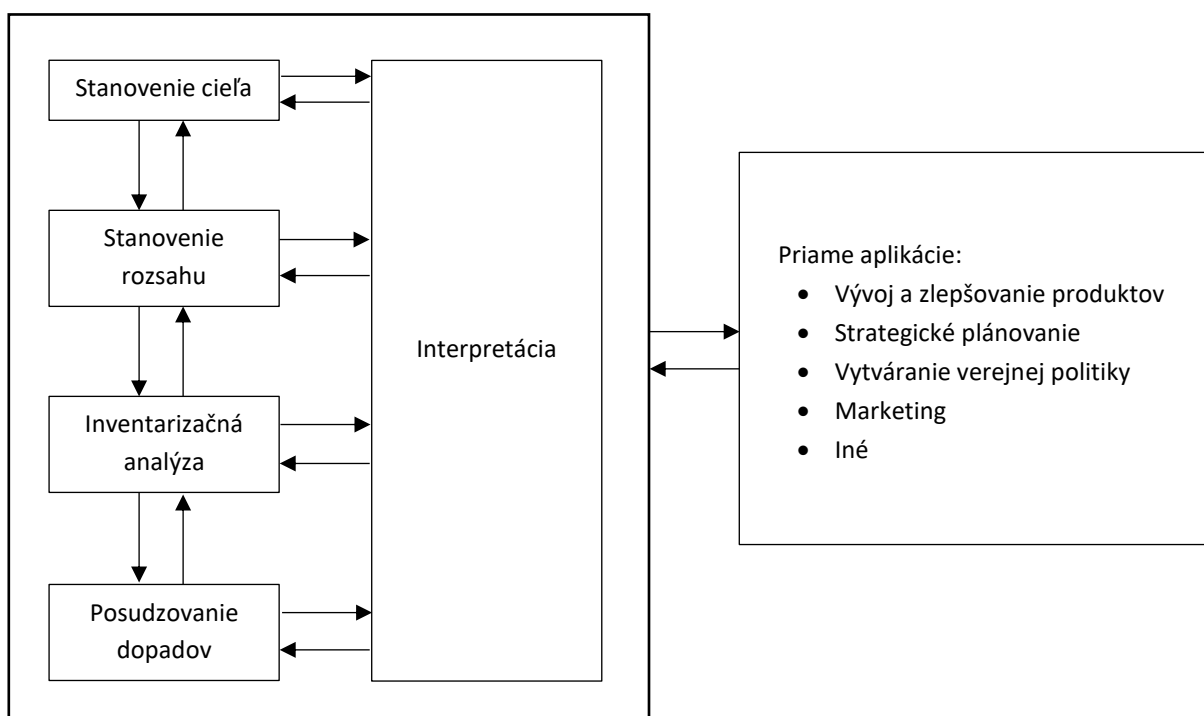
- ČSN EN ISO 14040 – Environmentálny management – Posudzovanie životného cyklu – Zásady a osnova
- ČSN EN ISO 14044 – Environmentálny management – Posudzovanie životného cyklu – Požiadavky a smernice

Keďže ISO štandardy neboli dostatočne detailné kvôli relatívnej mladosti LCA metodológie, Európska komisia vyvinula systém ILCD (International Life Cycle Data System) s databázou inventárnych údajov a sériou metodologických smerníc a následne v roku 2010

vydalo Spoločné výskumné centrum Európskej komisie rozsiahlu smernicu EC-JRC 2010, dopĺňujúcu predošlé ISO štandardy. [4]

2.2.4 Metodológia

Norma ČSN EN ISO 14040 definuje LCA ako metódu, ktorá sa zameriava na potenciálne environmentálne dopady počas celého životného cyklu. Ako je ukázané na obrázku 1., ISO štandard rozlišuje metodologický rámec LCA od jej rôznych aplikácií, ako je vývoj produktov, Ecolabelling, uhlíková stopa, a iné. Aplikácie LCA sú spracované v separátnych publikáciách mimo štandardnej organizácie. Aplikačný rámec LCA je obsiahnutý vo štyroch separátnych fázach: stanovenie cieľa a rozsahu, inventarizačná analýza, posudzovanie dopadov a interpretácia.



Obrázok 1. Aplikačný rámec LCA modifikovaný zo štandardu ISO 14040 [4]

2.2.5 Stanovenie cieľa a rozsahu

LCA štúdiá vždy začína s dobre uváženou a zámernou definíciou cieľa analýzy. Aký je dôvod analýzy? Akú otázku musí štúdiá zodpovedať a pre koho je vykonávaná? Definícia cieľa nastavuje kontext LCA štúdie a formuje základ pre stanovenie rozsahu v ktorom je analýza posudzovaná, predovšetkým formou nasledujúcich krokov:

- Definovanie funkčnej jednotky: kvantitatívny popis funkcie, produktu alebo služby na ktorej je vykonávané posudzovanie a základ pre určovanie zberu dát v nasledujúcej LCA fáze – inventarizačnej analýze.
- Mapovanie systému produktu, určenie aktivít a procesov, ktoré patria do životného cyklu študovaného produktu
- Výber posudzovaných parametrov – vplyvov na životné prostredie
- Výber geografických a časových ohraničení a nastavení štúdie a úrovne technológie, ktoré sú relevantné pre procesy v systéme produktu
- Určenie relevantnej perspektívy štúdie – bude štúdia konzekventného typu, ukazujúca dôsledky výberu jednej alternatívy pred druhou, alebo atributívneho, posudzujúca vplyvy študovanej aktivity?
- Identifikácia potreby kritického zhodnotenia, predovšetkým ak je štúdia komparatívna a mienená na zverejnenie

Stanovenie cieľa a rozsahu je dôležité zohľadniť pri interpretácii výsledkov, keďže tieto definície formujú zber dát a spôsob modelovania a hodnotenia systému. [4] [7]

2.2.6 Inventarizačná analýza

Po stanovení cieľa a rozsahu inventarizačná analýza zozbiera informácie o fyzických tokoch vo forme vstupov zdrojov, materiálov, polotovarov a produktov a výstupov vo forme emisií, odpadov a hodnotných produktov z produktového systému. Analýza skúma všetky procesy identifikované ako súčasti produktového systému a toky sú úmerne nastavené na referenčný tok vychádzajúci z funkčnej jednotky. Kvôli obsiahlosti väčšiny produktových systémov sa inventarizačná analýza často spolieha na generické údaje z databáz z jednotkových procesov. Výstup z inventarizačnej analýzy je inventár životného cyklu, alebo inventarizačná matica – zoznam kvantifikovaných fyzikálnych elementárnych tokov pre systém produktu asociovaného s danou funkčnou jednotkou. [4]

2.2.7 Posudzovanie dopadov

Konečné vyhodnotenie dopadov pozostáva podľa štandardu ČSN ISO 14040 z piatich prvkov:

1. **Výber** dopadových kategórií, ktoré reprezentujú posudzované parametre v stanovenom rozsahu. Pre každú kategóriu vplyvov je vybraný reprezentatívny

indikátor, zároveň s environmentálnym modelom, ktorý môže byť použitý na kvantifikovanie vplyvov na indikátor

2. **Klasifikácia** elementárnych tokov z inventáru priradením ku jednotlivým kategóriám vplyvov podľa ich schopností ovplyvniť daný indikátor.
3. **Charakterizácia** použitím environmentálnych modelov pre jednotlivé kategórie za účelom kvantifikovania schopnosti každej látky ovplyvniť každú kategóriu. Výsledok je vyjadrený v jednom údaji na kategóriu, čo umožňuje agregáciu všetkých údajov do výsledných metrík kategórií.
4. **Normalizácia** je používaná na porovnanie kvantifikovaných dopadov s referenčnými hodnotami. Často sa používa pasívny dopad spoločnosti ako referencia.
5. **Zlučovanie** alebo **váženie** zvyšuje porovnateľnosť medzi kategóriami vplyvov buď zlučovaním do skupín a prípadne zoradením podľa vážnosti, alebo vážením jednotlivých kategórií podľa priradených hodnôt, čo môže byť použité k vytvoreniu jedného finálneho skóre.

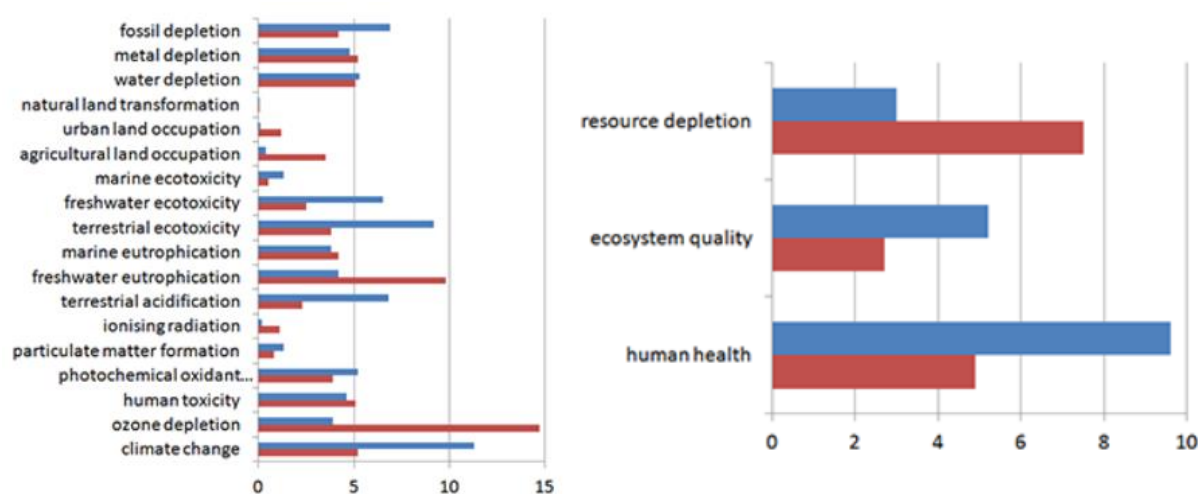
Výsledky štúdie sú interpretované, aby vysvetlili otázky položené v definícii cieľa. Interpretácia musí zväziť výsledky inventarizačnej analýzy, charakterizáciu vplyvov a prípadne normalizáciu a váženie. Analýzy citlivosti a neurčitosti sú aplikované ako časť interpretácie za účelom dokázania robustnosti výsledkov, a podkladu ďalších výskumov. [4]

LCA analýzy majú spravidla iteratívnu povahu. Prvá iterácia často pracuje len s ľahko prístupnými inventárnymi údajmi, ktoré po posúdení vplyvov ukážu časti produktového systému, ktoré sa najviac podieľajú na konečných výsledkoch. Následne môže byť rozsah štúdie upresnený a presnejšie inventárne údaje môžu byť získané. Zároveň s opakovanou analýzou citlivosti rastie kvalita štúdie s počtom opakovaní procesu, preto je spravidla vhodné vykonať viac opakovaní a úprav rámca štúdie.

2.2.8 Metódy vyhodnotenia dopadov LCIA – Life Cycle Impact Assessment

Existuje množstvo vyvinutých metód, ktoré zhŕňajú výsledky jednotlivých krokov pre rôzne látky do charakterizačných indikátorových kategórií, prípadne do jediného skóre. Pracujú na rôznych kalkulačných princípoch a odbúravajú potrebu detailnej manuálnej klasifikácie a charakterizácie jednotlivých látok.

Niektoré metodiky sú založené na midpointovej charakterizácii, iné na endpointovej. Zatiaľ čo midpointové metódy sa pozerajú na environmentálne dopady v strede reťazca príčin a dôsledkov, endpointové metódy pracujú s neskoršími finálnymi indikátormi. Oba prístupy majú svoje výhody a nevýhody – midpoint indikátory sú špecifickejšie a detailnejšie a výsledky nadobúdajú nižších štatistických neistôt. Endpoint metódy zlučujú tieto indikátory do menšieho počtu, sú ale nepresnejšie a môžu zovšeobecňovať celkový výsledok. Zaujímavou alternatívou sú nové postupy metodík kombinujúce midpoint a endpoint prístupy. [8], [9]



Obrázok 2. Príklad výsledkov metodík midpoint (vľavo) a endpoint (vpravo) [9]

Medzi najčastejšie používané metódy patria:

CML

V roku 2001 skupina vedcov na Univerzite v Leiden navrhla sadu kategórií vplyvov a charakterizačných metód pre krok vyhodnotenia environmentálnych dopadov. Táto metóda, implementovaná ako CML je definovaná pre midpointový prístup a ponúka dve verzie – „baseline“, obsahujúcu 10 kategórií vplyvov, a rozšírenú „non-baseline“ verziu so všetkými kategóriami a variáciami pre rozdielne časové rámce. V metóde je zahrnutá normalizácia, chýba však váženie alebo zlučovanie kategórií. [10]

Method: CML (baseline)	
Impact category group	Name of the impact category in the method
Acidification	Acidification potential - average Europe
Climate change	Climate change - GWP100
Depletion of abiotic resources	Depletion of abiotic resources - elements, ultimate reserves
	Depletion of abiotic resources - fossil fuels
Ecotoxicity	Freshwater aquatic ecotoxicity - FAETP inf
	Marine aquatic ecotoxicity - MAETP inf
	Terrestrial ecotoxicity - TETP inf
Eutrophication	Eutrophication - generic
Human toxicity	Human toxicity - HTP inf
Ozone layer depletion	Ozone layer depletion - ODP steady state
Photochemical oxidation	Photochemical oxidation - high Nox

Obrázok 3. CML Metóda (Baseline) - Kategórie dopadov [10]

CED – Cumulative Energy Demand

Cieľom tejto endpoint metódy je kvantifikovanie spotrieb primárnych energií počas životného cyklu výrobku alebo služby. Metóda obsahuje priame a nepriame využitia energií, ale neobsahuje odpady využité na energetické účely. Normalizácia nie je súčasťou metódy – na získanie totálnej energetickej spotreby je každej kategórii priradený vážiaci faktor 1. [10], [11]

Method: Cumulative Energy Demand (CED)		
Impact category group	Name of the impact category in the method	Reference unit
Non-renewable resources	Fossil	MJ
	Nuclear	MJ
	Primary forest	MJ
Renewable resources	Biomass	MJ
	Geothermal	MJ
	Solar	MJ
	Wind	MJ
	Water	MJ

Obrázok 4. CED Metóda - Kategórie dopadov [10]

Používa sa tiež varianta CED LHV – Lower Heating Values, ktorá využíva nižšie výhrevné hodnoty palív.

Eco-indicator 99

Eco-indicator 99 nahradzuje Eco-indicator 95, prvú endpoint metódu vôbec. Je jednou z najčastejšie používaných LCIA metód a ako jeho predchodca, používa prístup založený na hodnotení škôd. Analyzuje tri typy škôd:

- Ľudské zdravie, vyjadrené ako počet stratených rokov života a počet rokov prežitých v postihnutí
- Kvalita ekosystému, vyjadrené stratou živočíšnych druhov na území počas určitého času
- Zdroje, vyjadrené ako nadmerná energia potrebná na budúce ťaženie minerálov a palív

Metóda tiež rozlišuje tri rôzne typy kultúrnych perspektív, alebo „archetypov“ – H hierarchistická, I – individualistická, E – egalitárna. [11]

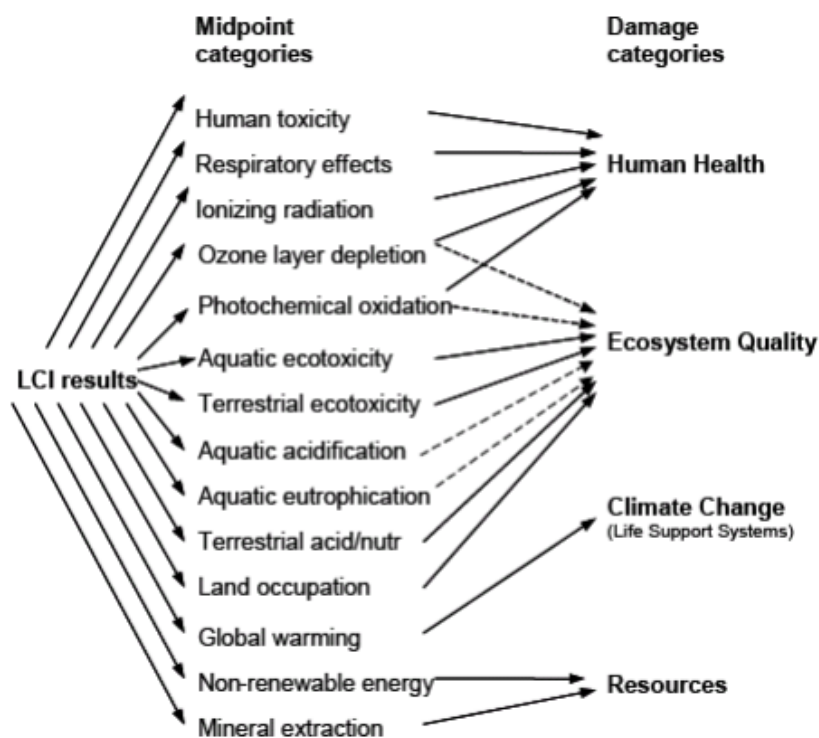
Method: Eco-indicator 99 (E), (H) & (I)		
Midpoint/endpoint	Impact category group	Name of the impact category in the method
Midpoint	Ecotoxicity	Ecosystem Quality - Land conversion (PDF·m ²)
	Ecotoxicity	Ecosystem Quality - Land conversion (PDF·m ² ·year)
	Ecotoxicity	Ecosystems Quality - Acidification and Eutrophication
	Ecotoxicity	Ecosystems Quality - Ecotoxicity
	Human toxicity	Human Health - Carcinogenics
	Human toxicity	Human Health - Climate change
	Human toxicity	Human health - Ionising radiation
	Human toxicity	Human health - Ozone layer depletion
	Human toxicity	Human Health - Respiratory effects caused by inorganic substances
	Human toxicity	Human Health - Respiratory effects caused by organic substances
	Depletion of abiotic	Resources - fossil fuels
	Depletion of abiotic	Resources - minerals
Endpoint	Depletion of abiotic resources	Resources-total
	Human toxicity	Human Health-total
	Ecotoxicity	Ecosystems-total

Obrázok 5. Metóda Eco-indicator 99 - Kategórie dopadov [10]

Normalizácia a váženie sú vykonávané na úrovni kategórií škôd, na európskej úrovni. Váženie je závislé od zvoleného archetypu.

Impact 2002+

IMPACT 2002+, vyvinutý vo Švajčiarskom Národnom Technologickom Inštitúte EPFL v Lausanne, navrhuje kombinovanú implementáciu midpoint/endpoint prístupu, spájajúc všetky typy výsledkov inventárov životného cyklu cez 14 midpoint kategórií do štyroch kategórií škôd - ľudské zdravie, kvalita ekosystému, zmena podnebia a zdroje. [11]

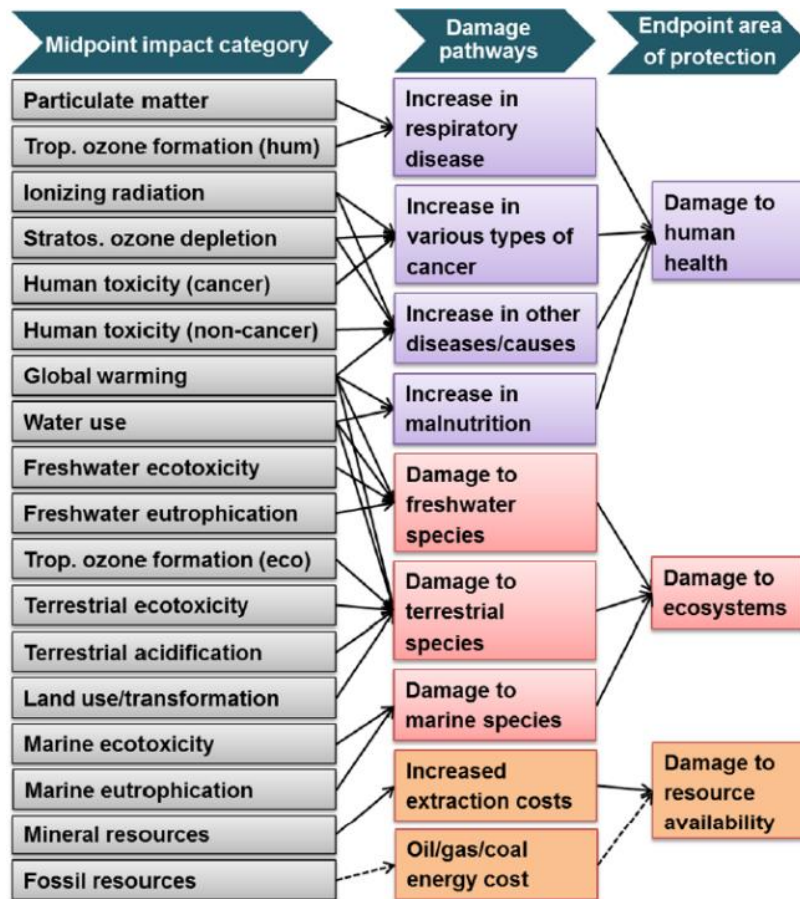


Obrázok 6. Metóda IMPACT 2002+ - Schéma kategorizácie [11]

Faktor škôd je normalizovaný delením vplyvu na jednotku emisie totálnym vplyvom všetkých látok špecifickej kategórie, pre ktorú existujú charakterizačné faktory, na osobu, na rok (pre Európu). Jednotka všetkých normalizovaných midpoint/endpoint faktorov je teda počet ekvivalentných osôb postihnutých počas jedného roka za jednotku emisie. Autori odporúčajú analyzovanie faktorov samostatne, je však možné váženie a zlučovanie faktorov (buď pôvodná hodnota faktora 1, alebo iné sociálne hodnoty). [11]

ReCiPe 2016

ReCiPe 2016 je aktualizovaná a rozšírená verzia ReCiPe 2008. Obidve metódy obsahujú zároveň midpoint a endpoint kategórie vplyvov, prístupné v troch rôznych perspektívach (individualistická, hierarchistická, egalitárna), ako pri Eco-indicator 99. Charakterizačné faktory sú reprezentatívne pre globálny rozsah, namiesto Európskeho rozsahu v ReCiPe 2008. Metóda pozostáva z 18 kategórií vplyvov na midpoint úrovni, ktoré sú cez dráhy škôd násobené a zlučované do troch endpoint kategórií – ľudské zdravie, ekosystémy a nedostatok zdrojov. [10], [11]



Obrázok 7. Metóda ReCiPe 2016 - Schéma kategorizácie [11]

Normalizácia je možná, najnovšie referenčné správy ešte neboli publikované, preto sú používané referenčné hodnoty z predošlej verzie, ako aj faktory váženia, ktoré závisia od vážiacej perspektívy zvolenej. Vo všeobecnosti, hierarchistická verzia je obvykle vedecky a politicky akceptovaná. [10]

2.3 SimaPro Software

2.3.1 LCA Softwarové nástroje

Vedci a spracovatelia LCA štúdií, či už z výskumných inštitúcií, priemyselných odvetví, vládnych organizácií alebo konzultačných firiem sa spoliehajú predovšetkým na LCI databázy poskytované akademickými, či komerčnými vývojármi. Vo všetkých prípadoch, kedy nie sú využívané špecifické dáta, alebo keď sú tieto dáta využívané ďalej v rámci jednotlivej fáze životného cyklu, sú využívané práve tieto databázy. Existuje niekoľko najpoužívanejších softwarových nástrojov, ktoré s týmito databázami pracujú a pomáhajú tak uľahčiť napr. výpočty jednotlivých indikátorov kategórií dopadov:

- GaBi
- SimaPro
- Umberto
- KCL – Eco
- LCAIT
- SPINE
- TEAM

V súčasnosti existuje potreba zjednotiť rôzne LCI databázy, zaistiť ich porovnateľnosť, zjednodušiť k nim prístup a zvyšovať kvalitu, keďže vo veľkej miere priamo ovplyvňuje výslednú úroveň LCA štúdie. [12]

2.3.2 SimaPro

SimaPro je software vyvinutý spoločnosťou PRé Consultants v rokoch 1990, s najnovšou verziou SimaPro 8.3 vydanou v roku 2017. Už od svojho vzniku išlo o profesionálny nástroj LCA výrobkov a služieb. Jeho výhodami sú relatívne prehľadné modelovanie životného cyklu, vysoká miera prispôsobenia, počet funkcií a dobre interpretovateľné grafické výstupy. Obsahuje databázy materiálov a procesov, ktoré je možné licenčne obnovovať alebo dopĺňať. Databázy je tiež možné kombinovať medzi sebou pre dosiahnutie čo najpresnejšieho modelu. [13]

Základné rysy programu:

- Použitie pre všetky druhy produktov a procesov
- Súhlasí s normami ČSN EN ISO 14040 a ČSN EN ISO 14044
- Je možné analyzovať celý produktový systém, alebo jeho časti
- Rozsiahle informácie o emisiách a spotrebách v databázach
- Možné výstupy do iných formátov

Pomocou SimaPro je možné vykonávať nasledujúce typy analýz životného cyklu:

1. Screening – Previerky

- Slúžia na interné potreby, podpora orientácie
- Východiskom sú iba informácie z databáz – veľká miera neistoty
- Povrchovo načrtne príčiny environmentálnej záťaže

2. Short studies – Krátke štúdie

- Podpora strategického rozhodovania
- Neslúži k externej komunikácii
- Používajú sa údaje od dodávateľov a z literatúry
- Odhalí hlavné príčiny environmentálnej záťaže bez väčšej hĺbky

3. Extensive studies – rozšírené štúdie

- Podrobné tvrdenia, použiteľné pre externú komunikáciu
- Použitie špecifické údaje, popisy procesov, analýza citlivosti
- Obsahuje oponentský posudok (podľa ISO 14040)

4. Continuous LCA operations – priebežné LCA operácie

- Používajú sa pre environmentálny reporting
- Zbieranie údajov a tvorba databáz na mieru špecifickej firmy
- Možnosti prepojenia s ostatnými informačnými systémami firmy

[13]

Z hľadiska svojho postupu, rozsahu a štruktúry táto diplomová práca zodpovedá tretiemu typu LCA - rozšírenej štúdiu.

2.3.3 Postup použitia SimaPro

Po určení cieľa, rozsahu štúdie a zhromaždenia možných špecifických údajov je potrebné vybrať relevantné databázy, ktoré budú použité pri analýze produktu. Prvá fáza LCA nám ukáže, či budú procesy a materiálovo-energetické vstupy z databáz kombinované, alebo či nastane vytvorenie vlastných procesov. Je nevyhnutné postupovať vzhľadom k špecifickým cieľom štúdie a určiť prioritné časti a údaje, a tým venovať väčšiu pozornosť a presnosť.

Následne po vytvorení simulačného modelu SimaPro automaticky vygeneruje inventarizačnú analýzu, ktorá je spracovaná jednou z širokej škály vyššie spomenutých metodík. Program vygeneruje grafické výstupy v požadovanej forme, ktoré sú prehľadné a môžu byť použité k tvorbe záverov štúdie.

Program obsahuje zároveň rad ďalších funkcií, ktoré neboli použité v tejto práci, ako: tvorba vlastných metód hodnotenia, možnosť parametrizácie modelu, možnosť súčasnej práce viacerých výskumníkov na rovnakom projekte. [11], [13]

2.4 Životný cyklus pneumatiky osobného automobilu

Pneumatika osobného automobilu ako priemyselný produkt plní predovšetkým funkciu prenosu síl medzi kolesami a vozovkou a reprezentuje prvotné odpruženie vozidla. Celý životný cyklus tohto produktu zahŕňa nasledujúce fázy:



Obrázok 8. Životný cyklus produktu [14]

2.4.1 Surové materiály

Ak je cieľom komplexné zhodnotenie životného cyklu pneumatiky, je nutné zahrnúť do analýzy už akvizíciu zdrojov a surových materiálov potrebných na výrobu tohto produktu. Špecifické zloženie, pomery a označenia sa medzi jednotlivými typmi produktov často líšia, spravidla väčšina pneumatík však obsahuje:

Prírodný kaučuk

Je obsiahnutý v latexe kaučukových stromov, konkrétne najvýnosnejší druh pre výrobu je *hevea brasiliensis*, pestovaný na plantážach v okolí rovníka, v menšej miere sa však využívajú aj iné rastlinné zdroje, ako napr. *guayule*, *landolphia*, druhy púpav. Výroba kaučuku začína čapovaním latexu, ktorý vyteká z rezu stromov do pripravenej misky. Latex obsahuje asi 40% kaučuku, ktorý sa z neho získava vyvráňaním pomocou kyseliny mravenčej alebo octovej. Získané bloky kaučuku sa prepierajú vodou, sušia a konzervujú údením. [15]

Syntetický kaučuk

V podstate ide o akýkoľvek umelý elastomér, nahrádzajúci prírodný kaučuk. Všetky používané typy syntetických kaučukov sa získavajú syntetizovaním z vedľajších produktov ropy. Existuje niekoľko najpoužívanejších druhov pre gumársky priemysel:

- SBR – Butastyrenový – najviac používaný pre výrobu behúňových zmesí
- BR – Butadienový – zlepšuje fyzikálno-technické vlastnosti behúňových zmesí
- IR – Izoprenový – výroba membrán pre lisovanie plášťov a výrobkov z technickej gumy
- CIIR – Chlorbutylkaučuk – dušová zmes a zmes pre vnútornú gumu plášťov [15]

Prísady kaučukových zmesí

- Vulkanizačné činidlá – vytvárajú chemickú reakciu za vzniku priečnych väzieb medzi reťazcami kaučukového uhľovodíka - síra, reaktívne živice
- Urýchľovače – podporujú činnosť vulkanizačných činidiel – Vulkacit MOZ, Thiofise, Thiotax, Sulfenax
- Aktivátory – zvyšujú účinok vulkanizačných činidiel – Stearin, zinková beloba
- Retardéry – spomaľujú nástup vulkanizácie do 120°C – Santogard PVI, Vulkalet G, Duslin
- Zmäkčovadlá – uhlahčujú spracovateľnosť zmesí – Parafín, Cerezín, Ropné oleje
- Stuzujúce plnivá - zlepšujú pevnosť, pružnosť, tvrdosť – sadze (C4), Silika (SiO₂)
- Nestuzujúce plnivá – zväčšujú objem, znižujú náklady – krieda, kaolín, vápenec
- Antidegradanty – zabraňujú predčasnému starnutiu gumy – Santoxlex IP, PBN fenylbetanaftylamín
- Plastikačné činidlá – skracujú dobu plastikácie, odbúravajú tuhosť kaučuku - Peptazin, Renacit
- Regenerát – čiastočne nahradzuje kaučuk v menej kvalitných zmesiach, vyrába sa regeneráciou starej gumy
- Ostatné – nadúvadlá, faktisy, pigmenty, farbivá [15]

Oceľ

Oceľ je spravidla vyrábaná buď zo šrotu, alebo zo železnej rudy, ťaženej z depozitov v zemi a pretavenej na surové železo za prítomnosti koksu a vápenca. Po konvertovaní železa na oceľ je materiál spracovaný do vhodnej formy – drôt, kord. Oceľ v takejto forme býva často pomosadzovaná, alebo pobronzovaná na zvýšenie adhézie s kaučukovou zmesou. V pneumatikách sa oceľ používa predovšetkým vo výstužnej kordovej tkanine a v pätkových lanách. [15], [16]

Textil

Textilný priemysel zásobuje základné materiály na výrobu kordovej tkaniny, ktorá slúži ako výstuž pneumatiky. Útok tkaniny je vyrobený z bavlny, alebo z špeciálnych vlákien:

- Viskóza (rayon) – vyrábaná síranovou technológiou z bukového alebo eukalyptového dreva za použitia hydroxidu sodného a sulfidu uhličitého
- Nylon – produkcia polymerizačnou reakciou dvoch monomérov – pre Nylon 6-6 je to kyselina adipová a hexametyléndiamín
- Aramid (kevlar, nomex) – vyrábaný navíjaním polyamidového vlákna z kvapalného roztoku chloridu vápenatého a voľbou organického rozpúšťadla [17]

Voda

Voda spotrebovaná je využívaná predovšetkým v obstarávaní surových materiálov, ale aj vo výrobných procesoch, pri preprave, údržbe a vedľajších činnostiach. Môže byť získavaná z rôznych zdrojov a je rozlišovaná obvykle na povrchovú, podzemnú a pitnú, prípadne na procesnú, chladiacu a úžitkovú.

Vzduch

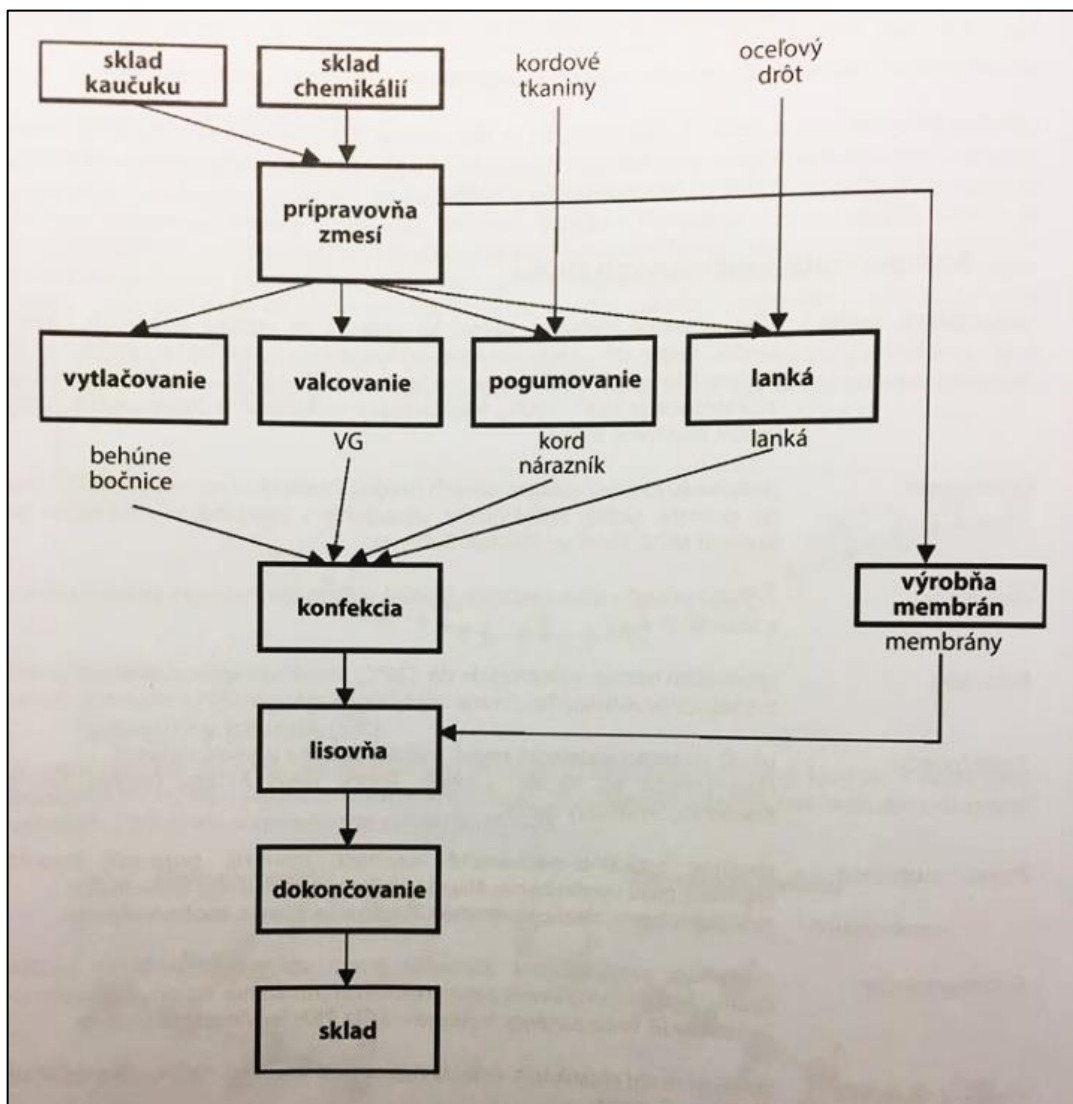
Spotreba vzduchu je predovšetkým spojená so spaľovaním fosílnych palív na získanie energií. Prevažnú časť potreby vzduchu zahŕňa užívateľská fáza pneumatiky. [18]

Energie

Spotrebu energií je možné vyjadriť v cykle výrobku buď priamo vo forme kWh, alebo v objemoch materiálov vynaložených pri tvorbe týchto energií, napr. zemný plyn, ropa, uhlie, urán. Podľa typu sa získava buď ťažením z prírodných depozitov, alebo prípadne z obnoviteľných zdrojov ako vietor, voda, slnko.

2.4.2 Výrobný proces

Po akvizícii surových materiálov a ich následnej preprave na miesto výroby začína samotná produkcia pneumatiky. Na nasledujúcej schéme je možné vidieť zobrazenie štandardného výrobného procesu radiálneho pláštá:



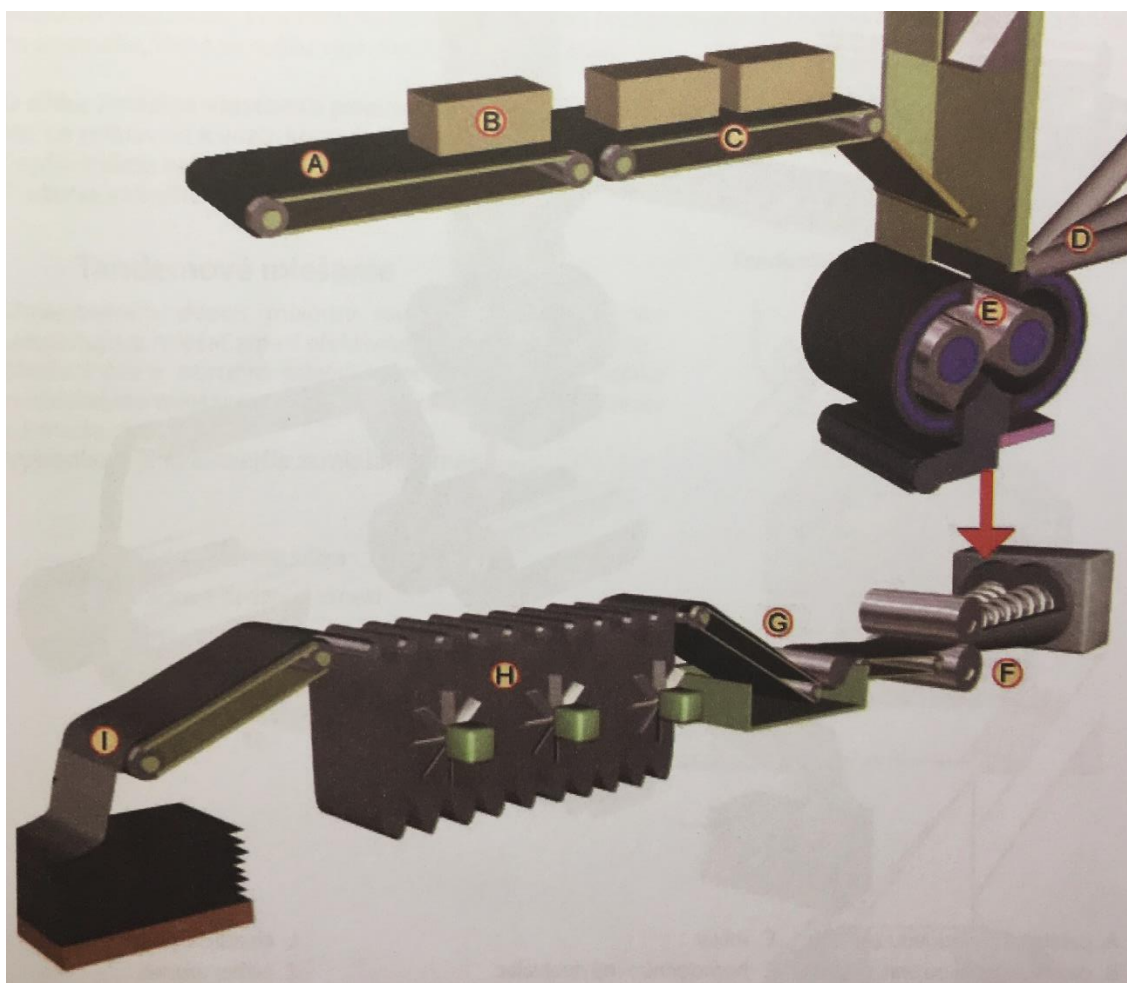
Obrázok 9. Schéma toku materiálu vo výrobe osobných radiálnych plášťov [15]

Samotná výroba pneumatiky prebieha obvykle v jednom závode a pozostáva z nasledujúcich procesov:

Miešanie a vytláčovanie

Počas procesu miešania sa veľký počet zložiek zmesi pre výrobu plášťov mieša v mixéroch alebo dvojvalcoch, za účelom zaistenia čo najrovnomernejšieho rozptýlenia v kaučukovej zmesi.

Miešacie stroje – mixéry sú najpoužívanejším strojným zariadením pre prípravu kaučukových zmesí. Moderné stroje majú už plne automaticky riadenú činnosť. [15], [19]



Obrázok 10. Miešacia linka pre miešanie základových zmesí - A - pásová váha, B – kaučuk, C – plniaci dopravník, D – násypky prísad, E – mixér, F – vytlačovací stroj - extrúder, G – namáčacia vaňa, H – chladič pásov, I – skladanie pásu na paletu [15]

Proces miešania prebieha v dvoch fázach. Miešanie základnej zmesi začína pridaním naváženého kaučuku chemikálií, olejov a sadzí (alebo siliky) do mixéra. Po zamiešaní mixérom putuje zmes do extrúdera, kde sa homogenizuje. Zmes sa do extrúdera môže dostať plnením za tepla, alebo studena, čo určuje jeho konštrukciu.

Extrúder ústí do dvojvalca, ktorý zmes valcuje na požadovanú hrúbku. Pás zmesi je ošetrovaný vo vani separačnou suspenziou proti zlepovaniu pásov a pokračuje do chladiča, kde je zmes ochladená a vysušená.

Finálna zmes sa pripravuje domiešavaním urýchľovačov a vulkanizačných činidiel do základovej zmesi. Proces prebieha podobne ako pri základovej zmesi, guma prejde mixérom, dvojvalcami, separačnou suspenziou a chladením, zároveň sú vzorky zmesi posielané na expresnú kontrolu. [15], [19]

Výroba pätkových lán

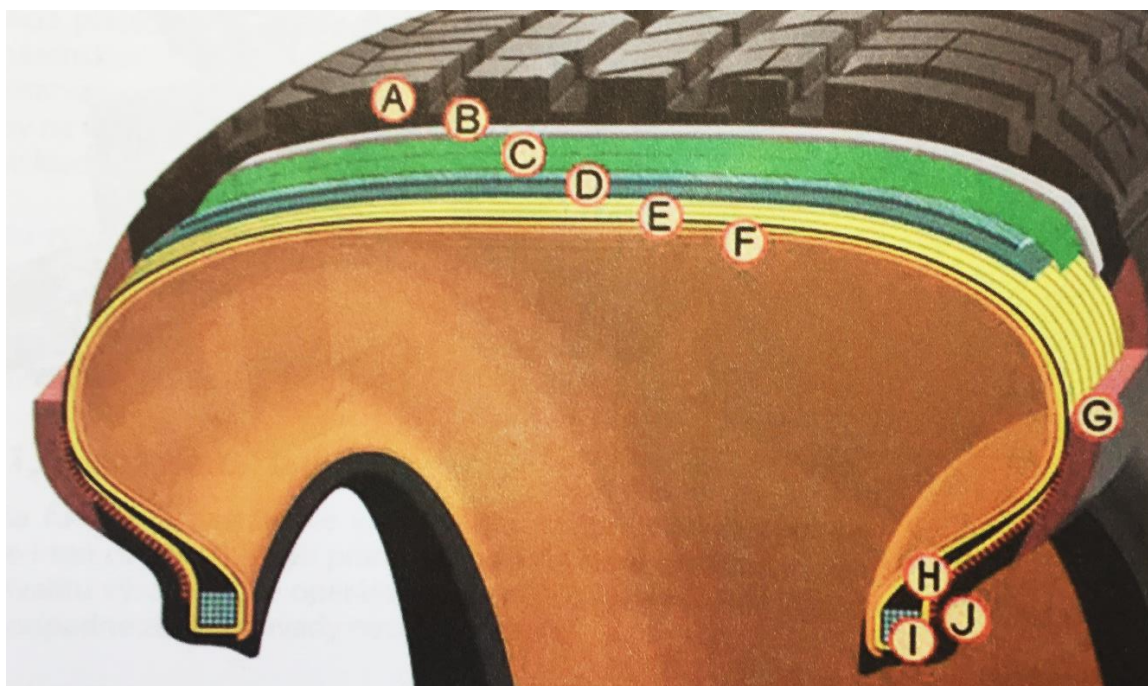
Pätkové lano zaisťuje dokonalé usadenia plášťa na ráfiku, v pätku ukotvené prehnutými okrajmi kordových vložiek a inými výstužnými materiálmi. Cievky s drôtmi sú uložené v cievočnici, od ktorej sa odvinie potrebný počet drôtov a prejde naprieč hlavou vytlačovacieho stroja, kde dôjde k oplášťovaniu kaučukovou zmesou. Po ochladení sa drôty navinú na formu do predpísaného počtu vrstiev. Navinuté vrstvy drôtu sa odseknú a hotové lano sa zaisťí tlakom alebo pásikom technickej tkaniny. Pre konfekciu plášťov sa potom laná upravujú jadrovaním, alebo krídlovaním. Pri výrobe hexa lán je technológia podobná ako pri výrobe klasických štvorcových lán, pracuje sa však iba s jedným drôtom, ktorý je po oplášťovaní navíjaný do lôžka bubna. [15]

Výroba ostatných komponentov

Bočnice a behúne sú mechanicky vytláčané z gumovej zmesi po miešaní. Vnútorňá guma je pripravovaná pomocou valcovania špeciálnej zmesi do potrebnej šírky a hrúbky. Textilná kostra a oceľové kordy na nárazníky sa pogumujú vrstvou kaučukovej zmesi. [20]

Konfekcia plášťov pneumatík

Konfekcia spočíva v postupnom montovaní polotovarov na konfekčný bubon za účelom získania surového plášťa pripraveného na vulkanizáciu. Typický proces pozostáva dvoch fáz. Na prvom stroja sa vyrobí kostra plášťa postupným spojením vnútornej gumy, textilnej vložky, pätkových lán a bočníc. Na druhom stroji je vytvorený prstenec položením oceľokordových nárazníkov špirály a behúňa na konfekčný bubon a následným tvarovaním kostry do podoby surového plášťa. [15]



Obrázok 11. Rez osobným radiálnym plášťom - A - behúň, B - spodný behúň, C - špirála, D - oceľové nárazníky, E - textilný kord, F - vnútorná guma, G - bočnica, H - jadro, I - pätkové lano, J - pätková výstuha [15]

Lisovanie a vulkanizácia

Po postriekaní separačným postrekom putuje plášť do hydraulického vulkanizačného lisu, kde pneumatiky získavajú svoj konečný tvar a profil dezénu. Najskôr je lis vyhriaty parou, po čom nasleduje prebombírovanie membrány rozťahovaním a sťahovaním. Surový plášť je vložený do lisu a tvarovaný parou v dvoch stupňoch. Prvý stupeň zabezpečuje vystretie membrány a vycentrovanie pláštá, druhý zabezpečuje vytlačenie vzduchu z priestoru medzi membránou a plášťom. Para má preto funkciu tvarovania plášťov a zároveň vulkanického média. Po uzavretí lisu sa ukončí proces tvarovania a dochádza k vlastnému lisovaniu a vulkanizácii.

Jednotlivé fázy vulkanizácie sú automaticky riadené, po ich ukončení a uvoľnení tlaku sa otvorí lis a plášť je premiestnený na zberný dopravník, kde musí zostať k dovulkanizovaniu. Po uplynutí tohto času je plášť dopravený k pracovisku orezávania a následne na dokončovanie, kontrolu a balenie. [15], [20]

2.4.3 Transport

Transporty je možné rozdeliť do viacerých fáz. Surové materiály a polotovary sú transportované lodnou dopravou, železnicou a ekologicky náročnejšími kamiónmi. Zemný

plyn je prepravovaný potrubím, elektrická energia býva typicky transportovaná prenosovými sústavami elektrického vedenia.

Vnútropodniková preprava je typicky na elektrický pohon, či už ide o dopravníkové pásy, vozíky alebo logistické vlaky. Používajú sa však aj nákladné vozidlá.

Hotové pneumatiky sú znova prepravované kombináciou cestnej, železničnej a lodnej dopravy ku predajcom a zákazníkom.

Po ukončení používania sú pneumatiky transportované na príslušné miesto recyklácie a spracovania odpadu. [21]

2.4.4 Užívateľská fáza

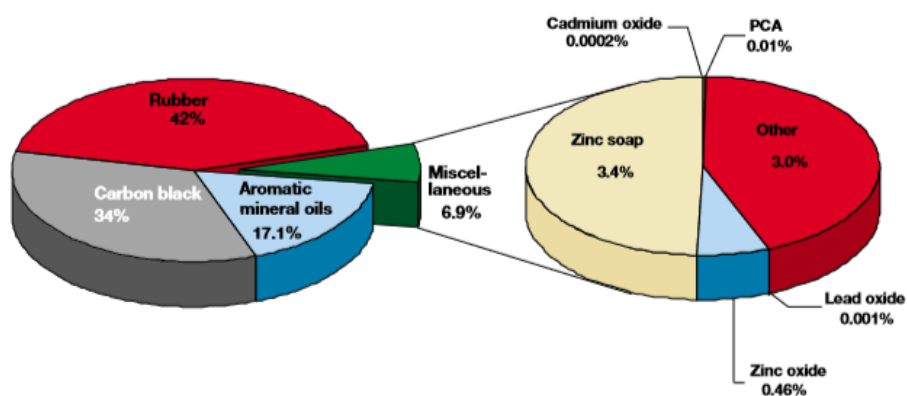
Pneumatika počas používania zabezpečuje kontakt medzi vozidlom a vozovkou, ako aj prenos hnacích síl z motora. Počas svojej životnosti environmentálne vplyvajú predovšetkým tieto tri vyvolané fenomény:

Spotreba paliva

Pneumatiky sú zodpovedné za približne 21% celkovej spotreby auta [18]. Najvýznamnejším činiteľom spotreby pneumatiky je jej valivý odpor, na ktorý vplyva množstvo parametrov, ako napr. konštrukcia, hrúbka behúňa a bokov, rozmery, technický stav a tlak.

Drobný oterový prach

Pri kontakte a trení pneumatiky vozidla s vozovkou sa uvoľňujú od povrchu pneumatiky malé, až mikroskopické častice, tvoriace prach škodlivý pre prostredie a človeka. Častice majú zloženie závislé od jednotlivého zloženia pneumatík. [22]



Obrázok 12. Zloženie drobného oterového prachu [18]

Vonkajší hluk

Pneumatiky môže spôsobiť až 10 dB variáciu v celkovej hlučnosti auta. Hlučnosť závisí od typu dezénu, rozmerov a konštrukcie. [23]

2.4.5 Spracovanie odpadu a recyklácia

Po konci životnosti je možné pneumatiku využiť niekoľkými spôsobmi:

Protektorovanie

Stará opotrebovaná časť pneumatiky je odstránená a nahradená novou vrstvou kaučukovej zmesi. Protektorovanie predlžuje životnosť pneumatiky s ekonomickými výhodami. Je však nutné, aby pneumatika bola vo vhodnom stave, napr. aby bola rovnomerne opotrebovaná na svojej ploche, preto je možné protektorovať iba malý objem všetkých pneumatík. V Európskej únii bolo v roku 2016 protektorovaných asi necelých 10% všetkých doslúžených pneumatík. [24]

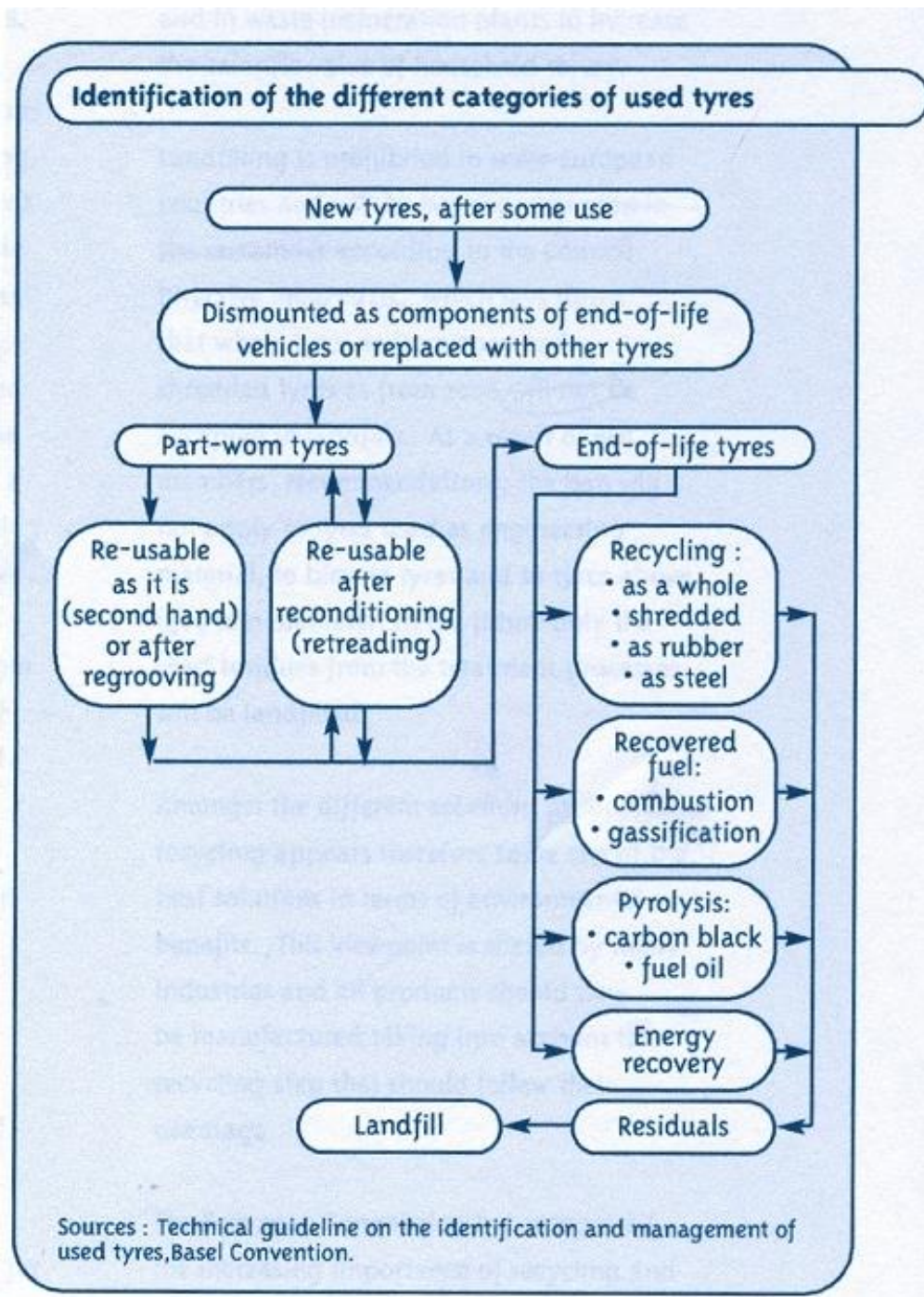
Recyklácia

Väčšina pneumatík je využitá na recykláciu materiálov (48% v EÚ v roku 2016) [24]. Pneumatika je podrvená a zbavená oceli a textilných zvyškov. Kovové zbytky sú vysokej kvality, preto sú žiadané v železiarňach, textil je možné využiť do izolácií alebo ako vystuženie v betóne. Časť granulátu sa využije na výrobu nových pneumatík, alebo na výrobu gumoasfaltu, protihlukových stien, gumených povrchov, tesnení. [25]

Energia

Približne 28% pneumatík sa v roku 2016 využilo v EÚ ako energetický zdroj. Pyrolýzou sa pneumatiky premieňajú na paru, ktorá môže byť ihneď spálená na tepelnú energiu, alebo skondenzovaná na olejnatú tekutinu. Pneumatiky sa tiež spaľujú v cementárňach a výhrevnosťou sa dajú porovnať s čiernym uhlím kvôli vysokému obsahu sadzí. Spaľovanie v cementárňach však oproti pyrolýze produkuje podstatné množstvo splodín, ktoré je potrebné zachytávať. [24], [25]

Menšia časť pneumatík sa používa v skládkach ako vrstvy prekrytia, prípadne je uložená len ako odpad. Spravidla sa z vyspelých krajín zvykne časť použitých pneumatík exportovať do zahraničia, kde sa ďalej používajú alebo spracovávajú.



Obrázok 13. Identifikácia rôznych kategórií použitých pneumatík [26]

3. Praktická časť

Táto časť diplomovej práce predstaví praktické využitie metódy LCA pre posúdenie a porovnanie dopadov na životné prostredie spôsobených reprezentačnými modelmi letnej, zimnej a celoročnej pneumatiky osobného automobilu.

3.1 Stanovenie cieľa a rozsahu

3.1.1 Cieľ štúdie

Štúdia si kladie za cieľ poukázať na viacero alternatív používania pneumatík osobného vozidla na Slovenskej Republike a v širšom prostredí Európskej únie z hľadiska environmentálnych a prípadne ekonomických dopadov pre spoločnosť a zákazníka, ako aj ukázať možnosti aplikácie LCA metodiky ako podklad rozhodovania v tejto problematike.

Jednotlivé ciele:

- Prezentácia materiálových a energetických tokov v rôznych fázach života pneumatiky
- Kvantifikácia a zhodnotenie emisií a odpadov, ktoré môžu mať vplyv na životné prostredie
- Identifikácia hlavných vplyvov počas života pneumatiky ako podnet na redukciiu potenciálnych environmentálnych vplyvov
- Porovnanie environmentálnych vplyvov viacerých kombinácií používania jednotlivých reprezentačných modelov pneumatík
- Zhodnotenie ekologických a ekonomických dôsledkov jednotlivých možností
- Vytvorenie podkladu pre výuku v oblasti LCA

3.1.2 Dôvody pre vykonanie štúdie

Štúdia porovná štyri varianty životných cyklov troch reprezentatívnych produktov pneumatík (letný plášť, zimný plášť, celoročný plášť) za účelom výberu alternatívy s najnižším ekologickým dopadom, s pomocou software SimaPro 8.3.

3.1.3 Zmýšľaná skupina adresátov

Štúdia bude podľa titulu diplomovej práce prístupná všetkým študentom a zamestnancom ČVUT v Prahe zamestnaných na pedagogických a podobných pozíciách, tiež

bude poskytnutá vybraným zamestnancom Continental Matador Rubber Púchov s.r.o., ktorí poskytovali údaje k jej spracovaniu.

3.1.4 Funkcia a funkčná jednotka

Funkciou produktového systému sa rozumie zabezpečenie prenosu síl z osobného automobilu na vozovku počas jeho používania, v rámci zahrnutia ostatných aktivít spojených s životným cyklom produktu – pneumatiky.

Funkčnou jednotkou sa rozumie 1 pneumatika osobného automobilu s dojazdom 50 000 km v prostredí Európskej únie.

Funkčná jednotka slúži k porovnaniu troch variantov pláštá – letného, zimného a celoročného. Všetky tri plášte sú vyrobené v závode Continental Matador Rubber Púchov v rozmerových špecifikáciách 195/65 R15.

Plášte sú porovnávané v štyroch scenároch použitia, tri zodpovedajúce kontinuálnemu použitiu jediného pláštá počas celej vzdialenosti 50 000 km, a jeden scenár so striedaním zimného a letného pláštá podľa ročného obdobia.

3.1.5 Rozsah štúdie a hranice systému

Rozsah štúdie je stanovený, aby boli zahrnuté všetky relevantné vstupy a výstupy jednotlivých fáz životného cyklu posudzovaných pneumatík.

Hranice systému boli zvolené s ohľadom na prístup „cradle to grave“ – od kolísky do hrobu. Tento prístup začína akvizíciou surových materiálov a energií a zahŕňa výrobu, transporty, používanie až po likvidáciu produktu.

Mapované boli teda dané toky v rámci celkového životného cyklu, s výnimkou častí zanedbaných z dôvodov špecifikovaných v nasledujúcom texte.

System je rozdelený do štyroch fáz životného cyklu:

Surové materiály & Transport

Akvizícia surových materiálov, zdroje potrebné na ťažbu, preprava materiálov (Transport I.) a energií na miesto výroby, odpady a emisie vylúčené popri činnostiach, balenia produktov sú zanedbané.

Výroba

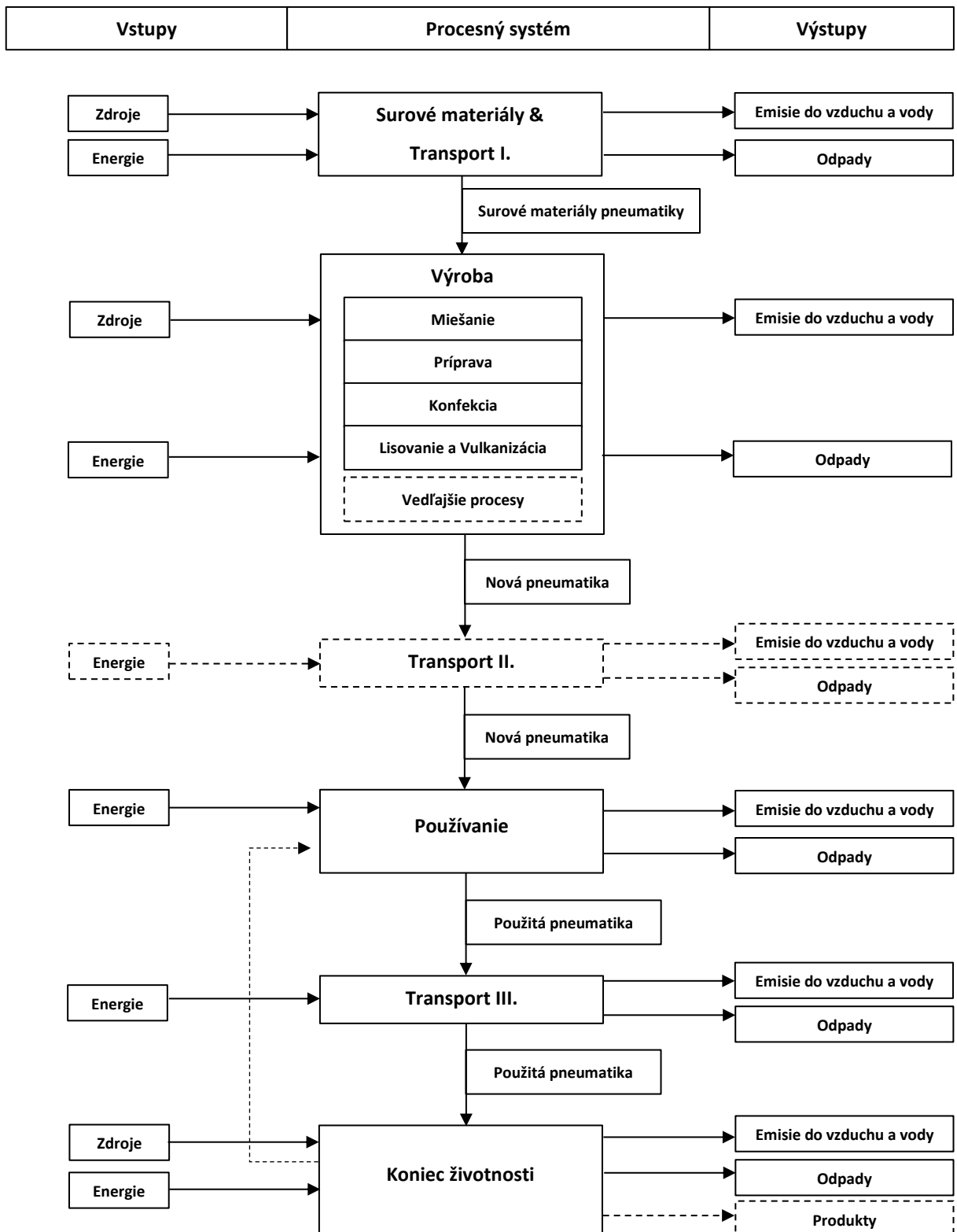
Zdroje a energie využité na priame výrobné procesy na konkrétnom mieste výroby v Continental Matador Rubber Púchov, odpady a emisie vzťahujúce sa k výrobným procesom. Preprava (Transport II.) a procesy medzi ukončením výroby a započatím používania pneumatiky nie sú zohľadnené, ako aj vedľajšie procesy bez možnosti jasného priradenia na zvolenú funkčnú jednotku.

Používanie

Palivá spôsobené spotrebou vozidla priradené na pneumatiku počas jazdenia vozidla na cestách počas daného úseku, hluk a drobný oterový prach nie sú zohľadnené.

Koniec životnosti

Zber (Transport III.) a triedenie pneumatík po ukončení životnosti, spôsoby spracovania a recyklácie.



Obrázok 14. Rozsah a hranice posudzovaného systému

Na diagrame je možno vidieť celkový rozsah a hranice štúdie, kde sú čiarkovane značené aspekty, ktoré neboli zahrnuté.

3.1.6 Použitá databáza a charakterizačná metóda

Softwarovým zdrojom LCA je program SimaPro 8.3.0.0 od spoločnosti PRé Consultants. Ako hlavný databázový modul bola využitá integrovaná databáza ecoinvent 3.2, kompilovaná v marci 2016 a vydávaná na rok 2017. Niektoré procesy boli použité z konvertovaných ecoinvent 2.2 údajov z mája 2010. Databáza ecoinvent bola zvolená predovšetkým pre svoju rozsiahlosť, spoľahlivosť a reprezentatívnosť vzhľadom na európske prostredie.

Ako charakterizačná metóda LCIA vyhodnotenia dopadov bola zvolená ReCiPe Endpoint 1.03 z novembra 2009 vo svojej hierarchistickej verzii. Táto metóda bola zvolená predovšetkým kvôli najväčšiemu počtu midpoint kategórií vplyvov, globálne mechanizmy vplyvov a kvôli zahrnutiu potenciálnych vplyvov z budúcich ťažieb do inventárnej analýzy. Hierarchistická alternatíva bola zvolená predovšetkým z dôvodu najväčšej akceptácie ako konsenzu pri vedeckých modeloch tohto typu.

Zvolené midpointové kategórie dopadu sú:

- Climate change Human Health – Globálne otepľovanie – Ľudské zdravie
- Ozone depletion – Redukcia ozónu
- Human toxicity – Toxicita na človeka
- Photochemical oxidant formation – Produkcia fotochemických oxidantov
- Particulate matter formation – Produkcia partikulátov
- Ionising radiation – Ionizujúca radiácia
- Climate change Ecosystems – Globálne otepľovanie – Ekosystémy
- Terrestrial acidification – Acidifikácia zeme
- Freshwater eutrophication – Eutrofizácia sladkých vôd
- Terrestrial ecotoxicity – Ekotoxicita zeme
- Freshwater ecotoxicity – Ekotoxicita sladkých vôd
- Marine ecotoxicity – Ekotoxicita slaných vôd
- Agricultural land occupation – Obsadenie poľnohospodárskych plôch
- Urban land occupation – Obsadenie mestských plôch
- Natural land transformation – Transformácia prírodných plôch
- Metal depletion – Spotreba kovov
- Fossil depletion – Spotreba fosílnych zdrojov

Tieto midpointové kategórie sú redukované do troch endpoint kategórií vplyvov:

- Ľudské zdravie
- Ekosystémy
- Zdroje

Následne je vypočítaná hodnota jedného skóre pre každý porovnávaný scénar, na základe ktorej je možné sumárne zhodnotiť ekologickú záťaž.

3.2 Inventarizačná analýza

Cieľom tejto časti je kvantifikovať všetky toky medzi produktovým systémom a životným prostredím a vytvoriť model. Po vytvorení modelu je inventarizačná analýza automaticky vygenerovaná softwarom SimaPro.

3.2.1 Zdroje dát

Údaje k popisu elementárnych tokov a vytvoreniu modelu boli získavané viacerými spôsobmi.

Nevyhnutné primárne dáta boli poskytnuté spoločnosťou Continental Matador Rubber Púchov s.r.o. Išlo predovšetkým o priamo získavané údaje o energetických a emisných tokoch výrobných fáz troch reprezentantov pneumatík, ako aj ich približné jazdné a všeobecné vlastnosti. Taktiež boli poskytnuté informácie o všeobecnom výrobnom procese a technológiách použitých, ako aj všeobecné environmentálne správy závodu. [15], [20], [21]

Ďalšia časť údajov bola získaná z literatúry – rady LCA štúdií podobnej problematiky. Z predošlého výskumu boli získané údaje zloženia zmesí jednotlivých pneumatík, a tým aj potreby na surové materiály. Taktiež hodnoty spotreby palív počas používania pneumatiky a informácie o zneškodnení pneumatiky v konečnom štádiu životného cyklu.

Veľká časť údajov bola zahrnutá priamo v databáze ecoinvent, čo pomohlo s tvorbou celého životného cyklu, jednalo sa hlavne o jednotkové procesy akvizície a transportu materiálov, energetický mix, akvizície palív, recyklačné scenáre. Jednotkové procesy a celkový spôsob vykonania LCA štúdie bol nastavený ako alokačný.

Prístupy kvalifikovaného odhadu a využitia hybridnej LCA boli využité minimálne.

3.2.2 Procesy produktového systému

V nasledujúcej časti budú popísané jednotlivé celky životného cyklu a metodika získavania jednotlivých údajov pre následné vytvorenie simulačného modelu.

Surové materiály & Transport

Presné množstvá zloženia výrobného mixu nebolo možné firmou CMR Púchov poskytnúť, keďže ide o citlivé informácie a priemyselné know-how. Boli však poskytnuté hmotnosti jednotlivých troch plášťov, z ktorých po získaní percentuálneho zloženia pneumatiky podobného typu analyzovanej v 2011 LCA štúdie Michelin pneumatík [27] bolo prepočítané na hmotnosť reprezentanta letnej pneumatiky. Následne bol podľa literatúry [28] vykonaný posun pomeru syntetického a prírodného kaučuku v mixoch zimnej a celoročnej pneumatiky v prospech prírodného.

Keďže dojazdy plášťov poskytnutých firmou sa medzi sebou líšili, a za účelom zjednotenia na funkčnú jednotku dojazdu 50 000 km, bolo vykonané normovanie koeficientami – v skutočnosti teda funkčná jednotka zodpovedá množstvu daného pláštá potrebného na vykonanie danej vzdialenosti.

Po normovaní bol vytvorený štvrtý scenár používania pneumatík – klasické kombinovanie zimného a letného pláštá podľa ročných teplotných cyklov. Ako zdroje pre pomer použitia zimnej a letnej pneumatiky bola použitá medzná teplota použitia zimnej pneumatiky: 7°C [29] a historické teplotné dáta za poslednú zimu 2018/2019 na území Slovenskej republiky [30]. Po zhodnotení z viacerých meracích staníc bolo určené obdobie 1.11.2018 – 31.3.2019, čo zodpovedá piatim mesiacom. Preto pre kombinovaný scenár boli považované surové materiály zodpovedajúce pomeru zimného a letného pláštá $5 : 7 = 0,416633 : 0,583333$.

Keďže v SimaPro je možné nastaviť pomerné zloženie z viacerých procesov, nebolo nutné vypočítavať samostatné hodnoty pre štvrtý scenár.

Proces tejto fázy pozostával teda z jednotkových procesov akvizície jednotlivých materiálov získaných z databázy ecoinvent 3, pre každý plášť. Do procesov sú zarátané transporty objemov materiálov podľa globálnej perspektívy.

Oxid kremičitý (Silika SiO₂) bol zohľadnený v pieskovej podobe. Ako ekvivalent kyseliny stearovej boli použité mastné kyseliny z vegetariánskeho oleja – podľa LCA štúdie [31]. Ako

materiál pätkových vlákien bola použitá nízko-legovaná oceľ a boli vynechané medené a bronzové obaly vlákien z dôvodu zanedbateľných objemov [32]. Taktiež boli vynechané ostatné zložky s minimálnymi objemami. Ako textilné vlákno bol zvolený Nylón 6-6.

	Carcass	Tread	Total tire	Hub
Raw material	wt %	wt %	wt %	wt%
Synthetic rubber	15.78	41.72	24.17	0
Natural rubber	24.56	3.53	18.21	0
Carbon Black	23.40	9.54	19.00	0
Silica	0.80	28.07	9.65	0
Sulfur	1.60	0.80	1.28	0
ZnO	1.83	0.91	1.58	0
Oil	4.02	10.64	6.12	0
Stearic Acid	0.87	1.47	0.96	0
Recycled rubber	0.60	0	0.50	0
Coated wires	17.2	0	11.4	0
Textile	7.0	0	4.7	0
Steel	0	0	0	100
Totals %	100.0	100	100	100
Weight (kg)	7.25	2.75	10.0	4.0

Tabuľka 1. Východiskové zloženie pre letnú pneumatiku [27]

	Summer	Winter	All Season	
Vlastnosti				
Pôvodná hmotnosť	8.50	9.40	8.80	[kg]
Pôvodný dojazd	46000	34000	44000	[km]
Surový materiál				
Syntetický kaučuk	2.233098	2.649971	2.217000	[kg]
Prírodný kaučuk	1.682446	3.208441	2.021000	[kg]
Elektrovodivé sadze - Carbon Black	1.755435	2.626471	1.900000	[kg]
Oxid kremičitý SiO ₂ - Silica	0.891576	1.333971	0.965000	[kg]
Síra	0.118261	0.176941	0.128000	[kg]
Oxid zinečnatý	0.145978	0.218412	0.158000	[kg]
Ľahký palivový olej	0.565435	0.846000	0.612000	[kg]
Mastné kyseliny	0.088696	0.132706	0.096000	[kg]
Oceľ	1.053261	1.575882	1.140000	[kg]
Nylón 6-6	0.434239	0.649706	0.470000	[kg]
Ostatné	0.270707	0.405029	0.293000	[kg]
Celková hmotnosť	9.24	13.82	10.00	[kg]

Tabuľka 2. Objemy surových materiálov po normovaní vzťahnuté na funkčnú jednotku

Výroba

Fáza výroby v sebe obsahuje priame výrobné procesy a zdroje na mieste závodu CMR Púchov, ktoré bolo možné priradiť k jednotlivým plášťom. Informácie boli poskytnuté, tak ako ich sleduje závod. Všetky hodnoty vôd, energií, emisií a odpadov boli rovnako normalizované na funkčnú jednotku.

Spotrebovanú vodu podnik rozlišuje na povrchovú z rieky Váh, podzemnú vodu z vlastných studní a pitnú vodu od verejného dodávateľa. Povrchová voda bola vyjadrená ako riečna voda na území SR, podzemná ako voda zo studne pod zemou na území SR. Pitná voda bola vyjadrená ako procesná pitná voda na území EÚ.

Spotreby tepelnej a elektrickej energie boli poskytnuté pre celý výrobný proces, zároveň s pomermi pre jeho hlavné časti:

	Teplo	Elektrina
Miešanie	0.15	0.4
Príprava	0.1	0.18
Konfekcia	0.05	0.15
Lisovanie a vulkanizácia	0.55	0.12
Ostatné	0.15	0.15

Tabuľka 3. Pomery energetických spotrieb procesov výroby

Tepelná energia je dodávaná cez potrubie formou zemného plynu priamo do závodu, kde je priamo využívaná v procesoch. Elektrická energia je simulovaná pre energetický mix Slovenskej republiky obsiahnutý priamo v procese databázy ecoinvent, dodávaná v strednom napätí.

Emisie do ovzdušia, vody a odpady podnik meria iba celkovo na výstupoch. Preto nebolo možné konkretizovať environmentálne vplyvy na jednotlivé výrobné procesy, ale iba ako výrobný celok.

Emisie do vzduchu boli poskytnuté ako: prach, SO₂ - oxid siričitý, NO_x - oxidy dusíku, CO - oxid uhoľnatý, TOC - celkový organický uhlík, NMVOC – nemetánové volatilné organické zlúčeniny, CO₂ – oxid uhličitý.

Emisie do vody boli poskytnuté ako: odpadová voda (zahŕňajúca vody dažďové, splaškové, priemyselné), BOD5 – biologická spotreba kyslíku, COD – chemická spotreba kyslíku, nerozpustné látky, NEL – ropné látky, RL550 – rozpustné látky.

Odpady podnik zaznamenáva vo forme: odpad gumový (všetky odpady obsahujúce gumu vrátane už spracovaných pomocných materiálov (oceľokord, textil)), odpad tekutý, odpad pevný, ostatné odpady.

Vstupy	Summer	Winter	All Season	
Vody				
Voda, povrchová	7.23411606	10.82363939	7.82986679	[kg]
Voda, podzemná	16.78851309	25.11886872	18.17109652	[kg]
Voda pitná	5.00680560	7.49115135	5.41913077	[kg]
Energie				
Energia, tepelná	8.10447316	11.58484416	8.60173740	[kWh]
Energia, elektrická	9.45324413	13.51282901	10.03326460	[kWh]

Výstupy	Summer	Winter	All Season	
Emisie do vzduchu				
Prach	0.00025643	0.00031695	0.00025342	[kg]
Oxid siričitý	0.00001560	0.00002334	0.00001688	[kg]
NOX - Oxidy dusíku	0.00189312	0.00283248	0.00204903	[kg]
Oxid uhelnatý	0.00003505	0.00005244	0.00003794	[kg]
TOC - Celkový organický uhlík	0.00247875	0.00370869	0.00268288	[kg]
NM VOC - Nemetánové prchavé organické látky	0.00349380	0.00836385	0.00494119	[kg]
Oxid uhličitý	3.07043945	4.59397238	3.32329917	[kg]
Emisie do vody				
Odpadová voda, celková	30.61729582	45.80940731	33.13872018	[kg]
BOD - BSK - Biologická spotreba kyslíka	0.00012786	0.00019131	0.00013839	[kg]
COD - CHSK - Chemická spotreba kyslíka	0.00091928	0.00137542	0.00099499	[kg]
Nerozpustné látky	0.00018105	0.00027088	0.00019595	[kg]
NEL - Ropné látky	0.00000871	0.00001303	0.00000942	[kg]
RL 550 - Rozpustné látky	0.02214429	0.03313215	0.02396794	[kg]
Odpady				
Odpad, gumový	0.18839179	0.29540041	0.20716891	[kg]
Odpad, tekutý	0.02635320	0.03989337	0.02885904	[kg]
Odpad, pevný	0.06966562	0.10545953	0.07628988	[kg]
Ostatné	0.12686041	0.19204079	0.13892312	[kg]

Tabuľka 4. Vstupy a výstupy výrobnjej fázy

Vedľajšie a režijné činnosti neboli posudzované z dôvodov ťažkej alokácie na funkčnú jednotku a nízkej komparatívnej relevancie. Vnútropodniková preprava tiež nebola zahrnutá.

Používanie

Fáza používania pneumatiky zahŕňa dobu, počas ktorej pneumatika prejde 50 000 km vzdialenosť na osobnom vozidle v oblasti Európskej únie.

Najväčší vplyv na prostredie počas používania pneumatiky má práve spotreba paliva vozidla, ktorú je možné priradiť pneumatike. Objem palív spotrebovaných bol vypočítaný v závislosti od koeficientov valivého odporu pneumatík - RRC, ktoré boli poskytnuté výrobcom plášťov pre jednotlivé modely pneumatík.

Najskôr bol použitý priemerný EÚ 2016 koeficient 10.01 kg/t pre B segment vozidiel [33], v kombinácii so súčasnými priemernými spotrebami benzínových a dieselových automobilov v EÚ [34] na stanovenie základnej hodnoty. Následne boli pomocou údajov [27] o spotrebách pri rôznych hodnotách valivých odporov extrapolované hodnoty pre dané tri valivé odpory pneumatík z štandardných USA testov FTP 75 (EPA Federal Test Procedure), HWFET (The Highway Fuel Economy Test) a z európskeho NEDC (New European Driving Cycle).

					Summer		All Season	Winter			
Koeficient valivého odporu RRC	3	4	5.5	6	7.8	8	8.3	8.7	10	11.5	[kg/t]
Spotreba											
FTP 75 / HWFET	8.4600	8.5700	8.7300	8.7900		9.0000			9.2200	9.3700	[l/100km]
NEDC	10.4700	10.5800	10.7300	10.7900		11.0000			11.2100	11.3600	[l/100km]
NEDC upravené - Benzín	4.2029	4.2471	4.3073	4.3314	4.3612	4.4157	4.4455	4.4622	4.5000	4.5602	[l/100km]
NEDC upravené - Diesel	4.7633	4.8134	4.8816	4.9089	4.9512	5.0045	5.0343	5.0629	5.1000	5.1682	[l/100km]

Tabuľka 5. Spotreba palív pri rôznych hodnotách valivých odporov

Keďže táto spotreba sa vzťahuje na celé vozidlo, bolo podľa literatúry [18], [27] alokovaných 8% spotreby priamo na pneumatiky. Táto hodnota bola následne prevedená na jedinú pneumatiku, najazdenú vzdialenosť 50 000 km a podľa pomeru benzínových (53.9%) a dieselových (42.1%) vozidiel na cestách EÚ [35], vypočítaná alokovaná spotreba benzínu a nafty na jednu pneumatiku. Alternatívne pohony (3.4%) boli zanedbané.

	Summer	Winter	All Season	
Činiteľ valivého odporu CR	7.8	8.7	8.3	[kg/t]
Spotreba - Benzín - Vozidlo	4.361200	4.445470	4.462150	[l/100km]
Spotreba - Diesel - Vozidlo	4.951220	5.034330	5.062880	[l/100km]
Spotreba - Benzín - Pneumatika	0.087224	0.088909	0.089243	[l/100km]
Spotreba - Diesel - Pneumatika	0.099024	0.100687	0.101258	[l/100km]
Spotreba - Benzín - Pneu / 50000 km	24.379108	24.850177	24.943419	[l]
Spotreba - Diesel - Pneu / 50000 km	21.834880	22.201395	22.327301	[l]
Spotreba - Benzín - Pneu / 50000 km	17.972766	18.320048	18.388787	[kg]
Spotreba - Diesel - Pneu / 50000 km	18.537813	18.848985	18.955878	[kg]

Tabuľka 6. Alokovaná spotreba na funkčnú jednotku

Ďalším aspektom fázy používania pneumatiky je uvoľňovanie tzv. drobného oterového prachu – abrazív do vzduchu, zeme a vody. Podnikom boli poskytnuté hmotnosti ojazdených pneumatík, z čoho bolo možné vypočítať hmotnosť stratenú počas používania. Následne boli použité hodnoty z literatúry o špecifických emisiách osobných automobilov na kilogram abrazív, kilogram vozidla a kilometer jazdy [36]. Hodnoty sú uvedené v prílohách 1.,2.

Keďže váha vozidla a prejdená vzdialenosť boli vo všetkých prípadoch rovnaké, bolo ich možné zanedbať, preto sú objemy abrazív závislé iba od hmotnosti stratenej počas používania jednotlivých plášťov.

	Summer	Winter	All Season	
Pôvodná celková hmota	9.239130	13.823529	10.000000	[kg]
Hmotnosť ojazdenej hmoty	7.282609	11.617647	8.181818	[kg]
Strata	21%	16%	18%	
Hmotnosť stratenej hmoty	1.956522	2.205882	1.818182	[kg]

Tabuľka 7. Straty hmotností počas fázy používania

Znečistenie hlukom bolo zanedbané z dôvodov náročného kvantifikovania ekologických dopadov, nedostatočnej podpory tohto dopadu v databázach ecoinvent a relatívne malého dopadu na celkový vplyv životného cyklu.

Ostatné vedľajšie činnosti, ako napr. vplyvy skladovania pneumatík, údržba, poruchovosť, neboli zahrnuté.

Koniec životnosti

Po ukončení používania pneumatiky nasleduje v produktovom systéme zber a transport ojazdených pneumatík, uvažovaný podľa ojazdenej hmotnosti prepravovanej za spotreby palív, vody a elektriny získaných zo štúdie [37].

Ako pomerné hodnoty jednotlivých ciest spracovania boli využité zdroje ETRMA pre Európsku úniu + okolité krajiny za rok 2016 [24].

Z týchto možností boli do produktového systému zahrnuté pneumatiky ukladané na skládky, pneumatiky spaľované ako zdroj tepla v teplárňach a pneumatiky spaľované za účelom produkcie cementu v cementárňach. Údaje boli použité vo forme procesov z databázy ecoinvent 3.

Ostatné spôsoby spracovania neboli zahrnuté z dôvodu nedostatku presných informácií o vstupoch a výstupoch jednotlivých procesov, relevantných v európskom geografickom prostredí.

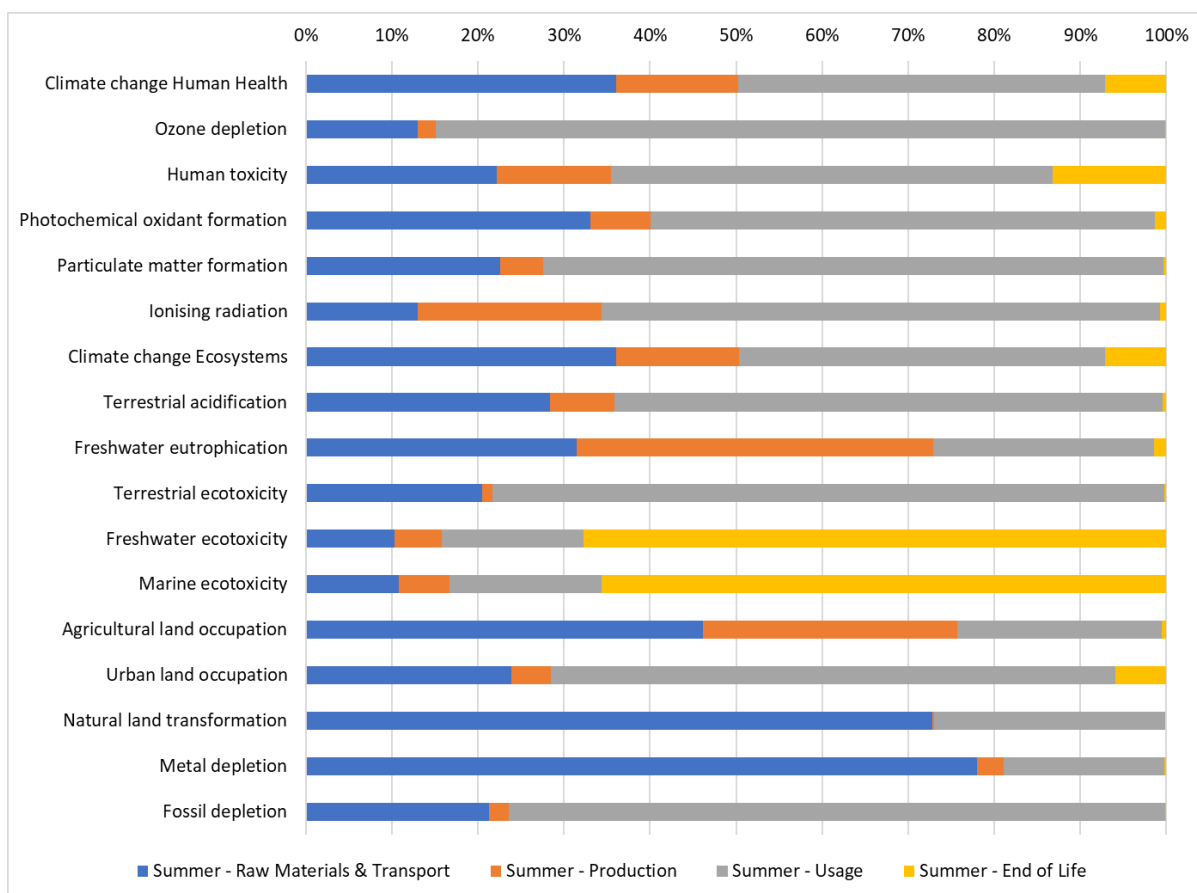
Ako koniec produktového systému je možné vnímať zahrnuté cesty spracovania, ktoré odoberajú zdroje z kolobehu. Spätné vracanie zdrojov nebolo zahrnuté v analýze.

3.3 Hodnotenie životného cyklu LCIA

Po dokončení inventarizačnej fázy boli jej výsledky z programu SimaPro použité na vyhodnotenie dopadov na životné prostredie – Life Cycle Impact Assessment podľa metódy ReCiPe Endpoint (Hierarchistická). Bola použitá normalizácia charakterizačných faktorov podľa európskych hodnôt a bolo vykonané váženie podľa priemerných hodnôt. Údaje boli exportované z výstupu a vizuálne zobrazené na grafoch. Midpoint indikátory sú zobrazované ako percentuálny pomer, endpointové indikátory a jednotlivé procesy sú zobrazované v normalizovaných vážených bodoch environmentálnych dopadov.

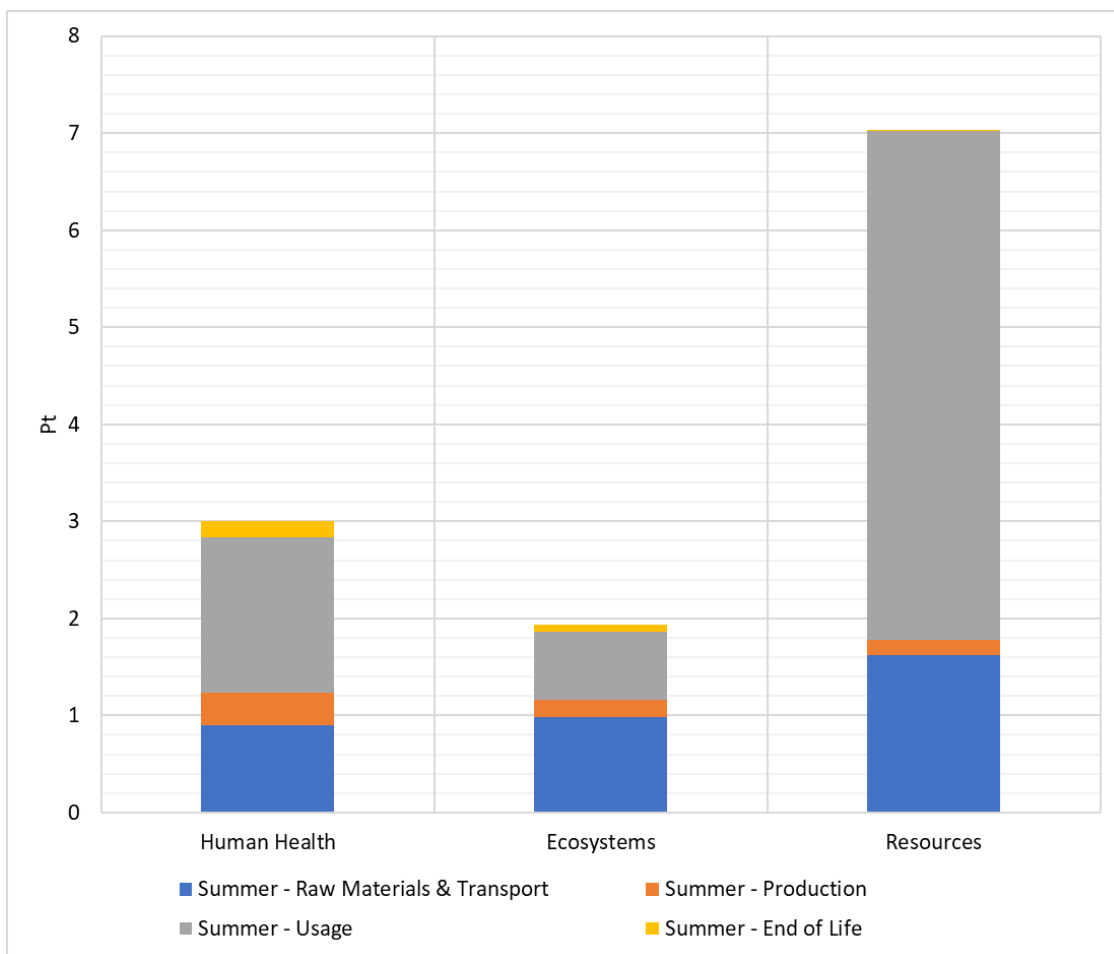
3.3.1 Letný plášť

Na nasledujúcom grafe je možné vidieť percentuálne zaradenie vplyvov podľa štyroch fáz životného cyklu, rozdelených na midpointové kategórie indikátorov pre scenár neustáleho používania letnej pneumatiky.



Obrázok 15. Letný plášť - Midpoint kategórie podľa indikátorov

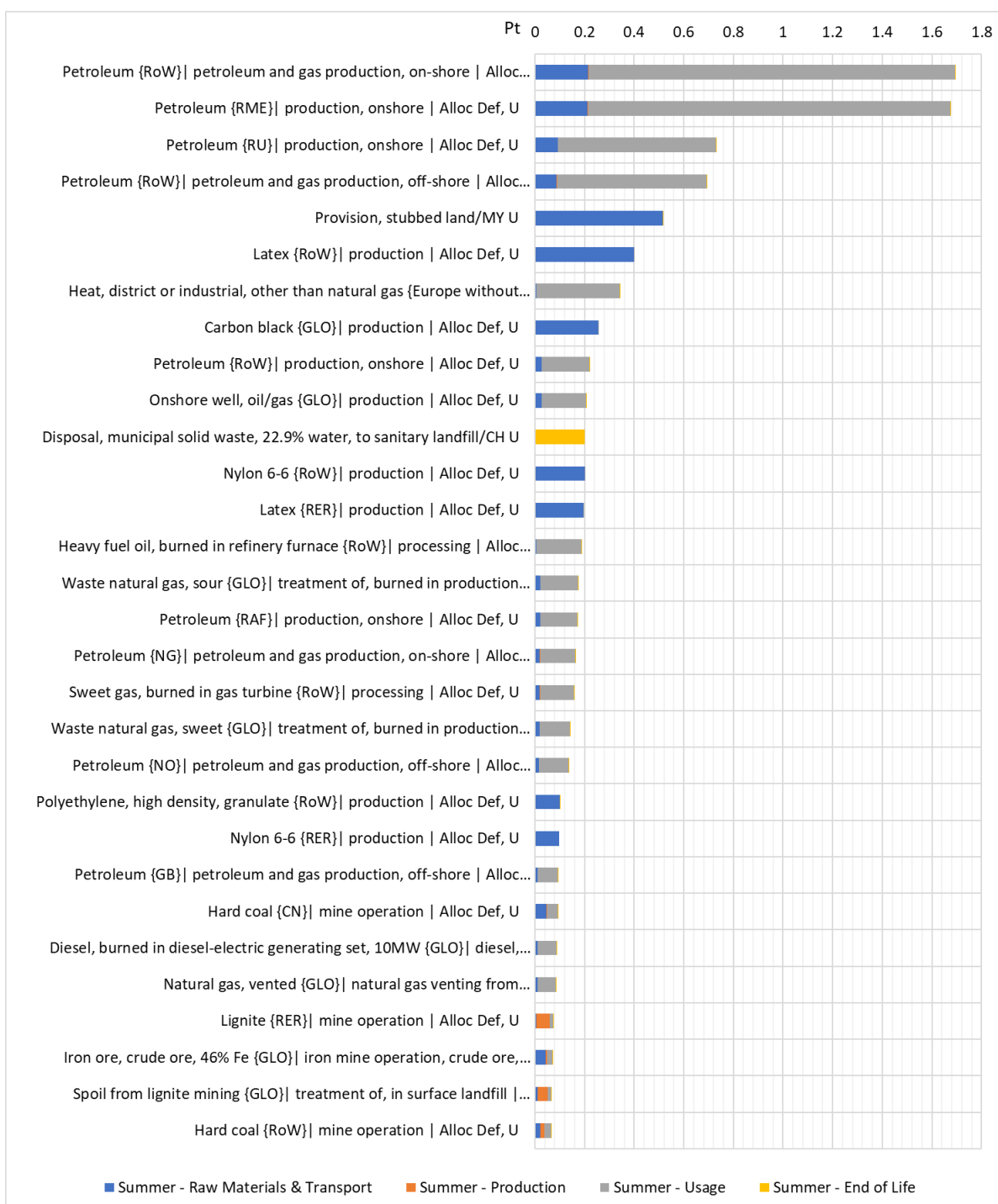
Z grafu je už zrejmé, že jednotlivé fázy vplyvajú na rozdielne indikátory nerovnomerne. Zatiaľ čo indikátory spotreby kovov, transformácie prírodných plôch a globálneho otepľovania sú zaťažované vo fáze surových materiálov a transportu, výroba spôsobuje najviac eutrofizáciu sladkých vôd. Fáza používania má celkovo pomerne najvyššie dopady, naprieč väčšiny indikátorov, okrem ekotoxicity sladkých a slaných vôd, ktoré sú spôsobené spracovaním pláštá.



Obrázok 16. Letný plášť - Endpoint kategórie

Po normalizácii, vážení a zlučovaní do endpoint indikátorov sú na nasledujúcom grafe zobrazené tieto kategórie v prehľadnejšej forme. Fáza používania sa podieľa najväčším dielom na všetkých troch parametroch. Fáza surových materiálov a transportu sa najviac premieta do ukazateľa zdrojov, má však podstatný vplyv aj na ľudské zdravie a ekosystémy. Z koncových kategórií sú počas životného cyklu jednoznačne najviac zasiahnuté prírodné zdroje, viac ako dvojnásobok hodnoty vplyvu na ľudské zdravie.

Z hľadiska vplyvu jednotlivých procesov je možné jednoznačne povedať, že najviac sa podieľa na ekologických dopadoch produkcia ropy a zemného plynu spotrebovaného pri používaní pneumatiky a čiastočne na výroby gummy. Veľké dopady má tiež produkcia prírodného kaučuku v prvej fáze. Je nutné poznamenať, že zvyšné procesy nezobrazené na grafe majú dokopy značný dopad a sčítané dokopy by boli tretie najvýznamnejšie podľa vplyvu.

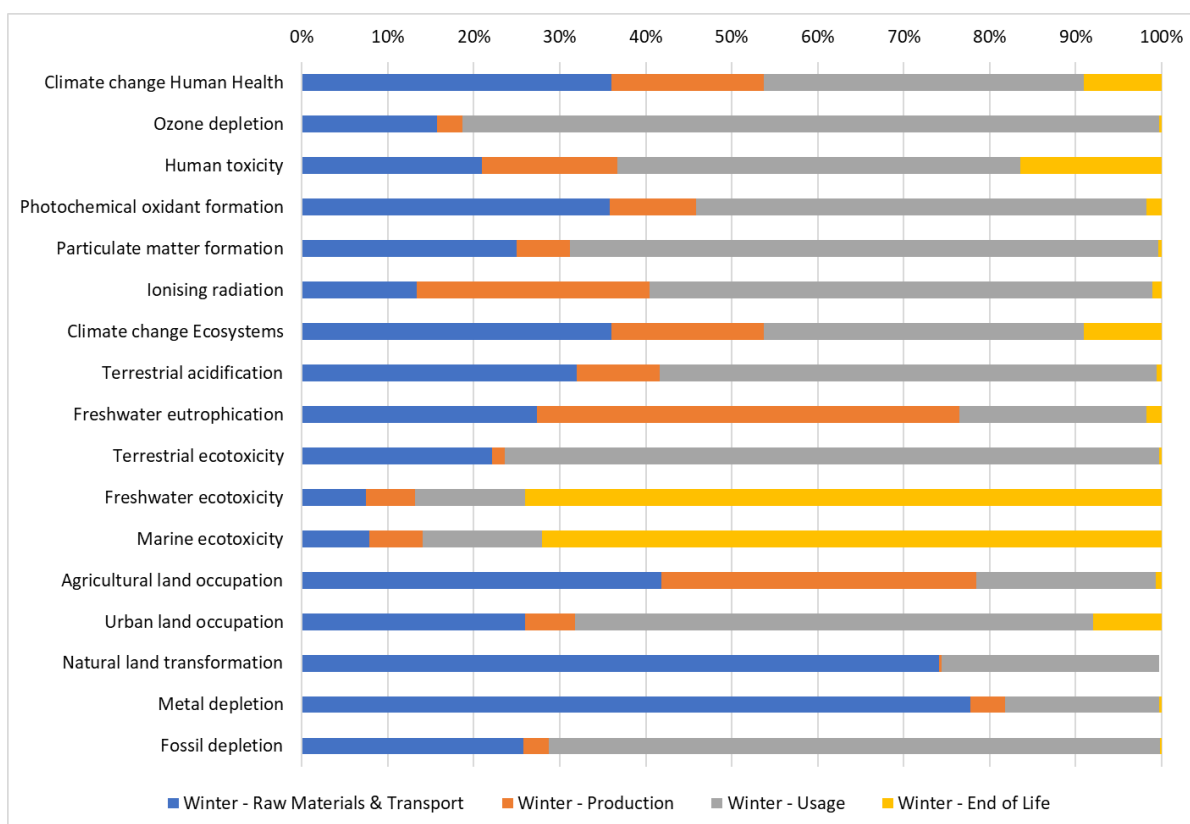


Obrázok 17. Letný plášť - Procesy s najväčšími dopadmi

Najvplyvnejšie procesy nastávajú vo všeobecnosti v získavaní materiálov, alebo počas používania. Výnimkou je spracovanie na skládke a ťažba lignitu, ktorá je súčasťou získavania energetického mixu použitého počas výrobnnej fázy.

3.3.2 Zimný plášť

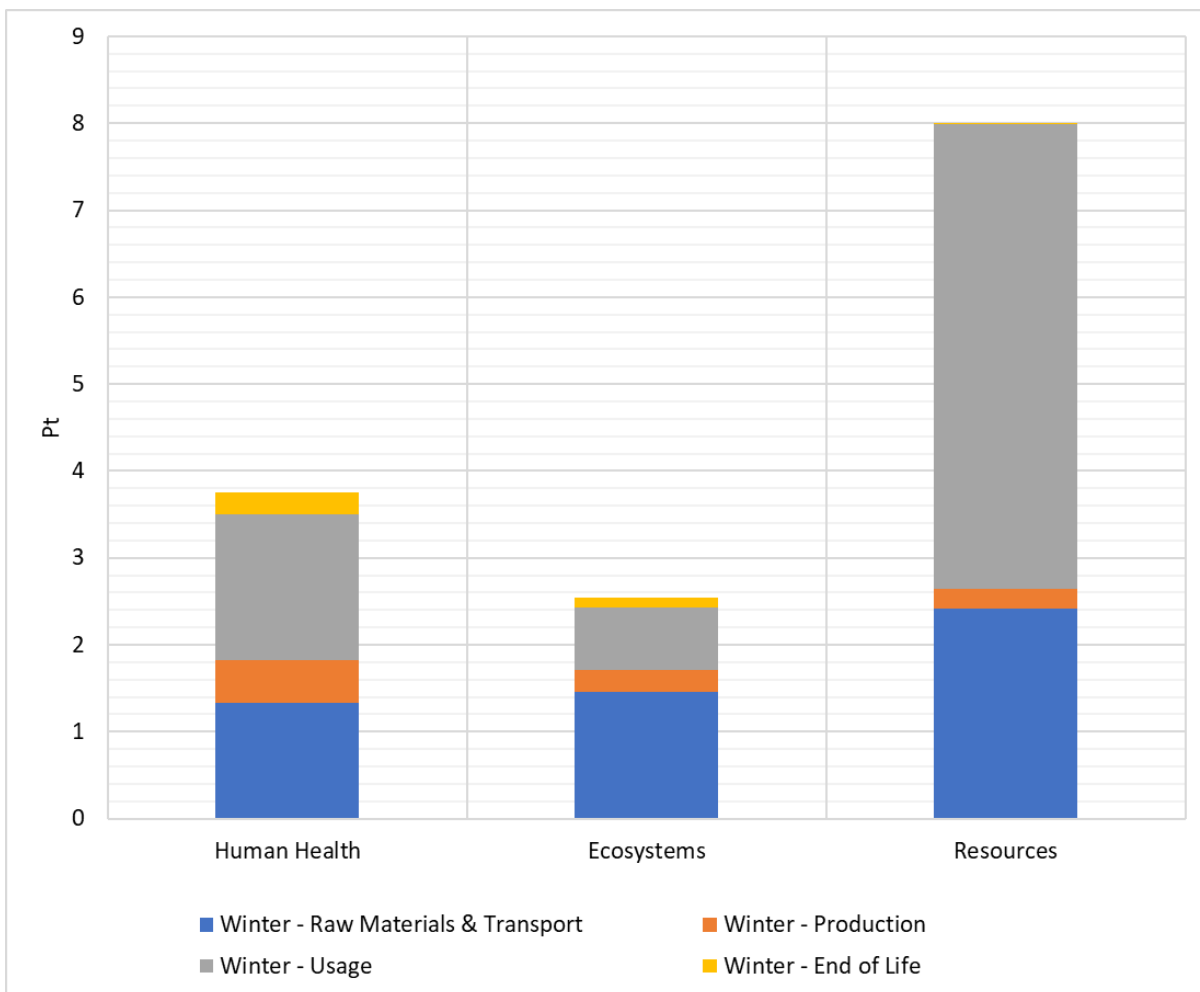
Tak ako pri letnom plášti sú zobrazené na grafe midpoint kategórie pre konštantné používanie zimného plášťa počas 50 000 km jazdy. Je vidno podobné tendencie ako pri letnom plášti, s miernymi rozdielmi v pomeroch.



Obrázok 18. Zimný plášť - Midpoint kategórie podľa indikátorov

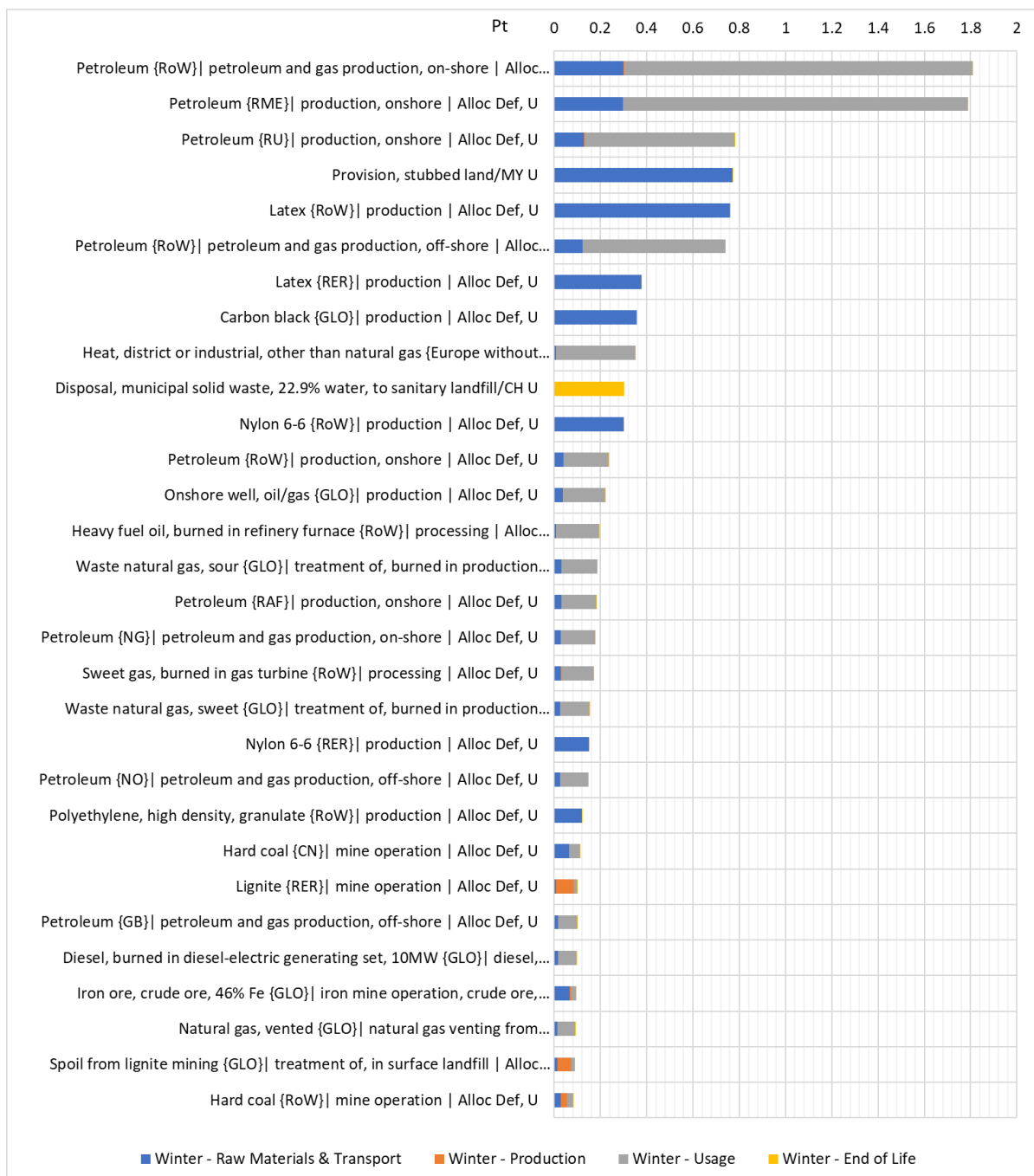
V endpoint kategóriách je možno pozorovať vyššie hodnoty, zároveň je možné vidieť väčší vplyv fázy surových materiálov a transportov. Spracovanie ojazdenej pneumatiky má tiež pomerne väčšie negatívne dopady, najväčší nárast oproti letnému plášťu je však znova počas fázy používania. Tieto zmeny mohli byť spôsobené nižším dojazdom zimného plášťa, ktorý sa preto premietne do väčšieho objemu hmotnosti funkčnej jednotky a následne väčšej potreby

surových materiálov. Zároveň má zimný plášť v mixe pomerne viac prírodného kaučuku oproti syntetickému [17].



Obrázok 19. Zimný plášť - Endpoint kategórie

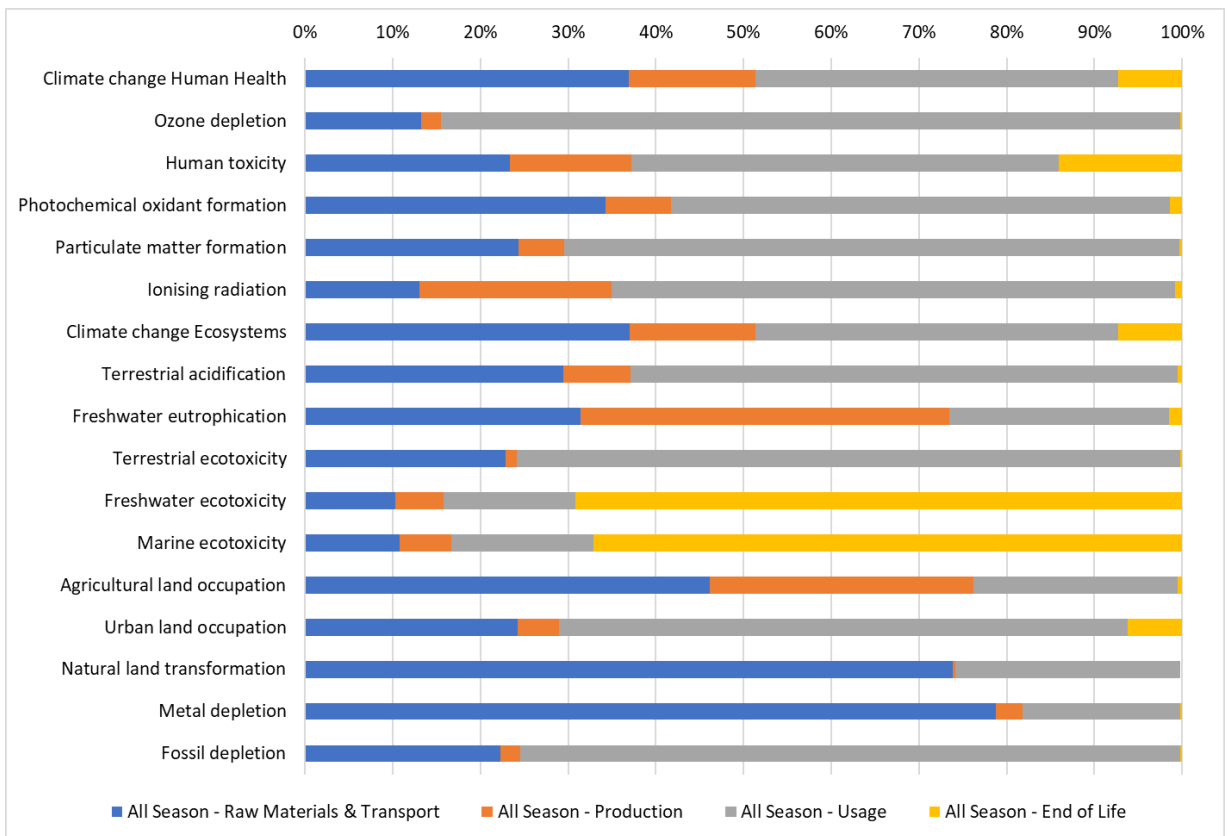
Vplyvné procesy je možné približne prirovnať ku letnému plášťu. Je vidno vyšší vplyv zaberania pôdy a získavania latexu na prírodný kaučuk kvôli jeho väčšiemu pomeru v gumovom mixe. Ťažba ropy zostáva medzi najviac ekologicky náročnými procesmi, rozdelená podľa geografického pôvodu.



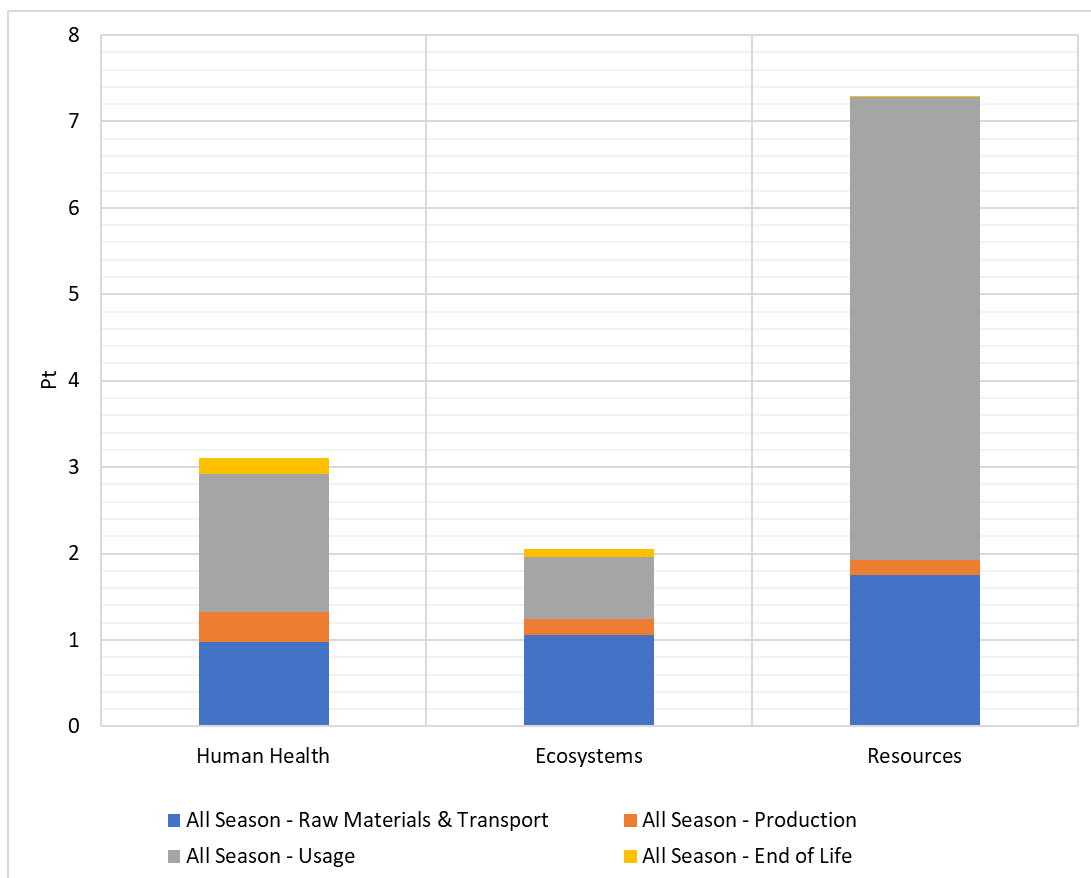
Obrázok 20. Zimný plášť - Procesy s najväčšími dopadmi

3.3.3 Celoročný plášť

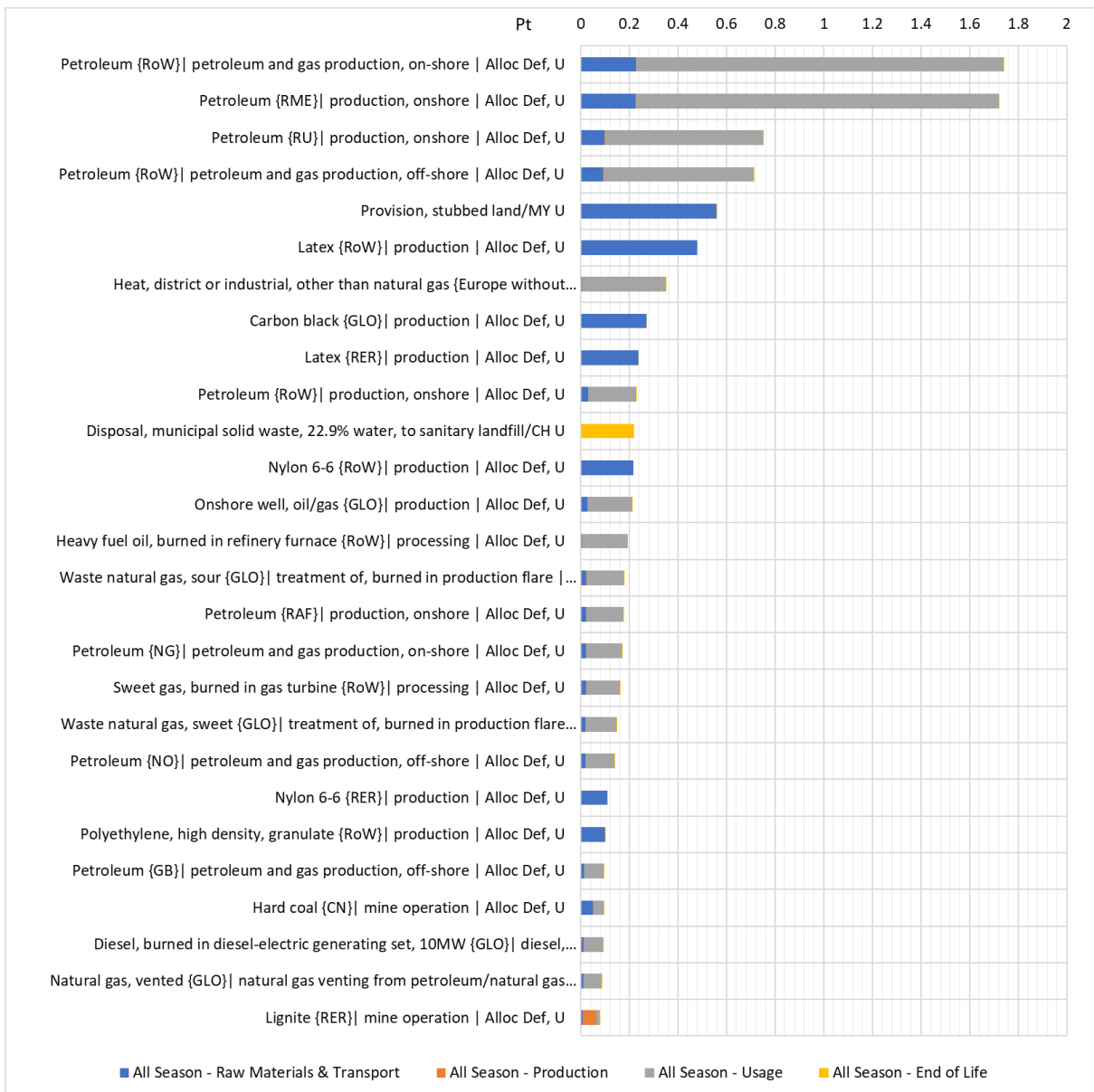
Celoročný plášť by mal teoreticky vo väčšine ohľadov reprezentovať akýsi priemer medzi letnou a zimnou pneumatikou, či už sa týka dojazdu, zloženia, valivého odporu. V miernych podmienkach strednej Európy je z individuálnych plášťov najviac prispôsobený na scenár konštantného používania počas celého roku. V midpointových kategóriách je vidno bližšiu podobnosť s letným plášťom.



Obrázok 21. Celoročný plášť - Midpoint kategórie podľa indikátorov



Obrázok 22. Celoročný plášť – Endpoint kategórie



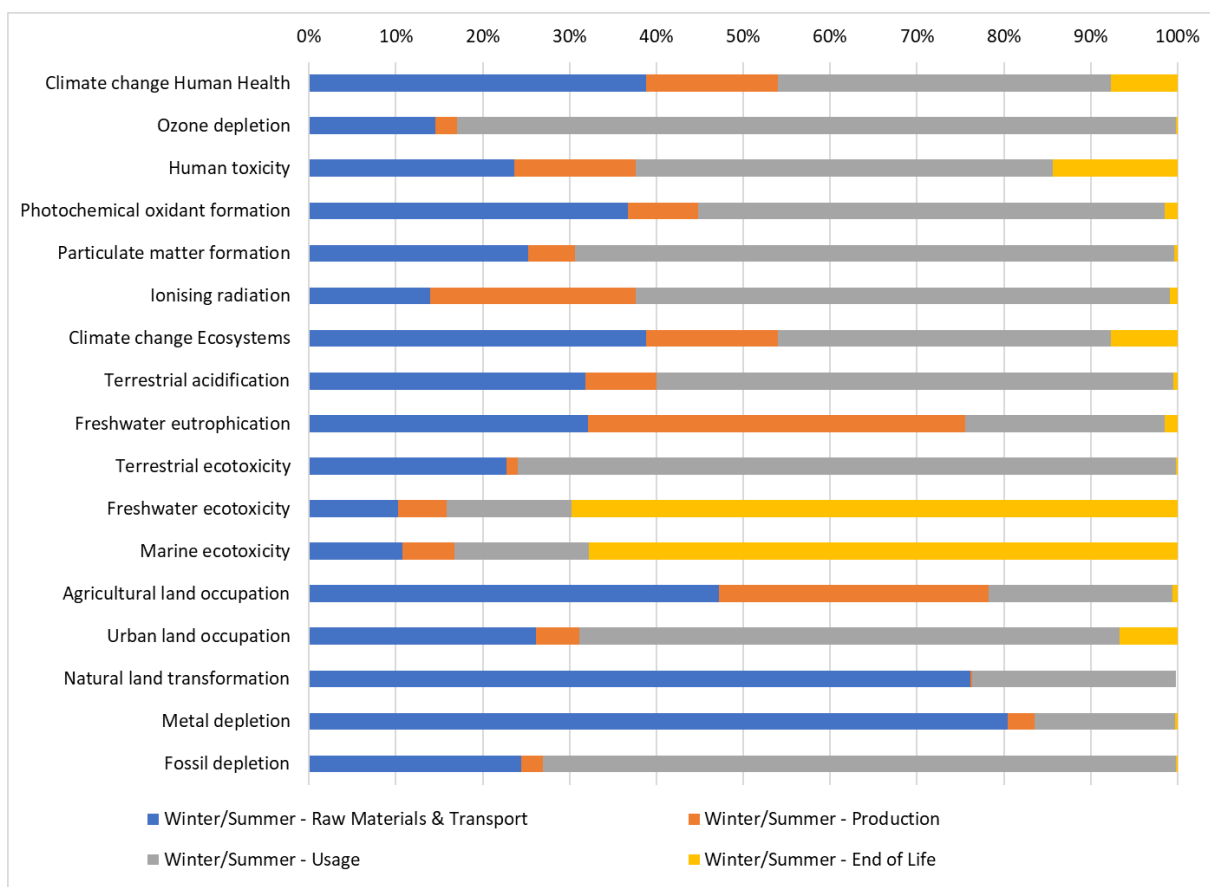
Obrázok 23. Celoročný plášť - Procesy s najväčšími dopadmi

Z procesného hľadiska tiež pripomína celoročný plášť letnú alternatívu – prvých 8 procesov je identických, aj keď s mierne menším vplyvom konečnej fázy. Rozdiely sú v procesoch získavania prírodného kaučuku, nylónu, zdrojov vynaložených na výrobnú fázu. Spotreba ropy počas používania sa pohybuje medzi hodnotami zimného a letného plášťa. Keďže dojazd celoročného plášťa je podstatne bližšie k letnému plášťa, je možné dedukovať aj podobný objem hmoty, preto spotrebu palív zvyšujú pravdepodobne jazdné vlastnosti.

3.3.4 Kombinácia Zimný/Letný plášť

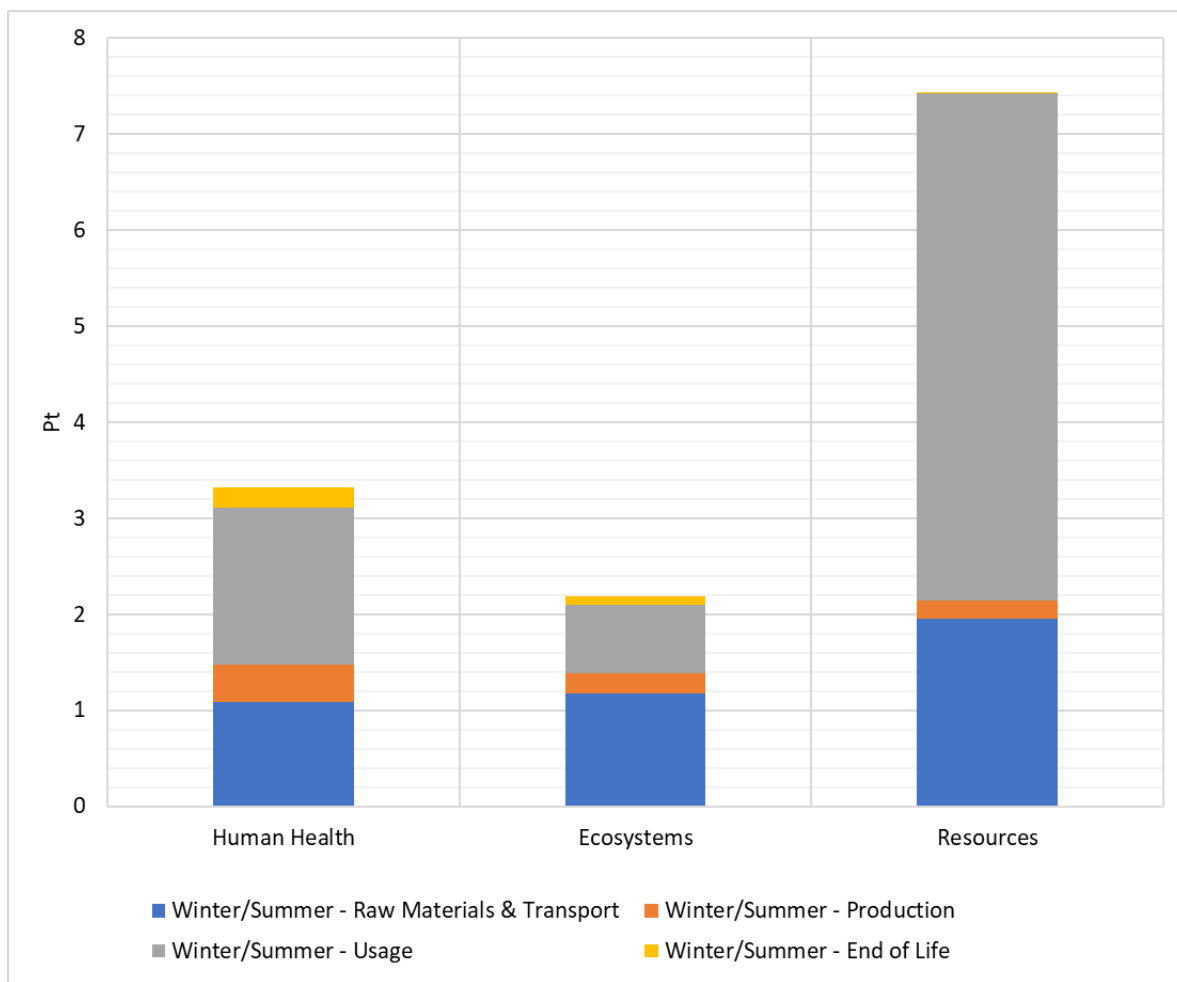
Pre simuláciu realistických podmienok bola modelovaná alternatíva kombinovania zimného a letného plášťa v príslušných ročných obdobiach. Ide o častú a odporúčanú alternatívu, ktorú je možné vierohodne porovnať s celoročným plášťom. [29]

V kontexte midpoint kategórií vplyvov je v porovnaní s celoročným plášťom možné badať väčší vplyv fázy akvizície surových materiálov a transportov, zároveň je evidentný menší dopad počas používania pneumatiky. Výrobná fáza ovplyvňuje indikátory podobne ako pri letnom, zimnom plášti.



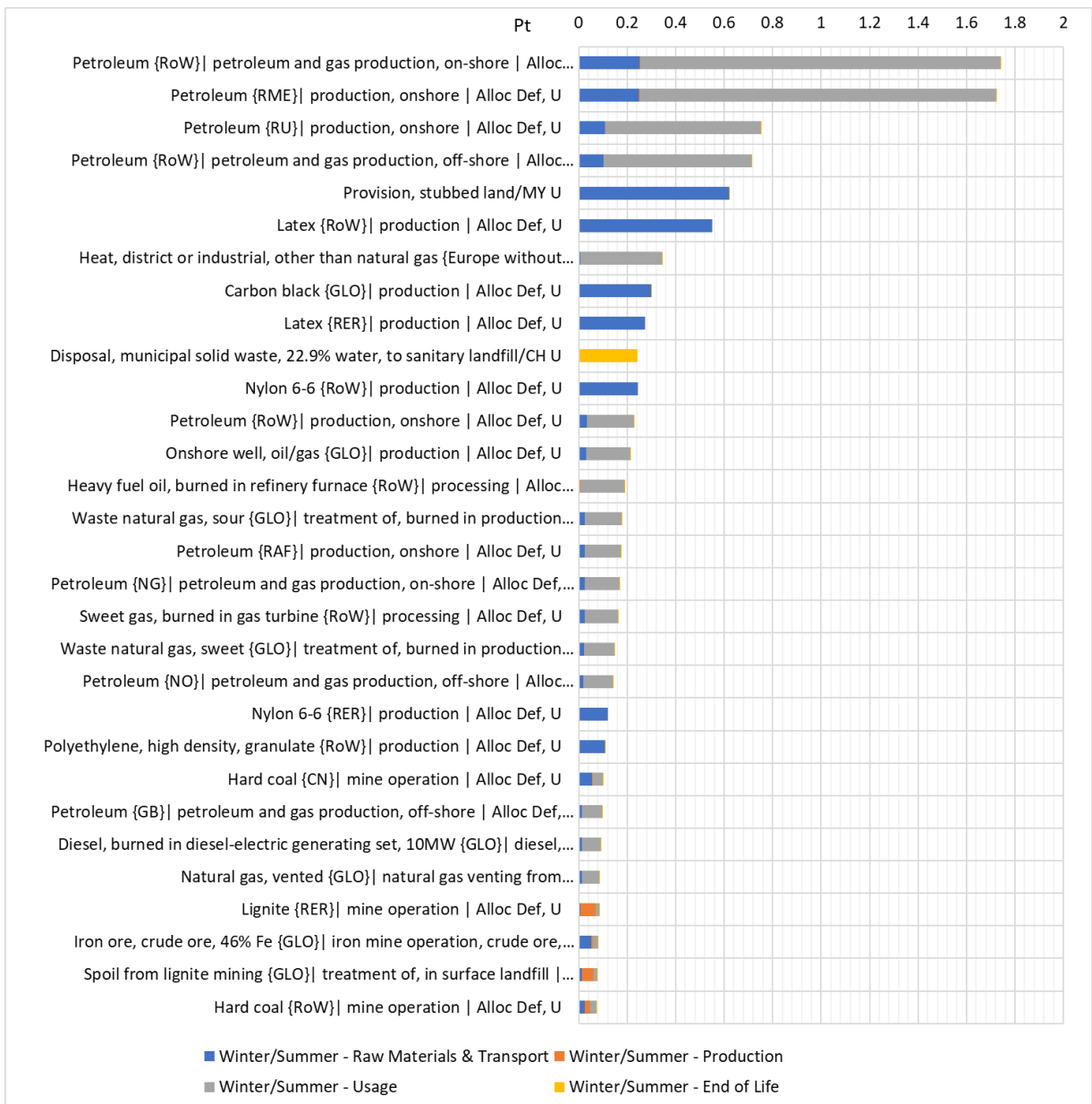
Obrázok 24. Kombinácia Zimný/Letný plášť - Midpoint kategórie podľa indikátorov

V endpoint indikátoroch dosahuje kombinovanie pneumatík hodnoty blízke celoročnému plášťu, sú však mierne vyššie vo všetkých troch kategóriách. Stále však nedosahuje výšku skóre dopadov zimného plášťa.



Obrázok 25. Kombinácia Zimný/Letný plášť – Endpoint kategórie

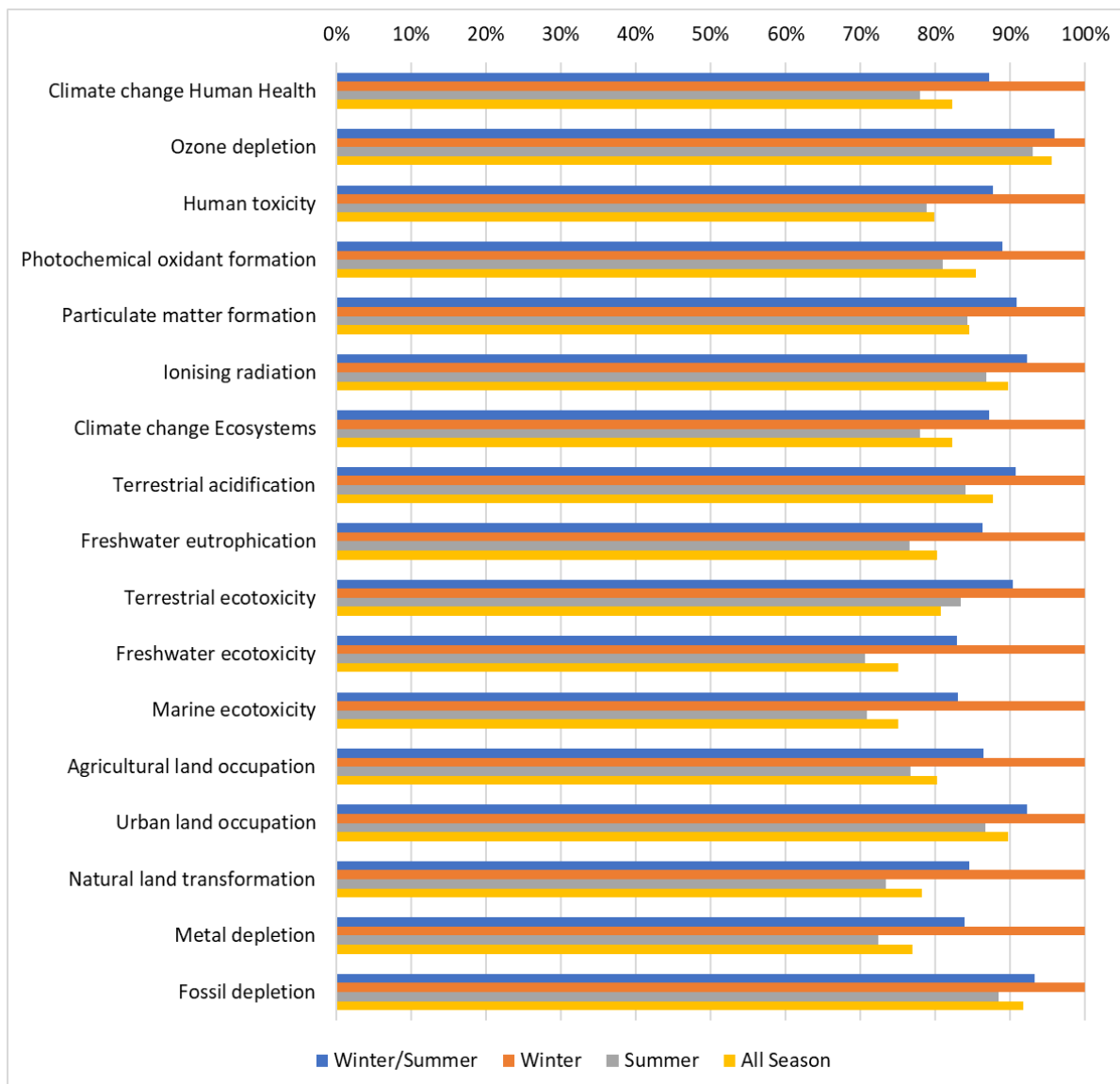
Keďže ide doslova o kombináciu zimného a letného plášťa, je zaujímavé, že najvýznamnejšie jednotkové procesy vyzerajú skoro identicky ako pri celoročnom plášti. Jediné viditeľné rozdiely sú v malých odchýlkach pri spracovaní odpadu, potreby nylónu a zdrojov využitých na energie počas výrobnjej fázy. Oproti zimnému plášťu má kombinácia menšie nároky na získavanie prírodného kaučuku.



Obrázok 26. Kombinácia Zimný/Letný plášť - Procesy s najväčšími dopadmi

3.3.5 Komparatívna analýza

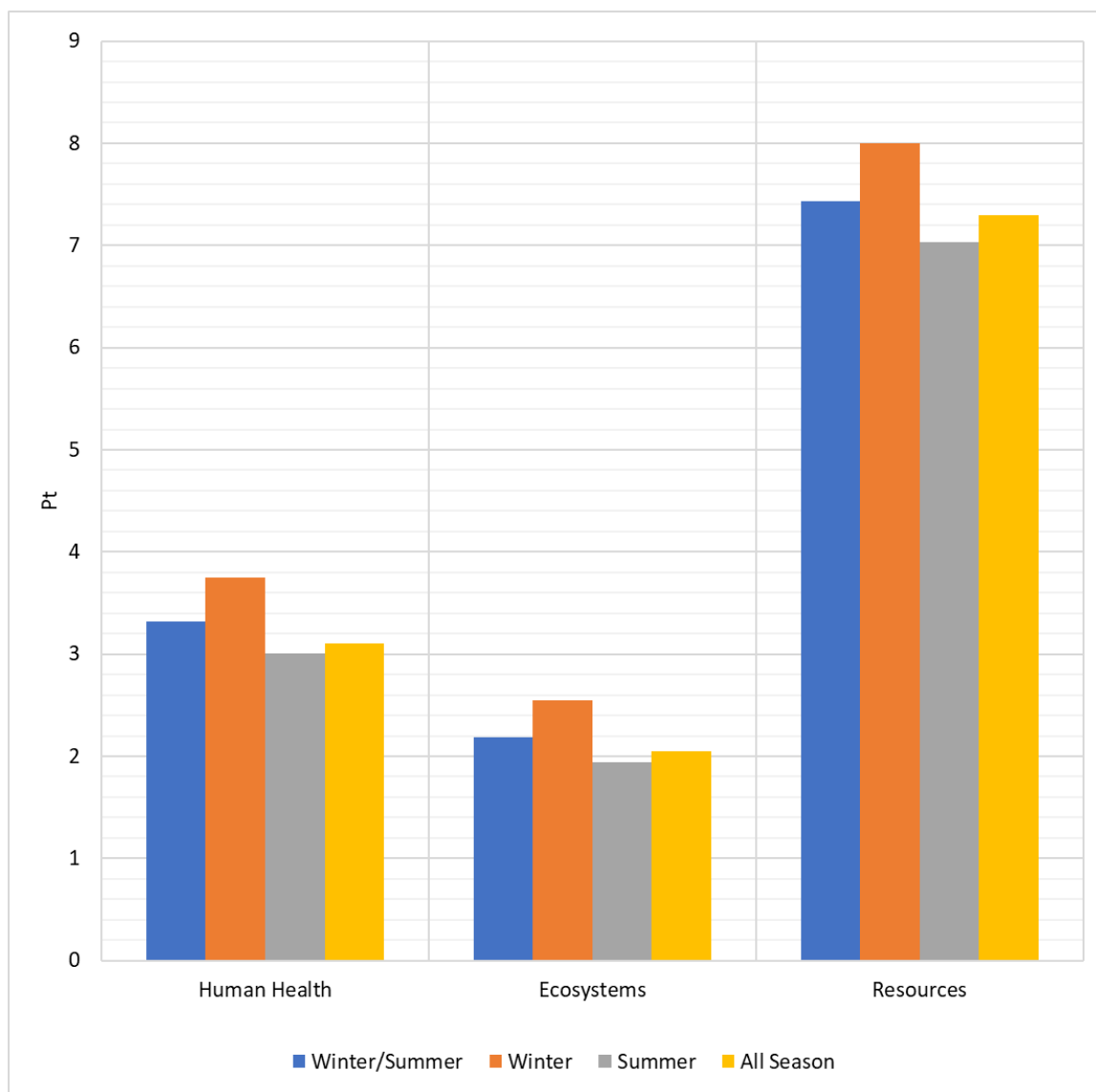
Po vykonaní individuálnych analýz bola uskutočnená komparatívna analýza všetkých štyroch scenárov s rovnakými podmienkami. Najskôr boli porovnané jednotlivé pneumatiky podľa midpoint indikátorov:



Obrázok 27. Celkové porovnanie - Midpoint kategórie podľa indikátorov

Už na prvý pohľad je evidentný zásadne vyšší negatívny dopad pri používaní zimného plášťa vo všetkých indikátorových kategóriách. Najväčší rozdiel je viditeľný pri ekotoxícite sladkých a slaných vôd, spotrebe kovov a globálnom otepľovaní. Kombinovanie zimného a letného plášťa nasleduje ako druhá najvplyvnejšia tiež vo všetkých kategóriách. Celoročný plášť je možné tesne porovnať s kombinovaním zimného a letného, vo všetkých kategóriách

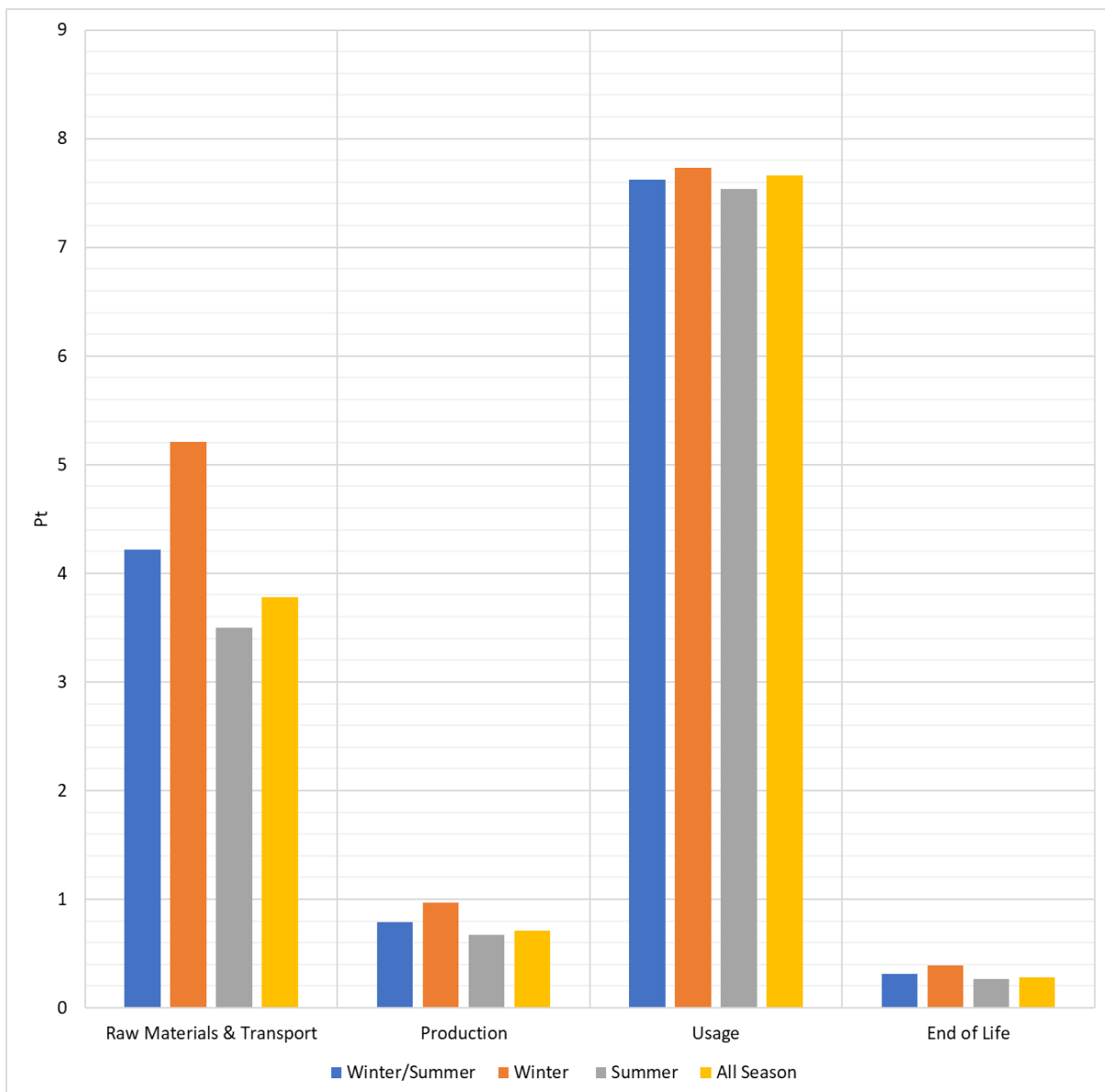
má však menšie dopady. Letný plášť sa javí ako najmenej zaťažujúci, okrem indikátora ekotoxicity zeme.



Obrázok 28. Celkové porovnanie – Endpoint kategórie

Po normalizácii, zlučovaní a vážení boli zhodnotené endpoint kategórie. Najväčší vplyv majú všetky scenáre na spotrebu prírodných zdrojov. Kategória ľudského zdravia nasleduje s ledva polovičnými hodnotami a najmenší vplyv je vo všeobecnosti na kategóriu poškodenia ekosystémov. Poradie medzi jednotlivými pneumatikami je konštantné vo všetkých troch kategóriách – zimný plášť má s nárastom najvyššie hodnoty, následne je možné porovnať

kombinovaný scenár s celoročným plášťom, ten však vychádza ekologicky menej náročne. Letný plášť je vyhodnotený ako ekologicky najprijateľnejší.



Obrázok 29. Celkové porovnanie – Fázy životného cyklu

V porovnaní podľa fáz jednotlivého cyklu sa zachováva poradie jednotlivých pneumatík, v prvej fáze sú však vidno najväčšie rozdiely. Môže to byť spôsobené predovšetkým rozdielnymi pomermi potrebných materiálov, ale predovšetkým rozdielnymi hmotnosťami pneumatík vyrobených v nasledujúcej fáze. Jednoznačne ekologicky najzaťažujúcejšia fáza je samotné používanie, čo súhlasí aj s ostatnými štúdiami [18], [27]. Prvá fáza nasleduje s podstatnými vplyvmi, samotná výroba a spracovanie ojazdených pneumatík boli vyhodnotené ako pomerne nezávažné.

3.3.6 Ekonomické zhodnotenie – Life Cycle Costing

Štyri scenáre používania boli zhodnotené aj z pohľadu ekonomických dopadov na spotrebiteľa od zaobstarania pneumatiky po koniec používania.

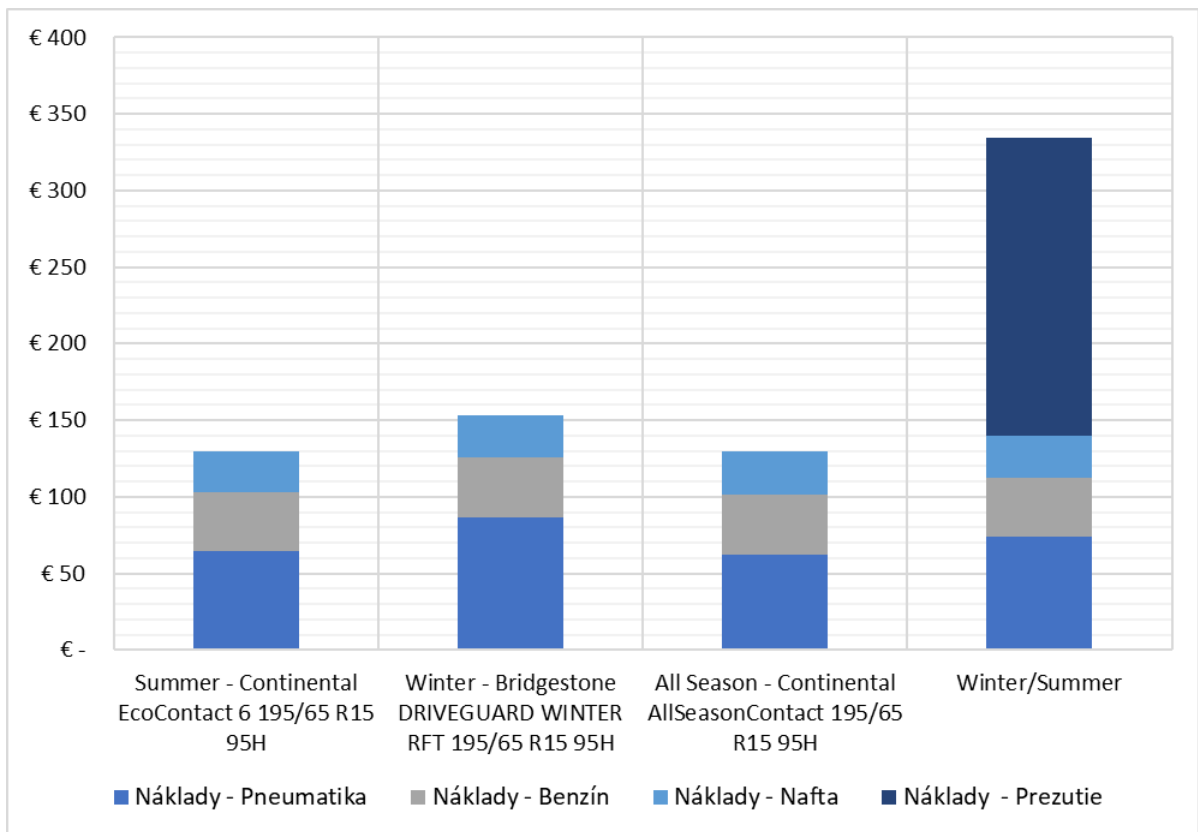
Boli vybrané reprezentatívne produkty v danom rozmere 195/65 R15 pre letný, zimný a celoročný plášť, s rovnakými indexami nosnosti a rýchlosti 95H. Tieto pneumatiky boli normalizované na funkčnú jednotku a z predajnej ceny [38], [39], [40] bol vypočítaný náklad na pneumatiku. Následne boli pripočítané náklady na alokovanú spotrebu benzínu a nafty počas používania, podľa priemerných ročných cien pohonných hmôt 2018 zo štatistického úradu SR [41] a podľa pomeru použitého pri modelovaní fázy používania. Do kombinovaného plášťa boli navyše zarátané náklady na prezúvanie zimných a letných pneumatík podľa priemerných cien na SR [42].

	Summer - Continental EcoContact 6 195/65 R15 95H	Winter - Bridgestone DRIVEGUARD WINTER RFT 195/65 R15 95H	All Season - Continental AllSeasonContact 195/65 R15 95H	Winter/Summer	
Náklady - Pneumatika	64.6413	86.8676	62.5682	73.9023	[€]
Náklady - Benzín	38.1045	38.8408	38.9866	38.4113	[€]
Náklady - Nafta	27.1408	27.5963	27.7528	27.3306	[€]
Náklady - Prezutie	0.0000	0.0000	0.0000	194.6667	[€]
Náklady - Celkové	110.8553	133.9192	109.8389	334.3109	[€]
ReCiPe Endpoint Single Score	11.971828	14.297883	12.442813	12.941018	[Pt]

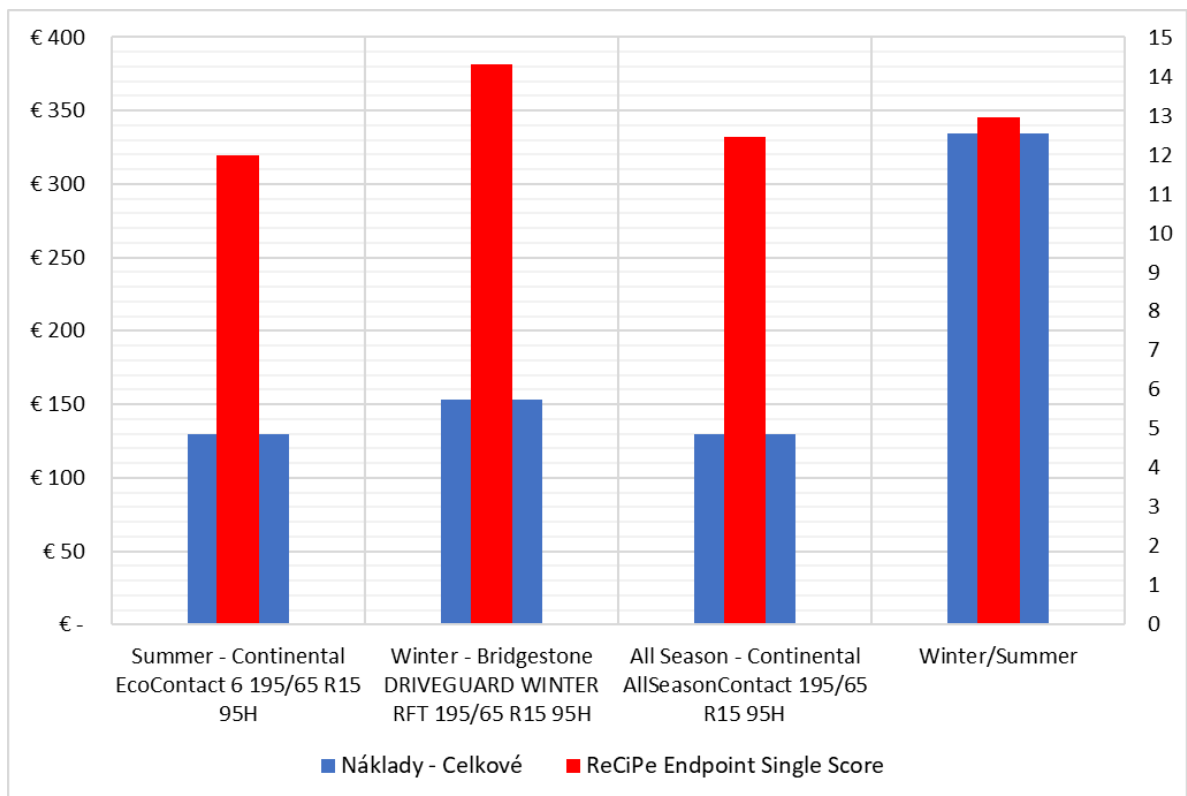
Tabuľka 8. Náklady spotrebiteľa na pneumatiku

Z údajov je zrejmé, že okrem nákladov na prezúvanie budú hlavné rozdiely spôsobené nákladmi na zaobstaranie samotnej pneumatiky, keďže rozdiely v jednotlivých spotrebe sú pomerne minimálne. Prekvapivo sa ako najekonomickejší ukázal celoročný plášť vďaka nízkej nákupnej cene. Letný plášť je porovnateľne výhodný, ale zároveň so zimným je jeho celoročné používanie neoptimálne. Preto v porovnaní celoročného plášťa a kombinácie zimného a letného, ktorá vyšla v analýze najmenej výhodne, je možné jednoznačne vidieť rozdiel skoro 30 €.

Keď sa do analýzy priberie do úvahy environmentálny dopad, rozhodnutie ostane nemenné, celoročný plášť však ukazuje prekvapivo najväčší pomerný nárast oproti nákladom. Najmenší pomerný vplyv má letný a celoročný plášť.



Obrázok 30. Porovnanie nákladov na pneumatiky



Obrázok 31. Porovnanie nákladov a vyhodnotených ekologických dopadov

3.4 Interpretácia a návrhy

Životný cyklus pneumatík, ako bol obsiahnutý v produktovom systéme, začína akvizíciou surových materiálov a polotovarov a ich prepravou na miesto výroby.

3.4.1 Surové materiály & Transport

Už v tejto fáze sa ukázal veľký environmentálny dopad životnosti a dojazdu pneumatiky, keďže zimný plášť s najmenšou životnosťou mal po prevedení na funkčnú jednotku najväčšiu hmotnosť, čo zodpovedalo aj najväčším objemom v prvej fáze. Poradie ostatných plášťov zodpovedalo čistým hmotnostiam.

Veľké rozdiely medzi reprezentantami v porovnaní s ostatnými fázami boli pravdepodobne spôsobené značnými rozdielmi v pomeroch samotných získavaných surovín. Celkové vyššie bodové skóre v porovnaní s podobnými štúdiami [18], [21], [25], [27], [43] tejto fázy je možné vysvetliť zahrnutím transportov do miesta výroby. Nepresnosti mohli byť spôsobené zanedbaním surovín s nízkymi množstvami, nahradením kyseliny stearovej ecoinvent procesom pre všeobecné mastné kyseliny, nepresnosťami v globálnych jednotkových ecoinvent procesoch a prípadne pomermi surovín založenými na literatúre [27].

Prípadné zníženie ekologických dopadov je možné voľbou menej ekologicky náročných surovín, ako napr. vyšší obsah oxidu kremičitého namiesto sadzí [18]. Tiež je možné zefektívniť transporty znížením vzdialeností, efektívnym uskladňovaním, maximalizovaním železničnej dopravy namiesto cestnej.

3.4.2 Výroba

Výrobná fáza má štandardne nízky celkový ekologický dopad, zachováva poradie jednotlivých plášťov, oproti prvej fáze má však užší rozptyl. Hodnoty energií na výrobné procesy, emisií a vôd boli poskytnuté podnikom, takže sa predpokladá ich dôveryhodnosť, nepresnosti však mohli vzniknúť z dôvodu ťažkej alokácie na konkrétny plášť, keďže závod priamo sleduje iba súhrnné hodnoty pre celý objem výroby a špecifickejšie údaje nebolo možné poskytnúť.

Skutočné dopady fázy môžu byť vyššie o transporty a vedľajšie výrobné procesy, ktoré však sú ťažko kvantifikovateľné a priradené na plášť, ich vplyv na rozdiely medzi pneumatikami je zároveň minimálny. Ďalšie nepresnosti mohli byť spôsobené nedostatočne špecifikovanými

odpadovými tokmi a možnými nepresnosťami v použitýchecoinvent procesoch pre spotrebu vôd, energetický mix dodávaného prúdu a dodávaný zemný plyn.

Ekologické dopady výroby je možné ďalej redukovať dodávaním čistej a obnoviteľnej energie, efektívnym výrobným procesom bez plytvania, spracovávaním vedľajších produktov.

3.4.3 Používanie

Používanie pneumatiky súhlasí s literatúrou [18], [21], [25], [27], [43] ako najzávažnejšia fáza životného cyklu. Spotreba fosílnych palív je príčinou väčšiny ekologického vplyvu, na ktorej sa najviac podieľa hodnota valivého odporu pneumatiky. Tieto údaje boli poskytnuté výrobcom, nasledovné výpočty na funkčnú jednotku však mohli spôsobiť nepresnosti, predovšetkým hodnota pomeru spotreby jednej pneumatiky ku celkovej spotrebe vozidla je udávaná v rôznych zdrojoch rozdielne [18], [27]. Tiež je nutné spomenúť, že zdroj priemernej spotreby v EÚ [34] udáva hodnotu nižšiu od reálnej spotreby, čo v dôsledku môže znamenať až 40% nárast.

Abrazíva odpadávajúce od pneumatiky boli zahrnuté do výpočtov podľa údajov hmotností ojazdených pneumatík poskytnutých závozom, hlukové znečistenie však nebolo zarátané, čo môže spôsobiť ďalšie prípadné zvýšenie ekologického dopadu.

Záťaž fázy používania je možné najefektívnejšie redukovať zlepšovaním vlastností pneumatiky, a to predovšetkým znižovaním valivého odporu, objemov abrazív, hlučnosti, zvyšovaním dojazdu.

3.4.4 Koniec životnosti

V konečnej fáze cyklu – spracovania ojazdených pneumatík, boli po zbere a transporte zahrnuté iba cesty spaľovania na energiu, spaľovania v cementárňach a ukladania na skládky. Keďže ide zrovna o tie menej ekologicky prijateľné procesy spracovania pneumatík [25], [26], [37], skutočný dopad z tejto fázy môže byť ešte menší. To je spôsobené zápornými vplyvmi protektorovania a výroby niektorých produktov, keďže tieto procesy vracajú časť zdrojov naspäť do kolobehu.

Redukovanie objemu pneumatík končiacich na skládkach, efektívne transporty ojazdených pneumatík a čisté spaľovacie procesy môžu znížiť ekologické dopady.

3.4.5 Ekonomické zhodnotenie

Z hľadiska ekonomických dopadov pre spotrebiteľa prekvapivo vyšiel celoročný plášť najlepšie. Keďže najväčší vplyv na celkové náklady mala okrem prezúvania kombinovaného plášťa nákupná cena pneumatík, je možné zvýšiť vierohodnosť výpočtu výberom produktov s rovnakými zloženiami a použitými technológiami, alebo výberom viacerých reprezentantov pre každú kategóriu plášťa.

Analýzu je možné rozšíriť o náklady na prezúvanie kombinovaných pneumatík, skladovanie, údržbu. Aj keď boli dôsledky z používania zimných pneumatík v lete zahrnuté v rozdielnych hodnotách valivého odporu, je možné ešte ďalej upresniť výpočet započítaním negatívnych efektov spôsobených samotnými vyššími teplotami.

Porovnanie s konečným skóre ReCiPe Endpoint ponúka spotrebiteľovi súhrnný pohľad na posudzované scenáre. Z kombinovaného ekologicko-ekonomického hľadiska je preto v reálnom prostredí celoročný plášť vyhodnotený najviac pozitívne.

3.4.6 Zhrnutie

Celková presnosť a vierohodnosť programu SimaPro, použitej databázy ecoinvent 3 a metódy ReCiPe mohli byť zlepšené použitím novších verzií softwaru a databázy.

Ako procesy najviac vplývajúce na životné prostredie sa ukázali predovšetkým ťažba a spotreba surových materiálov, konkrétne fosílnych palív spotrebovaných vo fáze používania, ale aj na výrobný proces. Najväčší vplyv na rozdiely medzi jednotlivými modelmi mal dojazd pneumatiky, ktorý ovplyvnil hmotnosť funkčnej jednotky, a valivý odpor ovplyvňujúci spotrebu počas používania.

Zhodnotenie všetkých kategórií ekologických vplyvov teda ukazuje najpriaznivejšie na konštantné používanie letného plášťa, čo však v lokálnych podmienkach nie je vhodné. Reálne porovnateľné sú iba scenáre používania celoročného plášťa a striedania letného a zimného, kde je celoročná pneumatika vyhodnotená priaznivejšie. Tá však v skutočnosti nemá tak dobré jazdné vlastnosti ako letný a zimný plášť počas použitia v adekvátnych teplotách a podmienkach, tieto parametre však neboli v práci posudzované.

Z ekonomického hľadiska spotrebiteľa sa celoročný plášť tiež javí ako najvhodnejšia voľba. Z pohľadu ďalšieho výskumu má zmysel analýza v súvislosti s jazdnými vlastnosťami jednotlivých plášťov v rôznych teplotných a geografických podmienkach. Výskum životného

cyklu by sa mal zamerať predovšetkým na fázy používania a akvizície surových materiálov. Celkovo najväčšia redukcia ekologických dopadov sa však dá doceliť ďalším priamym technologickým výskumom v oblasti optimalizácie kľúčových vlastností pneumatík, ako je valivý odpor, dojazd, hmotnosť.

4. Záver

Za hlavné ťažisko práce sa dá považovať samotná komparatívna LCA štúdia, ktorá komplexne ukazuje materiálové a energetické toky, emisie a odpady počas životného cyklu pneumatík. Z výstupu kalkulácie SimaPro je možné umiestniť hlavné negatívne vplyvy do fázy používania produktu, čo súhlasí s predošlým výskumom v oblasti.

Jednotlivé aspekty posudzovaného produktového systému sa však líšia svojou spoľahlivosťou a kvalitou, keďže údaje boli zbierané z viacerých zdrojov. Za najspoľahlivejšie sa dajú predpokladať priamo získavané údaje poskytnuté výrobným závodom Continental Matador Rubber Púchov, ktoré sa týkajú predovšetkým výrobnéj fázy a samotných finálnych vlastností jednotlivých plášťov. Keďže tieto vlastnosti, ako valivý odpor, hmotnosť a dojazd sa priamo premietajú do nasledujúcej fázy používania, je možno aj túto časť považovať za spoľahlivú. Najväčšie zúženie a nepresnosti vznikli pri ukončení životného cyklu, čo však podľa výsledkov nemá zásadný vplyv na celkové ekologické dopady.

Výstupy z práce môžu byť použité na viaceré účely, či už na vykonávanie ekologicky vedomých rozhodnutí na strane výrobcu alebo zákazníka, ďalej ako platforma na zameranie špecializovaných environmentálnych štúdií na užšie časti produktového systému, alebo ako metodologický podklad pre budúce LCA štúdie. Zároveň môže byť práca využitá pri výuke LCA problematiky.

Zdroje

- [1] M. Finnveden, „Environmental systems analysis tools - an overview,“ *Journal of Cleaner Production*, %1. vyd.13, pp. 1165-1173, 2005.
- [2] Moberg, Environmental systems analysis tools for decision-making, Stockholm: US AB, 2006.
- [3] H. H. V. H. Haes, „Full Mode and Attribution Mode in Environmental Analysis,“ *Journal of Industrial Ecology*, zv. IV, %1. vyd.1, pp. 45-56, 2000.
- [4] R. O. Hauschild, Life Cycle Assessment - Theory and Practice, Cham: Springer, 2018.
- [5] Guineé, „Life cycle assessment: past, present and future,“ rev. *International Symposium on Life Cycle Assessment and Construction*, Nantes, 2012.
- [6] G. H. P. Teixeira, „A review of tools used for PCF and LCA in the agri-food sector,“ rev. *EnviroInfo 2011*, Ispra, 2011.
- [7] Curran, Goal and Scope Definition in Life Cycle Assessment, Dordrecht: Springer, 2017.
- [8] Kočí, Posuzování životního cyklu, Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor spol s.r.o., 2009.
- [9] Brilhuis-Meijer, „Consider Your Audience When Doing Impact Assessment,“ PRÉ Consultants, 24 Marec 2014. [Online]. Available: <https://www.pre-sustainability.com/news/consider-your-audience-when-doing-lca>. [Cit. 1 Júl 2019].
- [10] R. C. Acero, „LCIA methods - Impact assessment methods in Life Cycle Assessment and their impact categories,“ GreenDelta GmbH, 16 Marec 2015. [Online]. Available: <https://www.openlca.org/wp-content/uploads/2015/11/LCIA-METHODS-v.1.5.4.pdf>. [Cit. 1 Júl 2019].
- [11] PRÉ, various authors, „SimaPro Database Manual,“ PRÉ, Február 2019. [Online]. Available: <https://simapro.com/wp-content/uploads/2019/02/DatabaseManualMethods.pdf>. [Cit. 1 Júl 2019].
- [12] UNEP/ SETAC Life Cycle Initiative, „Life Cycle Approaches - The road from analysis to practice,“ UNEP, 2005. [Online]. Available: <http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx0594xPA-Road.pdf>. [Cit. 1 Júl 2019].
- [13] PRÉ, Goedkoop, Oele, Leijting, „Introduction to LCA with SimaPro,“ PRÉ Sustainability, Január 2016. [Online]. Available: <https://www.pre-sustainability.com/download/SimaPro8IntroductionToLCA.pdf>. [Cit. 2 Júl 2019].
- [14] Dado, „ANALÝZA ŽIVOTNÉHO CYKLU LCA,“ EKO-DIZAJN, 16 Október 2013. [Online]. Available: <http://ekodizajn.sk/?p=548>. [Cit. 2 Júl 2019].
- [15] Continental Matador Rubber s.r.o., Gumárenská technológia, Púchov, 2016.

- [16] Sass, *The Substance of Civilization*, New York: Arcade, 2011.
- [17] U.S. Tire Manufacturers Association, „What's in a Tire,“ 2018. [Online]. Available: <https://www.ustires.org/whats-tire-0>. [Cit. 1 Júl 2019].
- [18] Continental AG, „Life Cycle Assessment of a Car Tire,“ 1999.
- [19] Sharma, „A Review on Rubber Compound Mixing In Banbury Mixer at Tire Industries,“ *International Journal of Engineering Research and Reviews*, zv. 2, %1. vyd.4, pp. 106-109, 2014.
- [20] Continental Barum s.r.o., „Príbeh vzniku pneumatík,“ 11 Jún 2019. [Online]. Available: <https://www.continental-pneumatiky.sk/osobne/tlacovy-servis/tlacove-spravy/2019-06-11-pribeh-vzniku-pneumatik>. [Cit. 3 Júl 2019].
- [21] Matador a.s., Environmental statement, Updating of the year 2005, Púchov, 2006.
- [22] D. B. S. G. Sommer, Tire Abrasion as a Major Source of Microplastics in the Environment, Taiwan Association for Aerosol Research, 2018.
- [23] Sandberg, „Tyre/road noise – Myths and Realities,“ rev. *International Congress and Exhibition on Noise Control*, The Hague, 2001.
- [24] ETRMA, „ELT Management figures 2016,“ ETRMA, 2 Máj 2018. [Online]. Available: http://www.etrma.org/uploads/Modules/Documentsmanager/20180502---2016-elt-data_for-press-release.pdf. [Cit. 3 Júl 2019].
- [25] ETRMA, „End-of-life Tyre REPORT,“ ETRMA, Brusells, 2015.
- [26] ETRMA, „END OF LIFE TYRES,“ 2018. [Online]. Available: <http://www.etrma.org/tyres/ELTs>. [Cit. 4 Júl 2019].
- [27] C. Bras, „Life-Cycle Environmental Impact of Michelin Tweel® Tire for Passenger Vehicles,“ *SAE Int. - Journal of Passenger Cars*, zv. IV, %1. vyd.1, pp. 32-43, 2011.
- [28] PNEUS À PRIX FOU.COM, „How to tell the difference between a summer tire and a winter tire,“ 1 November 2017. [Online]. Available: <https://www.pneusaprixfou.com/en/blog/20-https-www-pneusaprixfou-com-en-blog-20-how-to-tell-the-difference-between-a-summer-tire-and-a-winter-tire-html-page1.html?page=1>. [Cit. 5 Júl 2019].
- [29] Mikona, „Viete, kedy máte prezúť pneumatiky na letné? Nezáleží iba na dátume v kalendári,“ Mikona, 2 Marec 2017. [Online]. Available: <https://www.mikona.sk/novinky/kedy-prezut-na-letne/>. [Cit. 5 Júl 2019].
- [30] Slovenský hydrometeorologický ústav, „Operatívne údaje z vybraných staníc,“ 1 Máj 2019. [Online]. Available: http://www.shmu.sk/sk/?page=1&id=klimat_operativneudaje1&identif=11816&rok=2018&sub=1. [Cit. 6 Júl 2019].

- [31] F. H. F. K. K. Escamilla, „Revision of European Ecolabel Criteria for Soaps, Shampoos and Hair Conditioners,“ JRC European Commission, 2012.
- [32] SHANGHAIMETAL, „Tyre Bead Wire,“ [Online]. Available: https://www.shanghaimetal.com/tyre_bead_wire-484.htm. [Cit. 5 Júl 2019].
- [33] Kühlwein, „Driving Resistances of Light-Duty Vehicles in Europe: Present Situation, Trends, and Scenarios for 2025,“ The International Council on Clean Transportation Europe, Berlin, 2016.
- [34] JATO Dynamics Ltd., „Press Release,“ London, 2019.
- [35] European Automobile Manufacturers Association, „Passenger Car Fleet by Fuel Type,“ ACEA, 2017. [Online]. Available: <https://www.acea.be/statistics/tag/category/passenger-car-fleet-by-fuel-type>. [Cit. 6 Júl 2019].
- [36] Simons, „Road transport: new life cycle inventories for fossil-fuelled passenger cars and non-exhaust emissions in ecoinvent v3,“ Springer, Berlin, 2013.
- [37] O.-D. D.-S. Ortíz-Rodríguez, „Environmental Impact of End-of-Life Tires: Life Cycle Assessment Comparison of Three Scenarios from a Case Study in Valle Del Cauca, Colombia,“ *Energies*, zv. 10, %1. vyd.2117, pp. 1-13, 2017.
- [38] Pneucom, „Continental EcoContact 6 195/65 R15 95H,“ 2019. [Online]. Available: <https://www.pneucom.sk/continental/letne-continental/ecocontact-6/195-65-r15-95h>. [Cit. 8 Júl 2019].
- [39] Pneucom, „Bridgestone DRIVEGUARD WINTER RFT 195/65 R15 95H,“ 2019. [Online]. Available: <https://www.pneucom.sk/bridgestone/zimne-bridgestone/driveguard-winter-rft/195-65-r15-95h>. [Cit. 8 Júl 2019].
- [40] Pneucom, „Continental AllSeasonContact 195/65 R15 95H,“ 2019. [Online]. Available: <https://www.pneucom.sk/continental/univerzalne-continental/allseasoncontact/195-65-r15-95h>. [Cit. 8 Júl 2019].
- [41] A-CORY s.r.o., „Priemerné ceny PHM zo Štatistického úradu,“ Máj 2019. [Online]. [Cit. 8 Júl 2019].
- [42] Vislbee, „Prezúvate pneumatiky doma alebo to necháivate na pneuservis?,“ 12 Apríl 2018. [Online]. Available: <https://www.visblee.sk/clanky/prezuvate-pneumatiky-doma-alebo-to-nechavate-na-pneuservis>. [Cit. 9 Júl 2019].
- [43] E.-R. S. Abougilil, „Life cycle analysis and recycling of tires,“ *The Business and Management Review*, zv. VIII, %1. vyd.5, pp. 258-265, 2017.

Zoznam obrázkov

Obrázok 1. Aplikačný rámec LCA modifikovaný zo štandardu ISO 14040 [4]	14
Obrázok 2. Príklad výsledkov metódik midpoint (vľavo) a endpoint (vpravo) [9]	17
Obrázok 3. CML Metóda (Baseline) - Kategórie dopadov [10].....	18
Obrázok 4. CED Metóda - Kategórie dopadov [10]	18
Obrázok 5. Metóda Eco-indicator 99 - Kategórie dopadov [10]	19
Obrázok 6. Metóda IMPACT 2002+ - Schéma kategorizácie [11].....	20
Obrázok 7. Metóda ReCiPe 2016 - Schéma kategorizácie [11]	21
Obrázok 8. Životný cyklus produktu [14].....	25
Obrázok 9. Schéma toku materiálu vo výrobe osobných radiálnych plášťov [15]	28
Obrázok 10. Miešacia linka pre miešanie základových zmesí [15].....	29
Obrázok 11. Rez osobným radiálnym plášťom [15]	31
Obrázok 12. Zloženie drobného oterového prachu [18].....	32
Obrázok 13. Identifikácia rôznych kategórií použitých pneumatík [26]	34
Obrázok 14. Rozsah a hranice posudzovaného systému	38
Obrázok 15. Letný plášť - Midpoint kategórie podľa indikátorov	48
Obrázok 16. Letný plášť - Endpoint kategórie	49
Obrázok 17. Letný plášť - Procesy s najväčšími dopadmi.....	50
Obrázok 18. Zimný plášť - Midpoint kategórie podľa indikátorov	51
Obrázok 19. Zimný plášť - Endpoint kategórie	52
Obrázok 20. Zimný plášť - Procesy s najväčšími dopadmi.....	53
Obrázok 21. Celoročný plášť - Midpoint kategórie podľa indikátorov.....	54
Obrázok 22. Celoročný plášť – Endpoint kategórie.....	54
Obrázok 23. Celoročný plášť - Procesy s najväčšími dopadmi	55
Obrázok 24. Kombinácia Zimný/Letný plášť - Midpoint kategórie podľa indikátorov.....	56
Obrázok 25. Kombinácia Zimný/Letný plášť – Endpoint kategórie.....	57
Obrázok 26. Kombinácia Zimný/Letný plášť - Procesy s najväčšími dopadmi	58
Obrázok 27. Celkové porovnanie - Midpoint kategórie podľa indikátorov.....	59
Obrázok 28. Celkové porovnanie – Endpoint kategórie.....	60
Obrázok 29. Celkové porovnanie – Fázy životného cyklu	61
Obrázok 30. Porovnanie nákladov na pneumatiky	63
Obrázok 31. Porovnanie nákladov a vyhodnotených ekologických dopadov.....	63

Zoznam tabuliek

Tabuľka 1. Východiskové zloženie pre letnú pneumatiku [27]	42
Tabuľka 2. Objemy surových materiálov po normovaní vzťahnuté na funkčnú jednotku.....	42
Tabuľka 3. Pomery energetických spotrieb procesov výroby	43
Tabuľka 4. Vstupy a výstupy výrobnej fázy	44
Tabuľka 5. Spotreba palív pri rôznych hodnotách valivých odporov	45
Tabuľka 6. Alokovaná spotreba na funkčnú jednotku.....	46
Tabuľka 7. Straty hmotností počas fázy používania	46
Tabuľka 8. Náklady spotrebiteľa na pneumatiku	62

Prílohy

Príloha 1. Abrazíva – Emisie do vzduchu

	Summer	Winter	All Season	
Partikuláty, > 10 um	0.046369565	0.052279412	0.043090909	[kg]
Partikuláty, > 2.5 um, < 10 um	0.020934783	0.023602941	0.019454545	[kg]
Partikuláty, < 2.5 um	0.048717391	0.054926471	0.045272727	[kg]
PAH	0.000000848	0.000000956	0.000000788	[kg]
Striebro	0.000000022	0.000000024	0.000000020	[kg]
Hliník	0.000070435	0.000079412	0.000065455	[kg]
Arzén	0.000000826	0.000000931	0.000000767	[kg]
Bárium	0.000027196	0.000030662	0.000025273	[kg]
Bróm	0.000004343	0.000004897	0.000004036	[kg]
Vápnik	0.000193696	0.000218382	0.000180000	[kg]
Kadmium	0.000001017	0.000001147	0.000000945	[kg]
Chlór	0.000113478	0.000127941	0.000105455	[kg]
Kobalt	0.000002778	0.000003132	0.000002582	[kg]
Chróm	0.000005175	0.000005835	0.000004809	[kg]
Meď	0.000037859	0.000042684	0.000035182	[kg]
Uhlík	0.033260870	0.037500000	0.030909091	[kg]
Železo	0.000371739	0.000419118	0.000345455	[kg]
Draslík	0.000060848	0.000068603	0.000056545	[kg]
Lítium	0.000711196	0.000801838	0.000660909	[kg]
Mangán	0.000011054	0.000012463	0.000010273	[kg]
Molybdén	0.000000608	0.000000686	0.000000565	[kg]
Sodík	0.000139891	0.000157721	0.000130000	[kg]
Nikel	0.000006496	0.000007324	0.000006036	[kg]
Nitrát	0.000325761	0.000367279	0.000302727	[kg]
Organický uhlík	0.078260870	0.088235294	0.072727273	[kg]
Olovo	0.000038250	0.000043125	0.000035545	[kg]
Oxid siričitý	0.000478370	0.000539338	0.000444545	[kg]
Antimón	0.000000434	0.000000490	0.000000404	[kg]
Selén	0.000004343	0.000004897	0.000004036	[kg]
Kremík	0.000371739	0.000419118	0.000345455	[kg]
Sulfát	0.000542935	0.000612132	0.000504545	[kg]
Cín	0.000000000	0.000000000	0.000000000	[kg]
Stroncium	0.000003130	0.000003529	0.000002909	[kg]
Titán	0.000082174	0.000092647	0.000076364	[kg]
Vanád	0.000000217	0.000000245	0.000000202	[kg]
Zinok	0.001614130	0.001819853	0.001500000	[kg]

Príloha 2. Abrazíva – Emisie do vody, zeme

	Summer	Winter	All Season	
Striebro	1.61413E-07	1.81985E-07	0.00000015	[kg]
Hliník	0.000524348	0.000591176	0.000487273	[kg]
Arzén	6.14348E-06	6.92647E-06	5.70909E-06	[kg]
Bárium	0.0002025	0.000228309	0.000188182	[kg]
Bróm	3.23804E-05	3.65074E-05	3.00909E-05	[kg]
Vápnik	0.001438043	0.001621324	0.001336364	[kg]
Kadmium	7.60109E-06	8.56985E-06	7.06364E-06	[kg]
Chlór	0.000841304	0.000948529	0.000781818	[kg]
Kobalt	2.07391E-05	2.33824E-05	1.92727E-05	[kg]
Chróm	3.85435E-05	4.34559E-05	3.58182E-05	[kg]
Meď	0.000281739	0.000317647	0.000261818	[kg]
Uhlík	0.2475	0.279044118	0.23	[kg]
Železo	0.002768478	0.003121324	0.002572727	[kg]
Draslík	0.000452935	0.000510662	0.000420909	[kg]
Lítium	2.10326E-06	2.37132E-06	1.95455E-06	[kg]
Mangán	8.24674E-05	9.29779E-05	7.66364E-05	[kg]
Molybdén	4.52935E-06	5.10662E-06	4.20909E-06	[kg]
Sodík	0.001046739	0.001180147	0.000972727	[kg]
Nikel	4.83261E-05	5.44853E-05	4.49091E-05	[kg]
Nitrát	0.002426087	0.002735294	0.002254545	[kg]
Organický uhlík	0.582065217	0.65625	0.540909091	[kg]
Olovo	0.000284674	0.000320956	0.000264545	[kg]
Oxid siričitý	0.00225	0.002536765	0.002090909	[kg]
Antimón	3.23804E-06	3.65074E-06	3.00909E-06	[kg]
Selén	3.23804E-05	3.65074E-05	3.00909E-05	[kg]
Kremík	0.002915217	0.003286765	0.002709091	[kg]
Sulfát	0.004040217	0.004555147	0.003754545	[kg]
Cín	0	0	0	[kg]
Stroncium	2.32826E-05	0.00002625	2.16364E-05	[kg]
Titán	0.000611413	0.000689338	0.000568182	[kg]
Vanád	1.61413E-06	1.81985E-06	0.0000015	[kg]
Zinok	0.012032609	0.013566176	0.011181818	[kg]