

Příručka základních informací o posuzování
životního cyklu



Vladimír Kočí

Březen 2010

Souhrn

Cílem této krátké příručky je vymezit problematiku posuzování životního cyklu a ukázat základní principy metody LCA. Pro bližší seznámení s metodikou je třeba použít vhodnou literaturu. Výchozím pramenem pro tuto příručku byla kniha Kočí, V.: Posuzování životního cyklu – LCA. Chrudim 2009.



Tato příručka byla vytvořena díky podpoře z fondu NPVII MŠMT v rámci řešení projektu 2B06121 „Koncepty integrovaných systémů pro optimalizaci nakládání se směsnými komunálními odpady preferující moderní principy EU a jejich posouzení metodou LCA“.

© Vladimír Kočí

Praha 2010

Obsah

1	Úvod	3
1.1	Posuzování životního cyklu produktů	3
1.2	Standardizace LCA studií	3
2	Životní cyklus produktu	3
2.1	Produktový systém	4
2.2	Materiálové a energetické toky	4
2.3	Procesy	5
2.4	Elementární toky	5
2.5	Fáze metody LCA	5
3	Definice cílů a rozsahu studie LCA	6
3.1	Definice rozsahu – technická specifikace	7
4	Inventarizace životního cyklu	7
4.1	Sestavení schématu produktového systému	7
4.2	Alokace	8
4.3	Výpočet ekovektoru produktového systému	9
4.4	Inventarizační tabulky	9
5	Hodnocení dopadů životního cyklu	9
5.1	Kategorie dopadu	10
5.2	Dopadový řetězec	10
5.3	Indikátor kategorie dopadu	11
5.4	Charakterizační model kategorie dopadu	11
5.5	Princip hodnocení dopadů životního cyklu	11
5.6	Klasifikace	12
5.7	Charakterizace	12
5.7.1	Charakterizační profil produktového systému	13
5.8	Normalizace	13
5.9	Seskupování	13
5.10	Vážení	14
6	Interpretace životního cyklu	15
6.1	Identifikace významných zjištění	15
6.2	Hodnocení LCA studií	16
6.2.1	Kontrola úplnosti	16
6.2.2	Kontrola konzistence	17
6.2.3	Analýza nejistot	17

6.2.4	Analýza citlivosti.....	18
6.2.5	Analýza obměny.....	18
6.2.6	Hodnocení kvality dat	19
6.3	Formulace závěrů, omezení a doporučení studie LCA	19
7	Kritické přezkoumání studie LCA	20
7.1	Role oponenta studie LCA	20
8	Podávání zpráv z LCA studií	21
8.1	Zpráva pro zadavatele studie LCA.....	21
8.2	Zpráva určená ke zveřejnění.....	22
9	Použití LCA.....	22
9.1	Srovnávání alternativních produktů – komparativní studie	22
9.2	Interní zlepšování výrobních systémů.....	22
9.3	Komunikace s veřejností	22
9.4	Environmentální značení.....	23
9.5	LCA v odpadovém hospodářství.....	23
9.6	Ekodesign	24
10	Závěr.....	24
11	Literatura týkající se LCA.....	26
11.1	Platné ČSN EN ISO normy týkající se LCA.....	26
11.2	Související ISO dokumenty.....	26
11.3	Citovaná literatura	26

1 Úvod

1.1 Posuzování životního cyklu produktů

Posuzování životního cyklu LCA (angl. life cycle assessment) je **analytická metoda hodnocení environmentálních dopadů** (tj. dopadů na životní prostředí) výrobků, služeb a technologií, obecně lidských produktů [1]. Metoda LCA přistupuje k hodnocení environmentálních dopadů produktů s ohledem na jejich celý životní cyklus, zahrnuje tedy environmentální dopady produktů již od stádia získávání a výroby výchozích materiálů, přes stádium výroby samotného produktu, stádium jeho užívání až po stádium jeho odstranění, opětovného užití či recyklaci v něm použitých materiálů. Environmentální dopady produktů jsou hodnoceny na základě posouzení vlivu materiálových a energetických toků, jež sledovaný systém vyměňuje se svým okolím, tedy s životním prostředím.

Významným přínosem metody LCA je vyjadřování environmentálních dopadů pomocí tak zvaných kategorií dopadu. **Kategorie dopadu** je specifický problém životního prostředí, na jehož rozvoji se lidská činnost v důsledku výměny látek či energií s okolním prostředím podílí. Příkladem kategorií dopadu může být globální oteplování, úbytek stratosférického ozónu či eutrofizace. Hodnocení environmentálních dopadů v LCA není omezeno na výčet množství jednotlivých škodlivých materiálových či energetických toků, ale pomocí hodnot vyjadřujících míru poškození dané kategorie dopadu podává informaci o možném konkrétním poškození. Důsledné vyjadřování environmentálních dopadů lidských činností pomocí kategorií dopadu umožňuje **identifikovat nežádoucí přenášení problému z místa na místo**. Co se tímto přenášením míní? Nežádoucí jev, kdy se sice na jednom místě snažíme životnímu prostředí určitou akcí pomoci, na jiném místě se ovšem díky této aktivitě dopouštíme poškození prostředí v jiné podobě. Jestliže kupříkladu zavedeme vytápění domů pomocí elektrické energie s cílem snížit emise z domácích kotlů, může ke kýženému snížení emisí dojít pouze zdánlivě. Elektrické topení sice při svém provozu emise do ovzduší neuvolňuje, ale k emisím dochází při výrobě elektrické energie nutné pro jeho provoz. V takovém případě jsme pouze přesunuli environmentální problém z jedné lokality (místo vytápěného domu) do jiné lokality (místo výroby elektrické energie) nebo z jedné kategorie dopadu (vznik smogové situace v důsledku emisí SO₂ a prachových částic) do jiné kategorie dopadu (posílení skleníkového jevu emisí skleníkových plynů při výrobě elektrické energie). Výhodou metody LCA je schopnost identifikovat právě toto nežádoucí geografické přesouvání problému z místa na místo a přenášení problému z jedné kategorie do druhé.

1.2 Standardizace LCA studií

První LCA standardy (ČSN EN ISO 14040 – Zásady a osnova [2]; ČSN EN ISO 14041 – Stanovení cíle a rozsahu a inventarizační analýza [3]; ČSN EN ISO 14042 – Hodnocení dopadů [4]; ČSN EN ISO 14043 – Interpretace [5]) jsou od roku 2006 nahrazeny novými standardy ČSN EN ISO 14040 (přepracovaná původní ČSN EN ISO 14040) a ČSN EN ISO 14044 (ucelená norma nahrazující původní ČSN EN ISO 14041-3). Normy uvádějící příklady analýzy životního cyklu ČSN ISO/TR 14047 [6] a ČSN ISO/TR 14049 [7] či věnující se dokumentaci ČSN P ISO TS 14048 [8] zůstávají platné v původní podobě.

2 Životní cyklus produktu

Každý produkt během své existence vstupuje do několika významných stádií majících různé dopady na životní prostředí. Podobně jako život organismu se skládá ze zrození, vývoje, aktivního života a končí smrtí, zahrnuje životní cyklus produktů tato čtyři hlavní stádia: získávání surovin pro výrobu potřebných materiálů, výrobu produktu z již vyrobených materiálů, užívání produktu a závěrečné odstranění produktu.

Úplný životní cyklus produktu začíná **získáváním obnovitelných a neobnovitelných surovin** a energetických zdrojů z prostředí. Jedná se například o těžbu dřeva nebo ropy či o těžbu rud. Do stádia získávání surovin je zahrnována i doprava surovin z místa jejich získávání do místa dalšího zpracování. Ve stádiu výroby materiálů jsou suroviny přeměňovány na materiály použitelné v další průmyslové výrobě, a to obvykle s využitím paliv, elektrické energie a dalších zdrojů.

Stádium **výroby produktu** se skládá z přeměny materiálů potřebných pro výrobu produktu, z výroby a kompletace vlastního produktu a z jeho balení, které je nutné pro distribuci ke spotřebiteli. I s dopravou produktu ke spotřebiteli jsou spojeny určité energetické a materiálové vstupy a výstupy a tudíž i environmentální dopady.

Následuje je stádium **využívání produktu spotřebitelem**. Vyrobený produkt je v tomto stádiu spotřebováván a využíván, plní svoji funkci, kvůli které byl vyroben. Do tohoto stádia jsou zahrnuty energetické a surovinové požadavky na provoz produktu, jeho opravy či uskladnění.

Když už spotřebitel produkt nepoužívá a nehodlá jej nadále vlastnit, nastává **stádium odstranění**. Součástí tohoto stádia jsou energetické a materiálové nároky na odstranění, opětovné užití, případně recyklaci. Ze stádia odstraňování produktů může být recyklací získáno zpět určité množství znovu využitelných materiálů, případně z nich může být získána i energie.

Produkt v jednotlivých stádiích svého životního cyklu vstupuje do rozdílných interakcí s životním prostředím. Každé stádium tudíž představuje jinou potenciální environmentální zátěž. Jestliže je naším cílem porovnat a zhodnotit environmentální dopady produktů, je třeba dělat to s ohledem na všechna stádia jejich životních cyklů a nezaměřovat se pouze na některá z nich.

2.1 Produktový systém

Všechny procesy a operace podílející se na jednotlivých fázích životního cyklu produktu tvoří jeden celek nazývaný **produktový systém** (angl. product system). Opravdový „život“ produktu začíná při získávání surovin nutných pro jeho výrobu, pokračuje při výrobě materiálů, dále se odvíjí při výrobě vlastního produktu, při jeho užívání spotřebitelem a končí při odstranění produktu. Produktový systém při zpracování studií LCA se sestává z procesů a toků. **Procesy** (angl. process) jsou jednotlivé operace přeměňující vstupy na výstupy. **Toky** (angl. flow) jsou spojnice procesů, kdy jeden tok je výstupem z procesu předcházejícího a zároveň je vstupem do procesu následného.

2.2 Materiálové a energetické toky

Každý proces musí být popsán jednak vstupy a výstupy, ale také pozicí vzhledem k ostatním procesům. Propojení jednotlivých procesů a tím i určení jejich vzájemné pozice je realizováno materiálovými a energetickými toky. Každý jeden tok je zároveň výstupem z předchozího a vstupem do následného procesu. Při modelování produktového systému je důležité dodržovat návaznost procesů. Jestliže z jednoho procesu vystupuje materiálový výstup, musí ten samý tok na vstupu do dalšího procesu být vyjádřen ve stejných jednotkách a musí mít stejnou velikost. Typickou jednotkou materiálových toků je hmotnost vyjádřená v kilogramech. Jinou jednotkou může být objem, plocha, počet kusů nebo čas. U energetických toků se obvykle jedná o MJ nebo kWh. Do procesů rovněž mohou vstupovat vedlejší neboli **pomocné toky** (angl. ancillary flow). Pomocnými toky na vstupu bývají obvykle energie či materiály jako jsou například chladicí vody, katalyzátory, detergenty, maziva, rozpouštědla. Nesmíme ovšem zapomínat i na vedlejší toky na výstupu z procesů. Zde se obvykle jedná o odpadní materiály, odpadní vodu, odpadní teplo, nepovedené výrobky, emise látek do prostředí a podobně.

2.3 Procesy

Každé z jednotlivých stádií životního cyklu produktu je tvořeno z různého počtu procesů. Proces je základní stavební kámen modelu produktového systému. Jedná se o operaci měnící materiálové a energetické vstupy na výstupy. Složitější procesy se skládají z vnitřních **podprocesů**. Například proces čištění odpadních vod se sestává z podprocesů separace pevných částic, z podprocesu biologické aktivace a z procesu separace kalu. Proces, který již není v modelu produktového systému dále dělen na podprocesy, se nazývá **jednotkový proces** (angl. unit process). Vztahy mezi procesem a jeho okolím musí být jednoznačně definovány vhodnou jednotkou závislou na charakteru toku vstupujícího a vystupujícího z procesu. Jiným typem další roviny produktového systému jsou **podprocesy** (angl. subprocess), jež často nebývají ve složitých schématech uvedeny, jsou ale přítomny jako na pozadí nadřazených procesů.

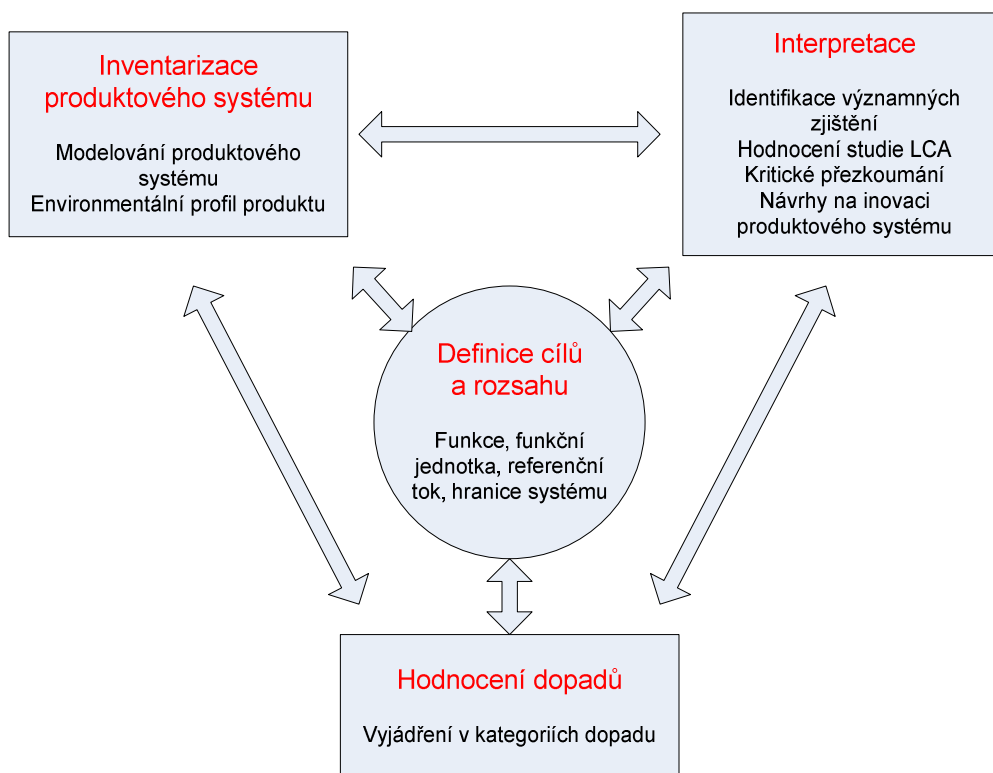
2.4 Elementární toky

Do každého produktového systému vstupují ze životního prostředí materiálové a energetické toky. Vstupy ze životního prostředí jsou obvykle suroviny, jako je ropa, rudy a energie, například ve formě slunečního záření. Produktový systém obvykle vytváří určité toky zaústěné do životního prostředí. Jedná se především o emise odpadních látek do vzduchu, vody a půdy. Vstupy a výstupy představující interakci mezi okolím a produktovým systémem označujeme jako **elementární toky** (angl. elementary flow). Každý elementární tok překračuje hranice produktového systému a zajišťuje tak výměnu energie či hmoty s okolním prostředím. Elementární toky bývají někdy označovány jako **terminální toky** a označují se písmenem **T**.

2.5 Fáze metody LCA

LCA je analytická metoda hodnocení možných environmentálních dopadů spjatých s životním cyklem určitého výrobku, služby, technologie, obecně produktu. LCA bere do úvahy, že dopad produktu není vázaný jen na určité látky či na určité regiony. Environmentální dopady jsou zde hodnoceny ve vztahu k definovaným problémům životního prostředí zvaných kategorie dopadu. Studie LCA se sestává ze **čtyř základních fází**: definice cílů a rozsahu, inventarizace, hodnocení dopadů a interpretace. Vzájemný vztah těchto fází je znázorněn na následujícím obrázku (Obrázek 1). Obousměrné šipky mají znázornit iterační podstatu přístupu sestavování LCA. Pojmem iterační chceme zdůraznit, že poznatky z jedné fáze mohou ovlivnit východiska fáze předcházející, kterou je třeba následně přehodnotit a pokračovat opět k fázi následující. V případě použití dostupné výpočetní techniky, není provedení těchto iterací obtížné.

Obrázek 1 Schéma fází LCA



3 Definice cílů a rozsahu studie LCA

První fází sestavování studie LCA je tak zvaná definice cílů a rozsahu (angl. goal and scope definition). Jedná se o jednoznačné určení parametrů studie důležitých pro její interpretaci a praktické použití. Tato fáze zpracování studie LCA se nezabývá ani sběrem dat ani jejich interpretací. Jedná se o soubor procedurálních kroků umožňujících zasadit studii do konkrétního kontextu platnosti a popsat co bude třeba učinit pro její zdárné vypracování.

Cíl studie musí jednoznačně stanovit zamýšlené použití, důvody provádění studie a zamýšleného příjemce a uživatele výsledků studie. **Definice rozsahu** se skládá ze dvou okruhů specifikací, ze specifikace technických parametrů a ze specifikace procedurálních kroků souvisejících s vypracováváním studie. **Technická specifikace** rozsahu studie se skládá z určení funkce, funkční jednotky a referenčního toku, dále z určení hranic systému, postupů alokace a volby charakterizačního modelu. Do **procedurální specifikace** rozsahu studie patří určení postupů pro zajištění kvality prováděné studie, jako je například popis zvolených metodických postupů, popis způsobů kritického zhodnocení, určení zdrojů použitých dat a podobně.

V definici cílů je třeba jednoznačně popsat co je předmětem studie, jaký bude její obsah, význam, komu je studie určena a za jakých podmínek budou její závěry platné. Zmíněné body totiž ovlivňují, jakým způsobem bude studie zpracována. Jinak se studie LCA provádí pro interní použití v rámci jednoho podniku, jinak když je určena nejširšímu publiku. Zveřejnění interní studie LCA veřejnosti může vést k jejímu nesprávnému pochopení. V definici cílů je tedy třeba jasně odpovědět na následující tři otázky a předejít tak nesprávné interpretaci.

3.1 Definice rozsahu – technická specifikace

Aby bylo rozhodování na základě studií LCA korektní, je třeba vědět, za jakých okolností jsou výstupy ze studií platné. Každá studie LCA má svůj rozsah platnosti daný nejen jejím geografickým, časovým či environmentálním záběrem, ale i okolnostmi za kterých byla zpracována a předpoklady, které byly pro její vypracování přijaty. K jasnému vymezení platnosti studie slouží fáze definice rozsahu a to jednak z pohledu technického vymezení, a dále z pohledu procedurálního.

Určením technického rozsahu se míní především definování **funkce, funkční jednotky a referenčního toku**, dále určení **hranic systému, postupů alokace** a ze zvolení **charakterizačních modelů**, pomocí kterých budou vyjadřovány dopady na životní prostředí. Rozsah studie je třeba definovat dostatečně podrobně, aby šířka i hloubka studie byly v souladu se zaměřením na stanovené cíle.

4 Inventarizace životního cyklu

Fáze LCA nazvaná inventarizace LCI (angl. inventory) slouží k vyčíslení množství elementárních toků uvolněných během životního cyklu produktů do životního prostředí. Úkolem inventarizace je shromáždit environmentálně významné informace o zúčastněných procesech zařazených do produktového systému. Inventarizace nejprve sbírá data o jednotkových procesech, následně provádí inventarizaci vstupů a výstupů celého systému a jeho okolí. Cílem je identifikace a vyčíslení všech elementárních toků souvisejících s produktovým systémem. Inventarizační analýza je podstatou technického provádění LCA studií. Jedná se o nezbytnou součást studie, náročnou na dostupnost dat, praktickou zkušenost s modelováním produktových systémů a v případě použití databázových nástrojů na jejich bezvadné zvládnutí a pochopení jejich funkcí.

V inventarizaci je nejvíce patrný princip modelování „**od kolébky do hrobu**“ (angl. cradle-to-grave). Princip, kdy jsou do životního cyklu výrobku zahrnuty procesy podílející se jak na získávání a výrobě potřebných surovin a materiálů, tak i na výrobě, používání a odstraňování vlastních produktů na které je studie LCA prováděna. Poněkud zúženým rozsahem, avšak v průmyslové praxi často používaným, je přístup nikoli „od kolébky do hrobu“, ale „**od kolébky k bráně**“ (angl. cradle-to-gate), spočívající v kalkulaci životního cyklu produktu od získávání surovin, ovšem končícího opuštěním výroby, tudíž stádium užívání produktu a jeho odstraňování není uvažováno.

Výsledky inventarizace by měly být prezentovány přehlednou formou, kolik a jakých látek z okolního prostředí do systému vstupuje a kolik vystupuje. Tyto podklady slouží následnému hodnocení dopadů životního cyklu. Inventarizace životního cyklu se skládá z následujících kroků: **sestavení vývojového diagramu** produktového systému, **sběru dat** a **výpočtu ekovektoru** produktu.

4.1 Sestavení schématu produktového systému

Prvním krokem inventarizace životního cyklu je modelování produktového systému. Na základě znalosti životního cyklu posuzovaného produktu a na základě dříve určených hranic systému se nejprve identifikují všechny zúčastněné procesy a jejich vstupy a výstupy. Pospojováním procesů pomocí odpovídajících energetických a materiálových toků do funkčního celku získáme schéma produktového systému. Modelování se obvykle provádí pomocí specializovaných software nástrojů. V namodelovaném produktovém systému nemusí být od začátku uvedena všechna data o vstupech a výstupech jednotlivých procesů. Nejprve je vhodné získat ucelenou představu o produktovém systému, o návaznostech jednotlivých procesů a či skupin procesů. Doplnění konkrétních hodnot vstupů a výstupů do jednotlivých procesů lze do modelu produktového systému postupně doplňovat tak, jak budou hodnoty získávány z praxe sběrem dat.

Sestavení produktového schématu v rámci hranic systému určených v definici cílů a rozsahu může být v některých produktových systémech jednoduché a jindy složitější. Schéma produktového systému

sestává z jednotlivých procesů pospojovaných materiálovými a energetickými toky. V produktovém systému se obvykle znázorňují pouze ty toky, jež představují interakce mezi jednotlivými procesy. Elementární toky nebývají v diagramu znázorňovány, jsou ovšem přítomny v popisech jednotlivých procesů a podílejí se na výpočtu **ekovektoru produktu**. Některé produktové systémy mohou být poměrně jednoduché, kdy hlavní tok produktu je ústředním tokem schématu spojujícím následné procesy.

Produktový systém se stává složitějším v situaci, kdy do jednotlivých procesů vstupuje více dalších produktových toků (již vyrobených produktů) či v situaci, kdy s procesy podílejícími se na hlavním produktovém toku souvisí další operace a jiné procesy. Souvisejícími operacemi mohou být například další provozní procesy, jako je vytápění budov či fixní provozní produkce odpadů celou organizací či podnikem, v rámci které je daný proces provozován. Produktové schéma se pak začíná stromovitě rozrůstat. Složitost produktového systému narůstá s existencí uzavřených smyček produktových toků, tedy s uzavřenou interní recyklací materiálů. Jedná se o situaci, kdy je odpadní materiál z procesu vrácen zpět jako vstup do téhož procesu. Recyklace materiálů i opětovné užití produktů se znázorňuje právě uzavřenými smyčkami.

Jestliže jsme sestavili diagram produktového systému, získali jsme představu o tom, které procesy se na něm podílejí. Stává se ovšem, že během následujících prací na sestavování studie LCA zjistíme, že je nutné do produktového systému zahrnout i další procesy, že naše původní představa o složitosti produktového systému nebyla úplná. Složitost schématu produktového systému pak narůstá. S touto možností je vhodné dopředu počítat. Kromě bližšího poznání produktového systému vede k potřebě zapojit či vyloučit dalších procesy i úprava rozsahu hranic systému.

Abychom mohli procesy funkčním způsobem zapojit do produktového systému, musíme o každém z nich mít dostatek informací. Potřebujeme zjistit, jaké materiálové a energetické toky do procesu vstupují a které vystupují a jak jsou jednotlivé toky veliké. Zjištění těchto informací se obvykle provádí konzultacemi s provozovateli jednotlivých zařízení, případně z dostupných databází. Obecně hovoříme o **sběru dat**.

4.2 Alokace

Významným prvkem modelování produktového systému je tak zvaná alokace. Jedná se o řešení otázek souvisejících se skutečností, kdy tok vystupující z jednoho procesu může být zaústěn do dvou procesů následných či se může podílet na vzniku dvou různých produktů vznikajících paralelně v jednom procesu. Jiným případ, kdy je třeba řešit alokaci, nastává, když je stejný tok ze dvou různých zdrojů (předchozích procesů) zaústěn do jednoho procesu. V produktovém systému se téměř vždy vyskytují procesy, které přispívají více než jednomu následnému procesu nebo systému. Jedná se o procesy, které jsou sdíleny s jinými výrobními systémy. Tepelná elektrárna produkuje vedle elektrické energie také teplo, například v podobě páry. Cílem alokace je v takovém případě odpovědět na otázku, jak velký podíl spotřeby uhlí je třeba přiřadit na výrobu energie a jak velký podíl přináležejí získání tepla. Alokace je významná i ve studiích LCA dotýkajících se odpadového hospodářství. Jestliže například několik průmyslových odpadních vod je současně čištěno ve společné čistírně, je třeba náklady na provoz čistírny vhodným způsobem mezi jednotlivé toky odpadních vod alokovat. Stejným způsobem je třeba alokovat i „ušetřené“ environmentální dopady recyklací materiálů či opětovných užití částí produktů.

Vyskytují se tři základní případy, kdy je třeba otázku alokace řešit [9]:

- 1) Z procesu či skupiny procesů vystupuje větší množství vedlejších produktů s různými funkcemi.
- 2) Do procesu vstupuje více paralelních vstupů.
- 3) Dochází k recyklaci.

Dochází-li v produktovém systému k potřebě alokace, je třeba zvolit vhodné alokační pravidlo. Možností volby alokačního pravidla však může být více: počet produktů, objem produktů, hmotnost produktů či cenu produktů.. Volba různých metod alokace vede k různým výstupům z inventarizace. Alokace tedy vnáší do hodnoceného systému nejistoty. Je tudíž vhodné snažit se alokaci vyhnout nebo ji minimalizovat.

4.3 Výpočet ekovektoru produktového systému

Vypočtení ekovektoru produktového systému je klíčovým krokem inventarizace. Jedná se o vyčíslení množství spotřebovaných surovin a množství do prostředí emitovaných látek ve vztahu k funkční jednotce vyjádřené referenčním tokem posuzovaného produktu. Jak jsme si popsali v kapitole věnované funkční jednotce je vyjádření vstupů a výstupů produktového systému vždy vázáno na určité množství posuzovaného produktu, na zvolený referenční tok. Cílem výpočtu je zjistit výsledné hodnoty všech jednotlivých elementárních toků souvisejících právě se zvoleným referenčním tokem.

4.4 Inventarizační tabulky

Cílem inventarizace je poskytnout souhrn všech elementárních toků, tedy materiálů a energií, které vstupují a vystupují přes hranice produktového systému do okolního životního prostředí. Jedná se o určení ekovektoru produktu, jehož hodnota je vztažena k funkční jednotce* posuzovaného produktu. Jestliže jsme provedli výpočet všech energetických a materiálových toků uvnitř produktového systému, bude nás zajímat jak tato data prezentovat. K zobrazení dat a pro následující práci s nimi se používají tak zvané inventarizační tabulky. Specializované software pro LCA obvykle poskytují inventarizační tabulky umožňující zobrazení dat dle zvolených logických celků, odpovídajícím jednotlivým skupinám procesů či stádiím životního cyklu produktu. To je praktické pro následné hodnocení dopadů, kdy nás zajímá nejen environmentální dopad (vyjádřeno kategoriemi dopadu) produktového systému jako celku, ale i podíl jednotlivých procesů či skupin procesů. Inventarizační tabulky strukturují data takovým způsobem, že umožňují poskytnout odpovědi na otázky typu: Jaké množství skleníkových plynů se uvolňuje z produktového systému? Která stádium životního cyklu produktu přispívá nejvyšší měrou k uvolňování kovů do prostředí? Která skupina procesů spotřebovává nejvíce elektrické energie?

5 Hodnocení dopadů životního cyklu

Výstupem z inventarizace je inventarizační tabulka shrnující množství do produktového systému vstupujících a z produktového systému vystupujících materiálových a energetických toků. Inventarizační tabulka nás informuje o množství spotřebovaných surovin a do prostředí vypuštěných látek, informuje nás o ekovektoru daného produktového systému. Pro zjištění skutečných environmentálních dopadů posuzovaného produktu však ekovektor není dostatečný. Ekovektory rovněž nemohou sloužit k porovnání environmentálních dopadů dvou produktů. Cílem fáze LCA s názvem **hodnocení dopadů životního cyklu** LCIA (angl. life cycle impact assessment) je převést ekovektory produktových systémů, tedy jednotlivá množství elementárních toků, na hodnoty jiných veličin vystihujících míru zasažení jednotlivých problémů životního prostředí. Cílem posuzování dopadu životního cyklu je měřitelně porovnat environmentální dopady produktových systémů a

* V případě, že naším cílem není hodnocení dopadů životního cyklu (LCIA), ale studii zjednodušujeme pouze na hodnocení energetických a materiálových toků, může být ekovektor produktu konečným výstupem zjednodušené studie LCA.

srovnat vzájemně jejich závažnost pomocí nových kvantifikovatelných veličin označených jako **kategorie dopadu**.

5.1 Kategorie dopadu

Pro posouzení zda je ten či onen produkt environmentálně šetrnější ekovektor neposkytuje dostatečné množství informací. Při vzájemném posuzování environmentálních dopadů různých produktů zjišťujeme, že různé produkty jsou složeny z rozdílných materiálů a na jejich produktových systémech se podílejí rozdílné procesy, technologie. Důsledkem toho jsou výrobou či užíváním produktů spotřebovávány jiné suroviny, a také jsou emitovány jiné elementární toky mající environmentální dopady rozdílné podstaty. Aby bylo možné rozhodnout, který produkt je šetrnější k životnímu prostředí, je třeba provádět jeho hodnocení nikoli na základě množství emitovaných látek, na základě ekovektorů, ale na základě vyčíslení konkrétních škod na životním prostředí. Je to významné ze dvou důvodů:

- 1) **Ekovektory obvykle zahrnují velké množství elementárních toků.** Porovnávání dvou ekovektorů pro dva různé produktové systémy obvykle vede k situaci, kde velikosti některých elementárních toků jsou menší pro jeden produkt a jiné pro druhý. Jednoznačné rozhodnutí, který produkt zatěžuje prostředí méně je pak komplikované či spíše nemožné.
- 2) **Nelze vzájemně porovnávat různé elementární toky s různými environmentálními účinky.** Obvykle totiž nastává situace, že jeden produkt škodí méně v jedné oblasti a druhý produkt zase v jiné. Jeden produktový systém může například produkovat více skleníkových plynů, zatímco druhý více látek karcinogenních.

Porovnávání dvou produktů na základě jejich ekovektorů opravdu není smysluplné. I poměrně jednoduše definovatelný problém, jako je atmosférická přítomnost skleníkových plynů, je řešen s ohledem na skutečnost, že každý skleníkový plyn se podílí jinou měrou na zadržování tepelné energie v atmosféře, a nelze tudíž množství různých skleníkových plynů prostě sčítat. Podobně nelze jednoduše sčítat množství toxických látek. Víme, že různé látky vykazují různé toxické účinky, které se při jejich spolupůsobení mohou ovlivňovat jak synergicky, tak antagonicky. Je třeba produkty posuzovat na základě toho jak „velké množství toxicity“ je spjato s jejich životním cyklem a nikoli na základě množství uvolněných jednotlivých toxických látek. Hodnocení dopadů životního cyklu je tedy zaměřeno na to, jak „velké množství environmentálních dopadů“ představují jednotlivé elementární toky a jejich součty.

Vzniká nám tedy potřeba převést environmentální interakce produktových systémů vyjádřené ekovektory (obvykle hmotnostně) na přehledný soubor konkrétních problémů životního prostředí jako jsou globální oteplování, klimatické změny, acidifikace, eutrofizace, ekotoxická a další. Tyto a další problémy životního prostředí označujeme jako **kategorie dopadu** a používáme je k posuzování, který produkt se významněji podílí na zhoršování stavu životního prostředí. Jednotlivé kategorie dopadu budeme v textu označovat počátečními písmeny jejich anglických názvů, například *GW* pro globální oteplování (angl. global warming) či *OD* pro úbytek stratosférického ozónu (angl. ozone depletion). Pro obecné označení názvu kategorie dopadu budeme používat **XY**.

5.2 Dopadový řetězec

Každá kategorie dopadu je způsobována určitou skupinou elementárních toků, obvykle určitou skupinou látek. Například globální oteplování způsobuje skupina tak zvaných skleníkových plynů, ekotoxické účinky vyvolávají toxické látky, eutrofizaci nutrienty a podobně. Elementární tok vystupující z produktového systému vstupuje do životního prostředí a začíná určitým způsobem působit. Posloupnosti dějů vyvolané elementárním tokem a končící pozorovanými účinky řekjme

dopadový řetězec (angl. cause – effect chain). Na začátku dopadového řetězce je elementární tok zaústěn do prostředí a na konci dopadového řetězce pozorujeme určitý environmentální účinek označovaný jako indikátor kategorie dopadu.

5.3 Indikátor kategorie dopadu

Indikátor kategorie dopadu je měřitelná veličina s jasně definovanými jednotkami, pomocí které sledujeme, jak silně se daná kategorie dopadu v důsledku lidského zásahu prohlubuje, rozvíjí, zhoršuje. Indikátor kategorie dopadu slouží k vyjádření schopnosti elementárních toků způsobovat nežádoucí účinky v životním prostředí. Každý indikátor kategorie dopadu se tedy svojí podstatou nachází v dopadovém řetězci někde mezi výstupem z inventarizace (zaústěním elementárního toku do životního prostředí) a konkrétním projevem problému v životním prostředí (pozorovaným účinkem). Jako příklady indikátorů kategorií dopadu si uveďme procentuální pokles biologických druhů v zasažené lokalitě (kategorie dopadu biodiverzita) nebo produkce CFC11 ekvivalentů (kategorie dopadu úbytek stratosférického ozónu).

5.4 Charakterizační model kategorie dopadu

Charakterizační model je definovaný postup jak vyjadřovat vliv elementárních toků na určitou kategorii dopadu, na jejímž rozvoji se dané elementární toky podílejí. Každý charakterizační model je definován na základě konkrétního environmentálního mechanismu s použitím odpovídajícího indikátoru kategorie dopadu, a to buď na úrovni midpointu či endpointu. V praxi existují různé charakterizační modely a to dokonce i pro stejné kategorie dopadu. To vychází ze skutečnosti, že dopady elementárních toků na životní prostředí mohou být hodnoceny pomocí různých indikátorů.

Na základě volby indikátoru kategorie dopadu rozlišujeme **midpointové kategorie dopadu** (angl. midpoint category) či **endpointové kategorie dopadu** (angl. endpoint category). Jelikož jsou důsledky působení elementárních toků na úrovni endpointů vnímány jako přímé účinky na prostředí, používá se v anglických textech pro termín endpointová kategorie dopadu i termín damage category.

Jak vyplývá z předchozího textu, lze pro charakterizaci zásahu do jedné kategorie dopadu použít více indikátorů kategorií dopadu. Vzhledem ke skutečnosti, že různí autoři charakterizačních modelů i metodik LCIA používají různé indikátory odlišným způsobem, nesmí nás zaskočit, že například emise skleníkových plynů je v jednom modelu chápána jako měřítko globálního oteplování (midpointový indikátor pro charakterizaci plynů schopných zadržovat v atmosféře energii), zatímco v jiném charakterizačním modelu je důsledkem té samé emise skleníkových plynů zvýšení nemocnosti obyvatel (endpointový indikátor působení skleníkových plynů, jež dopadovým řetězcem způsobují skrze zvýšení průměrné teploty atmosféry rozšíření hmyzu přenášejícího malárii a tedy i výskyt onemocnění malárií). Různé charakterizační modely mohou vliv jednotlivých látek na stejné kategorie dopadu charakterizovat odlišným způsobem. Nelze proto vzájemně porovnávat výsledky charakterizace kategorií dopadu z různých charakterizačních modelů.

5.5 Princip hodnocení dopadů životního cyklu

Princip hodnocení dopadů spočívá v převedení výstupů z inventarizace, tedy elementárních toků, na hodnoty popisující míru rozvoje jednotlivých kategorií dopadu, na **indikátory kategorií dopadu**. Prvním krokem hodnocení dopadů životního cyklu je **klasifikace**, tedy přiřazení všech elementárních toků obsažených v ekovektoru produktového systému jednotlivým kategoriím dopadu. Klasifikací je například označení emise chlorovodíku za acidifikující látku. Jestliže jsme všechny elementární toky klasifikovali, došlo k seskupení jednotlivých elementárních toků do skupin podílejících se na rozvoji společných kategorií dopadu. Po klasifikaci následuje **charakterizace**. Jedná se o vyčíslení míry, jak silně se dané elementární toky podílejí na rozvoji té které kategorie dopadu. Míru zásahu všech elementárních toků do určité kategorie dopadu vyčísľujeme jako výsledek indikátoru kategorie

dopadu. Provedením klasifikace a charakterizace jsme z rozsáhlého ekovektoru produktu shrnujícího hmotnostní či energetické toky desítek až tisíců různých emisí získali přehlednou tabulku vyjadřující míru zásahu produktového systému na zvolenou skupinu kategorií dopadu.

5.6 Klasifikace

Klasifikace je krok, ve kterém se výsledky z inventarizace, hodnoty množství jednotlivých elementárních toků, přiřazují zvoleným kategoriím dopadů. Každý elementární tok je dle svých účinků přiřazen konkrétní kategorii dopadu. Celá řada elementárních toků se podílí na rozvoji více kategorií dopadu. Například emise NO_x vyvolávají acidifikaci a zároveň i vznik troposférického ozónu.

Účinky elementárních toků mohou být hodnoceny podle různých midpointů či endpointů, tedy podle různých typů indikátorů kategorií dopadu. V klasifikaci je nutné přiřadit všechny elementární toky konkrétním kategoriím dopadu. Způsob přiřazení výsledků z inventarizace jednotlivým kategoriím dopadu je zvolen již ve fázi definice cílů a rozsahu LCA. Ve většině případů však klasifikace vyplývá z použité metodiky LCIA).

5.7 Charakterizace

Na základě přiřazení elementárních toků jednotlivým kategoriím dopadu provedeným v části klasifikace se ve fázi **charakterizace** provádí vyčíslení velikosti dopadů těchto elementárních toků na jednotlivé kategorie dopadu. Aby bylo možné vyjádřit příspěvky jednotlivých elementárních toků na kategorie dopadu, je třeba pro každou kategorii zvolit veličinu, kterou se velikost poškození bude vyjadřovat. Touto kvantifikovatelnou veličinou schopnou vyjádřit změny v kategorii dopadu je nám již známý **indikátor kategorie dopadu**. Přepočet elementárního toku, vyjádřeného obvykle hmotnostně, na jednotku indikátoru kategorie dopadu se realizuje pomocí hodnot tak zvaných charakterizačních faktorů. **Charakterizační faktor** CF je určitá konstantní tabelovaná hodnota sloužící k vyčíslení míry působení elementárních toků na jednotlivé kategorie dopadu. Charakterizační faktory jsou definovány odpovídajícími charakterizačními modely a jejich hodnoty jsou k dispozici v metodikách LCIA.

Po klasifikaci následující charakterizace tedy přepočítává množství elementárních toků zjištěná v inventarizaci na hodnotu **výsledku indikátoru kategorie dopadu** představujícího míru potenciálního poškození dané kategorie dopadu. Výraz potenciální zdůrazňuje, že LCA jako prospektivní analytická metoda nehovoří o již zaznamenaných, změřených či pozorovaných dopadech, ale o dopadech v budoucnosti možných, potenciálních. Někteří autoři pak označují **výsledek indikátoru kategorie dopadu** slovem **potenciál dopadu** dané kategorie, což ovšem může vést k záměně s charakterizačním faktorem CF často označovaným jako potenciál látky vyvolávat určitou kategorii dopadu (např. GWP – potenciál globálního oteplování, ETP – potenciál ekotoxicity a podobně). V některých pracích či metodikách LCIA je **charakterizační faktor** označován jako **ekvivalenční faktor** či **potenciál**.

Výsledek indikátoru kategorie dopadu je číslo, ukazující jak velkou měrou se posuzovaný produktový systém podílí na rozvoji dané kategorie dopadu. V textu jej pro libovolnou kategorii dopadu XY budeme označovat V_{XY} . Výpočet výsledku indikátoru kategorie dopadu pro jeden elementární tok i lze vyjádřit následujícím vztahem, kde $CF_{i,XY}$ je charakterizační faktor pro látku i a kategorii dopadu XY a m_i je množství (obvykle hmotnost) elementárního toku látky i .

Rovnice 1 Obecná rovnice výpočtu výsledku indikátoru kategorie dopadu jednoho elementárního toku

$$V_{i,XY} = CF_{i,XY} \times m_i$$

Jestliže je látka i do prostředí vypouštěna v r emisních tocích a jestliže charakterizační faktor látky i pro kategorii dopadu XY je $CF_{i,XY}$, pak se výsledek indikátoru kategorie dopadu V_{XY} látky i vyčíslí takto:

Rovnice 2 Výpočet výsledku indikátoru kategorie dopadu látky i vystupující z produktového systému v r emisních tocích

$$V_{i,XY} = CF_{i,XY} \times \sum_r m_i$$

5.7.1 Charakterizační profil produktového systému

V případě úplné charakterizace produktového systému charakterizujeme všechny elementární toky s ohledem na všechny kategorie dopadu, jež jsme si zvolili ve fázi definice cílů a rozsahu. Tím získáme soubor hodnot výsledků indikátorů pro všechny kategorie dopadu, jež ve studii uvažujeme. Soubor výsledků indikátorů kategorií dopadu označujeme jako **charakterizační profil** [6], případně jako profil LCIA. Ve studiích LCA se také používá označení **environmentální profil** [10].

Tabulka 1 Příklad charakterizačního profilu

Kategorie dopadu	Celkem
Úbytek surovin, kg Sb-eq	83,26
Acidifikace, kg SO ₂ -eq	301
Eutrofizace, kg PO ₄ ³⁻ -eq	675,9
Akvatická ekotoxicita, kg DCB-eq	5,706E+5
Globalní oteplování, kg CO ₂ -eq	12550
Humánní toxicita, kg DCB-eq	1,443E+7
Mořská ekotoxicita, kg DCB-eq	8,25E+7
Vznik fotooxidantů, kg C ₂ H ₄ -eq	12,04
Půdní ekotoxicita, kg DCB-eq	1,23E+5

Povšimněme si rozdíl mezi charakterizačním profilem a ekovektorem známým z inventarizace. Zatímco ekovektor nám podává informaci o množství jednotlivých elementárních toků vypuštěných do prostředí v důsledku realizace produktového systému, charakterizační profil nám říká, jak moc byly v důsledku téhož produktového systému zasaženy jednotlivé kategorie dopadu.

5.8 Normalizace

Porovnáváme-li dva systémy z hlediska jejich dopadů na životní prostředí, zřídka kdy je jeden z nich lepší ve všech směrech, šetrnější ke všem kategoriím dopadu. Obvykle nastává situace, kdy má například jeden systém větší dopad na eutrofizaci a druhý zase na acidifikaci. Jelikož výsledky indikátorů kategorií dopadu mají různé jednotky, nelze je vzájemně porovnávat. Úkolem **normalizace** (angl. normalisation) je posoudit, která kategorie dopadu je v daném případě výrazněji zasažena.

Normalizace je převedení výsledků indikátorů kategorie V_{XY} na bezrozměrné hodnoty **normalizovaných výsledků indikátorů kategorie dopadu** NV_{XY} . Normalizace se provádí vztažením V_{XY} k **referenční hodnotě výsledku indikátoru kategorie dopadu** RV_{XY} mající stejnou jednotku. Hodnota NV_{XY} je bezrozměrná a vyjadřuje jak velký podíl (%) na referenčním výsledku indikátoru kategorie má náš výsledek indikátoru kategorie dopadu V_{XY} .

5.9 Seskupování

Seskupování (angl. grouping) čili agregace je kvalitativní či semi-kvalitativní proces zařazování jednotlivých kategorií dopadu do určitých logických skupin. Seskupování je v LCA volitelným prvkem. Seskupování spojuje například kategorie dopadu s různou příčinou, ale stejným endpointem. Zde bychom si jako příklad mohli uvést klimatické změny a úbytek stratosférického ozónu, dvě kategorie dopadu s rozdílným mechanismem, ale (v případě volby) stejným endpointem – úbytek lidského zdraví vyjádřen jako *DALY*. Důvodem pro seskupování je například geografický rozsah kategorií dopadu. Můžeme seskupovat kategorie dopadu na globální, regionální či lokální. Seskupování může

být provedeno také s ohledem na politickou, ekonomickou či jinou prioritu. Kategorie dopadu se pak obvykle seskupují do skupin označených jako s vysokou, střední a nízkou prioritou.

Užití metod seskupování by mělo být v souladu s definicí cílu a rozsahu studie LCA. V případě jeho použití je třeba, aby byly metody seskupování logické, dobře popsány a zdůvodněné. Jednotlivci, organizace či společnosti mohou mít různé preference, a tak jim různé kategorie dopadu mohou připadat různě důležité. Mohou proto různé strany dosáhnout různých pořadí seskupených výsledků, a to i když byly seskupené výsledky založeny na stejných výsledcích indikátorů kategorií dopadu, na stejném charakterizačním profilu. Seskupování midpointových dopadů do endpointových kategorií dopadu je obvykle definováno v metodikách LCIA.

5.10 Vážení

Vážení (angl. weighting), v některé literatuře uváděno rovněž jako oceňování (angl. valuation) je vyjadřování významnosti kategorií dopadu s ohledem na ekonomicko - sociální hlediska. I v případě, kdy jsou dva různé výsledky indikátoru kategorie dopadu po normalizaci stejné, nemusí být stejně závažný jejich společenský význam.

Jelikož se vážením do LCA vnáší prvek, jenž není založen na přírodních zákonitostech, doporučují někteří autoři vážení v rámci LCA neprovádět. Vážení může mít ovšem velký význam pro interní studie LCA mající za cíl i vyčíslení finančních aspektů environmentálních dopadů. Vzhledem k individuálnímu významu váhových faktorů není doporučováno zveřejňovat vážené výsledky komparativních studií LCA nejširší veřejnosti. Aplikace a použití metod vážení by mělo být v souladu s definicí cílu a rozsahu studie LCA a mělo by být zcela transparentní. Podobně jako u seskupování mohou mít různí jednotlivci, organizace či společnosti odlišné preference a mohou různé kategorie dopadu považovat za různě významné. Je proto možné, že různé zpracovatelé studie LCA mohou na základě stejných výsledků indikátorů kategorií dopadu, dospět k jiným váženým výsledkům indikátorů kategorií dopadu.

Ve studii LCA může být žádoucí používat několik různých **váhových faktorů** a metod vážení. Rozdíl v zjištěných výsledcích lze testovat analýzou citlivosti a posoudit tak, zda jsou výsledky studie LCA citlivé na změnu váhových faktorů. Metody vážení a použité operace by měly být kvůli transparentnosti zdokumentovány. Údaje a výsledky indikátoru kategorie dopadu nebo normalizované výsledky indikátoru kategorie dopadu získané před vážením by měly být dostupné spolu s výsledky vážení.

Významnost kategorií dopadu mezi sebou se porovnává pomocí sady váhových faktorů, jež jsou určeny pro každou kategorii dopadu. Vážení se provádí násobením normalizovaného výsledku indikátoru kategorie dopadu NV_{xy} váhovým faktorem VF_{xy} odpovídající kategorie dopadu. Výstupem je pak **vážený výsledek indikátoru kategorie dopadu**, jenž označujeme VV_{xy} .

Váhový faktor pro jednotlivé kategorie dopadu musí vzájemně odrážet jejich závažnost a to včetně jejich následných environmentálních účinků. Vážnost dopadu závisí na charakteristikách environmentálních dopadů a na aktuálním stavu životního prostředí. Některé z těchto charakteristik jsou výhradně teoretické povahy, jako například:

- Jak blízko je aktuální stav kategorie dopadu v zájmové lokalitě kritické prahové hodnotě, kdy již dojde k narušení životního prostředí?
- Jaké důsledky vyvolá překročení prahové hodnoty?
- Bude porušení životního prostředí vratné?
- Jak velká bude narušená oblast?

Další charakteristiky kategorií dopadu podstatné pro vážení jsou spíše normativní či politické povahy a závisí na kontextu v jakém je LCA prováděno, zda v rámci podniku či pro nejširší veřejnost:

- Jak vnímají závažnost environmentálních dopadů spojených s produktem potenciální zákazníci?
- Jaké jsou právně přijaté postupy redukce dopadů daných emitovanými látkami?
- Existuje mezinárodní regulace?
- Jaká je cena nápravy?

Určení hodnot váhových faktorů je dle normy ČSN EN ISO 14044 založeno na hodnotové volbě, nikoliv na přírodních zákonitostech. Podrobnější návod určení váhových faktorů norma neuvádí.

6 Interpretace životního cyklu

Výstupem LCA studie bývá velké množství různých hodnot, ať již z inventarizace či z hodnocení dopadů životního cyklu. Významným úkolem pro autora studie je setřídění těchto dat a jejich vhodná a srozumitelná interpretace. Jelikož forma prezentace dat často jejich význam ovlivňuje, stala se interpretace životního cyklu nedílnou částí studií LCA a získala jistá pravidla. Na obecné rovině se interpretace LCA sestává z následujících okruhů činností:

- strukturalizace dat s ohledem na nejvýznamnější procesy či skupiny procesů a na nejvýznamnější látky;
- provedení analýz citlivosti a zhodnocení nejistot studie;
- diskuse nad smyslností dat ve vztahu k úplnosti studie a kvalitě vstupních dat;
- závěrečné shrnutí a formulace realistických doporučení,

shrnutých do následujících kroků:

1. identifikace významných zjištění (angl. significant issue);
2. hodnocení (angl. evaluation);
3. formulace závěrů a doporučení.

Ačkoli je interpretace čtvrtá a závěrečná fáze LCA, podílí se iterativním způsobem i na fázích předešlých. Na základě poznatků shrnutých v interpretaci LCA totiž dochází ke vzniku nových požadavků na další upřesnění studie. Výstupy z interpretace či hodnocení dopadů si často vyžadují doplnění nebo změny v předchozích fázích zpracovávání studie LCA.

Během inventarizační fáze a fáze posuzování dopadů byly zákonitě provedeny určité odhady, předpoklady a rozhodnutí, jak v studii pokračovat. Byla přijata určitá zjednodušení či aproximace. Všechny tyto předpoklady musí být zahrnuty do fáze interpretace a vždy musí být stavěny vedle prezentace výsledků.

6.1 Identifikace významných zjištění

První krok interpretace životního cyklu zahrnuje setřídění informací z prvních tří fází LCA za účelem shrnutí především těch poznatků, jež významně přispívají k většině výstupů z LCI a LCIA. Naším cílem je jasně formulovat důležité poznatky jako, „nejvíce ropy je spotřebováno během fáze užívání produktu“ nebo „nejvíce skleníkových plynů se uvolňuje ve stádiu výroby“ nebo „největší podíl na produkci toxických emisí má doprava produktu“. Tyto informace nazýváme **významná zjištění** a jsou základem pro další krok interpretace - kontrolu kompletnosti, citlivosti a konzistence.

Na formulaci významných zjištění se podílejí především výstupy z inventarizace, jako jsou energetické toky, emisní toky, množství odpadů a podobně; výsledky indikátorů kategorií dopadů (eventuelně

jejich varianty při použití různých charakterizačních faktorů) a významné příspěvky jednotlivých jednotkových procesů nebo skupin procesů (doprava, spotřeba energie a podobně).

Pro identifikaci významných zjištění je třeba informace z předešlých fází LCA vhodně seřadit, strukturalizovat. Cílem je tedy vybrat ta data ze studie, jež se zásadní měrou podílejí na formulaci významných zjištění. **Strukturalizace dat** se provádí do **strukturalizačních tabulek**, jež podobně jako inventarizační tabulky poskytují informace o materiálových a energetických tocích jednotlivých procesů či celého životního cyklu, ale především poskytují data ve formě hodnot výsledků indikátorů kategorií dopadu, a to jak před a po normalizaci či vážení.

Jaké máme k dispozici postupy pro **identifikaci významných zjištění**? Jedná se o vhodné strukturování dat do tabulek a grafů poskytujících vhodný náhled na zjištěná data. Jelikož se jedná o rozbor dat či informací, hovoříme zde o analýzách. Především se jedná o analýzu dominance, analýzu příspěvku, analýzu ovlivnění a analýzu bodu zvratu. Kterou z uvedených analýz zvolíme pro naši studii, obvykle záleží na typu informace, který chceme získat.

6.2 Hodnocení LCA studií

Cílem hodnocení (angl. evaluation) studie LCA je testovat její robustnost sledováním spolehlivosti průběžných i konečných výsledků a především ověření platnosti významných zjištění. Hodnocení studie LCA slouží ke zvýšení důvěryhodnosti studie. Při sestavování studie LCA je třeba velmi často přijmout určité předpoklady, případně používat nejistá data. Vliv těchto faktorů může být značný a je třeba testovat jejich významnost. Změní se formulace významných zjištění v případě změny nějakého předpokladu? Dojde ke změně výsledku, jestliže zvolíme jiný charakterizační model v LCIA? Byla použita vzájemně porovnatelná data? Na tyto a podobné otázky má jednoznačně odpovědět hodnocení studie LCA.

Hodnocení studie je třeba provádět v souladu s cílem a rozsahem studie a musí brát zřetel na zamýšlené použití výsledků. Při hodnocení studie se kontroluje především její úplnost, citlivost a konzistence, čili soudržnost. Součástí by mělo být i zhodnocení kvality údajů. Za účelem testování robustnosti výsledků a závěrů studie se používají v následující tabulce shrnuté postupy [9].

Tabulka 2 Nástroje testování robustnosti studie LCA

Typ testu	Účel testu
Kontrola úplnosti	Zajistit úplnost potřebných dat v inventarizaci Zajistit úplnost hodnocení dopadů (LCIA) – pokrývá všechny výstupy z inventarizace?
Kontrola konzistence	Testování vhodnosti modelu životního cyklu produktu a volby použitých metodik ve vztahu k cíli a rozsahu studie
Analýza nejistot	Zjistit jak silně jsou výstupy studie zatížené nejistotami vstupních dat
Analýza citlivosti	Identifikovat a testovat vliv důležitých dat
Analýza obměny	Testování vlivu alternativních scénářů a modelů životního cyklu
Hodnocení kvality dat	Testování nedostatků vstupních dat, jejich správnosti a vhodnosti pro danou studii

6.2.1 Kontrola úplnosti

Cílem kontroly úplnosti (angl. completeness check) je ověřit dostupnost a úplnost všech pro studii významných informací. Jestliže se zjistí absence nebo neúplnost důležité informace, měla by být zvážena její zbytnost či nezbytnost a to výhradně s ohledem na zvolený cíl a rozsah studie. V případě zbytnosti této informace je třeba jasně vysvětlit a odůvodnit proč daná informace není nutná, jinak je třeba informaci získat a začlenit ji do studie. Teprve pak je možné pokračovat v hodnocení studie.

Kontrola úplnosti se provádí pomocí seznamů úplnosti. Ty mohou být organizovány dle životních stádií systému (produkce surovin, výroba produktu, doprava produktu, užití, odstranění), dle podstatných procesů nebo operací, dle typu dat (suroviny, energie, doprava, emise do ovzduší, emise do vody apod.) a dle kategorií dopadu vyjádřených jako výsledky indikátorů. Jestliže rozdíl mezi

variantami odstranění výrobku není podstatný nebo neodpovídá definovanému cíli a rozsahu studie, nemusí se porovnávání provádět, je však nutné tuto skutečnost v kontrole úplnosti uvést.

6.2.2 Kontrola konzistence

Kontrola konzistence nebo-li soudržnosti (angl. consistency check), má za cíl ověřit soulad předpokladů, metod a údajů použitých ve studii LCA s ohledem k její definici cílů a rozsahu. V kontrole konzistence je nutné zaměřit se především na soudržnost kvality dat, soudržnost časovou a geografickou, porušování hranic systému či alokačních pravidel.

V jednotlivých částech produktového systému se pro posuzování mnohdy používají data o různé kvalitě a z různých zdrojů. Je třeba ověřit, zda toto nastává a zda to není v rozporu s definicí cílů a rozsahu studie. Do produktového systému vstupují různé toky, jejichž popis a rozsah může podléhat časovým i regionálním změnám. Jestliže časové či regionální rozdíly nastávají, je třeba ověřit, zda nemají zásadní vliv na formulaci významných zjištění. Porušení hranic systému či alokačních pravidel popsanych v definici cílů a rozsahu může závažným způsobem ovlivnit závěry studie. Kontrolou konzistence se v tomto bodě míní, že nikde v modelu produktového systému nebyly porušeny zvolené hranice systému a alokace byla prováděna dle předem daných pravidel.

6.2.3 Analýza nejistot

Analýzou nejistot (angl. uncertainty analysis) se testuje vliv nepřesnosti dat na výsledky studie. Hodnoty použitých dat bývají v určitém rozpětí, a tudíž je vhodné testovat vliv těchto rozpětí na formulaci závažných zjištění. V některých případech mohou být požadovaná data pro některý z posuzovaných produktových systémů zatížena značnou variabilitou, případně mohou být úplně nedostupná. Míra těchto nejistot by měla být vyjádřena a uvedena i při formulaci závěrů studie. Vyjádření míry nejistot může být uvedeno například odhadem procent, nebo kvalitativně sdělením, že dopad na tu či onu složku životního prostředí produktového systému A nebo B může být vyšší, protože skutečnost ta a ta není zahrnuta do sestavování studie. Běžně se analýza nejistot v LCA provádí pomocí metody Monte Carlo, která proto bývá často součástí LCA software.

Problematika nejistot je v LCA poměrně živé téma a je jí věnována pozornost v odborných publikacích [11]. Velmi dobrý a trefný přehled této problematiky zpracoval Heijungs [12]. Vyjmenujme si základní typy a zdroje nejistot studií LCA [13].

Nepřesnosti dat: Empiricky získaná data mohou být zatížena chybou měření. V mnoha případech jsou data pro LCA získána i z vlastních odběrů vzorků, je tedy třeba počítat s chybami a nejistotami i v oblasti vzorkování.

Chybějící data: V inventarizaci může dojít k vědomé i nevědomé absenci dat.

Nereprezentativní hodnoty dat: Chybějící data mohou být nahrazena hodnotami získanými z podobných procesů či projektů. V případě, že taková data nereprezentují vhodně studovaný systém, zavádějí do studie chyby.

Nejistoty modelů: Komplexnost jevů i některých produktových systému vede ke zjednodušování použitých modelů.

Nejistoty zvolených předpokladů: Ve většině studií LCA je třeba přijmout určité předpoklady pro řešení. V komplexních otázkách obvykle není jen jedna správná varianta. Volbou předpokladů zanášíme do studie další nejistoty.

Prostorová variabilita dat: Hodnoty dat se mohou měnit v závislosti na geografickém umístění produktového systému nebo v závislosti na geografickém rozsahu zvolených hranic systému.

Časová proměnlivost dat: Hodnota dat potřebných pro inventarizaci se může měnit v čase.

Proměnlivost produktového systému: Každý produktový systém podléhá určitým změnám a odchylkám od svého normálního chování.

Citlivost cílových objektů: Různé organismy představující subjekty nepříznivého působení elementárních toků vykazují různou míru citlivosti.

Epistemologická nejistota: Rozvoj lidského poznání a tedy i metodiky LCA není ukončený a může představovat chyby a zdroje nejistot. Tyto nejistoty se obtížně vyjadřují.

Chyby: Výskytu chyb nelze stoprocentně zabránit. Velmi těžko se v LCA odhalují.

Odhady nejistot: Samotný odhad nejistoty studie LCA je zdrojem nejistot.

6.2.4 Analýza citlivosti

Analýza citlivosti (angl. sensitivity analysis) je jedním z významných prvků zajišťujících hodnověrnost studie LCA. Cílem provádění analýzy citlivosti je posouzení spolehlivosti konečných výsledků a závěrů studie. Jedná se o testování, zda jsou například formulace významných zjištění významně ovlivněny například:

- proměnlivostí vstupních dat;
- odchylkami v předpokladech;
- použitím jiných metodik LCIA či charakterizačních modelů;
- použitím alternativních údajů;
- zvolením jiných alokačních pravidel.

Analýza citlivosti slouží k zjištění, zda malá změna vstupních dat nevyvolá velkou změnu ve formulaci významných zjištění, tedy ve výsledcích. Analýza citlivosti se provádí porovnáním výsledků získaných na základě vstupních dat s výsledky získanými použitím pozměněných hodnot, jiných metod či s použitím jiných předpokladů.

Vstupní data se obvykle obměňují v určitém rozmezí, například $\pm 25 \%$, a sleduje se vliv těchto změn na výsledek. Citlivost se vyjadřuje jako absolutní změna ve výsledcích nebo jako procento této změny. Na základě analýzy citlivosti se identifikují významné změny ve výsledcích, například takové, které budou větší než 10 %. Progresivním způsobem provádění analýzy citlivosti je použití simulace Monte Carlo pro každou vstupní hodnotu. Analýza citlivosti obměnou vstupních hodnot se provádí především pro následující faktory: vstupní data případně různá kvalita dat; testování různých hodnot alokačních faktorů; omezující kritéria studie; volba hranic systému; předpoklady týkající se volby vstupních údajů; výběr kategorií dopadu; výstupy z inventarizace mohou být různým způsobem klasifikovány; různé charakterizační faktory kategorií dopadu; různé referenční hodnoty pro normalizaci; váhové faktory či různé metody určení váhových faktorů.

Jestliže je studie LCA příliš citlivá na určitý faktor (malá změna na vstupu vyvolá velké změny na výstupu), je třeba k jejím výsledkům přistupovat opatrně a citlivě je interpretovat. Podrobnou kontrolu citlivosti je nezbytné provádět v případě, kdy je studie LCA zveřejňována, a to zejména u studií majících za cíl porovnávat vzájemně environmentální dopady různých produktů. Několik příkladů použití analýzy citlivosti uvádí ČSN EN ISO 14044.

6.2.5 Analýza obměny

Analýzou obměny (angl. variation analysis) se testuje vliv změny části modelovaného produktového systému na výsledek studie. Za příklad obměny části produktového systému si uveďme jiného dodavatele elektrické energie. Jestliže sestavujeme LCA pro životní cyklus pracího prostředku, tak jeho environmentální dopady mohou doznat změny, jestliže bude například použit k praní v automatické pračce v České republice, kde je značná část elektrické energie vyráběna v tepelných

elektrárnách či ve Švédsku, kde převládají k výrobě elektrické energie hydroelektrárny a jaderné elektrárny. Dalším důvodem pro analýzu obměny je jiná citlivost regionů ke stejným emisím. Opět můžeme zmínit jako příklad emise acidifikujících látek, jejichž dopad je jiný na Balkáně a jiný ve Skandinávii.

6.2.6 Hodnocení kvality dat

Spolehlivost každé studie LCA stojí a padá s kvalitou a spolehlivostí použitých dat. Jelikož studie LCA vzniká v interakci dat technologických, environmentálních a socio-ekonomických, je třeba dbát na kvalitu použitých údajů. Kvalita studie LCA závisí na kvalitě a spolehlivosti vstupních hodnot a zároveň i na kvalitě použitých metod, například charakterizačních modelů ve fázi LCIA. Hodnocení kvality dat studií LCA bylo na workshopu společnosti SETAC [14] začleněno do studií LCA jako jejich neoddělitelná součást probíhající soustavně během celého sestavování studie.

V první fázi zpracovávání studie LCA (definice cílů a rozsahu) jsou definovány požadavky na kvalitu dat. Obvykle se nejprve formulují předběžné požadavky, jež jsou během sestavování studie blíže specifikovány. To zda získaná data, jež hodláme ve studii použít, odpovídají našim požadavkům, testujeme pomocí definovaných **indikátorů kvality dat** (angl. data quality indicator). Během sestavování studie, především během fáze sběru dat, každou jednotlivou hodnotu konfrontujeme se zvolenými indikátory. Jestliže hodnota splňuje zvolená kritéria, lze ji použít, jestliže nevyhovuje, musíme získat hodnotu vhodnější. Příkladem indikátoru kvality dat je doba jejich získání, například rok. Při sestavování komparativní studie dvou srovnatelných výrobků bývá za indikátor kvality dat zvolen požadavek stejného stáří použitých dat. Jestliže získaná data nespadají do předem zvoleného časového intervalu, je třeba data aktualizovat.

Indikátory kvality dat jsou buď kvantitativní nebo kvalitativní. **Kvantitativními** indikátory jsou obvykle statistické deskriptory jako přesnost a správnost dat, odchylky dat, úplnost dat (procenta získaných dat ze všech dat potřebných), rozložení dat (nakolik je průměr vhodný k popisu populace hodnot). Mezi **kvalitativní** patří například indikátory konzistence, srovnatelnosti či použitelnosti.

Konzistentní data si ilustrujme na příkladu použití kyselin ve dvou produktových systémech. I když budou oba systémy používat stejnou kyselinu, mohou používat kyselinu jinak koncentrovanou. V tom případě je třeba v inventarizaci počítat se vstupem kyseliny přepočteným na 100%ní (bezvodou) kyselinu. **Srovnatelná** data odpovídají stejnému rozsahu produktových systémů, a to rozsahu technologickému, geografickému, environmentálnímu i časovému. Srovnatelnost dat je významná především při vzájemném porovnávání produktových systémů. Indikátory **použitelnosti** identifikují použitelnost dat ve vztahu k definici cílů a rozsahu studie. Zde se jedná především o stáří dat, geografický původ, míru detailu a podobně.

6.3 Formulace závěrů, omezení a doporučení studie LCA

K formulaci závěrů a doporučení je možné přistoupit až po úplném uzavření kroků identifikace významných zjištění a hodnocení studie LCA. Předešlé kroky jsou důležité k tomu, aby transparentně ukázaly, že výsledky hodnocení environmentálních dopadů na základě předchozí inventarizace jsou úplné, porovnatelné a dostatečné pro formulaci závěrů a doporučení. Není-li tomu tak, je nezbytné doplnit chybějící data, použít vhodnější charakterizační modely a podobně a opakovat předchozí dva kroky interpretace.

Důležitým prvkem formulace závěrů je skutečnost, že se provádí v úzké interakci s předešlými fázemi sestavování studie LCA. V závěrech by se měla jednoznačně uvést **všechna významná zjištění** včetně **souhrnu analýz** použitých při hodnocení studie LCA. Obvykle se nejprve formulují **předběžné závěry**, které jsou po ověření, zda splňují požadavky definice cílů a rozsahu, po ověření jejich věrohodnosti a otestování kvality dat na základě kterých byly formulovány, prohlášeny za **závěry konečné**. Vždy je třeba uvést, zda jsou konečné závěry v souladu s definicí cílů a rozsahu, zda jsou konzistentní s celou

studí a jaká jsou **omezení jejich platnosti**. Všechny původní předpoklady a předpoklady učiněné během celého sestavování studie musí být uváděny společně se závěry projektu. Jestliže by tyto předpoklady nebyly v závěrech uvedeny, mohlo by snadno dojít k vytržení závěrů z jejich kontextu a k jejich nesprávné či zavádějící interpretaci.

Významným výstupem studie LCA je **formulace doporučení** příjemcům studie. Formulace doporučení by měla vycházet z definice cílů a rozsahu a měla by být založena výhradně na konečných závěrech.

7 Kritické přezkoumání studie LCA

Kritické přezkoumání má usnadnit porozumění studiím LCA a zvýšit jejich důvěryhodnost. Každé porovnávací tvrzení je společensky velice citlivé a tudíž vyžaduje nezávislé posouzení. Na konferencích týkajících se LCA bylo v začátku 90. let referováno o nepříznivém postoji různých subjektů ke zpracovatelům LCA studií. Autoři studií byli často vnímáni jako „špióni“ najatí za účelem získání citlivých informací z průmyslových podniků [9]. Mnoho provozovatelů technologických procesů rovněž nesouhlasilo se zveřejňováním detailních informací (materiálové a energetické toky, popisy procesů a podobně) v rámci dokumentace LCA studií. Reakcí na tyto skutečnosti bylo zavedení kritického přezkoumání LCA studií do ISO norem.

Rozsah a typ kritického přezkoumání musí být definován ve fázi definice cílů a rozsahu studie. Již tam by mělo být jasně uvedeno jakým způsobem a do jaké hloubky bude kritické přezkoumání prováděno. Rovněž by již na začátku sestavování studie LCA mělo být jasné, kdo bude kritické přezkoumání provádět a jakým způsobem. Zpráva z kritického přezkoumání se stává **součástí kompletní dokumentace** LCA studie.

7.1 Role oponenta studie LCA

Ten kdo provádí kritické přezkoumání studie, řekneme mu **oponent**, má k dispozici všechna data studie, včetně dat citlivých, utajovaných před konkurencí či podléhajících obchodnímu tajemství. Ve své zprávě by měl oponent potvrdit příjem těchto citlivých dat. Rolí oponenta je mimo jiné zkontrolovat, že konečné výsledky publikované ve **zprávě určené ke zveřejnění**, tedy zprávy založené na utajovaných datech, ale přímo je neuvádějící, jsou v souladu s úplným zněním **studie LCA pro zadavatele**. Kritické přezkoumání studie LCA má za úkol posoudit výhradně metody a kvalitu studie, nikdy nemá za cíl podporovat ty nebo ony výstupy či výsledná zjištění.

Sestavování LCA studie je velmi komplexní činnost vyžadující porozumění environmentálním, technologickým i sociálně - ekonomickým souvislostem. Vždy je třeba volit mezi různými variantami a to jak metodickými tak interpretačními. Tato činnost je podstatně komplexnější než se po úvodním seznámení s ideou LCA, s posuzováním vstupů a výstupů od kolébky do hrobu může zdát. Již v průběhu sestavování studie je třeba značnou část rozhodnutí konstruktivně diskutovat s nezávislým odborníkem. Právě tato role je v LCA přisouzena oponentovi zpracovávajícímu kritické přezkoumání.

Jestliže si to významnost studie vyžádá, je vhodné vytvořit skupinu nezávislých odborníků, kteří se budou na kritickém přezkoumání podílet společně. Role oponenta studie LCA je velmi důležitá a je proto třeba s ní počítat již při zadávání studie LCA a při vytváření rozpočtu na její zpracování.

Kritické přezkoumání studie může být prováděno interním nebo externím oponentem či týmem odborníků zainteresovaných stran. **Interní oponent** je vhodný pro LCA studie, jejichž výstupy jsou použity pro ovlivnění vlastních technologických provozů s cílem realizovat je interně uvnitř jednoho podniku. Interní kritik by měl být dobře obeznámen jednak s technologickým a sociálně - ekonomickým zázemím podniku a samozřejmě by měl mít dostatečné povědomí o metodě LCA.

Externí oponent je nezbytný pro studie LCA, jež mají být zveřejněny a zejména pro studie porovnávající vzájemně dva konkurenční produkty. **Tým oponentů zainteresovaných stran** se sestává

ze zástupců všech subjektů majících vztah k předmětu posuzování, ale kteří se přímo nepodílejí na sestavování LCA studie. Vedoucím týmu oponentů zainteresovaných stran bývá obvykle pracovník zadavatele studie. Tým oponentů musí mít alespoň tři členy.

Kvalitním kritickým přezkoumáním se zvyšuje význam LCA studie i její vypovídací hodnota. Kvalitní oponent pomáhá předejít nežádoucím reakcím příjemců studie či špatnému pochopení studie veřejností. Poctivost a kvalita práce oponenta je vždy otázkou jeho osobní i profesní cti.

8 Podávání zpráv z LCA studií

Použití výstupů z LCA studií může být používáno pro různé účely. Je proto nutné ve zprávách informujících o výsledcích studií dodržovat jistá pravidla. S ohledem na příjemce zprávy by měl být typ a formát zprávy ze studie LCA definován již ve fázi definice cílů a rozsahu. V každé zprávě studie LCA je třeba průhledně a s ohledem na příjemce dostatečně podrobně popsat zjištěné výsledky, použité údaje, metody, přijaté předpoklady a omezení platnosti studie. Je nutné, aby čtenář výstupy studie vždy chápal v kontextu definice cílů a rozsahu studie. Presentace výsledků by měla být konzistentní s účelem studie a výsledky by neměly být příliš zjednodušené. Obvykle rozlišujeme dva typy zpráv ze studií LCA. Za prvé se jedná o úplnou **zprávu pro zadavatele studie LCA** a za druhé o zkrácenou **zprávu určenou ke zveřejnění**. Přehled všech položek, které musí oba typy zpráv ze studií LCA obsahovat, je podrobně uveden v ČSN EN ISO 14044.

8.1 Zpráva pro zadavatele studie LCA

Úplná zpráva ze studie LCA je dostupná především jejímu zadavateli. Musí obsahovat detailní popis všech důležitých prvků studie. Na základě definice cílů a rozsahu je třeba shrnout, jaké hmotnostní a energetické toky byly začleněny do sestavování studie a které již zahrnuté nebyly. Obvykle se volí všechny toky, jejichž velikost se na celkovém hmotnostním či energetickém toku produktového systému podílí alespoň z určitého množství procent (například 99%). Důležité je zde uvést i ty materiálové či energetické toky, které jsou rozsahem malé, ale svým environmentálním dopadem mohou být významné (např. toxické formy kovů) a bylo proto s nimi ve studii počítáno.

Výstupy z inventarizace a posuzování dopadů by měly být ve zprávách strukturovány v přehledných tabulkách nebo grafech tak, aby bylo zřejmé, jak se který proces nebo skupina procesů podílí na spotřebování surovin či produkci emisí, jak se podílí na zasažení té či oné kategorie dopadu. Tato data mohou být strukturována různým způsobem, například s ohledem na dopravu, surovinové zdroje, podíl na produkci skleníkových plynů apod. Stejným způsobem by měl být prezentován i zjištěný **charakterizační profil** produktového systému. Ve zprávě ze studie LCA je třeba shrnout, jaké byly použity metodické postupy. Jedná se zejména o hranice systému, alokační pravidla, zvolené kategorie dopadu a charakterizační faktory, modely použité v LCIA apod. Součástí závěrečných zpráv studií je uvedení **významných zjištění** a to společně s uvedením rozsahu jejich platnosti popsáním za jakých předpokladů a s jakými omezeními jsou platná. Důležité je rovněž uvést jak bylo provedeno hodnocení studie a s jakými výsledky.

Nedílnou součástí zprávy ze studie LCA je vždy **výstup z kritického přezkoumání**. Zde musí být uvedeno, kdo a jakým způsobem kritické přezkoumání prováděl, zda se jednalo o externího či interního oponenta či o oponentní tým. Stanovisko oponentů by vždy mělo být zahrnuto do závěrečné zprávy, především u studií určených ke zveřejnění.

Součástí závěrečné zprávy by mělo být uvedení **zodpovědnosti subjektů** zainteresovaných na studii, kdo byl zadavatel, kdo studii sestavoval, kdo se na sestavování podílel externě

8.2 Zpráva určená ke zveřejnění

Jestliže mají být výstupy studie předloženy jiným subjektům než je zadavatel a zpracovatel studie, je nutné vytvořit publikovatelnou závěrečnou zprávu. **Zpráva určená ke zveřejnění** neboli **zpráva třetí strany** (angl. third-party report) se pak stává tak zvaným referenčním dokumentem dostupným jakémukoli zájemci o studii. Zpráva určená ke zveřejnění obsahuje stejné výsledky jako úplná zpráva ze studie LCA, nejsou v ní však uvedena citlivá či utajovaná data týkající se například výrobních procesů, obchodních tajemství a podobně. Je vhodné, aby i v této zkrácené zprávě byla zmínka o zpracovateli **kritického přezkoumání** a uvedeno jeho stanovisko.

9 Použití LCA

LCA svými myšlenkovými postupy inspiruje i jiné nástroje environmentálního managementu (například EIA, ERA), ale zpětně ovlivňuje i ty postupy, ze kterých původně vyšla (IOA, Environmental accounting). LCA inspiruje rozvoj nových přístupů v hodnocení environmentálních rizik ERA (angl. environmental risk assessment) a dokonce se začíná uvažovat i o použití nástrojů LCA do posuzování environmentálních dopadů EIA (angl. environmental impact assessment) a rovněž do strategických SEA (angl. strategic environmental assessment). V následujících odstavcích jsou stručně shrnuty vybrané aplikace LCA.

9.1 Srovnávání alternativních produktů – komparativní studie

Hlavním smyslem metody LCA je posuzování environmentálních dopadů produktů od kolébky do hrobu a to se zaměřením na porovnání produktů splňující stejnou uživatelskou funkci. LCA slouží k identifikaci těch procesů životního cyklu produktu, kde dochází k největší zátěži životního prostředí. Metoda LCA byla nejprve vyvinuta především pro hodnocení obalů, následně byla úspěšně aplikována i na celé spotřebitelské produkty, což je dnes bezesporu hlavní doménou využití LCA. Koncepce uvažování v životních cyklech ovšem přináší celou řadu nových podnětů, jak se dívat na interakce lidských aktivit a životního prostředí. Ukázalo se, že produktem, jenž můžeme pomocí LCA hodnotit, nemusí být čistě hmotný výrobek (PET vs. skleněná lahev), ale i služba nebo technologický proces. Doprava osob či materiálu je službou, jejíž environmentální dopady lze pomocí LCA posuzovat stejně úspěšně jako technologické procesy. Je šetrnější katalytický proces výroby určité chemikálie nebo stechiometrická reakce s přebytkem vstupních chemikálií? Významnou aplikační oblastí LCA konkrétních technologických procesů se stalo například odpadové hospodářství.

9.2 Interní zlepšování výrobních systémů

Značný počet studií LCA byl zpracován pro interní účely průmyslových podniků. I do budoucna lze tuto oblast považovat za jednu z prioritních. LCA dokáže identifikovat možnosti interních zlepšení výrobních postupů v rámci jednotlivých podniků či korporací. Pomocí LCA lze určit ty jednotlivé procesy výroby, které představují nejen nejvyšší podíl na ekovektoru podniku, ale také pomoci managementu identifikovat procesy s největší spotřebou energie či paliv a tudíž i možnosti úspor. LCA je základním analytickým nástrojem tak zvané **průmyslové ekologie** podniků. Pro interní podnikové účely je velmi přínosné rozšíření LCA do oblasti ekonomické – LCC (angl. Life Cycle Costing).

9.3 Komunikace s veřejností

Výstupy z LCA jsou poměrně dobře prezentovatelné veřejnosti. Tohoto faktu využívá stále širší okruh průmyslových podniků (Volkswagen, Nokia, Shell, Motorola) k vytváření kvalitních vztahů s veřejností. Je ovšem mít na paměti, že v historii byly sestavovány i účelové studie LCA, jejichž kvalita

spočívala právě jen v komunikaci s veřejností. Fakt, že vznikaly v 90. letech účelové studie LCA byl hlavním podnětem k rychlé tvorbě pevného rámce metody ukotveného v řadě norem ISO 14040. V rozvinutých zemích je ovšem poskytnutí studie LCA na svůj produkt pro průmyslové partnery i pro nejširší veřejnost samozřejmostí. Sílící zájem veřejnosti o environmentálně šetrné produkty vytváří tlak na výrobce, aby si nechávali zpracovávat studie LCA na své produkty, a také aby totéž vyžadovali i od svých subdodavatelů.

9.4 Environmentální značení

Zájem veřejnosti o environmentálně šetrné produkty se odráží v rozvoji environmentálního značení produktů, tak zvaných ekoznaček. Environmentální značení (angl. ecolabeling) je označování výrobků splňujících určitá kritéria značkami vyjadřujícími jejich nižší dopady na životní prostředí ve srovnání s konkurenčními výrobky. Cílem tak zvaných ekoznaček* je informovat zákazníky a spotřebitele. Ekolabeling má význam nejen v informování zákazníků, ale také v jejich motivování volit si výrobky méně zatěžující životní prostředí. Zájem zákazníků o takto označené výrobky pak motivuje i výrobce o získání ekoznaček pro své produkty. V současnosti existují tři úrovně environmentálního značení: typ I, typ II a typ III. **Environmentální deklarace o produktu (Typ III)** je označení udělované dle ČSN ISO 14025 [15] a označuje se zkratkou **EPD** (angl. Environmental Product Declaration). Environmentální dopady produktů majících EPD jsou hodnoceny s ohledem na jejich celý životní cyklus – metodou LCA.

9.5 LCA v odpadovém hospodářství

Na první pohled by se mohlo zdát, že použití LCA pro řešení problematiky nakládání s odpady jde proti smyslu a poslání metody posuzovat environmentální dopady produktů od kolébky do hrobu. Z tohoto pohledu by odpadové hospodářství mělo být vždy součástí životních cyklů jednotlivých produktů stávajících se na konci fáze užití odpadem. Na druhé straně se na technologie nakládání s odpady můžeme dívat jako na službu, jejíž environmentální dopady nás zajímají. Je to podobné jako když posuzujeme dva systémy sušení rukou (papírové ubrousky vs. teplovzdušný větrák), kde nás také zajímá pouze konkrétní funkce (služba) produktu a nikoli „životní cyklus“ špinavých rukou.

Metoda LCA může být v oblasti odpadového hospodářství použita za účelem porovnání environmentálních dopadů alternativních systémů nakládání s odpady nebo za účelem identifikace hlavní oblasti potencionálního zlepšení v daném konceptu nakládání s odpady či v dané konkrétní technologii. Výsledky LCA mohou být užitečnými podněty pro proces rozhodování. LCA v odpadovém hospodářství se zaměřuje zejména na identifikaci environmentálně významných procesů v řetězci zpracování odpadů; na identifikaci významných environmentálních zátěží v rámci procesu; na určení, zda návrhy na zlepšení končí v lokální optimalizaci (posun environmentálních zátěží na jiná místa), nebo jestli jsou environmentálně vhodnější pro celý systém nakládání s odpady; a na hodnocení environmentálního dopadu jednotlivých alternativ nakládání s odpady v rámci celého jejich životního cyklu.

Metodu LCA využívá již mnoho zemí při strategickém plánování v odpadovém hospodářství a tvorbě plánů odpadového hospodářství POH. Jen ve Velké Británii byly vyvinuty a aplikovány tři modely pro nakládání s tuhými odpady. Jsou to **WISARD** (vyvinut Environmentální agenturou a Ecobilan), **IWM2** (Procter and Gamble) a model **Wasteman** (AEA technology). WISARD používají ve Velké Británii při tvorbě regionálních plánů odpadového hospodářství. Aplikaci uvažování životního cyklu (angl. Life Cycle Thinking) v odpadovém hospodářství prosazuje EU, ať už ve formě vydané Tematické strategie pro předcházení vzniku odpadů a jejich recyklaci, tak i v dalších aktivitách a projektech. Ve Velké

* www.ekoznacka.cz. Dříve se v ČR používalo označení „Ekologicky šetrný výrobek – EŠV“.

Británii se metoda LCA využívá při tvorbě regionálních plánů odpadového hospodářství a aplikace této metody je doporučena v Odpadové strategii již z roku 2000. Metoda LCA se považuje za jeden z hlavních nástrojů při zavádění trvale udržitelného rozvoje.

V případě, že je naším cílem absolutní snižování kontaminační zátěže životního prostředí, musí nás zajímat i environmentální dopady spojené s provozem technologií odstraňujících v prostředí přítomné škodlivé látky (například škodlivé látky z kontaminovaných zemín nebo environmentální dopady spojené s provozem technologií odstraňujících škodlivé látky z médií do prostředí člověkem vypouštěných (**odpadní vody, tuhé odpady, odpadní plyny**)). Lokality kontaminované toxickými látkami stejně jako odpadní vody či plyny jsou nejen nežádoucím dědictvím minulosti, ale rovněž s jejich vznikem musíme počítat do budoucnosti. Technologické procesy odstraňování škodlivin nesmí být v rozporu se strategií trvale udržitelného rozvoje. Energetická a palivová náročnost technologií odstraňování škodlivých látek může představovat významné kritérium pro volbu technologického postupu či logistického uspořádání daných operací. Analytickým nástrojem vhodným k identifikaci operací s největšími environmentálními dopady a operací, kde by bylo možné tyto dopady snížit, je právě metoda LCA.

Metodu LCA je možné aplikovat pro porovnávání environmentální významnosti různých emisních toků mezi sebou, což je velmi užitečné pro oblast **čistiřenských, sanačních a dekontaminačních technologií** bez rozdílu ať je čištěným médiem, vzduch, voda či pevné materiály. Každá taková technologie má za cíl snížit množství nežádoucích látek (obvykle toxických) v kontaminované lokalitě či médiu. Smyslem těchto technologií je tedy snížit environmentální zátěž v prostředí. Vyjádření environmentální zátěže kontaminace pouze vzhledem k poklesu koncentrace či množství kontaminantů v lokalitě či odpadním médiu přítomných není dostatečné, neboť se ukazuje, že samotný proces odstraňování škodlivin představuje spotřebou elektrické energie, pohonných hmot, materiálů a chemikálií rovněž zátěž životního prostředí. Tato zátěž ovšem dosud nebývá vnímána jako faktor ovlivňující účinnost a prospěšnost čistiřenských technologií či sanačních zásahů.

9.6 Ekodesign

Ekodesign často označovaný environmentální design* (angl. design for environment, DfE nebo D4E) usiluje o takový design výrobku nebo služby, jenž minimalizuje dopady na životní prostředí ve všech fázích jeho životního cyklu, a to při zachování požadované funkčnosti a ekonomické efektivity. Environmentální design rozšiřuje úkoly designu (vzhled, materiály, funkčnost, bezpečnost) o oblast environmentálních dopadů se současným zohledněním ekonomických aspektů. Ekodesign rozvíjí inovaci výrobku při dosahování udržitelného rozvoje a pomáhá řešit konflikt mezi žádoucími (služba) a nežádoucími (environmentální dopady) efekty ekonomických aktivit z pohledu celého životního cyklu produktů. Základními hesly environmentálního designu je dematerializace, detoxifikace, snížení energetické náročnosti. V ekodesignu je kladen důraz na zachování požadovaných vlastností produktu při udržení přijatelné ceny, kvality, trvanlivosti a spolehlivosti. Není smysluplné na prvním místě navrhovat výrobek jako takový, ale splnění funkce, kterou potřebujeme a od výrobku očekáváme. S ohledem na tato východiska se v ekodesignu často hovoří o adaptovatelnosti, multifunkčnosti a aktualizovatelnosti vyvíjených produktů.

10 Závěr

Metoda posuzování životního cyklu produktů **LCA** slouží jako analytický nástroj vzájemného srovnávání environmentálních dopadů konkrétních výrobků, technologických postupů i služeb. Jedná

* O ecodesignu se lze více dozvědět na www.ecodesign.at.

se o hodnocení tak zvané od kolébky do hrobu, tudíž s ohledem na všechny související procesy získávání výchozích surovin, výroby potřebných materiálů, výroby konkrétního produktu, jeho užívání i odstraňování. LCA je dynamicky se rozvíjející metoda představující celou multioborovou disciplínu snoubící jak environmentální, technologické, sociální, tak i ekonomické aspekty interakcí lidských aktivit a životního prostředí. Ač se metodika LCA neustále vyvíjí a zlepšuje, opírá se o platné ISO normy, čímž vzniká předpoklad pro standardizaci LCA studií. Zmiňme si na závěr hlavní praktické i metodické **přínosy metody** posuzování životního cyklu:

- porovnávání environmentálních dopadů s ohledem na funkci produktů definováním funkční jednotky;
- hodnocení s ohledem na celý životní cyklus produktu;
- zavedení hranic systému pro jasné vyjádření rozsahu produktového systému
- vyjadřování zásahů do životního prostředí nikoli výčtem emisních toků, ale použitím definovaných kategorií dopadu;
- schopnost identifikovat přenášení problému jak v prostoru, tak mezi různými kategoriemi dopadu;
- iterativní postup řešení;
- definování postupů hodnocení kvality studie například analýzou citlivosti;
- aktivní začlenění kritického přezkoumání do technického rámce provádění studií;
- snaha po maximální transparentnosti začleněním požadavků na prezentaci výsledků společně s omezeními platnosti studie.

Vzhledem ke schopnosti LCA vyjadřovat emisní toky v termínech kategorií dopadu, je možné identifikovat tak zvané **přenášení problému z místa na místo**. V oblasti odstraňování škodlivých látek je tím míněno především:

- **Přenášení napříč kategoriemi dopadu:** Vyčištění určité lokality či odpadního média (pokles koncentrace či množství škodlivé látky) je doprovázeno produkcí emisí jiných látek, jež mají nepříznivý dopad na jinou kategorii dopadu (například produkce odpadních vod, skleníkových plynů, acidifikujících látek, nutrientů).
- **Přenášení geografické:** Pro čistírenské a sanační technologie jsou často používány materiály či energie, jejichž výroba představuje zátěž pro životní prostředí v místě výroby. V místě aplikace, kterým může být i jiný stát, pak nemusí být tato environmentální zátěž započtena k negativům provozu dané technologie, a tudíž dochází k podhodnocování environmentálních dopadů technologie z regionálního či kontinentálního měřítka.
- **Zapojení environmentálních dopadů dopravy:** Každý dopravní proces představuje zátěž na životní prostředí. Každý čistírenský či sanační zásah je spojen s vyčíslitelným množstvím dopravních aktivit majících konkrétní dopady na životní prostředí. Nezahrnutím dopadů z dopravy do vyjádření dopadů dané technologie podhodnocujeme její dopady na životní prostředí.

Dokud budeme naše inovativní úsilí ve vztahu k životnímu prostředí nadále členit podle sféry zájmů jednotlivých resortů či tematických okruhů grantových agentur nebude nikdy naše úsilí vést k celostnímu pojetí a k reálnému zlepšení stavu životního prostředí. Jednotlivé problémy životního prostředí je nezbytné řešit provázaně s jinými environmentálními problémy a neupřednostňovat témata sice mediálně vděčná, ale možná méně palčivá. Díky metodě LCA lze předcházet situacím, kdy jeden environmentální problém vyřešíme tak, že si vytvoříme problém jiný. Metoda LCA nás učí dívat se na problematiku interakcí lidské společnosti a životního prostředí novým, uceleným a hranice překračujícím způsobem. Plné pochopení metody LCA vyžaduje velké úsilí, neboť se jedná o interdisciplinární přístup s velmi širokým záběrem. Vynaložení tohoto úsilí však stojí za to, neboť nám

poskytuje nástroj jak vystoupit z bludného kruhu neustálého a opětovného poškozování životního prostředí a může nám ukázat, která naše nevhodná rozhodnutí při navrhování nových výrobků či provozu nových technologií se nám vrátí jako bumerang. Metoda LCA nás učí, že lidská společnost a její technologie tvoří s přírodním bohatstvím jeden nedělitelný a nesmírně křehký kruh.

11 Literatura týkající se LCA

11.1 Platné ČSN EN ISO normy týkající se LCA

ČSN EN ISO 14040: Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Zásady a osnova. 2006.

ČSN EN ISO 14044: Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Požadavky a směrnice. 2006.

11.2 Související ISO dokumenty

ČSN ISO/TR 14047: Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Příklady aplikace ISO 14042, 2003.

ČSN P ISO TS 14048: Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Formát dokumentace údajů, 2002.

ČSN ISO/TR 14049: Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Příklady aplikace ISO/TR 14041 pro stanovení cíle a rozsahu inventarizační analýzy, 2000.

11.3 Citovaná literatura

¹ KOČÍ, V.: Posuzování životního cyklu – LCA. Chrudim 2009.

² ČSN EN ISO 14040: Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Zásady a osnova. 1997. Již neplatná norma.

³ ČSN EN ISO 14041: Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Stanovení cíle a rozsahu a inventarizační analýza. 1998. Již neplatná norma.

⁴ ČSN EN ISO 14042: Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Hodnocení dopadů. 2000. Již neplatná norma.

⁵ ČSN EN ISO 140 43 Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Interpretace životního cyklu. 2000. Již neplatná norma.

⁶ ČSN ISO/TR 14047: Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Příklady aplikace ISO 14042. 2003

⁷ ČSN ISO/TR 14049: Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Příklady aplikace ISO/TR 14041 pro stanovení cíle a rozsahu inventarizační analýzy. 2000

-
- ⁸ ČSN P ISO TS 14048: Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Formát dokumentace údajů. 2002
- ⁹ BAUMANN, H., TILLMAN, A.M.: The Hitch Hiker's Guide to LCA. Studentlitteratur, Lund, 2004.
- ¹⁰ GUINÉE, J.B. (Ed.), GORRÉE, M., HEIJUNGS, R., HUPPES, G., KLEIJN, R., DE KONING, A., VAN OERS, L., WEGENER-SLEESWIJK, A., SUH, S., UDO DE HAES, H.A., DE BRUIJN, J.A., VAN DUIN, R., HUIJBREGTS, M.A.J.: Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards. Kluwer Academic Publishers, 2002.
- ¹¹ Lloyd, S.M., Ries, R.: Characterizing, propagating, and analyzing uncertainty in life-cycle assessment: A survey of quantitative approaches. *Journal of Industrial Ecology*, 11 (1) 2007, p. 161-179.
- ¹² Heijungs, R., Huijbregts, M.A.J.: A review of approaches to treat uncertainty in LCA. Proceedings of the 2nd Biennial Meeting of iEMSs, Complexity and integrated resources management, 14-17 June 2004, Osnabrück, Germany.
- ¹³ Bjorklund, A.E.: Survey of approaches to improve reliability in LCA. *International Journal of LCA* 7 (2) 2002 p. 64-72, 2007
- ¹⁴ FAVA, J., WESTON, R.F. (eds.): Life Cycle Assessment data quality: A conceptual framework. Life-Cycle Assessment Data Quality Workshop, 4. – 9. 10.1992, Wintergreen, Virginia. Society of Environmental Toxicology and Chemistry and SETAC Foundation for Environmental Education, Pensacola, USA, 1994.
- ¹⁵ ČSN ISO 14025 Environmentální značení a prohlášení typu III. – Zásady a postupy, ČNI Praha 2006.