

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2018

Vít Nýdrle

Univerzita Pardubice

Fakulta chemicko-technologická

Posuzování životního cyklu produktu

Vít Nýdrle

Bakalářská práce

2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vít Nýdrle**
Osobní číslo: **C15023**
Studijní program: **B2807 Chemické a procesní inženýrství**
Studijní obor: **Ochrana životního prostředí**
Název tématu: **Posuzování životního cyklu produktu**
Zadávací katedra: **Ústav environmentálního a chemického inženýrství**

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

1. Zpracujte literární rešerši v oblasti posuzování životního cyklu produktu (LCA). Zaměřte se zejména na postup posuzování, kategorie dopadu a vyhodnocení.
2. Získané poznatky aplikujte na nalezený konkrétní případ LCA studie.
3. Bakalářskou práci zpracujte v souladu se Směrnicí UPa č. 9/2012 "Pravidla pro zveřejňování závěrečných prací a jejich základní jednotnou formální úpravu" v platném znění.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lenka Audrlická Vavrušová

Ústav environmentálního a chemického inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

6. února 2018

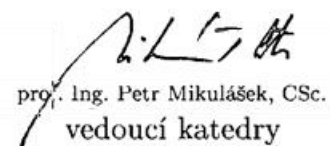
Termín odevzdání bakalářské práce:

4. července 2018



prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.
děkan

L.S.



prof. Ing. Petr Mikulášek, CSc.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 6. února 2018

Prohlášení

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 26.6. 2018

Vít Nýdrle

Poděkování

Velice děkuji vedoucí práce Ing. Lence Audrlické Vavrušové za vedení, její čas a věcné připomínky při tvorbě bakalářské práce.

Anotace

Bakalářská práce je zaměřena na problematiku posuzování životního cyklu výrobku. V práci je představena LCA z pohledu použití. Práce pokračuje seznámením s produktovými systémy a jejich modely. Následně je představena norma, která poskytuje nejdůležitější informace potřebné pro konstrukci studie. Podrobně jsou popsány nejpoužívanější kategorie dopadu a jsou uvedeny jejich jednotky. V závěru práce je představena konkrétní LCA studie, která se zabývá výrobou portlandského cementu v Číně, a získané poznatky z celé práce jsou použity pro autorské provedení kritického přezkoumání.

Klíčová slova

posuzování životního cyklu, produkty, výroby, produktové systémy, dopady

Title

Product Life Cycle Assessment

Annotation

The bachelor thesis is focused on the issue of product lifecycle assessment. The LCA is presented from the view of use. The thesis continues with presenting product systems and their models. Subsequently, a guideline is presented, which provides the most important information needed to construct the study. The most frequently used impact categories are described in detail and their units are mentioned. At the end of thesis is presented a specific LCA study, which is concerned with the production of Portland cement in China. The acquired knowledge from the whole thesis are used for author's critical review.

Keywords

life cycle assessment, products, fabrications, product systems, impacts

Obsah

Úvod.....	8
1 LCA	9
1.1 Použití	10
1.1.1 LCC.....	10
1.1.2 Ekodesign.....	11
1.1.3 Management životního cyklu produktu (PLM)	12
1.2 Spotřebitel a LCA	12
1.3 Ekoznačka	13
2 Produktové systémy a jejich modely	14
3 Metodika LCA.....	17
3.1 ČSN EN ISO 14040	17
3.2 Definice cílů a rozsahu LCA.....	18
3.2.1 Funkce a funkční jednotka.....	18
3.2.2 Hranice systému.....	19
3.2.3 Zdroje údajů a jejich kvalita	19
3.2.4 Úvahy kritického přezkoumání.....	20
3.3 Inventarizace životního cyklu	20
3.3.1 Shromažďování údajů.....	20
3.3.2 Výpočet údajů	20
3.3.3 Alokace	21
3.4 Posuzování dopadů životního cyklu (LCIA).....	22
3.4.1 Povinné prvky	22
3.4.2 Volitelné prvky	23
3.5 Interpretace životního cyklu.....	23

3.5.1	Identifikace závažných problémů	24
3.5.2	Vyhodnocení	24
3.5.3	Závěry, omezení a doporučení	25
3.6	Zprávy z LCA studií a kritické přezkoumání	25
4	Kategorie dopadu	26
4.1	Globální oteplování	26
4.2	Úbytek stratosférického ozonu	26
4.3	Vznik fotooxidantů	27
4.4	Acidifikace	28
4.5	Eutrofizace	28
4.6	Humánní toxicita	29
4.7	Ekotoxicita	29
4.8	Úbytek surovin	30
5	LCA výroby portlandského cementu v Číně	31
5.1	Definování systému a NSP technologie	31
5.2	Popis studie	32
5.3	Kritické přezkoumání studie	33
5.4	LCIA studie	35
6	Závěr	36
7	Seznam zdrojů	37

Seznam ilustrací a tabulek

Obrázek 1: *Loga ekoznaček* [16]

Obrázek 2: *Blokové schéma výroby briket z dřevěného uhlí* [19]

Obrázek 3: *Produktový systém briket z dřevěného uhlí* [17]

Obrázek 4: *Jednotkové procesy v produktovém systému* [17] [19]

Obrázek 5 *Definice systému výroby cementu* [27]

Tabulka 1 *Výsledky indikátorů kategorie dopadu Čínského a Japonského cementářského průmyslu* [27]

Seznam zkratk a značek

LCA – Life Cycle Assessment

EMAS – Eco Management and Audit Scheme

EPD – Environmental Product Declaration

LCC – Life Cycle Cost

PLM – Product Lifecycle Management

EPR – Extended Producer Responsibility

WEEE – European Waste Electrical and Electronic Equipment Directive

MŽP – Ministerstvo životního prostředí

CENIA – Česká informační agentura životního prostředí

LCI – Life Cycle Inventory

LCIA – Life Cycle Impact Assessment

BAT – Nejlepší dostupná technologie

GWP – Global Warming Potential

AP – Acidification Potential

POCP – Photochemical Oxidant Formation Potential

EP – Eutrophication Potential

HTP – Human Toxicity Potential

NSP – New Suspension Preheater

MSC – Multistage Combustion

SNCR – Selective Non-Catalytic Reduction

Úvod

LCA neboli posuzování životního cyklu je velmi zajímavý postup studování světa kolem nás a toho, co se v něm děje. Od výroby prvního pazourku až po nejmodernější nadzvuková letadla je možné toto posuzování provádět. Přesto je tento pojem – samotná zkratka lidem často neznámá a plně si nedovedou představit, co vlastně znamená, ani čeho se týká. Účel takového postupu se zdá také na první pohled skrytý, ale po bližším zkoumání všech úkonů a náležitostí je naprosto logický. Časté reportáže v médiích ukazují pouze výsledek nějaké události, jako jsou třeba plasty v moři nebo mizení živočišných druhů z původních stanovišť. Ale díky LCA dovedeme takovéto události lépe pochopit, lépe je zmapovat a převším jim předcházet nebo je omezovat.

Téma LCA mě samotného velmi upoutalo. Velice se mi líbí algoritmy, návody a postupy. LCA přináší i obsáhlou tvorbu produktových systémů, kde se lze takovým vazbám věnovat nebo je přímo modelovat. Problematice životního prostředí se věnuji už od střední školy a mohu oba zájmy prolnout. Od doby, kdy se setkávám s produkty a službami, si kladu otázky. *Kde se výrobky berou? Kdo je udělal a za jak dlouho? Odkud se dováží? Kde končí? Co jejich výroba znamená pro přírodu?* Moje role spotřebitele mě podnítila si toto téma vybrat a alespoň na část si odpovědět.

Cílem bakalářské práce je seznámení s LCA a výstižný popis metodiky vypracování LCA. Práce se zabývá představením kategorií dopadu a v samotném závěru se práce věnuje konkrétní LCA. LCA výroby portlandského cementu je podrobena kritickému přezkoumání.

Práce má pět částí. V první části je LCA definována a vysvětlena. Velký důraz je kladen na možné využití studie. V další části je pojednáváno o produktových systémech a jejich modelech. Tyto modely jsou vysvětleny a jsou ukázány na příkladu. Nejobsáhlejší částí práce je metodika a náležitosti vypracování LCA studie. Celá kapitola je v souladu s platnou normou a slouží jako výchozí referenční rámec pro kontrolu konzistence závěrečné studie. Další část práce představuje osm kategorií dopadu, které se nejčastěji používají při LCA studiích. Poslední kapitola je věnována představení a zkoumání LCA výroby portlandského cementu. Součástí kapitoly je také autorské kritické přezkoumání, které objektivně hodnotí kvalitu a správnost studie.

1 LCA

Posuzování životního cyklu (LCA) je v dnešní době užíváno jako nástroj environmentálního managementu. Tento nástroj slouží ke komplexní a systematické kvantifikaci environmentální zátěže, která je vztažena na životní cyklus výrobku, procesu nebo činnosti [1].

Historicky byl environmentální management zaměřen na zátěže až po jejich vzniku. Mezi tyto zátěže můžeme řadit emise a odpady. Toto řešení se nazývá “*end-of-pipe*”, tedy na výstupu technologie. Počátkem sedmdesátých let minulého století se začalo přemýšlet o náhradě “*end-of-pipe*” jiným přístupem, který by bral v potaz význam odpadu a možné změny ve výrobním cyklu. Změny ve výrobním cyklu mohou pak dále ovlivnit například množství vzniklých emisí a odpadu. Jedná se o přechod z řešení následků k prevenci vzniku zátěže [2].

V devadesátých letech mezinárodní společnosti, které sídlily v zemích s přísnější ekologickou legislativou, iniciovaly rozvoj environmentálních strategií. Objevovaly se systémy environmentálního managementu s cílem kontroly a strukturování úsilí společnosti, které zohledňovalo dopad na životní prostředí. Tyto systémy byly založeny na základě ISO 14000 a EMAS. Paralelně s vývojem strategií probíhalo zlepšování výrobních systémů [2].

Změna klimatu a jiné environmentální otázky volaly po hodnocení dopadů produktů. Základní technikou pro kalkulaci vlivu výrobku na životní prostředí je LCA. LCA můžeme definovat jako analýzu a kvantifikaci dopadů produktů a služeb na životní prostředí v rámci celého životního cyklu [3].

LCA využívá přírodních věd pro určení a mapování příčinných vazeb mezi vstupy a výstupy, a také jejich dopady na životní prostředí. Díky tomu je zajištěna vědecká robustnost, snadná identifikace nejvýznamnějších dopadů produktu, srovnání alternativ a tím napomáhá k ekodesignu [4].

Evropská unie vytvořila řadu politik, které řeší otázku životního prostředí během životního cyklu výrobku. Produktově orientované předpisy rozdělujeme na kategorie: se zvýšením energetické účinnosti, se zákazem nebezpečných látek, se zajištěním vhodné likvidace v konečné fázi životního cyklu. Tato pravidla jsou doplněna další řadou nástrojů, příkladem lze zmínit systémy označování Energy Star a ekoznačení nebo zadávání veřejných zakázek [5].

1.1 Použití

Využití LCA spočívá v kvantifikaci environmentálních vlastností, pro určitý produkt nebo službu, v časovém intervalu od vzniku až po ukončení životnosti (cradle-to-grave). Je konstruován model životního cyklu výrobku spolu se zaznamenáním vstupů a výstupů každého procesu v životním cyklu, které jsou kvantifikovány a vypočteny z použitých zdrojů nebo emisí v životním cyklu produktu. Tyto vstupy a výstupy, které jsou představovány emisemi nebo užitím přírodního zdroje, jsou interpretovány jako potenciální dopad na životní prostředí. Tento model lze použít pro rozhodování o produkci, či vývoji produktu nebo pro komunikaci s veřejností (příkladem je environmentální prohlášení o produktu EPD) [2].

LCA nabývá také sociálního rozměru. Účelem sociální LCA je předpověď sociálních dopadů na společnost vlivem změny ve fungování výrobního řetězce po celou dobu životního cyklu. Jedním z dopadů je změna lidského zdraví jako je zkrácení života nebo zhoršení jeho kvality [6].

LCA je možné použít k rozhodování o užití produktu. Tato rozhodnutí mohou nabývat různých aplikačních úrovní, jako jsou veřejná politika až konkrétní vylepšení produktů v soukromých společnostech [7].

Posuzování životního cyklu lze použít pro analýzu environmentálních stop výrobků, příkladem mohou být PET lahve, ve všech fázích životního cyklu, tedy od těžby zdrojů, přes produkci materiálů, komponentů a výrobku samotného až k užívání produktu a jeho odstranění, které lze realizovat opětovným využitím, materiálovým využitím, trvalým uložením na skládkách s nebo bez energetického využití [8].

1.1.1 LCC

LCC neboli analýza nákladů životního cyklu, je metodou managementu řízení nákladů, která slouží k vyhodnocování ekonomických důsledků (náklady, výnosy, peněžní toky) a měnových kompromisů, které jsou spjaté s životním cyklem produktu. LCC může být využita k hodnocení ziskovosti nebo pro srovnání strategií výrobních technologií [9].

LCC i LCA se mohou zabývat stejnými výrobky, ale často jsou užívány nezávisle na sobě. Důvodem jsou odlišné základní záměry a odlišný způsob výpočtu ekonomických a ekologických

údajů. Pro využívání obou mluví fakt, že obě studie hledají příznivé alternativy nebo analyzují různé scénáře [9].

1.1.2 Ekodesign

Ekodesign je proces návrhu výrobků nebo služeb jehož hlavním úkolem je omezení dopadů na životní prostředí [10]. Legislativa zaměřující se na ekodesign výrobků, které jsou spojené se spotřebou energie, mluví o ekodesignu výrobků jako o procesu, kdy jsou začleňovány environmentální aspekty do návrhu výrobku. Cílem procesu je zlepšit vliv výrobku na životní prostředí během jeho celého životního cyklu [11].

Snížení potencionálních dopadů na životní prostředí probíhá u návrhu každého produktu. Životní proces se při návrhu výrobku plánuje, aby bylo eliminováno používání toxických látek a snížila se spotřeba energie, která má nepříznivé účinky na životní prostředí [12].

Ekodesign cílí na tvorbu udržitelných řešení, která uspokojí lidské potřeby. Toho je docíleno integrací pestré škály hledisek návrhu a environmentálních hledisek. Snižujeme ekologickou zátěž produktů výběrem materiálů (užívání netoxických látek, recyklovaných materiálů), vhodným výrobním procesem (s nižším vznikem emisí či odpadů), stanovení množství energie pro používání výrobku během životního cyklu a potřebné množství energie pro konečné zpracování (oprava a recyklace) [12].

Cyklické hospodářství, tedy cíl politiky EU v oblasti dovozu, značí vzrůstající zájem o zdokonalování životnosti produktů, opětovné využití součástí výrobků a materiálové využití. Návrh výrobku, jako trvanlivý, je považován za důležitou součást strategie cyklického hospodářství. Dále je kladen důraz na snadnou údržbu, opravy, modernizaci, repasování a recyklaci produktů. Na výrobce je tedy vyvíjen nátlak, jehož výsledkem je ekodesign [5].

Rámcová směrnice o ekodesignu 2009/125/ES platná od roku 2005 a revidována roku 2009, poskytuje rámec, který umožňuje stanovit povinné požadavky na ekodesign (prováděcí opatření). Tyto právní požadavky mají specifikovaný, nebo druhový charakter. Specifické požadavky jsou kladené na numerické cíle. Příkladem specifického požadavku je maximální využití energie během provozu. Bez stanovených kvantitativních cílů jsou požadavky obecné. Opatření, kdy je výrobce povinen informovat spotřebitele a zpracovatele o problémech možných při likvidaci, separaci

a recyklaci nebo uvedení nebezpečné látky ve výrobku (např. rtuť), jsou příkladem obecných požadavků [5].

1.1.3 Management životního cyklu produktu (PLM)

Management životního cyklu produktu představuje proces spojený se strategickým plánováním, designem a vývojem, monitorováním a postupným ukončením životního cyklu výrobku. Jeho účelem je zvýšení hodnoty a zisku zákazníků díky kombinování různých procesů, informací a nástrojů. Jedná se tedy o podobný systém, který je znám z ekodesignu, ale s odlišným účelem, nastává jejich kombinování a nastavování souladu [4].

Složitost výrobku a celosvětový rozsah aktivit pro návrh produktu jsou značnou výzvou pro společnosti, které se zabývají nejpokročilejší technologií. Tyto společnosti přistupují k investicím do koncepcí, jako je PLM pro zjednodušení řízení návrhu nových produktů. Management životního cyklu přináší inženýrský pohled na životní cyklus a je ovlivněn organizací lidí, použitými procesy a daty. Příkladem chybějícího konceptu PLM jsou chybějící cíle společností při uvádění nového produktu na trh. Absence cílů zapříčiní opoždění uvedení výrobku na trh, jako se stalo například v případě Airbusu A380. Podobným případem je složitost vozů Toyota a následné stahování z trhu [13].

1.2 Spotřebitel a LCA

Spotřebitel vstupuje do cyklu produktu hlavně na základě svých požadavků na výrobek. Jako primární požadavky lze považovat cenu a trvanlivost. Těmito požadavky spotřebitel vyvíjí tlak na výrobce, který musí výrobek cenově přizpůsobit poptávce, nebo zajistit větší trvanlivost. Oba požadavky na sobě mohou být značně závislé. Například při snížení ceny se dostáváme také k nižším hodnotám trvanlivosti a opačně. Tyto zákonitosti značnou měrou ovlivňují podobu životního cyklu výrobku.

Kvalitní produkt může být pro prodejce problematický. Důvodem je předpověď poklesu cen ze strany spotřebitele. Tímto je narušena schopnost firmy pro stanovení vysoké ziskové ceny produktu. Zmíněný jev motivuje firmy k omezování životnosti svého výrobku neboli plánované zastarávání. Díky plánovanému zastarávání si firma vytvoří budoucí prodejní příležitosti. Významné firmy proto vyvíjejí obchodní strategie, které zahrnují plánované zastarávání. Důkazem

takového jednání je obvinění významných společností v pozdních třicátých letech z omezování životnosti vláknových žárovek [14].

Plánované zastarávání je uznávanou obchodní strategií, ale čelí značné kritice, zejména díky výrobkům s nízkou trvanlivostí a jejich vlivům na životní prostředí. Proto byla zavedena legislativa jako EPR, která se týká rozšířené odpovědnosti výrobců. Evropským ekvivalentem je například WEEE, tedy European Waste Electrical and Electronic Equipment Directive týkající se elektrických a elektronických zařízení a vychází z ní také povinnost výrobců zpětně odebrat elektroniku [14].

1.3 Ekoznačka

Ekoznačka je definována nařízením o ekoznačce (ES) č. 66/2010. Vytváří uznávanou celoevropskou a dobrovolnou platformu. Stanovuje kritéria udržitelnosti, která vycházejí z nejaktuálnějších vědeckých a technologických hledisek, jsou tržně orientovaná, berou v úvahu nejzásadnější dopady a jsou srozumitelná pro spotřebitele. Cílem je poskytnutí přesných, pravdivých a ověřitelných informací o dopadech produktu nebo služby na životní prostředí spotřebiteli, který bude touto ekoznačkou ovlivněn při rozhodování o nákupu [15].

V České republice zprostředkovává udílení ekoznačky resortní organizace MŽP CENIA. Loga ekoznaček udělovaná v České republice jsou následující:



Obrázek 1: Loga ekoznaček

To, že firma věnuje pozornost ekoznačení, přináší vyšší spokojenost a atraktivitu pro zákazníky. Díky tomu má firma možnost zvýšit svoji konkurenceschopnost na trhu [15].

2 Produktové systémy a jejich modely

Produktový systém je definován jako souhrn jednotkových procesů, tedy nejmenšího prvku systému který má kvantifikované vstupní a výstupní údaje, s elementárními a produktovými toky [17].

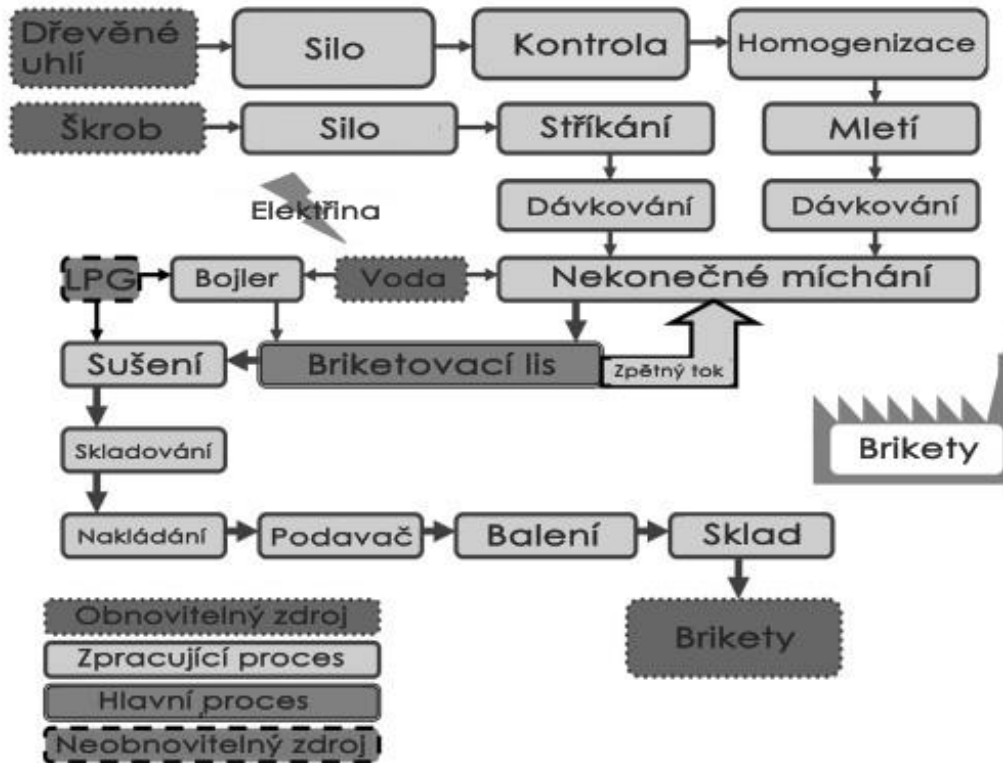
Vazba mezi procesy je zprostředkována materiálovými a energetickými toky. Tok je tedy vazbou mezi procesy. Klíčové je dodržení návaznosti a přepočítání vstupů a výstupů na stejné jednotky. Pro materiálový tok mohou být příkladem kilogramy a pro energetický tok lze užívat jednotky MJ nebo kWh [18].

Podprocesy jsou subsystemy procesů. Jednotkový proces je procesem, který není v modelu produktového systému dále dělen. Materiálovým tokem, který vstupuje a vystupuje do procesu, ale v konečném produktu se nevyskytuje, je pomocný tok. Zapojení pomocných toků je jedna z klíčových myšlenek LCA [18].

Sledováním pomocných toků jsou získány další informace o jejich environmentálních dopadech. Pomocné toky je potřeba vyrobit, transportovat, použít a zlikvidovat. Tyto akce ukrývají celou řadu environmentálních dopadů, které byly na první pohled skryté [18].

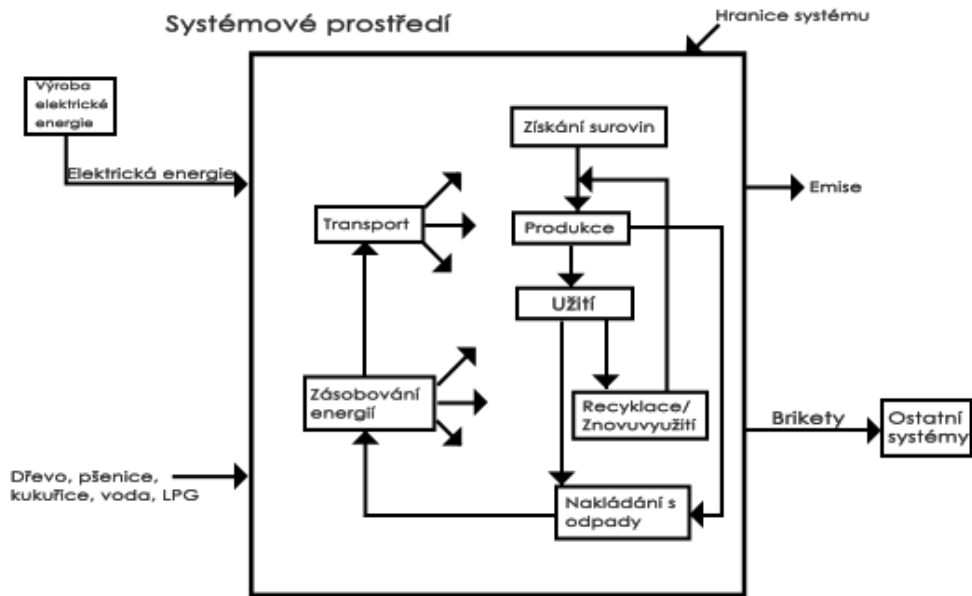
Příkladem produktového systému je systém pro výrobu briket z dřevěného uhlí. Briketu vyrobíme stlačením dřevěného uhlí, které bylo vyrobeno z pilin nebo jiných odpadů dřevozpracujícího průmyslu, s pojivem a dalšími přísadami. Pro potřeby pojiva je využíván kukuřičný či pšeničný škrob. Některé brikety mohou obsahovat hnědé uhlí kvalitativně mezi sub bituminózního (středně kvalitní, kvalita odpovídá oblasti mezi rašelinou a antracitem) až k antracitu (zdroj tepla), minerální uhlík (také zdroj tepla), borax, dusičnan sodný (pomoc při vzplanutí), vápenec a další přísady, jako parafin nebo ropná rozpouštědla, která napomáhají vznícení [19].

Samotný proces výroby brikety vyžaduje smísení pojiva s uhelnými produkty. Následuje lisování směsi do koláče nebo briket. Dalším krokem je sušárna, kde se briketa zbaví přebytečné vlhkosti a vytvrdí se. Účelem vytvrzení je zajištění univerzálnosti spalovacích zařízení, která nyní mohou být obdobná jako zařízení pro spalování dřeva [19].



Obrázek 2 Blokové schéma výroby briket z dřevěného uhlí [19]

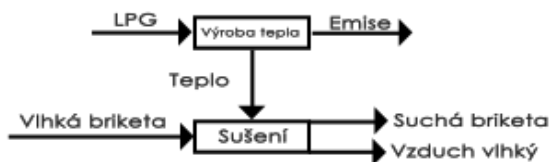
Blokové schéma nám ukázalo výrobu briket z dřevěného uhlí, avšak nejedná se o finální produktový systém, ale pouze o část, konkrétně část produkce. Lze si všimnout absence elementárního toku, jakým by bylo dřevo, pšenice či kukuřice a voda. Není tudíž zahrnuto získání surovin. Další absence v produktovém systému je užití produktu a následné nakládání s odpadem, chybí také výroba energie a zásobování energií. Produktový systém doplníme v následujícím obrázku.



Obrázek 3 Produktový systém briket z dřevěného uhlí [20]

Produktové systémy jsou tvořeny sadami jednotkových procesů. Jednotkové procesy jsou propojeny toky meziproduktů, či toky odpadů pro úpravu, s ostatními produktovými systémy prostřednictvím produktových toků a se životním prostředím pomocí elementárních toků [14].

Za jednotkový proces při výrobě briket lze považovat například sušení briket, kde vstupním tokem je teplo, jehož vstupním tokem je zemní plyn. Dále je vstupem vlhká vylišovaná briketa. Výstup tvoří vlhký vzduch, který je termicky znečištěný, a suché brikety [20].



Obrázek 4 Jednotkové procesy v produktovém systému [20]

Elementárním tokem je tok LPG, který je v jednotkovém procesu výroby tepla přetvořen na další elementární tok, kterým jsou emise, ať do ovzduší, vody, půdy nebo zařízení. Tokem meziproduktu je teplo. Dalším jednotkovým procesem je sušení, do kterého vstupuje tok meziproduktu vlhké brikety. Výstupem je elementární tok vlhkého vzduchu a tok suché brikety. Následují další jednotkové procesy, jejichž návaznost je zjevná z obrázku č. 2 [20].

3 Metodika LCA

3.1 ČSN EN ISO 14040

Jedná se o evropskou normu, která byla přijata Českou republikou v roce 2007. Norma definuje LCA a stanovuje její čtyři fáze:

- fáze stanovení cíle a rozsahu
- fáze inventarizační analýzy (LCI)
- fáze posuzování dopadů (LCIA)
- fáze interpretace [17]

Fáze stanovení cíle a rozsahu směřuje studii směrem k požadovanému cíli. Cíl studie definuje hloubku a šíři studie LCA. Zde jsou vytyčeny hranice systému a úroveň detailů studie [17].

LCI = inventarizační analýza životního cyklu – tato fáze je shromažďováním, tedy inventarizací, potřebných údajů o systému, který chceme posuzovat. Nejzásadnějšími údaji jsou vstupy a výstupy systému [17].

Fáze, která posuzuje dopad životního cyklu, se zkracuje jako LCIA. LCIA také poskytuje dodatečné informace, které se využívají k hodnocení systémů, který jsme sestavili ve fázi LCI. Díky této provázanosti je možné lépe pochopit význam těchto dopadů na prostředí [17].

Interpretace je fáze, kde jsou diskutovány výsledky LCI/LCIA. Diskutování tvoří základ pro závěry, doporučení a rozhodování, které vede celou studii k naplnění jejich cílů [17].

Interpretace je také závěrečnou fází. Jedná se o shrnutí a diskutování výsledků předchozích částí. V této fázi získáme podklady pro závěry, doporučení a rozhodování v souvislosti s definovaným cílem studie [17].

Norma ČSN EN ISO 14040 samozřejmě tyto fáze dále rozvíjí a specifikuje. Pojednává a vztažených termínech a definicích. Odkazuje také na další normu, která se týká LCA, a to ČSN EN ISO 14044 [17].

3.2 Definice cílů a rozsahu LCA

Cíl a rozsah studie je nutné jasně definovat s ohledem na zamýšlené užití. Při definování cíle je potřeba určit podstatné body, jako je plánované použití, důvody provádění studie, cílová skupina lidí, kteří budou seznámeni s výsledky [20].

Pro rozsah studie mají být pospány a uvažovány například produktové systémy, funkce a funkční jednotky, hranice systému, metodika LCIA, zdroje a typy údajů, požadavky na kvalitu údajů, úvahy kritického přezkoumání [20].

3.2.1 Funkce a funkční jednotka

Norma hovoří o jasné specifikaci funkce, tedy charakteristiky výkonu systému. Funkční jednotka poskytuje normalizační základ pro vstupní a výstupní údaje. Požadavkem na funkční jednotku je jasná definice a měřitelnost [20].

Následný krok po stanovení funkční jednotky je definice referenčního toku. Referenčním tokem jsou veškeré výstupy z procesů produktového systému, které jsou nezbytné pro naplnění funkce, která je vyjádřena funkční jednotkou [20].

Norma ale slouží pouze jako rámec, nikoliv výslovné instrukce pro LCA, což je důvodem poskytování obecných pokynů pouze s ohledem na výběr funkčních jednotek. Problémem je přirozené vymezení LCA v kontextu značně specifické geografie, technologie a časových období. Všechny zvolené funkční jednotky musí reflektovat tento kontext, tudíž obecná prohlášení z norem nemusí vždy poskytnout dostatečné pokyny [21].

Příklad funkční jednotky nalezneme v technologii betonu. Mnoho provedených studií LCA bylo zaměřeno na betonové materiály, kde byla analýza založena na funkční jednotce. Některé funkční jednotky jsou například:

- 1 kg cementu
- betonový most (40 MPa, 100 let životnost + recyklace, včetně koroze oceli vlivem CO₂)
- 1 m³ přírodního kameniva a recyklovaného betonu
- 1 m³ hotového betonu, 100 betonových jednotek, 1 m³ prefabrikovaného betonu
- 1 m² stavební plochy, ocelové a betonové kancelářské budovy [21]

Dalším příkladem funkční jednotky je z oblasti cementu a betonu je objem betonu, hmotnost cementu, objem kameniva, pevnost v tahu betonu, životnost a obsah oxidu uhličitého [21].

3.2.2 Hranice systému

Hranice systému je určující prvek pro jednotkové procesy, které budou zahrnuty do studie a také pro jejich úroveň detailů. Výběr hranice vyžaduje soulad s cílem studie a kritéria využitá pro její stanovení musí být vysvětlena a identifikována. Je nutné udat počátek jednotkového procesu ve smyslu získávání surovin nebo meziproductů, dále charakter přeměn a činností tohoto jednotkového procesu a koncovku jednotkového procesu, tedy místo určení produktů nebo meziproductů [20].

Je možné některé fáze životního cyklu, procesů či vstupů nebo výstupů vynechat, ale pouze pokud nedojde k výrazné změně výsledků studie. Každé takové vynechání musí být odůvodněno a důsledky vynechání musí být vysvětleny [20].

3.2.3 Zdroje údajů a jejich kvalita

Zdroje údajů musí být v souladu s cílem a rozsahem LCA studie. Jako jejich zdroje připadají v úvahu například výrobní místa, na kterých probíhá jednotkový proces. Údaje mohou být měřené, vypočtené nebo odhadované [20].

Kvalita údajů se zaměřuje na související časový rozsah (např. stáří údajů), geografický rozsah (místo sběru dat z jednotkových procesů), technologický rozsah (v rámci určité technologie nebo technologií), přesnost, úplnost (např. podíl odhadnutých a měřených údajů), reprezentativnost (kvalitativní posouzení údajů odrážející skutečný zájem obyvatel), konsistenci (užití jednotné metodologie), reprodukovatelnost (schopnost opakovat výsledky nezávislým zpracovatelem), zdroje údajů a neurčitost informací. Zároveň musí kvalita údajů dostačovat k naplnění cíle a rozsahu studie [20].

V případě chybějícího údaje jednotkového procesu musí být postupováno k nenulové hodnotě údaje nebo nulové hodnotě údaje, obojí je nutné vysvětlit. Poslední možností je výpočet hodnot z jednotkového procesu, který používá nestejnou, ale obdobnou technologii [20].

3.2.4 Úvahy kritického přezkoumání

Kritické přezkoumání kontroluje soulad metod použitých pro vypracování LCA, také jejich vědeckou a technickou platnost. Dále je kontrolována vhodnost a logické použití údajů ve vztahu k cíli studie, celistvost a transparentnost zprávy o studii. Posledním bodem je přezkum, zda interpretace dostatečně odráží omezení a cíl studie [20].

Je nutné uvážit, zda je takové přezkoumání opravdu nutné, určit typ a osobu, včetně její odborné úrovně, která kritické přezkoumání provede [20].

3.3 Inventarizace životního cyklu

Inventarizační fáze je tvořena několika postupnými kroky. Nejprve jde o shromažďování údajů, případně výpočet údajů (validace údajů, vztažení údajů k jednotkovému procesu a funkční jednotce) a zpřesnění hranic systému. V případě značného vlivu údajů na výsledek studie je nutné uvádět podrobnosti související se získáním těchto údajů, jako je doba shromáždění a kvalita dat [20].

3.3.1 Shromažďování údajů

Kvalitativní a kvantitativní údaje jsou shromážděny pro každý jednotkový proces uvnitř systému, který je ohraničen hranicí systému. Tyto údaje vycházejí z měření, výpočtu nebo odhadu, jsou použity pro kvantifikaci vstupů a výstupů jednotkového procesu [20]

Získané údaje lze rozdělit do několika menších skupin:

- vstupy energie, surovin, pomocných materiálů nebo jiné fyzikální vstupy
- produkty, koprodukty, odpady
- emise do vzduchu, vody a půdy
- ostatní [20]

3.3.2 Výpočet údajů

Výpočetní postupy je nutné doložit ve zprávě a je nutné je jasně stanovit a vysvětlit. Je žádoucí využívat stejný výpočetní postup v průběhu celé studie [20].

V procesu výpočtu je důležitá validace. Během validace kontrolujeme platnost získaných údajů. Jedná se o kontinuální proces, který je zahájen již při samotném sběru údajů. Slouží k potvrzení údajů a jako důkaz o splnění požadované kvality s ohledem na jejich zamýšlené použití [20].

Do procesu validace může spadat vytváření materiálových a energetických bilancí nebo srovnávací analýzy únikových faktorů. Taková analýza je možná díky zachování hmoty a energie jednotkových procesů [20].

S výpočtem údajů souvisí i vztahení údajů k jednotkovému procesu a funkční jednotce. Jedná se o přepočtení kvantitativních vstupních a výstupních údajů jednotkového procesu pomocí vhodně určeného toku. Všechny toky mezi jednotkovými procesy jsou vztaheny k referenčnímu toku. Docílí se převedení všech vstupů a výstupů systému na funkční jednotku. Tomuto postupu se říká agregace, neboli seskupování vstupů a výstupů produktového systému [20].

Výpočet údajů může také sloužit ke zpřesnění hranic systému. Tento krok vychází z analýzy citlivosti, která může odhalit malý význam některých stádií životního cyklu nebo jednotkového procesu, malý význam zařazených vstupů a výstupů pro výsledky studie, může objevit nové jednotkové procesy či vstupy a výstupy, které jsou pro výsledky studie významné. Počáteční hranice systému jsou poté revidovány a celý zpřesňující proces je zdokumentován [20].

3.3.3 Alokace

Při alokaci se snažíme rozdělit vstupy a výstupy do různých produktů postupem, který je zdokumentován a vysvětlen. V prvním kroku, ke kterému je přistoupeno tehdy, když se alokaci nelze vyhnout, jsou vstupy a výstupy rozděleny mezi produkty či funkce tak, aby byly respektovány fyzikální vztahy mezi nimi [20].

V případě nemožnosti využití fyzikálního vztahu postupujeme k druhému kroku, kde alokaci založíme na jiném vztahu. Příkladem takové alokace je alokování vstupních a výstupních údajů mezi vedlejší produkty na základě ekonomické hodnoty [20].

Alokační postup pro opětovné užití a recyklaci je obdobný, ale je nutné počítat se změnou vlastností materiálů. Také je nutné stanovit a zdůvodnit hranice systému mezi původním a následným systémem. Účelem je dodržení, již zmíněných, alokačních zásad [20].

Je využíván například postupu uzavřené alokační smyčky. Tento postup je využit pro uzavřené produktové systémy (recyklace v témže produktovém systému), ale lze jej využít i pro otevřený produktový systém ve kterém nedochází k změně materiálových vlastností recyklovaného materiálu [20].

Užíván je také postup otevřené alokační smyčky. Aplikace tohoto postupu je prováděna na otevřené produktové systémy, kde je materiál recyklován v jiném produktovém systému a kde je patrná změna jeho základních znalostí [20].

3.4 Posuzování dopadů životního cyklu (LCIA)

3.4.1 Povinné prvky

Prvním povinným prvkem LCA je výběr kategorií dopadu. Zde musí být výběr v souladu s environmentálními problémy, které se týkají produktového systému, a s rozsahem a cílem studie. Příkladem kategorie dopadu jsou acidifikace a změna klimatu. O kategoriích dopadu bude podrobněji pojednáno ve čtvrté kapitole [20].

Kategorie dopadu souvisí s indikátory kategorie dopadu, jedná se o druhém povinném prvku, který představuje systémy umožňující charakterizovat schopnost elementárního toku vyvolat nežádoucí účinky [20].

Třetím povinným prvkem je výběr charakterizačních modelů. Charakterizační model reprezentuje environmentální mechanismus kategorie dopadu ve vztahu k LCI [20].

Čtvrtý prvek přiřazuje výsledky LCI ke zvoleným kategoriím dopadu. Dojde k přiřazení těch výsledků z LCI, které jsou spjaty pouze s jednou kategorií dopadu. Jsou také identifikovány ty výsledky LCI, které jsou vztaženy k více kategoriím dopadu [20].

Pátým prvkem je výpočet výsledků indikátorů kategorie dopadu. V tomto prvku jsou převedeny výsledky LCI na společné jednotky a seskupení převedených výsledků uvnitř kategorie dopadu. Výsledkem je číselná hodnota. Veškeré fáze výpočtů a přepočtů by měly být zdokumentovány [20].

Posledním povinným prvkem jsou výsledné údaje pro charakterizaci, kde již máme údaje o výsledcích indikátoru kategorie dopadu, o elementárních tocích, které nebyly přiřazeny

ke kategoriím dopadu (např. díky svému zanedbatelnému významu) a údaje, které nepředstavují elementární toky [20].

3.4.2 Volitelné prvky

V LCIA můžeme narazit i na volitelné prvky, které nejsou pro studii nezbytně nutné, ale při jejich použití dochází ke zkvalitnění studie. Prvním volitelným prvkem je normalizace. Normalizace spočívá ve výpočtu velikosti indikátorů kategorie dopadu, které souvisejí s referenčními informacemi. Provádíme ji s cílem lepšího porozumění výsledkům indikátorů [20].

V normalizaci rozdělujeme výsledek indikátoru dle vybrané referenční hodnoty. Referenční hodnotou jsou například celkové vstupy a výstupy v dané oblasti, celkové vstupy a výstupy v dané oblasti přepočtené na osobu [20].

Suskupování a vážení je další volitelný prvek. Zde přiřazujeme kategorie dopadu do jednotlivých nebo souborných částí. Třídít kategorie dopadu můžeme například dle priority, charakteristiky nebo prostorových měřítek. Vážení je prováděno pro vyjádření významnosti kategorie dopadu z hlediska sociálního a ekonomického [20].

Volitelně můžeme také provádět analýzu kvality údajů. Zde provedeme kontrolu správnosti údajů, identifikujeme nepodstatné výsledky LCI nebo zjistíme potřebu opakování LCIA. Pro analýzu kvality údajů využíváme například analýzu závažnosti, kde identifikujeme údaje s největším vlivem na výsledek indikátoru, dále analýzu neurčitosti, která se zabývá určením nejistoty ovlivňující spolehlivost výsledku LCIA, posledním postupem je analýza citlivosti. Analýza citlivosti zkoumá vliv metody a údajů na výsledky LCIA [20].

3.5 Interpretace životního cyklu

Poslední částí studie LCA je interpretace. Zde jsou identifikovány podstatné problémy, které vyplývají z fází LCI a LCIA. Je také vyhodnocena studie na základě kontroly kompletnosti, citlivosti a konzistence. Dojde k vyvození závěrů, omezení a doporučení. Interpretace inventarizační analýzy je spjata s ověřením správnosti definicí funkcí systému, funkčních jednotek a hranic systémů [20].

3.5.1 Identifikace závažných problémů

V identifikaci závažných problémů je prováděno strukturování výsledků z LCI nebo LCIA takovým způsobem, aby bylo ulehčeno stanovení závažného problému. Dochází k zohlednění výsledků použitých metod a předpokladů. Mezi závažné údaje patří údaje z inventarizační fáze, jako jsou energie, emise a odpad. Patří sem také užití zdroje, změna klimatu nebo závažné příspěvky k výsledkům LCI a LCIA jako jsou jednotkové procesy nebo skupina procesů, kde lze nalézt například dopravu a výrobu energie [20].

Pro identifikaci závažných údajů je nutné mít čtyři typy informací z předcházejících fází LCA. Prvním typem jsou strukturovaná zjištění z fází LCI a LCIA spolu s údaji o jejich kvalitě. Druhý typ představuje informace o metodologických postupech (hranice systému LCI, indikátory kategorie dopadu a modely z LCIA, alokační pravidla). Třetím typem jsou volby hodnot použité ve studii, které vycházejí z cíle a rozsahu. Poslední typ informace reprezentuje zodpovědnost a roli zúčastněných stran [20].

3.5.2 Vyhodnocení

Samotné vyhodnocení je založeno na několika kontrolách. První kontrolou je kontrola kompletnosti. Zde dochází k ověření dostupnosti a kompletnosti informací nutných pro interpretaci. V případě absence závažné informace, nebo její neúplnosti, je zvažována její nezbytnost pro naplnění rozsahu a cíle studie. V případě, že je důležitá informace nezbytná, tak dochází k přezkoumání fáze LCI a LCIA nebo dojde k upravení rozsahu a cíle studie [20].

Další kontrola se týká citlivosti. Ve vyhodnocovací části kontrola citlivosti dochází k určování stupně ovlivnění údajů vlivem nejasných údajů, alokačními metodami či výpočtem výsledků indikátorů kategorie dopadu. Pozornost je dále věnována problémům, které jsou předběžně určeny cílem a rozsahem studie. Pozornost je také věnována výsledkům z jiných etap studie a odborným posudkům a předchozím zkušenostem [20].

Kontroluje se také konzistence. V této části jsou předpoklady zvolené pro studii, údaje a metody zkoumány za účelem kontroly jejich souladu s cílem a rozsahem studie [20].

3.5.3 Závěry, omezení a doporučení

V závěrech studie je vycházeno z ostatních prvků interpretace životního cyklu. Jsou zde identifikovány závažné problémy, vyhodnocena metodologie a výsledky z hlediska komplexnosti, citlivosti a konzistence. Dále jsou utvořeny předběžné závěry, které musí být v souladu s cílem a rozsahem studie, kde je největší důraz kladen na kvalitu údajů, omezení studie, požadavky na využití, předběžně definované požadavky a hodnoty. Při konzistenci předběžných závěrů dochází k jejich převedení na závěry úplné. Doporučení vycházejí z konečných závěrů a týkají se zamýšleného použití studie [20].

3.6 Zprávy z LCA studií a kritické přezkoumání

Zprávy slouží ke sdělení výsledků a závěrů cílovým adresátům. Sdělení musí proběhnout úplně, přesně a nestranně. Čtenář musí mít možnost dostatečně porozumět studii, což je docíleno transparentností výsledků, údajů, metod, předpokladů a omezení [20].

Může nastat situace, kdy je nutné projednat výsledky z LCA s třetí stranou (jiná strana než zadavatel či zpracovatel). Taková zpráva je prostší o důvěrné informace [20].

Pro LCA je důležité kritické přezkoumání. Jedná se o proces zajištění souladu LCA s ČSN EN ISO 14040, vědecké a technické platnosti metod použitých pro vypracování LCA, přiměřené logičnosti ve vztahu k cíli LCA, použitých interpretací, které reflektují identifikovaná omezení a cíl LCA, transparentnost a celistvost zprávy z LCA [20].

Definice rozsahu a typu kritického přezkoumání je provedena již ve fázi stanovení rozsahu [20].

4 Kategorie dopadu

Výběr kategorií dopadu je jedním z povinných prvků LCIA. Jedná se o obsáhlé téma a je mu věnována zvláštní kapitola. Uvedené množství kategorií dopadu nemusí být limitováno pouze níže zmíněnými, ale lze se setkat i s dalšími, jako je například využívání krajiny, úbytek půdy nebo ionizující záření [18].

4.1 Globální oteplování

Globální oteplování je jev, který je způsoben tzv. skleníkovým efektem, kde hlavní roli hrají skleníkové plyny. Emitované fotony infračerveného záření, v našem případě z povrchu Země, mají vlnovou délku od 4 do 100 μm . Této vlnové délce odpovídající úrovně energie jsou v rozsahu vibračně-rotálních spekter (vibrování nebo rotace molekul) některých chemikálií, které jsou nazývány skleníkové plyny. Mezi tyto plyny patří H_2O , CO_2 , fluorované uhlovodíky, CH_4 , N_2O a O_3 . Skleníkové plyny v prvním kroku absorbují dlouhovlnné záření, které přichází z povrchu Země, a přemění jej na vibračně-rotální energii. V dalším kroku dochází k emisi tepelných dlouhovlnných fotonů do všech směrů. Zhruba polovina fotonů se vrátí zpět k Zemi a druhá polovina pokračuje do vyšších vrstev atmosféry. V posledním kroku mohou být vzestupující fotony zachyceny další molekulou skleníkového plynu a celý efekt se opakuje. Konečným výsledkem je zvýšení teploty při zemském povrchu [22].

Toto zvýšení teploty s sebou nese následné negativní důsledky. Jedním z nejvíce diskutovaných dopadů je úbytek ledovců. „*Prostředí s dominujícím ledovcem a taveninovou horninou jsou jedním z nejcitlivějších ke globálnímu oteplování. Během minulého století vykazovali hmotnostní ledovcové bilance ve většině oblastí světa stálé poklesy a zrychlení ústupu ledovce na několika místech*“ [23].

Veličina popisující schopnost plynů podílet se na globálním oteplování je nazývána potenciál globálního oteplování GWP (Global Warming Potential). Jednotkou je $\text{kg ekv. CO}_2/\text{kg}$ [18].

4.2 Úbytek stratosférického ozonu

Tento dopad vede k zvýšení prostupnosti atmosféry pro UV záření. Důsledkem je např. negativní ovlivnění zdraví člověka. Atmosféra brání prostupu UV záření díky stratosférickému ozonu, zachycované vlnové délky jsou 280–320 nm [18].

Množství ozonu ve vertikálním sloupci nad zemským povrchem je nazýváno celkový ozon a měří se v dobsonových jednotkách DU. 1 DU představuje 10-5 μm vrstvy ozonu při tlaku 1013 hPa a 273 K. Jeho množství se mění vlivem změn sluneční činnosti, vulkanické činnosti a změně proudění plynů ve stratosféře. Jedním z významných vlivů je i antropogenní činnost, která produkuje CH_4 , N_2O , CH_3Cl , CH_3Br , CFC, HCFC. Tyto látky se podílejí na chemickém rozkladu ozonu [18].

Chemikálie, jako jsou již zmíněné CFC nebo HCFC, jsou zakázané Montreálským protokolem. Jejich dřívější využívání se negativně podepisovalo na ozonové vrstvě. „*Výsledkem je, že množství stratosférického ozonu se snížilo v několika minulých desetiletích... Předpokládá se, že se stratosférický ozon zotaví z vlivů antropogenních chlor a brom katalyzovaných reakcí v polovině nebo na konci 21. století*“ [24].

Pro snadné porovnání vlivu plynů na rozklad ozonu je využíván potenciál úbytku stratosférického ozonu ODP (Ozone Depletion Potential). Charakterizační jednotkou jsou kg ekv. CFC11(= CFCl_3)/kg [18].

4.3 Vznik fotooxidantů

Tato kategorie dopadu souvisí s nepříznivým působením reaktivních látek v přízemní vrstvě atmosféry. Mezi hlavní fotooxidanty patří ozon. Jeho vznik probíhá za působení slunečního záření, NO_x a těkavých organických látek. Dalšími fotooxidanty jsou $\cdot\text{OH}$, $\cdot\text{HO}_2$, NO_x , CO a peroxyacetylnitrát PAN. Jedním z dalších významných vlivů, vedle slunečního záření, představuje povaha terénu, který omezuje vzdušné proudění, a tudíž budou patrné vyšší koncentrace fotooxidantů [18].

Zvýšení koncentrace reaktivních látek znamená také zvýšení nepříznivých účinků na životní prostředí. Ozon se vyznačuje vysokou reaktivitou a je schopný oxidovat biologické molekuly, narušovat buněčné membrány, poškodit DNA a podpořit vznik novotvarů. Působení ozonu se projevuje drážděním a poškozováním dýchacích orgánů. Chronický účinek může způsobit i oslabení imunitního systému. [18]

Vliv látky, která se podílí na vzniku fotooxidantů, je sledován na základě vzrůstající koncentrace přízemního ozonu vlivem její emise. Jednotkou POCP (Photochemical Ozone Creation Potential) jsou kg ekv. C_2H_4/kg [18].

4.4 Acidifikace

Během acidifikace dochází k okyselení půdního nebo vodního prostředí. Způsobena je hlavně cizorodými kyselinotvornými látkami, které jsou vypouštěné do atmosféry, vody a půdy. Kyselinotvorná látka vypuštěná do ovzduší kontaminuje další složky prostředí a to vlivem suché a vlhké depozice. Výsledkem acidifikace je nepříznivé poškozování biologických tkání rostlin, živočichů, materiálů, a také snížení neutralizační kapacity prostředí, tedy úbytek látek, které jsou schopny neutralizovat vodíkové ionty [18].

Acidifikace je ovlivněna schopnostmi látek působit kyselou nebo tlumivou schopností vody či půdy. Nejvyšší možný příspěvek látky k acidifikaci je nazýváme acidifikační potenciál. Kyselou působící emise jsou například SO_2 , NO_x , H_2S , NH_3 , HCl , H_2SO_4 , CO_2 [18].

Kyselé pH má ve sladké vodě značné následky. Jako příklad lze vzít raka bledonohého, který se nevyskytuje ve vodě s $pH < 6$. Důvodem je snížená schopnost příjmu vápníku, který je nutný pro vývoj jeho krunýře. Krunýř chrání raka před kanibalismem, predátory, či dalšími hrozbami. Nízké pH také negativně ovlivňuje schopnost reprodukce. Navíc může dojít k narušení ekosystému, kde se tento rak vyskytuje. Rak bledonohý totiž konzumuje mrtvá těla rostlin a živočichů, čímž přispívá k rozkladu biomasy [25].

Charakterizačním faktorem acidifikace je acidifikační potenciál AP (Acidification Potential). Charakterizační jednotkou jsou kg ekv. SO_2/kg [18].

4.5 Eutrofizace

Eutrofizace je chápána jako proces obohacování živinami. Největší problém představuje ve vodách, půdách a mořích. Jejím průvodním jevem je vznik vodního květu sinic a řas, ale také nízký obsah kyslíku nebo zhoršená kvalita vody. Eutrofizace je jak přirozený jev, kdy je výsledkem například zanesení jezer, tak i antropogenní jev. [18]

Hlavní prvky, které se podílejí na tomto jevu, jsou fosfor a dusík v biologicky dostupné formě. Jejich původ můžeme najít ve splachu hnojené zemědělské půdy nebo v komunálních či průmyslových odpadních vodách. Mezi opatření, která mají za cíl snížit rozvoj eutrofizace, lze zařadit čištění odpadních vod, zavedení bezfosfátových pracích prostředků a šetrnější hnojení v zemědělství [18].

Charakterizační faktor eutrofizace je nazýván eutrofizační potenciál EP (Eutrophication Potential). EP vyjadřuje množství fosforu či dusíku, které se může z dané látky uvolnit do prostředí. Charakterizační jednotkou jsou kg ekv. N a kg ekv. P. Z praktických důvodů je však využívána charakterizační jednotka kg ekv. NO_3^-/kg nebo kg ekv. $\text{PO}_4^{3-}/\text{kg}$ [18].

4.6 Humánní toxicita

Tato kategorie zkoumá účinky na zdravotní stav člověka. Mechanismus působení látek je značně odlišný pro různé látky, charakterizace je tedy velmi obtížná. Charakterizaci lze provést srovnáním toxicity s referenční látkou nebo počtem let, o které je zkrácen věk dožití, pak mluvíme o charakterizaci dopadů na lidské zdraví [18].

Humánní toxicita vyjadřuje míru toxického působení na člověka. Jako nepříznivé účinky známe například akutní toxicitu, mutagenitu, teratogenitu. Člověk je působení látky vystaven přímou expozicí (inhalace) nebo nepřímou expozicí (požití kontaminované potraviny). Pro porovnání toxicity různých látek je využíván potenciál humánní toxicity HTP (Human Toxicity Potential). Referenční látkou je 1,4-dichlorbenzen. Charakterizační jednotkou je kg ekv. 1,4-dichlorbenzenu/kg [18].

4.7 Ekotoxicita

Ekotoxicita je kategorií dopadu, která je spjata s negativním působením toxických látek na přírodní ekosystém. Hlavními skupinami ekotoxických látek jsou těžké kovy a organické látky. Tyto látky lze najít jak v průmyslových, tak v komunálních odpadech, dále odpadních vodách či vzdušných emisích. Schopnost látek toxicky působit na ekosystém závisí na podmínkách, jako jsou fyzikálně-chemické vlastnosti, doba a způsob expozice, teplota, vlhkost, intenzita světla, přítomnost jiných toxických látek, stavba organismu a jeho zdravotní stav. Takové působení na ekosystém může vést k jeho poškozování, snížení stability nebo snížit druhovou rozmanitost [18].

Kategorie dopadu zahrnuje značné množství látek a v tomto smyslu naprosto převyšuje ostatní dopady. K porovnání ekotoxicity různých látek se využívá potenciál ekotoxicity ETP (Ecotoxicity Potential). Referenční látkou může být opět 1,4-dichlorbenzen [18].

4.8 Úbytek surovin

Úbytek surovin je kategorií dopadu, která se zabývá vlivem na spotřebu zdrojů, jak obnovitelných, tak i neobnovitelných. Obnovitelný zdroj se v rámci existence lidstva rychle obnovuje. Nejpodstatnějším problémem úbytku surovin je jejich omezené množství a dostupnost v budoucnosti. Například nadměrné využití obnovitelných zdrojů může vést ke ztrátě jejich obnovitelnosti nebo dokonce ke zhroucení ekosystému [18].

Nelze popřít význam této kategorie pro lidstvo jako takové. Díky surovinám a zdrojům se lidská společnost rozvíjí, naplňuje své potřeby a získává pohodlí. *„Avšak díky růstu světové populace a nárůstu spotřeby zdrojů na obyvatele spolu se špatným managementem zdrojů jsme vedeni ke krizi udržitelnosti“* [26].

Zásoba, dostupnost, rychlost spotřeby a obnovy jsou základní pojmy problému úbytku surovin. Naprosto nejdůležitější jsou pro obnovitelné zdroje rychlost spotřeby a obnovy. Rychlost spotřeby, která převyší rychlost obnovy může vyústit až ke snížení zásoby nebo dokonce k vyčerpání suroviny. U neobnovitelných zdrojů surovin je rychlost obnovy velmi malá, a proto dosahuje zásoba a dostupnost daleko vyššího významu [18].

Potenciál úbytku abiotických surovin ADP (Abiotic Depletion Potential) je charakterizačním faktorem úbytku surovin. Převádí úbytek suroviny na kg antimonu. Charakterizační jednotkou je tedy kg ekv. Sb [18].

5 LCA výroby portlandského cementu v Číně

Jako konkrétní příklad byla vybrána studie LCA portlandského cementu v Číně. Tato studie *The LCA of portland cement production in China* [27] vyšla v roce 2015 a publikována byla v Mezinárodním magazínu posuzování životního cyklu. LCA vychází z ISO 14040, ISO 14044, ISO 14025 a ILCD (Mezinárodní referenční příručka životního cyklu, tvořena dokumenty v souladu s ISO 14040/44).

Jedná se o studii, která zkoumá ekologickou zátěž výroby cementu. Dochází k porovnání ekologických dopadů při výrobě v Japonsku a v Číně. Účelem je nalezení takových oblastí, v technologii čínského cementu, kde je možné dosáhnout snížení emisí, úspory přírodních zdrojů a energie. Japonsko je vybráno z důvodu lepší technologické úrovně výroby cementu.

Čína je předním producentem cementu ve světě. V roce 2012 zde bylo vyrobeno 2,18 miliard tun cementu. Takové množství představuje přes 60 % světové produkce a do roku 2030 se předpokládá dvojnásobné zvýšení objemu výroby. Takové množství cementu představuje značné dopady na životní prostředí, a proto Čína vyvíjí snahu omezit spotřebu elektrické energie a produkci emisí během celého procesu.

Díky přidávání cementových přísad, jako jsou popílký, vysokopecní struska, odpady, jsou cementy klasifikovány. V Americe je cement klasifikován normou C150, v EU normou EN 197. EN 197 rozlišuje cementy typu CEM I, II, III, IV a V. Japonské, Čínské a EU slínky mají velmi podobné složení slínku, není tedy problém využívat normu EN 197. Samotný portlandský cement (CEM I) je specifický nejvyšším obsahem slínku.

Jak Čína, tak i Japonsko využívají technologii přehřívání nové suspenze. Díky tomu je srovnání LCI a LCIA možné využít k nalezení nedostatků v použitých technologiích.

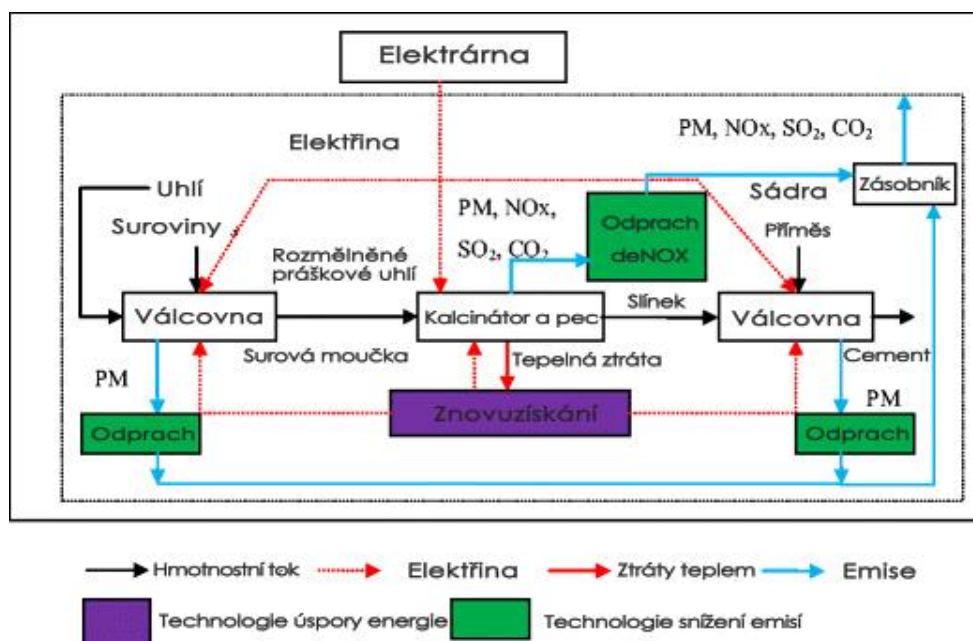
5.1 Definování systému a NSP technologie

NSP (New Suspension Preheater) je technologií, kterou využívá Japonsko i Čína. V Číně je tato technologie využita pro výrobu 80 % cementu (pro rok 2012), ale v Japonsku pro 100 % produkce.

Pro výrobu cementu je využívána surovinová moučka, která je tvořena vápencem a jílem. Moučka je nejprve nadrcena z natěženého vápence a jílu, následně je rozemleta. Poté je moučka připravena do dalšího subprocesu. K výrobě cementu je použito také uhlí, které je upraveno obdobným

způsobem. Namletá moučka je převedena do přehříváče. Následuje kalcinátor, kde je moučka rozložena s 60 % uhlí, dosahujeme teploty 950 °C. Rozložený materiál pokračuje do pece (nejčastěji rotační), kde je spálen, díky 40 % uhlí, na slínek při teplotě 1400 °C. Následuje mletí slínku a cementových přísad. Horký vzduch, který vzniká během procesu kalcinace a vypalování, je recyklován a využit k ohřátí nově příchozí moučky. Právě tímto krokem je technologie NSP.

Systémové prostředí tvoří cementárna a elektrárna, která do cementárny dodává elektrickou energii. Obrázek níže graficky znázorňuje tento systém včetně emisí znečišťujících látek a surovin.



Obrázek 5 Definice systému výroby cementu [22]

5.2 Popis studie

Pro studii byla vybrána funkční jednotka 1 t portlandského cementu a 1 t portlandského cementu s pevností 42,5 MPa. Čínský cement dosahuje pevnosti 42,5 MPa a Japonský 52,5 MPa. 1 t portlandského cementu tedy odpovídá cementu o pevnosti 42,5 MPa a jednotka 1 t portlandského cementu s pevností 42,5 MPa reprezentuje přepočítanou hodnotu pro japonský cement. Pro přepočet jsou děleny japonské údaje číslem (poměr pevnosti) 1,11, které vychází z rovnice:

$$\text{Poměr pevnosti} = \left(\frac{52,5}{42,5}\right)^{\frac{1}{2}} = 1,11$$

Data pro LCI byla získána z 18 (Čína) a z 32 (Japonsko) cementářských závodů. Uvažované uhlí má předpokládanou výhřevnost 29 308 kJ/kg. Emise NO_x jsou závislé na použité deNO_x technologii a jejich podíl je nejméně významnější díky vysokým teplotám. CO₂ vzniká ze spalování uhlí a rozkladu vápence. Produkce emisí SO₂ je značně proměnlivá, díky měnícímu se obsahu síry v surovinách.

Výsledkem LCI je zjištění, že doprava s 5–8 % dopadů nepředstavuje zásadnější význam z hlediska environmentálních dopadů. Díky produkci 90 % elektrické energie z uhelných elektráren v Číně a poklesu výroby elektrické energie z jádra v Japonsku je výroba elektrické energie významným dopadem na životní prostředí. LCI výroby elektrické energie je uvažována jako nepřímá LCI a výroba cementu přímá LCI. Jejich sečtením je získána celková LCI výroby cementu. Výsledky LCI byly přiřazeny ke kategoriím dopadu v LCIA.

Výsledkem studie bylo zjištění, že pro výrobu cementu potřebuje Čína větší množství elektrické energie. Důvodem je méně uhlí a nižší dokonalost využití odpadního tepla, a hlavně nepoužívání této technologie ve všech závodech. Vyšší produkce CO₂ je zapříčiněna použitím většího množství vápence na tunu cementu. Čína dále odlučuje prachové částice o 80 % hůře než Japonsko. V množství emisí NO_x Čína předčí Japonsko o řád, a to i přes použití nízkoemisních hořáků, vícestupňového spalování a selektivní nekatalytické redukce.

Výsledky studie z pohledu LCIA naznačují větší šetrnost výroby cementu v Japonsku. Čína zaostala ve všech indikátorech kategorie dopadu – potenciál globálního oteplování, acidifikace, vzniku fotooxidantů, eutrofizace a humánní toxicity. Důvodem je vyšší dopad výroby elektrické energie na životní prostředí. Velmi značný nárůst dopadů způsobila také horší pevnost Čínského cementu, kde pevnější japonský cement dosahuje vyšší životnosti, díky tomu je během životního cyklu produkováno méně emisí a je nižší spotřeba energie a přírodních zdrojů.

5.3 Kritické přezkoumání studie

Omezený přístup ke všem datům, které byly pro studii použity, kritické přezkoumání značně ztěžují. Studie není zcela transparentní. Avšak studie poskytuje dostatek informací pro přezkoumání.

Hlavním bodem kritického přezkoumání je soulad s normou ISO 14040. V počátku studie je definován cíl studie, kterým je nalezení oblastí výroby cementu, kde je možné dosáhnout úspory energie, surovin a snížit množství emisí. Funkční jednotka poskytuje dostatečný základ pro charakterizaci výkonu systému. Hranice systému jsou vytyčeny cementárnou a elektrárnou, systém je zvolen vhodně, hranice jsou vysvětleny. Vstupy a výstupy jsou vhodně alokovány do jednotlivých komponent, které jsou nutné pro výrobu funkční jednotky a způsobující následné emise. Požadavek na zdroje a kvalitu údajů je splněn, protože data byla měřena i vypočítána. Ale jako zdroj údajů v Číně posloužilo málo zdrojů vůči Japonsku, tedy 30 linek v 18 výrobních závodech v Číně a 32 výrobních závodů v Japonsku. Není tedy vůbec jasné, jestli mají japonské závody jednu linku nebo linek několik.

Konzistenci údajů nelze posoudit díky japonským datům, která byla počítána nikoliv autory, ale Japonskou cementovou asociací a Japonskou asociací pro environmentální management. Ve studii jsou provedeny všechny povinné prvky LCIA s výběrem pěti kategorií dopadu – potenciál globálního oteplování; potenciál acidifikace; potenciál vzniku fotooxidantů; potenciál eutrofizace a potenciál humánní toxicity. Ve studii jsou ve fázi interpretace identifikovány závažné problémy vyplývající z LCI a LCIA. Data z LCI a LCIA jsou ve vztahu k formulovaným závěrům. Není zcela jasné, zda byla provedena kontrola kompletnosti, citlivosti a konzistence. Jsou vytvořeny závěry, ale chybí jasné doporučení. Studie obsahuje všechny 4 povinné fáze.

Pro porovnávání produktové systémy byla použita stejná alokační pravidla. Funkční jednotka byla vhodně přepočítána za účelem zajištění rovnocennosti. Pro LCIA bylo použito stejných indikátorů kategorie dopadu.

5.4 LCIA studie

Tabulka 1 Výsledky indikátorů kategorie dopadu Čínského a Japonského cementářského průmyslu [22]

		GWP	AP	POCP	EP	HTP
		kg CO ₂ eq	kg SO ₂ eq	kg C ₂ H ₂ eq	kg PO ₄ ³⁻ eq	kg C ₆ H ₄ Cl ₂ eq
Výroba cementu						
/portlandského cementu	Čína	750	1,31	0,0493	0,32	1,9823
	Japonsko	766	1,1363	0,0428	0,2764	1,6962
	Relativní změna	-2,09%	15,29%	15,19%	15,77%	16,87%
/portlandského cementu (42,5 MPa)	Čína	750	1,31	0,0493	0,32	1,9823
	Japonsko	690,09	1,0238	0,0386	0,249	1,5281
	Relativní změna	8,68%	27,97%	27,86%	28,51%	29,72%
Výroba elektřiny						
/portlandského cementu	Čína	48,732	0,1573	0,0065	0,0304	0,0117
	Japonsko	13,161	0,008	0,0003	0,0011	0,0005
	Relativní změna	270,28%	1866,25%	2066,67%	2663,64%	2240,00%
/portlandského cementu (42,5 MPa)	Čína	48,732	0,1573	0,0065	0,0304	0,0117
	Japonsko	13,161	0,008	0,0003	0,0011	0,0005
	Relativní změna	270,28%	1866,25%	2066,67%	2663,64%	2240,00%
Celkem						
/portlandského cementu	Čína	798,732	1,467	0,056	0,350	1,994
	Japonsko	779,161	1,144	0,043	0,278	1,697
	Relativní změna	2,51%	28,23%	29,47%	26,27%	17,52%
/portlandského cementu (42,5 MPa)	Čína	798,732	1,467	0,056	0,350	1,994
	Japonsko	703,251	1,032	0,039	0,250	1,529
	Relativní změna	13,58%	42,21%	43,44%	40,10%	30,45%

GWP = potenciál globálního oteplování; AP = potenciál acidifikace; POCP = potenciál vzniku fotooxidantů; EP = potenciál eutrofizace; HTP = potenciál humánní toxicity

6 Závěr

Bakalářská práce nesoucí název *Posuzování životního cyklu produktu* se zabývá problematikou LCA obecně a problematikou, která obnáší vypracování LCA a hodnocení příkladové studie.

V pěti částech práce je shrnuto to nejdůležitější z oblasti posuzování životního cyklu produktu. Byl definován pojem LCA a popsáno její možné použití. Dále se práce zabývá produktovými systémy a modelovým systémem, který uvedené poznatky prezentuje. Třetí kapitola je zaměřena na metodiku tvorby a náležitostí LCA studie s ohledem na platnou normu. V další části jsou představeny vybrané kategorie dopadu a jejich jednotky. Na konkrétní příklad studie LCA a její kritické přezkoumání je zaměřena poslední kapitola. Zde je studie představena a je provedeno autorské kritické přezkoumání na základě získaných poznatků z kapitoly zabývající se metodikou.

Informace pro celou práci jsou čerpány z odpovídajících norem, skript a důvěryhodných internetových zdrojů. Podrobnější informace o zdrojích je možné dohledat na samotném závěru práce.

V části zabývající se posuzováním životního cyklu výroby portlandského cementu je představena studie. Informace zde pocházejí z článku, který autoři publikovali v roce 2015. Práce se zaměřovala na představení výroby cementu, na technologii předehřívání nové suspenze, na produktový systém a na samotnou LCA.

Cílem práce byla aplikace získaných poznatků na tuto studii. Pro studii, věnující se posuzování životního cyklu portlandského cementu, je provedeno kritické přezkoumání. V průběhu kritického přezkoumání je zkoumán soulad s technickou normou, dodržení logického postupu, přesnost údajů a soulad výsledků studie s jejím cílem a rozsahem. Lze konstatovat, že vybraná studie obsahuje všechny povinné části. Samotné údaje pocházejí z různých počtů závodů a linek. Není zcela objasněno, jakému množství linek odpovídá 32 japonských závodů. Jedná se ale o jedinou chybu a studii s největší pravděpodobností neubírá na správnosti, protože data byla autory pravděpodobně vhodně převedena do rovnocenných hodnot, a pouze nebyla vysvětlena.

Téma LCA je velice obsáhlé a je zřejmé to, že pro lepší pochopení výkonu kritického přezkoumání je nutné provést přezkoumání mnoha transparentních studií.

7 Seznam zdrojů

- [1] PIERAGOSTINI, Carla, Miguel C. MUSSATI a Pío AGUIRRE. On process optimization considering LCA methodology. *Journal of Environmental Management* [online]. 2012, **96**(1), 43-54 [cit. 2018-02-05]. DOI: 10.1016/j.jenvman.2011.10.014. ISSN 03014797. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479711003951>
- [2] LÖFGREN, Birger, Anne-Marie TILLMAN a Björn RINDE. Manufacturing actor's LCA. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2011, **19**(17-18), 2025-2033 [cit. 2017-09-15]. DOI: 10.1016/j.jclepro.2011.07.008. ISSN 09596526. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652611002496>
- [3] FU, Feifei, Jun SUN a Christine PASQUIRE. Carbon Emission Assessment for Steel Structure Based on Lean Construction Process. *Journal of Intelligent* [online]. 2015, **79**(3-4), 401-416 [cit. 2017-09-20]. DOI: 10.1007/s10846-014-0106-x. ISSN 0921-0296. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10846-014-0106-x>
- [4] BONOU, Alexandra, Kristen SKELTON a Stig I. OLSEN. Ecodesign framework for developing wind turbines. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2016, **126**, 643-653 [cit. 2017-09-07]. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.02.093. ISSN 09596526. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652616002821>
- [5] DALHAMMAR, Carl. Industry attitudes towards ecodesign standards for improved resource efficiency. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2016, **123**, 155-166 [cit. 2017-09-12]. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.12.035. ISSN 09596526. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652615018594>
- [6] FESCHET, Pauline, Catherine MACOMBE, Michel GARRABÉ, Denis LOEILLET, Adolfo Rolo SAEZ a François BENHMAD. Social impact assessment in LCA using the Preston pathway. *The International Journal of Life Cycle Assessment* [online]. 2013, **18**(2), 490-503 [cit. 2017-09-27]. DOI: 10.1007/s11367-012-0490-z. ISSN 0948-3349. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11367-012-0490-z>
- [7] SENGAKIESSÉ, Tristan, Anne VENTURA, Hayo VAN DER WERF, Bogdan CAZACLIU a Rachida IDIR. Introducing economic actors and their possibilities for action in LCA using

sensitivity analysis: Application to hemp-based insulation products for building applications. *Journal of cleaner production* [online]. 2017, 20/01/2017, **142**(142), 3905-3916 [cit. 2018-02-13]. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.10.069. ISSN 0959-6526. Dostupné z: serialssolutions.com

[8] KANG, DongHo, Rafael AURAS a Jay SINGH. Life cycle assessment of non-alcoholic single-serve polyethylene terephthalate beverage bottles in the state of California. *Resources, Conservation and Recycling* [online]. 2017, **116**, 45-52 [cit. 2017-09-28]. DOI: 10.1016/j.resconrec.2016.09.011. ISSN 09213449. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344916302440>

[9] BIERER, Annett, Uwe GÖTZE, Lilly MEYNERTS a Ronny SYGULLA. Integrating life cycle costing and life cycle assessment using extended material flow cost accounting. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2015, **108**, 1289-1301 [cit. 2017-09-07]. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.08.036. ISSN 09596526. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652614008592>

[10] *Proceedings of 2004 International IEEE Conference on the Asian Green Electronics: (AGEC): January 5-6, 2004, City University of Hong Kong, Hong Kong, China [and] January 7-9, 2004, Mission Hills Resort, Shenzhen, China*. Piscataway, N.J.: IEEE, c2004. ISBN 978-0-7803-8203-9.

[11] *SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2009/125/ES: o stanovení rámce pro určení požadavků na ekodesign výrobků spojených se spotřebou energie*. In.: 2009, 125/ES. Dostupné také z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:285:0010:0035:CS:PDF>

[12] KIURSKI, Jelena S., Branislav B. MARIĆ, Ivana B. OROS a Vesna S. KECIĆ. The ecodesign practice in Serbian printing industry. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2017, **149**, 1200-1209 [cit. 2017-10-01]. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.02.193. ISSN 09596526. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652617304195>

[13] GMELIN, Harald a Stefan SEURING. Achieving sustainable new product development by integrating product life-cycle management capabilities. *International Journal of Production*

Economics [online]. 2014, **154**, 166-177 [cit. 2017-10-22]. DOI: 10.1016/j.ijpe.2014.04.023. ISSN 09255273. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925527314001406>

[14] PANGBURN, Michael S. a Euthemia STAVRULAKI. Take back costs and product durability. *European Journal of Operational Research* [online]. 2014, **238**(1), 175-184 [cit. 2017-10-22]. DOI: 10.1016/j.ejor.2014.03.008. ISSN 03772217. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377221714002227>

[15] IRALDO, Fabio a Michele BARBERIO. Drivers, Barriers and Benefits of the EU Ecolabel in European Companies' Perception. *Sustainability* [online]. 2017, **9**(12), 751- [cit. 2018-02-26]. DOI: 10.3390/su9050751. ISSN 2071-1050. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/2071-1050/9/5/751>

[16] Ekoznačení – často kladené dotazy [online]. CENIA, 2012 [cit. 2018-02-26]. Dostupné z: <http://www1.cenia.cz/www/ekoznaceni/faq#a1>

[17] ČSN EN ISO 14040. *Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Zásady a osnova*. 1. Praha: Český normalizační institut, 2006.

[18] KOČÍ, Vladimír. *Environmentální dopady: posuzování životního cyklu*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2013. ISBN 978-80-7080-858-0.

[19] ROUSSET, Patrick, Armando CALDEIRA-PIRES, Alexander SABLONSKI a Thiago RODRIGUES. LCA of eucalyptus wood charcoal briquettes. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2011, **19**(14), 1647-1653 [cit. 2018-03-06]. DOI: 10.1016/j.jclepro.2011.05.015. ISSN 09596526. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652611001855>

[20] ČSN EN ISO 14044. *Environmentální management: Posuzování životního cyklu – Požadavky a směrnice*. 1. Praha: Český normalizační institut, 2006.

[21] PANESAR, Daman K., Karina E. SETO a Cameron J. CHURCHILL. Impact of the selection of functional unit on the life cycle assessment of green concrete. *The International Journal of Life Cycle Assessment* [online]. 2017, **22**(12), 1969-1986 [cit. 2018-03-19]. DOI: 10.1007/s11367-017-1284-0. ISSN 0948-3349. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11367-017-1284-0>

- [22] LIANG, Jinyou, Pascal LESAGE, Manuele MARGNI, Louise DESCHÊNES a Réjean SAMSON. Radiation in the atmosphere: Dynamic LCA and Its Application to Global Warming Impact Assessments. *Chemical Modeling for Air Resources* [online]. Elsevier, 2013, 2013, **44**(8), 43-63 [cit. 2018-06-08]. DOI: 10.1016/B978-0-12-408135-2.00003-3. ISBN 9780124081352. ISSN 0013-936X. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780124081352000033>
- [23] MISERENDINO, María Laura, Cecilia BRAND, Luis B. EPELE, Cecilia Y. DI PRINZIO, Guillermo H. OMAD, Miguel ARCHANGELSKY, Oscar MARTÍNEZ a Adriana M. KUTSCHKER. Biotic diversity of benthic macroinvertebrates at contrasting glacier-fed systems in Patagonia Mountains: The role of environmental heterogeneity facing global warming. *Science of The Total Environment* [online]. 2018, **622-623**, 152-163 [cit. 2018-06-17]. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.11.320. ISSN 00489697. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969717333788>
- [24] BEKKI, S., A. RAP, V. POULAIN, et al. Climate impact of stratospheric ozone recovery. *Geophysical Research Letters* [online]. 2013, **40**(11), 2796-2800 [cit. 2018-06-17]. DOI: 10.1002/grl.50358. ISSN 00948276. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/grl.50358>
- [25] BEAUNE, David, Yann SELLIER, Gilles LUQUET a Frédéric GRANDJEAN. Freshwater acidification: an example of an endangered crayfish species sensitive to pH. *Hydrobiologia* [online]. 2018, **813**(1), 41-50 [cit. 2018-06-10]. DOI: 10.1007/s10750-018-3504-4. ISSN 0018-8158. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10750-018-3504-4>
- [26] ALVARENGA, Rodrigo, Ittana LINS a José ALMEIDA NETO. Evaluation of Abiotic Resource LCIA Methods. *Resources* [online]. 2016, **5**(1), 13- [cit. 2018-06-17]. DOI: 10.3390/resources5010013. ISSN 2079-9276. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/2079-9276/5/1/13>
- [27] LI, Chen, Suping CUI, Zuoren NIE, Xianzheng GONG, Zhihong WANG a Norihiro ITSUBO. The LCA of portland cement production in China. *The International Journal of Life Cycle Assessment* [online]. 2015, **20**(1), 117-127 [cit. 2018-04-24]. DOI: 10.1007/s11367-014-0804-4. ISSN 0948-3349. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11367-014-0804-4>