

# MOŽNOSTI POUŽITÍ A LIMITY METODY POSUZOVÁNÍ ŽIVOTNÍHO CYKLU PŘI HODNOCENÍ BIOPALIV

Vladimír Kočí

Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6, Vlad.Koci@vscht.cz

*Důvod pro rozvoj používání biopaliv v energetice a v dopravě spočívá ve snaze nahradit neobnovitelná fosilní paliva, snížit jejich spotřebu a dále omezit antropogenní emise skleníkových plynů do atmosféry. Získávání a užívání biopaliv je řetězec operací, z nichž každá má určitý potenciál podílet se na poškozování životního prostředí (například emisemi skleníkových plynů). Pakliže mají biopaliva být přínosem pro řešení možného nedostatku neobnovitelných surovin a pro snížení globálního oteplování, respektive klimatických změn, je nutné umět zhodnotit environmentální interakce všech zúčastněných procesů včetně jejich možných sekundárních dopadů.*

*Klíčová slova: biopaliva, posuzování životního cyklu, LCA, environmentální dopady*

Došlo 15. 3. 2012, přijato 4. 6. 2012

## 1. Úvod

Nástrojem pro komplexní hodnocení možných environmentálních dopadů biopaliv s ohledem na celý jejich životní cyklus je metoda LCA (Life Cycle Assessment – Posuzování životního cyklu), která v současnosti patrně jako jediná nabízí komplexní přístup k hodnocení této problematiky [1-6].

Metoda LCA je standardizována v normách ČSN EN ISO 14040 a ČSN EN ISO 14044 [7, 8]. Je to komparativní metoda vyjadřující environmentální dopady jednotlivých produktů s ohledem na jejich celý životní cyklus. Hodnoceny jsou tedy všechny emise mající i sekundárně či terciárně vztah k hodnocenému produktu. Produkt v jednotlivých stádiích svého životního cyklu vstupuje do rozdílných interakcí s životním prostředím. Každé stádium tudíž představuje jinou potenciální environmentální zátěž. Jestliže je naším cílem porovnat a zhodnotit environmentální dopady produktů, je třeba dělat to s ohledem na všechna stadia jejich životních cyklů a nezaměřovat se pouze na některá z nich [9].

## 2. Biopaliva z pohledu LCA

### 2.1. Význam LCA pro hodnocení environmentálních dopadů biopaliv

Aby produkt lidské výroby, v našem případě energie (elektrická či obsažená v palivech), byl environmentálně šetrný, je třeba, aby všechny procesy a operace podílející se na jeho vzniku byly šetrné. Je zřejmé, že přínos pro prostředí bude malý, pakliže pouze problémy přesuneme z místa na místo – například, když optimalizujeme výrobu a snížíme její environmentální dopady, ale zároveň tím (třeba volbou materiálů) zhoršíme dopady užívání výrobku či jeho konečného odstranění. Nejinak je tomu u biopaliv. Ukazuje se, že ač samotná produkce energie z biopaliv může prostředí poškozovat méně, např. nižší produkcí skleníkových plynů (GHG), je v důsledku většího množství emisí GHG při pěstování energetických plodin (zemědělské stroje, výroba pesti-

cidů a hnojiv, transport a zpracování biomasy) či změn ve schopnosti půdy uhlík vázat produkce GHG vyšší než úspory při výrobě energie. Tato nepříznivá bilance biopaliv na produkci GHG (a dalších environmentálních problémů) se rovněž dotýká energetické bilance. Ukazuje se, že energie vložená do výroby biopaliv může být vyšší než energie získaná. V takovém případě vede používání biopaliv k zvýšené spotřebě jiných (fosilních) paliv. Nástrojem pro hodnocení tohoto nežádoucího jevu je metoda LCA.

### 2.2. Globální oteplování není pouze CO<sub>2</sub>

Při hodnocení environmentálních dopadů biopaliv není dostatečně zaměřit se pouze na emise CO<sub>2</sub>. Je třeba hodnotit emise všech skleníkových plynů. Vedle uhlíkového cyklu (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) se na problematice globálního oteplování podílí rovněž cyklus dusíku. N<sub>2</sub>O je významný skleníkový plyn, jenž se do atmosféry dostává z obhospodařované půdy. Změny způsobu hospodaření s půdou (jež mohou být vyvolány masivní produkcí plodin za účelem výroby biopaliv) povedou k zvýšenému uvolňování N<sub>2</sub>O. V tomto kontextu je nutno upozornit, že pod pojmem globální oteplování *de-facto* míníme skleníkový jev, nikoli klimatické změny.

### 2.3. Globální oteplování versus klimatické změny

Klimatické změny mohou být vyvolány několika příčinami, z nichž nárůst koncentrace skleníkových plynů v atmosféře je pravděpodobně jedna z klíčových příčin. Nezanedbatelným způsobem se na klimatických změnách podílejí i další antropogenní jevy, které je nutné v oblasti hodnocení biopaliv zohledňovat. Produkce látek podílejících se na rozkladu stratosférického ozonu, nárůst absorpce slunečního záření v atmosféře, emise látek podílejících se na změně schopnosti rostlinstva využívat atmosférický CO<sub>2</sub> a tím snižovat jeho koncentraci se zprostředkovaně rovněž podílejí na rozvoji globálního oteplování. Dalšími významnými vlivy jsou emise látek, které způsobují acidifikaci a vznik

troposférického ozonu a fotooxidantů a veškeré zásahy do krajiny vedoucí k narušení vodního režimu v krajině. Všechny tyto vlivy mají za důsledek úbytek vegetace a tudíž snížení její schopnosti vázat plynný CO<sub>2</sub>. Kromě zmíněných skupin látek je třeba hodnotit i možné další látky mající potenciál ovlivňovat biodiverzitu v krajině, tudíž i stabilitu růstu vegetace (látky ekotoxické a eutrofizující). Rovněž je nutno zmínit, že složení vegetace značně ovlivňuje její schopnosti vázat atmosférický uhlík. Strohé informace o ploše zalesněné krajiny mohou být v tomto ohledu značně zavádějící, neboť například schopnost smrkových monokultur vázat uhlík je jiná než u smíšených lesů či jiných typů porostu.

#### 2.4. Význam dalších kategorií dopadu

Z výše uvedeného vyplývá, že užívání biopaliv neovlivňuje pouze globální oteplování. Ačkoli je globální oteplování primárním důvodem užívání biopaliv, je nutné zohledňovat i jiné možné environmentální dopady. Jedná se o následující kategorie dopadu (environmentální problémy vyvolávané určitými skupinami antropogenních látek):

- Globální oteplování – produkce skleníkových plynů
- Úbytek stratosférického ozonu – látky podílející se na rozkladu ozonu a tím usnadňující vstup sluneční energie do atmosféry
- Acidifikace – látky schopné v prostředí působit kyselou a ovlivňovat tím mimo jiné vegetaci
- Vznik troposférického ozonu – látky podílející se na vzniku fotooxidantů a tím ovlivňující vegetaci
- Eutrofizace – nadbytek živin ve vodách a půdách vede k narušení rovnováhy ekosystémů a dlouhodobě i k jejich rozvratu. Tím dochází mimo jiné k ovlivnění vegetace (skladby a bioprodukce).
- Ekotoxicita – ekotoxické látky mohou narušovat ekosystémy a tudíž i schopnost vegetace vázat CO<sub>2</sub> a produkovat biomasu.

### 3. Potřeba výzkumu v oblasti LCA biopaliv

Existuje několik alternativních typů biopaliv a technologických procesů jejich výroby. Pro účinné snížení environmentálních dopadů dopravy či vytápění

je z pohledu LCA nutné zaměřit se nikoli na rozvoj jednoho či více paliv či technologií, ale zaměřit úsilí na vytvoření funkčních systémů, jež nabízejí splnění funkcí výrobků. Tedy o systémy méně energeticky náročné dopravy či vytápění.

Pro biopaliva je nutné zajistit zvýšení jejich energetické výtěžnosti a snížení jejich uhlíkové bilance s ohledem na všechna stádia jejich životního cyklu – od pěstování až po jejich využívání. Za konec životního cyklu biopaliv nelze považovat uvolnění a využití energie v biopalivech obsažené, ale je třeba do hodnocení jejich environmentálního přínosu/dopadu započítat i důsledky jejich užívání, jako je například rychlejší opotřebení motorů a jejich následná oprava. Energetická výtěžnost paliva může být dobrým vodítkem pro hodnocení environmentálních dopadů, není však parametrem dostatečným z pohledu LCA. Vodítkem pro zjištění maximálního množství energie z biopaliv by mohl být výpočet vycházející z množství rostlinami využitelného solárního toku dopadajícího na Zemi a plochy krajiny využívané pro získávání biopaliv. A to i v případě využívání biopaliv druhé generace.

Pro získávání surovin na výrobu biopaliv je nutné udržovat udržitelné strategie hospodaření v krajině s ohledem na jednotlivé regiony, jejich klimatické i socioekonomické podmínky. Bude nutné zohlednit možné dopady pěstování monokultur na krajinu, množství aplikovaných pesticidů či umělých hnojiv a podobně. Zemědělství v Evropě je založeno především na produkci potravin. Ve většině případů Evropské zemědělství není připraveno na produkci energetických či průmyslových surovin.

Na základě poznatků hodnocení životních cyklů produktů pomocí metody LCA je možné specifikovat určité předpoklady, co by životní cyklus biopaliv neměl způsobovat. Tyto okruhy problémů shrnuje tabulka 1.

V tabulce 1 zmíněné potenciální nedostatky biopaliv lze metodou LCA hodnotit. Aby to ovšem bylo možné, je třeba monitorovat data materiálových a energetických vstupů a výstupů všech procesů podílejících se na životním cyklu biopaliv. Bude nutno jasné a srozumitelně definovat požadavky na data ze zúčastněných procesů formou dotazníku či webové aplikace.

**Tab. 1** Okruhy problémů, jež je pro aplikaci biopaliv možné pomocí LCA sledovat a hodnotit

Okruh problému	Co by životní cyklus biopaliv neměl	Možnost hodnocení problému metodou LCA
Voda	Být náročný na spotřebu vody: Zvýšená spotřeba vody může v regionech vést k jejímu nedostatku či nárůstu ceny [10].	Vysoká Monitorovat spotřebu vody v zúčastněných procesech.
Energie	Být energeticky nevýhodný: životní cyklus biopaliv by neměl spotřebovávat více energie, než kolik jí je schopen poskytnout [11].	Vysoká
Energetický mix	Náročný na spotřebu elektrické energie: Vliv environmentálního profilu elektrické energie na environmentální profil biopaliva může být značný. Jelikož se elektrická energie vyskytuje prakticky ve všech činnostech, tedy i na získávání a využívání biopaliv, může změna způsobu získávání energie ovlivnit i výslednou hodnotu přínosů či zátěží užívání biopaliv.	Vysoká LCA umožní vyjádřit vlivy „složení“ energetického mixu (ekoprofilu) elektrické energie na výsledné dopady používání biopaliv.

**Tab. 1** (pokračování) Okruhy problémů, jež je pro aplikaci biopaliv možné pomocí LCA sledovat a hodnotit

Okruh problému	Co by životní cyklus biopaliv neměl	Možnost hodnocení problému metodou LCA
Živiny v půdě	Podílet se na úbytku živin z půdy v důsledku stálého odčerpávání biomasy: Schopnost půdy produkovat biomasu je vázána na návrat živin do půdy. Soustavné intenzivní využívání půd pro rostlinnou produkci vede k ochuzování půd. Při intenzivním hospodářství půda není nevyčerpatelný zdroj. [12]	Vysoká - ve vztahu k bilanci živin Omezená - oblast degradace a využívání půdy - zde je prostor pro další výzkum.
Transport	Zahrnovat transport biopaliv na velké vzdálenosti: Aby byl environmentální dopad biopaliv co nejmenší a energetická výtěžnost co nejvyšší, je třeba, aby byla biopaliva využívána co nejbližší místu produkce. Užívání paliv by mělo být decentralizováno.	Vysoká Modelování dopravy surovin různými dopravními systémy je v LCA dobře zvládnuto.
Minerální hnojiva	Co nejméně závislý na aplikaci minerálních hnojiv: Výroba a aplikace minerálních hnojiv má významný podíl na environmentálních dopadech získaných biopaliv.	Vysoká
Jiné environmentální dopady	Podílet se na rozvoji jiných environmentálních problémů (kategoriích dopadu): Používáním biopaliv může být sice snížen antropogenní přínos ke skleníkovému jevu, neměly by však být posilovány jiné nežádoucí důsledky. Aplikace biopaliv ve vznětových motorech sice může snížit produkci CO <sub>2</sub> , zároveň ovšem zvyšuje produkci prachových částic, což má zdravotní dopady.	Vysoká LCA dokáže zahrnout a vzájemně porovnávat dopady biopaliv na různé kategorie dopadu.
Nepřímé skleníkové plyny	Nepřímo posilovat skleníkový jev: Zde se obvykle hovoří o „indirect“ GHG emisích či zásazích, majících následně vliv na globální oteplování, ačkoli se nejedná o skleníkové plyny. Například látky umocňující rozklad stratosférického ozonu zesilují následně pronikání sluneční energie do atmosféry a následně její oteplování.	Vysoká LCA dokáže zahrnout a vzájemně porovnávat dopady biopaliv na různé kategorie dopadu.
Monokultury	Vést k pěstování ekologicky nestabilních monokultur: Pěstování rozsáhlých monokultur není pro krajinu vhodné. Vysoká spotřeba pesticidních látek a syntetických hnojiv. To vede k ekologické nestabilitě a k poklesu biodiverzity.	Omezená LCA může identifikovat energetickou a materiálovou náročnost a množství emisí výroby pesticidů a hnojiv včetně jejich transportu a aplikace.
N <sub>2</sub> O z půdy	Vést ke zvýšenému uvolňování N <sub>2</sub> O z půdy: N <sub>2</sub> O významný skleníkový plyn, který se při změně způsobu obhospodařování může z půdy uvolňovat. Uvolňování N <sub>2</sub> O je posilováno změnou způsobu obhospodařování, zvýšením hnojením dusíkatými hnojivy či druhem vegetace, ale i lokálním klimatem či typem půdy [13]. Obecně bude vhodné studovat i cyklus dusíku.	Omezená LCA může na základě experimentálních dat vyjádřit zvýšení emisí N <sub>2</sub> O ve vztahu k získané energii z biopaliva.
Ekonomicko-sociální aspekty	Vést k ekonomicky nepřírodným či umělým vztahům založeným například na dotacích: Změny ekonomiky či sociálních vztahů mohou vyvolat výrazné změny v četnosti používání biopaliv (zejména 1. generace) a následně k nárůstu environmentálních dopadů biopaliv. Změna nějakého předpisu či nařízení (dotýkajícího se například produkce elektrické energie) může vést ke změně environmentálních dopadů biopaliv.	Omezená Ekonomicko-sociální aspekty nejsou běžně předmětem LCA. K dispozici je LCC (náklady životního cyklu). Sociální aspekty LCA jsou v současnosti intenzivně zkoumány Evropskou komisí.
Výtěžek biopaliv z ha krajiny	Být náročný na plochu využívané krajiny: Výtěžnost biopaliv z určitého typu krajiny může být známá pro biopaliva 1. generace. Horší situace může být v případě biopaliv 2. generace. Naopak může být vhodné využití biopaliv z řas kultivovaných jako součást technologických provozů [14, 15]. Řasy jsou zajímavý zdroj biomasy z odpadů (i odpadních plynů). Odpady často obsahují řasami využitelné látky. Pro kultivaci řas by bylo vhodné používat odpadní teplo. O řasách se rovněž hovoří jako o producentech biopaliv třetí generace.	Nízká
Změna kvality půdy	Vést ke změnám v hospodaření s půdou a k ovlivnění jejich ekosystémových funkcí: Zde se hovoří o změnách v „soil integration“. Změna kvality půdy může mít vliv na C-cyklus a na N-cyklus. Oba cykly zásadně ovlivňují globální oteplování [12]. Významnou ekosystémovou funkcí půdy je také schopnost „čistit“ vodu a vytvářet zdroje kvalitní surové vody.	Nízká LCA bude potřebovat definovat novou kategorii dopadu „soil integration“.

#### 4. Výzkum biopaliv v oblasti LCA

Pro aplikaci LCA za účelem hodnocení biopaliv bude třeba pomocí zaměřeného výzkumu vyřešit následující okruhy problémů:

- Určení **funkční jednotky** studií LCA: Biopaliva mohou být hodnocena ve vztahu k jejich hmotnosti, ale lépe k obsahu energie/kg nebo ve vztahu k množství funkce, kterou jejich užití splňuje (např. počet ujetých kilometrů). Poslední zmíněný přístup, označovaný pro oblast dopravy jako well-to-wheels, umožňuje do studií LCA zahrnout i náklady a vstupy na provozování zařízení. Je třeba rozlišovat aplikaci biopaliv ve vznětových a zážehových motorech. Opotřebením různých typů motorů v případě spalování bude různé, různé budou tedy i provozní materiálové a energetické náklady. V oblasti energetiky by se jednalo například o opotřebením kotlů či jiné provozní operace. Význam biopaliv může být hodnocen například jako úspory GHG vztahené na ujetou vzdálenost ( $\text{kg CO}_2 \text{ ekv. km}^{-1}$ ), či úspory GHG při transportu jednotkové hmotnosti nákladu na jednotkovou vzdálenost ( $\text{kg CO}_2 \text{ ekv. km}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ ).
- **Hranice systému:** Bude nutné jasně specifikovat a vhodně zvolit hranice systému, v rámci kterých bude životní cyklus biopaliv hodnocen. Do hranic systému by mohly být zařazeny i procesy užívání biopaliv a případně zvýšené nároky procesů opravy motorů spalujících biopaliva.
- **Alokace:** Alokace je specifický úkol v rámci studií LCA. Alokace je postup rozdělení environmentálních dopadů jednoho procesu mezi dva a více produktů z tohoto procesu vystupující. Například při získání biopaliva vzniklého jako odpad z předchozího procesu, je nutné dopady předchozího procesu rozdělit mezi hlavní produkt a získaný odpad. Tato problematika se u biopaliv a LCA intenzivně řeší. Možná alokační pravidla jsou následující: hmotnost (v některých situacích velmi nevhodné); energetický obsah (nedostatečné); množství nahrazené energie z fosilního paliva (orientační); cena (diskutabilní).
- Nutno sjednotit **metodiku sběru dat** pro studie LCA – mezioborový přístup LCA bude vyžadovat jednotný formát dat.
- Metodika **hodnocení kvality vstupních dat:** Vstupní data používaná pro studie LCA mohou být zatížena různě velkou chybou. Míra těchto odchylek může mít velký vliv na konečnou interpretaci zjištěných výsledků.
- **Verifikace dat:** Z praxe zjišťovaná data bude nutno kriticky přezkoumávat a ověřovat. Za tímto účelem by bylo vhodné vytvořit jednotný systém (například webovou aplikaci).

#### 5. Závěr

Metoda LCA umožňuje srovnání energetické výtežnosti a environmentálních dopadů jednotlivých konceptů využívání biopaliv. Je to vhodný nástroj identifikace, zda zavedením biopaliv dojde k zlepšení environmentálních dopadů a ke zvýšení energetické nezávislosti na fosilních či jiných palivech. Ačkoli bylo zveřejněno již několik studií LCA biopaliv, byly většinou zaměřeny pouze na spotřebu a získání energie a na produkci skleníkových plynů. Různé studie LCA hodnotí biopaliva různým způsobem (ovlivněno nejen metodickými předpoklady, ale i geografickými specifiky), není proto možné pro hodnocení biopaliv v ČR přejímat výsledky zahraničních studií. Pro účely ČR bude nutné zvolit jednotnou metodiku a hledat její soulad s ostatními Evropskými zeměmi.

Pro objektivní zhodnocení biopaliv a jejich environmentálních interakcí bude nutno provádět kompletní LCA studie zaměřené na všechny významné kategorie dopadu. LCA je mezioborový analytický nástroj umožňující identifikovat přenášení problému z místa na místo, respektive z jednoho environmentálního problému do jiného. LCA vyžaduje meziresortní řešení problémů a spolupráci. Jako zajímavý námět považuji rovněž zohlednění ekologické újmy (zákon o ekologické újmě) do problematiky biopaliv.

#### Poděkování

Práce vznikla s finanční podporou výzkumných záměrů MSM 6046137308. Děkuji recenzentům za cenné připomínky a doporučení.

#### Literatura

1. Dreier, T., B. Geiger, and U. Wagner, Environmental impacts and system analysis of biofuels. Biomass for Energy and Industry, 1998: p. 544-548.
2. Requena, J.F.S., et al., Life Cycle Assessment (LCA) of the biofuel production process from sunflower oil, rapeseed oil and soybean oil. Fuel Processing Technology, 2011. **92**(2): p. 190-199.
3. Kim, S. and B.E. Dale, Life cycle assessment of various cropping systems utilized for producing biofuels: Bioethanol and biodiesel. Biomass & Bioenergy, 2005. **29**(6): p. 426-439.
4. Kalnes, T., T. Marker, and D.R. Shonnard, Green diesel: A second generation biofuel. International Journal of Chemical Reactor Engineering, 2007. **5**: (no pp. given).
5. Nelson, G.C. and R.D. Robertson, Green gold or green wash: Environmental consequences of biofuels in the developing world. Review of Agricultural Economics, 2008. **30**(3): p. 517-529.
6. Hoekman, S.K., Biofuels in the US - Challenges and Opportunities. Renewable Energy, 2009. **34**(1): p. 14-22.

7. ISO 14040: Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Zásady a osnova. 2006, ČNI: Praha.
8. ISO 14044: Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Požadavky a směrnice. 2006, ČNI: Praha.
9. Kočí, V., Posuzování životního cyklu - Life Cycle Assessment - LCA. 2009, Chrudim: Ekomonitor. p. 263.
10. Gopalakrishnan, G., et al., Biofuels, Land, and Water: A Systems Approach to Sustainability. Environmental Science & Technology, 2009. 43(15): p. 6094-6100.
11. Rodriguez, M.A.R., et al., An LCA based indicator for evaluation of alternative energy routes. Applied Energy, 2011. 88(3): p. 630-635.
12. Anderson-Teixeira, K.J., et al., Changes in soil organic carbon under biofuel crops. Global Change Biology Bioenergy, 2009. 1(1): p. 75-96.
13. Crutzen, P.J., et al., N<sub>2</sub>O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. Atmospheric Chemistry and Physics, 2008. 8(2): p. 389-395.
14. Sander, K. and G.S. Murthy, Life cycle analysis of algae biodiesel. International Journal of Life Cycle Assessment, 2010. 15(7): p. 704-714.
15. Singh, J. and S. Cu, Commercialization potential of microalgae for biofuels production. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2010. 14(9): p. 2596-2610.

## Summary

Vladimír Kočí

*Institute of Chemical Technology Prague, Technická 5,  
166 28 Prague 6, Czech Republic*

### ***Application potentials and limits of Life Cycle Assessment of biofuels***

The article briefly summarizes the current problematic dealing with Life Cycle Assessment of biofuels. Principal needs for application of LCA on this topic in Czech Republic are presented, mainly the questions associated with allocation rules, data collection and verification.