

ROZBOR EMISÍ Z LETECKÉ DOPRAVY DLE POSUZOVÁNÍ ŽIVOTNÍHO CYKLU

TICIANO COSTA JORDÃO^a a ROBERT BAŤA^b

^a Ústav environmentálního a chemického inženýrství, Fakulta chemicko-technologická, ^b Ústav správních a sociálních věd, Fakulta ekonomicko-správních, Univerzita Pardubice, Studentská 573, 532 10 Pardubice
robert.bata@upce.cz

Došlo 19.1.17, přijato 13.2.17.

Rukopis byl zařazen k tisku v rámci placené služby urychleného publikování.

Klíčová slova: emise skleníkových plynů, ekvivalent CO₂, posuzování životního cyklu (LCA), letecká doprava

Úvod

Vlivy letecké dopravy na klima souvisí především s emisemi oxidu uhličitého, oxidů dusíku a vodní páry vypouštěnými motory letadel ve vyšších nadmořských výškách. Z těchto skleníkových plynů zaslouží nejvíce pozornosti CO₂, protože je zodpovědný cca za 70 % skleníkových emisí z leteckých motorů, zatímco H₂O má podíl menší než 30 %. Oxidy dusíku vznikají v nižších koncentracích a tvoří spolu s dalšími plyny méně než 1 % celkových emisí motorů¹. V této oblasti bylo dosaženo významného pokroku, nicméně rychlý nárůst přepravních objemů tohoto odvětví může významně navýšit objem produkovaných emisí skleníkových plynů, a to navzdory zlepšení v efektivnosti využití leteckých pohonných hmot.

Předkládaná studie se zabývá rozбором produkce emisí z letecké dopravy pomocí metody posuzování životního cyklu (LCA).

Experimentální část

Charakteristika zkoumaného problému

Pro analýzu bylo vybráno letadlo Boeing 777-200 používané evropskými leteckými společnostmi a byly zkoumány emise vyjádřené jako ekvivalent oxidu uhličitého za dobu životnosti tohoto letadla. Do analýzy LCA byly zahrnuty fáze výroby, údržby a provozní fáze. Tyto fáze tvoří systémové hranice modelu LCA. Jako indikátor se v oblasti dopravy obvykle využívá spotřeba, nebo emise pro přepravu 1 osoby na vzdálenost 1 km. Do analýzy není zahrnuta fáze po skončení doby životnosti, přestože recyklace znamená významnou část životního cyklu dle

LCA. Důvodem jsou nedostupné nebo nepřesné informace.

Ve fázi výroby letadla jsou použity emisní faktory pro výpočet emisí vázaných k materiálu. Na základě údajů shromážděných na webových stránkách firmy Boeing² byly získány informace o použitém materiálu.

Ve fázi údržby letadel jsou ekvivalentní emise CO₂ (CO₂ekv.) odhadnuty ze spotřebovaného elektrického proudu a dílů vyměněných během životnosti letadla. Náklady na údržbu jsou obvykle odvozeny z tzv. blokových hodin. Ty jsou definovány dobou od okamžiku, kdy jsou uzavřeny dveře letadla při odletu, do okamžiku, kdy se znovu otevřou po přistání.

Pro zjednodušení jsou považovány blokové hodiny za letové hodiny, z nichž jsou odhadnuty celkové náklady na údržbu.

Dalším zjednodušením je předpoklad, že letadlo využívá pouze společnost British Airways a všechny servisní kontroly tak probíhají na londýnském mezinárodním letišti Heathrow. Emise v rámci fáze údržby narůstají především ze spotřebované energie při kontrolách a údržbě na letišti³. V analýze LCA za provozní fázi jsou vyčísleny emise ekvivalentního CO₂ emitované motory za celou dobu životnosti letadla. V této části výpočtu je uvažována průměrná vzdálenost 3500 námořních mil (ca. 6482 km), protože je letadlo ve velké míře používáno pro dálkové lety. Tato vzdálenost odpovídá přibližně vzdálenosti letu z Londýna Heathrow na mezinárodní letiště Johna Kennedyho v New Yorku, tedy letové trasy s vysokou poptávkou cestujících. Faktor zátěže cestujícími PLF je 81,5 procenta, což byl průměrný faktor zátěže British Airways v roce 2011 pro lety z Evropy do Severní Ameriky (IAG, 2012). Faktor zátěže pro nákladní dopravu (PFF) byl získán z údajů ze statistické databáze ICAO⁴ o počtu cestujících a tonáží pošty a nákladu. Pro stejné letové trasy (z Evropy do Severní Ameriky) byla přijata hodnota PFF ve výši 76,95 % pro letadla s širokým trupem, jak uvádí ICAO v dokumentu Provoz ve fázi letu (TFS)⁴.

Všechny výpočty byly provedeny na základě třech konfigurací sedadel – pro maximální kapacitu byla uvažována pouze místa v ekonomické třídě + dvě další konfigurace sedadel, které v současné době používá společnost British Airways. Konkrétní údaje o počtech sedadel uvádí tabulka II. Předpokládá se, že letadlo má servisní interval po 60 000 letových hodin⁵. Předpokládaná ekonomická (typická) cestovní rychlost pro Boeing 777-200 je 905 km h⁻¹.

Vymezení hranic zkoumaného systému

Ve druhém kroku je provedena tzv. inventarizační analýza – jsou vymezeny hranice systému, je vysvětlen sběr dat a jejich zpracování a získané výsledky jsou hodnoceny a analyzovány. Hlavní vstupy zvažované v systému podle analýzy LCA jsou:

- energie,
- palivo,
- suroviny,
- cestující (v místě odletu),

- pošta (v místě odletu),
- náklady (v místě odletu).
Za výstupy jsou považovány:
- emise CO₂ekv.,
- cestující (v cíli),
- pošta (v cíli),
- náklady (v cíli).

Fáze částí LCA pro demoliční práce budov a recyklace vybavení včetně letadel není v této studii zahrnuta. Nepřímý podíl letištní výstavby ke změně klimatu není součástí této analýzy vzhledem k velké nejistotě ohledně očekávané životnosti letiště, četnosti letů a vzdálenostem letů.

Sběr a příprava dat

Tabulka I představuje podrobně parametry pro analýzu výrobní fáze letadla. Procentuální údaje v tab. I se vztahují k použitelné tzv. prázdné hmotnosti letadla, která zahrnuje posádku, veškeré kapaliny potřebné k provozu jako motorový olej, chladicí kapaliny, nevyužitelné palivo a všechnu ostatní výbavu potřebnou k letu, kromě využitelného paliva a užitečného zatížení.

Průměrná míra spotřeby paliva na vzdálenosti, které letadlo urazí, byla založena na datech z EMEP / CORINAIR Emission Inventory Guidebook⁶. Další údaje pro výpočet jsou prezentovány v tab. II. Životnost je uve-

dena v letových hodinách pro účely výpočtu emisí na cestujícího a kilometr po celou dobu životnosti letadla. Tím je již umožněno přistoupit k posouzení dopadů.

Výsledky a diskuse

Varianty podle přepravní kapacity letadla

Úvodní krok v posouzení dopadů životního cyklu spočívá ve výpočtu celkového množství kilometrů na osobu (LF) v průběhu životnosti letadla, podle vztahu (1):

$$LF = SL * C * CS \quad (1)$$

kde SL je životnost letadel v hodinách, C je kapacita letadla v počtu osob (liší v závislosti na konfiguraci sedadel), a CS je typická cestovní rychlost letadla v km h⁻¹.

Dosažením hodnot z tab. II do vztahu (1) byly získány výsledky prezentované v tab. III.

Tabulka III shrnuje tyto výsledky se zohledněním různých konfigurací sedadel. Hodnota představující počet osob na km (tzv. osobokilometry) je dále označována zkratkou PK. Tyto hodnoty jsou důležité pro výpočet ekvivalentu CO₂ za PK v každé ze sledovaných fází analýzy LCA.

Tabulka I
Parametry pro výpočet LCA během výrobní fáze^{2,6,7}

Materiál	B777-200 [%]	Vložená energie [MJ kg ⁻¹]	Emisní faktor (kg CO ₂ ekv. kg ⁻¹)
Hliník	70	218	12,79
Ocel	11	32	2,89
Titan	7	553	31,55
Nikl	2,8	164	13,14
Plast vyztužený uhlíkovými vlákny	9,1	286	6,04
Plast vyztužený skleněnými vlákny	1	100	8,59
Ostatní	1,9	72	4,18
Celkem	100		

Tabulka II
Parametry pro výpočet fáze údržby a provozní fáze analýzy LCA (cit.⁹)

Položka	B777-200	Konfigurace sedadel
Životnost [letové hod.]	60 000	
Cestovní rychlost [km h ⁻¹]	905	
Kapacita [počet cestujících]	224 275 440	3/4 třída 2/3 třída max
Prázdná hmotnost letadla [kg]	134 800	
Cena [mil. EUR]	197,42	
Průměrné náklady na [EUR.bloková h ⁻¹]	1440	

Tabulka III

Vypočtené hodnoty pro počet osob na km (PK) během životnosti letadla pro různé konfigurace sedadel

Konfigurace sedadel	Vypočtené hodnoty PK
3. třída / 4. třída	12 163 200 000
2. třída / 3. třída	14 932 500 000
Max.	23 892 000 000

Výsledky analýzy LCA pro fázi výroby

Pro fázi výroby byla vypočtena hmotnost použitých materiálů na základě prázdné hmotnosti letadla uvedené v tab. II a na základě informací uvedených materiálů dle tab. I. Hmotnosti použitých materiálů jsou uvedeny v tab. IV (cit.⁶⁻⁸), vázaná energie připadající na předchozí výrobní fáze byla vypočtena vynásobením údajů o vložené energii z tab. I údaji o hmotnosti uvedených v tab. IV. Obdobně byly vypočteny hodnoty vázaných emisí v CO₂ekv. V dolní části tab. IV jsou dále uvedeny hodnoty emisí přepočtené na přepravovanou osobu, zohledňující rozdíly v přepravní kapacitě letadel. K jejich výpočtu byly využity hodnoty uvedené v tab. III.

Dále je nutno do analýzy LCA zahrnout fázi údržby.

Tabulka V představuje průměrné rozdělení nákladů na údržbu letadla v procentech odpovídající podmínkám Evropy. Jedná se o údržbu tzv. draku letadla (pevné části konstrukce) a výměnu komponent¹⁰. Tato informace umožňuje provést výpočty pro fázi údržby. Průměrné celkové náklady na údržbu během životnosti letadla jsou vypočítány vynásobením průměrných nákladů údržby na blokovou hodinu s provozní životností letadla.

Průměrná spotřeba elektrické energie související s údržbou letadla v průběhu životnosti byla vypočtena za

Tabulka V

Průměrné náklady spojené s údržbou letadla v průběhu doby životnosti

Nákladová položka	Cena [mil. EUR]	Podíl [%]
Drak a komponenty	56,2	65
Elektrická energie	30,2	35

předpokladu, že všechny servisní služby jsou nabízeny na letišti Londýn Heathrow^{8,11-13}.

Tabulka VIa shrnuje vstupní hodnoty spotřeby energie se zohledněním redukce na 65 % dle tab. V a vypočtené CO₂ekv. vyjádřené podle množství nahrazených konstrukcí a dílů v závislosti na provedené údržbě.

Tabulka VIb pak uvádí celkové emise CO₂ekv. přepočtené na PK pro jednotlivé konfigurace sedadel.

Výsledky analýzy LCA pro fázi provozu

Emise CO₂ekv. za fázi provozu letadla byly odhadnuty na základě metodiky ICAO. Nejprve byl proveden odhad spotřeby paliva za PK podle rovnice (2).

Spotřeba paliva na Y PK = (TF × PFF) / (Y sedadla × PLF × délka letu) (2)

kde TF je „celkové množství paliva“ spotřebované na vzdálenost letu. Tato hodnota představuje průměrné množství spotřebovaného paliva všemi letadly ekvivalentního typu pro každý let na vzdálenosti měřené v námořních mílích.

PFF je „faktor nákladu cestujících“, což je poměr vypočtený ze statistické databáze ICAO na základě počtu cestujících a tonáže pošty a nákladu, přepravovaného na

Tabulka IV

Vázané energie a vázané emise v průběhu výroby letadla Boeing 777-200

Materiál	Hmotnost [kg]	Vázaná energie [MJ]	Vázané emise [kg CO ₂ ekv.]
Hliník	94 360	20 600 000	1 210 000
Ocel	14 828	474 000	42 900
Titan	9 436	5 220 000	298 000
Nikl	1 213	199 000	15 900
Vyztužený plast uhlíkovými vlákny	13 480	3 860 000	81 400
Vyztužený plast skleněnými vlákny	1 348	135 000	11 600
Různé	135	9 710	563
Celkem	134 800	30 500 000	1 660 000
Celkem emise [CO ₂ ekv. PK ⁻¹]	0,0001360		4. třída
	0,0001110		3. třída
	0,0000694		max.

Tabulka VIa

Vstupní hodnoty spotřeby energie a vypočtené hodnoty CO₂ekv. emise spojené s údržbou letadla v průběhu jeho životnosti

Položka	Hodnota
Cena elektřiny za [1 kWh € ⁻¹]	0,10
Spotřeba elektřiny během doby životnosti letadla [GWh]	306
Celková energie spotřebovaná za rok na letišti Heathrow [GWh]	1073
Celkem emise v jednom roce na letišti Heathrow [t CO ₂ ekv.]	2 386 000
Emise z výroby elektřiny [t CO ₂ ekv.]	700 000
Vázané emise z údržby draku/výměny komponent letadla [t CO ₂ ekv.]	1 080
Celkové emise za fázi údržby [t CO ₂ ekv.]	700 000

Tabulka VIb

Celkové emise CO₂ekv. přepočtené na počet osob na km (PK) pro jednotlivé konfigurace sedadel

Konfigurace sedadel	Celkem emise [kg CO ₂ ekv.PK ⁻¹]
3. třída / 4. třída	0,0560
2. třída / 3. třída	0,0456
max.	0,0285

Tabulka VII

Emise CO₂ ekv. na počet osob na km (PK) spojené s provozem letadla během životnosti (vzdálenost 6 482 km)

Emise [kg CO ₂ ekv.PK ⁻¹]	Konfigurace sedadel
0,215	3. třída / 4. třída
0,175	2. třída / 3. třída
0,110	max.

dané trase. Y-sedadla představují počet míst k sezení a zahrnují celkový počet ekvivalentních míst, která jsou k dispozici v daném typu letadla.

PLF je „faktor zátěže cestujícími“, což je poměr vypočtený ze statistické databáze ICAO na základě počtu přepravených cestujících a počtu dostupných míst v dané přepravní skupině (letadel) na trase. Palivo spálené na vzdálenost letu bylo odvozeno z dat CORINAIR⁶, hodnoty pro PLF a PFF odpovídají provozním údajům za danou přepravní skupinu a trasu dle údajů ICAO, kapacita sedadel ekonomické třídy (Y) je dána výrobcem letadel. Pro výpočet byly předpokládány průměrné emise CO₂ekv. za PK pro letadlo tohoto typu při průměrné letové vzdálenosti cca 6482 km. Výsledky výpočtu dle vztahu (2) pro uvažované varianty konfigurace sedadel jsou uvedeny v tab. VII. Hodnota PLF je uvažována ve výši 81,50 % (procento vytížení sedadel pro osobní dopravu) a pro nákladní dopravu hodnota (PFF) ve výši 76,95 % (analogicky procento vytížení kapacity pro nákladní dopravu). Podle databáze

CORINAIR spotřebuje B777-200 v průměru za uvažovaný let na vzdálenost 6482 km průměrně 50 295 kg paliva.

Z výsledků je patrné, jaký vliv má přepravní kapacita daná konfigurací sedadel na emise přepočtené na přepravenou osobu a kilometr.

Metodika ICAO⁴ se zaměřuje pouze na emise oxidu uhličitého. Ostatní skleníkové plyny nejsou evidovány. Aby bylo možné odhadnout emise dalších emitovaných skleníkových plynů, byla vypočtená spotřeba paliva na cestujícího a kilometr následně převedena na spotřebovanou energii na cestujícího a kilometr. Protože jeden kg leteckého petroleje obsahuje energii 46,36 MJ, bylo možné následně energetický obsah vyjádřit jako CO₂ekv. za předpokladu, že emisní faktor je 0,0745 kg CO₂ekv. MJ⁻¹ (cit.¹⁴). Vynásobením hodnotou 1,9 byl dále zohledněn účinek radiačního působení (index RFI)¹.

Celkově mohou být vypočítány emise na PK.km.CO₂ekv.⁻¹ ze spotřeby paliva v souladu s postupy popsány rovnicemi (3) a (4)¹⁴.

Tabulka VIII

Procentuální zastoupení emisí CO₂ekv. indukovaných v předchozích fázích řetězce čerpání hodnot dle LCA a při výrobě a údržbě letadel ve vztahu k emisím CO₂ekv. uvolňovaných při provozu letadla po celou dobu jeho životnosti

Emise CO ₂ ekv. při	Vzdálenost trasy [km]						
	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
výrobě a údržbě [%]	22,88	24,88	25,62	25,98	26,03	26,05	25,86
provozu [%]	77,12	75,12	74,38	74,02	73,97	73,95	74,16

Množství energie na Y PK = $46,36 \times$ množství paliva na Y PK (3)

CO₂ekv. na PK = $0,0745 \times 1,9 \times$ energetický obsah na Y PK (4)

Srovnání výsledků za fázi údržby a provozu, doporučení

Tabulka VIII ukazuje výsledky výpočtu s využitím vztahů (3) a (4), které dokumentují, jak se emise připadající na všechny uvažované části výrobního procesu pro fáze výroby a údržby letadel postupně zvyšují v závislosti na vzdálenosti, na kterou by po dobu své životnosti letadlo létalo. Pro zjednodušení je předpokládáno, že letadlo po celou dobu svojí životnosti bude létat na jedné konkrétní trase o přesně definované délce. Nárůst podílu emisí

Tabulka IX
Test počtu desetinných míst při uvedených korelačních koeficientech

Výroba a údržba (5)	
Parametr	$\alpha=0,05$
Abs.	$80,5707 \pm 0,0034$
X	$-2,4124 \cdot 10^{-3} \pm 1,3502 \cdot 10^{-6}$
X ²	$2,1205 \cdot 10^{-7} \pm 1,1672 \cdot 10^{-10}$
Reziduální součet čtverců:	$4,1003 \cdot 10^{-4}$
Průměrné absolutní reziduuum:	$2,4431 \cdot 10^{-3}$
Korelační koeficient:	0,9999982
Abs.	$19,4483 \pm 0,0035$
X	$0,0024013 \pm 1,4088 \cdot 10^{-6}$
X ²	$-2,1063 \cdot 10^{-7} \pm 1,2180 \cdot 10^{-10}$
Reziduální součet čtverců:	$4,4643 \cdot 10^{-4}$
Průměrné absolutní reziduuum:	0,00258
Korelační koeficient:	0,999998
Provoz (6)	
Parametr	$\alpha=0,05$
Abs.	$19,448571 \pm 2,1$
X	$0,004447 \pm 0,0019$
X ²	$-7,2 \cdot 10^{-7} \pm 3,7 \cdot 10^{-7}$
Reziduální součet čtverců:	0,380681
Průměrné absolutní reziduuum:	0,210136
Korelační koeficient:	0,975920
Abs.	$80,5686 \pm 2,1$
X	$-0,004466 \pm 0,0019$
X ²	$7,3 \cdot 10^{-7} \pm 3,7 \cdot 10^{-7}$
Reziduální součet čtverců:	0,373500
Průměrné absolutní reziduuum:	0,207551
Korelační koeficient:	0,976317

CO₂ekv. vyjádřený v procentech je patrný do okamžiku, kdyby letadlo létalo na trase dlouhé (tam a zpět) 6482 km. Důvodem je skutečnost, že pro delší vzdálenosti se spotřeba paliva vztážená na PK postupně zvyšuje – letadlo startuje se stále větší zátěží paliva. Naopak u kratších letů se negativně projevuje vysoká spotřeba ve fázi startu. Samotný let ve stanovené letové hladině (po jejím dosažení), který je úspornější, nedokáže tento vliv na kratší vzdálenosti dostatečně kompenzovat.

Emise z fáze provozu a údržby ve vztahu k vzdálenosti

Produkcí emisí za fázi údržby ve vztahu k létané vzdálenosti lze vyjádřit funkcí (5):

$$y = -7,22 \times 10^{-8} x^2 + 4,44 \times 10^{-4} x + 19,45 \quad (5)$$

kde x je vzdálenost, kterou sledované letadlo urazí a y je procentní podíl emisí vyjádřených v CO₂ ekvivalentu.

Produkcí emisí za fázi letu ve vztahu k létané vzdálenosti lze vyjádřit funkcí (6):

$$y = 7,27 \times 10^{-8} x^2 - 4,47 \times 10^{-4} x + 80,57 \quad (6)$$

kde x je vzdálenost, kterou sledované letadlo urazí a y je procentní podíl emisí vyjádřených v CO₂ ekvivalentu.

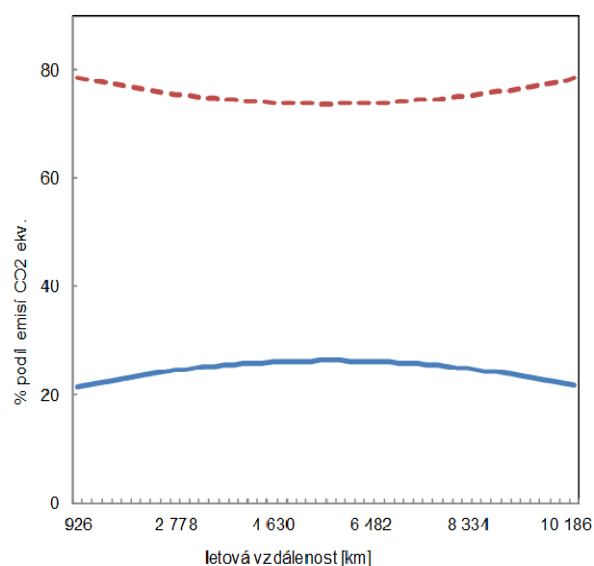
Hodnoty korelačních koeficientů R pro tyto funkce jsou:

$$R_{\text{údržba}} = 0,976$$

$$R_{\text{provoz}} = 0,976$$

Hodnoty byly stanoveny z vypočítaných dat v prostředí MS Excel. Funkce jsou vyneseny v grafu na obr. 1.

Zvolená kvadratická závislost dává dobré výsledky na hladině významnosti 0,05. Proložení polynomem 3. stupně osciluje, 4. stupeň je již zbytečně komplikovaný a vzhledem k definované hladině významnosti výsledek příliš nezlepšuje.



Obr. 1. Emise z fáze provozu a údržby ve vztahu k vzdálenosti; — údržba, - - - provoz

Hodnoty F-testu pro hypotézu $H_0: \beta_1 = \beta_2 = 0$ proti H_1 : alespoň jeden koeficient $\beta \neq 0$.

Hodnota testovacího kritéria pro rovnici (5) vychází na $2,191 \cdot 10^{-4} < 0,05 \rightarrow H_0$ je zamítnuta.

Hodnota testovacího kritéria pro rovnici (6) vychází na $2,264 \cdot 10^{-4} < 0,05 \rightarrow H_0$ je zamítnuta.

Výpočty desetinných míst (2 platné cifry intervalu spolehlivosti) jsou uvedeny v tab. IX.

Tabulka X znázorňuje výsledky analýzy LCA vyjádřené v procentech pro celkové emise CO_2 ekv. připadající na uvažované fáze životního cyklu, které byly analyzovány pro letoun B777-200.

Možná doporučení

Výsledky analýzy ukazují, že v celém životním cyklu letadla jsou emise skleníkových plynů uvolněných během provozní fáze významnější, než emise připadající na fázi výroby letadla a jeho údržbu. Případné úspory paliva mohou být tím větší, čím více se délka letu bude odchýlovat od vypočteného optima. V této fázi jsou významnými parametry konfigurace sedadel letadla, zatížení cestujícími (faktor (PLF)) a nákladní faktor (PFF). Příspěvek každého cestujícího v podobě emisí CO_2 ekv. na kilometr může být snížen především zvýšením přepravní kapacity (využitím konfigurací s vyšším počtem míst), zvýšením PLF a snížením PFF.

Opatření by se měla zaměřit především na efektivnější využití paliva, nebo na snížení emisí vyjádřených v CO_2 ekvivalentu.

Při sledování celkové efektivity dle výsledků analýzy LCA vyjádřeném v CO_2 ekvivalentu bez ohledu na celkový objem emisí lze však uplatnit i jiné hledisko. Při výrazném zvýšení efektivity využití paliva poroste celkový podíl emisí CO_2 ekvivalentu za fázi údržby a ta by se pak postupně mohla stát obdobně významnou složkou z hlediska zátěže prostředí, jako samotný provoz. Celková zátěž připadající na provoz by klesla, zároveň by ale vzrostl tlak na delší životnost používaných dílů, neboť by tato položka činila v emisích a tím nevyhnutelně i v provozních nákladech, vyjádřených v ekvivalentu CO_2 , významnější složku.

Tato situace je reálně dosažitelná např. substitucí stávajících paliv biopalivy, zejména biopalivy II. a III. generace, což by pravděpodobně značně snížilo celkový podíl emisí vyjádřených v CO_2 ekvivalentu za fázi provozu.

Závěr

Analýza LCA prezentovaná v tomto sdělení byla založena na zjednodušujících hypotézách. Je zřejmé, že přesná analýza vztahující se k emisím skleníkových plynů uvolněných v každé fázi životnosti letadla by vyžadovala obrovské množství informací z míst, kde jsou letadla a jejich komponenty vyráběny a o zdrojích energie používaných k jejich výrobě. Informace týkající se spotřeby energie v průběhu fáze údržby letadla nejsou k dispozici. Proto byly přijaty určité předpoklady, které umožnily ne-

přímý odhad. Výsledky ukázaly, že dosažené objemy emisí za fázi výroby a údržby jsou ca. $4 \times$ nižší než ty, které vznikají během provozu letadla. Z vypočtených hodnot byly odvozeny funkce popisující vzájemný vztah ekvivalentních emisí CO_2 za fáze provozu a údržby.

Na základě provedených výpočtů lze pro snížení emisí skleníkových plynů v souladu s požadavky na EU ETS doporučit opatření, která celkově směřují k větší efektivitě využívání paliv. Např. aby se letecké společnosti zaměřily na činnosti směřující k větší efektivitě využití paliva. Taková politika by měla dle provedené analýzy zahrnovat:

- Získávání nových letadel s nižší spotřebou pohonných hmot. Protože fáze výroby letadla vyjádřená v ekvivalentních emisích CO_2 představuje pouze 0,05 % celého životního cyklu, je výměna stávajících letadel za taková, která by byla úspornější z environmentálního hlediska dobrým řešením.
- Omezení letů s malou obsazeností a změny konfigurace sedadel u letadel používaných k přepravě více cestujících na trasách s vysokou poptávkou, které by vedly k zvýšení efektivity využití kapacity letadel.
- Vhodné nástroje pro rozvoj těchto strategií mohou zahrnovat zavedení bonusů pro cestující při volbě „ekoletů“, novou konstrukci cenové politiky při stanovování palivového příplatku aj.
- V oblasti substituce stávajících paliv biopalivy lze využít zejména biopaliva II. a III. generace, která jsou svým chemickým složením prakticky identická s používanými leteckými palivy a nekladou tak limity na dostup či dolet ve srovnání s konvenčními.

LITERATURA

1. IPCC: *Aviation and the Global Atmosphere. Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK. 1999. <http://www.grida.no/climate/ipcc/aviation/064.htm>, staženo 1. 3. 2015.
2. The Boeing Company: *Technical Information. 777 Family. 2013*. <http://www.boeing.com/boeing/commercial/777family/specs.page>, staženo 12. 11. 2014.
3. Heathrow Airport: *2010 Sustainability Performance Summary: Towards a Sustainable Heathrow. Heathrow Airport. 2011*. <http://www.heathrowairport.com/static/Heathrow/Downloads/PDF/2010-sustainability-performance-summary.pdf>, staženo 30. 8. 2015.
4. ICAO: *What is ICAO Data? International Civil Aviation Organisation (2013)*. <http://www.icaoata.com/Trial/WhatIsICAO.aspx>, staženo 10. 2. 2016.
5. Banis D., Arthur J. M., Mohaghegh M.: *Design for corrosion control*. (L. Nichols, Editor) *Aero magazine. 1999*. http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_07/corrosn_sb_table01.html, staženo 16. 4. 2013.
6. EEA. EMEP/CORINAIR: *Emission Inventory Guidebook - 2006.*, Denmark: European Environment Agency, Copenhagen 2006. <http://>

- www.eea.europa.eu/publications/EMEPCORINAIR4/page002.html, staženo 5. 2. 2016.
7. Campbell F. C.: *Manufacturing Technology for Aerospace Structural Materials*. Elsevier, Amsterdam 2006. http://www.worldcat.org/title/manufacturing-technology-for-aerospace-structural-materials/oclc/76832133&referer=brief_results, staženo 5. 2. 2011.
 8. Alcorn A.: *Embodied Energy and CO₂ Coefficients for New Zealand Building Materials*. Wellington: Centre For Building Performance Research, Victoria University of Wellington 2003. http://www.victoria.ac.nz/cbpr/documents/pdfs/ee-co2_report_2003.pdf, staženo 5. 2. 2011.
 9. IAG: News Release. Retrieved from International Airlines Group. 2012. <http://www.iairgroup.com/phoenix.zhtml?c=240949&p=irol-newsArticle&id=1667086>, staženo 7. 10. 2015.
 10. TRANSPORT STUDIES GROUP: *Dynamic Cost Indexing*. University of Westminster, London. 2008. http://www.eurocontrol.int/eec/gallery/content/public/documents/projects/CARE/CARE_INO_III/DCI_TDD9-0_Airline_maintenance_marginal_delay_costs.pdf, Staženo 28. 10. 2015.
 11. Europe's Energy Portal: *Fuel Prices*. Europe's Energy Portal 2008. www.energy.eu, staženo 3. 10. 2015.
 12. Hammond G., Jones C.: *Inventory Of Carbon & Energy (ICE) Version 2.0 - Summary Tables*. University of Bath, Department of Mechanical Engineering, Bath, UK 2011. <http://www.siegelstrain.com/site/pdf/ICE-v2.0-summary-tables.pdf> 17, staženo 5. 2. 2015.
 13. Nishimura K., Hondo H., Uchiyama Y.: *Energy Conv. Manag.* 38, 589 (1997).
 14. Accounts N. G.: *Factors*. Department of Climate Change. Australian Government, Canberra 2008.

T. Costa Jordão^a and R. Baťa^b (^a*Institute of Environmental and Chemical Engineering, Faculty of Chemical Technology*, ^b*Institute of Administrative and Social Sciences, Faculty of Economics and Administration, University of Pardubice*): **Analysis of Emissions from Air Transport According to the Life Cycle Assessment**

This article summarizes the life cycle assessment (LCA), which allows measuring the contribution to climate change of commonly used aircraft Boeing 777-200. Assessment involves three main phases of the lifecycle of aircraft, consisting of the system boundaries: manufacture of aircraft, aircraft maintenance, and aircraft operation. Each stage of the analysis is conducted in terms of greenhouse gas emissions measured in kg per passenger and kilometer (functional unit of LCA). The results provide valuable support when deciding on measures to be implemented in lifecycle phases of aircraft, where there are more opportunities for climate change mitigation. The results show that the most significant contribution in terms of CO₂ eq. per passenger and kilometer comes from the operation of the aircraft, allowing airlines to implement technical, organizational, operational, and other measures.

STAŽENÍ ČLÁNKU

RETRACTION

Stažení článku

Následující publikace byla stažena z časopisu Chemické listy:

Jiří Kovářík, Pavel Pícha, Jaroslav Červený, Marek Kuzma, Petr Kačer: Degradace vysoce biologicky aktivních látek parami peroxidu vodíku (Chem. Listy 110, 940 (2016)).

Publikace byla stažena z důvodu porušení Smlouvy o šíření díla (copyright) ze strany autorů.

Retraction

The following article has been retracted from publication in the Chemické Listy journal:

Jiří Kovářík, Pavel Pícha, Jaroslav Červený, Marek Kuzma, Petr Kačer: Degradation of Highly Biologically Active Compounds by Vapors of Hydrogen Peroxide (Chem. Listy 110, 940 (2016)).

The article has been withdrawn due to violation of the copyright by the authors.