

Life cycle assessment - Hodnotenie životného cyklu 2.časť

Števo Stano · Elektrotechnika

24.06.2011



Článok je zameraný na ekonomické vstupno-výstupné posúdenie životného cyklu, ekologicky-založené LCA, životný cyklus energetickej analýzy, výrobu energie z pohľadu LCA a energetickej obnovu. Podobne analyzuje kritiku LCEA, kritiku samotného procesu LCA a aj dynamické posudzovanie životného cyklu. Záverečná časť článku je venovaná výhodám/ obmedzeniam použitia LCA a procesu formovania LCA až do súčasnej podoby.

Ekonomické vstupno-výstupné posúdenie životného cyklu

Ekonomická vstupno-výstupná LCA (EIOLCA) zahŕňa použitie súhrnných dát sektorových (odvetvových) úrovní o tom, aký vplyv na životné prostredie sa priradí každému odvetviu hospodárstva a koľko každé odvetvie nakupuje od iných odvetví. [14] Táto analýza môže byť určená pre dlhé reťazce (napríklad výroba auta potrebuje energiu, ale výroba energie vyžaduje vozidlá a budovanie týchto vozidiel si vyžaduje energiu, atď.). To trochu uľahčuje stanovenie rozsahu problému procesu LCA, kým EIOLCA sa spolieha na priemernú úroveň odvetvia, ktorá môže alebo nemusí byť reprezentatívnou množinou pre náležité odvetvie týkajúceho sa výrobku a preto nie je vhodné pre hodnotenie vplyvov produktov na životné prostredie. Prenos ekonomických veličín do vplyvov na životné prostredie nie je potvrdený. [40]

Ekologicky-založené LCA

Zatiaľ čo konvenčná LCA využíva veľa z rovnakých postupov a stratégií ako Eco-LCA, Eco-LCA zvažuje oveľa širšiu škálu ekologických dopadov. Bola navrhnutá tak, aby poskytla návod pre múdre riadenie ľudských činností na pochopenie priamych a nepriamych účinkov (dopadov) na ekologické zdroje a okolité ekosystémy (bol vyvinutý Ohio State University Center). Eco-LCA je metodika, ktorá kvantitatívne berie do úvahy kontrolné a podporné služby v priebehu životného cyklu hospodárskych (ekonomických) tovarov a výrobkov. V tomto prístupe sú služby rozdelené do štyroch hlavných skupín: „supporting“, „regulating“, „provisioning“ a „cultural services“. [15]

Životný cyklus energetickej analýzy

Životný cyklus energetickej analýzy (LCEA) je prístup, v ktorom sú uvažované všetky energetické vstupy pripadajúce na výrobok a to nielen priame energetické vstupy pri výrobe, ale aj všetky energetické vstupy potrebné na výrobu komponentov, materiálov

a služieb potrebných pre výrobný proces. Niekedy sa tento prístup nazýval energetická analýza. S LCEA je stanovený celkový (úplný) životný cyklus energie.

Výroba energie

Zistilo sa, že viac energie sa minie v samotnej produkcii energetických komodít, ako je jadrová energia, fotovoltaiická elektrina alebo vysokokvalitné výrobky z ropy. Čistý obsah energie je energetický obsah výrobku mínus energetické vstupy používané pri ťažbe a premene, priamo alebo nepriamo. Kontroverzný výsledok „ranej“ LCEA tvrdí, že výroba solárnych článkov vyžaduje viac energie ako môže byť využiteľ pri ich použití. Výsledok bol neskôr vyvrátený [16][44], avšak využitie solárnych článkov je stále diskutabilné. Ďalším novým konceptom, ktorý vyplýva z hodnotenia životného cyklu je prístup „kanibalistická energia“ [34] (EC - Energy Cannibalism).

EC sa odkazuje na efekt, kde rýchly rast celého energeticky náročného priemyslu vytvára potrebu energie, ktorá využíva (kanibalizuje) energie existujúcich elektrární. Tak počas rýchleho rastu odvetvia (priemyslu) ako celok neprodukuje žiadnu energiu, pretože nová energia je využívaná (ukladaná) do energie hmoty obsiahnutej v budúcich elektrárnach. Práca bola vykonaná vo Veľkej Británii na stanovenie vplyvov životného cyklu energie (popri plnej LCA) rady technológií obnoviteľných zdrojov energie. [17] [18]

Energetická obnova

Ak sú materiály spálené počas likvidačného procesu, môže byť energia uvoľnená pri spaľovaní využitá a použitá napríklad pri výrobe elektriny. To poskytuje nízko-dopadový (low-impact) zdroj energie, najmä v porovnaní s uhlím a zemným plynom. [19] Kým spaľovanie produkuje viac emisií skleníkových plynov než skládokovanie, spaľovne odpadov sú vybavené filtrami na minimalizovanie tohto negatívneho vplyvu. Nedávne štúdie porovnávajúce spotrebu energie a emisie skleníkových plynov zo skládok (bez využitia energie) voči spaľovaniu (s využitím energie) sa zistilo, že spaľovanie je lepšie vo všetkých prípadoch, okrem prípadov, kedy sa uvoľnené plyny zo skládky použili k výrobe elektrickej energie. [20]

Kritika LCEA

Kritika LCEA sa snaží eliminovať analýzy menových nákladov, ktoré nahradia „peňažnú menu“ ekonomického rozhodovania rozhodovaním na základe „energetickej meny“. [42] Energetická účinnosť je len jedno kritérium pri rozhodovaní, ktorá varianta procesu uplatniť a nemalo byť povýšené na jediné kritérium pre určenie prijateľnosti pre životné prostredie.

Napríklad jednoduchá energetická analýza nezohľadňuje obnoviteľnosť energetických tokov alebo toxicitu odpadových produktov, kým posúdenie životného cyklu pomáha spoločnosti zoznámiť sa s ekologickými vlastnosťami a zlepšovaním ich environmentálneho systému. [21] Začlenenie technológií pre obnoviteľnú energiu v rámci dynamických LCA (pomocou analýzy citlivosti na budúce zlepšenia projektu v oblasti systémov obnoviteľných zdrojov a ich podiel na rozvodných sieťach) môže pomôcť zmierniť túto kritiku. [22]

Problém, ktorý metódou analýzy energie nemožno vyriešiť je, že rôzne formy energie (teplo, elektrina, chemické energie atď.) majú rozdielnú kvalitu a hodnotu, dokonca aj v prírodných vedách, ako dôsledok dvoch hlavných zákonov termodynamiky. Termodynamickým meradlom kvality energie je exergia (je maximálna časť energie, ktorú možno využiť pri danom stave okolia v procese premeny energie. Zohľadňuje nielen kvantitu, ale aj kvalitu posudzovanej energie). Podľa prvého termodynamického zákona, by mali byť všetky energetické vstupy počítané s rovnakou váhou, zatiaľ čo druhým zákonom by mali byť rozmanité formy energie rátané podľa rôznych hodnôt. Konflikt je vyriešený jedným z týchto spôsobov:

- Rozdiel medzi hodnotou energetických vstupov je ignorovaný,
- Hodnota pomeru sa náhodne prideliť (napr. joule elektriny je 2,6 krát cennejší ako joule tepla alebo paliva),
- Analýza je doplnená o hospodársku politiku (monetárnej) analýzy nákladov,
- Exergia miesto energie môže byť použitá pre analýzy životného cyklu [23]

Kritika

Posudzovanie životného cyklu je výkonný nástroj pre analýzu zodpovedajúci hľadiska kvantifikovateľných systémov, avšak nie každý faktor, môže byť prevedený na číslo a vložený do modelu. Pevné hranice systému robia ťažkým zachytenie zmien v systéme. To je niekedy označované ako hranica kritiky[43] (boundary critique) systémového myslenia. Presnosť a dostupnosť dát môžu tiež prispieť k nepresnosti. Napríklad môžu byť dáta z generických procesov založené na priemeroch, nereprezentatívneho odberu vzoriek alebo na zastaraných výsledkoch.[24] Navyše vo všeobecnosti v LCA chýbajú sociálne vplyvy výrobkov. Porovnávací analýza životného cyklu sa často používa na určenie lepšieho procesu alebo produktu (použitia).

Z dôvodu rôznych aspektov, ako sú hranice systému, rôzne štatistické informácie, rôzne použitia výrobku atď, sa môžu tieto štúdie ľahko prikloniť v prospech jedného produktu alebo procesu voči iným v jednej štúdii a naopak v inej štúdii na základe rôznych parametrov a iných dostupných údajov[25]. Existujú však pokyny, ktoré pomáhajú znížiť konflikty vo výsledkoch, ale metóda stále poskytuje veľký priestor pre rozhodnutie výskumníka čo je dôležité, ako je produkt obvykle vyrobený a ako sa zvyčajne používa.

Hĺbkovým preskúmaním 13 štúdií LCA ohľadom dreva a výrobkov z papiera [26] bola zistená [27] nedôslednosť v metódach a predpokladoch použitých na sledovanie uhlíka v priebehu životného cyklu výrobku. Bola použitá široká škála metód a predpokladov, čo viedlo k rôznym až protichodným záverom - najmä so zreteľom na ukladanie oxidu uhličitého a tvorby metánu na skládkach a s uvažovaním uhlíka počas rastu lesa a používania výrobku (výroby).

Nástroj agro-ekológie "analýzy agroekosystémov" ponúka rámec pre začlenenie nesúmerateľných aspektov životného cyklu výrobku (napr. sociálne vplyvy, implikácie pôd a vôd) [28]. Tento nástroj je obzvlášť užitočný pri analýze výrobku z poľnohospodárskych surovín, ako je kukuričný etanol alebo sójová bionafta. Tento analytický nástroj by nemal byť používaný namiesto analýzy životného cyklu, ale skôr v spojení s analýzou životného cyklu poskytujúcou vyvážené (všestranné) hodnotenie.

Dynamické posudzovanie životného cyklu

V posledných rokoch sa v literatúre o posudzovaní životného cyklu energetických technológií začali odrážať interakcie medzi existujúcimi elektrickými sieťami a budúcimi energetickými technológiami. Niektoré články [29][30][31] sa zamerali na LCEA, zatiaľ čo iné sa sústredili na oxid uhličitý a ďalšie skleníkové plyny [32]. Pri zvažovaní energetickej technológie, musí byť zohľadnený rastúci charakter elektrickej siete, inak môže daná trieda energetickej technológie vypustiť počas jej životnosti viac oxidu uhličitého, ako je možné predpokladané zníženie.

Aké sú výhody použitia LCA?

LCA pomáha vyhnúť sa presunu environmentálneho problému z jedného miesta na druhé. 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. Napríklad pri voľbe medzi dvoma konkurenčnými výrobkami, sa môže zdať, že variant 1 je lepší pre životné prostredie, pretože vytvára menej pevných odpadov ako variant 2. Avšak, po vykonaní LCA by mohlo byť stanovené, že prvá možnosť v skutočnosti vytvára väčší vplyv na životné prostredie, pri meraní vo všetkých troch médiách (vzduch, voda, pôda) (napr., môže to spôsobiť viac chemických emisií počas fázy výroby). Preto môže byť druhý produkt (ktorý produkuje pevný odpad) považovaný za zdroj menších škôd (v ponímaní „od kolísky do hrobu“) pre životné prostredie ako vplyv prvej technológie, pretože má nižší objem chemických emisií.

LCA tak môže pomôcť rozhodnutiu výrobcu pri výbere produktu alebo procesu, ktoré vyústi v čo najmenší dopad na životné prostredie. Táto informácia môže byť použitá s inými faktormi, ako sú náklady a údaje o výkone pre výber výrobku alebo procesu. LCA identifikuje vplyvy prevodu jedného média do druhého na životné prostredie (napr. vylučovanie emisií do ovzdušia z odpadovej vody a naopak) a / alebo z jednej fázy životného cyklu do druhej (napr. z používania a opätovné použitie výrobku ako suroviny). Ak LCA nebola vykonaná, prevod nemôže byť uznaný a riadne zahrnutý do analýzy, pretože je mimo typického rozsahu alebo zamerania procesov výberu produktu.

Táto schopnosť sledovať a dokumentovať zmeny vplyvov na životné prostredie môže pomôcť ľuďom s rozhodovacou právomocou a manažérom plne charakterizovať zmeny pre životné prostredie súvisiace s alternatívnymi produktami alebo procesmi. Vykonaním LCA, môžu analytici:

- Rozvíjať systematické hodnotenie vplyvu na životné prostredie spojené s daným produktom.
- Analyzovať zmeny životného prostredia spojené s jedným alebo viacerými špecifickými výrobkami / procesmi, čo pomôže získať zainteresované strany (štát, obec, atď), prijatie plánovanej akcie, atď.
- Kvantifikovať ekologické uvoľňovanie do ovzdušia, vody a pôdy, vo vzťahu ku každej fáze životného cyklu a / alebo najviac prispievajúceho procesu.
- Pomôcť pri určovaní významných posunov v dopadoch na životné prostredie medzi jednotlivými fázami životného cyklu a životného prostredia.
- Posúdiť ľudské a ekologické účinky materiállovej spotreby a uvoľňovania do životného

prostredia miestnej komunity, regiónu a sveta.

- Porovnanie zdravotných a ekologických dopadov medzi dvoma alebo viac konkurenčnými výrobkami / procesmi alebo identifikovať vplyvy konkrétneho produktu alebo procesu.
- Identifikovať vplyv na jednu alebo viac konkrétnych environmentálnych oblastí záujmu.

Aké sú obmedzenia použitia LCA?

Vykonanie (implementácia) LCA môže byť zdrojovo a časovo náročné. V závislosti na tom, ako dôkladne si užívateľ želá vykonať LCA, môže byť zber dát problematický a dostupnosť dát môže výrazne ovplyvniť presnosť konečných výsledkov. Preto je dôležité zvážiť dostupnosť údajov, dobu potrebnú na vykonanie štúdie a finančné prostriedky potrebné na predpokladané prínosy LCA.

LCA nebude určovať, ktorý produkt alebo proces je najviac nákladovo efektívny, alebo funguje najlepšie. Preto by získané informácie v štúdiu LCA mali byť použité ako jedna zo súčastí komplexnejšieho procesu rozhodovania a posúdenia zmien s nákladmi a výkonom, ako napr. manažment životného cyklu.

Manažment životného cyklu (Life Cycle Management)

LCM je aplikácia „myslenia“ životného cyklu v modernej obchodnej praxi, s cieľom riadiť celkový životný cyklus organizácie produktov a služieb smerom k trvalo udržateľnej spotrebe a výrobe[39]. Jedná sa o ucelený rámec konceptov a techník na riešenie ekologických, ekonomických, technologických a sociálnych aspektov výrobkov, služieb a organizácií. LCM, ako každý iný riadiaci vzor, je aplikovaný na dobrovoľnej báze a môže byť prispôbený špecifickým potrebám a charakteristike jednotlivých organizácií (Setac 2004).

História LCA

Posudzovanie životného cyklu (LCA) má svoje začiatky v šesťdesiatych rokoch dvadsiateho storočia. Z obáv z obmedzenia surovín a energetických zdrojov zažal záujem na hľadanie spôsobov, ako súhrnne určiť energetické využitie a projektovanie budúcich dodávok a použitia zdrojov. V jednej z prvých publikácií svojho druhu, Harold Smith ohlásil jeho výpočet súhrnných energetických požiadaviek na výrobu chemických polotovarov a produktov na Svetovej konferencii o energii v roku 1963. [35]

Neskôr v šesťdesiatych rokoch boli publikované globálne modelové štúdie Limity rastu (The Limits to Growth [37]) a Plán pre prežitie (Blueprint for Survival [38]), ktoré vyústili do predpovedí vplyvov meniacej sa svetovej populácie (analyzoval sa dopyt surovín a energetických zdrojov). Predpovede pre rýchle vyčerpanie fosílnych palív a klimatologické zmeny vyplývajúce z nadmerného odpadového tepla podnietili podrobnejšie výpočty využitia (použitia) energie a výstupov v priemyselných procesoch. Počas tohto obdobia bolo vykonaných asi tucet štúdií pre odhad nákladov a vplyvov alternatívnych zdrojov energie na životné prostredie.

V roku 1969, výskumníci začali internú štúdiu spoločnosti Coca-Cola, ktorá položila základ pre súčasné metódy analýzy životného cyklu zásob v Spojených štátoch. V porovnaní rôznych obalov nápojov sa určilo, ktorý obal mal najnižšie vplyvy na životné

prostredie a najmenej ovplyvnili dodávku prírodných zdrojov. Táto štúdia kvantifikovala pre každú nádobu použité suroviny a palivá ako aj zaťaženie životného prostredia z výrobných procesov. Ostatné spoločnosti, ako v Spojených štátoch tak aj v Európe, vykonali podobné porovnávacie analýzy životného cyklu zásob na začiatku sedemdesiatych rokov. V tej dobe, mnohé z dostupných zdrojov boli získané z verejne dostupných zdrojov (napr. vládne dokumenty alebo technické dokumenty), kým neboli k dispozícii špecifické priemyselné údaje.

Proces kvantifikácie použitia zdrojov a vplyvov produktov na životné prostredie, sa stal v Spojených štátoch známy ako zdrojovo environmentálne profilové analýzy (Resource and Environmental Profile Analysis - REPA. V Európe sa nazýval ako ekologická bilancia. V rokoch 1970 až 1975 sa uskutočnilo približne 15 REPA analýz, ktoré boli podporené vytvorením verejných záujmových skupín (pre zabezpečenie presnosti informácií) vo verejnej sfére ako aj nedostatkom ropy začiatkom sedemdesiatych rokov. Cez toto obdobie bol vyvinutý protokol, resp. štandardná metodika výskumu na vykonávanie týchto štúdií. Táto viackroková metóda zahŕňa viacero predpokladov. Počas týchto rokov, predpoklady a použitá technika podstúpili značné preskúmanie hlavnými zástupcami priemyslu a EPA. Výsledkom bolo vyvinutie nových metodík.

Od roku 1975 cez osemdesiate roky zanikol záujem o takéto komplexné štúdie, pretože zoslaboval vplyv ropnej krízy. Otázky životného prostredia sa zaradili k problémom s nebezpečím a správou domového odpadu. Počas tohto obdobia naďalej prebiehalo zlepšovanie inventarizačnej analýzy životného cyklu prostredníctvom pomalého prúdu (asi dve štúdie za rok), z ktorých väčšina bola zameraná na energetické požiadavky. Európsky záujem rástol s vytvorením riaditeľstva pre životné prostredie (DG X1) Európskou komisiou. Európsky odborníci na LCA vypracovávali prístupy paralelne s tým, ktoré boli používané v USA. Okrem práce na štandardizácii pravidiel znečisťovania v celej Európe, DG X1 vydala smernicu o obale tekutých potravín v roku 1985, ktorá zaviazala spoločnosti k sledovaniu spotreby energie, spotreby surovín a pevného odpadu z obalov tekutých potravín.

Keď sa stal v roku 1988 pevný odpad celosvetovým problémom, LCA sa opäť ukázal ako nástroj pre analýzu problémov životného prostredia. Ako rástol záujem vo všetkých oblastiach ovplyvňujúcich zdroje a životné prostredie, tak sa opäť zlepšovala metodika LCA. Rozšírením základne konzultantov a výskumníkov na celom svete došlo k ďalšiemu zdokonaleniu a rozšíreniu metodiky.

V roku 1991 vznikli obavy z nevhodného používania LCA, keď rozšírené marketingové tvrdenia výrobcov vyústili do vyhlásenia, ktoré vydalo jedenásť najvyšších právnych zástupcov v Spojených štátoch. Odsúdili využitie výsledkov LCA na propagáciu produktov, do času vývoja zjednotených postupov na vykonávanie týchto hodnotení. Táto udalosť, spolu s tlakom od iných environmentálnych organizácií pre štandardizáciu metodiky LCA, viedla k vývoju noriem LCA medzinárodnou organizáciou pre normalizáciu (ISO) 14000 (1997 až 2002).

V roku 2002 Organizácia Spojených národov pre životné prostredie (UNEP) spojila svoje sily so združením environmentálnej toxikológie a chémie (SETAC) a začali medzinárodné partnerstvo Life Cycle Initiative. Tri programy LCI mali za cieľ uvedenie životného cyklu do praxe a zlepšenie podporných nástrojov prostredníctvom lepších

údajov a ukazovateľov. Life Cycle Management (LCM), program vytvára povedomie a zlepšuje schopnosti tvorcov politík tým, že produkuje informačné materiály, zriaďuje fóra na výmenu osvedčených postupov a realizáciu vzdelávacích programov vo všetkých častiach sveta.

Program inventarizácie životného cyklu (LCI) zlepšuje globálny prístup k transparentným, kvalitným údajom o životnom cykle a podporou odborných skupín, ktorých výsledky práce vyúsťujú v on-line informačné systémy. Program posudzovania vplyvov životného cyklu (LCIA) zvyšuje kvalitu a globálny dosah ukazovateľov životného cyklu tým, že podporuje výmenu názorov medzi odborníkmi, ktorých práca má za následok rad široko prijímaných odporúčaní.

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
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.2008.1 61.2.73]
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. *FPIInnovations 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
