

**ANALÝZA ŽIVOTNÍHO CYKLU FOSILNÍCH
MOTOROVÝCH PALIV A BIOPALIV PRO TVORBU
KONCEPČNÍCH DOKUMENTŮ ZAVEDENÍ DANĚ
Z CO₂ V OBLASTI MOBILNÍCH ZDROJŮ
ZNEČIŠŤOVÁNÍ**

LUCIA

1.1.1.1 Extrakt závěrečné zprávy

Prosinec 2010

Identifikační údaje projektu

Přidělené evidenční označení projektu: SPII4i1/33/07

Poskytovatel: Ministerstvo životního prostředí, Vršovická 65, 100 10 Praha 10

Odborný garant ministerstva: Ing. Jiří Hromádko, Ph.D.

Příjemce: Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., Líšeňská 33a, 636 00 Brno

Zastoupený: prof. Ing. Karel Pospíšil, Ph.D., MBA, ředitel

.....

podpis, datum

Odpovědný řešitel projektu: Ing. Jiří Jedlička

.....

podpis, datum

Spoluřešitelé:

Ing. I. Galia

Ing. J. Holomek

Ing. R. Cholava

Ing. J. Jedlička

Ing. P. Kuba

Ing. M. Matysík

Ing. M. Podrazil

Ing. V. Pražák

Ing. Bc. P. Smékal, Ph.D.

Ing. M. Šilhan, Ph.D., MBA

Ing. et Ing. L. Špička

Ing. A. Vopat

OBSAH

1	ÚVOD	4
2	ŘEŠENÍ	5
2.1	STANOVENÍ CÍLE LCA ANALÝZY.....	5
2.2	FUNKČNÍ JEDNOTKA	6
2.3	HRANICE SYSTÉMU	6
2.4	JEDNOTKOVÉ PROCESY.....	7
2.5	INVENTARIZAČNÍ ANALÝZA	7
2.6	ALOKACE	7
2.7	POSUZOVÁNÍ DOPADU ŽIVOTNÍHO CYKLU	7
2.8	SYNTETICKÁ HNOJIVA	8
2.9	ZEMĚDĚLSKÁ PRAXE	8
2.10	TECHNOLOGIE VÝROBY	9
2.11	EXTERNÍ NÁKLADY ZMĚNY KLIMATU V DOPRAVĚ	9
3	VÝSLEDKY ANALÝZ	11
3.1	HODNOCENÍ A VÝKLAD WELL-TO-WHEELS ANALÝZY	11
3.2	HODNOCENÍ A VÝKLAD LCCA.....	14
4	ZÁVĚR	16
5	SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	17

1 ÚVOD

Se vzrůstajícím tlakem na zavádění alternativních paliv v dopravě, zejména biopaliv, v různých světových regionech, se stále častěji také otevírá otázka vlivu výroby biopaliv na životní prostředí a udržitelnost tohoto procesu. V současnosti se kromě pozitivních dopadů využívání biopaliv v dopravě, jako jsou snížení závislosti na dovozu ropy, snižování vlivu dopravy na životní prostředí, nové zemědělské příležitosti atd., začínají na odborné úrovni řešit otázky udržitelnosti spotřeby biopaliv. Mezi tyto otázky patří například energetická bilance biopaliv, bilance emisí CO₂ v celém životním cyklu, negativní dopady spojené zejména se zemědělskou praxí, například zábor půdy, narušení biodiverzity, nadměrná spotřeba vodních zdrojů, znečištění ŽP v důsledku nadměrného využívání syntetických hnojiv, apod. Odpovědi na některé z uvedených otázek přináší analýza hodnocení životního cyklu (LCA) motorových paliv, v souvislosti s motorovými palivy také nazývaná od studny ke kolům (well-to-wheels).

Metoda LCA se vyvinula v USA z metody „Zdroje a profilová analýza z hlediska životního prostředí“ (Resource and Environmental Profile Analysis, zkratka REPA), která na základě analýzy nákladů a užitků posuzovala výrobky z hlediska spotřeby přírodních zdrojů a energie v době ropné krize, tj. na přelomu 60-tých a 70-tých let minulého století. Koncem 70-tých let došlo k přenosu stále vylepšované metody do Evropy, především do Německa a Švýcarska, kde byla používána hlavně při rozhodování o výběru obalů na nápoje. Na konci 80-tých let se do metody, která dostávala různé názvy v závislosti na zemi, v níž byla používána, zařazuje i posuzování likvidace výrobku, a zájem o metodu stále roste. Objevuje se značný počet příruček a vznikají i potřebné databáze. V roce 1979 byla založena Společnost pro environmentální toxikologii a chemii (Society for Environmental Toxicology and Chemistry, zkratka SETAC), která se mezi jiným začala intenzivně věnovat i rozvoji metody, především sjednocení postupu. V roce 1990 na pracovním semináři této společnosti ve Vermontu byl schválen dnes užívaný jednotný název metody a ustanovilo se každoroční setkávání odborníků za účelem jejího dalšího rozvoje.

Posuzování životního cyklu, nebo-li metoda LCA (Life-Cycle Assessment), je významný analyticko-informační nástroj, s jehož pomocí lze zjistit a posoudit vliv vybraného systému na životní prostředí, v průběhu jeho celého životního cyklu, tj. po sobě jdoucích provázaných stádiích výrobního systému od získání surovin nebo tvorby přírodních zdrojů po konečné zneškodnění. Základem metody je stanovení energeticko-materiálových toků, které sledovaný systém spojují s jeho okolím.

Typická LCA studie se skládá z následujících stádií:

- Cílová a rámcová definice
- Detailní analýza soupisu životního cyklu (LCI), se shromážděnými daty o energii a užití zdrojů a emisích v živ. prostředí během životního cyklu.
- Posouzení možného dopadu, spojeného se způsoby použití zdrojů a s emisemi.
- Interpretace výsledků z předešlých fází studie ve vztahu k cílům studie.

Hodnocením životního cyklu motorových paliv se zabývá několik významných institucí, jak na úrovni národní tak mezinárodní. Jako příklad nejcitovanějších well-to-wheels analýz v evropském regionu lze uvést konsorcium EUCAR, CONCAVE, JRC: „Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context“ aktualizovanou v roce 2007, nebo analýzu z roku 2002 autorů GM, L-B Systemtechnik, BP, ExxonMobil, Shell, TotalFinaElf: „Well-to-Wheel Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Advanced Fuel/Vehicle Systems - A European Study“. Z institucí, které řeší

LCA analýzy motorových paliv na lokální úrovni jednotlivých států jsou nejznámějšími švýcarská EMPA a německá IFEU.

2 ŘEŠENÍ

V rámci daného projektu byla řešena analýza hodnocení životního cyklu fosilních motorových paliv a biopaliv, jejichž použití se jeví jako perspektivní v současnosti a v horizontu blízké budoucnosti, ať již ve formě směsného motorového paliva, či v podobě čistého paliva. Hlavními cíly autorů studie bylo vyhodnotit bilanci emisí CO₂ v celém životním cyklu definovaných motorových paliv a energetickou bilanci výroby jednotlivých motorových paliv. Nad rámec současného stavu řešení LCA analýz byla také během řešení projektu zpracována analýza hodnocení ekonomických nákladů v celém životním cyklu (LCCA – Life-Cycle Cost Assessment), která bude sloužit jako podkladový materiál pro návrh zavedení daně z CO₂ v oblasti mobilních zdrojů znečišťování a také pro další aplikace nástrojů, zajišťujících udržitelné využívání motorových paliv.

Na základě výsledků Well-to-Wheel analýzy byla zpracováno ekonomické hodnocení dopadů na změnu klimatu při výrobě a užití fosilních motorových paliv a biopaliv v podmínkách České republiky. Toto hodnocení, provedené na základě výpočtu externích nákladů definovaných paliv, bude sloužit pro návrh zavedení daně z CO₂ v oblasti mobilních zdrojů znečišťování a také pro další aplikace nástrojů zajišťující udržitelné využívání motorových paliv.

Analýza hodnocení životního cyklu i ekonomických nákladů v celém životním cyklu byla zpracována pro motorová paliva, jejichž zavádění se v současnosti jeví jako perspektivní v České republice. Rozhodujícími kritérii definování analyzovaných motorových paliv byly klimatické podmínky ČR, technologická dostupnost průmyslové výroby, legislativní a koncepční materiály v oblasti motorových paliv, respektive biopaliv (Zákon o ochraně ovzduší, Dlouhodobá strategie využití biopaliv v České republice, Návrh víceletého programu dalšího uplatnění biopaliv v dopravě). Definovaná motorová paliva analyzována metodami LCA a LCCA v rámci řešeného projektu jsou:

- Automobilový benzin Natural 95 (ČSN EN 228)
- Bioetanol – pšenice, cukrová řepa
- Bionafta – MEŘO (ČSN EN 14214)
- Motorová nafta (ČSN EN 590)
- Směsná motorová paliva pro zážehové motory - E5, E10, E85
- Směsná motorová paliva pro vznětové motory - B5, B7, B10, B30.

2.1 STANOVENÍ CÍLE LCA ANALÝZY

Fáze stanovení cíle analýzy je pro její samotnou tvorbu velice důležitá, neboť určuje proč se LCA provádí a to včetně zamýšleného použití, důvodů provádění studie, využití výsledků a popisuje také systém a kategorie údajů. Musí brát také v úvahu zamýšlené „publikum“, tj. pro koho je studie určena a kdo bude s výsledky studie seznámen.

Cílem LCA analýzy řešené v rámci projektu je vyhodnocení emisí CO_{2ekv} a spotřeby energie v celém životním cyklu definovaných motorových paliv.

Cílem LCCA analýzy řešené v rámci projektu je vyhodnocení ekonomických nákladů v celém životním cyklu definovaných motorových paliv.

2.2 FUNKČNÍ JEDNOTKA

Funkční jednotka je kvantifikovaný výkon výrobního systému, který slouží jako referenční jednotka ve studii posuzování životního cyklu. Funkční jednotky jsou odlišné v závislosti na účelu a cíli zpracovávané Well-to-Wheels analýzy. V různých LCA studiích motorových paliv se lze setkat s funkční jednotkou ujetí definované vzdálenosti definovaným vozidlem (osobní vozidlo – studie CONCAWE, velkoprostorové vozidlo – studie GM, autobus, apod.) nebo výroba definovaného množství energetického obsahu paliva, atd.

Funkční jednotkou LCA a LCCA analýzy definovaných motorových paliv řešeného projektu je ujetí vzdálenosti 1 km běžným osobním vozidlem v České republice. Běžným osobním vozidlem v ČR byla řešitelským týmem stanovena Škoda Nová Fabia, splňující emisní limit EURO IV.

2.3 HRANICE SYSTÉMU

Hranice systému (rozhraní mezi výrobním systémem a okolním prostředím nebo jinými výrobními systémy) určuje, které jednotkové procesy musí být do LCA zahrnuty. Stanovení hranic systému bylo dáno několika faktory, jimiž jsou stanoveny předpoklady, omezující kritéria, dostupnost údajů, výše nákladů a zamýšlené publikum. Systém byl modelován tak, že jako vstupy a výstupy na jeho hranicích jsou elementární toky, tj:

- 1) materiál nebo energie vstupující do posuzovaného systému ze životního prostředí bez předchozí přeměny člověkem;
- 2) materiál nebo energie vystupující z posuzovaného systému do životního prostředí bez následné přeměny člověkem.

V průběhu byly zvažována jednotlivá stádia životního cyklu (po sobě jdoucí jednotlivá stádia výrobního systému od získávání surovin nebo tvorby přírodních zdrojů ke konečnému zneškodnění), jednotkové procesy (nejmenší část výrobního systému, pro kterou jsou sbírány údaje během provádění posuzování životního cyklu) a toky, např.:

- vstupy a výstupy v hlavní výrobní/zpracovatelské řadě
- distribuce/doprava
- výroba a použití paliv, elektřiny a tepla
- užití a údržba výrobků
- odstraňování výrobních odpadů a výrobků
- obnova použitých výrobků (včetně nového použití, recyklace a získání energie)
- výroba, údržba a vyřazení investičních zařízení
- případné operace
- ostatní záležitosti vztahující se k posuzování dopadu.

Jako vhodné se ukázalo popisování systému pomocí výrobních diagramů z důvodu zřetelnosti jednotkových procesů a jejich vzájemných vztahů (součást výroční zprávy za rok 2007, 2008). Každý z jednotkových procesů byl na začátku popsán tak, aby bylo zřejmé:

- kde jednotkový proces začíná (získávání surovin nebo meziproductů)
- charakter přeměn a operací, jež jsou částí jednotkového procesu
- kde jednotkový proces končí (určení meziproductů nebo finálních výrobků).

Systém byl popsán tak podrobně a jasně, aby i ostatním zpracovatelům umožňoval reprodukci inventarizační analýzy (fáze posuzování životního cyklu zahrnující stanovení a kvantifikaci vstupů a výstupů pro daný výrobní systém v průběhu celého životního cyklu).

2.4 JEDNOTKOVÉ PROCESY

Pro definované hranice systémů LCA analýz byly následně odborným týmem řešitelů definovány jednotkové procesy. Tyto jednotkové procesy odpovídají současným moderním výrobním technologiím na území České republiky. Zpracováním skutečných výrobních procesů v analýze je splněn jeden ze základních požadavků na studie LCA, a to pracovat s konkrétními daty v maximálně možné míře. Za tvorbu jednotkových procesů odpovídali členové řešitelského týmu následovně:

- Výroba syntetických hnojiv – Svaz chemického průmyslu České republiky
- Zemědělská praxe, výroba biopaliv – ADW Holding, s.r.o.
- Výroba fosilních motorových paliv – Česká asociace petrolejářského průmyslu a obchodu
- Emise z dopravy – Centrum dopravního výzkumu, v.v.i.

2.5 INVENTARIZAČNÍ ANALÝZA

K definovaným jednotkovým procesům byly během řešení v roce 2008 přiřazeny energetické vstupy, surovinové a materiálové vstupy, materiálové výstupy, emise škodlivin, na základě zpracovaných inventarizačních tabulek jednotlivými členy řešitelského týmu pro reálné průmyslové procesy v České republice. Procesy pro něž nebylo možné získat dostatečně přesná data byly zpracovány v LCA databázi Boustead Model, která jako jediný LCA software obsahuje data základních procesů pro Českou republiku.

2.6 ALOKACE

Termínem alokace se rozumí rozdělení vstupních a výstupních toků procesu do různých produktů podle jasně stanovených postupů. Při alokaci mají být vstupy a výstupy systému rozděleny mezi různé produkty nebo funkce, způsobem, který odráží vlastní fyzikální vztahy mezi nimi. U zahraničních WTW studií byly použity různé alokační postupy, např. studie CONCAWE řešila alokaci systémem substituce, EMPA alokovala data na základě tržní hodnoty produktů.

V souvislosti vypracovávané studie s energetickým průmyslem, a to i možnosti energetického využití všech ostatních produktů z alokovaných jednotkových procesů, byla řešitelským týmem zvolena alokace vstupních a výstupních toků na základě energetického obsahu jednotlivých produktů vystupujících z jednotkových procesů.

2.7 POSUZOVÁNÍ DOPADU ŽIVOTNÍHO CYKLU

Fáze posuzování dopadu se zaměřila na vyhodnocování významu potenciálních environmentálních dopadů za použití výstupů inventarizační analýzy. Proces zahrnoval související inventarizační údaje s určitými environmentálními kategoriemi dopadu a indikátory kategorií.

V souvislosti s cílem a rozsahem studie a porovnatelností studie se zahraničními výstupy byla řešitelským týmem zvolena posuzovaná kategorie dopadu Změny klimatu, která je popsána v tabulce 1.

Kategorie dopadu	Změna klimatu.
Výsledky LCI	Množství skleníkových plynů na funkční jednotku.
Charakterizační model	Model pro 100 let, Mezivládní panel pro změny klimatu (IPCC).
Indikátor kategorie dopadu	Infračervené záření ($W \cdot m^{-2}$)
Charakterizační faktor	Potenciál globálního oteplování (GWP_{100}) pro každý skleníkový plyn ($kg CO_{2ekv} \cdot kg \text{plynu}^{-1}$).
Výsledek indikátoru kategorie	$kg CO_{2ekv}$ na funkční jednotku ($g CO_{2ekv} \cdot km^{-1}$).

2.8 SYNTETICKÁ HNOJIVA

Syntetická hnojiva vstupující do analýzy LCA byla vybrána na základě současných moderních zemědělských technologií pěstování plodin pro výrobu biopaliv. Zemědělská hnojiva pro pěstování řepky a pšenice byla definována na základě portfolia vyráběných hnojiv v České republice, jedná se o tyto produkty: DAM 390, DASA, LAV/LAD, NPK.

Kapalné hnojivo DAM 390 je směsí roztoku dusičnanu amonného a močoviny. Výchozími surovinami pro jeho výrobu jsou zředěný roztok dusičnanu amonného o koncentraci 62 – 64 % a granulovaná močovina. Výroba probíhá diskontinuálně (šaržovitě). Expedice hnojiva se provádí převážně autocisternami nebo železničními cisternami, v malé míře lze použít i lodě.

Hnojivo DASA, skládající se z dusičnanu a síranu amonného, na trh dodávané pod obchodním názvem LOVODASA 26 + 13 S, je vzhledem k přítomné síře žádaným pro pěstování celé řady plodin, mezi nimi též řepky olejné. Jeho výroba nemá zdaleka tak dlouhou tradici jako ostatní hnojiva, ale je stále více požadováno odběrateli jak na tuzemském, tak i zahraničních trzích.

Hnojivo LAV/LAD je směsí dusičnanu amonného buď s vápencem (LAV) nebo dolomitickým vápencem (LAD). Příklad vápence či dolomitu pomáhá snížit obsah dusíku ve vyrobeném hnojivu z původních cca 34,5 na 27,5 %; hnojivo tohoto složení je považováno za bezpečné jak pro přepravu, tak pro skladování a další manipulaci.

Vícesložková hnojiva typu NPK se vyrábějí jedním ze dvou nejdůležitějších postupů: tzv. nitrofosfátovým způsobem, nebo procesem s použitím kombinace kyselin. Hnojivo je na trh dodáváno pod obchodním názvem LOVOFERT NPK 13,5 – 18 – 18. Vyrábí je Lovochemie, a.s. v závodě v Lovosicích, a to prvním ze shora uvedených postupů.

2.9 ZEMĚDĚLSKÁ PRAXE

V posledních letech došlo k progresivní změně z hlediska zavedených postupů v zemědělské praxi. Do popředí se totiž dostal termín a s ním spojené aktualizované postupy „Dobrá zemědělská praxe“, která je nejčastěji citována právě ve spojení s pěstováním plodin pro výrobu biopaliv. Z tohoto důvodu byly pro analýzu použity jednotkové procesy pěstování zemědělských plodin moderními technologickými postupy. V souvislosti s předpokladem dobré zemědělské praxe pěstování plodin pro výrobu biopaliv není uvažováno s využitím půdy, která není určena pro zemědělské účely, a tedy do analýzy nejsou započítány emise

CO₂ spojené s obděláváním nezemědělské půdy (např. zúrodnování lesní půdy, mokřadů, apod.).

Pro pěstování pšenice je používána takzvaná minimalizace zemědělské výroby resp. bezorebný způsob pěstování. Z technologických postupů je tak vyloučena hluboká orba, což přináší významné úspory nutných energií.

Pro pěstování cukrové řepy je používán klasický způsob pěstování s hnojením statkovými hnojivy a hlubokou orbou. Při uvažovaných procesech je v maximální míře využívána nejmodernější technika včetně řepných kombajnů pro sklizeň, umožňující maximální efektivitu a úsporu energií. I tak, vzhledem k velkému objemu hmoty s vysokým obsahem vody je sklizeň energeticky náročnější než u jiných plodin.

U řepky olejné je technologie pěstování velice podobná pěstování pšenice. Rovněž je využívána minimalizace (bezorebný způsob hospodaření). Pro založení porostů řepky je navíc velice důležité dodržení agrotechnických lhůt. Proto je třeba dbát na vhodnou předplodinu tak, aby bylo možno včasné zasetí plodiny.

2.10 TECHNOLOGIE VÝROBY

Zvolené technologie výroby biopaliv byly vybrány na základě analýzy současných primárních průmyslových technologií výroby biopaliv v ČR. V ČR jsou prozatím dostupné průmyslové technologie výroby MEŘO a etanolu z pšenice a cukrové řepy. Výroba biopaliv byla řešena za použití spalování zemního plynu. Čistá biopaliva nejsou v současnosti na trh ČR dodávána. Z tohoto důvodu byla v LCA analýze biopaliv počítána doprava biopaliv do distribučních míst z průměrné dopravní vzdálenosti nákladní dopravy v ČR v poměru železnice/silnice 50:50.

Výroba MEŘO - řepkové semeno pro výrobu metylesteru řepkového oleje je nejprve předlisováno na šroubových lisech. Tím získáme surový olej a pokrutiny. Pokrutiny jsou dále zpracovávány v extraktoru, kde je z nich extrahován zbytkový olej. Celková výtěžnost oleje se pohybuje mezi 38 až 40 % oleje v závislosti na kvalitě suroviny. Zbytkový olej v extrahovaných šrotech je max. 2 % hm. Olej pro zpracování na metylester je nutno zbavit některých látek v něm obsažených a to především fosfolipidů. Proto je dalším krokem zpracování surového oleje „super deguming“. Po tomto kroku je olej v dostatečné kvalitě pro esterifikaci.

Výroba etanolu (pšenice) - popisovaná technologie představuje cestu suchého mletí obilovin s navazující vsázkovou SSF technologií fermentace, destilací a odvodnění ethanolu molekulovými sítí. Kvalita vyrobeného lihu splňuje požadavky pro přímé přimíchávání i pro výrobu ETBE.

Výroba etanolu (pšenice) - celý proces výroby etanolu z cukrové řepy se skládá z následujících technologických kroků: suchý příjem řepy, plavení a praní řepy, zpracování kořinek, čerpací stanice plavící a prací vody, řezání vyprané řepy, difuze, úprava surové difuzní šťávy, řízkolisová stanice, sušárna řízků, sklad lisovaných řízků, sklad pelet, vodní hospodářství plavící a prací vody, destilace a zpracování výpalků.

2.11 EXTERNÍ NÁKLADY ZMĚNY KLIMATU V DOPRAVĚ

Externí náklady silniční, železniční a lodní přepravy vstupních surovin, polotovarů a finálních výrobků jsou stanoveny pomocí „Handbook on estimation of external costs in the transport sector“. Jejich jednotka je €/t CO₂. Doporučené hodnoty s výhledem do roku

2050 ukazuje tab. 2. Změny intervalu doporučených hodnot v letech 2010-2020 jsou založeny na politických cílech evropského společenství. Evropská komise a jednotlivé členské státy oznámily ambiciózní cíle snížení emisí do roku 2020 (20 až 30% snížení oproti roku 1990). Dosažení těchto cílů bude znamenat zvýšené náklady na snižování emisí, což se promítne do změny rozpětí externích nákladů změny klimatu. Pro delší časové období (2030 - 2050) jsou doporučené hodnoty založeny na nákladech na odstranění škod. V tomto případě zatím nejsou k dispozici dohodnuté cíle politiky, pro které by mohli být posouzeny náklady na zamezení škod. V delším časovém horizontu se jedná o náklady budoucích emisí CO₂, jejichž hodnota se předpokládá vyšší, než hodnota pro dnešní emise.

Tab. 2 Externí náklady změny klimatu

	Dolní mez [€/t CO ₂]	Střední hodnota [€/t CO ₂]	Horní mez [€/t CO ₂]
2010	7	25	45
2020	17	40	70
2030	22	55	100
2040	22	70	135
2050	20	85	180

Tyto doporučené hodnoty jsou dále použity pro stanovení externích nákladů změny klimatu pro nákladní železniční a vnitrozemskou lodní dopravu. Při jejich stanovení se vycházelo z výsledku well-to-wheel analýzy (Concawe, 2007) pro jednotlivá paliva a z emisních faktorů databáze TREMOVE. Hodnoty použité pro výpočtový model jsou uvedeny v tabulkách 3. a 4.

Tab. 3 Externí náklady nákladní železniční dopravy

	Dolní mez [€/vlakový km]	Střední hodnota [€/vlakový km]	Horní mez [€/vlakový km]
železniční, elektrická trakce	0,086	0,307	0,552
železniční, dieselová trakce	0,097	0,346	0,662

Tab. 4 Externí náklady vnitrozemské nákladní lodní dopravy

	Dolní mez [€/lodní km]	Střední hodnota [€/lodní km]	Horní mez [€/lodní km]
lodní, suchý náklad, 250-400 t	0,020	0,080	0,150
lodní, suchý náklad, 400-650 t	0,030	0,110	0,200
lodní, suchý náklad, 650-1000 t	0,050	0,170	0,300
lodní, suchý náklad, 1000-1500 t	0,070	0,230	0,420

Pro stanovení externích nákladů změny klimatu v případě námořní dopravy se vycházelo ze studie „External costs in maritime transport“, ve které jsou stanoveny na základě ročního přepravního výkonu a celkové roční produkce skleníkových plynů při realizace přepravních výkonů. Sledované parametry jsou členěny podle kategorie plavidel. Pro účely LCCA studie byly uvažovány ropné tankery a plavidla pro přepravu volně loženého nákladu. Přehled ročních přepravních výkonů a emisí CO_{2ekv.} uvažovaných kategorií plavidel jsou uvedeny v tabulce 5.

Tab. 5 Přepravení výkony a emise námořní lodní dopravy

	Přepravení výkon [mil. tkm/rok]	Emise CO₂ ekv. [mil. t/rok]
Tankery - EU flotila	5 002 000	56,7
Tankery - světová flotila	22 187 000	282,5
Lodě pro volně ložený náklad – EU flotila	3 481 000	34,9
Lodě pro volně ložený náklad – světová flotila	16 907 000	175,2

Jelikož není známá příslušnost lodí, které realizují dopravu surovin zahrnutých do LCA studie je při dalším výpočtu hodnota EU flotily použita pro určení dolní meze a hodnota světové flotily použita pro stanovení horní meze externích nákladů změny klimatu. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 6.

Tab. 6 Externí náklady námořní lodní dopravy

	Dolní mez [€/t km]	Střední hodnota [€/t km]	Horní mez [€/t km]
Tankery	0,000079	0,000312	0,000573
Lodě pro volně ložený náklad	0,000070	0,000258	0,000466

3 VÝSLEDKY ANALÝZ

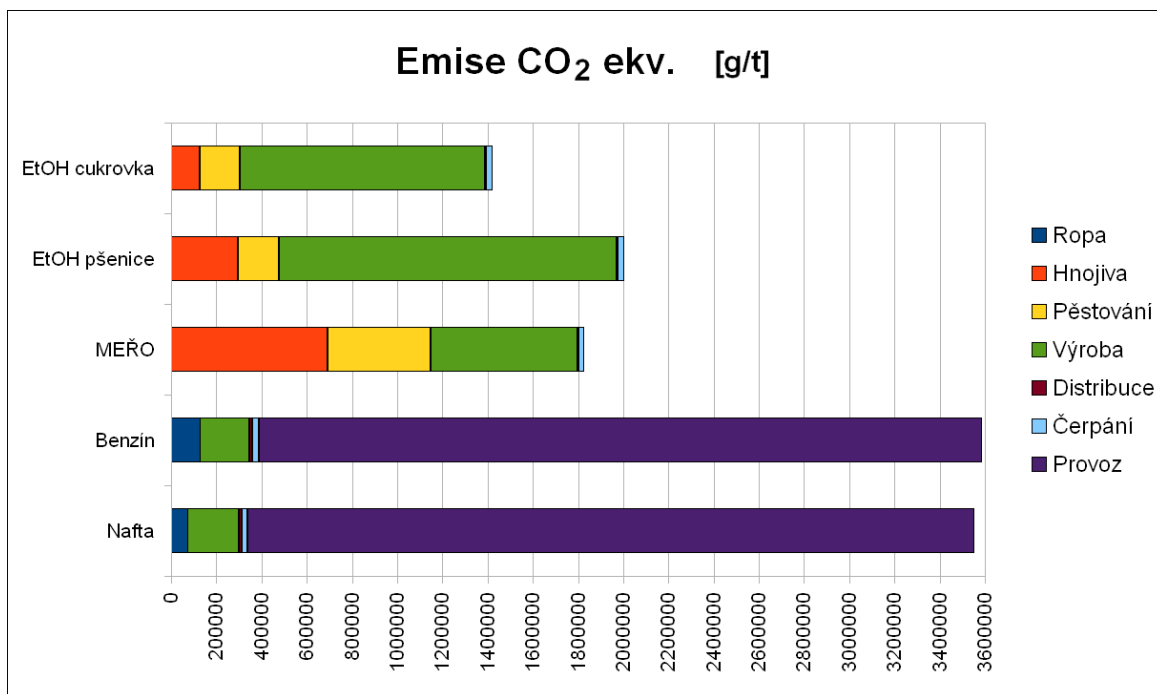
3.1 HODNOCENÍ A VÝKLAD WELL-TO-WHEELS ANALÝZY

Hodnoty emisí CO₂ ekv. v jednotlivých fázích životního cyklu biopaliv v procentuálním vyjádření jsou uvedeny v tabulce 7. U etanolu je z pohledu emisí skleníkových plynů dominantní výrobní fáze životního cyklu, tedy vlastní přeměna biomoty na palivo. V případě metylesteru řepkového oleje vzrůstá podíl fáze výroby hnojiv a zemědělské praxe.

V grafu na obrázku 1 jsou zobrazeny výsledky Well-to-Wheels analýzy biopaliv z pohledu kategorie dopadu změny klimatu s indikátorem kategorie g CO₂ ekv. Výsledky jsou uvedeny v jednotkách emisí na tunu vyrobeného biopaliva. V části Tank-to-Wheels, v souladu s přístupem zahraničních studií, jsou u biopaliv hodnoty nulové vzhledem ke spotřebě oxidu uhelnatého z ovzduší při růstu rostlin.

Tab. 7 Podíl fází životního cyklu biopaliv na celkových emisích CO₂ ekv. [%]

	Výroba hnojiv	Pěstování plodin	Výroba paliva	Doprava paliva	Čerpání paliva
MEŘO	37,9	24,9	35,6	0,2	1,4
EtOH pšenice	14,6	9,1	74,6	0,2	1,4
EtOH cukrová řepa	9	12,5	76,2	0,3	2



Obr. 1 Výsledky Well-to-Wheels analýzy – emise CO₂ ekv.

Na základě požadavku zadavatele projektu byla provedena alokace emisí skleníkových plynů mezi jednotlivé fáze životního cyklu fosilních paliv a biopaliv v tzv. well-to-tank části analýzy. Výsledky pro fosilní paliva jsou uvedeny v tabulce 8, pro biopaliva v tabulce 9. V tabulce 10 jsou uvedeny podíly jednotlivých fází v celé well-to-wheel analýze životního cyklu fosilních paliv, tedy včetně fáze užití paliv jejich spálením ve vozidlech. Pro biopaliva jsou výsledky well-to-tank analýzy a well-to-wheel analýzy shodné, neboť podíl emisí CO₂ ze spalování biopaliv je považován za nulový z důvodu pohlcování CO₂ rostlinami v průběhu jejich růstu.

Tab. 8 Podíl emisí skleníkových plynů v jednotlivých fázích životního cyklu fosilních paliv (W-T-T analýza)

	Těžba ropy		Doprava ropy		Výroba paliva		Distribuce paliva		Čerpání paliva	
	[g/t]	[%]	[g/t]	[%]	[g/t]	[%]	[g/t]	[%]	[g/t]	[%]
Benzin	46708,9	12,1	80606,8	20,8	219562,4	56,7	10780,7	2,8	29630,2	7,6
Nafta	26427,3	7,8	45606,2	13,5	228939,8	67,7	10780,7	3,2	26455,6	7,8

Tab. 9 Podíl emisí skleníkových plynů v jednotlivých fázích životního cyklu biopaliv (W-T-T analýza)

	Výroba hnojiv		Zemědělská praxe		Výroba paliva		Distribuce paliva		Čerpání paliva	
	[g/t]	[%]	[g/t]	[%]	[g/t]	[%]	[g/t]	[%]	[g/t]	[%]
MEŘO	692963,6	37,9	454387,5	24,9	650776,9	35,6	4473,9	0,2	25543,3	1,4
Etanol (pšenice)	293436,3	14,6	183225,8	9,1	1493673,9	74,6	4562,5	0,2	28165,6	1,4
Etanol (cukrovka)	127820,8	9,0	177898,0	12,5	1082433,9	76,2	4562,5	0,3	28165,6	2,0

Tab. 10 Podíl emisí skleníkových plynů v jednotlivých fázích životního cyklu fosilních paliv (W-T-W analýza)

	Těžba ropy		Doprava ropy		Výroba paliva	
	[g/t]	[%]	[g/t]	[%]	[g/t]	[%]
Benzín	46708,9	1,3	80606,8	2,3	219562,4	6,3
Nafta	26427,3	0,7	45606,2	1,3	228939,8	6,5
	Distribuce paliva		Čerpání paliva		Užití paliva	
	[g/t]	[%]	[g/t]	[%]	[g/t]	[%]
Benzín	10780,7	0,3	29630,2	0,8	3117638,7	89,0
Nafta	10780,7	0,3	26455,6	0,8	3194115,0	90,4

Metodika pro stanovení úspor emisí CO₂ podle směrnic 2009/28/ES a 2009/30/ES vyjadřuje emise ekvivalentu CO₂ v jednotkách g/MJ. Výsledky LCA studie vyjádřené v těchto jednotkách jsou uvedeny v tabulkách 11 a 12 pro část well-to-tank analýzy životního cyklu paliv a v tabulce 13 pro celou well-to-wheel analýzu životního cyklu fosilních paliv. Při výpočtu byly použity energetické obsahy (spodní výhřevnosti) paliv používaných v dopravě podle přílohy III směrnice 2009/28/ES, a to 43 MJ/kg pro automobilový benzín a motorovou naftu, 37 MJ/kg pro metylester řepkového oleje a 27 MJ/kg pro etanol.

Tab. 11 Podíl emisí skleníkových plynů v jednotlivých fázích životního cyklu fosilních paliv

	Těžba ropy		Doprava ropy		Výroba paliva		Distribuce paliva		Čerpání paliva	
	[g/MJ]	[%]	[g/MJ]	[%]	[g/MJ]	[%]	[g/MJ]	[%]	[g/MJ]	[%]
Benzín	1,086	12,1	1,875	20,8	5,106	56,7	0,251	2,8	0,689	7,6
Nafta	0,615	7,8	1,061	13,5	5,324	67,7	0,251	3,2	0,615	7,8

Tab. 12 Podíl emisí skleníkových plynů v jednotlivých fázích životního cyklu biopaliv

	Výroba hnojiv		Zemědělská praxe		Výroba paliva		Distribuce paliva		Čerpání paliva	
	[g/MJ]	[%]	[g/MJ]	[%]	[g/MJ]	[%]	[g/MJ]	[%]	[g/MJ]	[%]
MEŘO	18,729	37,9	12,281	24,9	17,589	35,6	0,121	0,2	0,690	1,4
Etanol (pšenice)	10,868	14,6	6,786	9,1	55,321	74,6	0,169	0,2	1,043	1,4
Etanol (cukrovka)	4,734	9,0	6,589	12,5	40,090	76,2	0,169	0,3	1,043	2,0

Tab. 13 Podíl emisí skleníkových plynů v jednotlivých fázích životního cyklu fosilních paliv (W-T-W analýza)

	Těžba ropy		Doprava ropy		Výroba paliva	
	[g/MJ]	[%]	[g/MJ]	[%]	[g/MJ]	[%]
Benzín	1,086	1,3	1,875	2,3	5,106	6,3
Nafta	0,615	0,7	1,061	1,3	5,324	6,5
	Distribuce paliva		Čerpání paliva		Užití paliva	
	[g/MJ]	[%]	[g/MJ]	[%]	[g/MJ]	[%]
Benzín	0,251	0,3	0,689	0,8	72,503	89,0
Nafta	0,251	0,3	0,615	0,8	74,282	90,4

3.2 HODNOCENÍ A VÝKLAD LCCA

Výsledné hodnoty externích nákladů změny klimatu během životního cyklu definovaných motorových paliv, vypočtené s použitím vyvinutého výpočtového modelu, jsou uvedeny v tabulce 14 a 15. Údaje jsou časově vztaženy k roku 2010 na základě stavu a vývoje technologií. Velký rozdíl v dolní mezi externích nákladů fosilních paliv vůči biopalivům je dán započtením nákladů emisí CO₂ ze spálení paliva, zatímco u biopaliv, stejně jako v LCA analýze, se tyto emise nezapočítávají. Významný vliv na výši externích nákladů má podíl jednotlivých zdrojů energií při jejich výrobě a využití odpadů z procesu pro výrobu technologického tepla a páry potřebných během transformace vstupních surovin na výsledný produkt. V případě výroby fosilních paliv jde o využití vzniklého topného oleje, při výrobě biopaliv jde o možné následné využití produkovaného bioodpadu pro energetické účely. U hodnot z výroby biopaliv je u jednotlivých alokací energetických zdrojů dobře patrný vliv na výsledné externí náklady, kdy při nahrazení hnědého uhlí pro výrobu páry zemním plynem klesnou tyto náklady přibližně o 50 (dolní mez) až 62 procent (horní mez).

Tab. 14 Výsledné hodnoty externích nákladů v €/t paliva

Palivo	Dolní mez [€/t]	Střední hodnota [€/t]	Horní mez [€/t]
Benzín	24,95	107,04	195,90
Nafta	24,19	104,24	190,83
MEŘO, HU	8,79	156,11	303,58
MEŘO, ZP	4,36	59,08	113,89
MEŘO, ZP (ADW)	4,69	63,11	121,63
EtOH, pšenice, ZP	4,10	56,65	109,19
EtOH, cukrovka, ZP	3,17	41,29	79,47

Tab. 15 Výsledné hodnoty externích nákladů přepočtené na litr paliva

Palivo	Dolní mez [€/l]	Střední hodnota [€/l]	Horní mez [€/l]
Benzín	0,0187	0,0876	0,1469
Nafta	0,0203	0,0848	0,1603
MEŘO, HU	0,0066	0,1171	0,2277
MEŘO, ZP	0,0033	0,0443	0,0854
MEŘO, ZP (ADW)	0,0035	0,0473	0,0912
EtOH, pšenice, ZP	0,0031	0,0425	0,0819
EtOH, cukrovka, ZP	0,0024	0,0310	0,0596

Podíly jednotlivých fází životního cyklu fosilních paliv a definovaných biopaliv na celkových externích nákladech změny klimatu, bez zahrnutí fáze spalování paliv, jsou uvedeny v tabulkách 16 a 17. Z uvedených hodnot je viditelný významný podíl fáze těžby a dopravy ropy a fáze zpracování ropy na celkových externích nákladech v případě životního cyklu fosilních paliv (bez zahrnutí fáze vlastního využití paliva pro pohon automobilu). V životním cyklu biopaliv převažuje na celkových externích nákladech podíl fáze výroby. U biopaliv je také výrazný podíl zemědělské praxe, který je výraznější u metylesteru řepkového oleje, a to především z důvodu výroby a použití hnojiv.

Tab. 16 Podíl fází životního cyklu fosilních paliv na celkových externích nákladech (bez zahrnutí fáze užití paliva)

Palivo	Podíl těžby, dopravy ropy a skladování na celkových ext. nákladech (dolní/horní mez) [%]	Podíl zpracování ropy na celkových ext. nákladech (dolní/horní mez) [%]	Podíl distribuce paliva na celkových ext. nákladech (dolní/horní mez) [%]	Podíl čerpání paliva na celkových ext. nákladech (dolní/horní mez) [%]
Benzín	47,0 / 29,8	45,5 / 61,2	2,1 / 1,2	5,5 / 7,8
Nafta	31,2 / 18,7	60,8 / 72,8	2,4 / 1,3	5,6 / 7,2

Tab. 17 Podíl fází životního cyklu biopaliv na celkových externích nákladech

Palivo	Podíl zemědělské praxe na celkových ext. nákladech (dolní/horní mez) [%]	Podíl výroby biopaliva na celkových ext. nákladech (dolní/horní mez) [%]	Podíl distribuce paliva na celkových ext. nákladech (dolní/horní mez) [%]	Podíl čerpání paliva na celkových ext. nákladech (dolní/horní mez) [%]
MEŘO, HU	12,2 / 7,9	86,3 / 90,9	0,4 / 0,1	1,1 / 1,1
MEŘO, ZP	24,6 / 21,1	72,5 / 75,9	0,8 / 0,2	2,1 / 2,8
MEŘO, ZP (ADW)	22,9 / 19,8	74,4 / 77,4	0,7 / 0,2	2,0 / 2,6
EtOH, pšenice, ZP	7,3 / 6,1	89,4 / 90,5	0,8 / 0,2	2,5 / 3,2
EtOH, cukrovka, ZP	14,2 / 7,5	81,5 / 87,8	1,1 / 0,3	3,2 / 4,4

V tabulce 18 jsou uvedeny podíly jednotlivých fází životního cyklu fosilních paliv na celkových externích nákladech se zahrnutím fáze užití paliv. Výsledky pro biopaliva jsou stejné jako v tabulce 17 z důvodu nulového podílu emisí CO₂ ze spalování biopaliv na celkových emisích oxidu uhličitého.

Tab. 18 Podíl fází životního cyklu fosilních paliv na celkových externích nákladech (se zahrnutím fáze užití paliva)

Palivo	Podíl těžby, dopravy ropy a skladování na celkových ext. nákladech (dolní/horní mez) [%]	Podíl zpracování ropy na celkových ext. nákladech (dolní/horní mez) [%]	Podíl distribuce paliva na celkových ext. nákladech (dolní/horní mez) [%]
Benzín	3,7 / 7,3	3,5 / 15,0	0,2 / 0,3
Nafta	2,2 / 4,5	4,2 / 17,6	0,2 / 0,3

Palivo	Podíl čerpání paliva na celkových ext. nákladech (dolní/horní mez) [%]	Podíl spotřebování paliva na celkových ext. nákladech (dolní/horní mez) [%]
Benzín	0,4 / 1,9	92,2 / 75,5
Nafta	0,4 / 0,8	93 / 75,8

4 ZÁVĚR

Z uvedených výsledků Well-to-Wheels analýzy fosilních motorových paliv a biopaliv v podmínkách České republiky vyplývá úspora emisí CO_{2ekv} v celém životním cyklu biopaliv v porovnání s fosilními motorovými palivy, obdobně jako u ostatních zahraničních studií. Výsledky pro Českou republiku vykazují některé odchylky vyjadřující specifické podmínky v ČR jak u fosilních motorových paliv, tak biopaliv. Je ovšem nutné podotknout, že v celém řetězci životního cyklu výroby biopaliv bylo počítáno s nejmodernějšími výrobními technologiemi včetně zemědělské praxe, která se liší od celorepublikového průměru ve výnosnosti. Z tohoto důvodu, by se při posuzování životního cyklu biopaliv mělo vždy uvažovat s konkrétní aplikací syntetických hnojiv a výnosností zemědělských plodin, které mají na výstup studie zásadní vliv, jak vyplynulo z citlivostní analýzy. Je nutné také mít na paměti, že při výrobě biopaliv vzniká celá řada vedlejších produktů, pro něž byly výstupy alokovány a je nutné tyto vedlejší produkty co nejefektivněji využít, aby docházelo k co nejvyšší úspoře emisí CO_{2ekv} používáním biopaliv.

Na Základě výsledků Well-to-Wheels analýzy byly následně vypočteny hodnoty externích nákladů z nichž vyplývá jejich výše pohybující se pro automobilový benzín od 24,95 Euro/tunu, pro motorovou naftu od 24,19 Euro/tunu, pro MEŘO od 4,36 Euro/tunu, pro etanol z pšenice od 4,10 Euro/tunu a pro etanol z cukrové řepy od 3,17 Euro/tunu. Na podzim 2009 Evropská komise zahájila debaty o revizi současné směrnice 2003/96/EC ze dne 27. října 2003 o zdanění energetických produktů. Návrh novely směrnice předpokládá zdanění CO₂ u fosilních paliv ve výši 30 € za tunu CO₂ a nulovou daň pro biopaliva. Tato hodnota koresponduje se středními hodnotami rozpětí externích nákladů stanovených v projektu.

5 SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

ADW	spoluřešitel projektu
CONCAWE	EUCAR, CONCAWE, JRC. <i>Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context</i> . EU, 2007.
ČU	černé uhlí
EtOH	ethylalkohol
HDP	hrubý domácí produkt
HU	hnědé uhlí
LCA	Life-Cycle Assessment
LCCA	Life-Cycle Cost Analysis
LUCIA	projekt č. SPII4i1/33/07 Analýza životního cyklu fosilních motorových paliv a biopaliv pro tvorbu koncepčních dokumentů zavedení daně z CO ₂ v oblasti mobilních zdrojů znečišťování.
MEŘO	methyl ester mastných kyselin řepkového oleje
PE	parní elektrárny
PPE	paroplynové elektrárny
PSE	plynové a spalovací elektrárny
W-T-W	Well-To-Wheel analýza (od studny ke kolům)
W-T-T	Well-To-Tank analýza (od studny k nádrži) – část W-T-W analýzy
ZP	zemní plyn