ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA ENVIRONMENTÁLNÍHO
INŽENÝRSTVÍ A OCHRANY PROSTŘEDÍ

ŘÍZENÍ PRODUKCE EMISÍ CO_2 V LETECTVÍ VE VZTAHU K OCHRANĚ ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí diplomové práce: Doc. RNDr. Ing. Ivan Landa, DrSc.

Diplomant: Radim Řiháček

2010

Prohlášení

Já, Radim Řiháček, student Fakulty životního prostředí ČZU v Praze prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně a veškeré materiály, z nichž jsem čerpal pro svoji práci, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Nemám závažný důvod proti použití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona Č. 121/2000 Sb. o právu autorském o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne ……. 2010 .....

Předmluva

Jelikož jsem se při hledání materiálu o řízení produkce emisí CO_2 v ČR nesetkal s obdobnou prací popisující řízení emisí z letectví, rozhodl jsem se zaměřit svoji práci na objasnění postupů a principů řízení emisí v letecké dopravě. V práci jsem nastínil možnosti snížení emisí CO_2 a dalších plynů negativně ovlivňujících životní prostředí. Snižování emisí jde ruku v ruce s ekonomičností provozu letounů. Proto je v diplomové práci významná část věnována právě ekonomičnosti respektive ekologii provozu letounů.

Principy fungování letecké dopravy a letadlové techniky jsem poznal během předchozího studia na ČVUT. Znalosti v oblasti negativních ekologických aspektů a vlivů emisí na ekosystémy jsem dále prohluboval během studií na Fakultě Životního prostředí ČZU v Praze a odborné spolupráci při ČSA, kde jsem měl možnost vidět věci v praxi a mohl problematiku prodiskutovat se zasvěcenými odborníky ČSA především panem Danielem Salomonem. Proto se konkrétní propočty zaměřují hlavně na letouny společnosti ČSA.

V práci jsem dále využil informací, které jsem načerpal z internetu, různých odborných publikací, výročních zpráv a diplomových prací.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat všem, jejichž rady přispěly ke zpracování této diplomové práce, za poskytnutí informací a odborných konzultací k dané problematice. Poděkování patří přednášejícím na Fakultě životního prostředí a pracovníkům ČSA jmenovitě p. Salomonovi a vedoucímu diplomové práce Doc. Landovi. V neposlední řadě patří poděkování mým nejbližším za morální podporu.

Abstrakt

Název práce: Řízení produkce emisí CO_2 v letectví

Podíl letectví na produkci skleníkových plynů je v současnosti odhadován na 2 %, avšak tempo růstu objemu letecké přepravy bylo v posledních letech poměrně vysoké. Diplomová práce hodnotí možnosti snižování emisí CO_2 v letecké dopravě a vypočítává možné úspory.

Práce ve svém úvodu kriticky posuzuje důvody začlenění letectví do systému obchodování s emisemi, objasňuje principy emisních povolenek a kreditů a rozebírá současné statistické údaje o letecké dopravě. Počítá možný dopad obchodování s emisemi v letectví na leteckou společnost ČSA. Dále uvádí možnosti snižování emisí v leteckém provozu. Hlavním přínosem práce je kalkulace možných úspor nákladů a emisí vyvolaných zefektivněním provozu letounů. Práce dále uvádí komplexní srovnání jednotlivých druhů doprav a hodnotí využití biopaliv v leteckých motorech. Závěrem práce jsou uvedeny možné budoucí scénáře vývoje podložené názorem odborníků a navrhnuta opatření na zefektivnění provozu aerolinek. Práce především kvůli svému omezenému rozsahu využívá srovnání dat z různých odborných studií a publikací, které jsou uvedeny v seznamu literatury. Čtenáři poskytuje diplomová práce ucelený přehled problematiky řízení emisí oxidu uhličitého v letectví v současnosti.

Klíčová slova: oxid uhličitý, letecká doprava, EU ETS

Abstract

Name of the thesis: Managing Emissions of Carbon Dioxide from Aviation

Current scientific data estimate that aviation sector contributes by about 2 % to global greenhouse gas emissions however the recent growth of the sector was quite significant. The thesis assesses the opportunities of mitigating carbon dioxide emissions and calculates possible emission savings.

At the beginning the inclusion of aviation into the EU Emission Trading Scheme is argued, emission allowances and credits are explained and current statistics discussed. The expected cost impact of emission trading for Czech airlines is projected. Then the eventual emission reductions in air transport are listed. The main contribution of the thesis represents the calculation of possible emission and fuel savings caused by more effective aircraft operation. Further the complex comparison of other transportation modes is presented. Next plausibility and extent of using biofuels in aircraft engines is estimated. At the end of the thesis possible future scenarios are presented based on the specialists´ opinion. Due to the limited extent of the thesis data from other scientific publication listed in resources are used as a primary source of information. A reader of the thesis gets whole picture of the current measures how to manage carbon dioxide from aviation.

Key words: carbon dioxide, air transport, emissions

Obsah

1 Úvod 9
1.1 Letecká doprava a společnost 9
1.2 Legislativní opatření EU 9
1.3 Cíle práce 10
1.4 Metodika 10
2 Emise 12
2.1 Oteplování a emise 12
2.2 EU ETS 14
2.2.1 EU ETS a letecká doprava 14
2.3 Princip fungování EU ETS 15
2.3.1 Instrumenty CDM aJI 16
2.4 Realita 17
2.4.1 Postoj EU 20
2.5 Letecké emise a spotřeba paliva 21
2.5.1 Produkce vodní páry 23
2.6 Cíle IATA 25
2.7 Emisní kalkulačky a kompenzace uhlíkové stopy 26
2.8 Letecké emise v ČR a EU 27
2.8.1 Srovnání jednotlivých druhů dopravy za rok 2008 v ČR 27
2.8.2 ČSA a ŽP 28
3 Srovnání druhů dopravy 30
3.1 Ekologičnost provozu 30
3.2 Energetická náročnost provozu 31
3.3 Produkce skleníkových plynů 33
3.4 Produkce látek znečišťujících ovzduší 34
3.5 Shrnutí srovnání dopravních prostředků 34
4 Možnosti úspor ve spotřebě 36
4.1 Úspora paliva pro letoun A320 36
4.2 Úspora paliva na let 41

4.3 Výsledky - roční úspora emisí a paliva 43
4.3.1 Úspora pro flotilu ČSA 44
4.4 Diskuze 44
5 Využití biopaliv 45
5.1 Stávající paliva 45
5.2 Biopaliva 46
5.3 Diskuze 48
6 Závěr 49
7 Literatura: 52
Přílohy 56

Zkratky

A320	Airbus 320
ATAG	Air Transport Action Group
APU	Auxiliary power unit - Pomocná pohonná jednotka
ATM	Air Traffic Management - Letecké provozní služby
CDM	Clean Development Mechanism - Mechanismus čistého rozvoje
CER	Certified Emission Reduction - Certifikovaná snížení emisí
CO	Oxid uhelnatý
CO_2	Oxid uhličitý
ČNB	Česká národní banka
ČSA	České aerolinie
DOW	Dry operating weight - Hmotnost letounu bez nákladu
EK	Evropská Komise
ERU	Emission Reduction Unit - Jednotky snížení emisí
EU	European Union - Evropská unie
EUA	European Union emission Allowance - Emisní povolenky EU
EU ETS	European Union Emission Trading Scheme - Systém EU pro obchodování s emisemi
FMGS	Flight Management and Guidance System - Letový řídící a navigační systém
GHG	Greenhouse Gas - Skleníkový plyn
IATA	International Air Transport Association - Mezinárodní organizace leteckých dopravců
ICAO	International Civil Aviation Organization - Mezinárodní organizace civilního letectví
IPCC	Intergovernmental Panel for Climate Change - Mezinárodní panel pro změnu klimatu
JI	Joint Implementation - Společná realizace
KN	Kilo Newton
MJ	Mega Joul
NO_x	Oxidy dusíku
PKM	Passenger kilometer - Osobo kilometr
ŘLP	Řízení letového provozu
SO_2	Oxid siřičitý

1 Úvod

1.1 Letecká doprava a společnost

Velký rozmach letectví v rozvinutém světě v posledních 20 letech umožnil rychleji a častěji překonávat velké vzdálenosti mezi různými kouty světa, což dříve nebylo možné. Nebe je nyní mnohem více než dříve křižováno kondenzačními stopami za prolétajícími letouny. Nárůst přepravy a turismu má navíc nemalý příspěvek národním hospodářstvím jednotlivých zemí. Mezi ekonomické přínosy letecké dopravy patří hlavně přeprava cestujících a zboží a turismus. Letecká doprava přepraví ročně přes 2,2 mld. cestujících, přispívá do globálního HDP až 7,5 % a vytváří až 32 milionů pracovních míst (ATAG, 2009). Dá se očekávat, že přínos letectví k HDP se bude do budoucna s růstem přepravy ještě zvyšovat.

Druhou stranou mince, o které se ve vztahu k letectví v minulosti příliš nemluvilo, je jeho vliv na změnu klimatu. Ačkoliv se efektivita leteckých motorů a využití pohonných hmot za poslední půlstoletí výrazně zvýšila (o více než 50 %), je příspěvek letecké dopravy především ve zvyšování skleníkového efektu nezanedbatelný.

1.2 Legislativní opatření EU

Podíl letecké dopravy na produkci skleníkových plynů by nebyl tak hrozivý např. v porovnání s pozemní silniční dopravou, která se na emisích dopravního sektoru podílí až 75 % (Pew climate, 2009). Co je ovšem hrozbou ve vztahu ke snahám omezujícím produkce emisí, je tempo růstu letecké dopravy, které od roku 2001 až do roku 2008 činilo průměrně 4 % ročně (ICAO, 2009).

Jak je obecně známo, některé země Evropská unie jsou velkými bojovníky proti tzv. klimatickým změnám. Když EU v poslední dekádě opakovaně stvrdila plnění svých závazků vyplývajících z Kjótského protokolu (8% snížení emisí GHGs do roku 2012) musela zavést dodatečné legislativní kroky, kterými by omezila růst leteckých emisí. Emise z mezinárodních letů totiž nebyly zahrnuty ani do Rámcové úmluvy

OSN o změně klimatu ani do Kjótského protokolu (nebyla nalezena shoda). Tento fakt byl asi nejsilnějším argumentem bojovníků za snižování emisí ve snaze zamezit výraznějšímu globálnímu oteplování.

1.3 Cíle práce

Snižování emisí je velké téma posledních 10ti let. Vlna velkých veder, častých záplav a ničivých hurikánů vystrašila většinovou společnost. Vědecká veřejnost hned přispěchala se svými variantami, tezemi a hypotézami (Klaus, 2007). Společnost dnes vnímá toto téma především jako názorový souboj radikálních bojovníků proti globálnímu oteplování typu Al Goera proti konzervativcům typu V. Klause nebo B. Lomborga. EU, chce globální oteplování omezit prostřednictvím svého systému na obchodování s emisemi, do kterého začlenila nově i leteckou dopravu. Systém obchodování je na pomyslné špičce pyramidy, která představuje možnosti řízení leteckých emisí. Proto diplomová práce ohodnotí letecké emise v kontextu systému obchodování s emisemi a jeho instrumentů. Další částí pyramidy jsou technická opatření, která k omezování produkce oxidu uhličitého mohou přispět.

Protože jsou letecké emise úměrné spotřebě paliva, je cílem této práce popsat známé metody a ukázat nové cesty jak snižovat spotřebu, a tím i vyprodukované emise letecké dopravy. V hlavní části budou na příkladu letounů A320 z flotily ČSA vyčísleny možné úspory emisí a paliva v rámci provozu aerolinek. V další části je provedeno komplexní srovnání letounů s dalšími ohnisky škodlivých emisí v dopravním sektoru. Jako další z možných cest řízení produkce emisí CO_2 práce shrne možnosti využití biopaliv v letectví. V závěru práce je zhodnocen současný stav řízení emisí oxidu uhličitého v letectví a nastíněny možnosti další eliminace tohoto skleníkového plynu.

1.4 Metodika

Diplomová práce vychází z odborných publikací, které jsou v současnosti na zpracovávané téma k dispozici. Jelikož není letecký sektor v ČR příliš velkým sektorem národního hospodářství, není na téma letecké emise zpracováno mnoho odborných publikací v českém jazyce. Proto tato práce čerpá hlavně z cizojazyčných publikací zveřejněných v anglickém jazyce. V úvodu kapitol, je vždy uveden krátký

přehled problematiky. Je třeba zmínit, že vědecké poznání v oblasti vlivu leteckých emisí a biopaliv na životní prostředí se neustále vyvíjí. Proto je většina studií, z nichž bylo čerpáno, publikována prostřednictvím internetu nebo v katalozích a internetových sbornících.

V diplomové práci jsou vhodně použita data z odborných studií, které popisují vliv letecké dopravy na životní prostředí v širší rovině, jako je např.studie IPCC nebo publikace B.Lomborga. Pro konkrétní srovnání jednotlivých druhů dopravy je použita studie Chester M. a Horvath A. z University of California, která porovnává dopad provozu dopravních prostředků na životní prostředí během celoživotní cyklu. Z této studie jsou použity i některé grafy ukazující názorné srovnání vlivu jednotlivých dopravních prostředků.

Hlavní pasáž práce, která se věnuje snížení vlivu na prostředí možnými provozními úsporami vychází ze studie zpracované společností Airbus. Z dat uvedených ve studii jsou provedeny výpočty možných úspor paliva a emisí pro letoun A320, které dále vychází z volně dostupných informací týkajících se spotřeby o emisních faktorech a ceně leteckého paliva. Výpočet vhodně kombinuje data z výroční zprávy ČSA za rok 2008 pro letouny A320.

V předposlední kapitole týkající se biopaliv je provedena analýza stávajícího vývoje a představena prognóza budoucího vývoje na základě výhledů IATA a asociace ATAG.

V závěru práce jsou potom shrnuty návrhy a doporučení, které se jeví jako přínosné a které mají v budoucnu šanci na realizaci.

Při zpracování dat v diplomové práci byl použit empiricko-intuitivní přístup založený na vhodném použití dat z odborných publikací a dále na zkušenostech a logickém úsudku autora

.

2 Emise

2.1 Oteplování a emise

Hlavním viníkem oteplování Země jsou tzv. skleníkové plyny. Jedná se hlavně o oxid uhličitý (CO_2), methan (CH_4), oxid dusný (N_2O), halogenové uhlovodíky a ozon. Tyto plyny vznikají především během dopravní, zemědělské a průmyslové aktivity člověka (Wittlingerová Z. a Jonáš F.,2004). Zvyšování množství těchto plynů v atmosféře vede k zesilování přirozeného skleníkového efektu. Značný nárůst lidské činnosti od 19 stol. vede k postupnému nárůstu objemu skleníkových plynů v atmosféře a mírnému růstu průměrné teploty. Globální oteplení od dob průmyslové revoluce způsobené lidmi se dnes uvádí přibližně 0,7 °C. Největším celosvětovým projektem, který se snaží omezovat nárůst objemu skleníkových plynů a tím i teploty v atmosféře je Kjótský protokol.

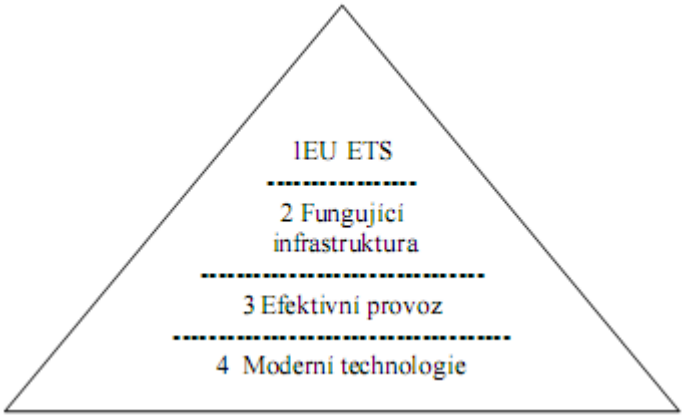
„Pokud bychom dodrželi Kjótský protokol, tedy že v roce 2010 stáhneme emise skleníkových plynů na úroveň roku 1990, došlo by k redukci celkového oteplení o 0,1 až 0,2 °C“ (Cílek, 2008). Do Kjótského projektu ovšem nejsou zapojeny největší současní globální znečišťovatelé USA a Čína. Dopad protokolu na omezování emisí je proto malý. Řada zemí v čele s EU přichází s návrhy plánů na dlouhodobé snižování emisí CO_2. Oxid uhličitý je totiž hlavním prvkem způsobujícím skleníkový efekt, který vede ke zvyšování zemské teploty.

EU několikrát potvrdila svůj závazek snižovat emise tak, aby globální průměrná teplota nevzrostla více než o 2 °C nad úroveň před průmyslovou revolucí. Mnohé studie tento cíl označují za „neodůvodněný“. Autor knihy Zchlaďte hlavy Bjorn Lomborg kupříkladu vypočítává, že celý Kjótský systém zaměřený proti klimatické změně by svět přišel ročně na 180 mld. dolarů zatímco inteligentní opatření pomáhající především ve třetím světě přibližně na třetinu.

Tato práce si neklade za cíl hodnotit argumenty jedné či druhé strany. Autor chce jen zdůraznit fakt, že projekty typu obchodování s emisemi jako je EU ETS stojí na vratkých základech, protože ekonomická návratnost Kjótského projektu, z kterého vychází není v příštích 100 letech prokázána (Lomborg, 2008). Malým důkazem

smyslu celé akce budiž neúspěch nedávno proběhlého Kodaňského summitu nalézt shodu v množství a rozsahu omezení. Summit v Kodani měl na Kjóto navázat a potvrdit tak nastoupenou cestu snižování emisí. Řada zemí se ale zalekla ekonomických důsledků vyplývajících z rázné akce. Proto klade tato diplomová práce důraz na ekonomičnost opatření v oblasti řízení leteckých emisí. V pojetí této práce jsou instrumenty řízení a omezování leteckých emisí vnímány skrze reálné možnosti snižování emisí, které ve své strategii nastínilo mezinárodní sdružení leteckých dopravců IATA (viz kapitola 2.2). Hlavní možnosti snižování emisí CO_2 zobrazeny na Obr. č. 1 spočívají v:

1. Pozitivních ekonomických opatřeních
2. Efektivním provozu
3. Fungující infrastruktuře
4. Technickém pokroku a modernizaci letového parku.



Obr. č. 1 Pyramida možností snižování emisí oxidu uhličitého v letectví.

Pyramida znázorňuje přínos jednotlivých opatření ke snižování emisí CO_2 z letectví podle významnosti (seřazeno vzestupně). Bod 1 pyramidy představují legislativní opatření, které řeší snižování emisí. Hlavním legislativně regulačním nástrojem EU je EU ETS, kterým se zabývá kapitola 2.3. Možnosti úspor z efektivního provozu tj. bod 2 hodnotí kapitola 3. Body 3 a 4 nejsou pro svou technickou povahu v této diplomové práci detailně řešeny. V kapitole 5 jsou řešeny možnosti využití biopaliv v

letectví a jejich přínos, které představují podstatnou část úspor vyplývajících z bodu 4.

2.2 EU ETS

EU přišla v roce 2005 s ambiciózním projektem systému na obchodování s emisemi tzv. EU ETS (EU Emission Trading Scheme). Obchodování se zatím zaměřuje na hlavní skleníkový plyn oxid uhličitý. Projekt vychází z hypotézy, že stanovení ceny uhlíku v rámci obchodování s ním dává nákladově nejefektivnější způsob, jak dosáhnout snížení emisí skleníkových plynů v zásadní míře (Evropská komise, 2009). Jinými slovy v rámci komplexního obchodování s emisemi mezi sektory národního hospodářství by měly být nejvíce postiženy ty sektory, které jsou nejméně energeticky efektivní a nejvíce znečišťující zdroje. Původci znečištění si budou muset povolenky dokupovat. Ti nejčistší by měli být naopak zvýhodněni tím, že je budou moci prodávat.

EU zvažovala při svém rozhodování též zavedení paušální daně z paliva, ale systém obchodování se nakonec jevil pro prostor EU jako nejefektivnější (Evropská komise, 2008).

2.2.1 EU ETS a letecká doprava

Od roku 2005, kdy systém „obchodování s uhlíkem“ EU představila, se postupně rozšiřuje. Původně systém zahrnoval pouze stacionární zdroje emisí.

EU několikrát vyzvala mezinárodní organizace působící v letectví (ICAO, IATA), aby navrhly komplexní řešení, kterým letecké emise omezí. Organizace na její výzvu dostatečně nereagovaly a proto začala jednat EU sama. EU se rozhodla začlenit letectví do svého stávajícího systému na obchodování s emisemi, jehož první fáze byla spuštěna v roce 2005. Systém Společenství pro obchodování s povolenkami na emise se zatím zabýval pouze stacionárními zdroji emisí jako jsou např. velké elektrárny, továrny nebo teplárny. Nařízením Evropské Komise č. 2008/101/ES, které doplnilo na řízení č. 2003/87/ES, se do systému legislativně začlenil letecký sektor jakožto další oblast hospodářství a první sektor dopravy.

Projednávání navrhované úpravy bylo velmi zdlouhavé (započato roku 2005). Zástupci leteckého průmyslu se především obávali, že od roku 2012, kdy mělo dojít k faktickému spuštění obchodování s leteckými emisemi v rámci druhé fáze obchodování, dojde k narušení volného trhu a znevýhodnění evropských leteckých dopravců.

Dle zástupců ČSA bylo vyjednávání podmínek tvrdé a to především na půdě Evropského parlamentu. Zastánci začlenění argumentovali především nutností včasné a rázné akce a hlavně zvýšení tlaku na snižování produkce emisí v letectví, neboť letecké emise neustále rostly (viz Obr. č. 5).

Zákonodárci EU si od tohoto kroku slibovali navíc rozšíření působnosti systémů ETS. Letecký sektor si naopak hájil svoji pozici zdůrazněním smysluplnosti celé akce, znevýhodněním letectví vůči dalším oblastem dopravy a celkovým útlumem v letectví v posledních letech.

Letecká doprava byla nakonec začleněna jako první z typů doprav a to hned z několika důvodů. Jednak byla letecká doprava od 2. sv. války oproštěna z mezinárodního zdanění při přepravě (letenka a palivo). V budoucnu se ovšem počítá s dalším nárůstem letecké přepravy, a s tím i zvýšením leteckých emisí. Dle EK by letectví mělo být prvním článkem dopravy, který byl do systému legislativně zahrnut. Výhledově se počítá i se začleněním vodní dopravy. Od roku 2013 by mělo dojít k rozšíření schématu obchodování o další skleníkový plyn N_2O (Evropská komise, 2008).

2.3 Princip fungování EU ETS

Kjótský protokol, z nějž EU ETS vychází, byl sepsán v roce 1997 a vstoupil v platnost až po ratifikaci Ruskem v roce 2005. Smluvní strany se v něm zavázaly, že budou snižovat emise skleníkových plynů. Hlavními pilíři Kjótského protokolu jsou tzv. inovační mechanismy. Ty představuje mezinárodní obchod s emisemi (ETS), mechanismus čistého rozvoje (CDM) a společná realizace (JI).

Na základě Kjótského protokolu se pro jednotlivé státy stanovily kvóty a množství přidělených emisních povolenek. Ty potom stát na základě národního alokačního plánu přiděluje emitentům. Jednotliví emitenti musí z přiděleným balíkem povolenek hospodařit. Pokud vyprodukují více emisí než mají povolenek, musí si chybějící

povolenky dokoupit. Pokud jich mají nadbytek, tj. vypustí méně emisí, mohou ušetřené emise v podobě povolenek prodat (Evropská komise, 2008).

Na podobných principech bylo nastaveno začlenění letecké dopravy do systému EU ETS, které by mělo fakticky nastat od roku 2012. V prvních letech obchodování tj. 2012 by mělo být zdarma přidělováno až 85 % povolenek. Zbylých 15 % by se mělo obchodovat. Kvóta zdarma přidělených povolenek by měla klesnout k nule kolem roku 2020 (Evropský parlament, 2008).

U leteckého sektoru se očekává, že jelikož bude v budoucnu opět růst (Cal, 2010), bude si muset dodatečné povolenky nakupovat z ostatních oblastí EU ETS. S růstem nákladů na nákup povolenek by měl automaticky růst i tlak na snižování emisí. Samozřejmě významnou roli bude hrát i aktuální cena povolenek, která se v současnosti pohybuje kolem 12-13 EUR za 1 tunu CO_2, což je ekvivalent jedné povolenky.

Dle toho, jak je v současnosti systém nastaven, by pro aerolinie typu ČSA náklady vyvolané EU ETS mohli vzrůst od řádově 100 mil. Kč v roce 2012 až k 500 mil. Kč v roce 2022 (Ernst&Young and York Aviation, 2007). Že jde o nezanedbatelné částky je na první pohled zřejmé.

2.3.1 Instrumenty CDM aJI

V pojetí této diplomové práce je proto začlenění letectví do EU ETS vnímáno jako jeden z možných instrumentů, jak řídit resp. omezovat letecké emise (viz Obrázek č.1). Je důležité zmínit, že EU ETS nestojí jen na obchodování s emisemi. Jako další z instrumentů Kjótského protokolu umožňuje používat i CDM a JI. Mechanismus čistého rozvoje (Clean Development Mechanism) a společná realizace (Joint Implementation) umožňují rozvinutým zemím se závaznými cíli v podobě snižování emisí stanovenými Kjótským protokolem investovat do projektů zaměřených na snižování emisí ve třetích zemích. „Emisní kredity, které prostřednictvím těchto projektů vzniknou, si mohou kupovat společnosti zařazené do systému EU ETS, aby jimi stejným způsobem jako v případě povolenek pokryly část svých emisí.“ Oba nástroje by měly vést k podpoře udržitelného rozvoje a přenosu čistých technologií. Navíc by měly zemím spadajícím pod Kjóto umožnit dosažení cílů nákladově efektivní cestou. Mechanismus CDM je zaměřený na projekty v rozvojových zemích.

Kredity získané realizací projektů v rozvojových zemích se označují jako CER - certifikovaná snížení emisí. Nástroj JI se využívá v rozvinutých zemích spadajících pod Kjóto. Kredity vzniklé realizací projektů společné realizace se nazývají ERU - jednotky snížení emisí (Evropská komise, 2009). Počítá se s tím, že letečtí provozovatelé budou moci používat CER a ERU až do výše 15 % jejich celkového objemu povolenek.

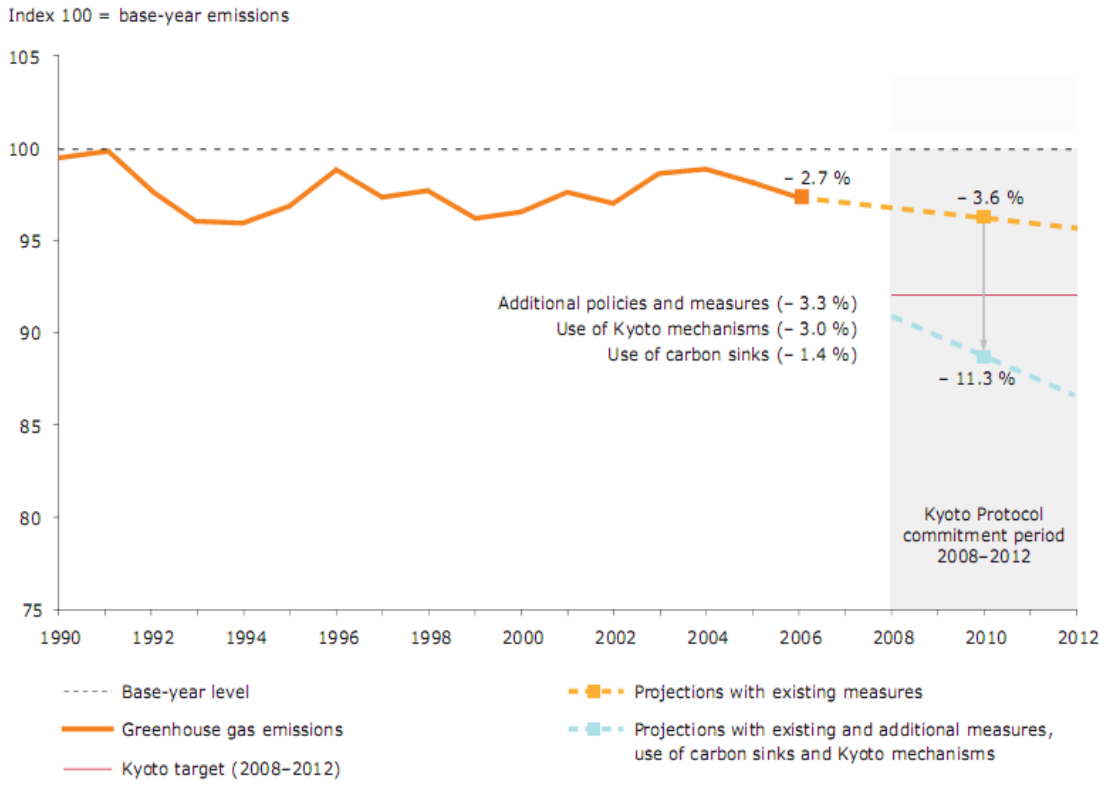
2.4 Realita

Z dnešního pohledu, kdy je svět zmítán ekonomickou krizí, nezní argumenty zastánců začlenění letectví do EU ETS tak rázně, protože růst letecké přepravy se úplně zastavil a navíc se objem přepravy propadl k číslům z roku 2007. Řada aerolinií zbankrotovala, další jsou na pokraji krachu a nad vodou je drží jen státní pomoc. Další klín v podobě nákladů vyplývajících z EU ETS by mnohým aerolinkám mohl zlomit vaz.

Právě v období hospodářského útlumu se ukázalo, že vyspělé státy nejsou ochotny dát v sázku ekonomický rozvoj a prosperitu na úkor radikálních ekologických opatření vedoucích v krátkodobém hledisku ke snížení blahobytu občanů. Důkazem budiž například neúspěch Kodaňského summitu, kde se nepodařilo najít shodu v ekologických otázkách na globální úrovni a navázat tak na Kjóto. Evropská unie je ovšem lídrem na poli boje s globálním oteplováním, tudíž v Evropě se opatření za účelem snižování produkce uhlíku budou spíše rozšiřovat. Jelikož už EU investovala příliš mnoho do systému obchodování s emisemi, nedá se očekávat jeho zrušení. V poslední době se v tisku objevily spekulace o odkladu obchodování povolenek v letectví. Došlo k tomu v reakci na zpoždění ve zveřejňování emisního stropu pro letecký sektor ze strany EK (ATW, 2009).

Vznikla celá řada studií, které se snažily zhodnotit dopady a přínosy EU ETS na klima a společnost. Sama Evropská komise počítá s tím, že se pomocí EU ETS podaří snížit emise do roku 2020 o 183 $MtCO_2$ oproti roku 1990. Snížení představuje 46% redukci oproti standardnímu scénáři bez opatření. Letecký sektor bude ovšem většinu emisí pokrývat z nákupu emisních povolenek z dalších sektorů a s pomocí JI a CDM kreditů. Letectví jako takové sníží své emise jen o 3 % oproti běžnému scénáři (IPCC, 2007).

Evropská agentura pro životní prostředí v roce 2007 zveřejnila studii, hodnotící, zda může EU15 dosáhnout svých cílů vyplývajících z Kjóta snížit emise o 8 % do roku 2012 vzhledem k roku 1990. Jak je vidět z Obr. č. 1, pokles emisí v období 1990 až 2006 není ve starých zemích EU příliš výrazný (oranžová křivka). Extrapolovaná data (oranžově čárkovaně) ukazují, že bez dodatečných opatření v podobě inovačních mechanismů v rámci Kjótského protokolu (modrá křivka) by se Kjótského cíle (červená křivka) nepodařilo dosáhnout. Kredity získané z inovačních mechanismů jsou ovšem vnímány jako rizikové. Obchoduje se s nimi totiž na burze, a proto jsou spojeny se spekulacemi a možnými podvody (BusinessGreen, 2010).

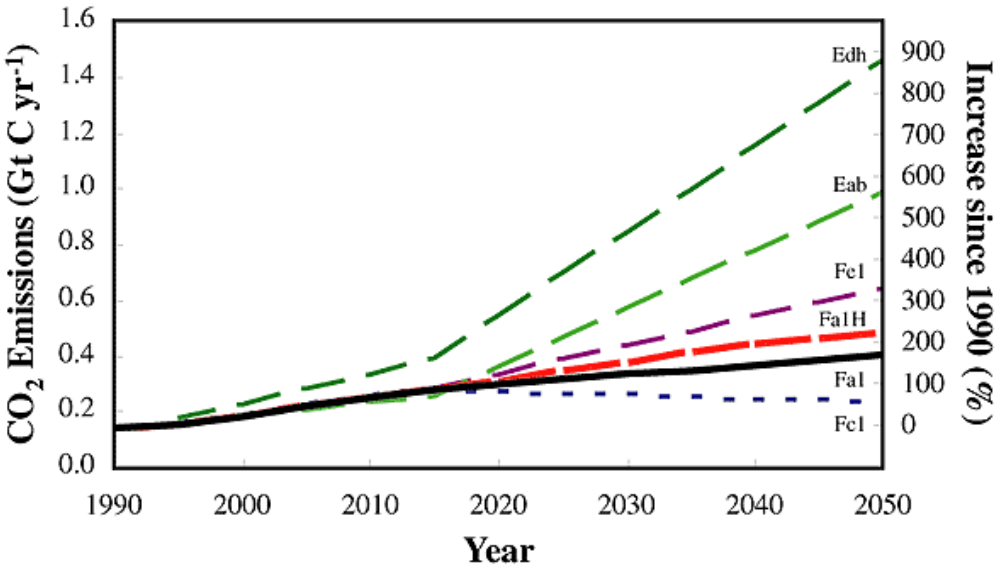


Obr č. 2 Celkové emise CO_2 u EU 15 a predikce vývoje do roku 2012 (EEA, 2007).

Jak přiznává EEA ve své doplněné hodnotící zprávě vývoje emisí v roce 2009, pokles emisí CO_2 v EU15 za rok 2007 byl daný především vytápěním v domácnostech s největším poklesem v Německu a Itálii. Proto nelze EU ETS přičítat výrazný úspěch neboť právě sektory, které nejsou součástí EU ETS, jako jsou

domácnosti, sektor dopravy a zemědělství, se podílí na 60 % celkových emisí CO_2 v EU. Poklesy emisí v těchto sektorech potom nelze vydávat jako úspěch EU ETS.

Podíl letecké a lodní dopravy na emisích CO_2 v EU byl dle EEA v roce 2007 6 %. Z klimatického hlediska je ovšem potíž v tom, že stále nemáme k dispozici komplexní model, který by bral v potaz všechny aspekty vstupující do „hry“ a dokázal přesně modelovat příspěvky jednotlivých sektorů jako jsou hlavně nepřímé emise CO_2. I všeobecně uznávané modely IPCC pracují stále se značně velkou nejistotou a potom jen záleží na čtenáři, kterou z variant zvolí. Proto je nutné všechny studie předkládající radikální závěry brát s nadhledem. Na Obr. č. 3 je vidět 6 možných scénářů produkce leteckých emisí podle typu využívaného paliva. Na levé ose jsou zobrazeny emise v Gt emisí CO_2 za rok. Pravá osa znázorňuje procentuální nárůst oproti roku 1990.



Obr. č. 3 Celkové letecké emise CO_2 a možné scénáře vývoje (IPCC, 2001).

Až další vývoj ukáže, zda jsou obavy environmentalistů z velkého růstu leteckých emisí a obavy aerolinií ze ztráty konkurenceschopnosti reálné a zda zmíněné nástroje a metody snižování emisí obstojí v praxi. Jedinou hmatatelnou změnou pro aerolinie je zatím fakt, že od roku 2010 musí letečtí provozovatelé reportovat údaje o uletěných tkm.

Také se ukáže, zda EU myslí své ekologické závazky natolik vážně, že odolá tlaku letecké lobby požadující změkčení podmínek. Zdá se ovšem, že díky globální krizi došlo k propadu objemu letecké přepravy a tudíž ekonomický dopad obchodování na letectví nebude tak významný. Z hlediska ekologických a ekonomických přínosů EU ETS zbývá dodat, že jakákoli opatření, které nemají globální rámec, nemohou v celosvětovém měřítku dosáhnout výrazných úspěchů (Lomborg, 2008). To je právě případ EU ETS.

Obdobně vychází i závěry hodnocení pro tzv. daň z leteckého paliva uvalenou na mezinárodní letectví, kterou některé strany prosazovaly. V Lokálním měřítku by vedla tato zátěž k vzniku nekonkurenčního prostředí a efektu „ úniku uhlíku ze systému“ (z angl. carbon leakage). Naopak daň z paliva na domácí lety (v rámci státu) např. studie IPCC z roku 2007 doporučuje. Tu už v Evropě zavedlo například Holandsko.

Evropský systém ETS není ojedinělý. Mimo Evropu existují obdobné systémy ač v menším měřítku třeba v Kanadě nebo v Austrálii. EU počítá s tím, že pokud ostatní země především USA zavedou podobná opatření, měly by se systémy postupně sbližovat a později případně propojovat. EU by tak ráda vytvořila transatlantický (avšak nejlépe globální) trh z uhlíkem (EP, 2007).

Celý systém obchodování emisí z letectví však může dostat vážnou ránu. Tu představují hrozící soudní spory ze strany aerolinií ze zemí mimo EU, kteří tvrdí, že je ETS v rozporu z leteckými svobodami danými Chicagskou konvencí. Nejdále jsou v tomto procesu americké aerolinie, které již v lednu 2010 podaly stížnost u soudu ve Velké Británii. Výsledek soudního řízení může značně zkomplikovat proces začlenění letectví do systému EU ETS (ENDS, 2010).

2.4.1 Postoj EU

Dle posledních informací zveřejněných na konferenci k dopravě a možných scénářích vývoje emisí GHG v EU k roku 2050 vyplývá, že EU hodlá rozšiřovat rozsah na další druhy dopravy a zvažuje zavedení paušální daně z „uhlíku“

Ve vztahu ke letectví EU například v porovnání se silniční dopravou nevidí výhledově velký potenciál v možnostech snižování emisí prostřednictvím

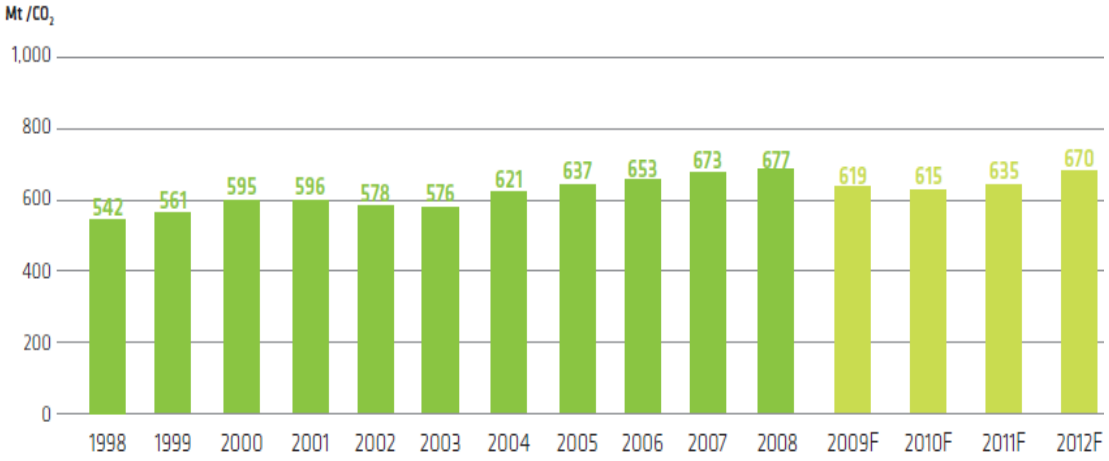
efektivnějších motorů a nízkouhlíkových paliv. Evropská unie neočekává, že by letectví zavedlo nové „převratné“ technologie do praxe do roku 2050, aby výrazně snížilo emise (Cal, 2010).

O dalších možnostech snižování emisí oxidu uhličitého v letecké dopravě pojednávají následující kapitoly.

2.5 Letecké emise a spotřeba paliva

Sektor dopravy se podílí na celkových světových emisích CO_2 asi ze čtvrtiny (Pew climate, 2009). Podle posledních informací je podíl letectví na světové produkci skleníkových plynů asi 3 % (EK,2008), což je asi 12% podíl v rámci dopravního sektoru.

Dle IPCC je podíl letectví na antropogenní produkci CO_2 2 %. Do roku 2050 by při 2-3% růstu emisí CO_2 (při 5% růstu objemu dopravy) měl podíl vzrůst na 3 % (IPCC, 1999). Dle statistik z USA letectví spotřebovává asi 9 % celkové energie z dopravního sektoru. Letouny ročně spálí až 1,7 mld. barelů paliva (asi 270 mld. litrů). Celkové emise CO_2 komerčního letectví tak byly v roce 2008 dle ATAG asi 680 Mt CO_2, viz Obr.č. 4.

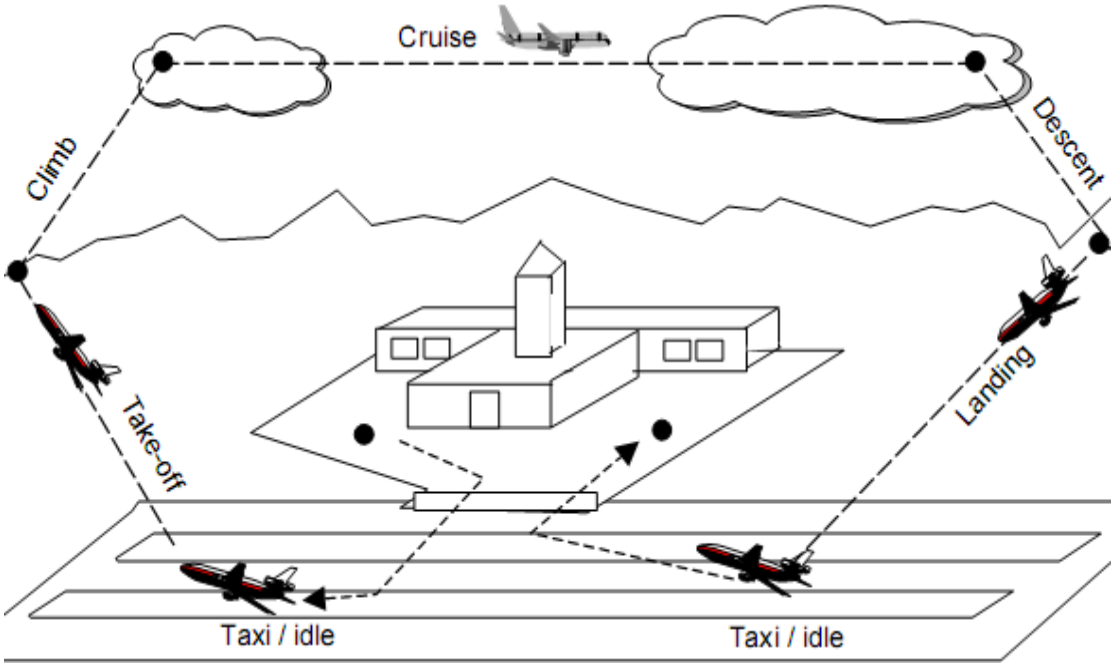


Obr. č. 4 Celkové emise CO_2 komerčního letectví do roku 2008, od 2009 jde o předpověď (ATAG, 2009)

Přímé emise CO_2 související s pohybem letounu vznikají při spalování leteckého petroleje v motorech. Při spalování leteckého petroleje vznikají kromě CO_2 ještě

emise CO, SO_2, NO_x a vodní pára. Tato diplomová práce se zaměřuje hlavně na řízení produkce CO_2. Kapitola 2.6.1 shrnuje současné vědecké poznatky o produkci vodní páry a vlivu na změnu klimatu.

Největší část emisí CO_2 je vyprodukována během letu v cestovní hladině (cruise). Nejméně paliva letoun spálí během pojíždění (taxi). Pokud bychom se zaměřili na relativní spotřebu paliva vzhledem k času, potom nejvíce paliva letoun spálí ve vzletové fázi (take-off), kdy je motor v provozu na plný výkon, viz Obr. č. 5.



Obr. č. 5.Letové fáze: pojíždění(taxi), vzlet(take-off), stoupaní(climb), let v cetovní hladině(cruise), klesání (descent) a přistání(landing), (EEA, 2006).

Nepřímé emise spojené s leteckou dopravou vznikají při výrobě a přepravě letadlových součástí a stavbě infrastruktury v podobě letišť. Mezi emise z letectví se zařazují také emise dopravních a mechanizačních prostředků a budov používaných na letištích (Čapková, 2009). Leteckými emisemi vyprodukovanými během celoživotního cyklu se zabývá kapitola 3.

Vezme-li se v potaz hrozba klimatických změn ze vzrůstající průměrné zemské teploty, může hrát jakýkoliv nárůst emisí CO_2 roli. Letecký sektor vždy používal

špičkové technologie a i v současnosti investuje do výzkumu a vývoje šetrných řešení a hledá udržitelné cesty vývoje.

Existuje celá řada iniciativ a pracovních skupin zabývající se snížením dopadu letectví na životní prostředí. Různé skupiny hledají různé cesty, jak snížit emise skleníkových plynů z letectví. Někteří radikálové navrhují úplné zrušení letecké dopravy (Lomborg, 2008), jiní jdou cestou regulací (daně, limity), další nastavují emisní stropy (obchodování s emisemi) a letečtí inženýři přicházejí s technologickými inovacemi. Laická veřejnost určitě zaznamenala, že poslední typy velkých dopravních letounů jako je Airbus 380 a Boeing 787 mají průměrnou spotřebu méně než 3 litry na cestujícího na 100 km. To odpovídá asi průměrné spotřebě automobilu se 2 cestujícími.

Chceme-li přepočíst spálené palivo na množství vyprodukovaných emisí CO_2, musíme použít tzv.emisní faktor. Emisní faktor je index, který přibližně přepočítává spotřebované letecké palivo na emise CO_2. Dle současného nařízení EK je emisní faktor roven 3,15.

Potom platí jednoduchá úměra, že množství vyprodukovaných emisí oxidu uhličitého se určí jako množství spotřebovaného paliva násobeno emisním faktorem.

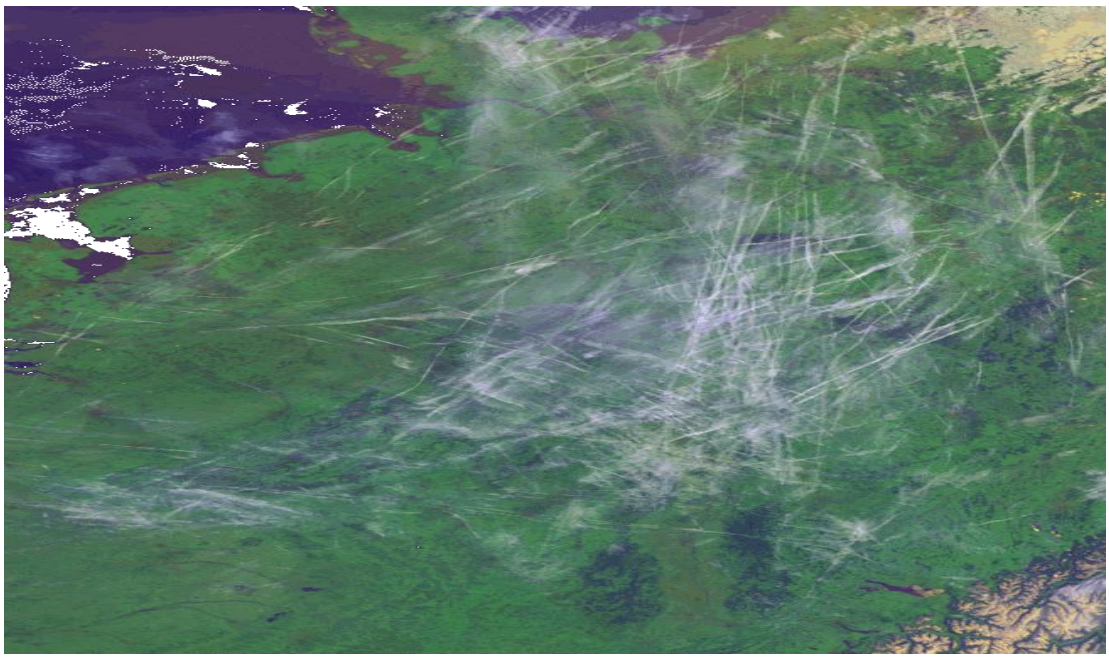
$$CO_2 = 3{,}15 * \text{spotřebované palivo [t]}$$

2.5.1 Produkce vodní páry

Při spalování paliva v leteckých motorech vzniká mimo emisí CO_2 i H_20 v podobě vodní páry. Kondenzační čáry (angl.contrails), které jsou za slunečného počasí viditelné i ze země, se podle aktuálního stavu atmosféry vyskytují ve výškách přibližně od 8 km do 12 km a teplotách pod -40°C. Kondenzační čáry se objevují za výfuky motorů letounů a za konci křídel, kde se tvoří víry. Dochází zde v podstatě ke kondenzaci vodní páry obsažené v okolní atmosféře a vzniku drobných ledových krystalků v okolním vlhkém a velmi chladném vzduchu viz Obr. č.6.

Obr. č. 6 Kondenzační čáry vzniklé za proudovými motory letounu (Kadiak,2007).

Kondenzační čáry mohou být buď dlouhého nebo krátkého trvání. Čáry krátkého trvání většinou zmizí po pár minutách, kdy dojde k přeměně ledových částeček zpět na vodní páru. Větší význam pro klimatické procesy mají trvalé (z angl. persistent) kondenzační čáry. Ty se mohou buďto posouvat a rozšiřovat nebo zůstávají v původním tvaru přímých linek. Vzniká tak v podstatě umělá oblačnost podobná cirrům. Z Obrázku č.7 je vidět, že při hustém provozu mohou kondenzační stopy pokrývat nemalou část oblohy (NASA, 2006).



Obr. č. 7 Kondenzační čáry nad Evropou zachycené družicí NOAA-12 (NWS, 2007).

Obecně řečeno, v současnosti se značná část vědců shoduje na tom, že kondenzační čáry a jimi vyvolaná umělá cirrová oblačnost zvyšují přirozený skleníkový efekt atmosféry. Čáry obsahující molekuly vody totiž zadržují dlouhovlnné záření ze Země ve větší míře, než je běžné při přirozeném stavu atmosféry, kdy by záření opustilo atmosféru (Leea D.S. a kol., 2009).

Stále ještě není dostatečně prozkoumána otázka, jaké množství odražených slunečních (krátkovlnných) paprsků se od umělé cirrové oblačnosti odrazí. To by potom vedlo k částečně chladícímu efektu umělé cirrové oblačnosti tím, že odrazí větší část paprsků než je přirozené.

Pro vyjádření množství přijaté energie (záření) se používá fyzikální veličina *radiační záření* s jednotkou mW/m^{-2}. Pokud je radiační záření pozitivní, znamená to, že daná komponenta přispívá k oteplování země.

V posledních letech se objevovaly hlasy, že by měl být efekt kondenzačních čar zahrnut do klimatických modelů. Model IPCC z roku 1999 s kondenzačními čarami operuje, ale používá v jejich spojení značnou míru nejistoty, protože tehdejší vědecké poznání, nebylo na dostačující úrovni.

V současnosti jsou známa nová fakta umožňující předpovědět oblasti výskytu kondenzačních čar. Stále ovšem zůstává mnoho nejasností v otázce hustoty pokrytí kondenzačních čar. Současné satelity totiž „nevidí“ kondenzační čáry s menší odrazivostí jejich paprsků. Proto je značný problém určit jejich hustotu pokrytí. Navzdory tomu se hodnota radiačního záření kondenzačních čar bere jako pozitivní v řádu asi 32 mW/m^{-2}. Celkový dopad letectví na klima se odhaduje asi na 78 mW/m^{-2}.To představuje dle studie, která hodnotí stav v roce 2005, podíl 4,9 % na současném radiačním záření způsobeném člověkem (Leea D.S. a kol., 2009).

2.6 Cíle IATA

Mezinárodní organizace leteckých dopravců IATA je hlavním hráčem na poli diskusí o podílu letectví na klimatických změnách, který hájí pozici aerolinek. IATA uznala podíl letectví na změně klimatu. Podíl letectví na globální produkci CO_2 vyčíslila asi na 2 %.

IATA si vytyčila, že sníží letecké emise v roce 2050 o 50 % oproti roku 2005. Nejdříve by chtěla dosáhnout tzv. neutrálního růstu, kdy i při zachovalém růstu objemu přepravy nedochází k růstu objemu emisí CO_2. V roce 2009 představila IATA svoji strategii jak minimalizovat emise z letectví. Ta se opírá o 4 základní cíle:

a) moderní technologie,

b) efektivní provoz,

c) dobře fungující infrastruktura a

d) pozitivní ekonomická opatření.

add a) IATA očekává, že obnova flotily používající efektivnější spalovací motory, by mohla do roku 2020 přinést až 21% redukci emisí v porovnání se stavem bez obnovy. Modifikace současných draků letounů (snížení odporu) může přispět ke snížení emisí o 1 %.

Použití moderních paliv s biokomponentou, tzv. biopaliv, může v budoucnosti snížit emise při spalování až o 80 % oproti stávajícím palivům, viz kap. 5.

add b) Dle IATA lze provozními opatřeními (APU, letové postupy) snížit emise o 3 %, viz kap. 4.

add c) IATA počítá, že zefektivněním infrastruktury (především napřímením letových cest např. v podobě projektu Single European Sky) by šlo k roku 2020 snížit emise až o 4 %.

add d) IATA zastává názor, že legislativní opatření typu obchodování s emisemi (viz kap. 2) musí být na globální úrovni, aby se předešlo zvýhodnění konkurence. Také požaduje, aby se výnosy z „obchodování s uhlíkem“ v letectví zase do leteckého sektoru v podobě investic vracely. IATA mimo jiné očekává, že letecký sektor v roce 2025 bude muset kompenzovat až 90 mil. tun emisí CO_2, aby dostálo svým cílům neutrálního růstu (IATA,2009).

2.7 Emisní kalkulačky a kompenzace uhlíkové stopy

Jako jeden z ekonomických instrumentů, jak snižovat dopad letectví na životní prostředí, se v letecké dopravě začaly používat tzv. emisní kalkulačky. Dnešní aerolinie nabízí cestujícímu na svých webových portálech možnost spočítat dopad

jeho letu na životní prostředí většinou v podobě tzv. uhlíkové stopy (z angl. carbon footprint).

Např. na webovém portálu ČSA si lze po zvolení příslušného letu z Prahy spočítat, kolik emisí CO_2 se během letu vypustí do ovzduší. Některé aerolinky jako například Britské aerolinie jdou ve výpočtech uhlíkové stopy ještě dál. Aerolinie připravily projekty na snižování vlivu letecké dopravy na životní prostředí, do kterého se mohou aktivně zapojit cestující. Tyto projekty zahrnují například financování hydroelektráren nebo větrných parků v rozvojových zemích. Cestující si pomocí emisní kalkulačky v závislosti na konkrétní spotřebě emisí a aktuální ceně emisní povolenky mohou dobrovolně zaplatit poplatek, z něhož by byl projekt financován. Dle aerolinií tak cestující nejen kompenzuje svou uhlíkovou stopu, ale i pozitivně přispívá k zaměstnanosti v těchto zemích (British Airways, 2010).

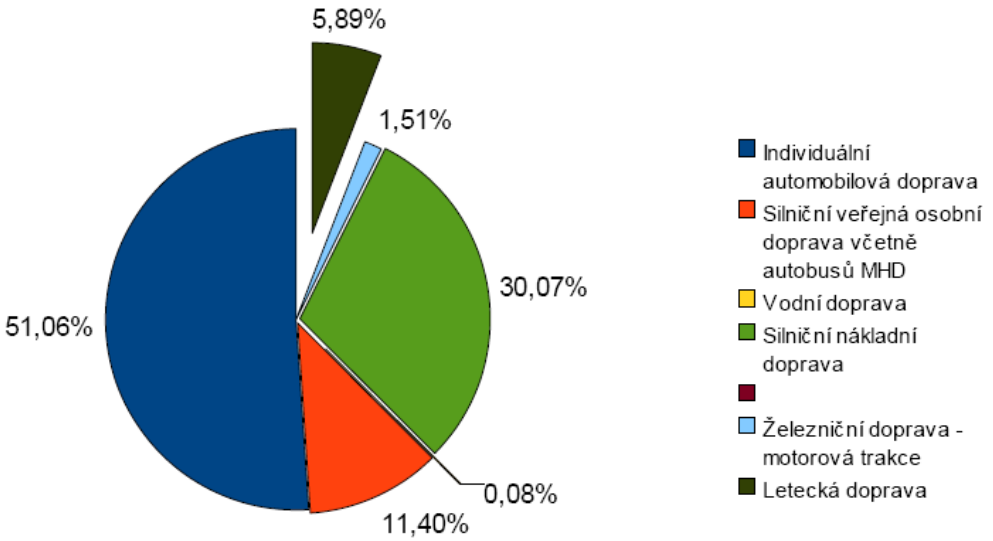
2.8 Letecké emise v ČR a EU

Jelikož je letecká doprava v ČR hlavně dopravou mezinárodní, je vhodné statistiky leteckých emisí uvádět v kontextu EU. Celkový objem letecké dopravy (lety z, do a v rámci) EU 27 byl v roce 2008 asi 156 mld. tkm (AEA, 2009). Národní dopravce ČSA, které jsou hlavním hráčem na poli letecké dopravy v ČR v roce 2008 nalétaly asi 0,743 mld. tkm (ČSA, 2009). Jejich podíl na objemu přepravy v EU činil asi 0,48 %. ČSA v roce 2008 spotřebovaly asi 332 tisíc tun paliva. To dává přibližně 1 mil. tun CO_2 za rok. Je zřejmé, že České aerolinie nejsou velkým hráčem na evropském trhu. Proto ani jejich emise nenabývají významných hodnot v rámci srovnání s dopravci ostatních zemí EU.

2.8.1 Srovnání jednotlivých druhů dopravy za rok 2008 v ČR

Celkové emise dopravního sektoru v ČR za rok 2008 dosáhly dle ročenky Ministerstva dopravy 19,187 mil. tun CO_2. Největší podíl na produkci CO_2 měla individuální silniční doprava s 51 %. Téměř třetinu emisí obstarala silniční nákladní doprava. Silniční veřejná doprava vyprodukovala 11 % emisí. Letecká doprava představovala v roce 2008 asi 5,9% podíl. Zbývající asi 0,1 % připadá vodní dopravě. V roce 2008 činil podíl letectví v ČR na celkových emisích CO_2 země zanedbatelných 0,8 %, což je 1,13 $MtCO_2$. Naopak pozemní silniční doprava jako

celek se v roce 2008 podílela na celkových emisích země asi ze 13 %. Malý podíl leteckých emisí je dán hlavně geografickou rozlohou ČR, kde není letecká doprava k regionální dopravě příliš vhodná.



Obr. č. 8 Emise oxidu uhličitého pro dopravní sektory v ČR za rok 2008 (vlastní úprava - ročenka dopravy MD, 2008).

2.8.2 ČSA a ŽP

Pro aerolinie není životní prostředí hlavní prioritou. Jako v každém komerčním sektoru je hlavní provozní ziskovost a až potom přichází na řadu další aspekty provozu. Dle informací ČSA se chystaným systémem obchodování s emisemi v rámci EU ETS částečně zabývá jeden odborník. Aerolinky přirozeně tlačí na minimalizaci přímých i nepřímých nákladů. Hlavním cílem je zvyšování obsazenosti a snižování spotřeby. ČSA má samozřejmě oddělení plánování letu a provozně technická oddělení, kde se snižováním spotřeby přímo zabývají. Dalším oddělením, které se zabývá např. certifikací, je oddělení kvality. Za úsilím zmíněných oddělení se nepřímo skrývá i snižování vyprodukovaných emisí.

V současnosti není připravované obchodování s emisemi pro aerolinky velký strašák, protože se očekává, že se začlenění letectví opozdí, ale v budoucnu se může karta obrátit.

Pokud nedojde k dalšímu odkladu spuštění obchodování (což není vyloučeno), budou si muset ČSA od roku 2012 kupovat emisní povolenky na pokrytí svých ročních emisí CO_2 (Evropský parlament, 2008). Dle stávajícího formátu EU ETS při zjednodušeném výpočtu můžeme říci, že si budou muset aerolinie kupovat právě 15 % povolenek na pokrytí svých celkových ročních emisí v rámci EU ETS. Při uvažovaném ročním objemu emisí ČSA 1 mil.tun představuje 15% podíl 150 tis.tun emisí. Při ceně povolenky 12,5 EUR by to aerolinie přišlo na 1,875 mil. EUR což je asi 48,75 mil. korun. Při vyšším objemu kupovaných povolenek nebo při růstu jejich ceny by finanční zátěž lineárně rostla. Možnostem provozních úspor paliva se detailně věnuje kapitola 4.

V další části následuje komplexní srovnání druhů dopravy.

3 Srovnání druhů dopravy

V této kapitole je provedeno srovnání letecké dopravy s ostatními producenty škodlivých emisí v dopravním sektoru.

3.1 Ekologičnost provozu

V současnosti se rozhodování v oblasti hodnocení vlivu dopravy na životní prostředí a především změnu klimatu zaměřuje především na konec onoho pomyslného "přepravního" řetězce. Jinými slovy, vliv jednotlivých druhů dopravy se nehodnotí v rámci celoživotního cyklu dopravního prostředku, ale pouze dopad jeho provozu, který je relativně "viditelný" a lze snadno změřit. Pokud chceme srovnávat ekologičnost jednotlivých druhů doprav musíme se zaměřit především na vliv:

- výroby dopravního prostředku,
- infrastruktury,
- provozu,
- likvidace.

Studie, která šířeji srovnává jednotlivé dopravní prostředky v USA, byla použita jako demonstrace toho, jak může komplexní přístup k hodnocení vlivu na životní prostředí popřít zažité stereotypy ve vnímání škodlivosti dopravních prostředků.

Tato studie od Chester M. a Horvath A. publikovaná v roce 2009 vybrala několik zástupců z každého druhu dopravy tak, aby v průměru pokryla spektrum dopravních prostředků v daném druhu dopravy zastoupeném.

Studie posuzuje:

A. automobily v zastoupení (sedan, SUV a pickup),
B. autobusy v zastoupení (dieselový autobus ve špičce a v sedle),
C. vlaky v zastoupení (lehký elektrický vlak typu metro, těžký el. vlak, dieselový osobní vlak)
D. letadla v zastoupení (Embraer 145, Boeing 737, Boeing 747).

Vodní doprava nebyla součástí srovnávání.

Dopravní prostředky studie srovnává v rámci celoživotního cyklu, do kterého zahrnula těžbu materiálu nutného ke konstrukci dílů dopravních prostředků, montáž prostředků, přepravu, nutnou infrastrukturu a samotný provoz prostředku.

Vliv na životní prostředí sleduje ve 3 kategoriích a to v oblasti:

1. spotřeby energie
2. produkce skleníkových plynů
3. produkce znečišťujících látek do ovzduší

Pro úplnost je nutné uvést, že práce bere v potaz vliv obsazenosti dopravních prostředků. Do výpočtu totiž zahrnuje faktor PKT, což je ukazatel osobo-kilometr, který ukazuje na jakou vzdálenost a kolik osob bylo přepraveno. Tímto ukazatelem se změřené emise podělí, a tím se umožní transparentní srovnání jednotlivých druhů dopravy.

Co se týče srovnání dopravních prostředků ať už v oblasti energetické náročnosti nebo produkci emisí, je třeba vymezit části životního cyklu, které se do srovnání promítají. Použitá studie Chester M. a Horvath A. vykazuje zvlášť emise z provozu, které souvisí buď přímo nebo nepřímo s provozem prostředků. Budeme pod nimi chápat vlivy vzniklé startem, jízdou nebo letem a stáním. Ty budeme pro účely srovnání nazývat *provozní*. Ostatní vlivy, které nejsou přímo spojené s provozem, jako je těžba materiálu, výroba prostředků; stavba, provoz a údržba infrastruktury; výroba a doprava paliva, budeme pro jednoduchost považovat za *ostatní*.

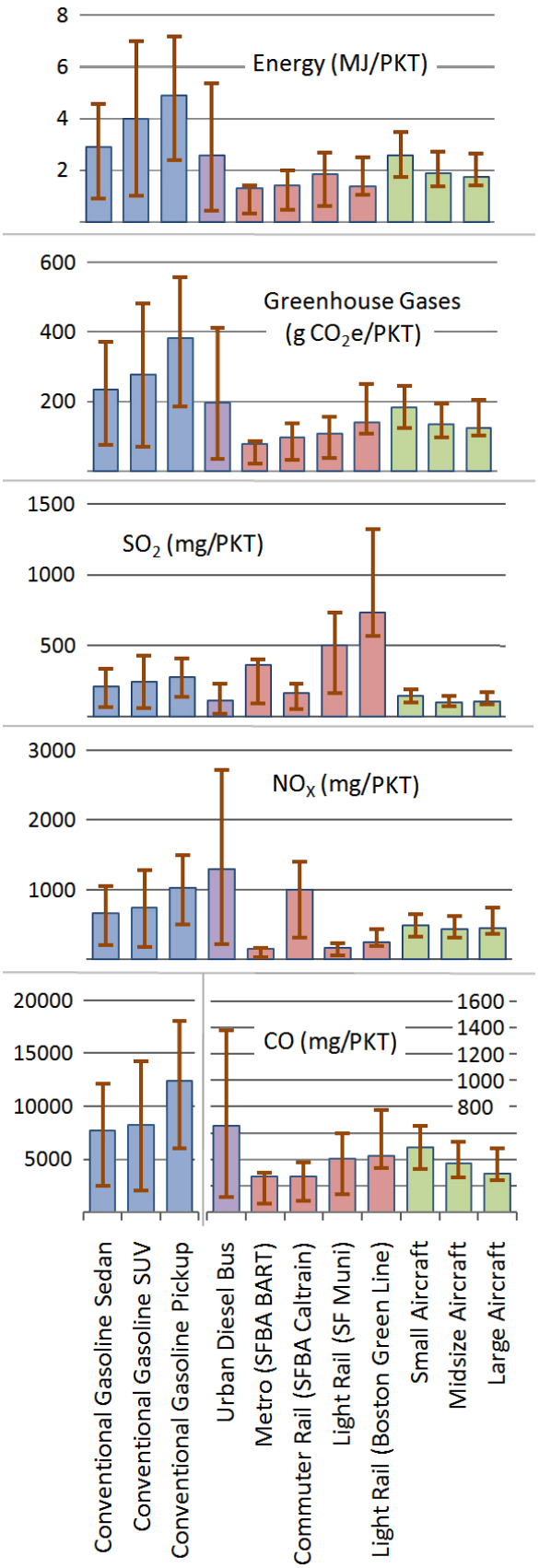
Následuje přehled zjištěných výsledků studie.

3.2 Energetická náročnost provozu

V celkovém srovnání dopravních prostředků z hlediska spotřeby energie během životního cyklu vychází nejlépe vlaky s průměrem asi 1,5 MJ/oskm. Druhé jsou letouny s asi 2 MJ/oskm, třetí autobusy s asi 2,5 MJ/oskm a až čtvrté automobily s průměrnými 4 MJ/oskm, viz Obr č.8.

Pokud se zaměříme na energetickou náročnost resp. spotřebu energie v jednotlivých prostředcích zjistíme, že se liší v tom, jak se podílí „provozní spotřeba energie“ na celkové spotřebě energie během životního cyklu prostředku.

Obr č.8. Komplexní srovnání dopravních prostředků (Chester M. a Horvath A., 2009).



První tři modré sloupce představují automobilovou dopravu (v pořadí sedan, SUV a pickup), fialové autobusy, červené vlaky (lehký elektrický vlak typu metro, těžký el. vlak, dieselový osobní vlak městské dopravy v San Francisku a Bostonu) a zelené letadla (Embraer 145, Boeing 737, Boeing 747).

Červená linka značí rozsah spotřebované energie nebo vypuštěných emisí v závislosti na nízké nebo vysoké (maximální) obsazenosti dopravního prostředku.

První graf ukazuje energetickou náročnost (MJ/oskm)

Druhý graf je produkce skleníkových plynů (vyjádřen v ekvivalentech CO_2 tzv. CO_{2e}) v gCO_{2e}/oskm.

Zbylé grafy znázorňují produkci látek znečišťujících ovzduší (mg/oskm).

Produkci emisí SO_2 v mg na jeden osobo-kilometr znázoňuje třetí graf.

Čtvrtý graf zobrazuje emise NO_x v mg/oskm.

Poslední graf ukazuje emise CO v mg/oskm. Levá část grafu má vertikální osu zachycující množství emisí pro automobily s přibližně 12,5 krát větším měřítkem než pravá část grafu.

Když budeme celkovou spotřebovanou energii během života považovat jako 100 %, potom pro automobily vychází, že provozní energie zahrnuje 65-74 % celkových emisí. U vlaků je tomu 24-39 % pro provozní. U letadel vychází podíl provozní ku ostatní 69-79 %.

Nejnižší poměr vychází u vlakové dopravy. To je způsobeno nízkými energetickými nároky na 1 cestujícího vzhledem k energetické náročnosti na infrastrukturu.

Letecká doprava vykazuje opačný poměr. Největší poměr provozní energie k ostatní je dán hlavně tím, že letecká doprava má relativně malé nároky na výstavbu infrastruktury a její údržbu. Má také velké energetické nároky na 1 oskm. Nejvíce energie se pochopitelně spotřebuje během letové fáze letu - cruise.

Naopak energie nesouvisející s přímým provozem - ostatní energie - vykazuje u letadel 2-14% podíl. U vlaků je 7-21% a u autobusů 3%. .

Srovnání celkové energetické náročnosti souvisí silně s uvažovanou obsazeností prostředků. Faktor obsazenosti je znázorněn na Obr. č.8 červenou linkou. U automobilů se minimální obsazenost bere jako jeden cestující a maximální obsazenost jako plné vozidlo. U autobusů je minimum 5 a maximum 60 cestujících. Pro vlaky studie uvažuje minimum jako 25% obsazenost a maximum jako 110 % z navrhované kapacity přepravního prostředku. U letounů se uvažuje 50% obsazenost jako minimum a 100 % jako maximum červené linky.

3.3 Produkce skleníkových plynů

Jak už bylo zmíněno, jelikož jsou energetické vstupy zajištěny hlavně fosilními palivy, je zde silná pozitivní korelace mezi spotřebovanou energií a vyprodukovanými skleníkovými plyny. V celkovém srovnání dopravních prostředků proto i z hlediska produkce skleníkových plynů během životního cyklu vychází nejlépe vlaky s průměrem asi 100 g/oskm. Druhé jsou letouny s asi 170 g/oskm, třetí autobusy s asi 200 g/oskm a až čtvrté automobily s průměrnými 270 g/oskm, viz Obr. č.8.

Poměr mezi celkovými skleníkovými plyny vyprodukovanými během životního cyklu prostředku ku vyprodukovaným plynům přímo souvisejícím s provozem je u

pozemní dopravy 1,4-1,6. U železniční 1,8-2,5 a u letecké dopravy jen 1,2-1,3 (viz Příloha 1). Jak zmiňuje studie Chester M. a Horvath A., vyprodukované skleníkové plyny silně závisí na zdroji elektrické energie, který se v dané oblasti používá. Pokud je elektrická energie z větší části získávána z fosilních paliv, jsou emise skleníkových plynů rázem vyšších řádů, něž když jde o zdroj obnovitelný.

3.4 Produkce látek znečišťujících ovzduší

Pokud se k objemu přímých provozních látek znečišťujících ovzduší připočte podíl nepřímých komponent, dostáváme i několikanásobně vyšší hodnoty, než kolik představují emise z provozu prostředků.

Když se zaměříme na srovnání jednotlivých druhů doprav v rámci celoživotního cyklu emisí SO2, CO a NO_x dojdeme k následujícímu zjištění. Emise SO_2 vychází nejlépe pro letouny a autobusy, a to s průměrem asi 100 mg na oskm. To je asi 2krát nižší hodnota než u průměrného automobilu a 5krát nižší než u vlaků.

Emise NO_x na osobo-kilometr vychází opět nejlépe pro letouny a tentokráte vlaky s průměrem pod 500 mg/oskm. Automobily vyprodukují v průměru asi 750 mg/oskm a autobusy přes 1000 mg/oskm, viz Obr. č. 8 graf NOx.

Emise CO na osobo-kilometr vychází znovu nejlépe pro letouny a vlaky s průměrem pod 400 mg/oskm. Další skončily autobusy s průměrem lehce nad 600 mg/oskm. Automobily vychází zásadně nejhůř s průměrem skoro 10 000 mg/oskm, viz Obr. č. 8 graf CO.

3.5 Shrnutí srovnání dopravních prostředků

Ze srovnání vyplývá, že pokud vezmeme v potaz srovnání ukazatelů v rámci celoživotního cyklu, u některých dopravních prostředků se zásadně projeví nepřímé komponenty. Pokud do srovnání navíc promítneme faktor obsazenosti, abychom se co nejvíce přiblížili realitě, docházíme k překvapivým zjištěním.

Co se týče energetických vstupů, nejlépe ze srovnání vyšla železniční doprava následovaná leteckou dopravou. Stejně je tomu při srovnání z hlediska produkce skleníkových plynů. I zde dopadla nejhůř automobilová doprava.

Pokud srovnáme dopravní prostředky z hlediska produkce látek znečišťujících ovzduší, vychází vítězně letecká doprava spolu s železniční. V závěsu se pohybuje autobusová doprava a s velkým odstupem automobilová.

Letecká doprava překvapivě ze srovnání vychází jako druhá nejčistší doprava po železniční. Na pomyslném třetím stupínku by se umístily autobusy. Poslední místo by obsadily automobily především kvůli velké energetické náročnosti a zásadně nejhorším výsledkům v oblasti emisí CO.

Je třeba zdůraznit, že studie se opírá o hodnoty odpovídající americkému dopravnímu průmyslu, který může být lehce odlišný od toho evropského. Například v tom, že oproti EU se v USA používají energeticky náročnější automobily. To samé platí i o americké železnici. Pokud však vnímáme výsledky jako hodnoty průměrné, pak mají s drobnými odlišnostmi stejnou vypovídající hodnotu ve všech zemích rozvinutého světa.

4 Možnosti úspor ve spotřebě

Velmi zajímavým materiálem je manuál Airbusu z roku 2004, který leteckým provozovatelům dává přehledný návod, jak provozovat letouny efektivně s minimální spotřebou paliva a tedy i s minimální produkcí emisí. Jako hlavní důvod omezování spotřeby je zde zmiňována ekonomičnost provozu. Konkrétně snižování přímých provozních nákladů. V dnešní době je tento tlak znásoben hlavně z důvodu:

- nižších objemů přepravy z důvodu globální finanční krize,
- rostoucího vlivu ekologických organizací na dění ve společnosti podložené klimatickými změnami.

Mluví li se v dnešní době o úspoře paliva, míní se tím automaticky úspora v podobě přímých provozních nákladů a též přínos v podobě snížení emisí CO_2.

Výrobce letadel Airbus ve své publikaci zmiňuje 6 základních bodů, jak snižovat spotřebu paliva:

1. kvalitní plánování letu
2. správné vyvážení letounu
3. aerodynamika letounu
4. optimální využití systémů typu (APU, připusť, sloty a klapky)
5. letové postupy (využití vhodných rychlostí a letových hladin)
6. vhodné použití FMGS (Flight Management and Guidance System)

4.1 Úspora paliva pro letoun A320

V následující části si hrubě nastíníme úspory paliva pro jednotlivé body. Na konci podkapitoly následuje shrnutí možných úspor emisí vyplývajících z úspory paliva.

Zaměříme se pro jednoduchost na kategorii letounů rodiny A320. Tedy letounů, které dominují flotile národního dopravce ČSA. Než se dostaneme k jednotlivým propočtům, je třeba uvést základní parametry letounů rodiny A320. Do rodiny Airbus 320 se řadí letouny podobné koncepce rozměrů a letových vlastností. Spadají sem

letouny typu A318, A319, A320 a A321. Počet míst pro cestující roste dle typu od 107 po 220.

Typickým představitelem je letoun A320 se základními letovými parametry shrnutými v tabulce č. 1.

Rozpětí	34,09 m	
Délka	37,57 m	
Výška	11,76 m	
Průměr trupu	3,96 m	
Počet míst	150-180 osob	
Dolet	3050 nm (5648,6 km)	
Typická délka sektoru		1000 nm (1852 km)
Provozní hmotnost-prázdný letoun		42,6 t
Max. vzletová hmotnost	78 t	
z toho palivo max.		30,19 l
platící náklad		17,2 t
Dolet s max. nákladem		4 900 km
Maximální rychlost		0,82 M
Motory:	CFM56-5B	122 KN
	V2500-A5	118 KN

Tab. č. 1. Základní parametry letounu Airbus 320 (vlastní úprava-Airbus, 2010).

Následující kalkulace vycházejí z propočtů společnosti Airbus. Uvažují se průměrné hodnoty nákladu a sektorová délka (tj. průměrná délka jednoho letu) 1000 nm (1852 km). Samotná úspora na jeden sektor se nemusí jevit jako významná, avšak při přepočtu na roční úsporu již vykazuje zásadní hodnoty (viz kapitola 4.2). Pro A320 je totiž typická vyšší frekvence otáček na kratší uletěné vzdálenosti.

Add 1) Plánování letu

Kvalitní plánování letu je základem úspěchu každého leteckého provozovatele. Ten musí klást důraz na to, aby pracoval s přesnými daty (hmotnost letounu, spotřeba,

letové parametry, omezení služby řízení letového provozu - ŘLP, záložní letiště, teplota, vítr atd.).

Na základě těchto parametrů se sestavuje letový plán a plánuje letová cesta. Vhodným plánováním a volbou letových hladin může dojít ke značné úspoře paliva. Vhodnou optimalizací lze také dosáhnout snížení minimálních požadovaných rezerv paliva na let.

Add 2) Poloha těžiště a vyvážení

Dle měření Airbus nevede posun polohy těžiště pro letouny rodiny A320 téměř k žádným úsporám paliva. Narozdíl od ostatních typů letounů Airbus.

Významný vliv může mít zvýšení hmotnosti letounu. Provozovatel se snaží zvýšit objem platícího nákladu. Naopak nemá zájem zvyšovat tzv. DOW (Dry operating weight - hmotnost prázdného letounu) čili hmotnost letounu bez paliva a nákladu.

Nárůst hmotnosti má vliv na spotřebu paliva. Při zvýšení max. vzletové hmotnosti o 735 kg může dosahovat penalizace v podobě vyšší spotřeby až 60 kg paliva na sektor. Další možnosti úspor paliva se skrývají v rezervách paliva, které se do letounu čerpá navíc. V případě A320 se jedná o 45 kg na sektor.

Dalším důvodem pro nárůst spotřeby je stárnutí letounu. Čím je letoun starší, tím roste jeho hmotnost. Je to dáno jednak opravami (např. nýtování), doplněním povinné výbavy novým zařízením a dokumentací a nebo usazením nečistot. Velký tlak je proto dnes kladen na snižování hmotnosti základního vybavení jako jsou záchranné pomůcky, toalety, catering, sedačky a nebo olej.

Určitý nárůst hmotnosti letounu v podobě oprav je nevyhnutelný, avšak provozovatel by měl tento nárůst omezovat. Airbus vyčíslil, že při 100 kg extra nákladu na let se ročně musí počítat s 5 t paliva na letoun navíc kvůli vyšší spotřebě.

Add 3) Aerodynamika letounu

Aerodynamika je jednou ze základních leteckých vědeckých disciplín. Má zásadní vliv na letovou fázi a spotřebu paliva. Jedná se především o aerodynamický odpor, který vzduchu klade trup letounu. Může být způsoben např. zdrsněním povrchu trupu, nedoléháním dveří, deformacemi způsobenými srážkami s ptactvem, trhlinami

nebo špatným seřízením letových plošek. Airbus vyčíslil nadměrnou spotřebu související se špatnou aerodynamikou A320 až na 126 kg paliva na sektor.

Add 4) Optimální využití systémů

Velká úspora se skrývá též v optimálním používání systémů letounu. Hlavním pomocným zařízením používaným jako sekundární zdroj energie je tzv. APU-Auxiliary power unit. Jde o jednotku zajišťující klimatizaci letounu a generující elektrickou a pneumatickou energii. Tato malá turbína spotřebovává ve srovnání s let. motory malé množství paliva, ovšem při optimálním použití může vést k nemalým úsporám. Náročné na palivo jsou především opakované starty motorů. Airbus vyčíslil rozdíl v úspoře mezi APU a motorem na 3 kg za 1min. provozu.

Add 5) Letové postupy

Pojíždění na dráze může někdy trvat i desítky minut. Při pojíždění pomocí spuštěných motorů dochází k nadměrné spotřebě paliva. Existuje řada postupů, které mohou vést k úsporám paliva. Řada z nich je závislá na infrastruktuře a technickém vybavení letišť. V pojetí této diplomové práce není vliv infrastruktury na snižování leteckých emisí dále rozvíjen. Z provozního hlediska používají aerolinky většinou postup pojíždějí s využitím pouze jednoho motoru. Dle Airbusu je při 12minutovém pojíždění 8 minutové vypnutí motoru schopno uspořit až 46 kg paliva na jedno pojíždění.

Při vzletu je možné uspořit palivo pomocí zapojení APU. Dále záleží na vzletové konfiguraci klapek. Též je možné optimalizovat připusť motoru a redukovat tah. Tyto úspory Airbus vyčíslil na 10 kg na sektor.

Nejvýznamnějších úspor lze dosáhnout v letové fázi. Pro každý typ letounu jsou detailně zpracovány křivky znázorňující výkonové a spotřebové parametry vzletu odvisející od typu motorů. Při fázi stoupání je u A320 z hlediska dosažení možných úspor nejdůležitější rychlost stoupání. Při nižších rychlostech (kolem 300 kt na místo 330 kt) lze uspořit až 70 kg na sektor. Tzv. technika DERATE (umělé snížení tahu) nepřinese u A320 žádnou úsporu.

Nejzásadnější roli v rámci úspory paliva hraje dobře zvolená letová hladina. Pro dosažení co největší úspory paliva má každý letoun publikovanou optimální letovou

hladinu pro střední fázi letu (tzv. cruise) v souvislosti s rychlostí letu. V této fázi letoun obvykle uletí nejvíce km a tudíž dosažené úspory se násobí. Obecně platí, že čím výše tím menší odpor a tím menší spotřeba. Obdobně lze říci, že čím se letí pomaleji, tím je spotřeba menší. Ovšem i tyto obecné zákony mají své limity.

Při letu rychlostí 0,78 Mach jen o 600 m výše nad optimální hladinou je spotřeba o 25 kg vyšší. Naopak při letu o 600 m pod optimální hladinou je spotřeba vyšší o 80 kg na sektor. Dalších úspor letoun dosáhne pokud do své letové trasy promítne snižování hmotnosti. Potom je výhodnější skokově zvyšovat cestovní hladinu. Změna hladiny na optimální mnohdy není možná okamžitě například z důvodu omezení ŘLP. Airbus spočetl, že pokud letí letoun v hladině např. o 1200 m níže než je jeho optimum, může ho to stát na 930 km až 180 kg paliva navíc. Naopak při krátkých letech do optimální hladiny letoun ani nevystoupá.

Nelze opomenout ani vliv větru na spotřebu paliva. Mnohdy je výhodnější letět v nižší hladině, protože přínos větru „do ocasu“ kompenzuje vyšší odpor v nižší letové hladině. Při větru do ocasu rychlostí 60 kt (111 km/h) může být úspora až 100 kg na sektor.

Vyčkávání je manévr, kdy letoun nemůže zahájit přiblížení na přistání a musí „kroužit“ v blízkosti letiště přistání. Správná technika vyčkávání může vést k dalším úsporám. Při vhodném 15min vyčkávání za letu při konfiguraci s nejlepším poměrem vztlaku ku odporu může vést k úspoře až 30 kg oproti standardním postupům. Režie vyčkávání je velmi často v rukou ŘLP. Ta může mít nemalý vliv na úsporu paliva aerolinií nejen při vyčkávání, ale i v jiných fázích letu. Vliv ŘLP není z důvodu koncepce této práce dále rozpracováván.

Při klesání lze též dosáhnout úspor paliva. Z vypočtených křivek spotřeby při klesání lze pro jednotlivé typy letounů opět určit optimální rychlost a dráhu klesání. Pro A320 je nejvhodnější rychlostí klesání 240 kt, kde oproti 300 kt uspoří až 50 kg na sektor. Časová ztráta je jen asi 156 sekund. Dalších úspor ve spotřebě lze u delších letů dosáhnout včasnějším zahájením klesání.

Add 6) Vhodné použití FMGS

FMGS je součástí tzv. FMS-Flight management system, volně přeloženo jako řídícího letového systému. Jde o řídící počítač optimalizující letový plán s ohledem na dosažení nejekonomičtější letové hladiny v závislosti na cenovém indexu stanoveném aerolinií. Tím aerolinie zjednodušeně říká, jaký je poměr preference ceny k času. Tedy zda je důležitější letět ekonomicky nebo rychleji a na čas.

4.2 Úspora paliva na let

Výše zmíněné úspory na jeden průměrný let u letounu A320 jsou zrekapitulovány v tabulce č. 2. Jde o maximální úspory vyčíslené společností Airbus pro letoun A320.

Předletové procedury (hmotnost, pojíždění, APU, aerodynamika)	až 208 kg
vzletová konfigurace	až 10 kg
rychlost stoupání	až 70 kg
cestovní výška letu	až 80 kg
cestovní rychlost	až 40 kg
změny letové hladiny	až 180 kg
rychlost klesání	až 30 kg
včasnější zahájení klesání	až 50 kg
vyčkávání	až 30 kg
celková úspora na 1 let	**až 700 kg**

Tab. č. 2 Maximální provozní úspory paliva pro letoun A320 na let (vlastní úprava-Airbus, 2004).

Chceme-li přepočíst úsporu paliva na emise CO_2, můžeme použít emisní faktor. Emisní faktor je index, který přepočítává spotřebované letecké palivo na emise CO_2.

*úspora CO_2 = 3,15 * 0,7 = 2,205 [t]*

Jednoduše spočteme, že úspora až 700 kg paliva na let sníží emise CO_2 až o 2,2 tuny na let. Když bychom chtěli tuto úvahu dále rozvést a spočíst ekonomické důsledky úsporného provozu, musíme do výpočtu promítnout **a)** cenu paliva a **b)** cenu emisních povolenek.

a) Finanční úspora na 1 let - palivo

Týdenní cenu paliva zveřejňuje na svých stránkách IATA. V týdnu od 19. března 2010 byla průměrná světová cena leteckého kerosinu 700,9 $/tunu (2,117 $/gal).

Při únorovém průměrném kurzu amerického dolaru ke koruně 18,981 (ČNB, 2010) přináší nižší spotřeba paliva o 700 kg úsporu asi 491 $, což je 9 313 Kč na jeden let.

*úspora paliva v USD = 0,7 * 700,9 = 491 [USD]*

*úspora paliva v Kč = 0,7 * 700,9 * 18,981 = 9 313 [Kč]*

b) Finanční úspora na 1 let - emisní povolenky

Emisní povolenky jsou legislativně definovány nařízením EU 2003/87/ES a 2008/101/ES. Systém je nastaven tak, že jedna tuna vyprodukovaných emisí CO_2 se rovná jedné emisní povolence v systému EU ETS (tzv. EUA-European Union emission Allowance). Kalkulace ceny emisních povolenek v letectví je pouze hypotetická, protože stále není jasné, zda a kdy se s nimi v letectví začne obchodovat.

Abychom vyčíslili dodatečnou teoretickou peněžní úsporu vyvolanou obchodováním s emisemi, opět jednoduše vynásobíme úsporu CO_2 v tunách cenou povolenky v EUR. Průměrná cena povolenek EUA je od počátku roku 2010 asi 12,5 EUR (Carbon positive, 2010).

*úspora při koupi povolenek v EUR = 2,2 * 12,5 = 27,56 [EUR]*

*úspora při koupi povolenek v Kč = 2,2 * 12,5*25,976 = 716 [Kč]*

Při únorovém průměrném kurzu eura ke koruně 25,976 dostáváme úsporu asi 716 Kč na jeden let, což je přibližně ekvivalent ceny letenky jednoho cestujícího.

4.3 Výsledky - roční úspora emisí a paliva

Je nutné podotknout, že úspory paliva (emisí) se mohou jevit jako nevýznamné v rámci jednoho letu. Pokud se ovšem na úsporu podíváme v rámci delšího časového rámce, je tato úspora značná. Vezmeme-li v úvahu sektorovou délku 1000 nm a trvání letu průměrně 2,4 hodiny, může letoun typu A320 provést za den asi 3 lety. Noční lety jsou totiž v EU silně omezeny. Tudíž je provoz většinou omezen na denní dobu 6:00-22:00. Tabulka č.3 ukazuje průměrné roční údaje o náletu Airbusu A320

ročně nalétaných hodin	2 700 h
průměrná sektorová délka	1 000 nm
průměrná délka letu	2,4 h
počet sektorů za rok	1 125

Tab. č. 3 Průměrné roční provozní údaje pro letoun A320 (vlastní úprava-Airbus, 2004).

Pokud chceme vyjádřit max. roční úsporu paliva (emisí), vynásobíme počet sektorů za rok počtem ušetřených tun paliva na let.

*úspora paliva za rok = 0,7 * 1125= 787,5 [t]*

*úspora emisí CO_2 za rok = 3,15 * 0,7 * 1125 = 2 480,6 [t CO_2]*

Jelikož je úspora 0,7 tuny maximální teoretická hodnota vycházející z kombinace úsporných opatření, které se v praxi nemusí vždy podařit dosáhnout, je v tabulce č. 4 uveden přepočet pro nižší hodnoty úspor. Pro jednoduchost byly propočteny scénáře pro úspory 10, 100, 250, 500 a 700 kg na let.

Úspora paliva na let [kg]	Úspora paliva za rok [t]	Úspora emisí CO_2 za rok [t]	Roční přínos - palivo [Kč]	Roční přínos - emise CO_2 [Kč]
10	11	35	149 273	11 507
100	113	354	1 492 733	115 066
250	281	886	3 731 833	287 664
500	563	1 772	7 463 665	575 328

700	788	2 481	10 449 131	805 459

Tab. č. 4 Scénáře ročních úspor paliva a emisí pro letoun A320 vyjádřená v tunách a Kč (vlastní úprava, 2010).

Z tabulky č. 4 je zřejmé, že roční přínos je pro aerolinie zajímavý už při úsporách okolo 100 kg na let. Potom budou roční náklady na palivo na jeden letoun nižší řádově o 1,5 mil. korun a potenciálně na emisích o dalších 115 tis. Korun.

4.3.1 Úspora pro flotilu ČSA

Pro úplnost je nutné uvést, že ČSA měly v roce 2008 ve své flotile 16 letounů rodiny A320. Letouny rodiny A320 spotřebovaly v roce 2008 celkem 137,3 tis. tun paliva na 26 tis.letů. Vychází tak průměrná spotřeba 5,28 t na jeden průměrný let A320.

Podle IATA, lze efektivnějšími provozními operacemi aerolinií snížit produkci emisí až o 3 %. To by reálně odpovídalo druhému scénáři, který počítá s tím, že se aeroliniím podaří uspořit asi 100 kg na let. To představuje přibližně 2 % průměrné spotřeby na let a dává celkové roční snížení emisí CO_2 pro 16 letounů rodiny A320 asi 5,7 tis. tun CO_2. Ve finančních prostředcích vychází úspora 1,84 mil. Kč za emisní povolenky a 23,9 mil. Kč za palivo (ČSA, 2009).

4.4 Diskuze

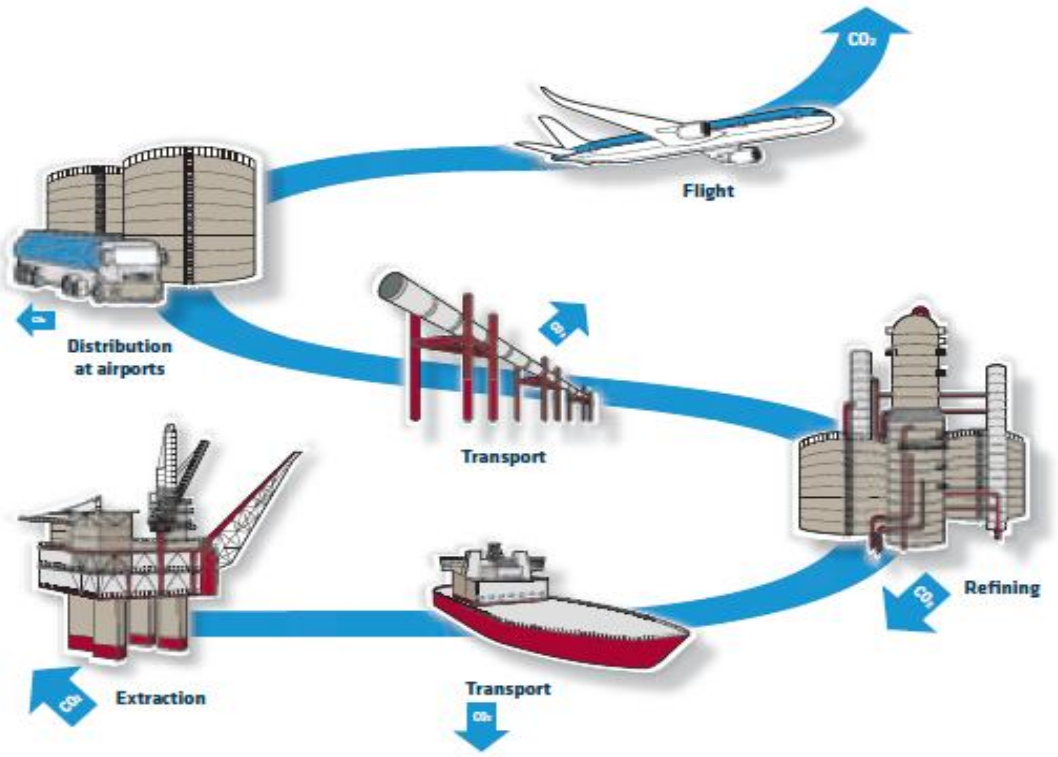
Jak je vidno, čím větší úspora na let, tím více emisí CO_2 letoun vypustí a tudíž bude mít menší dopad na klima. V současné době ovšem potenciální náklady na nákup emisních povolenek nehrají v kalkulacích aerolinií tak významnou roli jako faktor paliva.

V rámci dlouhodobého cíle IATA, která si vytyčila snížit letecké emise v roce 2050 o 50 % k roku 2005, hrají očekávané provozní změny svoji roli. IATA vyčíslila úspory vyplývající z provozních změn asi na 3 % oproti standardnímu vývoji. Tato možnost je ovšem poměrně snadno a v krátkém časovém horizontu realizovatelná. Proto je vhodné doporučit ji jako primární nástroj řízení produkce CO_2 v aeroliniích.

5 Využití biopaliv

5.1 Stávající paliva

V současnosti se jako letecké palivo používá letecký petrolej. Kerosin, jak je palivo zjednodušeně nazýváno, neobsahuje žádný podíl biosložky. Životní cyklus leteckého paliva je znázorněn na Obr. č. 9. Nejčastěji využívaný typ nese označení Jet-A1 nebo AVTUR. Letecké palivo je extrahováno z petroleje a musí splňovat přísná kritéria, jako je bod mrznutí či vznícení. Jde o fosilní palivo obsahující 20 % aromatických uhlovodíků. Proto při jeho spalování vzniká mj. CO_2. Při spálení jednoho kg paliva vznikne průměrně 3,15 kg CO_2. Další emise CO_2 se uvolňují během procesů souvisejících se zpracováním a přepravou paliva. Letecký petrolej není obnovitelný energetický zdroj energie. Naopak světové zásoby nalezišť ropy nejsou neomezené. V blízké budoucnosti se dá očekávat, že fosilní paliva budou čím dál vzácnějším zdrojem, a proto budou dražší než v současnosti (ATAG, 2009). IATA očekává, že po odeznění krize se ceny za barel dostanou zpět ke 100 $ (IATA, 2008).



Obr. č. 9 Emise CO_2 během životního cyklu fosilních paliv (ATAG, 2009). Cyklus se skládá z extrakce, přepravy, rafinérie, přepravy potrubím, distribuce automobily na letiště , spálení v letounu.

5.2 Biopaliva

Biopaliva jsou považována za obnovitelný energetický zdroj získávaný z materiálu rostlinného původu. Pokud se podíváme na životní cyklus biopaliv, tak je zřejmé, že jsou mnohem šetrnější než fosilní paliva. Do ovzduší totiž během spalování uvolňují přibližně tolik CO_2, kolik během svého růstu vstřebaly (ATAG, 2009). Narozdíl od fosilních paliv, kde dochází k uvolnění většího množství CO_2 uloženého během dlouhého období v pravěku.

První generace biopaliv se využívala v dopravě, při vytápění domácností, generování energie nebo vaření. Druhá generace se získává z nových rostlinných zdrojů, které by neměly konkurovat plodinám nutným k uspokojení potravinových potřeb obyvatelstva. Nemělo by tedy docházet k pěstování a využívání těchto technických plodin (např. řepka, kukuřice, slunečnice) na úkor potravinového průmyslu.

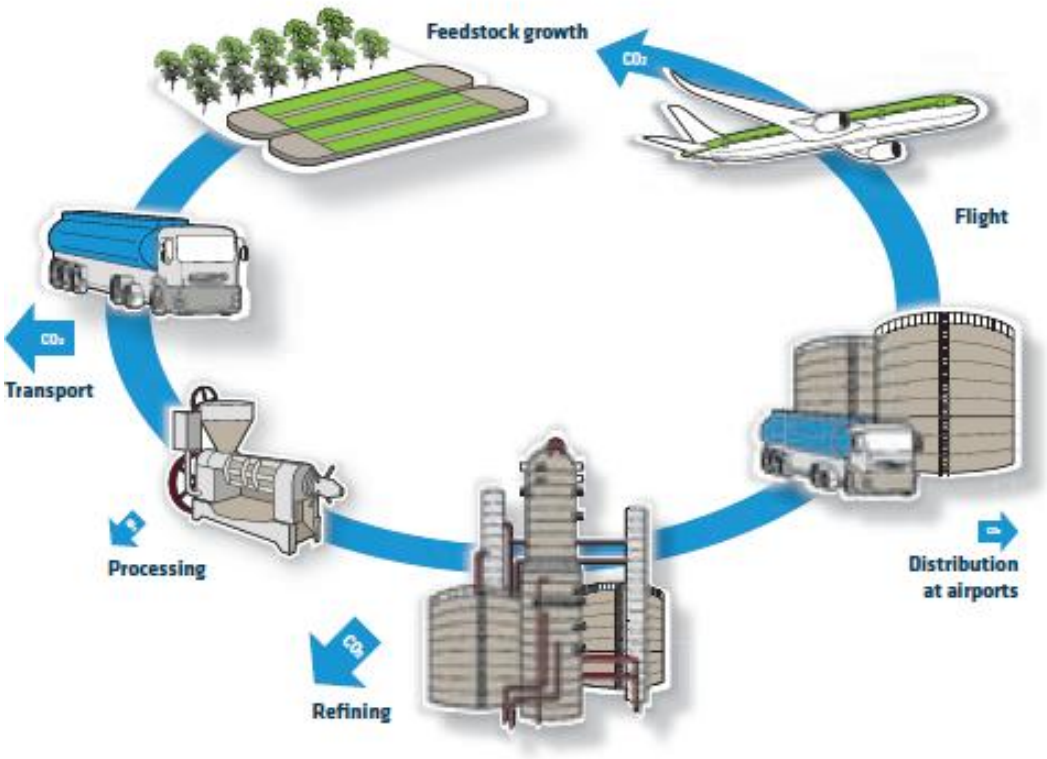
Plodiny vhodné pro výrobu biopaliv by měly být buď bohaté na cukr nebo rostlinný olej. První skupina bohatá na cukr je například kukuřice. Ta se nechá fermentovat až vznikne etanol, který se dá přímo využít ke spalování (biopalivo první generace). Není však vhodné pro použití jako letecké biopalivo, protože nesplňuje výkonnostní a bezpečnostní požadavky.

Plodiny využívané pro výrobu rostlinného oleje jako je kukuřice, sója nebo mořské řasy se používají k výrobě biopaliv druhé generace, které se dají využít v leteckých motorech. Plodiny se buď spálí anebo přemění chemickými procesy na vysoce kvalitní palivo.

Pokud se zaměříme na životní cyklus biopaliv (viz Obr. č. 10) a produkci emisí, je třeba zmínit i CO_2 vyprodukované během výroby biopaliv zařízeními využívanými při pěstování rostlin, zpracování, přepravě atd. Jak uvádí studie ATAG z roku 2009, pokud vezmeme v potaz při hodnocení vlivu biopaliv na životní prostředí celoživotní cyklus biopaliva, pořád vychází ve srovnání s fosilními palivy 80% úspora emisí CO_2 ve prospěch biopaliv. Navíc vykazují biopaliva nižší hodnoty emisí např. u SO_2. Z hlediska snižování objemu CO_2 v atmosféře se biopaliva jeví jako ideální volba.

Biopaliva se dle studie ATAG snáze zapojí do dopravního řetězce letecké dopravy než u pozemních druhů dopravy. Letouny totiž téměř výhradně tankují na letištích.

Nebude proto problém zásobit asi 2000 hlavních leteckých přístavů na světě oproti milionu čerpacích stanic pro automobily. Pro leteckou dopravu neexistuje mnoho ekologických alternativ ke stávajícím fosilním palivům, jako jsou například elektromobily u automobilů.



Obr. č. 10 Emise CO_2 během životního cyklu biopaliv (ATAG, 2009). Cyklus se skládá z pěstování biopaliv, přepravy, zpracování, rafinérie, distribuce automobily na letiště, spálení v letounu.

Proto s využitím biopaliv v rámci „boje s uhlíkem“ kalkuluje i IATA. IATA ve své koncepci snižování emisí v letectví do roku 2050 počítá s tím, že biopaliva mohou přispět snížit celkové emise CO_2 z leteckého paliva během celého životního cyklu až o 80 % (IATA, 2009). Harmonogram začlenění biopaliv počítá s certifikací biopaliva jako leteckého paliva nejpozději v roce 2013. V roce 2015 už by měl podíl biosložky činit 1 % a dále se zvyšovat k 15 % v roce 2020 (AGAT, 2009). Jak už bylo zmíněno, letecké motory totiž ke kerosinu nemají alternativu a navíc jsou jeho ceny

značně náchylné na výkyvy na trzích s ropou, jejíž dramatický cenový růst není vyloučen.

V roce 2009 demonstrovala letecká společnost KLM svým testovacím letem na bio-kerosin, že využití biokomponenty, jako součást leteckého paliva, je možná (KLM, 2009). Technologie na efektivní výrobu biopaliv už letectví má. Nabízí se ovšem otázka, zda jsou biopaliva opravdu nástrojem, jak snižovat celkové emise CO_2.

5.3 Diskuze

Dle posledních informací, které vyplývají ze studie zpracované pro EK, je podíl biosložky v biopalivech nad 5,6 % škodlivý! Vede totiž k přeměně stávajícího způsobu využití krajiny (EK, 2010). Při větším podílu totiž dochází k likvidaci lesního porostu na úkor zemědělské půdy. Emise CO_2 mohou např. při využívání palmového oleje vzrůst o 31 %. Celý koncept biopaliv, který je hýčkaným dítětem EU a na němž stojí základy udržitelné dopravy budoucnosti, tak dostal těžkou ránu. To ovšem zásadně stojí proti snahám EU a IATA, která chce v první fázi do roku 2020 zvýšit podíl biosložky z 2. generace biopaliv na 6 %, čímž by došlo ke snížení vyprodukovaných emisí CO_2 asi o 5 %. Další zvyšování podílu bude ovšem záležet na postoji legislativců a vědeckém poznání v oblasti biopaliv.

6 Závěr

Letecká doprava se dnes podílí asi na 2 % antropogenní produkce CO_2. Do roku 2050 by tento podíl měl podle IPCC vzrůst na 3 %. Pokud se vezme v potaz i efekt ostatních skleníkových plynů a efekt kondenzačních čar, je podíl letectví na globálním oteplování asi 78 mW/m^{-2}. To představuje dle posledních údajů asi 4,9% podíl na současném radiačním záření způsobeném člověkem.

Tato práce si kladla za cíl shrnout a ohodnotit současné metody řízení emisí CO_2 v letectví. Na pomyslné pyramidě možností, jak řídit emise, stojí legislativní opatření, které představují prvotní impuls a vytváří legislativní rámec pro následná technická řešení, která jsou pro snižování emisí nejzásadnější.

Evropská unie je celosvětově v boji proti globálnímu oteplení nejdále. Přišla s obsáhlou legislativou, která vyústila v zavedení systému obchodování s povolenkami na emise CO_2. Od něj si EU slibuje nákladově nejefektivnější způsob omezování produkce oxidu uhličitého.

Management emisí oxidu uhličitého z letecké dopravy zdá se, vstupuje do další etapy. Aerolinie si začínají uvědomovat vážnost a význam legislativních opatření v oblasti regulace skleníkových plynů v EU. Od roku 2012 by se totiž měly jejich emise začít obchodovat v Systému EU pro obchodování s emisemi. Dopad na letecký sektor byl předmětem mnoha analýz. Obecně se dá říci, že začleněním letectví do EU ETS se emise samy o sobě nesníží. Bude však stanoven pomyslný strop (průměr emisí za 2004-2006), s nímž se bude další nárůst emisí porovnávat. Očekává se, že letectví bude od roku 2011 opět růst, a tak porostou i emise z letectví. Letecký sektor proto bude muset nárůst objemu emisí oproti roku 2005 kompenzovat nákupem emisních povolenek.

Dle posledních údajů je však možné, že bude celý proces začlenění letectví opožděn a možná i zastaven. Skupina amerických aerolinií totiž podala žalobu proti omezení jejich leteckých svobod a napadly tak samotné začlenění letectví do EU ETS.
Z hlediska ekologických a ekonomických přínosů EU ETS zbývá dodat, že jakákoli opatření, které nemají globální rámec, nemohou v celosvětovém měřítku dosáhnout

výrazných úspěchů. EU si tento fakt uvědomuje, a proto plánuje další rozšiřování systému EU ETS

Obdobně vychází i závěry hodnocení pro tzv. daň z leteckého paliva uvalenou na mezinárodní letectví, kterou EU zvažuje. V prostoru EU by vedla tato zátěž ke vzniku nekonkurenčního prostředí. Naopak daň z paliva na domácí lety v rámci státu se obecně jeví jako nediskriminující.

Další možnosti snižování emisí se skrývají v technologické modernizaci, efektivnějším provozu nebo lépe fungující infrastruktuře. Ty patří mezi hlavní nástroje boje proti emisím vytyčenými asociací IATA.

Diplomová práce si kladla za cíl spočíst možné úspory aerolinií vyplývající z efektivnějšího provozu. Na příkladu letounu A320 a společnosti ČSA byl proveden výpočet možných úspor emisí a paliva na jeden průměrný let letounu A320 pro různé scénáře úspory paliva. Průměrný let A320 společnosti ČSA v roce 2008 spotřeboval asi 5,3 tun paliva, což představuje asi 16,6 tun CO_2. Při maximální teoretické provozní úspoře paliva 700 kg na let (dle Airbusu), vychází úspora až 2,2 tuny emisí CO_2 na jeden let. Převedeno do peněžních jednotek ušetří tato úspora paliva asi 9 tis. Kč na nákupu paliva a hypoteticky 700 Kč na případném nákupu emisní povolenky. Roční úspora pak vychází 10,5 mil. Kč a 0,8 mil. Kč za palivo respektive emisní povolenky na jeden letoun.

Dle nejreálnějšího scénáře se aeroliniím podaří uspořit 2 % paliva na let (asi 100 kg). Potom roční úspora vychází 113 tun na palivu a 354 tun na emisích. Úspora vyjádřená v peněžních jednotkách by byla 1,5 respektive 0,1 mil. Kč. Pro celou flotilu letounů typu A320 společnosti ČSA by pak úspora vycházela 24 mil. Kč na palivu a 1,8 mil. Kč na emisních povolenkách.

Jelikož je u konvenčních leteckých paliv produkce emisí CO_2 úměrná množství spotřebovaného paliva, je snižování emisí průvodním jevem snahy aerolinek snižovat spotřebu paliva. Z provedených kalkulací je zřejmé, že pokud vstoupí systém EU ETS v platnost bez změněných podmínek, bude faktor ceny emisních povolenek marginální v porovnání s cenou paliva.

Pokud by se podařilo leteckému sektoru začít využívat biopaliva jako primární energetický zdroj, mohlo by to dle některých studií vést k úspoře až 80 % emisí skleníkových plynů. Dle nedávné studie EK však může být větší podíl (nad 5,6 %) biosložky v palivu škodlivý. Pokud tento fakt budoucí výzkum potvrdí, bude se muset letecký sektor přeorientovat na jiná alternativní paliva.

Největší potenciál, jak zásadně snížit letecké emise CO_2 , skrývá technický pokrok ve vývoji motorů a nových typů letounů. Ten ovšem není dle EU v krátkodobém výhledu realizovatelný. Proto se v současnosti jeví jako nejvhodnější metoda snižování produkce CO_2 v aeroliniích tlak na provozní úspory paliva a efektivnější provoz.

Z komplexního srovnání typů doprav v kapitole 3 vyplynulo, že letecká doprava je neprávem vnímána jako největší znečišťovatel a přispěvatel ke klimatickým změnám. Pokud se do srovnání dopravních prostředků zahrne energetická spotřeba a produkce emisí během celoživotního cyklu, vychází letecká doprava jako druhá nejčistší hned po železnici.

Myslím, že tato diplomová práce poskytuje čtenáři základní náhled do problematiky řízení emisí CO_2 v letectví. Navíc poskytuje čtenáři také inspiraci pro další hlubší zkoumání. Věřím také, že tato diplomová práce pomůže zvrátit některé fámy panující mezi širší veřejností o letecké dopravě. Proto doufám, že práce poslouží jako základní studijní materiál zainteresovaným studentům a také pracovníkům ČSA.

7 Literatura:

[1] Cílek V., 2008: Dýchat s ptáky. Praha.

[2] Klaus V., 2007: Modrá nikoli zelená planeta - Co je ohroženo: klima, nebo svoboda?. Praha

[3] Lomborg B., 2008: Zchlaďte hlavy! - Skeptický ekolog o globálním oteplování. Praha.

[4] Wittlingerova Z. a Jonáš F., 2004: Ochrana životního prostředí. ČZU. Praha.

Internetové zdroje a databáze

[5] AEA, 2009: STAR 2009 Sample. online: http://files.aea.be/RIG/Orders/STAR_2009_Sample.pdf, cit. 10.12.2009.

[6] Airbus, 2004: Getting to grips with fuel economy. online: http://www.aiaa.org/pdf/student/01_Airbus_Fuel_Economy_Material.pdf, cit. 3.1. 2010.

[7] Airbus, 2010: A320 Family. online: http://www.airbus.com/index.php?id=1526, cit. 3.1. 2010.

[8] ATAG, 2009: Beginner's Guide to Aviation Biofuels. online: http://www.enviro.aero/Content/Upload/File/BeginnersGuide_Biofuels_WebRes.pdf, cit. 1.4.2010.

[9] ATW, 2009: Report: EC to postpone aviation emissions cap announcement until 2010. online:http://www.atwonline.com/news/story.html?storyID=18053 cit. 3.4.2010.

[10] Boeing Company, 2007: Alternate Fuels for use in Commercial Aircraft. online: http://www.boeing.fr/website_16/pages/page_35686/uploads/alt_fuels.pdf, cit. 15 .12. 2009.

[11] British Airways, 2010: Climate change - carbon offsetting. online: ttp://www.britishairways.com/travel/csr-your-footprint/public/en_gb#wheresmoneygo , cit. 1 4. 2010

[12] BusinessGreen, 2010: „Recycled" carbon credit scandal sparks price slump. online: http://www.businessgreen.com/business-green/news/2259761/recycled-carbon-credit-scandal, cit. 1.4.2010.

[13] Cal A., 2010:EU transport GHG emissions routes to 2050, nepublikováno, cit. 10.4.2010.

[14] Čapková M., 2009: Emise v letecké dopravě. online: pernerscontacts.upce.cz/15_2009/Capkova1.pdf, cit. 2.2.2010.

[15] Carbon positive, 2010: EUA prices hold up amid surplus. online: http://www.carbonpositive.net/viewarticle.aspx?articleID=1903, cit. 10.3.2010.

[16] České aerolinie, 2009, Výroční zpráva 2008. online:http://www.csanews.cz/cs/news/vyrocnizpravy/vz2008.pdf, cit. 2.2.2010

[17] Česká národní banka, 2010. Vybrané devizové kurzy. online: http://www.cnb.cz/miranda2/m2/cs/financni_trhy/devizovy_trh/kurzy_devizoveho_trhu/vybrane.html?mena=USD&od=01.02.2010&do=28.02.2010, cit. 3.2.2010

[18] European Environmental Agency - EEA, 2008: EU-15 on target for Kyoto, despite mixed performances. online: http://www.eea.europa.eu/pressroom/newsreleases/eu-15-on-target-for-kyoto-despite-mixed-performances, cit. 15.12.2009].

[19] European Environmental Agency - EEA, 2006: Emissions Inventory Guidebook. online: http://www.eea.europa.eu/publications/EMEPCORINAIR4/B851vs2.4.pdf, cit. 1.4. 2010.

[20] Environmental Data Services – ENDS, 2010: US airlines launch UK legal action on inclusion in EU ETS regulations. online: http://www.allbusiness.com/legal/trial-procedure-suits-claims/14000785-1.html, cit 10.4.2010.

[21] Ernst&Young and York Aviation, 2007: Analyses of the EC Proposal to Include Aviation Activities in the Emission Trading Scheme. online: http://www.europarl.europa.eu/hearings/20070627/tran/ambrose_summary_en.pdf, cit. 15.12.2009.

[22] Evropská komise, 2008: Press Release- Questions and Answers on the revised EU Emissions Trading System. online:

http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/08/796&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en, cit. 15.12.2009.

[23] Evropská komise, 2009: Systém EU pro obchodování s emisemi. online: http://ec.europa.eu/environment/climat/pdf/brochures/ets_cs.pdf, cit. 24.2.2010.

[24] Evropský parlament, 2007: Options and Implications of Linking the EU ETS with other Emissions Trading Schemes. online: http://www.europarl.europa.eu/activities/committees/studies/download.do?file=19802, cit. 24.1.2010

[25] Evropský parlament, 2008: Změna směrnice 2003/87/ES tak, aby se činnosti v oblasti letectví začlenily do systému pro obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů ve Společenství. online: http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+TA+P6-TA-2008-0333+0+DOC+XML+V0//CS, cit. 24.2.2010

[26] Chester M. a Horvath A., 2009: Environmental assessment of passenger transportation should include infrastructure and supply chains. University of California.online: stacks.iop.org/ERL/4/024008, cit. 1.4.2010.

[27] IATA, 2008: Report on Alternative Fuels. online: http//:www.iata.org/NR/rdonlyres/329E1C20-1A46-4E02-9F68-BAD5C9080F31/60972/ReportonAlternativeFuels.pdf, cit. 20.3.2010

[28] IATA, 2009: Aviation and Climate Change: Pathway to Carbon-neutral Growth in 2020. online: http://www.iata.org/NR/rdonlyres/2B1211C9-503B-4E29-B8E3-EA84FFA2EC59/0/AviationClimateChange_PathwayTo2020_email.pdf, cit. 20.3.2010.

[29] ICAO, 2009: Act Global. online: http://www.icao.int/Act_Global/, cit. 7.3. 2010.

[30] IPCC, 1999:, Aviation and the Global Atmosphere, Summary for policymakers. online: http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/av-en.pdf, cit. 10.3.2010.

[31] IPCC, 2001: Aviation and the Global Atmosphere: Executive Summary. online: http://www.grida.no/publications/other/ipcc_sr/?src=/climate/ipcc/aviation/064.htm, cit. 20.1.2010.

[32] IPCC, 2007: Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. online: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/ch5s5-5-2-1.html , cit. 11.1. 2010.

[33] Kadiak, 2007: Contrails over Kodiak. online:http://www.kadiak.org/joe/contrails.html, cit 2.4.2010.

[34] KLM, 2009: KLM Takes Strides in Sustainable Air Transport. online: http://corporate.klm.com/en/newsroom/press-releases/archive-2009/klm-takes-strides-in-sustainable-air-transport, cit. 10.4.2010.

[35] Leea D.S., PitaribG., GrewecV., Gierensc K., Pennerd J.E. , Petzoldc A., Prathere M.J., Schumannc U., Baisf A., Berntseng T. , Iachettib D., Lima L.L.a Sausenc R., 2009: Transport impacts on atmosphere and climate: Aviation.
online:http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VH3-4WH8CDW-3&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=3e9f64730801893e35d44508ce3ef73e, cit.2.4.2010.

[36] NASA, 2006: Contrail Science Questions. online: http://asd-www.larc.nasa.gov/GLOBE/science.html, cit. 5.3.2010.

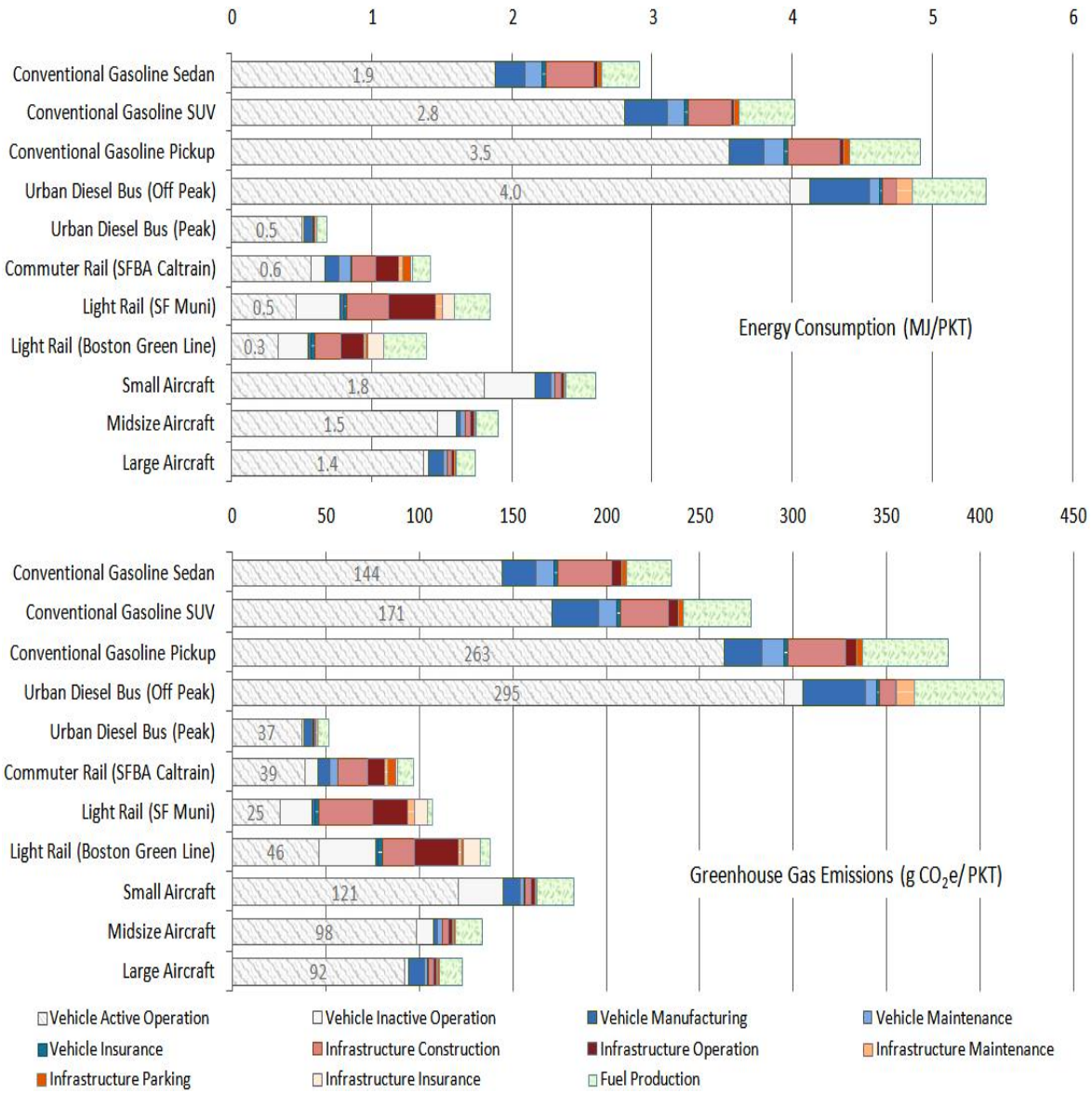
[37] NWS, 2007: What is a contrail and how does it form?. online: http://www.wrh.noaa.gov/fgz/science/contrail.php?wfo=fgz. cit 6.3.2010.

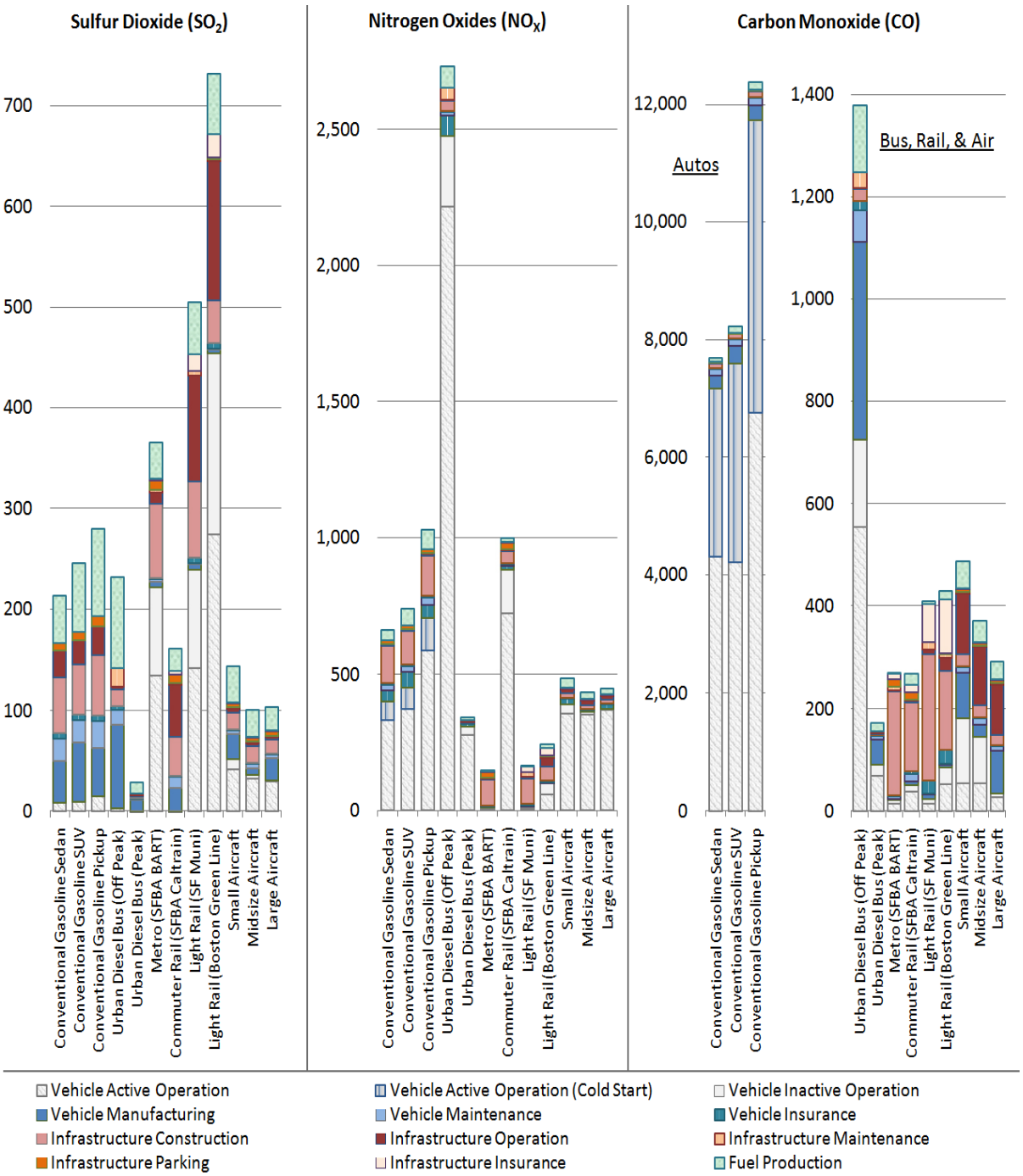
[38] Ministerstvo dopravy, 2009: Ročenka dopravy 2008. online: http://www.sydos.cz/cs/rocenka-2008/rocenka/htm_cz/cz08_721000.html, cit.20.3.2010

Přílohy

Příloha 1. Spotřeba energie v MJ/oskm a produkce skleníkových plynů v g CO_2/oskm (ATAG, 2009).

Spotřeba energie a produkce skleníkových plynů na oskm jsou pro přímý provoz prostředku znázorněny šedě. Ostatní (nepřímé) komponenty jsou znázorněny odstíny modré. Komponenty zahrnující infrastrukturu jsou vyznačeny odstíny červené a oranžové. Komponenty reflektující spotřebu paliva jsou vybarveny zeleně.



Příolha 2. Srovnání prostředků z hlediska látek znečišťujících ovzduší v mg (ATAG, 2009).

Spotřeba energie a produkce skleníkových plynů na oskm jsou pro přímý provoz prostředku znázorněny šedě. Ostatní (nepřímé) komponenty jsou znázorněny odstíny modré. Komponenty zahrnující infrastrukturu jsou vyznačeny odstíny červené a oranžové. Komponenty reflektující spotřebu paliva jsou vybarveny zeleně.