



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

# EKOLOGICKÉ HLEDISKO NÁVRHU OPTIMÁLNÍ SÍTĚ NAKLÁDÁNÍ S ODPADY

ENVIRONMENTAL ASPECT OF OPTIMAL WASTE MANAGEMENT DESIGN

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Liliana Šťastná

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Pavlas, Ph.D.

BRNO 2018

## Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav procesního inženýrství  
Studentka: **Liliana Šťastná**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Martin Pavlas, Ph.D.**  
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Ekologické hledisko návrhu optimální sítě nakládání s odpady**

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Ústav ÚPI se dlouhodobě věnuje návrhu a hodnocení systému odpadového hospodářství. K tomuto účelu je využíváno vlastního nástroje NERUDA. Systém NERUDA je označen pro logistickou transportní svozovou úlohu pro simulaci toku odpadu na vymezeném území. Celý systém NERUDA je postaven na ekonomickém základu a nejvýhodnější řešení hledá minimalizací nákladů na zpracování odpadu. Současný celosvětový trend nejenom v oblasti odpadového hospodářství je snižování dopadů činností člověka na životní prostředí. K hodnocení ekologického efektu se nejčastěji využívá metodiky hodnocení životního cyklu (LCA). V rámci LCA existuje celá řada metodik a kategorií ekologických zátěží. Mezi nejvíce zmiňované kategorie patří například globální oteplování (GWP z anglického Global Warming Potential), humánní toxicita (HTP), acidifikace (AP), úbytek stratosférického ozónu (ODP), tvorba fotooxidačních látek (POCP) a další. Na pracovišti ÚPI proto probíhá v rámci výzkumných projektů rozšiřování nástroje NERUDA o tato ekologická kritéria, která mají za úkol vyhodnotit globální i lokální dopad různých způsobů nakládání s odpadem na životní prostředí. NERUDA by následně ve finální verzi měl umět rozhodovat nejen na základě ekonomiky, ale i na základě ekologického dopadu. Student se bude podílet na zpracování vybraných dílčích úkolů, které souvisí s implementací ekologických kritérií do vyvíjeného nástroje NERUDA.

#### **Cíle bakalářské práce:**

Rešerše a seznámení se s metodou posuzování životního cyklu LCA a její použití v oblasti odpadového hospodářství.

Rešerše a popis metodik pro popis vliv na životní prostředí.

Podrobná charakteristika ekologických kritérií u nejpoužívanějších metodik.

Posouzení pozice člověka u jednotlivých kritérií.

Vyhodnocení základních ekologických kritérií u zařízení zpracovávající komunální odpad.

### Seznam doporučené literatury:

CURRAN, M. A., Life Cycle Assessment: Principles and Practice. U.S. Environmental protection agency, 2006, Work Assignment 3-15.

ISO 14040:2006, Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Zásady a osnova, česká technická norma, Český normalizační institut, Praha, 2006.

GUINÉE, J. B., Handbook on life cycle assessment: operational guide to the ISO standards, Boston: Kluwer Academic Publishers, c2002. ISBN 9781402002281.

ČR, Zákon č. 201/2012 Sb. Zákon o ochraně ovzduší, Sbírka zákonů ČR, částka 69/2012.

LAURENT, A., BAKAS, I., CLAVREUL, J., BERNSTAD, A., NIERO, M., GENTIL, E., HAUSCHILD, M.Z., CHRISTENSEN, T.H., 2014a. Review of LCA studies of solid waste management systems–Part I: lessons learned and perspectives. Waste Manag. 34, 573–588.

LAURENT, A., CLAVREUL, J., BERNSTAD, A., BAKAS, I., NIERO, M., GENTIL, E., CHRISTENSEN, T.H., HAUSCHILD, M.Z., 2014b. Review of LCA studies of solid waste management systems–Part II: methodological guidance for a better practice. Waste Manag. 34, 589–606.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18.

V Brně, dne 26. 10. 2017



prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.  
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katoňický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce rešeršního charakteru je zaměřena na metodu posuzování životního cyklu LCA (*angl. life cycle assessment*), konkrétně pak hlavně na jednu z jejích fází a to posuzování dopadů LCIA (*angl. life cycle impact assessment*). V úvodu této práce je tato metoda krátce představena a dále jsou stručně charakterizovány její fáze s bližším zaměřením na posuzování dopadů LCIA a metodiky s touto fází spojené. V práci jsou podrobně charakterizovány základní kategorie dopadů a následně jsou popsány látky, jež mají na dané kategorie dopadu vliv. Nakonec dochází ke zhodnocení ovzduší za poslední léta a k vyhodnocení emisí spalovny TERMIZO v Liberci.

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis of research character is focused on a life cycle assessment method LCA (*life cycle assessment*), especially at impact assessment LCIA (*life cycle impact assessment*). At the beginning of this thesis, there is an introduction to LCA method and characterization of its stages with a closer focus on the LCIA and associated methodologies. The thesis characterizes basic categories of impact and also substances with immission limits that have an impact on the categories of impact. Then there is an evaluation of the quality of air in recent years and the emissions of the TERMIZO incinerator in Liberec.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Metoda posuzování životního cyklu (LCA), hodnocení dopadů životního cyklu (LCIA), kategorie dopadu, imisní limit

## **KEYWORDS**

Life Cycle Assessment (LCA), Life Cycle Impact Assessment (LCIA), categories of impact, imission limit

Šťastná, L. *Ekologické hledisko návrhu optimální sítě nakládání s odpady*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojní, 2017. 31 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Pavlas, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citovala. Bakalářská práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty strojní VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího bakalářské práce a děkana FSI VUT.

Liliana Šťastná

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych ráda poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce, panu Ing. Martinu Pavlasovi, Ph.D., za jeho odborné vedení, rady a ochotu, také bych chtěla poděkovat panu Ing. Tomáši Ferdanovi, Ph.D., za jeho pomoc a lidský přístup. Nakonec bych ráda poděkovala své rodině a přátelům za podporu po celou dobu studia.

## OBSAH

<b>1 ÚVOD</b> .....	1
1.1 Výpočtový nástroj NERUDA.....	1
<b>2 METODA POSUZOVÁNÍ ŽIVOTNÍHO CYKLU (LCA)</b> .....	2
2.1 Účel metody LCA.....	2
2.2 Historie LCA .....	2
2.3 Fáze metody LCA.....	3
2.3.1 Definice cílů a rozsahu .....	4
2.3.2 Inventarizace .....	4
2.3.3 Hodnocení dopadů (LCIA).....	4
2.3.4 Interpretace .....	4
<b>3 LCIA</b> .....	5
3.1 Úbytek neobnovitelných zdrojů ( <i>RD, angl. resources depletion</i> ).....	6
3.2 Globální oteplování ( <i>GW, angl. global warming</i> ).....	6
3.3 Úbytek stratosférického ozónu ( <i>OD, angl. ozone depletion</i> ).....	6
3.4 Humánní toxicita ( <i>HT, angl. human toxicity</i> ) .....	7
3.5 Ekotoxicita ( <i>ET, angl. ecotoxicity</i> ) .....	7
3.6 Vznik fotooxidantů ( <i>POC, angl. photochemical ozone creation</i> ).....	7
3.7 Acidifikace ( <i>A, angl. acidification</i> ) .....	7
3.8 Eutrofizace ( <i>E, angl. eutrophication</i> ).....	8
<b>4 METODIKY LCIA</b> .....	9
4.1 Midpointové metodiky .....	9
4.1.1 CML .....	9
4.2 Endpointové metodiky.....	10
4.2.1 Eco-Indicator 99 .....	10
4.3 Kombinované metodiky .....	11
4.3.1 IMPACT 2002+.....	11
<b>5 IMISNÍ LIMITY ČR</b> .....	13
5.1 Látky mající imisní limity pro ochranu zdraví .....	13
5.1.1 Oxid siřičitý.....	14
5.1.2 Oxid dusičitý .....	14
5.1.3 Olovo .....	14
5.1.4 Oxid uhelnatý .....	15

5.1.5	Benzen .....	15
5.1.6	Polétavý prach PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> .....	15
5.2	Imisní limity pro ochranu zdraví – celkový obsah v částicích PM <sub>10</sub> .....	15
5.2.1	Arsen .....	16
5.2.2	Kadmium .....	16
5.2.3	Nikl.....	16
5.2.4	Benzo(a)pyren .....	17
5.3	Látky mající imisní limity pro ochranu ekosystémů a vegetace .....	17
5.3.1	Oxidy dusíku .....	17
5.4	Imisní limity pro troposférický ozón .....	17
5.4.1	Ozón .....	18
5.4.2	AOT40.....	18
5.5	Přehled základních kategorií dopadu a látek s imisními limity.....	18
5.6	Kvalita ovzduší v ČR.....	19
5.6.1	Ovzduší v roce 2017.....	19
5.6.2	Ovzduší v roce 2018.....	20
5.6.3	Ovzduší z hlediska částic PM <sub>10</sub> v několika posledních letech.....	20
<b>6</b>	<b>SPALOVNA TERMIZO LIBEREC</b> .....	<b>23</b>
6.1	Emise spalovny do ovzduší .....	23
6.2	Vyhodnocení spalovny .....	24
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>26</b>
<b>8</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b> .....	<b>27</b>



# 1 ÚVOD

Úkolem této práce je zpracování ekologického hlediska návrhu optimální sítě nakládání s odpady. Pro vytvoření optimální sítě v rámci odpadového hospodářství je využíván výpočtový systém NERUDA. Optimální síť je velmi důležitá pro ideální řešení nakládání s odpadem po stránce ekonomické [1], ale také po stránce šetrné k životnímu prostředí. Pro tuto práci to znamená především zaměření se na problémy životního prostředí v souvislosti s postavením člověka. Tuto problematiku řeší analytická metoda LCA (angl. life cycle assessment), která posuzuje a hodnotí dopady na životní prostředí [2]. Tato metoda bude představena v kapitole č. 2.

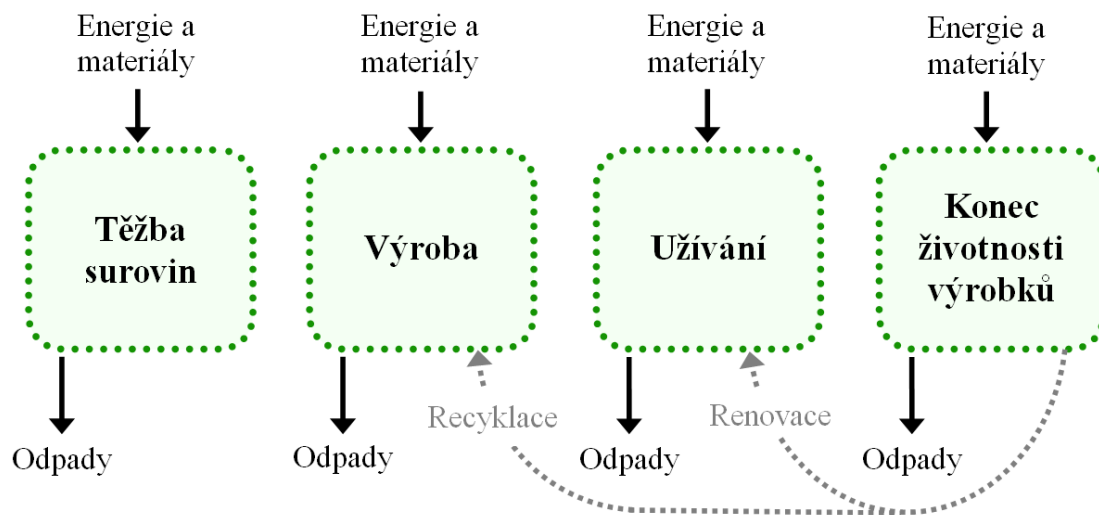
## 1.1 Výpočtový nástroj NERUDA

Nástroj NERUDA je komplexní výpočtový systém, který pomáhá určit optimální řešení nakládání s odpady z ekonomického hlediska [1]. Tento systém je schopen v rámci určitého území simulovat toky odpadu od konečného uživatele produktu ke zpracovatelským zařízením. Je vhodný například k určení ideální lokality zařízení pro zpracování odpadu za daných podmínek a je schopen navrhnout vhodnou kapacitu tohoto zařízení. Pomáhá také k vytvoření optimálního řetězce při dopravě odpadu z místa jeho produkce do místa zpracování [3].

V současnosti je snahou zahrnout do systému NERUDA také hledisko ekologické, a tím i možnost vytvořit vzhledem k životnímu prostředí šetrnou optimální síť nakládání s odpady. Negativní vliv činnosti člověka na životní prostředí a řešení tohoto problému nabývá na důležitosti, například vzhledem ke globálnímu oteplování nebo znečištění ovzduší. Pokročilejší nástroj by tak měl zohledňovat lokální znečištění ovzduší způsobené přepravou odpadového materiálu či fungováním zařízení zpracovávající odpady. Měl by také vyhodnocovat vliv tohoto znečištění emisemi na obyvatelstvo vystavené expozici a zároveň by měl kalkulovat veškeré náklady. Výsledkem by měl být výstup o vyváženém poměru ekologického a ekonomického hlediska s co možná nejmenším negativním vlivem na životní prostředí a obyvatelstvo [4].

## 2 METODA POSUZOVÁNÍ ŽIVOTNÍHO CYKLU (LCA)

Každý existující výrobek, službu nebo technologii můžeme označit jako lidský produkt. Tento produkt má svůj životní cyklus (viz obr. 1), do něhož je zahrnuto získávání a výroba surovin pro výrobu produktu, výroba samotného produktu, jeho užívání, následná likvidace a také renovace či recyklace produktu. Každé z těchto stádií produktu má určitý vliv na životní prostředí prostřednictvím výměny látek a energií. To, jaký vliv má daný produkt či jeho konkrétní stádium na životní prostředí, lze posoudit pomocí metody LCA [2].



Obr. 1 - Životní cyklus výrobku [5]

### 2.1 Účel metody LCA

Cílem této metody je určit způsob, jakým produkt během svého životního cyklu ovlivňuje životní prostředí, neboli do jaké kategorie dopadu jeho působení spadá [5]. Mezi tyto kategorie se řadí například změna klimatu, úbytek stratosférického ozónu, úbytek neobnovitelných surovin nebo humánní toxicita [6]. Po přiřazení této kategorie je potřeba určit nebo porovnat, jakou měrou daný produkt určitou kategorii dopadu ovlivňuje. K tomu slouží různé metodiky, které dopady produktu vyčíslují [2]. Na základě studií LCA lze následně vyhodnotit či porovnat různé produkty a určit jejich vhodnost vzhledem k jejich environmentálnímu působení [7].

### 2.2 Historie LCA

Důvodem vzniku metody posuzování životního cyklu (LCA) bylo přibývání znalostí ohledně negativního působení jistých látek na životní prostředí. Na základě toho vznikla potřeba kontrolovat tyto látky, jejich množství a také sledovat, zda nedochází k poškození funkce ovlivněného prostředí. Docházelo k uvědomění si komplexnosti problému jednotlivých procesů a rozvoji systémového přístupu hodnotící produkt či produktový systém. Hledaly se způsoby zachování funkce produktu při jeho co možno nejšetrnějším působení na životní prostředí [2].

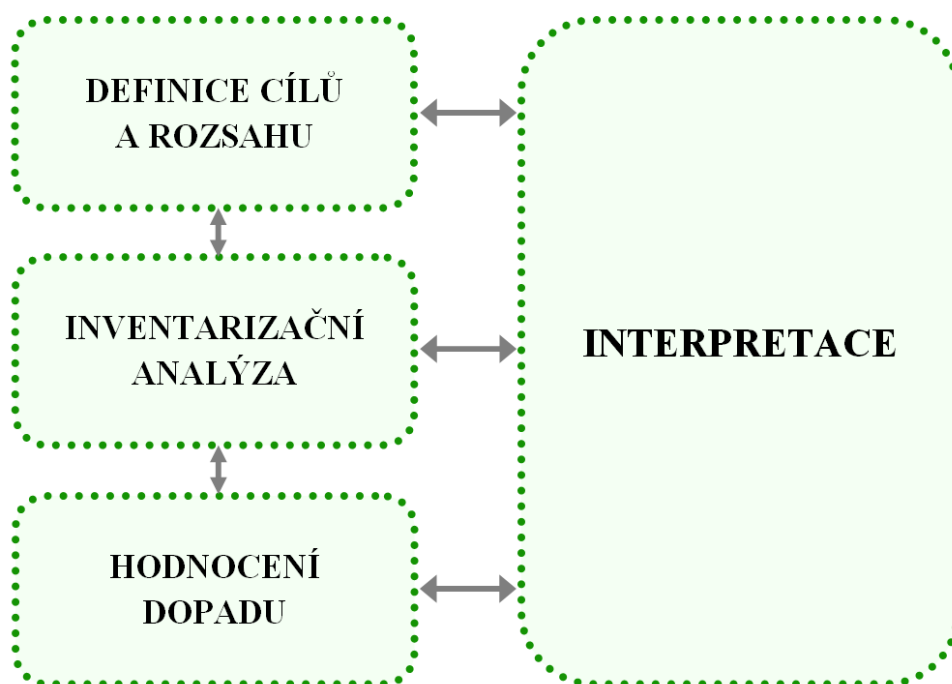
Myšlenka hodnocení produktu v rámci celého jeho životního cyklu přišla od Harry Teasleyho. První studie, jež porovnávala dopady produktů na životní prostředí se nazývala Resource and Environmental Profile Analysis (REPA) a nechala si ji zpracovat společnost Coca-Cola pro vyhodnocení jejich obalových materiálů. Tyto počátky LCA se datují ke konci 60. let 20. století [8]. V letech 70. pak v důsledku energetické a ropné krize vzrůstal zájem o tyto studie [2]. 80. léta se nesly v duchu dalšího růstu zájmu a vyvstala potřeba sjednocení těchto studií. Na základě několika setkání vědeckých ústavů a průmyslových, výzkumných a konzultačních společností pak v roce 1990 vyšla kniha *A Technical Framework for Life Cycle Assessment*, definující fáze LCA [8].

### 2.3 Fáze metody LCA

V rámci posuzování životního cyklu produktu na životní prostředí postupuje metoda LCA na základě čtyř fází [5]:

- Definice cílů a rozsahu
- Inventarizační analýza
- Posuzování dopadů
- Interpretace

Tyto jednotlivé fáze metody LCA a jejich vzájemné vztahy a propojení jsou znázorněny na obr. 2 a podrobněji jsou tyto fáze charakterizovány v kapitolách 2.3.1 až 2.3.4.



Obr. 2 - Vztah mezi fázemi LCA [9]

### **2.3.1 Definice cílů a rozsahu**

V první fázi LCA dochází k plánování, kdy je nutná specifikace produktu, definice způsobů jeho posouzení, účel studie, její určení a komplexnost, která je dána hranicemi systému [2, 5]. Hranice systému definují procesy, které bude brát daná LCA studie v úvahu [10]. Je potřeba stanovit funkční jednotku, která definuje předmět zkoumaného problému a je potřebná k porovnání studií LCA [11]. Funkční jednotka také určuje způsob kvantifikace funkce produktu a je důležitá při posuzování negativních vlivů produktu. Také dochází k určení referenčního toku, definovaným určitým množstvím produktu, potřebným k naplnění funkční jednotky. Nutné je uvedení důležitosti kvality dat ke správnému pochopení spolehlivosti výsledků a vyhodnocení výstupů. Důležité je také uvést předpoklady a omezení studie [2].

### **2.3.2 Inventarizace**

Základem při inventarizační analýze je sběr dat, a proto je potřeba dobře znát jednotlivé procesy životního cyklu produktu, jejich vliv na životní prostředí, náročnost a také suroviny pro výrobu produktu. Tento soubor informací o procesech souvisejících s životním cyklem daného produktu se nazývá ekovektor [2]. V této fázi metody LCA se stanovuje kvalita nasbíraných dat a vrací se k fázi první, kdy dochází k zpřesnění rozsahu studie neboli hranic systému, případně k úpravě cílů, kterých má být na základě této metody dosaženo [5]. Výstupem z této fáze LCA je tzv. inventarizační matice, která udává množství látek na vstupech a výstupech systému [10].

### **2.3.3 Hodnocení dopadů (LCIA)**

Prvním krokem v této fázi je klasifikace negativních vlivů z inventarizační analýzy do kategorií dopadu [5], což je určitá oblast v problematice životního prostředí, která je ovlivňována lidskou činností související s interakcí látek či výměnou energií s okolním prostředím [2]. Dále se provádí charakterizace, která posuzuje dopad systému z environmentálního hlediska a kvantifikuje negativní působení vlivů [10]. Tento krok napomáhá pro následné měřitelné porovnání environmentálních dopadů produktu [2]. Fáze hodnocení dopadů bude podrobněji rozpracována v kapitole č. 3.

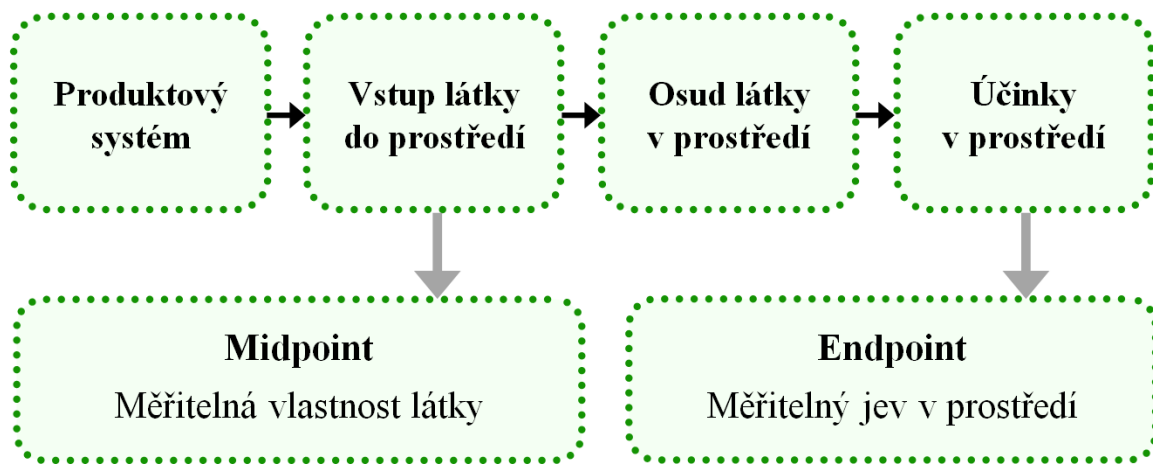
### **2.3.4 Interpretace**

Předmětem finální fáze posuzování životního cyklu produktu dle metody LCA je celkové zhodnocení zjištěných poznatků a také soubor podmínek, za kterých jsou tyto poznatky platné [2]. Výstupem interpretace životního cyklu produktu je závěrečné shrnutí, které identifikuje závažné problémy, použitou metodiku a vyhodnocuje výsledky analýzy z hlediska jejich komplexnosti, citlivosti a konzistence [11]. V této fázi často dochází k potřebě upřesnit studii přezkoumáním, zrevidováním rozsahu studie LCA [9] či vzít v úvahu nové poznatky a požadavky [2]. Iterativním způsobem tak dochází ke změnám v předešlých fázích metody LCA, jako je prostřednictvím vztahů mezi fázemi LCA znázorněno na obr. 2 [9].

### 3 LCIA

Z produktového systému, jež zahrnuje veškeré procesy a úkony, které se podílí na životním cyklu produktu, vystupují elementární toky do okolního prostředí [2]. Pomocí metodiky LCIA jsou tyto toky kvantifikovány a charakterizovány [10] na základě různých metodik, kterých je několik a jejich volba souvisí s kategoriemi dopadu, z jejichž hlediska se následně hodnotí dopady produktového systému na životní prostředí [2].

Metodiky LCIA lze rozdělit na midpointové, endpointové a na jejich kombinované metodiky, které využívají výhod obou metodik a jsou schopny zvýšit vypovídající hodnotu studie LCA. Midpointové metodiky hodnotí vlastnosti látek, jež jsou nějakým způsobem měřitelné. Endpointové metodiky vyčíslují konkrétní poškození prostředí z environmentálního hlediska [2]. Pro lepší pochopení pojmu midpoint a endpoint slouží obr. 3.



Obr. 3 - Dopadový řetězec [2]

Kromě dělení kategorií dopadu na midpointové a endpointové lze tyto kategorie dělit také vzhledem k jejich geografického rozsahu na globální, regionální a lokální [12]:

- **Globální kategorie dopadu** zasahuje do prostředí v rámci celé Země. Látky způsobující globální problémy jsou charakteristické dlouhodobým působením na životní prostředí ve vysokém množství [2]. Typickým příkladem této kategorie je globální oteplování nebo například úbytek stratosférického ozónu [13].
- **Regionální kategorie dopadu** je typická působením negativních vlivů produktového systému v regionu jejich příčiny, nelze však konkrétně určit zdroj znečištění. Tyto regiony mají přibližný poloměr 100 – 1000 km [2]. Příkladem regionální kategorie dopadu je acidifikace či vznik fotooxidantů [13].
- **Lokální kategorie dopadu** je způsobena lidskou činností a projevuje se na území o poloměru maximálně desítek kilometrů, přičemž je v tomto případě možné určit zdroj daného problému [2]. Příkladem lokální kategorie dopadu může být například ekotoxicita nebo humánní toxicita [13].

## **Základní midpointové kategorie dopadu většiny metodik LCIA [2]:**

- Úbytek neobnovitelných zdrojů
- Globální oteplování
- Úbytek stratosférického ozónu
- Humánní toxicita
- Ekotoxicita
- Vznik fotooxidantů
- Acidifikace
- Eutrofizace

## **Základní endpointové kategorie dopadu většiny metodik LCIA [2]:**

- Úbytek dostupnosti surovin na trhu
- Klimatické změny
- Lidské zdraví
- Kvalita ekosystémů

### **3.1 Úbytek neobnovitelných zdrojů (*RD, angl. resources depletion*)**

Neobnovitelné zdroje energie jsou takové zdroje, které jsou dříve nebo později konečné. Úbytek surovin je zásadním problémem pro průmysl, kde se často využívá fosilních paliv, kam se řadí uhlí, ropa, zemní plyn rašelina nebo také jaderná energie. Typické pro tyto zdroje je jejich rychlejší spotřeba, než obnova, což má v budoucnu za následek vyčerpání těchto zdrojů. Těžba a využívání neobnovitelných zdrojů způsobuje znečištění ovzduší, vodstva a podílejí se také na vzniku skleníkového efektu [14].

### **3.2 Globální oteplování (*GW, angl. global warming*)**

Globální oteplování způsobuje zvýšená tendence atmosféry zadržovat tepelnou energii díky nežádoucím vlivům některých, lidskou činností vyprodukovaných, látek. Tato tendence atmosféry se nazývá skleníkový efekt a zajišťuje na povrchu Země teplotu vhodnou pro život. Zvýšení koncentrace látek, které tento efekt podporují, je však nežádoucí a způsobuje klimatické změny v globálním měřítku, související s hydrosférou, pedosférou i biosférou. Mezi skleníkové plyny patří například oxid uhličitý  $\text{CO}_2$ , metan  $\text{CH}_4$  nebo oxid dusný  $\text{N}_2\text{O}$  [15].

### **3.3 Úbytek stratosférického ozónu (*OD, angl. ozone depletion*)**

Díky úbytku stratosférického dochází k intenzivnějšímu pronikání slunečního UV záření na povrch Země, což může člověku způsobovat rakovinu nebo zánět spojivek. Tento úbytek stratosférického ozónu má však negativní vliv nejen na zdraví lidí, ale také na rostlinstvo a zvířectvo, obecně životní prostředí [16]. Úbytek ozónu způsobují zejména metan a halogenové vodíky vyprodukované lidskou činností. Tyto látky narušují procesy rozkladu ozónu ve stratosféře a vedou k poklesu jeho výskytu [17]. K úbytku ozónu však dochází také

přirozenými příčinami, jako například změnou sluneční činnosti, vulkanické činnosti nebo změnami proudění plynů ve stratosféře [2].

### **3.4 Humánní toxicita (HT, angl. human toxicity)**

Humánní toxicita je vlastnost látky, která má za následek poškození lidského organismu. Účinky látek působících toxicky mohou organismu způsobit smrt či ovlivnit jeho funkce, například narušit hormonální funkci nebo schopnost reprodukce. V případě interakce látky s organismem je látka zpravidla přetransformována organismem na méně toxickou látku, může se však stát, že látka organismem není rozpoznána nebo je špatně vyhodnocena a je následně přeměněna na látku ještě toxičtější. Největší riziko pro ovlivnění organismu škodlivými látkami vzniká skrze ovzduší [2].

### **3.5 Ekotoxicita (ET, angl. ecotoxicity)**

Ekotoxicita je schopnost látky působit toxicky na rovnováhu a správnou funkci ekosystémů. Nejvýznamnější zdroj ekotoxicity je odpad a v něm obsažené kovy a organické látky. Další významnou roli zastávají pesticidní látky, které souvisí se zemědělskou produkcí a ovlivňují půdní ekosystémy. Značný problém představují také produkty farmaceutického průmyslu, jejichž látky vykazují vysokou odolnost a biologickou účinnost a nelze je zcela odstranit v procesu čištění odpadních vod, tudíž následně negativním způsobem ovlivňují přírodní ekosystémy a skrze ně i člověka [2].

### **3.6 Vznik fotooxidantů (POC, angl. photochemical ozone creation)**

Vznik fotooxidantů neboli vznik troposférického ozonu probíhá na základě chemických reakcí za přítomnosti slunečního záření, kterých se účastní oxidy dusíku a těkavé uhlovodíky. Při nepříznivých podmínkách prostředí v podobě tvaru terénu či omezeného proudění vzduchu výskyt nepříznivého ozónu zvyšuje svou koncentraci a stejně tak další toxické fotooxidanty. Tyto látky pak negativním způsobem ovlivňují zdraví člověka, ale také živočichů, rostlin a poškozují některé materiály. Na vzniku fotooxidantů se podílí především automobilová doprava, dále pak průmyslové oblasti, tepelné elektrárny, spalovací procesy, nátěrové prostředky a mnoho dalšího. Na základě zvýšení koncentrace fotooxidantů v atmosféře často dochází v místech se zhuštěnou automobilovou dopravou ke vzniku tzv. fotosmogu, který má negativní vliv na dýchací aparát lidí i zvířat. Látky, jež přispívají k tvorbě troposférického ozónu jsou například halogenové uhlovodíky, freony, těkavé látky [18].

### **3.7 Acidifikace (A, angl. acidification)**

Acidifikace znamená okyselování vody a půdy zvýšenou koncentrací kyselinotvorných látek, které reakcí s vodou produkují vodíkové protony a kationy, jež mají kyselé účinky [2]. Acidifikace je způsobena spalováním fosilních surovin, ale například také jehličnatými lesy, které acidifikaci podporují produkcí jehličí, které se špatně rozkládá a tvoří kyselý humus [19]. Látky způsobující acidifikaci jsou například oxid siřičitý  $\text{SO}_2$ , oxidy dusíku  $\text{NO}_x$  nebo sirovodík  $\text{H}_2\text{S}$ . Acidifikace se podílí na špatné smogové situaci, negativně však kyselost působí také na budovy, památky, sochy, jelikož podporuje korozi a způsobuje rozleptávání

stavebních materiálů [2]. Mezi důsledky ale také patří nedostatečné množství živin pro růst rostlin, snížený výnos plodin nebo působení acidifikace na člověka prostřednictvím rostlin jako potravy [19].

### **3.8 Eutrofizace (E, angl. eutrophication)**

Eutrofizace je souborem procesů, jež v konečném důsledku zvyšuje obsah anorganických živin obsažených ve vodách stojatých či tekoucích. Eutrofizace probíhá přirozeným způsobem uvolňováním živin (dusík, fosfor, silikáty) z půdy nebo sedimentů a odumřelých organismů. Intenzivní zemědělská činnost, odpadní vody nebo používání polyfosforečnanů v prostředcích však způsobuje tento jev uměle. Následkem je růst sinic a řas na úkor jiných organismů. Dochází tak například k uhynutí některých organismů, úbytku zdrojů pitné vody nebo k ohrožení lidského zdraví prostřednictvím podráždění kůže, otoků či zánětu spojivek [20].



## 4 METODIKY LCIA

Pro hodnocení dopadů na životní prostředí je k dispozici několik metodik LCIA, které transformují elementární toky na indikátory kategorií dopadů v rámci dané metodiky. Volba vhodné metodiky LCIA je ovlivněna zkoumanou kategorií dopadu, zda je midpointová nebo endpointová a vliv má také geografická poloha. Pro většinu evropských případů je například vhodná metodika CML-IA a pro oblast Severní Ameriky je to metodika TRACI. Vhodnost v závislosti na geografické poloze je dána rozdíly v ekosystémech daných oblastí [2].

Metodik LCIA existuje celá řada. Podrobná charakteristika jednotlivých metodik by byla velmi rozsáhlá a proto jsou zde uvedeny pouze příklady některých metodik, popřípadě jejich krátké představení.

### 4.1 Midpointové metodiky

Tyto metodiky se zaměřují na vyčíslení možného dopadu, neboli potenciálu dopadu vystupujících produktů a látek [2]. Jako příklad mohou být uvedeny metodiky CML, EDIP 2003 nebo TRACI [21].

#### 4.1.1 CML

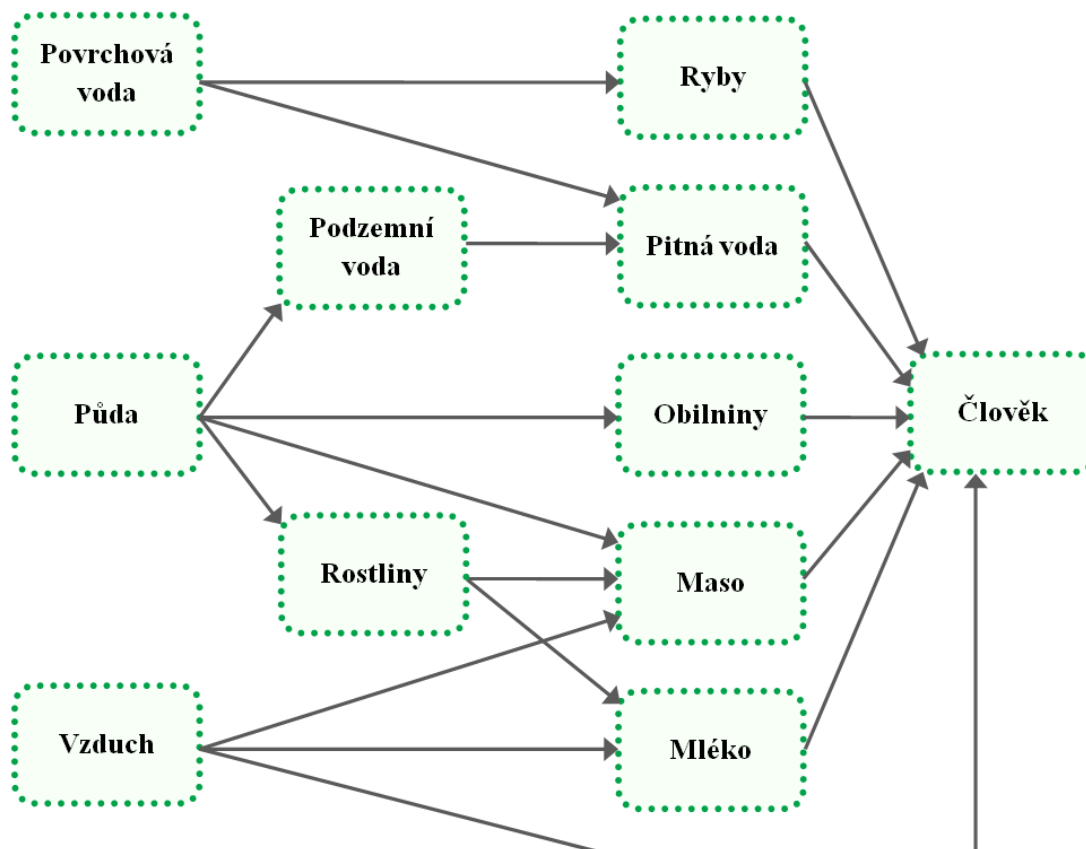
V roce 1996 vznikla na univerzitě Leiden v Nizozemí první verze této metodiky CML 96, která zahrnuje kategorie dopadu: acidifikace, akvatická a půdní ekotoxicita, eutrofizace, humánní toxicita, globální oteplování a vznik fotooxidantů [2]. S postupem času a vývoje tato metodika řeší větší počet kategorií dopadu a nazývá se CML 2001 CML-IA [22].

#### Humánní toxicita (HT)

Model USES-LCA slouží k modelaci přenosu toxických látek směrem k člověku a pomáhá tak k vyčíslení dopadů těchto látek na lidský organismus, ať už prostřednictvím vody, potravy nebo vzduchu. Způsob přijímání toxických látek člověkem je z pohledu USES-LCA znázorněn na obr. 4. Pro charakterizaci humánní toxicity se používá následující rovnice [2]:

$$V_{HT} = \sum_i \sum_{ecomp} m_{i, ecomp} \times HTP_{i, ecomp}$$

- $V_{HT}$  ... indikátor kategorie dopadu humánní toxicita [kg 1,4DCB-eq]
- $i$  ... toxická látka
- $ecomp$  ... složka prostředí, do něhož je toxická látka vypuštěna
- $m_{i, ecomp}$  ... hmotnost toxické látky při emisi do prostředí  $ecomp$
- $HTP_{i, ecomp}$  ... potenciál humánní toxicity/charakterizační faktor



Obr. 4 - Expoziční cesty v modelu USES-LCA [2]

## 4.2 Endpointové metodiky

Cílem těchto metodik je vyčíslení způsobených dopadů na životní prostředí, člověka a konkrétních napáchaných škod [2]. Endpointové metodiky jsou například Eco-indicator 99, EPS 92, 96 a 2000 nebo Ekofaktor [2, 21].

### 4.2.1 Eco-Indicator 99

V roce 1995 byla vytvořena metodika Eco-indicator 95. Princip této metodiky je postavena na principech metodiky CML, vážení a charakterizace kategorie se však liší. Postupem času docházelo ke zdokonalování metodiky prostřednictvím verze Eco-indicator 97 a následně Eco-indicator 99 [2]. Tato metodika analyzuje tři různé typy dopadu: lidské zdraví, ekosystémy a úbytek surovin [22].

Určení charakterizačních faktorů metodiky Eco-indicator 99 má jistou posloupnost. Nejprve je potřeba zhodnotit chování látek v daném prostředí, poté je potřeba provést analýzu expozice, účinku a škod. Na závěr se provádí normalizace a vážení [2].

#### Lidské zdraví

Vyhodnocení důsledků na lidské zdraví probíhá skrze vyjádření počtu let, o které člověk přijde díky působení toxických látek. Vyčíslení tohoto působení umožňují hodnoty DALY (*angl. disability adjusted life years*) [23].

Princip výpočtu hodnot DALY [2]:

$$YLL = N \times R$$

$$YLD = I \times Z \times T$$

$$DALY = YLL + YLD$$

- YLL ... počet let života, které ztratí lidská populace vystavená expozici (*angl. years of life lost*)
- N ... počet úmrtí
- R ... počet let od věku úmrtí do hodnoty průměrného věku života
- YLD ... počet let života s omezením či poškozením na základě expozice (*angl. years lived disabled*)
- I ... počet výskytů onemocnění
- Z ... závažnost onemocnění
- T ... průměrná doba trvání onemocnění
- DALY ... počet roků života ovlivněných nezpůsobilostí

### 4.3 Kombinované metodiky

Kombinované metodiky využívají midpointové i endpointové kategorie dopadu a jako příklad můžeme uvést metodiky IMPACT 2002+, ReCiPe, LIME nebo LUCAS [21].

#### 4.3.1 IMPACT 2002+

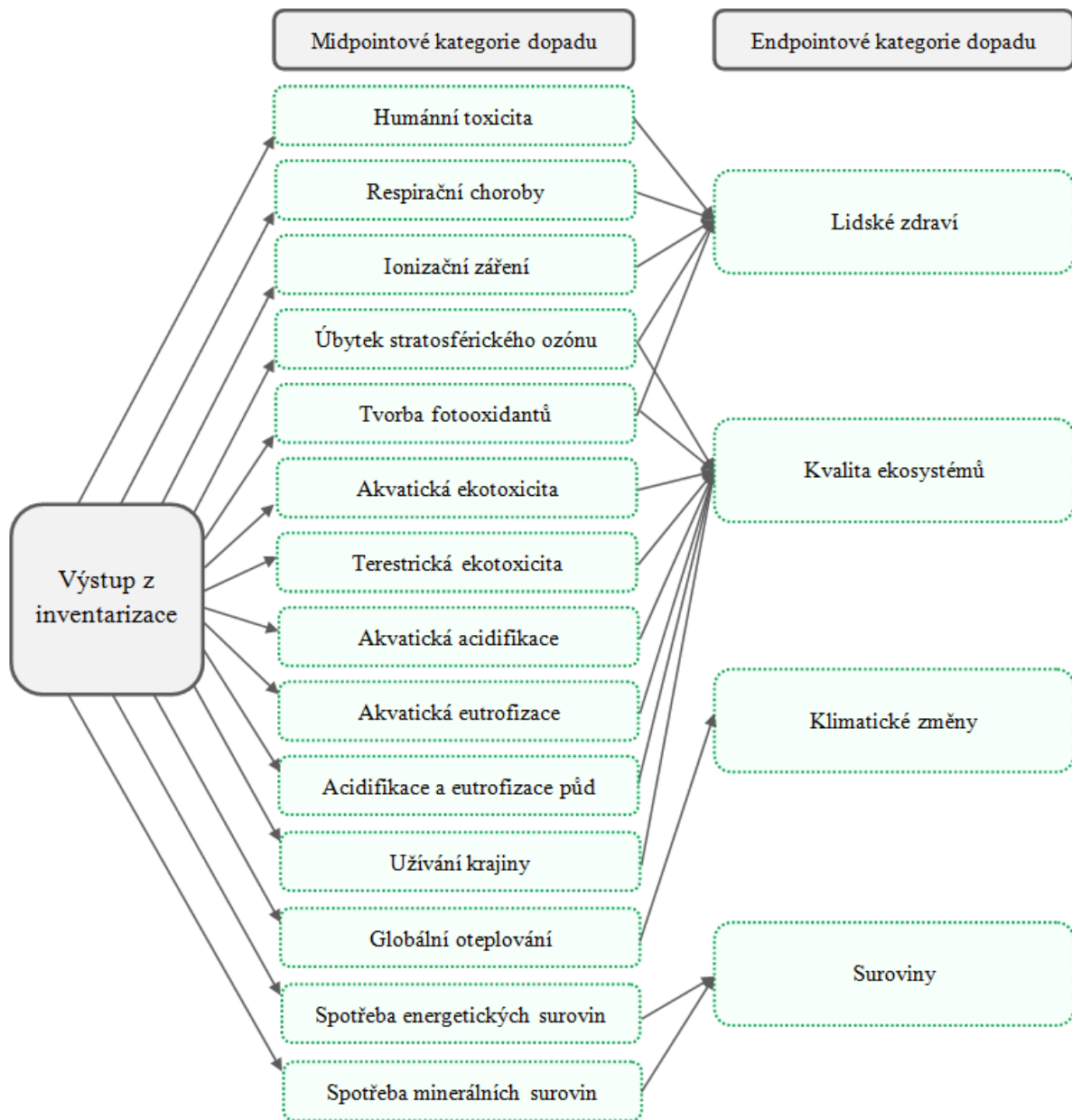
Tato metodika využívá výhod midpointových i endpointových charakterizačních modelů a zahrnuje v sobě celkem 14 midpointových kategorií dopadu a 4 kategorie endpointové [24], viz obr. 5. IMPACT 2002+ je založen na předpokladu, že jeden elementární tok může ovlivňovat zároveň midpointové i endpointové kategorie dopadu a také k němu může být přiřazeno více indikátorů, tudíž se při této metodice počítají tři charakterizační faktory: midpointový, normalizovaný endpointový a endpointový charakterizační faktor [2].

#### **Humánní toxicita (Midpointová kategorie dopadu)**

Metodika vychází z charakterizačních faktorů určených prostřednictvím IMPACT 2002, Eco-indicator 99 a CML [24].

#### **Lidské zdraví (Endpointová kategorie dopadu)**

Tato kategorie dopadu je souhrnem kategorie humánní toxicita, respirační choroby, úbytek stratosférického ozónu, vznik troposférického ozónu a ionizační záření a její jednotkou je DALY [2].



obr. 5 - Kategorie dopadu metodiky IMPACT 2002+ [24]

## 5 IMISNÍ LIMITY ČR

Podle zákona o ochraně ovzduší 201/2012 Sb. a vyhlášky o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích 330/2012 Sb. [25], jsou stanoveny imisní limity nebezpečných látek a také povolené četnosti jejich překročení [26].

### 5.1 Látky mající imisní limity pro ochranu zdraví

Na základě výše zmíněného zákona o ochraně ovzduší jsou stanoveny imisní limity pro ochranu zdraví lidí a maximální počet jejich překročení [26], které zobrazuje tab. 1. V kapitolách 5.1.1 – 5.1.6., jsou charakterizovány škodlivé látky s imisními limity uvedené v tab. 1.

Znečišťující látka	Doba průměrování	Mez pro posuzování [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]		Imisní limit [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ] LV
		Dolní LAT	Horní UAT	
SO <sub>2</sub>	1 hodina	-	-	350 max. 24x za rok
	24 hodin	50 max. 3x za rok	75 max. 3x za rok	125 max. 3x za rok
NO <sub>2</sub>	1 hodina	100 max. 18x za rok	140 max. 18x za rok	200 max. 18x za rok
	Kalendářní rok	26	32	40
PM <sub>10</sub>	24 hodin	25 max. 35x za rok	35 max. 35x za rok	50 max. 35x za rok
	Kalendářní rok	20	28	40
PM <sub>2,5</sub>	Kalendářní rok	12	17	25
Pb	Kalendářní rok	0,25	0,35	0,5
CO	Max. denní 8hod. klouzavý průměr	5 000	7 000	10 000
Benzen	Kalendářní rok	2	3,5	5

Tab. 1 - Znečišťující látky a jejich imisní limity pro ochranu zdraví [25]

### 5.1.1 Oxid siřičitý

Oxid siřičitý bezbarvý, nehořlavý plyn, který je rozpustný ve vodě, chloroformu, diethyletheru, má palčivý a dusivý zápach a je pro člověka toxický [27]. Vzniká spalováním fosilních paliv v dopravě, průmyslu nebo také vulkanickou činností či lesními požáry [28]. Negativní vliv má oxid siřičitý zejména na dýchací cesty, zvláště pro lidi potýkající se s astmatem či jinými poruchami dýchacího systému. Dráždí oči a sliznice, ovlivňuje krevtvorbu a může způsobovat bronchitidu, rozedmu plic atd. [27, 28]. Jelikož oxid siřičitý narušuje proces fotosyntézy, poškozují rostlinstvo, případně ovlivňuje produkci plodin. Dalším problémem je vznik kyselých dešťů, jež negativně působí na vodní a půdní ekosystémy, které jsou pak díky oxidu siřičitému překyselené, což vede k poškození zdraví živočichů i rostlin [27]. Ovlivněné kategorie dopadu jsou: humánní toxicita, acidifikace, vznik fotooxidantů [29].

### 5.1.2 Oxid dusičitý

Oxid dusičitý je žlutohnědá kapalina/červenohnědý plyn (teplota varu je 21,1°C) a má štiplavý a dusivý zápach [30]. Vznik oxidu dusičitého se uskutečňuje prostřednictvím spalovacích procesů v energetice, silniční dopravě, průmyslu atd. [31]. Negativně tento oxid působí na funkci plic, zejména pak u astmatiků [32], může také snižovat odolnost vůči vůči infekčním onemocněním dýchacího ústrojí [33] a zhoršuje okysličování krve [34]. Vlivem působení na zvířata může způsobovat jejich biologické, imunologické a morfologické změny [31]. Podílí se na vzniku kyselých dešťů a ohrožuje tak rostliny a půdu. Přispívá také ke vzniku troposférického ozónu a tedy i fotochemického smogu [35]. Působí na tyto kategorie dopadu: humánní toxicita, acidifikace, eutrofizace, vznik fotooxidantů [29].

### 5.1.3 Olovo

Olovo je stříbrošedý, lesklý, těžký a kujný kov odolný proti korozi. Přirozeně se vyskytuje v zemské kůře, jeho množství však vzrůstá [36]. Vzniká v hutnictví, dopravě spalováním olovnatého benzínu (v ČR zastaveno zákonem k 1. Lednu 2001), energetice v procesu spalování uhlí v tepelných elektrárnách nebo také průmyslovou výrobou a ze špatně zabezpečených skládek [36]. Z chemického hlediska je olovo podobné vápníku, což může ovlivňovat výměnu látek v organismu, spojených právě s vápníkem. Olovo se v těle ukládá převážně v kostech, dále pak v červených krvinkách, játrech a ledvinách a má také vliv na plod, kdy jej přechodem přes placentu poškozují a také se dostává do mateřského mléka, což způsobuje vstřebávání olova skrze trávicí trakt dítěte a následné ukládání olova v těle. Olovo působí na nervový systém, krev a ledviny, obzvláště u dětí, přičemž může způsobit např. poruchy psychomotoriky a funkce ledvin, pokles IQ, anémii, zvýšení krevního tlaku, předčasný porod, poruchy vývoje, rakovinu atd. [37]. Aerosoly vzniklé díky spalování olovnatých paliv se podílí na vzniku smogu, který způsobuje problémy dýchacího ústrojí (bronchitida, astma atd.) [38]. Na životní prostředí působí prostřednictvím znečištění vod a půd a tím ovlivnění rostlin, živočichů, ale i lidí [38]. Olovo ovlivňuje kategoriím dopadu: humánní toxicita, ekotoxicita [29].

#### **5.1.4 Oxid uhelnatý**

Oxid uhelnatý je bezbarvý, hořlavý plyn bez zápachu [39], který vzniká přírodním spalováním, například sopečnou činností, prostřednictvím lesních požárů nebo pak kontrolovaně člověkem v průmyslu, dopravě atd. [40]. Do organismu se tento oxid dostává inhalací, ovlivňuje nervový a cévní systém, může způsobovat únavu, nevolnost, bolest hlavy, závratě, bolest na prsou (lidem se srdečními problémy) a negativně ovlivňuje zrak a koordinaci. Za vysokých koncentrací způsobuje úmrtí [41]. Oxid uhelnatý prostřednictvím chemických reakcí produkuje metan a přízemní ozón, jež způsobuje vznik fotochemického smogu. Díky přeměně CO na CO<sub>2</sub> oxid uhelnatý přispívá také ke skleníkovému efektu [40]. Ovlivněné kategorie dopadu jsou: humánní toxicita, vznik fotooxidantů [29].

#### **5.1.5 Benzen**

Benzen je bezbarvá organická sloučenina kapalného stavu. Má sladký zápach, je hořlavý a používá se jako rozpouštědlo [42, 43]. Vzniká prostřednictvím silniční dopravy (benzen obsažen v benzínu), v průmyslu, hutnictví a nebo také ve spalovnách odpadů [42]. Působí toxicky na imunitní systém, nervovou soustavu, krev a krevetvorné tkáně. Jedná se o karcinogen, způsobuje leukémii, anemii a poškozuje játra a ledviny [42]. Je toxický pro vodní organismy a může ohrozit zdroje pitné vody [44]. Podílí se na vzniku přízemního ozónu a napomáhá tak tvorbě fotochemického smogu [17]. Přiřadit k němu můžeme tyto kategorie dopadu: humánní toxicita, vznik fotooxidantů, ekotoxicita [29].

#### **5.1.6 Poléťavý prach PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>**

PM<sub>10</sub> je označení pro poléťavý prach s částicemi o velikosti maximálně 10 mikrometrů. PM<sub>2,5</sub> pak označuje částice o maximální velikosti 2,5 mikrometrů [45]. Tyto částice vznikají vulkanickou činností, lesními požáry, z mořské vody nebo spalováním fosilních paliv (doprava, energetika, průmysl) [46]. Vlastnosti prachu závisí na jeho chemickém složení (látky arsen, kadmium, nikl a Benzo(a)pyren mají stanoveny imisní limity uvedené v tab. 2). Částice PM<sub>10</sub> se zachycují v horních cestách dýchacích a způsobují podráždění a choroby dýchacího aparátu. PM<sub>2,5</sub> je oproti PM<sub>10</sub> nebezpečnější. Díky jeho velikosti je schopen proniknout dále do lidského těla, až do plicních sklípků, odkad' ty nejmenší (ultra jemné) částice putují až do krevního oběhu [45]. Negativní vliv mají částice na dýchací cesty, onemocnění srdce a cév, mohou způsobovat rakovinu, také je zaznamenána zvýšená nemocnost a úmrtnost [47]. V prostředí se poléťavý prach usazuje na listech rostlin a tím zmenšuje jejich aktivní plochu, nebo může být inhalován zvířaty a negativně tak působit na jejich organismus. Částice o menším průměru setrvávají v atmosféře po delší dobu [48]. Související kategorie dopadu jsou: humánní toxicita, ekotoxicita [29].

### **5.2 Imisní limity pro ochranu zdraví – celkový obsah v částicích PM<sub>10</sub>**

Částice PM<sub>10</sub>, neboli poléťavý prach v sobě obsahuje různé látky [25]. Z těchto látek má několik vybraných škodlivých látek stanoveny imisní limity. Tyto látky jsou arsen, kadmium, nikl a benzo(a)pyren a jsou zobrazeny v tab. 2, společně s jejich imisními limity. Charakteristika těchto látek následuje v kapitolách 5.2.1. – 5.2.4.

Znečišťující látka	Doba průměrování	Mez pro posuzování [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]		Imisní limit [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ] LV
		Dolní LAT	Horní UAT	
As	Kalendářní rok	2,4	3,6	6
Cd	Kalendářní rok	2	3	5
Ni	Kalendářní rok	10	14	20
Benzo(a)pyren	Kalendářní rok	0,4	0,6	1

Tab. 2 - Látky částic PM10 a jejich imisní limity pro ochranu zdraví [25]

### 5.2.1 Arsen

Arsen je polokov šedé barvy bez chuti a zápachu. Má vlastnosti polovodiče a jeho sloučeniny jsou toxické [49]. Ukládá se v kůži, vlasech, nehtech a je schopen přecházet přes placentu, což způsobuje ovlivnění prenatálního vývoje. Při chronické otravě arsenem lze zaznamenat alergické reakce kůže, ekzém, poškození nervového, trávicího a cévního systému. Ovlivněna je také krvetvorba a kardiovaskulární systém. V podobě anorganické sloučeniny může také působit jako karcinogenní látka [50]. Z atmosféry se dostává do vodních i půdních ekosystémů a znečišťuje tak dané prostředí [49]. Kategorie dopadu arsenu jsou: humánní toxicita, ekotoxicita [29].

### 5.2.2 Kadmium

Kadmium je bílý, měkký, tažný, vůči korozi odolný kov [51]. Ukládá se v játrech, ledvinách a způsobuje poškození a zhoršení jejich funkce. Výrazně ovlivňuje reprodukční činnost organismu, kardiovaskulární systém, poškozuje plod, zhoršuje imunitu organismu nebo například snižuje produkci inzulínu [50]. Znečišťuje půdní a vodní ekosystémy, ohroženy jsou tak rostliny i živočichové [51]. Kadmium působí na kategorie dopadu: humánní toxicita, ekotoxicita [29].

### 5.2.3 Nikl

Nikl je stříbrošedý, tvrdý, kujný, elektrický proud vodící kov odolávající korozi, který je ve velkých množstvích toxický [52]. Působí jako karcinogen a způsobuje poškození dýchacího ústrojí, snížení imunity, alergické reakce a je schopen proniknout skrze placentu a ovlivňovat tak vývoj embrya. Dalším důsledkem působení niklu je astma nebo například podráždění sliznic [50]. Z atmosféry se dostává půdních a vodních ekosystémů. Pro vodní organismy působí toxicky, přičemž toxicita je ovlivněna tvrdostí vody [52]. Kategorie dopadu jsou: humánní toxicita, ekotoxicita [29].



### 5.2.4 Benzo(a)pyren

Benzo(a)pyren je aromatická organická látka [53]. Na člověka působí toxicky, ovlivňuje prenatální vývoj, funkci imunitního systému, způsobuje podráždění kůže a má karcinogenní účinky [50]. Způsobuje zvířatům kožní onemocnění, znečišťuje ovzduší a vodní a půdní ekosystémy [53]. Přiřazení ke kategoriím dopadu: humánní toxicita, ekotoxicita [29].

### 5.3 Látky mající imisní limity pro ochranu ekosystémů a vegetace

Na základě zákona o ochraně ovzduší jsou stanoveny také imisní limity látek pro ochranu ekosystémů a vegetace [26]. Tyto znečišťující látky a jejich imisní limity znázorňuje tab. 3.

Znečišťující látka	Doba průměrování	Mez pro posuzování [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]		Imisní limit [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]
		Dolní LAT	Horní UAT	
SO <sub>2</sub>	Rok a zimní období (1.10-31.3)	8	12	20
NO <sub>x</sub>	Kalendářní rok	19,5	24	30

Tab. 3 - Látky s imisními limity pro ochranu ekosystémů a vegetace [25]

#### 5.3.1 Oxidy dusíku

Vznikají spalovacími procesy, při bouřce nebo také činností mikroorganismů [54]. S ohledem na člověka negativně působí na cesty dýchací, především u astmatiků, dráždí oči a sliznice, poškozují plíce [55]. Prostřednictvím kyselých dešťů znečišťuje vodní i půdní ekosystémy a tím negativně působí na další živé organismy. Podílí se na tvorbě skleníkového efektu [54]. Přispívají k tvorbě plísní a omezují schopnost rostlin odolávat v chladnějším prostředí [55]. Ovlivněné kategorie dopadu jsou: humánní toxicita (NO<sub>2</sub>, NO), acidifikace, eutrofizace, globální oteplování (N<sub>2</sub>O) [29].

### 5.4 Imisní limity pro troposférický ozón

Zákon o ochraně ovzduší určuje imisní limity pro troposférický ozón, což ukazuje tab. 4 [26]. Charakteristika ozónu je uvedena v kapitole 5.4.1. a vysvětlení pojmu AOT40 se nachází v kapitole 5.4.2.

Látka	Časový interval	Imisní limit
O <sub>3</sub>	Maximální denní 8hod.klouzavý průměr	120 μg.m <sup>-3</sup> max. 25x průměr za 3 roky
AOT40	Vypočten z 1h hodnot v období květen-červenec	18 000 μg.m <sup>-3</sup> .h průměr za 5 let

Tab. 4 - Látky s imisními limity pro troposférický ozón [25]

#### 5.4.1 Ozón

Ozón je toxický, bezbarvý až namodralý plyn štiplavého zápachu, kondenzující na tmavě modrou kapalinu nebo modročerné krystaly [56]. Vzniká za pomoci chemických reakcí, na nichž se podílí oxidy dusíku, těkavé organické látky a sluneční záření. Při zvýšení teploty a slunečního záření dochází k růstu jeho koncentrace [18]. Dráždí horní cesty dýchací, sliznice, oči a kůži. Způsobuje poškození plic, bolest hlavy, pocit tlaku na hrudi. Obzvláště působí na lidi trpící astmatem či jinými problémy dýchací soustavy [57, 58]. Podporuje vznik skleníkového efektu, poškozuje vegetaci a např. tak snižuje výnos plodin [58]. Ovlivňuje kategorii dopadu humánní toxicita [29].

#### 5.4.2 AOT40

AOT40 je tzv. expoziční index, který se používá pro odhad vlivu O<sub>3</sub> na vegetaci. Tento index se vypočte sumou rozdílů mezi hodinovými koncentracemi ozónu, které jsou větší, než 80 μ.m<sup>-3</sup> (= 40 ppb) a mezní hodnotou 80 μ.m<sup>-3</sup>. AOT40 se počítá v období, kdy většinou dochází k nejintenzivnějšímu růstu plodin, konkrétně v období 1. 5. – 31. 7. a to pouze v časech 8:00 až 20:00, tedy při denním světle [25, 59].

### 5.5 Přehled základních kategorií dopadu a látek s imisními limity

Pro přehled působení látek s imisními limity na jednotlivé základní kategorie dopadu slouží tab. 5, kde jsou ovlivněné kategorie názorně zaznačeny. Tato tabulka slouží pouze jako přehled provázanosti jednotlivých látek a kategorií dopadu a lze odtud vyčíst, že nejvíce látek ovlivňuje kategorii dopadu humánní toxicita, dále pak ekotoxicita, vznik fotooxidantů, acidifikace, eutrofizace a nakonec globální oteplování.

V tabulce jsou zaznačeny pouze ty kategorie, jež jsou danými látkami ovlivňovány přímo. Například vzhledem ke globálnímu oteplování, kdy tuto kategorii přímo neovlivňuje žádná látka s imisním limitem, nelze vyvodit, že tento problém v rámci působení těchto látek nevzniká. Ke globálnímu oteplování svým podílem přispívá např. také CO, který se účastní na vzniku CO<sub>2</sub>, jež je základním skleníkovým plynem.

	Humánní toxicita	Ekotoxicita	Vznik fotooxidantů	Acidifikace	Eutrofizace	Globální oteplování
NO <sub>2</sub>	X		X	X	X	
NO	X		X	X	X	
NO <sub>x</sub>			X	X	X	X (N <sub>2</sub> O)
SO <sub>2</sub>	X		X	X		
Benzen	X	X	X			
CO	X		X			
Pb	X	X				
As	X	X				
Cd	X	X				
Ni	X	X				
Benzo(a)pyren	X	X				
O <sub>3</sub>	X					

Tab. 5 - Znázornění látek s imisními limity a vybraných kategorií dopadu [29]

## 5.6 Kvalita ovzduší v ČR

Podle dat českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) je nejčastěji překračovaným imisním limitem za poslední dva roky imisní limit látky PM<sub>10</sub>. Další látky, jejichž imisní limity jsou překračovány, i když v menší míře, jsou NO<sub>2</sub> a SO<sub>2</sub> a O<sub>3</sub> [60].

### 5.6.1 Ovzduší v roce 2017

Za rok 2017 byl imisní limit PM<sub>10</sub> překročen na celkem 49 stanicích. Koncentrační limit PM<sub>10</sub> je stanoven na 50 µg/m<sup>3</sup> a počet povolených překročení limitu za rok je 35. Na stanici Ostrava-Radvanice ZÚ byl limit překročen 86krát a maximální naměřená koncentrace byla 228,9 µg/m<sup>3</sup>. Stanice Věrnovice naměřila maximální koncentraci 501,5 µg/m<sup>3</sup> a limit byl na této stanici překročen 81krát. Znečišťující látka SO<sub>2</sub> má imisní limit 350 µg/m<sup>3</sup>. K překročení tohoto limitu došlo 5krát na celkem čtyřech stanicích, přičemž maximální povolený počet překročení je 24. Nejvyšší koncentrace SO<sub>2</sub> byla naměřena na stanici Ostrava-Přívoz a její hodnota je 572,8 µg/m<sup>3</sup>. Na této stanici byl imisní limit překročen 2krát. Imisní limit látky NO<sub>2</sub> byl překročen celkem ve dvou případech, kdy hodnota maximální koncentrace 212,9 µg/m<sup>3</sup> byla naměřena na stanici Praha 2-Legerova a maximální povolený počet překročení imisního limitu 200 µg/m<sup>3</sup> je 18. Imisní limit O<sub>3</sub> s hodnotou 120 µg/m<sup>3</sup> byl nejvíce překročen 34krát (limit 25 v průměru za tři roky) s maximální koncentrací 141,5 µg/m<sup>3</sup> na stanici Červená hora a maximální koncentrace 148,7 µg/m<sup>3</sup> byla naměřena na stanici

Mikulov-Sedlec. V několika dalších případech došlo k překročení limitů O<sub>3</sub>, počet povolených překročení však dosažen nebyl [60].

### 5.6.2 O vzduší v roce 2018

V roce 2018 byl doposud překročen imisní limit PM<sub>10</sub> na 12-ti stanicích, přičemž maximální naměřená koncentrace byla 271,9 µg/m<sup>3</sup> a to na stanici Věrnovice. Počet překročení limitu na této stanici je prozatím 56, což je také dosavadní maximální počet překročení na jedné stanici za rok 2018. Za tento rok však již byl překročen také imisní limit látky NO<sub>2</sub>. Imisní limit NO<sub>2</sub> je 200 µg/m<sup>3</sup> a maximální počet povolených překročení je stanoven na 18. Stanice Zlín – ZŠ Kvítkova naměřila vyšší hodnoty celkem 20krát, přičemž maximální koncentrace NO<sub>2</sub> byla naměřena 264,6 µg/m<sup>3</sup>. Imisní limit látky SO<sub>2</sub> pro dobu průměrování 1h je 350 µg/m<sup>3</sup> a maximální povolený počet jeho překročení je 24. Tento limit byl prozatím překročen na třech stanicích a nejvyšší koncentrace dosahovala hodnoty 1 564,8 µg/m<sup>3</sup>. Počet překročení limitu nepřesáhl jeho povolené maximum. Limit 125 µg/m<sup>3</sup> látky SO<sub>2</sub> s dobou průměrování 24 h byl 2krát překročen na stanici Ostrava-Fifejdy a jeho maximální koncentrace byla naměřena 194,6 µg/m<sup>3</sup>. Maximální počet překročení limitu je 3x za rok [60].

### 5.6.3 O vzduší z hlediska částic PM<sub>10</sub> v několika posledních letech

Od roku 2010, až na několik výjimek, dochází k postupnému snižování koncentrací PM<sub>10</sub> v ovzduší na území ČR [61]. Vzhledem k dostupnosti grafických ročenek zhodnocujících kvalitu ovzduší za kalendářní rok, lze porovnat pouze data shromážděné do roku 2016, včetně. Pro názornou ukázkou tendence snižující se koncentrace PM<sub>10</sub> v ovzduší je to však dostačující. Graficky je tento vývoj znázorněn níže, procentuální vyjádření zlepšení situace vyjadřuje tab. 6.

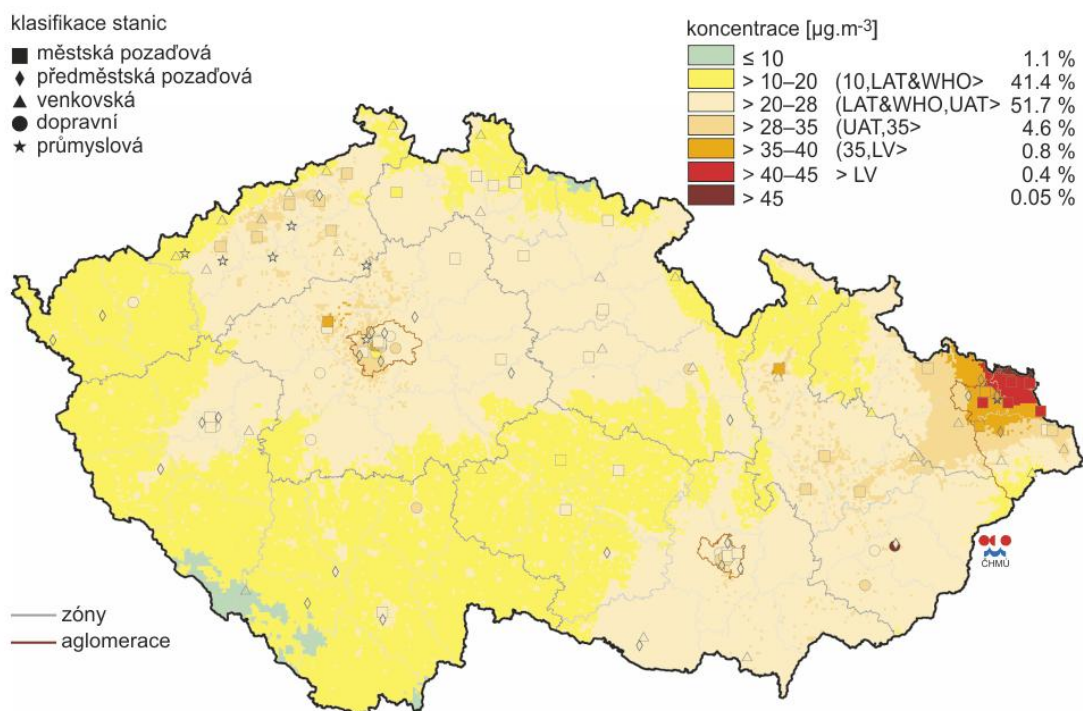
	Překročení denního imisního limitu PM <sub>10</sub>		Překročení ročního imisního limitu PM <sub>10</sub>	
	Stanic [%]	Území [%]	Stanic [%]	Území [%]
<b>2013</b>	<b>32,6</b>	<b>5,7</b>	<b>7,4</b>	<b>0,7</b>
<b>2014</b>	<b>42,9</b>	<b>8,1</b>	<b>7,1</b>	<b>0,45</b>
<b>2015</b>	<b>23,4</b>	<b>2,5</b>	<b>2,3</b>	<b>0,02</b>
<b>2016</b>	<b>15,9</b>	<b>1,4</b>	<b>0,7</b>	<b>*</b>

\* Pouze lokální překročení imisního limitu na jedné stanici, při daném měřítku nedochází k promítnutí do mapy roční průměrné koncentrace

Tab. 6 - Procentuální údaje pro roky 2013 – 2017 [61]

### Roční průměrné koncentrace PM<sub>10</sub> za rok 2014

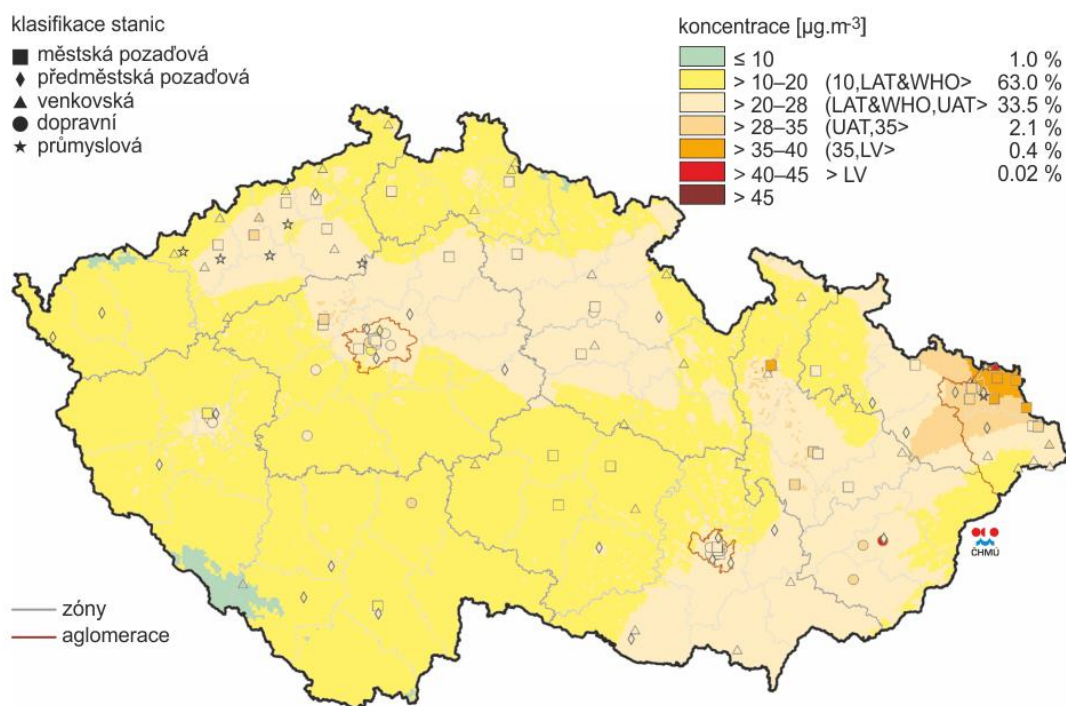
Na obr. 6 lze pozorovat různou koncentraci látky PM<sub>10</sub> v závislosti na oblasti ČR. Nejvíce zatížená je oblast aglomerace Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek, kde se vyskytují i oblasti s roční průměrnou koncentrací PM<sub>10</sub> vyšší, než 45 µg/m<sup>3</sup> (znázorněno tmavě červenou barvou), přičemž imisní limit je 40 µg/m<sup>3</sup>. Naopak nejlepší situace je v oblasti národního parku Šumava, kde je koncentrace menší, než 10 µg/m<sup>3</sup> (zelená barva).



Obr. 6 - Roční průměrné koncentrace  $\text{PM}_{10}$ , 2014 [61]

### Roční průměrné koncentrace $\text{PM}_{10}$ za rok 2015

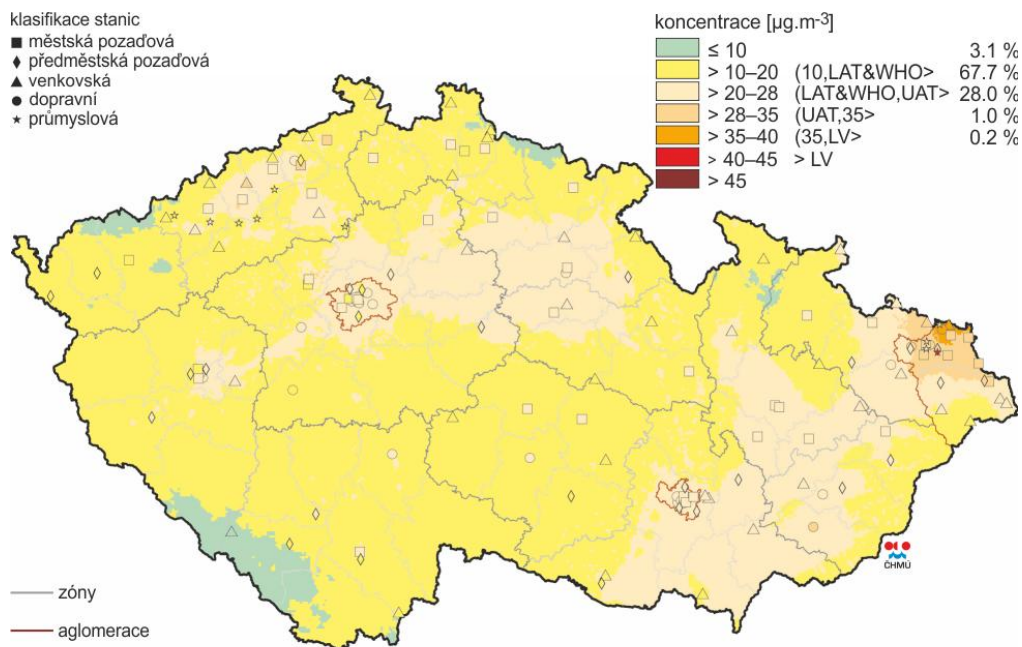
Obr. 7 ukazuje oproti roku 2014 zlepšení situace. Je zřejmé, že došlo k vymizení oblastí s koncentrací  $\text{PM}_{10}$  vyšší, než  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a také se zmenšily rozlohy oblastí s koncentrací vyšší, než  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (oranžová a červená barva). Výrazně přibýlo oblastí s koncentrací nižší, než je dolní mez pro posuzování, tedy  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (žlutá barva).



Obr. 7 - Roční průměrné koncentrace  $\text{PM}_{10}$ , 2015 [61]

## Roční průměrné koncentrace PM<sub>10</sub> za rok 2016

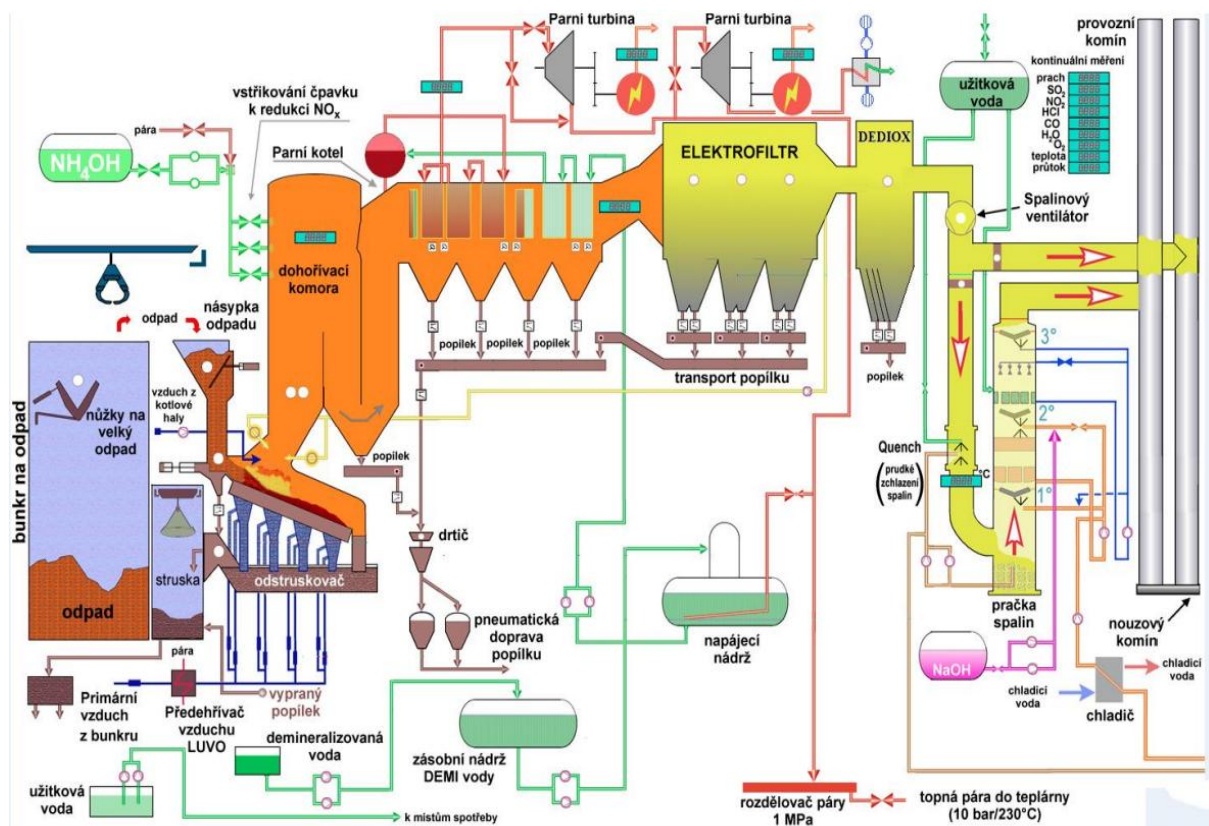
Mapa na obr. 8 ukazuje naprosté vymizení oblastí s koncentrací vyšší, než je imisní limit PM<sub>10</sub>, znázorňuje další pokles rozsahu oblastí s vyššími naměřenými koncentracemi, než dolní mez pro posuzování a naopak opět dochází ke zvětšení rozlohy oblastí s koncentrací menší, než LAT.



Obr. 8 - Roční průměrné koncentrace PM<sub>10</sub>, 2016 [61]

## 6 SPALOVNA TERMIZO LIBEREC

Společnost TERMIZO zpracovává odpad jeho spalováním a pomáhá tak k jeho energetickému využití v podobě tepla, teplé vody či elektřiny. Zařízení dokáže ročně zpracovat zhruba 96 000 tun odpadu a získává tak teplo pro cca 17 000 domácností a elektřinu pro asi 3 000 domácností. Po spalování odpadu však váhově zbyde až jeho 1/3, což je zhruba 28 000 tun ročně, přičemž se jedná o materiál nebezpečný. Výhodou je však jeho materiálového využití až z 97% a to v podobě vyseparovaného železného šrotu, které následně využívají hutě, ale hlavně dochází k využití, jako stavební materiál například pro stavbu hrází. Z celkového zpracovávaného množství odpadu v této spalovně tak dochází k produkci jen 0,3% odpadu [62]. Schéma práce spalovny je zobrazeno na obr. 9.



Obr. 9 - Schéma spalovny [62]

### 6.1 Emise spalovny do ovzduší

Výsledkem procesů zpracování odpadu ve spalovně je vypouštění emisí do ovzduší, a to konkrétně  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{HCl}$ , TZL (PM – prach), TOC (celkový organický uhlík) a  $\text{CO}$  [62]. Jejich hodnoty za posledních 10 let jsou názorně zobrazeny v tab. 7. Z této tabulky lze vyčíst tendenci spalovny emise škodlivých látek snižovat a také je zřejmé, že žádná z emisních látek nepřekračuje povolený limit. Poslední řádek tabulky vyjadřuje emise v procentech povoleného limitu.

<b>Rok</b>	<b>SO2</b>	<b>NO2</b>	<b>HCl</b>	<b>TZL</b>	<b>TOC</b>	<b>CO</b>
<b>LIMIT</b>	<b>200</b>	<b>400</b>	<b>60</b>	<b>30</b>	<b>20</b>	<b>100</b>
<b>2007</b>	3,2	137	0,7	<0,004	0,01	6,3
<b>2008</b>	5,8	142	0,13	<0,004	0,01	3,4
<b>2009</b>	9,9	142	0,03	0,01	0,02	7,5
<b>2010</b>	3,9	135	0,03	<0,004	0,03	12
<b>2011</b>	5	132	0,16	<0,0002	0,02	15
<b>2012</b>	8,9	131	0,12	0,01	0,58	24
<b>2013</b>	3,3	105	0,04	0,04	0,05	9,48
<b>2014</b>	2,82	119	0,01	0,01	0,05	13,15
<b>2015</b>	0,77	156,7	0,01	0,32	0,09	7,5
<b>2016</b>	2,35	170	0,01	0,12	0,03	11,97
<b>2017</b>	1,69	119,8	0,009	0,009	0,009	8,68
<b>2017 (%)</b>	<b>3,4</b>	<b>59,9</b>	<b>0,09</b>	<b>0,09</b>	<b>0,05</b>	<b>17,36</b>

**Tab. 7 - Přehled emisí spalovny, 2007 – 2017 [62]**

## **6.2 Vyhodnocení spalovny**

Na základě výstupních neboli emisních látek, které spalovna TERMIZO vypouští do životního prostředí, můžeme určit kategorie dopadu těchto látek, vzhledem k jejich vlastnostem definovaným v kapitole 5: humánní toxicita, vznik fotooxidantů, acidifikace, eutrofizace a ekotoxicita. Množství těchto vypouštěných látek je však velmi malé vzhledem ke stanoveným emisním limitům a celkově tak látky přispívají ke zmíněným kategoriím dopadu velmi malou měrou.

Prostřednictvím energetického využívání odpadů při jeho spalování dochází k omezení negativního působení skládkování, úspoře fosilních paliv, což znamená šetření neobnovitelných zdrojů energie a také snížení emisí produkovaných právě spalováním fosilních paliv [64]. Když tedy pomíneme preferované způsoby nakládání s odpadem v podobě předcházení jeho produkce, jeho opětovnému využívání či materiálového využití, je spalování odpadů pro energetické využití nejlepší možností nakládání s odpady [65].



Vzhledem k tomu, že evropská unie prostřednictvím evropské směrnice 99/31/ES ukládá požadavky na omezení skládkování odpadů, mělo by být v roce 2020 sníženo množství biologicky rozložitelných odpadů o 65% oproti roku 1995. Tyto požadavky se České republice nedaří plnit. Spalovací zařízení pro výrobu energie by tomuto snižování odpadů pro skládkování mohla výrazně pomoci [63].

Pro znázornění směsného komunálního odpadu (SKO) vzhledem ke směrnici 99/31/ES slouží tab. 8. Množství SKO je uvedeno v jednotkách t/rok.

	2006	2010	2013	2020
<b>Produkce SKO*</b>	2 208 034	2 243 465	2 318 923	2 726 380
<b>Nutno odklonit od skládkování</b>		942 013	1 412 764	2 049 959
<b>Možno uložit na skládku</b>	1 920 990	1 301 452	906 159	676 421

\* po vyřídění materiálů využitelných složek a bioodpadu.

**Tab. 8 – Bilance SKO ve vztahu ke směrnici 99/31/ES [63]**

Z uvedené tabulky vyplývá, že v roce 2020 bude předpokládaná produkce SKO až 4krát vyšší, než umožňuje zmíněná evropská směrnice. Tato směrnice sice umožňuje spalování odpadu pro výrobu energie, kapacita spaloven v ČR však momentálně není schopna takové množství odpadu zpracovat [63].

Vhodným řešením by tedy bylo vytvoření optimální sítě zařízení na zpracování SKO pro energetické využití, která by pokryla nutné snížení SKO pro skládkování. Toto řešení je však nejen finančně velmi náročné, ale také z časového hlediska nemožné pro vyhovění evropským požadavkům pro rok 2020. Je však nutné se touto problematikou do budoucna zabývat. Řešení optimální sítě je předmětem LCA studií, které jsou schopny tento problém obsáhnout tak, aby řešení bylo co možná nejvhodnější.

## 7 ZÁVĚR

V úvodu této bakalářské práce rešeršního charakteru je představena metoda posuzování životního cyklu (LCA) a také její čtyři hlavní fáze, které jsou zde krátce charakterizovány. Blíže se práce zaměřuje na třetí fázi metody LCA, a to je fáze hodnocení dopadů (LCIA), které spadají do určitých kategorií. V této souvislosti bylo uvedeno několik možných způsobů dělení těchto kategorií. Nejzákladnější a nejpoužívanější kategorie dopadu byly popsány pro pochopení jejich působení na životní prostředí. V rámci fáze LCIA je postupováno dle určitých metodik, které různým způsobem vyhodnocují vlivy na životní prostředí. Vzhledem k jejich množství a obsáhlosti byly v této práci uvedeny pouze příklady několika metodik dle různých kategorií dopadu a jen krátce představeny některé z nich. Rozsáhlejší částí práce je kapitola zaměřující se na imisní limity České republiky, kde jsou popsány vlastnosti látek mající imisní limity a jsou přiřazeny k příslušným kategoriím dopadu, které svým působením dané látky ovlivňují. Dále je v kapitole imisních limitů zhodnocena kvalita ovzduší za několik posledních let. Z této rešerše vyplývá, že nejvíce problémovou látkou je v posledních letech poléťavý prach. Na obrázkové dokumentaci je názorně ukázán vývoj tohoto problému za období let 2014 – 2016, kdy lze pozorovat zlepšení situace ovzduší z pohledu této problematiky. V závěru bakalářské práce je věnována pozornost zařízení na zpracování odpadů pro energetické využití a to spalovně TERMIZO Liberec. Jsou zde vyhodnoceny emise, které spalovna vypouští a také je pojednáno o vhodném rozšíření sítě nakládání s odpady v rámci splnění požadavků evropské unie.

Výpočtový program NERUDA plánuje rozšíření o hledisko životního prostředí v rámci kvality ovzduší a následných důsledků škodlivých látek na obyvatelstvo. Pro tento účel by tato práce mohla pomoci k implementaci kritérií tohoto enviromentálního hlediska.

## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Návrh optimální sítě zařízení v krajích a v ČR. In: *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2018 [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/projekty\\_po8\\_opzp\\_2007\\_2013/\\$FILE/ODP-1\\_1\\_2\\_MZP\\_FIN-20160810.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/projekty_po8_opzp_2007_2013/$FILE/ODP-1_1_2_MZP_FIN-20160810.pdf)
- [2] KOČÍ, Vladimír. *Posuzování životního cyklu Life Cycle Assessment - LCA*. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2009. ISBN 80-868-3242-5.
- [3] PAVLAS, Martin a Radovan ŠOMPLÁK. Predikování budoucích nákladů za zpracování odpadů s využitím nástroje NERUDA. In: *Odpadové fórum* [online]. Praha: Odpadové fórum, 2018 [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <http://www.odpadoveforum.cz/TVIP2015/prispevky/016.pdf>
- [4] NEVRLÝ, Vladimír, Radovan ŠOMPLÁK, Jiří GREGOR, Martin PAVLAS a Jiří Jaromír KLEMEŠ. Impact assessment of pollutants from waste-related operations as a feature of holistic logistic tool. In: *Science Direct* [online]. Science Direct, 2018 [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479718305164>
- [5] LCA (analýza životního cyklu) a EPD (environmentální prohlášení o produktu). *ATELIER DEK* [online]. 2014 [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://atelier-dek.cz/lca-anal%C3%BDza-%C5%BEivotn%C3%ADho-cyklu-epd-environment%C3%A1ln%C3%AD-prohl%C3%A1en%C3%AD-o-produktu-646>
- [6] Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context. In: *Joint Research Centre: European Platform on Life Cycle Assessment* [online]. European Union, 2017 [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Recommendation-of-methods-for-LCIA-def.pdf>
- [7] LCA ANALÝZA. *ZÚS: Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p.* [online]. Praha: Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <http://www.tzus.cz/certifikace-budov/prohlaseni-epd-lca-analyza/lca-analyza>
- [8] METODA POSUZOVÁNÍ ŽIVOTNÍHO CYKLU A CHEMICKÝ PRŮMYSL. In: *Chemické listy* [online]. Praha: Chemické listy, 2010 [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: [http://chemicke-listy.cz/docs/full/2010\\_10\\_921-925.pdf](http://chemicke-listy.cz/docs/full/2010_10_921-925.pdf)
- [9] ISO 14040:2006 – Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework (2006) by International S. Organization
- [10] MALÝ, Karel. *Životní cyklus průmyslových podlah v zemědělství a lesnictví* [online]. Brno, 2010 [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: [https://is.mendelu.cz/lide/clovek.pl?zalozka=13;id=6936;studium=29928;zp=29733;download\\_prace=1;lang=cz](https://is.mendelu.cz/lide/clovek.pl?zalozka=13;id=6936;studium=29928;zp=29733;download_prace=1;lang=cz). Doktorská disertační práce. Mendelova univerzita v Brně.
- [11] VLACH, Josef. *POSUZOVÁNÍ ŽIVOTNÍHO CYKLU KOMUNÁLNÍHO ODPADU* [online]. Brno, 2008 [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: [https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/13785/2008\\_DP\\_VLACH\\_JOSEF\\_53259.pdf?sequence=-1](https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/13785/2008_DP_VLACH_JOSEF_53259.pdf?sequence=-1). Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Jaroslav Jícha.

- [12] Mandatory and optional elements within an LCIA. *Thinkstep GaBi* [online]. Thinkstep GaBi [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <http://www.gabi-software.com/international/support/gabi/gabi-5-lcia-documentation/mandatory-and-optional-elements-within-an-lcia/>
- [13] Impact categories, normalisation and weighting in LCA. In: *Miljø- og Fødevareministeriet: Miljøstyrelsen* [online]. København: Miljø- og Fødevareministeriet, 2005 [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2005/87-7614-574-3/pdf/87-7614-575-1.pdf>
- [14] Neobnovitelné zdroje energie. [Http://www.snizujeme.cz/](http://www.snizujeme.cz/)[online]. snizujeme.cz, 2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.snizujeme.cz/slovník/neobnovitelné-zdroje-energie/>
- [15] Globální oteplování. *Vysoká škola chemicko-technologická v Praze* [online]. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2009 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: [https://web.vscht.cz/~nadhernl/chi/globalni\\_oteplivani.html](https://web.vscht.cz/~nadhernl/chi/globalni_oteplivani.html)
- [16] MÁJKOVÁ, Libuše a Tomáš LITSCHMANN. Úbytek stratosférického ozónu a pozorované abiotické poškození rostlin u nás. In: *AMET - sdružení Litschmann & Suchý* [online]. Velké Bílovice: AMET [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.amet.cz/UVBM.pdf>
- [17] OZÓNOVÁ VRSTVA A SKLENÍKOVÝ EFEKT. In: *Katedra fyziky Přf OU informace studentům* [online]. Ostrava: Katedra fyziky Přf OU, 2005 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: [http://artemis.osu.cz/Student/OVSE\\_tex.pdf](http://artemis.osu.cz/Student/OVSE_tex.pdf)
- [18] Vznik troposférického ozónu. *Toulcův dvůr: Středisko ekologické výchovy* [online]. Praha: Toulcův dvůr, 2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: [http://www.toulcuvdvor.cz/stezkazp/p4\\_fotooxidanty.html](http://www.toulcuvdvor.cz/stezkazp/p4_fotooxidanty.html)
- [19] Okyselování půdy. *Vítejte na Zemi: multimediální ročenka životního prostředí* [online]. Praha: Vítejte na Zemi, 2013 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: [http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=okyselovani\\_pudy&site=puda](http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=okyselovani_pudy&site=puda)
- [20] KOČÍ, Vladimír, Jiří BURKHARD a Blahoslav MARŠÁLEK. EUTROFIZACE NA PŘELOMU TISÍCILETÍ. *Laboratoř EKOTOXIKOLOGIE: Ústavu chemie ochrany prostředí, VŠCHT Praha* [online]. Praha: Laboratoř EKOTOXIKOLOGIE [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://ekotoxikologie.sweb.cz/toxlab/knihovna/eutrofizace.htm>
- [21] SHARAAI, Amir Hamzah, Noor Zalina MAHMOOD a Abdul Halim SULAIMAN. Life Cycle Impact Assessment (LCIA) Using TRACI Methodology: an Analysis of Potential Impact on Potable Water Production. In: *UM RESEARCH REPOSITORY* [online]. Penang: University of Malaya [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: [http://eprints.um.edu.my/10795/1/Life\\_Cycle\\_Impact\\_Assessment\\_\(LCIA\)\\_using\\_TRA CI\\_methodology\\_An\\_analysis\\_of\\_potential\\_im.pdf](http://eprints.um.edu.my/10795/1/Life_Cycle_Impact_Assessment_(LCIA)_using_TRA CI_methodology_An_analysis_of_potential_im.pdf)
- [22] ACERO, Aitor P., Cristina RODRIGUEZ a Andreas CIROTH. LCIA methods: Impact assessment methods in Life Cycle Assessment and their impact categories. In: *Open LCA*[online]. Berlin: Open LCA, 2018, 16 March 2015 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://www.openlca.org/wp-content/uploads/2015/11/LCIA-METHODS-v.1.5.4.pdf>
- [23] The Eco-indicator 99: A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. In: *Research Gate* [online]. Research Gate, c2008-2018, 22 June 2001 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/274324635\\_Eco-indicator\\_99\\_Methodology\\_report](https://www.researchgate.net/publication/274324635_Eco-indicator_99_Methodology_report)

- [24] MENOUI, Karim Ali Ibrahim. *Life Cycle Analysis and Life Cycle Impact Assessment methodologies: A state of the art* [online]. Lleida, 2011 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://repositori.udl.cat/bitstream/handle/10459.1/45831/Ali.pdf?sequence=2>. Diplomová práce. Escola Politècnica Superior.
- [25] Imisní limity. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2012 [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/info/limity\\_CZ.html](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/info/limity_CZ.html)
- [26] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon o ochraně ovzduší. In: *Sbírka zákonů*. Praha: Tiskárna Ministerstva vnitra, 2012, ročník 2012, částka 69, číslo 201. Dostupné také z: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/info/201-2012\\_ZakonOOchraneOvzduasi.pdf](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/info/201-2012_ZakonOOchraneOvzduasi.pdf)
- [27] NEMEČKOVÁ, Táňa. *Sirné emise-zdroje, vlastnosti, reakce v atmosféře* [online]. Zlín, 2005 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: [https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/898/neme%C4%8Dkov%C3%A1\\_2006\\_bp.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/898/neme%C4%8Dkov%C3%A1_2006_bp.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická. Vedoucí práce Jaromír Hoffmann.
- [28] PETRLÍK, Jindřich a Petr VÁLEK. Oxidy síry. *Arnika* [online]. Praha: Praha, 2014 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://arnika.org/oxidy-siry>
- [29] Bref economics cross media issues. In: *Rijkswaterstaat: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat* [online]. Rijkswaterstaat, May 2015 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: [https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwiq9df9n4XbAhWya5oKHeuUBu4QFgg3MAE&url=http%3A%2F%2Fwww.infomil.nl%2Fpublish%2Fpages%2F60545%2Fbrefeconomicscrossmediaissues-annex1t-m9.pdf&usg=AOvVaw3t4rRBmVI17MwHje\\_0fbNa](https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwiq9df9n4XbAhWya5oKHeuUBu4QFgg3MAE&url=http%3A%2F%2Fwww.infomil.nl%2Fpublish%2Fpages%2F60545%2Fbrefeconomicscrossmediaissues-annex1t-m9.pdf&usg=AOvVaw3t4rRBmVI17MwHje_0fbNa)
- [30] Oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>/NO<sub>2</sub>). *Integrovaný registr znečišťování* [online]. Praha: Praha, 2005 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: [https://www.irz.cz/repository/latky/oxidy\\_dusiku.pdf](https://www.irz.cz/repository/latky/oxidy_dusiku.pdf)
- [31] ŠMÍDA, Petr. *OXIDANTY V OVZDUŠÍ Zdroje, přeměny, vlivy pozitivní a negativní* [online]. Zlín, 2006 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: [http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/2282/%C5%A1m%C3%ADda\\_2006\\_bp.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/2282/%C5%A1m%C3%ADda_2006_bp.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická. Vedoucí práce Jaromír Hoffmann.
- [32] RIZIKA STANDARDNÍCH IMISNÍCH ŠKODLIVIN. In: *Amper: Katedra fyziky, chemie a odborného vzdělávání, oddělení fyziky Pedagogické fakulty Masarykovy Univerzity v Brně* [online]. Brno: Amper [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: [http://amper.ped.muni.cz/jenik/kr\\_ovzd/rizika\\_stand\\_imis\\_skodlivin.rtf](http://amper.ped.muni.cz/jenik/kr_ovzd/rizika_stand_imis_skodlivin.rtf)
- [33] Zdravotní dopady. *Air quality in Europe* [online]. Air quality in Europe, 2007 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: [https://www.airqualitynow.eu/cz/pollution\\_health\\_effects.php#parag2](https://www.airqualitynow.eu/cz/pollution_health_effects.php#parag2)
- [34] Rizikové složky vzduchu. *Airbi: Home Appliances* [online]. Brno: airbi, 2011 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://www.airbi.cz/rizikove-slozky-vzduchu/>
- [35] Oxid dusičitý (NO<sub>2</sub>). *Čisté nebe* [online]. Ostrava: Čisté nebe [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.cistenebe.cz/stav-ovzduasi-na-ostravsku/slovnicek-pojmu/10-oxid-dusicity-no2>

- [36] HAVEL, Milan a Lucie GAŽÁKOVÁ. Olovo. *Arnika* [online]. Praha: Arnika, 2014 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://arnika.org/olovo>
- [37] PRAŽÁKOVÁ, Hana, M. OTTO a K. E. VON MÜHLEND AHL. Olovo. *Allum* [online]. Allum, 2013 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.allum.cz/toxicke-latky/olovo>
- [38] NAVRÁTIL, Tomáš a Jan ROHOVEC. OLOVO - vlastnosti, historie a budoucnost používání. *Envi Web* [online]. Brno: Envi Web, c1999-2018, 2006/9 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/61564>
- [39] Oxid uhelnatý. *Integrovaný registr znečišťování* [online]. Praha: IRZ [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: [https://www.irz.cz/repository/latky/oxid\\_uhelnaty.pdf](https://www.irz.cz/repository/latky/oxid_uhelnaty.pdf)
- [40] HAVEL, Milan a Petr VÁLEK. Oxid uhelnatý. *Arnika* [online]. Praha: Arnika, 2014 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://arnika.org/oxid-uhelnaty>
- [41] PÍŠEK, David. *Hodnocení hmotnostní koncentrace poléťavého prachu v silniční dopravě v závislosti na rychlosti jízdy vozidel* [online]. České Budějovice, 2015 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: [https://theses.cz/id/vk8hms/BP\\_P\\_ek\\_2015.pdf](https://theses.cz/id/vk8hms/BP_P_ek_2015.pdf). Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích Zemědělská fakulta. Vedoucí práce Ivo Celjak.
- [42] PETRLÍK, Jindřich a Petr VÁLEK. Benzen. *Arnika* [online]. Praha: Arnika, 2014 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://arnika.org/benzen>
- [43] Benzene. *Pubchem: Open chemistry database* [online]. Bethesda: Pubchem [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/241#section=Top>
- [44] Benzen. In: *Katedra chemie* [online]. Ústí nad Labem: Katedra chemie [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/Benzen.pdf>
- [45] SKEŘIL, Robert. Co je to za prach to PM10 a PM2,5 ?. *Blog o ovzduší v Brně a Jihomoravském kraji* [online]. Skeřil, 2017, 20. 7. 2017 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.ovzdusi-brno-jm.cz/index.php/2017/07/20/co-je-to-za-prach-to-pm10-a-pm25/>
- [46] PETRLÍK, Jindřich a Petr VÁLEK. Poléťavý prach - PM10. *Arnika* [online]. Praha: Arnika, 2014 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://arnika.org/poletavy-prach-pm10>
- [47] Ovzduší. In: *Státní zdravotní ústav* [online]. Praha: Státní zdravotní ústav, 2016 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: [http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/dokumenty\\_zdravi/ovzdusi\\_rizika\\_praha\\_2016.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/dokumenty_zdravi/ovzdusi_rizika_praha_2016.pdf)
- [48] Poléťavý prach (PM10). *Integrovaný registr znečišťování: Ministerstvo životního prostředí České republiky* [online]. Praha: Integrovaný registr znečišťování [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://www.irz.cz/node/85>
- [49] HAVEL, Milan a Petr VÁLEK. Arsen. *Arnika* [online]. Praha: Arnika, 2014 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://arnika.org/arsen>
- [50] ODHAD ZDRAVOTNÍCH RIZIK ZE ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ. *Státní zdravotní ústav* [online]. Praha: SZÚ, 2016 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: [http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/dokumenty\\_zdravi/rizika\\_CRI\\_2016.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/dokumenty_zdravi/rizika_CRI_2016.pdf)
- [51] PETRLÍK, Jindřich a Petr VÁLEK. Kadmium. *Arnika* [online]. Praha: Arnika, 2014 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://arnika.org/kadmium>

- [52] KLEGER, Ladislav a Petr VÁLEK. Nikl. *Arnika* [online]. Praha: Arnika, 2014 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://arnika.org/nikl>
- [53] VÁLEK, Petr. Benzo(a)pyren. *Arnika* [online]. Praha: Arnika, 2014 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://arnika.org/benzoapyren>
- [54] HAVEL, Milan, Vít VEBR a Petr VÁLEK. Oxidy dusíku. *Arnika* [online]. Praha: Arnika, 2014 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://arnika.org/oxidy-dusiku>
- [55] KOVAŘÍKOVÁ, Dana. Znečišťující látky v ovzduší a jejich škodlivost I. SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1</sub>. *Ekologické centrum Most* [online]. Most: Ekologické centrum Most pro Krušnohoří, 2006, 10. dubna 2013 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: [http://www.ecmost.cz/clanky.php?page=znecistujici\\_latky](http://www.ecmost.cz/clanky.php?page=znecistujici_latky)
- [56] Ozone. *Pubchem* [online]. Bethesda: Pubchem [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/24823#section=Top>
- [57] Látky znečišťující ovzduší: Přízemní ozon. *Arnika* [online]. Praha: Arnika, 2014 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://arnika.org/latky-znecistujici-ovzdusi>
- [58] TROPOSFÉRICKÝ OZÓN A RIZIKÁ RASTU JEHO KONCENTRÁCIE. In: LITSCHMANN, T. a J. ROŽNOVSKÝ. *Agrometeorologická konference 93*. Brno: ČBkS, 1993.
- [59] Přízemní ozon. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2012 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr98cz/kap\\_0234/kap\\_0234.htm](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr98cz/kap_0234/kap_0234.htm)
- [60] Informace o kvalitě ovzduší v ČR. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2012, 19.05.2018 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web\\_generator/exceed/index\\_CZ.html](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/exceed/index_CZ.html)
- [61] Znečištění ovzduší na území České republiky: KVALITA OVZDUŠÍ V ČESKÉ REPUBLICE. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2012 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/grafroc\\_CZ.html](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/grafroc_CZ.html)
- [62] *TERMIZO* [online]. Liberec: TERMIZO, 2018 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://tmz.mvv.cz/>
- [63] Požadavky evropské unie. *Odpad je energie* [online]. Praha: Odpad je energie, 2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.odpadjeenergie.cz/svet-a-cr/cr-a-evropa/pozadavky-evropske-unie>
- [64] Cyklus energetického využívání odpadů. *Odpad je energie* [online]. Praha: Odpad je energie, 2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.odpadjeenergie.cz/svet-a-cr/cr-a-evropa/cyklus-energetickeho-vyuzivani-odpadu>
- [65] Komunální odpad a co s ním?. *Odpad je energie* [online]. Praha: Odpad je energie, 2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.odpadjeenergie.cz/svet-a-cr/cr-a-evropa/komunalni-odpad-a-co-s-nim>