

Life cycle assessment - Hodnotenie životného cyklu 1.časť

Števo Stano · Nezaradené

17.06.2011



LCA je prístup, ktorý skúma environmentálne aspekty, a vplyvy výrobku počas jeho životného cyklu, od získavania surovín, cez výrobu, realizáciu a zneškodňovanie odpadov z výroby na životné prostredie. LCA umožňuje študovať celý výrobný systém teda vyhnúť sa sub-optimalizácii, ku ktorej by mohlo dôjsť len v rámci zamerania štúdie v rámci jedného procesu. Článok pojednáva o základných charakteristikách, fázach, nástrojoch a variantoch LCA.

Hodnotenie (posúdenie) životného cyklu (LCA - life cycle assessment, tiež známe ako analýza životného cyklu, ekologická bilancia alebo analýza od kolísky do hrobu from-cradle-to-grave) [1], je technika pre posúdenie vplyvu produktu na životné prostredie spojené vo všetkých fázach životného cyklu - od kolísky do hrobu (t.j. od ťažby surovín cez spracovanie materiálov, výrobu, distribúciu, používanie, opravy, údržby po likvidáciu alebo recykláciu). LCA predchádza úzkemu pohľadu na ochranu životného prostredia:

- Vytvorením zoznamu príslušných energetických a materiálových vstupov a výstupov (emisií, odpadov) do životného prostredia
- Vyhodnotením možných vplyvov (dôsledkov) spojených s identifikovanými vstupmi a výstupmi
- Interpretáciou výsledkov, ktoré umožňujú urobiť erudované (kvalifikované) rozhodnutie

Ciele a účel LCA

Cieľom LCA je porovnať celý rad účinkov environmentálnych vplyvov priradených k tovarom a službám s cieľom zlepšiť procesy, podporiť hospodárnosť a poskytnúť solídny základ pre kvalifikované rozhodnutia. Termín „životný cyklus“ sa odvoláva na predstavu, že objektívne a komplexné hodnotenie vyžaduje posúdenie produkcie surovín, výroby, distribúcie, používania a likvidácie, vrátane medziprepráv a všetkých ostatných úkonov potrebných k existencii výrobku.

Attributional LCA vs. Consequential LCA

Existujú dva hlavné typy LCA atribútový (attributional) a konsekvenčný (consequential). Atribútový LCA usiluje o zistenie záťaže spojenej s výrobou a používaním určitého výrobku, služby alebo procesu v určitom okamihu (zvyčajne v nedávnej minulosti). Konsekvenčný LCA sa snaží identifikovať environmentálne

dôsledky rozhodnutia alebo navrhovanej zmeny v systéme podľa štúdie (orientovanej na budúcnosť), čo znamená, že do úvahy môžu byť vzaté trhové a hospodárske dôsledky rozhodnutia [35]. Sociálny LCA je vo vývoji ako odlišný prístup k životnému cyklu s cieľom vyhodnotiť sociálne vplyvy alebo potenciálne dopady. Sociálny LCA by sa mal považovať za prístup, ktorý je komplementárny k environmentálnemu LCA.

Postupy posudzovania životného cyklu (LCA) sú súčasťou ISO 14000 environmentálneho manažmentu: v ISO 14040:2006 a 14044:2006. (ISO 14044 nahrádza staršie verzie ISO 14041 ISO 14043).

Štyri hlavné fázy

Podľa noriem ISO 14040 [3] a 14044 [4] je hodnotenie životného cyklu vykonávané v štyroch odlišných fázach, ako je znázornené na obrázku. Fázy sú často vzájomne závislé v tom, že výsledky jednej fázy budú informovať o dokončení ostatných fáz.



Cieľ a predmet

LCA začína s explicitným uvedením cieľa a predmetu (oblasti) štúdie, ktorá stanovuje rámec štúdie a vysvetľuje, ako a komu majú byť výsledky oznámené. Ide o kľúčový krok a ISO normy vyžadujú, že cieľ a oblasť LCA musia byť jasne definované a v súlade so zamýšľanou aplikáciou. Dokument pre cieľ a oblasť teda zahŕňa technické detaily, ktorými sa riadia nasledujúce činnosti:

- funkčný celok (jednotka), definuje čo presne sa skúma a kvantifikuje poskytnuté služby výrobným (produktovým) systémom, určuje referenciu ku ktorej môžu byť pripojené vstupy a výstupy
- hranice systému
- všetky predpoklady a obmedzenia
- stanovené metódy používané na rozdelenie zaťaženia životného prostredia procesu, kedy niekoľko výrobkov alebo funkcií zdieľa rovnaký proces
- výber kategórií vplyvov (dopadov)

Inventarizácia životného cyklu

Inventarizácia životného cyklu (LCI - life cycle inventory) zahŕňa vytvorenie súpisu tokov z a do prírody pre produkt (výrobok). Súpis tokov zahŕňa vstupy vody, energie, surovín a výstupy (emisie, odpady) do ovzdušia, pôdy a vody. Pre vytvorenie takéhoto zoznamu sa vytvorí tokový (prúdový) model technického systému na základe údajov o vstupoch a výstupoch. Model prúdenia najčastejšie znázorňuje diagram tokov (flow chart) zahŕňajúci činnosti, ktoré sa budú hodnotiť v príslušnom dodávateľskom reťazci a dáva jasný obraz o hraniciach technického systému. Vstupné a výstupné údaje potrebné pre konštrukciu modelu sú zhromažďované pre všetky činnosti v rámci hraníc systému, vrátane dodávateľského reťazca (ako vstupy z technosféry).

Tieto údaje musia byť vo vzťahu k funkčnej jednotke určenej v definícii cieľa a oblasti. Dáta môžu byť uvedené v tabuľkách a niektoré (vy)hodnotenia môžu byť uskutočnené už v tejto fáze. Výsledky súpisu predstavujú LCI, ktorá poskytuje informácie o všetkých vstupoch a výstupoch vo forme elementárneho toku do a zo životného prostredia od všetkých procesných (funkčných) jednotiek uvažovaných v štúdiu.

Súpis tokov sa môže čítať v stovkách v závislosti od hranice systému. Dáta sú zvyčajne zhromažďované prostredníctvom dotazníkov. Dôležité je zabezpečiť aby dotazníky boli vyplnené podľa reprezentatívnej vzorky výrobcov, neprikláňajúcej sa ani k najlepšiemu, ani najhoršiemu a plne zastupujúcej všetky regionálne rozdiely vzhľadom k využívaniu energie, nákupu materiálov alebo iných faktorov. Dotazníky pokrývajú celú škálu vstupov a výstupov, obvykle s cieľom pokrytia 99% hmotnosti výrobku, 99% energie spotrebovanej pri jeho výrobe a všetky ekologicky citlivé toky aj keď spadajú len do 1% úrovne vstupov.

Jednou z oblastí ťažkého prístupu k dátam tokov je technosféra. Z tohto pohľadu je možné určiť koľko sa spotrebuje z daného vstupu dodávateľského reťazca, ale zvyčajne nie je presný prístup k údajom o vstupoch a výstupoch pre tieto výrobné procesy. LCA sa potom musí obrátiť na sekundárne zdroje, ak už neexistujú údaje z vlastných predchádzajúcich štúdií. Národné databázy, súbory (množiny) údajov, (ako výsledok LCA nástroja) sú zvyčajné zdroje pre tieto informácie. Rovnako treba dbať na to, aby druhotný zdroj údajov správne odrážal regionálne alebo vnútroštátne podmienky.

Posúdenie vplyvu životného cyklu

Inventarizačnú analýzu nasleduje posúdenie (hodnotenie) vplyvu. Táto fáza LCA je zameraná na hodnotenie významnosti potenciálnych dopadov na životné prostredie podľa toku výsledkov LCI. Klasické posudzovanie vplyvov životného cyklu (LCIA) sa skladá z týchto povinných prvkov (krokov):

- Výber z kategórií vplyvov, kategórie ukazovateľov a charakteristiku modelov;
- Fázu klasifikácie, kde sú parametre inventáru triedené a priradené špecifickým kategóriám vplyvov (dopadov)
- Meranie vplyvu, kde sú roztriedené LCI toky charakterizované pomocou jedného z mnohých možných metód LCIA, do všeobecných ekvivalentných jednotiek, ktoré sú potom zrátané, aby sa stanovil celkový vplyv kategórie

V mnohých LCA, charakterizáciu uzatvára analýza LCIA, čo je tiež posledná fáza povinná podľa ISO 14044:2006. Avšak, okrem vyššie uvedených povinných krokov

LCIA, existujú ďalšie voliteľné prvky LCIA - normalizácia, zoskupovanie a váhovanie (určenie dôležitosti) - ktoré možno vykonať v závislosti od cieľa a rozsahu štúdie LCA. V normalizácii sú výsledky zo štúdie kategórií vplyvov obvykle porovnané s celkovými dôsledkami v danej oblasti. (Napríklad pre oblasť Slovenska).

Zoskupovanie pozostáva z triedenia a prípadne hodnotenia vplyvu jednotlivých kategórií. Počas váhovania, sa rôzne vplyvy na životné prostredie váhujú vo vzťahu k sebe tak, aby mohli byť potom zrátané, čím dostaneme jedno číslo určujúce celkový vplyv na životné prostredie. Norma ISO 14044:2006 všeobecne neodporúča váženie, vyhlásením "váženia, nesmú byť použité v štúdiách LCA, ktoré majú byť použité v porovnávacích tvrdeniach, ktoré majú byť verejne publikované". Táto rada je často ignorovaná, čo vedie k porovnaniam, ktoré môžu odrážať vysokú mieru subjektivity ako výsledok váženia.

Interpretácia

Interpretácia životného cyklu (Life Cycle Interpretation) je systematický postup na identifikáciu, kvantifikáciu, kontrolu a vyhodnocovanie informácií z výsledkov inventarizácie životného cyklu a / alebo posudzovania vplyvov životného cyklu. Výsledky z inventarizačnej analýzy a hodnotenia vplyvu sú zhrnuté v priebehu fáze interpretácie. Výsledok fáze interpretácie je súbor záverov a odporúčaní k štúdiu. Podľa normy ISO 14040:2006, by mal výklad obsahovať:

- identifikáciu významných problémov na základe výsledkov LCI a LCIA fáz LCA;
- hodnotenie štúdie posudzovaním úplnosti, citlivosti (presnosti) a kontroly konzistencie
- závery, obmedzenia a odporúčania

Hlavným účelom vykonávania interpretácie životného cyklu je určiť úroveň dôvery v konečné výsledky a ich nestranné úplné oznámenie (úplné a presným pravdivým spôsobom). Interpretácia výsledkov LCA nie je tak jednoduchá, v zmysle „3 je lepšie ako 2, preto je alternatívna A najlepšia voľba!“ Interpretácia výsledkov LCA začína pochopením presnosti výsledkov a zaistením splnenia cieľa štúdie. Toto je dosiahnuté identifikovaním dátových prvkov, ktoré významne prispievajú ku každej kategórii vplyvov, hodnotením citlivosti týchto významných prvkov, posúdením úplnosti a dôslednosti štúdie a vyvodeniu záverov a odporúčaní na základe jasného pochopenia toho, ako bola vykonaná LCA a ako boli vyvodené výsledky. [39]

LCA nástroje a použitie

Existujú dva základné typy nástrojov LCA:

- Špecializované softvérové balíky určené pre odborníkov (profesionálov -hodnotiteľov)
- Nástroje LCA určených pre ľudí, ktorí chcú výsledky založené na LCA, bez toho by museli uskutočňovať (vyvíjať) merania údajov a vplyvov LCA

Do prvej kategórie môžeme zaradiť zrejme dva hlavné nástroje, ktoré sú Gabi Software, vyvinutý PE International, a SimaPro, vyvinutý PRé Consultants.

Do druhej kategórie spadajú rôzne nástroje pracujúce na rôznych úrovniach. Na úrovni produktov, USA národný inštitút štandardov a technológií (NIST - National

Institute of Standards and Technology) vyvíja BEES (Building for Environmental and Economic Sustainability), nástroj ktorý je voľne k dispozícii. Na úrovni celého návrhu budovy, sú k dispozícii rôzne nástroje, ktoré sú vyvíjané v rôznych častiach sveta. Napríklad, ATHENA® Impact Estimator (odhad vplyvov pre budovy) je schopný modelovať 95% budov v Severnej Amerike. BRE (Building Research Establishment) vyvinul nástroj Envest pre splnenie potrieb UK (podobne je EcoQuantum k dispozícii v Holandsku).

Na základe prieskumu z praxe LCA vykonaných v roku 2006[5] LCA väčšinou slúži na podporu obchodnej stratégie (18%) a R&D (18%) (Research and development), ako vstup do výroby alebo návrhu procesu (15%), vo vzdelávaní (13%) a pre označenie alebo vyhlásenie o výrobku (11%).

Významné spoločnosti na celom svete sa ujali LCA pre interné štúdie, zatiaľ čo vlády podporujú rozvoj národných databáz pre podporu LCA. Za zmienku stojí aj rastúce používanie LCA pre označenia (štitkovanie) ISO typu III, taktiež nazývané „Environmentálne vyhlásenie o výrobku“, definovaný ako „kvantifikované environmentálne údaje o výrobku s vopred nastavenými kategóriami parametrov založených na sérii noriem ISO 14040, pričom nie sú vylúčené ďalšie informácie o životnom prostredí“ [19]. Tieto certifikáty tretej strany na báze LCA poskytujú čoraz dôležitejší základ pre hodnotenie relatívnej ekologickej (environmentálnej) podstaty konkurenčných produktov.

Analýza dát

Analýza životného cyklu je tak platná (vierohodná) ako jej dáta, preto je dôležité, aby údaje použité na analýzu životného cyklu boli presné a aktuálne. Je veľmi dôležité, aby príslušné dáta boli k dispozícii pre obidva produkty alebo procesy o ktoré sa jedná. Ak má jeden výrobok oveľa vyššiu dostupnosť dát, nemožno ho vierohodne porovnať s iným výrobkom, o ktorom máme menej podrobné údaje [6].

Existujú dva základné typy dát LCA. Dáta jednotkových (samostatných) procesov (UPD - unit process data) a vstupno-výstupné dáta životného prostredia (EIOD - environmental input-output data), pričom druhá skupina je založená na národných hospodárskych vstupno-výstupných dátach[17] UPD sú odvodené z priameho prieskumu (výskumu) podnikov alebo závodov vyrábajúcich produkt, vykonávaného na úrovni jednotky (samostatného) procesu definovaného hranicami systému pre štúdiu (analýzu).

Platnosť (pádnosť) údajov by mala byť vždy veľmi dôležitým aspektom pri analýzach životného cyklu. Vzhľadom k tomu, že žijeme v globálnom svete (hospodárstve), sú nové procesy, výrobné postupy a materiály rýchlo zavedené do jednotlivých procesov a produktov. Pri vykonávaní LCA je preto dôležité mať k dispozícii aktuálne dáta. Pri použití údajov 5 až 10 rokov starých, nemusí byť LCA presná, pretože kvantitatívnej analýzy nebudú odrážať existujúce metódy využívané v procese alebo produkte. Preto budú závery vykreslené zo správy pomocou týchto údajov bezvýsledné.

Niektoré produkty, ktorých procesy sa nemenia v rozmedzí od 5 do 10 rokov (ak existujú) budú oslobodené od tejto nutnosti získavania aktuálnych dát. Pri analýze

elektroniky, ako sú napríklad mobilné telefóny alebo počítače, je nutné mať k dispozícii najaktuálnejšie dáta. Vzhľadom k tomu, že nový model počítača alebo mobilného telefónu je vytváraný každých pár mesiacov, nebudú výsledky 3 roky starej analýzy životného cyklu počítačového systému použiteľné pre nové systémy.

Životný cyklus sa obvykle skladá z niekoľkých fáz, vrátane: ťažby materiálov, spracovania a výroby, použitia výrobku a likvidácii výrobku. Ak sa dá určiť najviac škodlivá fáza pre životné prostredie, potom sa tento vplyv môže efektívne znížiť zameraním sa na realizáciu zmien pre danú fázu. Napríklad, najviac energeticky intenzívna životná fáza lietadla alebo vozidla je počas používania z dôvodu spotreby paliva. Jedným z najúčinnějších spôsobov, ako zvýšiť využitie paliva je zníženie hmotnosti vozidla a takto môžu výrobcovia automobilov a lietadiel významným spôsobom znížiť vplyv na životné prostredie nahradením hliníka ľahšími materiálmi, ako sú ľahké materiály vystužené karbónovými vláknami a pod. Zníženie vo fáze používania by malo byť viac než dosť vyrovnať dodatočné suroviny alebo výrobné náklady.

Varianty LCA

Od kolísky do hrobu (Cradle-to-grave)

„Od kolísky do hrobu“ je plné hodnotenie životného cyklu od ťažby surovín („kolíska“), cez fázu využívania po fázu likvidácie („hrob“). Napríklad zo stromov sa vyrába papier, ktorý môže byť recyklovaný do nízko-energetickej výroby celulózovej izolácie, ktorá sa potom použije ako energiu šetriace „zariadenie“ v strope domu na 40 rokov, pričom ušetrí 2.000 krát viac energie fosílnych palív ako pri jej výrobe. Po 40 rokoch sa celulózové vlákna nahradia a staré vlákna sú odstránené, prípadne spálené. Všetky vstupy a výstupy sú zvažované vo všetkých fázach životného cyklu.

Od kolísky po bránu (Cradle-to-gate)

„Od kolísky po bránu“ je hodnotenie čiastkového životného cyklu výrobku od ťažby surovín („kolíska“) po továrenskú (výstupnú) bránu (t.j. pred tým, než je transportovaný k spotrebiteľovi). Fázy používania a likvidácie výrobku sú v tomto prípade vynechané. Cradle-to-gate hodnotenia sú niekedy základom pre environmentálne vyhlásenia (stanovenia) o výrobku (EPD) nazvané business-t-business EPD [7].

Od kolísky po kolísku - výroba v otvorenej slučke (Cradle-to-Cradle or Open Loop Production)

„Od kolísky po kolísku“ je špecifický druh cradle-to-gate hodnotenia, kedy na konci životnosti výrobku (krok likvidácie) je proces recyklácie. Jedná sa o metódu používanú na minimalizáciu vplyvov na životné prostredie výrobkov uplatnením (využitím) praktík udržateľnej výroby, prevádzky a likvidácie. Jej cieľom je začlenenie sociálnej zodpovednosti do vývoja výrobku.[8] Z recyklačného procesu vznikajú nové, identické výrobky (napríklad asfaltový chodník z odstráneného asfaltového chodníku, sklenené fľaše zo zhromaždených sklenených fliaš) alebo rôzne výrobky (napr. sklenená vlna zo zhromaždených sklenených fliaš).

Rozdelenie záťaže pre výrobky vo výrobných systémoch v otvorenej slučke predstavuje značné problémy (výzvy) pre LCA. Na riešenie týchto otázok (ako sa vyhnúť zataženiu uvedeného prístupu) bolo navrhnutých veľa rôznych metód [41].

Od brány po bránu (Gate-to-gate)

„Od brány po bránu“ je čiastočný LCA pri pohľade na len jednu hodnotu procesu v celom výrobnom reťazci. Gate-to-gate moduly môžu byť spojené aj neskôr v ich príslušnom výrobnom reťazci a tak vytvoriť úplné cradle-to-gate hodnotenie [9].

Od zdroja po kolesá (Well-to-wheel)

Je špecifická LCA používané na prepravu pohonných hmôt a vozidiel. Analýza je často rozdelená na etapy s názvom “well-to-station” alebo “well-to-tank” a “station-to-wheel” alebo “tank-to-wheel”, alebo “plug-to-wheel “. Prvá etapa, ktorá zahŕňa vstupné suroviny alebo výrobu palív, spracovanie, dodávky paliva alebo prenos energie, je nazývaná ako fáza “proti prúdu” („upstream“), zatiaľ čo vo fáze, ktorá sa zaoberá samotnou prevádzkou vozidla sa niekedy nazýva fázou “po prúde” („downstream“). Well-to-wheel analýzy sa bežne používajú na posúdenie celkovej spotreby energie, alebo účinnosť premeny energie. Podobne sa používajú na posúdenie vplyvu emisií námorných lodí, lietadiel a emisií z motorových vozidiel (vrátane ich uhlíkovej stopy ako aj palív používaných v každej z týchto spôsobov dopravy). [10] [11] [12]

Well-to-wheel variant má významný vstup na model vyvinutý Argonne National Laboratory. Model skleníkových plynov, regulovaných emisií a spotreby energií v doprave (GREET) [13] bol vyvinutý s cieľom zhodnotiť vplyv nových palív a technológií vozidiel. Model hodnotí dôsledky používania palív s použitím well-to-wheel hodnotenia, zatiaľ čo tradičný prístup od kolisky do hrobu sa používa na určenie vplyvu od vozidiel. Model reflektuje využívanie energií, emisie skleníkových plynov a šesť ďalších znečisťujúcich látok: prchavé organické látky (VOC), oxidu uhoľnatého (CO), oxidov dusíka (NOx), častíc s veľkosťou menšou ako 10 mikrometrov (PM10), častíc s veľkosťou menšou ako 2,5 mikrometra (PM 2,5) a oxidov síry (SOx).

Druhá časť článku bude zverejnená o týždeň.

Zdroje

1. Defining Life Cycle Assessment (LCA). US Environmental Protection Agency. 17 October 2010. Web.
<http://www.gdrc.org/uem/lca/lca-define.html>
2. Life Cycle Assessment (LCA). US Environmental Protection Agency. 6 Aug. 2010. Web.
<http://www.epa.gov/nrmrl/lcaccess/>
3. ISO 14040 (2006): Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework, International Organisation for Standardisation (ISO), Geneva
4. ISO 14044 (2006): Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines, International Organisation for Standardisation (ISO), Geneva
5. Cooper, J.S.; Fava, J. (2006), “Life Cycle Assessment Practitioner Survey: Summary of Results”, Journal of Industrial Ecology
6. Scientific Applications International Corporation (May), Life cycle assessment:

- principles and practice, pp. 88,
<http://www.epa.gov/NRMRL/lcaccess/pdfs/600r06060.pdf>
7. EPD-The Green Yardstick.
<http://www.environdec.com/pageId.asp?id=301&menu=2,2,26>
 8. "Cradle-to-cradle definition." Ecomii. 19 Oct. 2010. Web.
<http://www.ecomii.com/ecopedia/cradle-to-cradle>
 9. Jiménez-González, C.; Kim, S.; Overcash, M. Methodology for developing gate-to-gate Life cycle inventory information. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 2000, 5, 153-159.
 10. Brinkman, Norman; Wang, Michael; Weber, Trudy; Darlington, Thomas (May 2005). Well-to-Wheels Analysis of Advanced Fuel/Vehicle Systems — A North American Study of Energy Use, Greenhouse Gas Emissions, and Criteria Pollutant Emissions. Argonne National Laboratory.
<http://www.transportation.anl.gov/pdfs/TA/339.pdf>. Retrieved 2011-02-28. See EXECUTIVE SUMMARY - ES.1 Background, pp1.
 11. Full Fuel Cycle Assesment: Well-To-Wheels Energy Inputs, Emissions, and Water Impacts. California Energy Commission. 2007-08-01.
<http://www.energy.ca.gov/2007publications/CEC-600-2007-004/CEC-600-2007-004-REV.PDF>. Retrieved 2011-02-28.
 12. Green Car Glossary: Well to wheel. Car Magazine.
<http://www.carmagazine.co.uk/Green-car-landing-page/Green-car-glossary/>. Retrieved 2011-02-28.
 13. How Does GREET Work?. Argonne National Laboratory. 2010-09-03.
<http://greet.es.anl.gov/>. Retrieved 2011-02-28.
 14. Hendrickson, C. T., Lave, L. B., and Matthews, H. S. (2005). *Environmental Life Cycle Assessment of Goods and Services: An Input-Output Approach*, Resources for the Future Press.
 15. S. Singh, B. R. Bakshi, Eco-LCA: A Tool for Quantifying the Role of Ecological Resources in LCA, *International Symposium on Sustainable Systems and Technology*, 2009, IEEE.
 16. David MacKay Sustainable Energy
[http://www.withouthotair.com/24 Feb 2010 p41](http://www.withouthotair.com/24%20Feb%202010%20p41)
 17. McManus, M "Life cycle impacts of waste wood biomass heating systems: A case study of three UK based systems" *Energy* Volume 35, Issue 10, October 2010, Pages 4064-4070.
 18. Allen, S.R., G.P. Hammond, H. Harajli, C.I. Jones, M.C. McManus and A.B. Winnett, 2008. 'Integrated appraisal of micro-generators: methods and applications', *Proc. Instn Civil Engrs: Energy*, 161 (2):73-86. [DOI:10.1680/ener.2008.161.2.73]
 19. Damgaard, A, et. al. Life-cycle-assessment of the historical development of air pollution control and energy recovery in waste incineration. *Waste Management* 30 (2010) 1244-1250.
 20. Liamsanguan, C., Gheewala, S.H., LCA: A decision support tool for environmental assessment of MSW management systems. *Jour. of Environ. Mgmt.* 87 (2009) 132-138.
 21. Hammond, Geoffrey P. (2004), "Engineering sustainability: thermodynamics, energy systems, and the environment", *International Journal of Energy Research* 28 (7): 613-639, doi:10.1002/er.988,
<http://ftp.unb.br/pub/UNB/ftpfort/Termia/Engineering%20sustainability.pdf>
 22. Pehnt, Martin (2006), "Dynamic life cycle assessment (LCA) of renewable energy

- technologies”, *Renewable Energy: An International Journal* 31 (1): 55-71,
doi:10.1016/j.renene.2005.03.002,
<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V4S-4G4XBR8-1/2/918beff8c122a8e3a7addc8da40ea738>
23. Cornelissen, Reinerus Louwrentius (1997), *Thermodynamics and sustainable development; the use of exergy analysis and the reduction of irreversibility*,
<http://purl.org/utwente/32030>
 24. Malin, Nadav, “Life-cycle assessment for buildings: Seeking the Holy Grail.” *Building Green*, 2010.
 25. <http://www.transportation.anl.gov/pdfs/TA/104.pdf>
 26. National Council for Air and Stream Improvement Special Report No: 04-03
 27. FPInnovations 2010 A Synthesis of Research on Wood Products and Greenhouse Gas Impacts 2nd Edition page 40
 28. Bland, W.L. and Bell, M.M., (2007) A holon approach to agroecology *International Journal of Agricultural Sustainability* 5(4), 280-294.
 29. J.M. Pearce, “Optimizing Greenhouse Gas Mitigation Strategies to Suppress Energy Cannibalism” 2nd Climate Change Technology Conference Proceedings, p. 48, 2009
 30. Joshua M. Pearce, “Thermodynamic limitations to nuclear energy deployment as a greenhouse gas mitigation technology,” *International Journal of Nuclear Governance, Economy and Ecology* 2, no. 1 (2008): 113-130.
 31. Jyotirmay Mathur, Narendra Kumar Bansal, and Hermann-Joseph Wagner, “Dynamic energy analysis to assess maximum growth rates in developing power generation capacity: case study of India,” *Energy Policy* 32, no. 2 (January 2004): 281-287.
 32. R. Kenny, C. Law, J.M. Pearce, “Towards Real Energy Economics: Energy Policy Driven by Life-Cycle Carbon Emission”, *Energy Policy* 38, pp. 1969-1978, 2010.
 33. Life cycle assessment, paper on internet:
http://en.wikipedia.org/wiki/Life_cycle_assessment#Life_cycle_energy_analysis
 34. Pearce, Joshua M. (2008), Thermodynamic limitations to nuclear energy deployment as a greenhouse gas mitigation technology, *International Journal of Nuclear Governance, Economy and Ecology* 2 (1): 113-130
 35. National Risk Management Research Laboratory, LIFE CYCLE ASSESSMENT: PRINCIPLES AND PRACTICE, Cincinnati, Ohio 45268,
www.epa.gov/nrmrl/lcaccess/pdfs/chapter1_frontmatter_lca101.pdf
 36. Curran, M.A., Mann, M., and Norris, G. 2005. “International Workshop on Electricity Data for Life Cycle Inventories.” *J Cleaner Production*. 13(8), pp 853-862.
 37. Meadows, D.H. et al. 1972. *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome’s Project on the Predicament of Mankind*. Universe Books, New York. P. 205.
 38. Goldsmith, E and R Allen. 1972. “A Blueprint for Survival.” *The Economist* 2(1).
 39. Society of Environmental Toxicology and Chemistry. 2004. *Life-Cycle Management*. Hunkeler, D., Rebitzer, G., Finkbeiner, M., Schmidt W-P., Jensen, A.A., Stranddorf, H., and Christiansen, K.
 40. The Economic Input-Output Life Cycle Assessment (EIO-LCA) <http://www.eiolca.net/>
 41. Cradle to cradle design,
http://en.wikipedia.org/wiki/Cradle_to_Cradle_Design
 42. Life cycle assessment
http://ernaehrungsdenkwerkstatt.de/fileadmin/user_upload/EDWText/TextElemente/Oekologie-Umwelt/Life_Cycle_Assessment__LCA_-_Infos_OLT_22_01_09.pdf

-
43. Boundary critique,
http://en.wikipedia.org/wiki/Boundary_critique
 44. B. Azzopardi *, J. Mutale: Life cycle analysis for future photovoltaic systems using hybrid solar cells, The University of Manchester UK, October 2009,
<http://www.sciencedirect.com>
-

Ústav riadenia a priemyselnej informatiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky,
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava
