ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
Fakulta životního prostředí

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2011 ing. Vendula Paulátová

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
Fakulta životního prostředí
Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Analýza budoucího vývoje množství emisí z letecké dopravy po jejím zahrnutí do Evropského systému emisního obchodování EU ETS od roku 2012

VEDOUCÍ PRÁCE: doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D.

BAKALANT: ing. Vendula Paulátová

2011

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „ Analýza budoucího vývoje množství emisí z letecké dopravy po jejím zahrnutí do Evropského systému emisního obchodování EU ETS od roku 2012“ vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Praze dne 28. dubna 2011 …….

Autor:	ing. Vendula Paulátová
Název bakalářské práce:	Analýza budoucího vývoje množství emisí z letecké dopravy po jejím zahrnutí do Evropského systému emisního obchodování EU ETS od roku 2012
Rok vydání:	2011
Škola:	Česká zemědělská univerzita v Praze
Katedra:	Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování
Vedoucí bakalářské práce:	doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D.
Počet stran:	50

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je na základě získaných informací a vlastních zkušeností analyzovat budoucí vývoj emisí z letecké dopravy po jejím zahrnutí do Evropského systému emisního obchodování EU ETS. Práce zachycuje problém vzniku emisí v letecké dopravě, a zabývá se jejich složením a vlivem na životní prostředí a zdraví. Dále pak snahami a cíli Evropské unie a mezinárodních leteckých organizací o jejich snižovaní, především emisí oxidu uhličitého. Budoucí vývoj emisí bude ovlivněn mnoha faktory, které jsou mnohdy nepředvídatelné. Systém EU ETS bude mít na leteckou dopravu vliv a tato práce analyzuje budoucího vývoj tohoto odvětví společně s ostatními faktory, které ho budou ovlivňovat.

Klíčová slova: emise, letecká doprava, emisního obchodování, životní prostředí

ABSTRAKT

The goal of this paper is an analysis of the future trends in aviation emissions after it's integration into the European emission trading system, based on available information and own experience. The paper describes the problem of emission from aviation, the emission constituents and their influence on the environment and public health. Furthermore it deals with European Union's as well as various international aviation bodies efforts and goals to reduce aviation emissions, especially carbon dioxide emissions. Future aviation emissions trends will be influenced by many various factors, which are both predictable and unpredictable. Certainly a major factor is aviation’s integration into the European emission trading system and the paper analyzes it together with all other predictable factors to give an insight on the future developments in this field.

Key words: emission, air transport, emission trading system, environment

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěla poděkovat všem, kteří svými poznatky, zkušenostmi a radami přispěli k vypracování této bakalářské práce. Především bych chtěla poděkovat vedoucímu bakalářské práce doc. Mgr. Markovi Vachovi, Ph.D. za poskytnuté informace a věnovaný čas. Chtěla bych také tímto poděkovat mé rodině a mým blízkým za podporu během studia.

Obsah

ÚVOD 8

CÍL PRÁCE A METODIKA 9

1. EMISE Z LETECKÉ DOPRAVY JAKO ZDROJE ZNEČIŠŤOVÁNÍ OVZDUŠÍ 10

1.1 Historie emisí z letecké dopravy 10
1.2 Současnost a další předpokládaný vývoj 12
1.3 Podíl letecké dopravy na celkovém znečistění ovzduší 14

2. SLOŽKY EMISÍ Z LETECKÝCH POHONNÝCH JEDNOTECH A JEJICH VLIV NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ 15

2.1 Primární a sekundární látky znečišťující ovzduší (LZO) 15
2.2 Přehled exhalátů z leteckých motorů 15
2.2.1 Oxid uhličitý- CO_2 16
2.2.2 Oxid uhelnatý – CO 17
2.2.3 Oxidy dusíku – NOx 17
2.2.4 Oxidy síry- SOx 18
2.2.5 Vodní pára- H_2O 19
2.2.6 Amoniak- NH_3 19
2.2.7 Nespálené uhlovodíky- HC (Hydrocarbon) 20
2.2.8 Olovo- Pb 22
2.2.9 Pevné částice- PM (Particulate Matter) 23
2.3 Vliv emisí z letecké dopravy na zemskou atmosféru 24
2.3.1 Vznik kyselých dešťů 24
2.3.2 Poškozování ozónové vrstvy 25
2.3.3 Skleníkový efekt 27

3. STRATEGIE VEDOUCÍ KE SNÍŽENÍ EMISÍ Z LETECKÉ DOPRAVY 29

3.1 Přísnější emisní limity 29
3.1.1 LTO cyklus 29
3.1.2 Sledované emise u leteckých motorů 30
3.2 Strategie evropské unie na snížení dopadu letectví na změnu klimatu 31
3.2.1 CLEAN SKY 31
3.2.2 Evropské jednotné nebe (SES) 32
3.2.3 Evropský systém emisního obchodování (EU ETS) 33
3.3 Strategie Mezinárodní asociace leteckých dopravců-IATA 36
3.4 Omezení emisí z dopravy na letiště 36
3.5 Omezení emisí z provozu letiště 37

4. ANALÝZA VÝVOJE EMISÍ Z LETECKÉ DOPRAVY 39

4.1 Předpokládaný vývoj letecké dopravy 39
4.2 Hlavní faktory ovlivňující vývoj letecké dopravy 40
4.3 Cíle EU ETS a jeho efektivnost 41
4.4 Dopad na letecké společnosti po jejich zapojení do systému EU ETS 42
4.5 Budoucí vývoj emisí z letecké dopravy 43

ZÁVĚR A DISKUZE 45

PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ 46

PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK 49

PŘÍLOHA Č.1- **SCHÉMA FUNGOVÁNÍ EU ETS V ČR 52**

PŘÍLOHA Č.2- **EMISNÍ PROTOKOL LETECKÉHO MOTORU 53**

Úvod

Letecká doprava tvoří nedílnou součást společnosti 21. století. Přispívá k evropské a globální integraci a přináší možnost pohodlné a rychlé přepravy lidí a nákladu i na delší vzdálenosti. Kromě jejích nesporných výhod však s sebou přináší i řadu negativních dopadů. Již od počátku byla letecká doprava zdrojem znečišťujících látek, avšak její celosvětový objem byl až do konce sedmdesátých let v porovnání s ostatními druhy dopravy minimální. Od té doby však neustále prudce roste, a přestože je dnes zdrojem „jen“ 2-3 procent znečišťujících emisí, které vznikají v důsledku lidské činnosti, předpokládá se její další růst a s ním i zvyšování jejího podílu na znečišťování životního prostředí.

V poslední době se také o letecké dopravě hovoří v souvislosti s produkcí tzv. skleníkových plynů a jejím vlivu na změnu klimatu. Evropská unie již na počátku 90. let 20. století začala s aktivním přístupem ve snaze nejprve o omezení a později dokonce o snižování emisí těchto plynů. Jedním s hlavních nástrojů evropské politiky, jak dosáhnout redukci skleníkových plynů, se stal Evropský systém pro obchodování s emisemi- EU ETS.

Letecká doprava bude do tohoto systému začleněna v roce 2012. Tato práce se snaží na základě získaných informací posoudit vliv začlenění letecké dopravy do systému EU ETS na budoucí vývoj emisí z tohoto odvětví. A to nejen emisí tzv. skleníkových plynů, ale i ostatních znečišťujících látek.

V současnosti probíhají poslední přípravy na začlenění leteckých společností do systému EU ETS a společně s nimi se stále diskutuje o přínosu tohoto opatření na snižování skleníkových plynů. Odborníci z oblasti letecké dopravy, politici, ekologové i mezinárodní letecké organizace prezentují možné budoucí scénáře vývoje, ve kterých analyzují kladné i záporné přínosy začlenění letecké dopravy do systému EU ETS.

V letecké dopravě pracuji již deset let a nejen proto mě tato problematika zajímá. Nestranné závěry mojí práce chci opřít o vlastní zkušenosti z provozu letecké společnosti a získané informace z odborných článků a knih.

Cíl práce a metodika

Cílem této bakalářské práce je analyzovat budoucí vývoj emisí z letecké dopravy po jejím zahrnutí do Evropského systému emisního obchodování - EU ETS. Přestože budoucí vývoj emisí z tohoto druhu dopravy bude ovlivněn mnoha faktory, v této práci se snažím, na základě získaných informací z odborných knih a článků, posoudit, jak velký vliv bude mít na leteckou dopravu její zahrnutí do systému EU ETS.

K pochopení problematiky daného tématu se ve své práci v úvodu zabývám vznikem, charakteristikou a vlivem emisí z letecké dopravy na životní prostředí. V další části pak strategiemi na snižování emisí z letecké dopravy, především popisem systému EU ETS, jeho historií a důvodu začlenění letecké dopravy.

V poslední kapitole pak na základě několika již publikovaných analýz, získaných informací a vlastních zkušeností z provozu letecké společnosti, analyzuji budoucí vývoj emisí z letecké dopravy v Evropě.

1. EMISE Z LETECKÉ DOPRAVY JAKO ZDROJE ZNEČIŠŤOVÁNÍ OVZDUŠÍ

Při spalování leteckého paliva se do ovzduší uvolňuje několik stovek látek, jejichž škodlivý účinek na životní prostředí byl prokázaný nebo se předpokládá (Volner, 2007). Jejich obsah ve výfukových plynech stejně jako jejich účinek na životní prostředí je rozdílný. Jednotlivým složkám výfukových plynů z leteckých pohonných jednotek je věnována kapitola 2. V této kapitole se zabývám historickým vývojem emisí z letecké dopravy a jejích podílem na celkovém znečištění ovzduší v současnosti.

Emise z letecké dopravy můžeme dle širokého pohledu rozdělit na emise, které vznikají

a) dopravou cestujících a materiálu na letiště
b) provozem prostředků na letišti
c) vlastním leteckým provozem

Tato práce se bude zabývat výčtem, vznikem, účinky, eliminací vzniku a budoucí analýzou vývoje nejdůležitějších škodlivých látek, které vznikají spalováním leteckého paliva pohonnými jednotkami civilních dopravních letadel. Snahy o snižování emisí podle bodu a) a b) jsou také velice důležité, krátce se jim věnuji v závěru mé práce.

1.1 Historie emisí z letecké dopravy

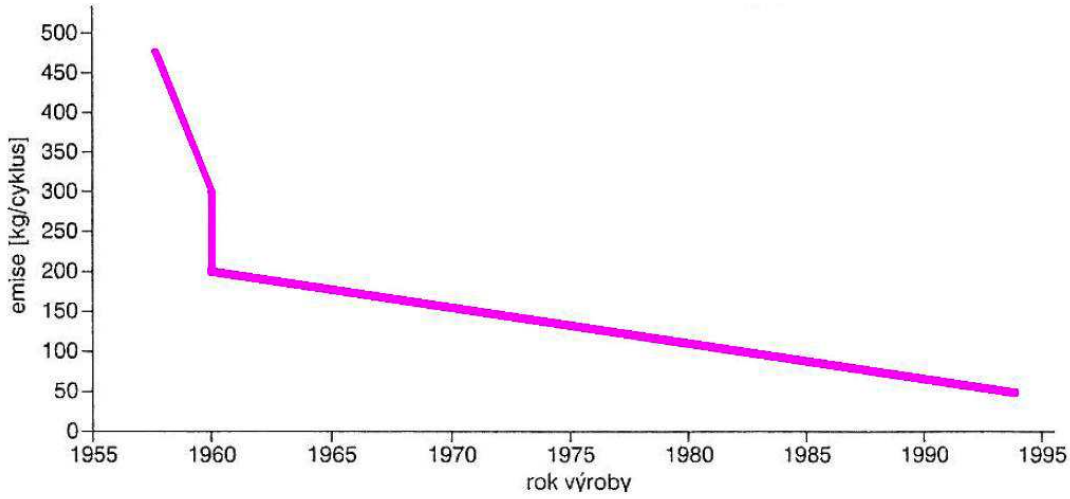
Počátek letecké dopravy můžeme datovat v roce 1912, kdy byly poprvé v USA nabízeny letecké služby veřejnosti za úplatu. Se svojí téměř stoletou historií paří k sice nejmladšímu druhu dopravy osob a zboží, avšak v průběhu tohoto krátkého vývoje zaznamenala prudké tempo technického rozvoje a ohromný rozmach.

Vývoj emisí můžeme rozdělit následovně (Kerner, in press):

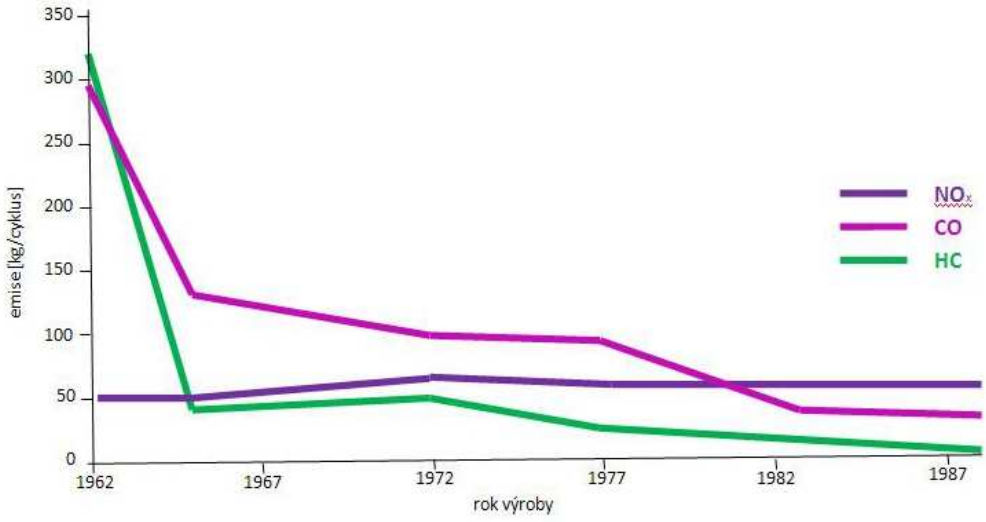
- v počátcích letecké dopravy bylo nejdůležitější především udržet bezpečně letadlo ve vzduchu, žádné hlukové nebo emisní limity neexistovaly
- v padesátých letech měli proudové motory za úkol především zvýšit rychlost cestování, což bylo v té době hlavním požadavkem, samozřejmě

vedle bezpečnosti a spolehlivosti. Letouny produkovaly na letový cyklus vzlet - přistání tzv. LTO cyklus (viz. kap. 3.1.1.) 300 - 470 kg emisí. V těchto emisích jsou započítané emise oxidu uhelnatého (CO), oxidy dusíku (NO_x) a nespálené uhlovodíky (HC)

- teprve v šedesátých letech minulého století došlo k systematickému sledování hlučnosti pohonných jednotek a postupnému snižování jejich spotřeby pohonných hmot. Současně se zvyšováním ekonomičnosti letecké dopravy- snižování spotřeby paliva, docházelo druhořadně i pozitivnímu snižování emisí. Tyto požadavky bylo možné splnit nahrazením proudových motorů dvouproudovými, v té době ještě s malým obtokovým poměrem. Celkové emise za letový cyklus se pohybovaly v rozmezí 100-200 na cyklus
- od sedmdesátých let jsou v platnosti mezinárodní hlukové normy, které jsou postupně zpřísňovány. Vydání předpisů vedlo k výraznému snižování hlučnosti a růstu ekonomičnosti, zejména zavedením dvouproudových motorů s velkým obtokovým poměrem. Produkce emisí u těchto motorů byla 70-100 kg na cyklus
- v roce 1981 mezinárodní organizace civilního letectví ICAO vydala Anex 16/II „ Exhalace letadlových motorů“ na základě něhož vznikl předpis L 16/II platný také v České republice. V něm jsou definovány limity vybraných škodlivých emisí, které letecké pohonné jednotky produkují, a které musí v současnosti používané motory splňovat (viz kap. 3.1.2.). Také nové materiály a technologie používané při konstrukci letadel umožnily dokonalé spalování při vyšších teplotách, čímž se sice některé emise zvýšily např. oxidy dusíku, ale celkové emise se snížily na 40-60 kg za letový cyklus
- od devadesátých let jsou letecké společnosti nejen z ekonomických ale i z ekologických důvodů, především kvůli produkci oxidu uhličitému a jeho vlivu na změnu klimatu, nuceny používat letadla s motory, které mají nízkou spotřebu leteckého paliva a tím i nižší produkci emisí. Hmotnost emisí vyprodukovaných letadly používaných v dnešní době jsou uvedeny v podkapitole 1.2.



Obr. 1 – Vývoj celkových emisí (CO, HC, NO_x) proudových motorů za jeden letový cyklus v letech 1955-1995, zdroj: L+K 1/1997



Obr. 2 - Vývoj jednotlivých složek emisí z proudových motorů v období 1962-1988, zdroj: L+K 1/1997

1.2 Současnost a další předpokládaný vývoj

Dnešní letadlové pohonné jednotky vyprodukují během jednoho letového cyklu vzlet- přistání průměrně 20-60 kg emisí. Záleží na typu letadla, jeho stáří a především jeho maximální vzletové hmotnosti. Na níže uvedených příkladech, jsou letadla rozdělena podle maximální vzdálenosti, kterou mohou uletět tzv. doletu.

Hmotnosti vyprodukovaných emisí a celkové spotřeby paliva během letového cyklu, které jsou uvedeny, jsou vždy průměrem dvou typických zástupců letadel, které se v dnešní době používají (ICAO, 2006).

1) dálková letadla -dolet cca 9 000 km (průměr A330-200/300 a Boeing 767-400)
   celková spotřeba paliva: 1990 Kg
   emise: NO_x-30,19 kg CO-14,28 kg HC-1 kg
   celkem emise: 45,47 kg
2) středně traťová letadla - dolet cca 5000 km (průměr A320 a Boeing 737-300/400)
   celková spotřeba -775 Kg
   emise: NO_x-8,01 kg CO-9,61 kg HC-0,63 kg
   celkem emise: 18,25 kg
3) letadla na krátké vzdálenosti -dolet cca 3000 km (průměr CRJ-100ER a BAE 146)
   celková spotřeba -450 Kg
   emise: NO_x-3,17 kg CO-8,94 kg HC-0,915 kg
   celkem emise: 13,025 kg

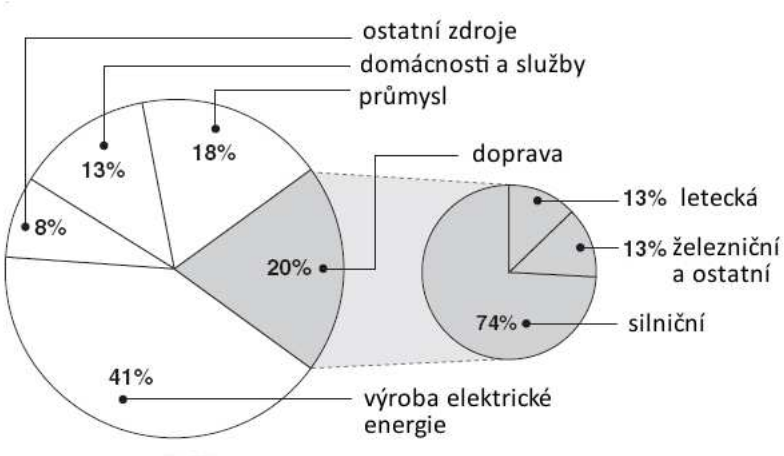
Například nejnovější dopravní letadlo Airbus 380, které je vybaveno 4 motory typu - Trent 900 70 84 spotřebuje během letového cyklu 3980 kg paliva a emisí-NO_x 66,22 Kg, HC 0,324 kg a CO 25,8 kg. Celkem tedy 92,344 kg emisí.

Z historického vývoje emisí je vidět, že od šedesátých let byly letecké emise ovlivňující kvalitu ovzduší v okolí letišť dramaticky sníženy. Nejvíce poklesly nespálené uhlovodíky (HC) - až o 98%. Emise oxidu uhelnatého (CO) jsou skoro o 90% nižší a emise oxidů dusíku (NO_x) jsou sníženy téměř o polovinu. (Vindendon M. et Wrede R., in press)

V současnosti stále probíhají výzkumy o snižování emisí z leteckých motorů, ale ty už jsou limitovány technickými možnostmi. Také je důležité vzít v úvahu, že strategie nebo technologie snižování některých emisí skleníkových plynů, jako například CO_2, nejsou kompatibilní se strategiemi či technologiemi snižování jiných emisí z letadel, například NO_x, které mají také vliv na klima či kvalitu ovzduší. **(**Karnali A., Harris M., in press)

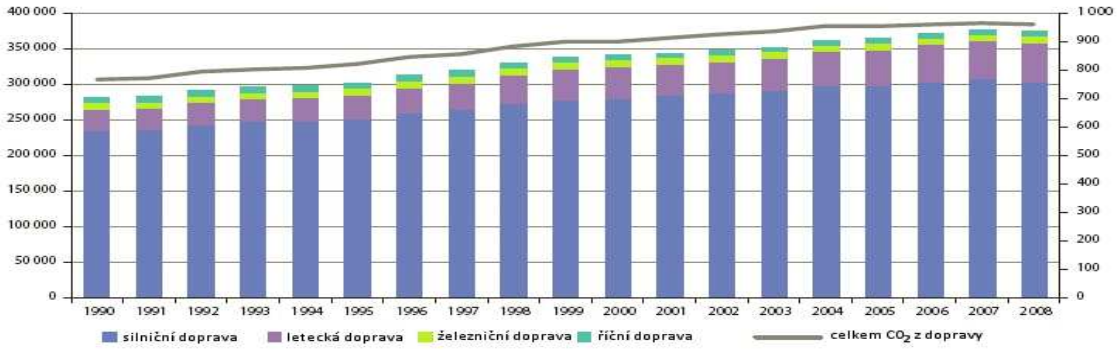
1.3 Podíl letecké dopravy na celkovém znečistění ovzduší

Mezivládní panel pro změnu klimatu (IPCC) odhadl, že se sektor letecké dopravy podílí ročně na radiačních účincích (tj. účinky na klima) 3,5 % z celkového součtu všech zdrojů skleníkových plynů souvisejících s lidskou činností.



Obr. 3 – Podíl jednotlivých odvětví na radiačních účincích (tj. účinky na klima), zdroj: data IPCC

Letecká doprava se podílí zhruba 12 % na celkových emisích pocházejících z dopravy. Jenže objem letecké dopravy prudce stoupá, v letech 1990-2004 narostly emise z letecké dopravy o 87 % (EEA, 2007), navíc emise mohou mít škodlivější dopad, protože se rovnou dostávají do vyšších vrstev zemské atmosféry.



Obr. 4 - Spotřeba energie jednotlivých druhů dopravy a jejich produkce CO_2, zdroj: Eurostat-European Environment Agency

2. SLOŽKY EMISÍ Z LETECKÝCH POHONNÝCH JEDNOTECH A JEJICH VLIV NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

Emise v oblasti letecké dopravy vznikají při chemických reakcích způsobených nedokonalým procesem spalování leteckého petroleje. Jejich složení závisí především na typu a stavu motoru, druhu paliva a režimu letu. Výfukové plyny proudových motorů jsou směsí chemických látek v různých koncentracích, s různými účinky na zdraví člověka. V podkapitole 2.2 se zabývám složením emisí z leteckých motorů, jejich vznikem během spalovacího procesu, stručnou charakteristikou a jejich vlivem na zdraví lidí, živočichů a rostlin na Zemi. V podkapitole 2.3 se pak věnuji jejich vlivu na zemskou atmosféru.

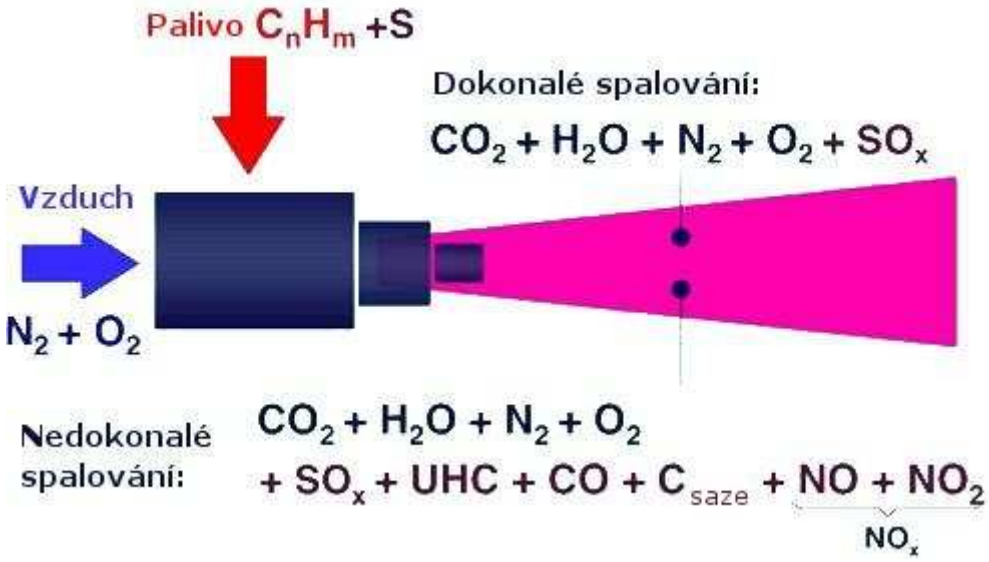
2.1 Primární a sekundární látky znečišťující ovzduší (LZO)

Látky, které se do atmosféry dostávání ze zdroje znečistění (leteckých pohonných jednotek) nazýváme primární LZO. Různými chemickými a fotochemickými reakcemi se z nich stávají sekundární LZO. V rámci procesu vzniku sekundárních LZO se uplatňují jak chemické (exotermní), tak fotochemické (endotermní) typy reakcí. Zatímco v případě exotermních reakcí se původní sloučenina zbavuje přebytečné energie (oxiduje do nejstabilnější formy), v případě endotermních reakcí je sekundárně vzniklým sloučeninám dodána energie slunečního záření (sloučenina se redukuje). Vzájemná kombinace uvedených reakcí dává vzniknout sekundárním LZO, které jsou v mnoha případech nebezpečnější (toxičtější), než primární LZO, včetně tzv. volných radikálů, které vyvolávají další etapu reakcí v atmosféře. (Mačala et Smrž, 2005)

2.2 Přehled exhalátů z leteckých motorů

Na obrázku č. 5 je uvedena chemická rovnice dokonalého a nedokonalého spalování leteckého benzínu v proudovém motoru resp. spalovací komoře. Během tohoto procesu vznikají emise nejen dnes velice diskutovaného oxidu uhličitého (CO_2) ale i například velice nebezpečných nespálených uhlovodíku (HC) či pevných látek (PM). Dle Schillinga (1994) při spálení 1 kg leteckého paliva vniká,

- vodní pára (H_2O) -1239g
- oxid uhličitý (CO_2) - 3154 g
- oxid uhelnatý (CO) - 0,7-2,5g,
- oxidy dusíku (NO_x)- 6-16,4g,
- nespálené uhlovodíky (UHC- Unburned hydrocarbons) 0,05-0,7g,
- oxidy síry (SO_x) -1g
- saze (pevné částice) - 0,007-0,03g



Obr. 5- Reakce dokonalého a nedokonalého spalováni v proudovém motoru, zdroj: Stanford University's Department of Aeronautics and Astronautics

2.2.1 Oxid uhličitý- CO_2

Vznik- oxid uhličitý vzniká při dokonalém spalování jakéhokoliv fosilního paliva, které obsahuje uhlík.

Charakteristika- oxid uhličitý je bezbarvý plyn těžší než vzduch bez chuti a zápachu. Při vyšších koncentracích může mít slabé nakyslou chuť. Oxid uhličitý je běžnou součástí zemské atmosféry, přičemž jeho koncentrace (zhruba 0,04 %) v ovzduší kolísá v závislosti na výšce nad povrchem, místních podmínkách či na relativní vlhkosti vzduchu v ovzduší.

Negativní dopad na zdraví- je nedýchatelný, při nižších koncentracích (1,5 %) není nebezpečný, nebezpečné jsou koncentrace vyšší. Např. koncentrace 3-5 % je životu nebezpečná po půlhodinovém pobytu, koncentrace okolo 8-10 % způsobuje rychlou ztrátu vědomí a smrt.

2.2.2 Oxid uhelnatý – CO

Vznik- vzniká nedokonalým spalováním fosilních paliv obsahující uhlík za nedostatečného přístupu vzduchu nebo za vysokých teplot. Oxid uhelnatý vzniká při nízkém režimu motoru, obzvláště při pozemním volnoběhu.

Charakteristika- oxid uhelnatý je bezbarvý, ve vodě rozpustný plyn bez chuti a zápachu. Je nedráždivý a lehčí než vzduch. V nepatrném množství je přítomen v atmosféře, jeho koncentrace v čistém ovzduší je asi 0,1 až 0,2 $\mu g/m^3$. Vzniká především fotolýzou oxidu uhličitého působením ultrafialového záření, jakož i jako spalováním fosilních paliv a biomasy. Průměrná koncentrace CO v ovzduší mírně vzrůstá.

Negativní dopad na zdraví - je silně toxický plyn, který s krevním barvivem vytváří velmi pevný karboxyhemoglobin, čímž blokuje okysličení krve, způsobuje poruchy srdce, mozku, zrakové a sluchové potíže, žaludeční nevolnost, bolesti břicha. Při těžké otravě je postižený v bezvědomí. Smrt udušením způsobuje v koncentracích nad 750 mg/ m^3.

2.2.3 Oxidy dusíku – NO_x

Skupina těchto látek zahrnuje širokou škálu oxidů dusíku. Mezi nejčastěji se vyskytující patří: oxid dusnatý (NO) a oxid dusičitý (NO_2).

Vznik- tyto sloučeniny vznikají ze vzdušného kyslíku a dusíku při spalovacích procesech za vysokých teplot, tedy v našem případě zejména při spalováni leteckých pohonných hmot v komorách turbínových motorů. V největší míře dochází ke vzniku oxidů dusíku především v průběhu startu a přistání, kdy je teplota motoru na nejvyšší úrovni.

Charakteristika

Oxid dusnatý- NO je za normální teploty bezbarvý, jedovatý a za přítomnosti vlhkosti leptající plyn. Negativně působí na živé buňky a může u nich vyvolat

rakovinnou mutaci vedoucí ke vzniku zhoubných nádorů.

Oxid dusičitý - NO_2 je v plynném stavu oranžový až červenohnědý agresivní, jedovatý plyn. V kapalném stavu se jedná o žlutou až žlutohnědou látku, tuhnoucí na bezbarvé krystaly.

Negativní dopad na zdraví

Oxidy dusíku mohou negativně působit na zdraví člověka především ve vyšších koncentracích, které se ovšem běžně v ovzduší nevyskytují**.** Vdechování vysokých koncentrací, nebo dokonce čistých plynů, ovšem vede k závažným zdravotním potížím, vyvolává dýchací potíže a plicní poškozeni, a může způsobit i smrt. Část oxidů dusíků přispívá ke vzniku nebezpečných organických látek - peroxyacylnitrátů- RCO-O-O-NO_2 (PAN), které jsou rakovinotvorné.

$OH^{\cdot}$ + RCHO → $RCO^{\cdot}$ + H2O

$RCO^{\cdot}$ + O2 → $RCO.O2^{\cdot}$

$R.CO.O2^{\cdot}$ + NO2 → RCO.O2.NO2 (Vach, 2010)

Mírné množství dusíku v půdě ve formě dusičnanů a dusitanů má pozitivní vliv na růst rostlin, neboť v přírodních ekosystémech je dusíku, který mohou rostliny využít přímo pro svůj růst, nedostatek. Tento hnojivý efekt však může vést k mnoha jiným problémům, včetně změn ve složení flory a následně i fauny. Navíc, pokud je produkce a depozice NOx vyšší než může být spotřebováno rostlinami, přispívají oxidy dusíku k zakyselení půd a povrchových a podzemních vod (viz 2.3.1.).

Letecká doprava se podílí na celosvětové produkci NO_x 2 - 4%.

2.2.4 Oxidy síry- SO_x

Vznik- oxidy síry vznikají spalováním fosilních paliv, které obsahují síru. Množství přítomné síry přechází při oxidaci s kyslíkem obsaženým ve vzduchu u kapalných paliv na oxid siřičitý prakticky 100%. Nejpoužívanější palivo v osobní letecké dopravě je letecký petrolej JET A1. To obsahuje cca 0,3 % síry (VŠCHT, online).

Charakteristika - oxid siřičitý je bezbarvý plyn štiplavého zápachu. Je nehořlavý a rozpouští se ve vodě za vzniku kyselého roztoku

Negativní dopad na zdraví - při běžných koncentracích cca 0,1 µg/m^3 dráždí oči a horní cesty dýchací. Při koncentraci 2,5 µg/m^3 dochází ke snížení průchodnosti v

plicích. Dlouhodobé působení SO_2 při koncentraci 0,05 $\mu g/m^3$ vede ke zvýšení úmrtnosti na choroby krevního oběhu. Při kontaktu s vyššími koncentracemi oxidu siřičitého (SO_2) dochází u exponované osoby zejména k následujícím konkrétním projevům:

- poškození očí
- poškození dýchacích orgánů (kašlání, ztížení dechu)
- při velmi vysokých koncentracích tvorba tekutiny v plicích (edém)

Místně se může SO_2 vyskytovat v tak vysokých koncentracích, že může způsobovat přímé poškození dýchacích otvorů u rostlin, které změní dýchání rostlin a cesty, kterými mohou plyny penetrovat do rostlinných tkání.

2.2.5 Vodní pára- H_2O

Vznik – vodní páry jsou produktem hoření uhlovodíků a způsobují známý jev, kterým jsou kondenzační čáry. K jejich vzniku je zapotřebí dostatečná vlhkost okolního vzduchu nebo jeho nízká teplota. Vodní páry pak kondenzují a vytvářejí kapičky vody, které následně mrznou v krystalky ledu, které jsou vidět v podobě kondenzačních čar. K vzniku vodních kapiček přispívají drobné částečky nečistot, obsažených v palivu, které slouží jako kondenzační jádra. Jedná se především o sloučeniny síry- sírany.

Charakteristika- je plynné skupenství vody, které se nachází v okolním prostředí a během kondenzace je pak ve formě malých aerosolových kapiček. Při změně teploty nebo tlaku dochází ke kondenzaci, kdy se vodní pára přeměňuje zpět na kapalinu. Během plynného skupenství je vodní pára neviditelná. Množství vodní páry v okolním prostředí se udává humiditou neboli vlhkostí.

Negativní dopad na zdraví- žádné, důležitější je její vliv na zemskou atmosféru

2.2.6 Amoniak- NH_3

Vznik- reakcí vzdušného dusíku s vodíkem obsaženým v palivu

Negativní dopad na zdraví- hrozí popálení kůže a očí s možností trvalých následků. Způsobuje kašel a dýchací potíže, dráždí hltan, ústa a nosní sliznici. Ve vyšší koncentraci (< 0,5 %) může být i smrtelný.

2.2.7 Nespálené uhlovodíky- HC (Hydrocarbon)

Skupina škodlivin souhrnně označována jako nespálené uhlovodíky je ve skutečnosti směsí individuálních komponent, jejichž přímá i zprostředkovaná škodlivost je různá.

Vznik- vznikají buď přímou ztrátou paliva vyplachováním, nebo během nedokonalého spalování uhlovodíkových paliv. Nespálené uhlovodíky vznikají při nízkém tahu motorů, zejména pří pozemním volnoběhu. Do této skupiny patří několik desítek látek, které můžeme rozdělit následovně:

2.2.7.1 Metan CH_4

Vznik – metan (CH_4) vzniká v důsledku velmi širokého spektra aerobních procesů. V letecké dopravě vzniká nedokonalým spalování leteckého benzínu.

Charakteristika- metan je za normálního tlaku a teploty bezbarvý plyn bez zápachu. Jedná se o vysoce hořlavou a v určitých koncentracích (5–15% obj.) ve směsi se vzduchem výbušnou látku. Je mírně lehčí než vzduch.

Negativní dopad na zdraví- tento plyn může při vyšších koncentracích vyvolat zdravotní potíže. Při krátkodobém vystavení člověka vysoké koncentraci metanu může vést k udušení v důsledku nedostatku kyslíku. Metan se řadí mezi skleníkové plyny, jeho přítomnost v atmosféře absorbuje infračervené záření zemského povrchu, které by jinak unikalo do vesmíru. Metan je odhadován jako 23krát účinnější ve srovnání s oxidem uhličitým-CO_2.

2.2.7.2 Persistentní organické polutanty

Jsou definovány jako skupina organických sloučenin, jejichž dominantními fyzikálně-chemickými a environmentálně-chemickými vlastnostmi jsou odolnost vůči různým degradačním procesům, malá rozpustnost ve vodě, lipofilní charakter, z toho plynoucí výrazná tendence k bioakumulaci a polotěkavost umožňující globální atmosférický transport (CDV, 2004).

A) Těkavé organické látky – VOC

V souvislosti s vyloučením Pb z benzínů používají rafinérie různé sloučeniny na zabezpečení oktanové kvality benzinů. Jedná se zejména o benzen, toluen nebo xylen. Ale ani použití těchto sloučenin není z hlediska zdraví a životního prostředí bez rizika (CDV, 2004)

Vznik- těkavé organické látky patří mezi persistentní organické polutanty, které vznikají během nedokonalého spalování fosilních paliv.

Charakteristika- řada organických látek s nízkým bodem varu

Rozdělení- mezi nejvýznamnější patří tyto (Kurfürst, 2008):

1) Benzen - bezbarvá kapalina charakteristického zápach
   - zdravotní rizika- poškození nervového systému, jater, dýchacích cest, leukémie. Je prokázaný lidský karcinogen klasifikovaný ve skupině 1 (tj. látky karcinogenní pro člověka.
2) Toluen – bezbarvá kapalina charakteristického zápachu
   - zdravotní rizika - inhalační experimenty na zvířatech ukázaly, že většina toluenu je distribuována do tukové tkáně, nadledvinek, ledvin a mozku. Byly prokázány vážné dysfunkce centrální nervové soustavy a poškození chromozomů periferních lymfocytů.
3) Styren – hořlavá kapalina s pronikavě nasládlým zápachem
   - zdravotní rizika- toxické účinky na organismus člověka zahrnují poruchy funkce centrálního nervového systému (bolesti hlavy, malátnost, napětí, nevolnost, zvracení) a při expozici vysokým koncentracím (nad 420 mg/m^3) bylo pozorováno akutní podráždění očních spojivek a sliznice horních partií respiračního traktu, zvýšení počtu chromozomálních aberací v periferních lymfocytech.
4) 1,3- butadien – plyn lehčí než vzduch s bodem varu -4,4 °C
   - zdravotní rizika- v nízkých koncentracích může způsobovat podráždění očí, nosu a krku. Akutní působení ve vysokých koncentracích může vyvolat poškození centrální nervové soustavy, bolesti hlavy, snížení krevního tlaku až bezvědomí. Je to látka klasifikována jako karcinogen podezřelý z vyvolávání leukémie.
5) Formaldehyd- je plyn štiplavého zápachu, s bodem varu -21 °C.
   - zdravotní rizika- způsobuje poruchy dýchání, má dráždivé účinky na sliznici (nos, oči), způsobuje astma, kožní alergie, rakovinu a leukémii.

B) Polycyklické aromatické uhlovodíky - PAU (PAH)

Vznik- PAHs patří mezi persistentní organické polutanty, které vznikají během nedokonalého spalování.

Charakteristika -směs organických látek, jejichž molekuly jsou tvořeny dvěma nebo více kondenzovanými benzenovými jádry. V ovzduší se vyskytuje řada jejich derivátů (halogen-, sulfo-, amino-, a nitro- deriváty).

Rozdělení - Existují stovky PAHs, přičemž experimentální studie ukazují, že mnohé z nich jsou mutagenní a karcinogenní. Mezi nejsledovanější patří v současné době 16 polycyklických aromatických uhlovodíků. Jejich výčet spolu se základními charakteristikami uvádí níže uvedená tabulka.

PAHs	Zkratka	Sumární vzorec	Mol. hmotnost MW [$g.mol^{-1}$]	Rozp v H_2O [$g.m^{-3}$]	log K_{oc}	log K_{ow}	Bod varu [°C]	Bod tání [°C]	Tenze par (25°C) [Pa]
Naftalen	NAP	C_8H_{10}	128,17	30		30	218	80	6,56
Acenaftylen	ACL	$C_{12}H_8$	152,2	3,93	3,4-3,8	3,47	265	92	3,87
Acenaften	ACE	$C_{12}H_{10}$	154,21	3,47	3,6-5,4	3,93	279	96	2,67
Fluoren	FLR	$C_{13}H_{10}$	166,22	1,98		4,18	293	116	1,73
Fenantren	PHE	$C_{14}H_{10}$	178,23	1,29	3,9-4,6	4,46	340	101	$9,1.10^{-2}$
Antracen	ANT	$C_{14}H_{10}$	178,23	0,07	3-5,8	4,45	340	216	$2,6.10^{-2}$
Fluoranten	FLU	$C_{16}H_{10}$	202,26	0,26	4-6,4	5,33	375	111	$8,0.10^{-4}$
Pyren	PYR	$C_{16}H_{10}$	202,26	0,14	3,1-6,5	5,32	360	150	$9,1.10^{-5}$
Benzo[a]antracen	BaA	$C_{18}H_{12}$	228,3	0,01	4-7,3	5,61	400	158	$6,7.10^{-7}$
Chrysen	CHR	$C_{18}H_{12}$	228,3	0	3,7-6,9	5,61	438	255	$8,4.10^{-5}$
Benzo[b]fluoranten	BbF	$C_{20}H_{12}$	252,32	0	5,7-5,7	6,57	496	179	$6,7.10^{-5}$
Benzo[k]fluoranten	BkF	$C_{20}H_{12}$	252,32	0	4-7	6,84	480	217	$6,7.10^{-5}$
Benzo[a]pyren	BaP	$C_{20}H_{12}$	252,32	0	4-8,3	6,04	496	179	$6,7.10^{-5}$
Dibenz[a,h]antracen	DBA	$C_{22}H_{14}$	278,35	0	5,2-6,5	5,97	524	262	$1,3.10^{-8}$
Indeno[1,2,3-cd]pyren	INP	$C_{22}H_{12}$	276,34	0,01		7,66		163	$1,3.10^{-8}$
Benzo[ghi]perylen	BPE	$C_{22}H_{12}$	276,34	0	6,2-6,3	7,23		222	$1,3.10^{-8}$

Obr č. 6- Přehled sledovaných PAH a jejich základní charakteristiky, zdroj: CDV, 2004

Negativní dopad na zdraví- - mnohé z těchto sloučenin mají prokázané mutagenní a karcinogenní účinky (např. Benzo[a]pyren, nitro PAH)

2.2.8 Olovo- Pb

Vznik- do prostředí se olovo dostávalo v minulosti především z olovnatých benzínů, ve kterých bylo přítomno jako tetraethylolovo. V posledních desetiletích proběhla

celosvětová kampaň v boji proti používání olova na zvýšení oktanové kvality benzínu. Výsledkem této kampaně byl přechod na nízkoolovnaté a bezolovnaté benzíny, který vyústil k zastavení výroby a tím i zrušení prodeje olovnatého benzínu v ČR k 1. 1. 2001. V obchodní letecké dopravě se v dnešní době používá bezolovnatý letecký petrolej. Pouze letadla s pístovými motory, které se dnes používají pro sportovní létaní nebo aerotaxi, používají olovnatý benzín typu AVGAS.(EPA, 2008)
Charakteristika - modrobílý měkký kov tající při 327,3 C.

Negativní dopad na zdraví- olovo je prokazatelně toxické ve vysokých dávkách. Projevuje se nechutenstvím, malátností, bolestmi hlavy a kloubů, žaludečními potížemi, křečemi v břiše, poškozením jater a periferního popř. centrálního nervstva.

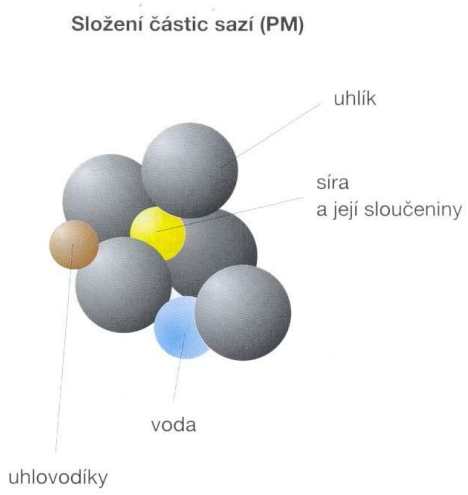
2.2.9 Pevné částice- PM (Particulate Matter)

Vznik- při neúčinném spalování leteckých pohonných hmot a to při režimech motoru s potřebným vysokým výkonem- především vzlet a stoupání. Dále pak otěrem pneumatik a povrchu letištní dráhy (Adamec, in press).

Charakteristika- částice pevného a kapalného materiálu o velikosti od několika nanometrů až po 0,5 mm, které setrvávají po určitou dobu v ovzduší. Setkáváme se s nimi v podobě složité heterogenní směsi (obr. č. 7) z hlediska velikosti částic a jejich chemického složení. Sestávají především z asi 96 % pevného uhlíku, na němž jsou sorbovány látky s vysokou zdravotní závadností, např. PAH. Jejich rozměry zhruba odpovídají vlnové délce viditelného světla a způsobují jeho lom a absorpci, což má za následek viditelnou kouřovou stopu i při nízkých koncentracích.

Rozdělení - podle velikosti se běžně rozdělují na pevné částice PM_{10}, $PM_{2,5}$ a $PM_{1,0}$.

Negativní dopad na zdraví - jejich nebezpečí nespočívá jen v jejich mechanických vlastnostech, ale především v obsahu nebezpečných látek, které jsou na tyto pevné částice vázány- např. těžké kovy, dusičnany, PAH (Adamec, in pres). Inhalace pevných částic poškozuje hlavně kardiovaskulární a plicní systém**.** Dlouhodobá expozice snižuje délku dožití a zvyšuje kojeneckou úmrtnost. Může způsobovat chronickou bronchitidu a chronické plicní choroby. Toxicky působí chemické látky obsažené v aerosolu (sírany, amonné ionty). V důsledku adsorpce organických látek s mutagenními a karcinogenními účinky může expozice PM způsobovat rakovinu plic (IRZ,online).



Obr č. 7 - Složení pevných částic

2.3 Vliv emisí z letecké dopravy na zemskou atmosféru

Nejdůležitějšími a nejnebezpečnějšími projevy exhalovaných škodlivých látek na plynný obal země je především vznik skleníkového efektu, poškozování ozónové vrstvy a vznik kyselých dešťů. Jak již bylo uvedeno, exhalace způsobené leteckou dopravou přispívají „pouze“ 2-3 % k celkovému množství škodlivých plynů vyprodukovaných lidskou činností. To však neznamená, že je lze opomenout

2.3.1 Vznik kyselých dešťů

Kyselý déšť je definovaný jako nějaký typ srážek s pH nižším než 5,6. Normální déšť má pH mírně pod 6 - je mírně kyselý.

Mezi nejvýznamnější emise z letecké dopravy, které se podílejí na vzniku kyselých dešťů, patří tyto:

1) Oxid siřičitý -v atmosféře je SO_2 fotochemickou oxidací pomalu přetvářen na oxid sírový (SO_3), který se vzdušnou vlhkosti vytváří kyselinu sírovou (H_2SO_4).

$SO_2 + 1/2\ O_2 \rightarrow SO_3$

$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$ (Jacobson, 2002)

Kyselina sírová se pak dostává na zemský povrch jako součást kyselých dešťů, kde přispívá k zakyselení povrchových vod (především jezer), podzemních vod a půdy. Zakyselení vod a půd způsobuje nepřímé poškozování živočichů a rostlin.

2) Oxid uhličitý – v atmosféře reaguje s vodou a tvoří slabou kyselinu uhličitou.

$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$

Oxid uhličitý, který vzniká spalováním leteckého petroleje, významně nepřispívá ke vzniku kyselých dešťů.

3) Oxidy dusíku - NOx - se absorpcí v dešťových kapkách, tedy ve vodě, mění na silné dusíkaté kyseliny např. kyselinu dusičnou-HNO_3, které v podobě deště transportují na zem nežádoucí kyselost. Vliv oxidů dusíků na vznik kyselých dešťů je asi 30 % (MŽP, 1996).

Kyselost působí negativně na ty vlastnosti lesní i orné půdy, které umožňují pěstování kulturních rostlin. Kyselé deště spolu s toxickým působením plynného SO_2 a NOx na jehličí a listy rostlin postupně ničí lesní kultury. Řada lesních porostů přestává plnit některé ze svých hlavních funkcí — regulaci srážkového odtoku vody, zamezování eroze a zpevňování svahů, produkci kyslíku, nemluvě vůbec o hospodářské funkci lesa jakou je těžba dřeva. Zakyselování půd dále způsobuje zvýšené vyluhování živin do půdy, zatímco rozpustnost těžkých kovů a hliníku v půdě se zvyšuje. To může vést ke sníženému růstu kořenových systémů, což má za následek horší příjem živin. Navíc jsou postiženy i mikroorganismy žijící v půdě a jejich schopnost rozkládat organickou hmotu je omezena. Tím mohou být narušeny přírodní cykly živin. Zakyselování jezer a toků má za důsledek snižování rozmanitosti druhů žijících v povrchových vodách (biodiversity) a v extrémních případech může vést až k úplnému vyhynutí života.

2.3.2 Poškozování ozonové vrstvy

Ozón je bezbarvá velice reaktivní plynná molekula nacházející se v zemské atmosféře. Skládá se ze tří atomů kyslíku. Největší obsah ozónu je v atmosféře do 48 kilometrů nad zemí. I když tvoří pouze malou část zemské atmosféry, je kriticky důležitý pro život na Zemi.

Ozón se dělí na dva typy podle jeho výskytu. První typ se nazývá přízemní ("bad") ozón, vyskytuje se do několika kilometrů od zemského povrchu a je škodlivý pro živé organismy na Zemi. Druhý typ — Stratosférický ("good") ozón se vyskytuje ve stratosféře tedy 10km — 50km od povrchu země, kde vytváří clonu proti UV záření.

Přízemní ozón

Přízemní ozón se vytváří chemickými reakcemi mezi těkavými organickými látkami VOC a oxidy dusíku NO_x za přítomnosti slunečního záření. Přízemní ozón se měří v jednotkách ppb- molekuly ozónu na miliardu molekul vzduchu nebo v $\mu g/m^3$- množství mikrogramů ozónu na metr krychlový,

Při dýchání vzduchu neznečištěného lidskou činností se obvykle vyskytuje 10- 15 molekul ozónu na 1 miliardu molekul vzduchu, což odpovídá 10-15 ppb. Koncentrace ozónu ve vzduchu, který dýcháme, v průběhu průmyslové revoluce na většině míst na Zemi vzrostla přibližně o 100% až 200%. V letním období při horkých dnech a malém pohybu vzduchu se koncentrace ozónu na některých místech pohybuje až nad hranicí 125 ppb. Americká agentura na ochranu životního prostředí (U. S. Environmental Protection Agency - EPA) zavedla hranici 80 ppb jako americkou národní hranici čistého vzduchu i přes to, že dlouhodobé vystavení této i nižší koncentraci ozónu závažné zhoršuje lidské zdraví, zvláště u dětí.

Účinky ozónu na lidské zdraví

Přízemní ozón může vážně ohrozit zdraví každého člověka. Lidé žijící mimo město jsou většinou vystaveni ozónu mnohem více než lidé žijící ve městě, protože ozón z měst je odfouknut pryč z města do vzdálenosti stovek až tisíců kilometrů, takže se ozón vyskytuje více na venkově než ve městě. Zvýšený výskyt ozónu na venkově způsobuje menší úrodu a úhyn rostlin zemědělců. Reakce ozónu s ostatními látkami poškozují gumy, plasty, venkovní nátěry, fotografie a stavby.

Obvyklé reakce lidského organizmu na ozón jsou: zrychlený dech, hluboký kašel, bolesti, těžké dýchání, zmenšení hrudníku, sípot a nevolnost. Ozón reaguje s buňkami dýchací soustavy, dochází k přerušení oxidace a vzniku akutních zánětů. Dýchací cesty ztrácí část své obrany proti mikrobům, toxickým látkám a alergenům. Ty na tento podmět odpoví zalitím poškozených částí tekutinou a stažením svalů. Dýchání se stane obtížnějším. Ozón ničí lidské zdraví bez žádného viditelného dlouhodobého projevu přítomnosti nadměrného množství ozónu. Symptomy se objeví a za chvíli zmizí. Citliví lidé, kteří vnímají již nižší koncentrace, jsou vystaveni vážnějším následkům pří koncentracích vyšších.

Účinky ozónu na rostliny

Koncentrace ozónu se velice podobá vegetačnímu období většiny rostlin, protože

ozón potřebuje ke svému vzniku sluneční světlo. Stejné jako lidem ozón škodí rostlinám bez viditelného varování, mnoho zemědělců ani neví, že ozón zmenšuje výnosnost polí.

Stratosférický ozón- O_3

Koncentrace stratosférického ozónu je nejvyšší ve výškách od 20 do 30 km. V těchto výškách se ozón chová jako štít, který nás chrání hlavně před nebezpečnými složkami ultrafialového záření z vesmíru ve spektrální oblasti C (v1nová délka pod 290nm) a B (vlnová délka 290- 315nm). Bez tohoto štítu UV záření proniká až na zemský povrch. U lidí se projevuje rakovinou kůže, šedým zákalem a zhoršeným imunitním systémem.

Stratosférický ozón se uvádí v Dobsonových jednotkách (D. U). Jedna Dobsonova jednotka je celkové množství ozónu, které by při tlaku na zemském povrchu tvořilo vrstvičku 0,01 mm. Nebo se měří jako odchylka v % od dlouhodobého průměru v dané lokalitě. U nás je to okolo 390 D.U. na jaře, a začátkem podzimu 300 D. U.

Nebezpečí emisí NOx motory letadel letícími ve stratosféře spočívá v destrukci O3 a ve snižování jejího obsahu.

$NO + O_3 \rightarrow NO2 + O2$

$\underline{NO2 + O \rightarrow NO+ O2}$

$O3 + O \rightarrow 2\ O2$ (Hanus, 2000)

2.3.3 Skleníkový efekt

Skleníkový efekt je založen na rozdílné absorpci záření různé vlnové délky atmosférickými plyny. Sluneční záření, které má charakter krátkých vln a které zemský povrch absorbuje, těmito plyny prochází. Země vyzařuje teplo, které má charakter dlouhých vln a plyny vytvářející skleníkový efekt jej odrážejí zpět k zemskému povrchu. Skleníkový efekt se na Zemi projevoval od jejího počátku. Atmosféra vždy obsahovala některé tzv. skleníkové plyny - oxid uhličitý, metan, vodní páru (skleníkový efekt způsobují veškeré molekuly, které se skládají z více než 3 atomů, nepřispívá k němu tedy např. kyslík, dusík). Kdyby tuto složku atmosféry planeta postrádala, byla by průměrná teplota na Zemi – 18 °C, kdežto skleníkový

efekt způsobuje, že průměrná teplota na zemi je + 15 °C. V principu tedy skleníkový efekt působí pozitivně.

Dnes však vznikl problém takzvaného dodatkového skleníkového efektu, tzn. že lidstvo svojí činností stabilně zvyšuje množství skleníkových plynů v atmosféře, čímž narušuje přirozené prostředí. Jednou s hlavních činností, při kterém vzniká oxid uhličitý, je spalování fosilních paliv.

Letecká doprava se podle Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC) dopravy podílí ročně na radiačních účincích (tj. účinky na klima) 3,5 % z celkového součtu všech zdrojů skleníkových plynů souvisejících s lidskou činností. Některé emise z letecké dopravy se naopak podílejí proti vzniku skleníkového efektu. V následujícím přehledu, jsou uvedeny emise z letecké dopravy a jejich procentuální podíl na skleníkovém efektu (IPCC,2007).

- oxid uhličitý CO_2…… +1,6 %
- oxidy dusíku NOx – tvorba ozónu O_3……. +1,4 %

  - redukce metanu CH_4……. -0,7 %
- vodní pára H_2O……. +0,1 %
- pevné částice (saze)……... +0,2 %
- sloučeniny síry…….. -0,2 %
- kondenzační čáry…….. +0,6 %
- celkem……3 %

Dopravní letadla jsou také zdrojem vzniku oblačnosti, která vzniká z vodní páry obsažené ve výfukových plynech. Tato oblačnost má také vliv na skleníkový efekt, nelze však dnes jednoznačně určit, zda působí negativně nebo pozitivně. Některé typy oblačností odráží ultrafialové záření zpět do vesmíru hned při prvním kontaktu a mohou tak působit naopak proti skleníkovému efektu.

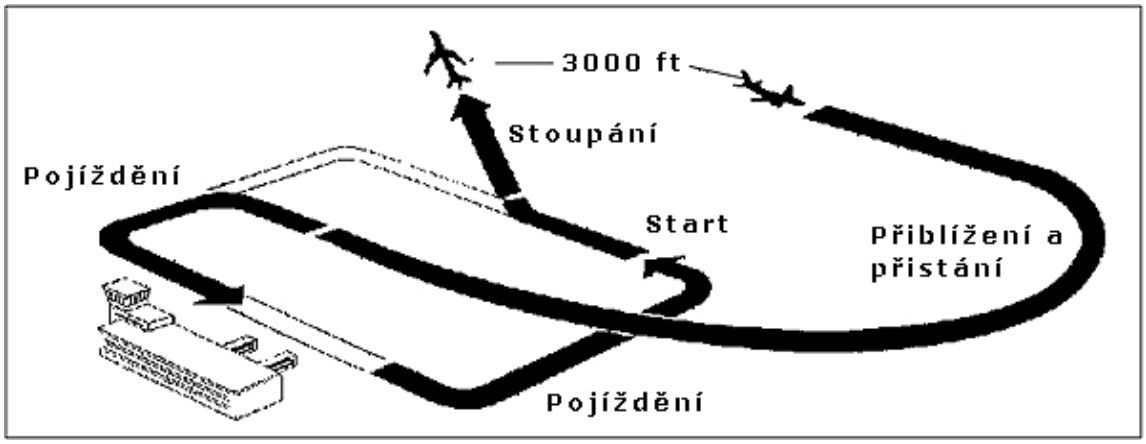
3. STRATEGIE VEDOUCÍ KE SNÍŽENÍ EMISÍ Z LETECKÉ DOPRAVY

3.1 Přísnější emisní limity

3.1.1 LTO cyklus

ICAO pro potřeby certifikace leteckých motorů a jednoduchého výpočtu emisí v rámci limitů daných leteckým předpisem L16/II „ Exhalace letadlových motorů“ zavedla tzv. LTO cyklus. Jedná se o cyklus běžný pro přilétávající letouny, které na daném letišti plánují pouze vyložit a naložit platící náklad a následně opět odletět.
Skládá se z těchto 4 pohybů, jejichž referenční délka trvání je následující (Hanus, 2000):

- start- 0,7 minut……tah motoru 100 %
- stoupání – 2,2 minuty……..tah motoru 85 %
- přiblížení a přistání - 4 minuty……tah motoru 30 %
- pojíždění - 26 minut ……...tah motoru 7 %



Obr. č. 8 - Referenční cyklus přistání-vzlet pro výpočet emisí, zdroj: IPCC, 2007

Měřítko, resp. horní hranice celého sledovacího procesu byla nastavena na výšku 3000 stop (či 915 metrů) nad zemí. V této vrstvě o mocnosti 3000 stop ovlivňují emise leteckého provozu velmi silně životní prostředí dané lokality a je proto rozumné ekologickou zátěž podrobně znát a umět kvantifikovat.

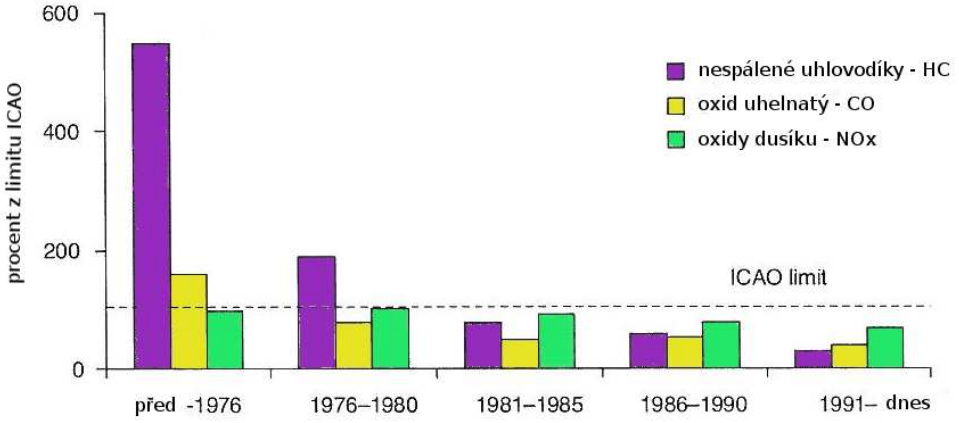
3.1.2 Sledované emise u leteckých motorů

Největší měrou se na vypouštění škodlivin u dopravních letounů pochopitelně podílejí jejich pohonné jednotky. I proto jsou v posledních zhruba dvaceti letech stanovovány emisní normy, které musejí letecké motory o větším než určeném tahu splňovat.

V roce 1981 mezinárodní organizace civilního letectví ICAO vydala Anex 16/II - „ Exhalace letadlových motorů“ na základě něhož vznikl předpis L 16/II platný také v České republice. V něm jsou definovány limity vybraných škodlivých emisí, které letecké pohonné jednotky produkují, a které musí v současnosti používané motory splňovat. Podle požadavku norem ICAO je obsah škodlivých exhalací limitován celkovým množstvím vyprodukovaných motorem v průběhu výše definovaného LTO cyklu pro tyto emise:

- kouř
- plynné emise: nespálené uhlovodíky (HC)
  oxid uhelnatý (CO)
  oxidy dusíku (NOx)

Tyto limity byly v průběhu třiceti let zpřísňovány a výhledově lze říci, že požadavky na ekologický provoz motorů budou ještě přísnější (Pohl a kol., 2005) Moderní letecké pohonné jednotky však tyto limity splňují, mnohdy jsou na 30-80 procentech požadovaných hodnot (obr. č. 9).



Obr. č. 9 – Emise leteckých motoru v porovnání s mezinárodními limity, zdroj: Somerville, 2003

3.2 Strategie Evropské unie na snížení dopadu letectví na změnu klimatu

Evropská komise vydala dne 28. 3. 2011 nezávislý dokument tzv. Bílou knihu s názvem Doprava 2050. V něm popisuje strategii jak snížit emise CO_2 v dopravě do roku 2050 o 60 % oproti roku 1990. Pro odvětví letecké dopravy by emise CO_2 mezi lety 2005 a 2050 měli klesnout o 34 %, neboť referenčním rokem, ke kterému se má redukční cíl poměřovat, nebude jako u ostatních druhů dopravy rok 1990 ale rok 2005. Podle současného vývoje by měly emise z letecké dopravy do roku 2050 vzrůst o 64 %, a to díky intenzivnějšímu leteckému provozu. Zároveň se ale očekává snížení emisí o 54 % v důsledku zefektivnění a o dalších 44 % díky využití nízkouhlíkových paliv. Komisi z těchto čísel vychází celkový pokles emisí CO_2 o 34%. (EK-Bílá kniha, 2011)

K dosažení nejen tohoto ambiciózního cíle používá Evropská unie komplexní strategii ke snížení negativních dopadů letectví na životní prostředí.

3.2.1 CLEAN SKY

Společná technologická iniciativa (JTI) s názvem Clean Sky je nástroj vytvořený Evropskou komisí, který má umožnit široké dlouhodobé partnerství soukromého a veřejného sektoru v oblasti evropské letecké dopravy. Toto partnerství by mělo pomoci radikálně snížit dopady letecké dopravy na životní prostředí a zároveň posílit konkurenceschopnost evropského leteckého průmyslu. Projekt Clean Sky klade důraz na zapojení malých a středních podniků a nabízí jim možnost stát se součástí výrobního řetězce leteckého průmyslu v členských i asociovaných státech.

Slavnostní spuštění projektu proběhlo 5. února 2008 v Bruselu. Výzkumný program Clean Sky je navržený na období let 2008 – 2014 s cílem demonstrovat zásadní technologické průlomy, které by měly vést k dosažení cílů stanovených evropskou technologickou platformou ACARE (Advisory Council for Aeronautics Research in Europe). Mezi tyto cíle, jichž by mělo být dosaženo do roku 2020, patří padesáti- procentní snížení emisí CO_2, omezení emisí oxidů dusíku o 80%, padesátiprocentní snížení hlučnosti a ekologická výroba a údržba letadel.

Zatím bylo stanoveno šest témat, jimiž se mají výzkumníci zabývat: ekologická konstrukce celého letadla, "chytré" křídlo, "zelené" regionální letadlo na krátké trasy, nový ekologičtější vrtulník, "zelené" letecké motory a "zelené" operační systémy.

Rozpočet Clean Sky je odhadován na 1,6 miliardy euro. O zajištění této částky by se měla rovnoměrně podělit Evropská komise s průmyslem a organizacemi (členy JTI), (Czelo, online).

3.2.2 Evropské jednotné nebe- SES

Projekt Jednotného evropského nebe – Single European Sky (SES) je v současnosti jedním z nejvýznamnějších projektů Evropské komise v oblasti letecké dopravy. Základním principem projektu je reformovat současnou podobu poskytování letových provozních služeb v evropském prostředí a to s cílem zvýšit kapacitu a propustnost vzdušného prostoru a zároveň snížit množství spáleného paliva během letu (ŘLP, online).

Rozdělení evropského vzdušného prostoru je fakticky založeno na stejných principech, jako v šedesátých letech minulého století. V Evropě se v současné době nachází 65 oblastních středisek řízení letového provozu, které při své činnosti respektují státní hranice jednotlivých států bez ohledu na hlavní toky letového provozu a nutí letadla kličkovat mezi těmi to vzdušnými prostory (viz obr. č. 10).

Evropská komise očekává, že implementací tohoto projektu dojde k ročním úsporám ve výši 340 milionů eur a sníží škodlivé emise CO_2 o 500 tisíc tun ročně.

Obr.č.10 – Zkrácení letových cest po implementaci projektu SES

3.2.3 Evropský systém emisního obchodování (EU ETS)

Systém pro obchodování s emisemi skleníkových plynů v Evropské unii (Europe Union Emission Trading Systém), dále jen EU ETS, je centrálním pilířem environmentální politiky Evropské unie (dále jen EU). Slouží ke splnění cílů Kjótského protokolu, ve kterém se EU zavázala snížit emise skleníkových plynů v letech 2008-2012 o 8 % v porovnání se stavem v roce 1990.

Kjótský protokol je protokol k Rámcové úmluvě OSN o klimatických změnách, která byla přijata v červnu 1992 na Konferenci OSN o životním prostředí a rozvoji (UNCED) v Rio de Janeiru a vstoupila v platnost 21. 3. 1994. Úmluva položila mezinárodní základ myšlence celosvětového snižování emisí skleníkových plynů. Navazujícím Kjótským protokolem z roku 1997 pak tato myšlenka nabývala již konkrétních obrysů, neboť signatáři se zavázali k omezení emisí skleníkových plynů a jejich postupnému snižování.

Státům, které Protokol přijali, ukládá, aby snížily (jednotlivě nebo společně) průměrné emise skleníkových plynů v období 2008-2012 nejméně o 5,2 % v porovnání se stavem v roce 1990. Evropská unie a její členské státy ratifikovaly Kjótský protokol ke dni 31. května 2002 a v něm se zavázaly, že v uvedeném období sníží emise skleníkových plynů o výše uvedených 8 %.

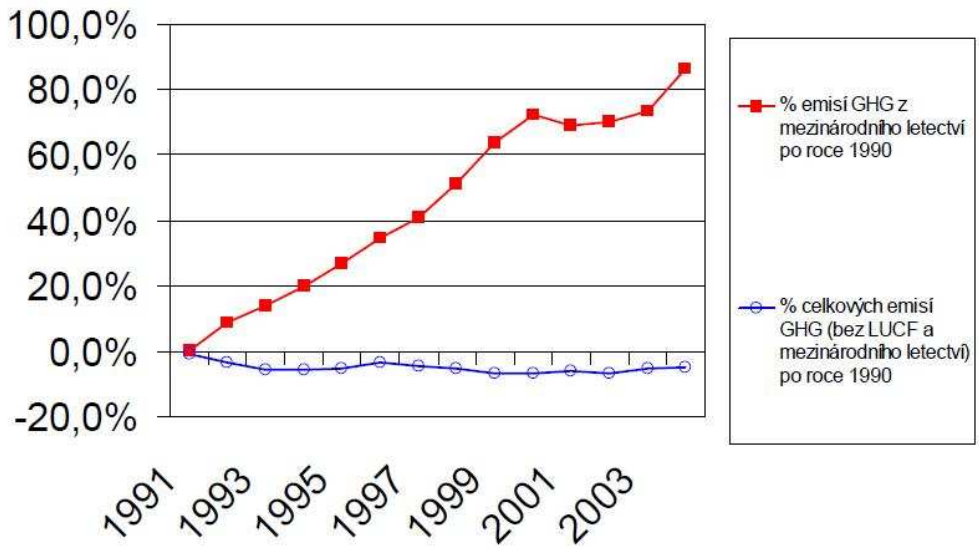
Ke splnění cílů Kjótského protokolu si signatářské státy jako nástroje zvolily kromě obchodování s emisemi (ETS) ještě společně zaváděná opatření (joint implementation); a mechanismus čistého rozvoje (clean development mechanism) (Jílková, 2003).

Obchodování s emisemi je nejvyužívanějším z nástrojů Kjótského protokolu. Státy Evropské unie pro jeho realizaci vytvořili vlastní rámec v podobě EU ETS, zakotveného ve směrnici 2003/87/ES. V České republice byla směrnice implementována zákonem č. 695/2004 Sb., o podmínkách obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů, v platném znění. EU ETS nyní působí ve 30 zemích (27 členských států EU plus Island, Lichtenštejnsko a Norsko). Zahrnuje emise z přibližně 15.000 zařízení, jako jsou elektrárny, spalovací zařízení, rafinerie ropy a železa a oceli pracuje, stejně jako továrny na výrobu cementu, skla, vápna, cihel, keramiky, celulózy, papíru a lepenky.

EU ETS a letecká doprava

V Evropské Unii nebyla na počátku mezinárodní letecká doprava zahrnuta v národně stanovených plánech na omezování a redukci emisí. V roce 1990 byl její podíl na skleníkovém efektu odhadnut Mezivládním panelem pro ochranu klimatu na 3 %, což představovalo malí podíl na celkovém znečisťování.

O zahrnutí letecké dopravy do systému EU ETS se začalo hovořit na začátku tohoto tisíciletí, když v letech 1990 až 2004 došlo k nárůstu letecké dopravy v EU o 87%,(EEA, 2007) – viz obr. 11, bylo v rozporu se závazkem EU snižovat emise skleníkových plynů.



Obr. č. 11 -Vývoj emisí skleníkových plynů z mezinárodní letecké dopravy, zdroj: EEA, 2007

V roce 2005 přijala Komise sdělení s názvem „Omezování dopadu letectví na změnu klimatu“, ve kterém se hodnotily politické možnosti, které jsou za tímto účelem dostupné, doprovázené posouzením dopadů. Komise v něm doporučila zařadit emise z letecké dopravy do systému EU ETS (EK, 2006).

V prosinci 2006 předložila Komise návrh právního předpisu pro zařazení letectví do systému EU ETS, který byl v červenci 2008 schválen. Touto Směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2008/101/ES, se mění směrnice 2003/87/ES za účelem začlenění činností z oblasti letectví do systému obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů ve Společenství.

Na základě této Směrnice se mezinárodní letecká doprava připojí k systému EU ETS k 1. 1. 2012. Regulovanou látkou bude pouze CO_2.

Implementace EU ETS v letecké dopravě

Do EU ETS budou zahrnuti všichni provozovatelé letecké dopravy, kteří provozují letadla s maximální vzletovou hmotností větší než 5700 kg, a jejichž letadla přistávají nebo odlétají z letišť na území Evropské unie. Výjimku budou tvořit vládní lety, vojenské lety, záchranářské lety, humanitární, cvičné a výzkumné lety.

V prvním obchodovacím období (1. 1. 2012 – 31. 12. 2012) budou moct letečtí provozovatele, dle nařízení EK ze dne 7. 3. 2011, získat povolenky na maximálně 212 892 052 tun oxidu uhličitého, což představuje 97 % objemu emisí, které aerolinky vypouštěly do ovzduší z referenčního období v letech 2004-2006. Přepravci, dostanou 82 % povolenek zdarma a dalších 15 % si budou muset dokoupit. Zbývající 3 % jsou vyhrazena nováčkům na trhu a rychle rostoucím společnostem, jejichž meziroční nárůst přepravovaných tunokilometrů je vyšší než 18% (Zelený kruh, online).

Dle směrnice 2008/101 ES museli přepravci do 31. března 2011 podat žádost o přidělení povolenek zdarma u příslušného orgánu, v České republice na Ministerstvu životního prostředí. Nedílnou součástí této žádosti musel být výkaz o údajích vyprodukovaných emisí CO_2 a tunokilometrech za rok 2010, ověřen nezávislou autorizovanou osobou.

V následujícím obchodovacím období (1. 1. 2013 – 31. 12. 2020) by se měl limit snížit na 208 milionů tun CO_2, což odpovídá 95 % emisí z uvedeného referenčního období. Tento podíl však může být v budoucnu ještě upravován v rámci celkové revize EU ETS.

Každý členský stát EU tedy i Česká republika bude podle nově vydané Směrnice EP a R spravovat lety těch společností, které mají na území daného členského státu vydanou provozní licenci dle nařízení Rady (EHS) č. 2407/1992 nebo mají nejvyšší odhadované množství emisí způsobené leteckým provozem v daném státě. Dne 11. 2. 2009 Evropská komise přijala a zveřejnila předběžný seznam dotčených leteckých operátorů přiřazených jednotlivým členským zemím. Podle tohoto dokumentu je ČR

jako členskému státu správy přiřazeno administrovat 25 leteckých operátorů z toho 9 českých.

3.3 Strategie Mezinárodní asociace leteckých dopravců-IATA

V červnu 2007 Mezinárodní asociace leteckých dopravců-IATA, představila svojí 4 pilířovou strategii, jejímž cílem je zabránit zvyšování růstu emisí CO_2 z letecké dopravy. Tyto pilíře jsou následující (IATA, 2009):

1) Vývoj nových technologií- vývoj motorů, použití nových materiálu a slitin, používání biopaliv
2) Zefektivnění provozu leteckých společností- kvalitnější plánování letů, ekologická údržba, snižování hmotnosti letadel
3) „Narovnání“ letových tras, zefektivnění řízení letového provozu
4) Ekonomické nástroje- upřednostnit primární ochranu životního prostředí vývojem nových technologií před sekundární ochranou životního prostředí způsobem penalizace za nadměrnou produkci emisí.

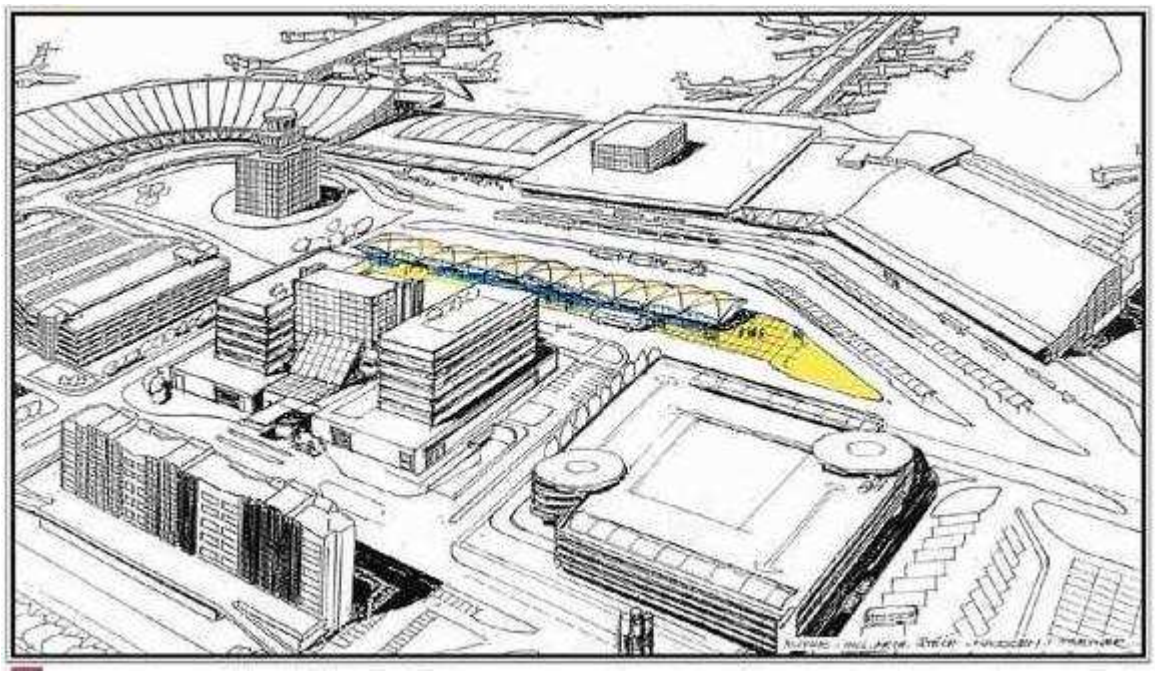
Cílem této strategie je zabránit růstu emisí CO_2 z letecké dopravy za předpokladu, že nárůst letecké dopravy bude činit 5% za rok a s tím související nárůst emisí přibližně 2-3 procenta za rok.

3.4 Omezení emisí z dopravy na letiště

Dopravní síť v okolí letiště, která umožňuje přepravu cestujících, zaměstnanců a zásobování se také podílí na znečištění životního prostředí. Například podle letecké společnosti Air France se na celkových emisích oxidu uhelnatého (CO) a uhlovodíků (HC) v okolí letiště Charles de Gaula v Paříži podílí silniční doprava cestujících, zaměstnanců a nákladu téměř 53 %. Toto letiště v minulém roce odbavilo 60 miliónu cestujících, letiště Praha – Ruzyně 11,5 miliónu.

Dle mého názoru je v dnešní době velice důležité politicky a ekonomicky podporovat vybudování kvalitního a rychlého spojení letiště s centrem města kolejovou dopravou a její napojení na síť veřejné dopravy. V Praze to je především vybudování buď rychlodráhy Praha - letiště Ruzyně – Kladno nebo prodloužení

metra trasy A až na letiště. Tím by došlo k velice výraznému snížení množství emisí v některých částech Prahy 6, především v okolí ulice Evropská. Bohužel v dnešní době se vedou neustálé diskuze o nejvhodnější variantě a naopak některé návrhy naprosto popírají snahu o snížení hlukové a emisní zátěže obyvatel.



Obr. č. 12- Vizualizace stanice rychlodráhy na letišti Praha- Ruzyně, zdroj: Magistrát Hlavního města Prahy

3.5 Omezení emisí z provozu letiště

Ke znečištění ovzduší na letišti a úniku nebezpečných plynů přispívá ve velkém měřítku pozemní pomocná technika. Mezi tuto techniku patří technické vozy, které zásobují letadla palivem. Dále sem patří různé nakladače a technika potřebná pro přepravu cestujících a zavazadel mezi terminálem a letadly. U stacionárních zdrojů emisí na letišti, jako jsou letištní teplárny, jde o to, aby v nich byla spalována ekologicky příznivá paliva. Kromě snížení objemu škodlivých plynů je cílem také snížení podílu pevných částic. Stejně tak u letištní techniky se hledají alternativní pohony k tradičním benzinovým a naftovým motorům, neboť v řadě případů jsou technické prostředky používány i v uzavřených prostorách (třídírny zavazadel v terminálech,cargoterminály) s dopadem na pracovní prostředí zaměstnance.

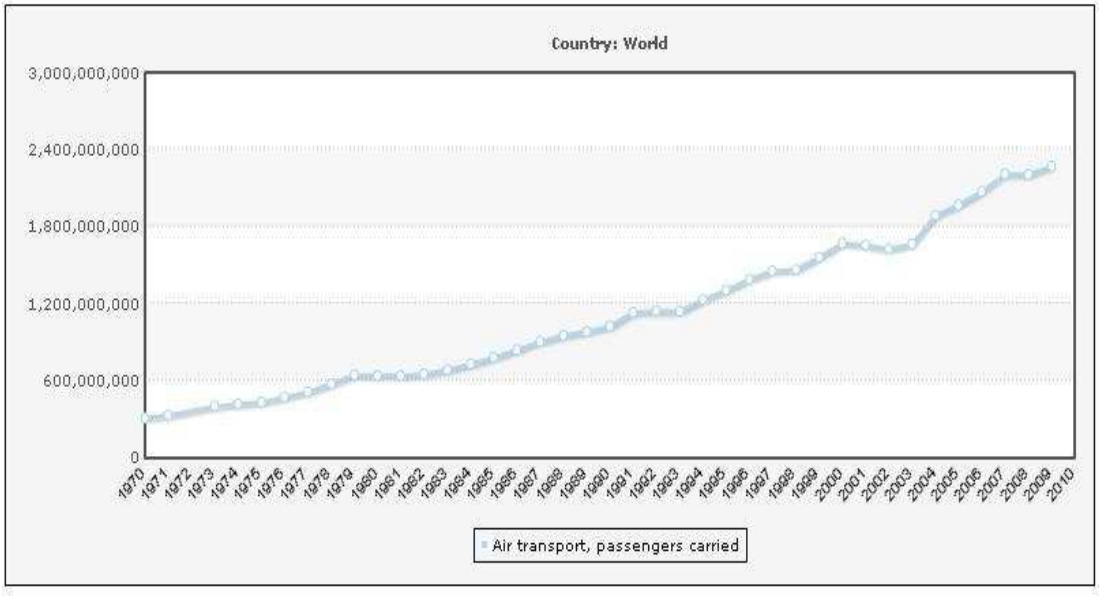
Největší část emisí při provozu na letišti vzniká pojíždění letadel po provozní ploše. Ty mnohdy pojíždějí i několik desítek minut a jak bylo v kapitole 2 uvedeno, při nízkém tahu motoru vznikají především emise oxidu uhelnatého (CO) a nespálených uhlovodíků (HC), které negativně ovlivňují ovzduší na letišti a v jeho okolí.

Proto se hledají nové možnosti, jak zkrátit dobu pojíždění letadel po provozní ploše nebo přímo nové technologie. Například Letiště Praha-Ruzyně se stalo prvním letištěm na světě, které podporuje vývoj nové technologie, která umožní letadlům používat při pojíždění mezi terminály a vzletovými a přistávacími drahami zabudované elektrické motory. Tento systém má dle očekávání snížit uhlovodíkové emise letadla o 75% za jeden letový cyklus a spotřebu paliva a emise CO_2 při pojíždění o 66%. První systémy se vyvíjejí pro skupinu letadel Boeing 737NG. Certifikaci lze očekávat počátkem roku 2012; systémy pro další typy letadel budou následovat (Letiště Praha, online).

4. ANALÝZA VÝVOJE EMISÍ Z LETECKÉ DOPRAVY

4.1 Předpokládaný vývoj letecké dopravy

Letecká doprava měla až do začátku 80. let 20. století naprosto minimální podíl na přepravě cestujících s porovnáním s ostatními odvětvími dopravy. Letecká doprava byla v té době velmi finančně nákladná a byla dostupná pouze pro omezený počet obyvatel. Se snižováním nákladů leteckých společností, s technologickým rozvojem v oblasti letectví a zvyšováním ekonomické situace obyvatel se však stávala dostupnější. Od 80. let minulého století zaznamenává každoroční nárůst průměrně o 5 procent ročně. Za posledních 30. let objem přepravených osob narostl o 300 % (obr. č. 13). V roce 2009 leteckou dopravu na světě využilo 2,27 miliardy cestujících, z toho v Evropské unii 751 miliónů (World bank, online).



Obr. č. 13- Historický vývoj počtu přepravených cestujících v letech 1970-2009, zdroj: The World bank indicators

Další vývoj letecké dopravy musíme v dnešní době rozdělit na dvě části

- vývoj letecké dopravy v Evropě a Severní Americe
- vývoj letecké dopravy v ostatních částech světa

Zatímco v roce 1990 činil objem přepravených cestujících v Evropě a Severní Americe 75 % s celkového počtu cestujících, v roce 2009 to bylo už pouze 58 % a

v roce 2020 se předpokládá, že tento podíl bude jen 45 % (Boeing, online). Znamená to, že letecká doprava se bude mnohem více rozvíjet v jiných částech světa než v Evropě, především v Asii a na Blízkém východě. Evropská unie ve vypracovaných analýzách počítá s nárostem letecké dopravy od 3,4 %-6,6 % ročně. Rozvoj letecké dopravy v Asii je však dnes předpovídán na 10-15 % ročně.

Dle mnoha analytiků je dnes objem letecké dopravy v Evropě na svém vrcholu a v budoucnu bude pouze stagnovat či mírně růst. Obecně lze tedy říct, že objem letecké dopravy celosvětově poroste, reálné jsou nárůsty okolo 5% ročně. Na tomto nárůstu však bude mít hlavní podíl rozvoj tohoto odvětví v geografických oblastech mimo Evropu (Somerville, 2003).

4.2 Hlavní faktory ovlivňující vývoj letecké dopravy

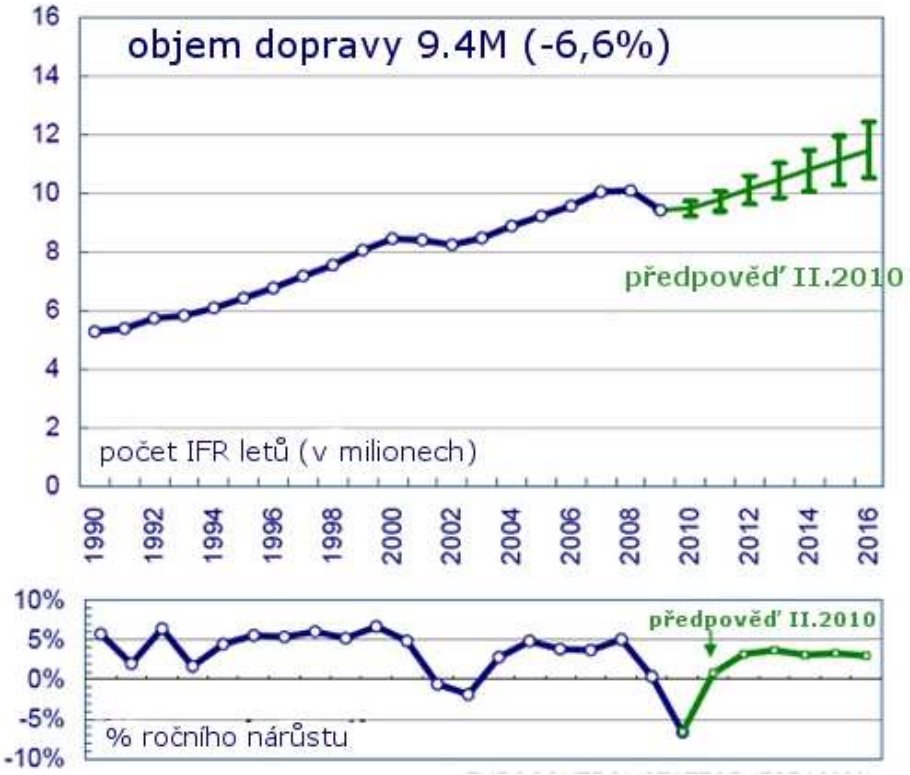
Poptávka po letecké dopravě je charakteristická vysokou citlivostí na nejrůznější faktory, které ji ovlivňují. Patří mezi ně mimo jiné tyto:

- mezinárodní politická a vojenská situace
- hrozba terorismu – např. teroristické útoky v roce 2001
- přírodní katastrofy a vlivy,nemoci- např. výbuch sopky v roce 2010
- nepředvídatelnost vývoje cen paliva
- ekonomická situace obyvatel
- regulatorní zásahy- Evropské komise, národních vlád

Nejdůležitějšími faktory, které mají vliv na leteckou dopravu, je cena leteckého paliva a ekonomická situace. Na obrázku č. 14 a 15 je vidět, jak hospodářská krize v roce 2008 společně s vysokou cenou paliva způsobila pokles poptávky po letecké dopravě v Evropské unii o 6,6 %.

Zahrnutí letecké dopravy do systému EU ETS patří mezi regulatorní zásahy Evropské komise. Ceny emisních povolenek jsou však s porovnáním s náklady leteckých společností za letecké palivo minimální - cca 5%. Proto lze předpokládat, že chování leteckých dopravců, bude především určovat cena paliva a ekonomická situace obyvatelstva.

Obr. č. 14 – Historický vývoj cen leteckého paliva v letech 2003- 2011, zdroj: Platts



Obr. č. 15 – Počet letů v oblasti Eurocontrol v letech 1990-2009, zdroj: Eurocontrol-STATFOR

4.3 Cíle EU ETS a jeho efektivnost

Evropský systém pro obchodování s emisními povolenkami je koncipován tak, aby stabilizoval množství produkovaných emisí na úrovni průměru emisí v období 2004-2006 . To znamená, že v roce 2012 budou vydány emisní povolenky na celkem 213 miliónů tun oxidu uhličitého, což představuje 97 % objemu emisí, které aerolinky vypouštěly v tomto referenčního období. Přepravci, dostanou 82 % povolenek

zdarma a dalších 15 % si budou muset dokoupit. Zbývající 3 % jsou vyhrazena nováčkům na trhu a rychle rostoucím společnostem. V následujícím obchodovacím období (1. 1. 2013 – 31. 12. 2020) by se měl limit snížit na 208 milionů tun CO_2, což odpovídá 95 % emisí z uvedeného referenčního období (EK, 2008).

Evropská unie očekává od tohoto ekonomického nástroje snížení emisí CO_2 z letecké dopravy do roku 2020 na 183 mil. tun, což by mělo představovat snížení emisí o 46 % oproti variantě bez dodatečné regulace. V prognózách EU by to znamenalo, že letečtí dopravci využijí povolenky, které jim budou přiděleny zdarma, a pouze malou část (cca. 5 %) si koupí v aukci a dodatečné náklady raději investují do technologií a postupů, které budou snižovat množství jejich vyprodukovaného oxidu uhličitého.

Velkou neefektivnost tohoto systému však vidím v tom, že je to tento systém tzv. jednosměrně otevřený. Znamená to, že letečtí dopravci si budou moct nakupovat povolenky i od ostatních odvětví, ale ostatní odvětví si nebudou moci kupovat povolenky od nich. Pokud se letecká doprava bude v budoucnu rozvíjet a toto se očekává, letecké společnosti si budou nakupovat emisní povolenky bez větších problému a emise z letecké dopravy budou i nadále růst.

Další velký nedostatek spatřuji v tom, že nová směrnice EU ponechává rozhodnutí o využití příjmu z prodeje aukcí povolenek na členských státech. Obsahuje pouze doporučení, aby tyto finanční prostředky byly určeny na přizpůsobení se dopadům změny klimatu a na financování výzkumu a vývoje v oblasti zmírňování negativních dopadů letecké dopravy na životní prostředí.

4.4 Dopad na letecké společnosti po jejich zapojení do systému EU ETS

Na základě provedených dopadových studií se nepředpokládá, že zařazení leteckých provozovatelů do EU ETS povede k dramatickým a negativním změnám. Nákladové zatížení leteckých společností po zahrnutí do EU ETS, bude oproti jiným položkám (cena paliva, cena letadel, mzdy) nízká a neovlivní ve velké míře jejich chování a rozhodování. Předpokládá se, že přesunout část zvýšených nákladů nebo dokonce v plném rozsahu na své zákazníky. Ceny vnitroevropských letů by se následně mohly zvýšit o 2-9 Euro a v případě zámořských či mezikontinetálních letů by mohla cena

vzrůst o 8-50 Euro. Takovéto navýšení cen by se pravděpodobně projevilo ve snížení růstu poptávky o 0,1 až 2,1 % (Andonov et Kampf, in press). Což v praxi znamená, že přepravní výkony narostou do roku 2020 o 135 % místo 142% u varianty bez dodatečné regulace.

Podle názoru Komise negativní vliv případného navýšení cen letenek pro konečného spotřebitele na poptávku po leteckých službách bude převážen růstovými trendy v odvětví letecké dopravy taženými růstem reálných disponibilních příjmů a trvalým zvyšováním mobility obyvatelstva (Rámcová pozice, 2007).

4.5 Budoucí vývoj emisí z letecké dopravy

Budoucí vývoj emisí z letecké dopravy bude záviset na dalším vzrůstu poptávce po tomto druhu dopravy. Předpokládá se, že toto odvětví v Evropě již neporoste tak prudce jako v posledních 20 letech, ale průměrně 2,7 % ročně, především pak ve východní Evropě (Eurocontrol, 2008).

Podle zprávy IPCC by měl nárůst emisí z letecké dopravy činit okolo 3 % ročně ve srovnání s předpovídaným celosvětovým nárůstem dopravy 5 %, při implementaci nových technologií a postupů a celkovém zlepšení efektivity v tomto odvětví. V Evropské unii, jak bylo výše uvedeno, se však takový nárůst neočekává, proto lze předpokládat nárůst emisí okolo 1,5-2 % ročně.

Zahrnutí letecké dopravy do systému EU ETS bude mít na budoucí vývoj emisí pouze malý vliv. Již dnes, před jeho spuštěním, jsou letečtí dopravci nuceni ke snižování spotřeby paliva, především kvůli vysoké ceně leteckého paliva a silné konkurenci. Navíc lze očekávat, že většina provozovatelů využije možnosti nákupu povolenek od ostatních odvětví a případný vliv systému EU ETS na chování leteckých provozovatelů a výrobců letadel se projeví při konstrukci a nákupech nových letadel až v delším časovém horizontu.

Velký nedostatek systému EU ETS vidím v tom, že regulovanou látkou bude pouze CO_2. V některých případech totiž technologie na snižování CO_2, nejsou kompatibilní se strategiemi či technologiemi snižování jiných emisí z letadel, například NO_x, které mají také vliv na klima či kvalitu ovzduší.

Také zahrnutí pouze leteckých provozovatelů do tohoto systému bude neefektivní s pohledu snižování jiných emisí než CO_2. Letečtí dopravci jsou jistě největším

producentem oxidu uhličitého v letecké dopravě, ale například emise uhlovodíků, oxidu uhelnatého a pevných částic ve velké míře vznikají při provozu letiště či dopravě cestujících na letiště (viz kap. 3.4 a 3.5). Tyto látky pak velmi negativně ovlivňují zdraví obyvatel v okolí letišť.

Závěr a diskuze

Mým cílem v bakalářské práci byla analýza budoucího vývoje emisí z letecké dopravy po jejím zahrnutí do Evropského systému emisního obchodování EU ETS od roku 2012. Při studiu tohoto tématu jsem došla k závěru, že zahrnutí letecké dopravy do systému EU ETS emise z tohoto odvětví nesníží. Hlavní nedostatky vidím v několika následujících bodech.

1) Mnoho typů dalších subjektů, např., dodavatelů paliva, výrobců letadel, letišť a poskytovatelů služeb řízení letového provozu (ATC) mají také možnost ve velké míře ovlivňovat emise z letecké dopravy. Ti však nebudou zahrnuti do systému EU ETS a tak nebudou přímo stimulováni, aby investovali do nových technologií řízení letového provozu či podnikali kroky k redukování zpoždění na letištích. A na tyto neefektnosti v leteckém provozu nemají letečtí operátoři vliv.

2) Nová směrnice ES za účelem začlenění činností v oblasti letectví do systému EU ETS ponechává rozhodnutí o využití příjmu z prodeje aukcí povolenek na členských státech. Obsahuje pouze doporučení, aby tyto finanční prostředky byly určeny na přizpůsobení se dopadům změny klimatu a na financování výzkumu a vývoje v oblasti zmírňování negativních dopadů letecké dopravy na životní prostředí. v

3) Letečtí dopravci si mohou nakupovat emisní povolenky i od jiných odvětví. Lze tedy očekávat, že si letecké společnosti budou kupovat povolenky od jiných odvětví, a nebude docházet ke snižování emisí z oblasti letecké dopravy.

Přes všechny nedostatky bude mít tento systém i pozitivní vliv na životní prostředí. Evropská komise chce v případě efektivního fungování systému v dalším kroku začlenit leteckou dopravu do globálního systému, který by zastřešovala Mezinárodní organizace civilního letectví. Ve světovém měřítku by fungování takového systému již mohlo významně snížit emise skleníkových plynů, které vznikají v souvislosti s činnostmi v oblasti letectví. Lze také očekávat, že prostředky, které získají ostatní odvětví prodejem emisním povolenek leteckým operátorům, využijí na pokrytí vlastních investic ke snižování emisí CO_2.

Přehled literatury a použitých zdrojů

ADAMEC V., 2005: Vliv emisí pevných částic z dopravy na zdraví obyvatel. Doprava 5/2005: s. 11-13.

ANDONOV A., KAMPF R., 2010: Letecká doprava a produkce emisí CO_2. Doprava 1/2010: s. 3 - 4.

BOEING, 2010: Market Analyses- Boeing Commercial Airplanes, online: http://www.icao.int/wsd2010/Docs/Boeing.pdf, cit.3.2.2011.

CENTRUM DOPRAVNÍHO VÝZKUMU, **2004**: Environmentální a zdravotní rizika polutantů produkovaných dopravou, online: http://old.cdv.cz/text/vz/vz2/pvz2_9.pdf, cit. 10. 4. 2011.

CZELO - Česká styčná kancelář pro výzkum a vývoj: Společná technologická iniciativa Clean Sky, online: http://www.czelo.cz/dokums_raw/Clean_Sky_200309.doc, cit. 5. 3. 2011.

EPA-Environmental Protection Agency, 2008: Lead Emissions from the Use of Leaded Aviation Gasoline in the United States -Technical Support Document. EPA, United States, 82 s.

EUROCONTROL, 2008: Long-Term Forecast- Flight movements 2008-2030, online: http://www.eurocontrol.int/statfor/gallery/content/public/forecasts/Doc302%20LTF08%20Report%20Vol1%20v1.0.pdf, cit. 3. 3. 2011.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2007: Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2007, EEA report 5/2007. EEA, Kodaň, 102 s.

EUROSTAT, 2010: Energy, transport and environment indicators, online: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-DK-09-001/EN/KS-DK-09-001-EN.PDF, cit.28.1.2011.

EVROPSKÁ KOMISE, 2006: Návrh směrnice Evropského parlamentu a rady - KOM(2006) 818 v konečném znění, online: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0818:FIN:CS:PDF, cit. 30. 3. 2011.

EVROPSKÁ KOMISE, 2008: Směrnice Evropského parlamentu a rady 2008/101/ES , kterou se mění směrnice 2003/87/ES za účelem začlenění činností v oblasti letectví do systému pro obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů ve Společenství.

EVROPSKÁ KOMISE, 2011: Bílá kniha -KOM(2011) 144 v konečném znění. Brusel, 31 s.

EYERS C. J., NORMAN P., MIDDEL J., Plohr M., Michot S., Atkinson K., Christou R. A., 2004: Aero2k Global Aviation Emissions Inventories for 2002 and 2025, online: http://aero-net.info/fileadmin/aeronet_files/links/documents/AERO2K_Global_Aviation_Emissions_Inventories_for_2002_and_2025.pdf, cit. 25. 2. 2011.

HANUS D., 2000: Pohon letadel. Vydavatelství ČVUT, Praha, 203 s.

IATA, 2009: A global approach to reducing aviation emissions, online: http://www.iata.org/SiteCollectionDocuments/Documents/Global_Approach_Reducing_Emissions_251109web.pdf, cit.3.2.2011.

ICAO: Engine Emissions Databank, online: http://www.caa.co.uk/default.aspx?catid=702, cit.10.4.2011.

ICAO, 2006: Information paper- CAEP/7-IP/10, online: http://www.tc.gc.ca/media/documents/ac-opssvs/caep7_ip10.pdf, cit. 5.3.2011.

INTEGROVANÝ REGISTR ZNEČIŠTĚNÍ: Polétavý prach (PM_{10}), online: http://www.irz.cz/irz/new/node/85, cit. 3. 3. 2011.

IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. IPCC, Geneva, 104 s.

JACOBSON M. Z., 2002: Atmospheric pollution-history, science and regulation. Cambridge university press, Cambridge, 399 s.

JÍLKOVÁ J., 2003: Daně, dotace a obchodovatelná povolení – nástroje ochrany ovzduší a klimatu. JDS tiskárna, Praha, 156 s.

KARNALI A., HARRIS M., 2004: ICAO exploring development of a trading scheme for emissions from aviation. ICAO Journal 8/2004: s. 11-13, 25-26.

KERNER L., 1997: Emise v letecké dopravě. L+K 1/199: s. 52-55.

KURFÜST J.[ed.], 2008: Kompendium ochrany kvality ovzduší. Ekomonitor, Chrudim, 407 s.

LETIŠTĚ PRAHA, 2010: Letiště Praha podporuje vývoj elektrického pohonného systému WheelTug, online: http://www.prg.aero/cs/aktuality/aktuality/letiste-praha-podporuje-vyvoj-leteckeho-elektrickeho-pohonneho-systemu-wheeltug/, cit. 20. 3. 2010.

MAČALA J., SMRŽ V., 2005: Modul 5: Ochrana ovzduší. VŠB-Technická univerzita, Ostrava, online: http://www.hgf.vsb.cz/miranda2/export/sites-root/hgf/instituty-a-pracoviste/cs/okruhy/546/studijni-materialy/EV-modul5.pdf, cit.14.3.2011.

MINISTERSTVO DOPRAVY ČR: Letecký předpis L16/II- Ochrana životního prostředí - Svazek II- Emise letadlových motorů.

MŽP ČR: Schéma obchodování s emisemi v EU ETS v ČR, online: http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/schema_obchodovani_emise/$FILE/OZK-Schema_EU_ETS-20081008.pdf, cit. 30. 3. 2011.

MŽP ČR, 1996: Směrnice pro kvalitu ovzduší v dopravě. MŽP, Praha, 444 s.

RÁMCOVÁ POZICE, 2007: Rámcová pozice pro Parlament ČR- KOM(2006) 818 final. MŽP, Praha.

POHL R., KOCÁB J., ŠESTÁK J., 2005: Vrtulníky a letadlové pohonné jednotky. Vydavatelství ČVUT, Praha, 248 s.

ŘLP-Řízení letového provozu: Jednotné evropské nebe - Single European Sky, online: http://www.rlp.cz/generate_page.php?page_id=839, cit. 3. 3. 2011.

SCHILLING, 1994: Th.Untersuchungen des Schadstoff-Emissionsverhaltens von Gasturbinen-Flugtriebwerken im Teillast-Betriebsbereich. Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Flugtriebwerke, Braunschweig, 169 s.

SOMERVILLE H., 2003 : Transport energy and emission: Aviation. In: Hensher D. A. et Button K. J. [eds.]: Handbook of transport and the environment, volume 4. Elsevier, Oxford, 827 s.

STANFORD UNIVERSITY's Department of Aeronautics and Astronautics: Aircraft emission, online: http://adg.stanford.edu/aa241/emissions/emissions.html, cit. 23. 3. 2011.

VACH M., 2010: Ochrana ovzduší. ČZU, Praha, online: http://knc.czu.cz/~vachm/ovzdusi/ovzd_text.doc, cit. 20. 3. 2011.

VINDERDON M., WREDE R., 1999: Aircraft manufacturers continually look for new ways to reduce environmental impacts**.** ICAO Journal 1/1999.

VOLNER R., 2007: Letecká doprava a environmentální problémy. In: Volner R.[ed.]: Flight Planning Management. Cerm, Brno, 630 s.

VŠCHT, 2007: Hlavní kvalitativní požadavky na letecký petrolej JET A-1, online: http://www.petroleum.cz/vyrobky/jet.aspx, cit. 28. 3. 2011.

WORLD BANK INDICATORS: Air transport, passangers carried , online: http://data.worldbank.org/indicator/IS.AIR.PSGR, cit. 20. 4. 2011.

ZELENÝ KRUH, 2011: Aktuality z Evropské unie- oblast envitonmentální politiky a legislativy, online: http://www.zelenykruh.cz/dokumenty/11-03-29-aktuality-z-eu-3.doc, cit. 20. 4. 2011.

Přehled použitých zkratek

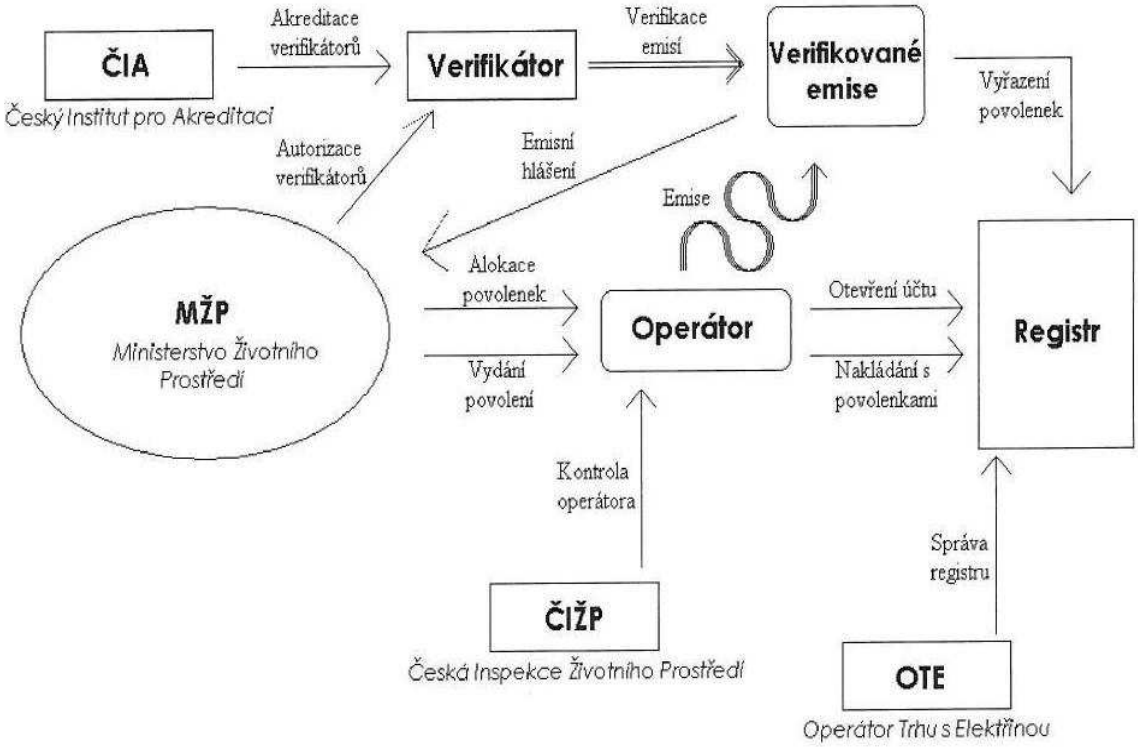
ACARE	Advisory Council for Aeronautics Research in Europe
	(Evropská technolog. platforma pro výzkum v letecké dopravě)
AVGAS	vysokooktanový letecký benzín
C	chemická značka uhlíku
CH_4	chemický vzorec metanu
C_nH_m	obecný chemický vzorec uhlovodíků
CO	chemický vzorec oxidu uhelnatého
CO_2	chemický vzorec oxidu uhličitého
D.U.	Dobsonova jednotka – udává množství ozónu ve stratosféře
EEA	European Environment Agency
	(Evropská agentura pro životní prostředí)
EHS	Evropské hospodářské společenství
EK	Evropská komise
EPA	United States Environmental Protection Agency
	(Agentura pro ochranu životního prostředí)
EU	European Union
	(Evropská unie)
EU ETS	European Union Emission Trading Scheme
	(Evropský systém pro obchodování s emisemi)
HC	Hydrocarbons (Uhlovodíky)
H_2O	chemický vzorec vody
H_2SO_4	chemický vzorec kyseliny sírové
JTI	Joint technology initiatives
	(Společná technologická iniciativa)

IATA	International Air Transport Association (Mezinárodní sdružení leteckých dopravců)
ICAO	International Civil Aviation Organization (Mezinárodní organizace pro civilní letectví)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Mezivládní panel pro změny klimatu)
IRZ	Integrovaný registr znečišťování
JET A1	druh leteckého petroleje
LTO cycle	Landing-Takeoff Cycle (cyklus přistání- vzlet)
LZO	látky znečišťující ovzduší
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
NH_3	chemický vzorec amoniaku
NO	chemický vzorec oxidu dusnatého
NOx	oxidy dusíku
NO_2	chemický vzorec oxidu dusičitého
N_2	chemická značka dusíku
OH	chemický vzorec hydroxylového radikálu
OSN	Organizace spojených národů
PAH	Polycyclic aromatic hydrocarbon (Polycyklické aromatické uhlovodíky)
PAN	chemická značka peroxoacetylnitrátu
PAU	Polycyklické aromatické uhlovodíky
Pb	chemická značka olova
PM	Particulate Matter (Pevné částice)
POP´s	Persistent Organic Pollutants (Perzistentní organické polutanty)

ppb	jednotka pro měření velmi malých koncentrací (z angl. parts per billion)
ŘLP	Řízení letového provozu
S	chemická značka síry
SES	Single European Sky (projekt Jednotného evropského nebe)
SOx	oxidy síry
SO_2	chemický vzorec oxidu siřičitého
SO_3	chemický vzorec oxidu sírového
UNCED	United Nations Conference on Environment and Development (Konference OSN o životním prostředí a rozvoji)
UV	Ultrafialové záření (z angl. ultraviolet)
VOC	Volatile organic compounds (Těkavé organické látky)

Příloha č. 1 - Jednoduché grafické schéma fungování EU ETS v České republice

zdroj: Ministerstvo životního prostředí



Příloha č. 2 - Emisní protokol leteckého motoru

zdroj: ICAO Engine emissions databank

ICAO ENGINE EXHAUST EMISSIONS DATA BANK

SUBSONIC ENGINES

ENGINE IDENTIFICATION:	CFM56-5B1	BYPASS RATIO:	5.7
UNIQUE ID NUMBER:	2CM012	PRESSURE RATIO (π_{oo}):	30.2
ENGINE TYPE:	TF	RATED OUTPUT (F_{oo}) (kN):	133.45

REGULATORY DATA

CHARACTERISTIC VALUE:	HC	CO	NOx	SMOKE NUMBER
D_p/F_{oo} (g/kN) or SN	7.1	49.7	67.7	13.5
AS % OF ORIGINAL LIMIT	36.1 %	42.1 %	67.4 %	61.7 %
AS % OF CAEP/2 LIMIT (NOx)			84.3 %	
AS % OF CAEP/4 LIMIT (NOx)			100.4 %	

DATA STATUS

- \- PRE-REGULATION
- x CERTIFICATION
- \- REVISED (SEE REMARKS)

TEST ENGINE STATUS

- x NEWLY MANUFACTURED ENGINES
- \- DEDICATED ENGINES TO PRODUCTION STANDARD
- \- OTHER (SEE REMARKS)

EMISSIONS STATUS

- x DATA CORRECTED TO REFERENCE (ANNEX 16 VOLUME II)

CURRENT ENGINE STATUS

(IN PRODUCTION, IN SERVICE UNLESS OTHERWISE NOTED)

- x OUT OF PRODUCTION (DATE: -)
- \- OUT OF SERVICE

MEASURED DATA

MODE	POWER SETTING (%F_{oo})	TIME minutes	FUEL FLOW kg/s	EMISSIONS INDICES (g/kg) HC	CO	NOx	SMOKE NUMBER
TAKE-OFF	100	0.7	1.359	0.1	0.5	35.1	8.6
CLIMB OUT	85	2.2	1.113	0.1	0.5	27.2	10.5
APPROACH	30	4.0	0.364	0.12	1.57	10.8	0
IDLE	7	26.0	0.117	3.21	28.4	4.6	0
LTO TOTAL FUEL (kg) or EMISSIONS (g)			474	617	5423	7783	-
NUMBER OF ENGINES				1	1	1	1
NUMBER OF TESTS				3	3	3	3
AVERAGE D_p/F_{oo} (g/kN) or AVERAGE SN (MAX)				4.6	40.5	58.4	10.5
SIGMA (D_p/F_{oo} in g/kN, or SN)				0.29	0.34	0.7	1.4
RANGE (D_p/F_{oo} in g/kN, or SN)				4.28-4.86	40.1-40.8	58.0-59.2	8.9-11.4

ACCESSORY LOADS

POWER EXTRACTION	0	(kW)	AT	-	POWER SETTINGS
STAGE BLEED	0	% CORE FLOW	AT	-	POWER SETTINGS

ATMOSPHERIC CONDITIONS

BAROMETER (kPa)	97.49 - 98.18
TEMPERATURE (K)	283.4 - 293.9
ABS HUMIDITY (kg/kg)	.0067 - .0076

FUEL

SPEC	Jet A
H/C	1.93
AROM (%)	16.8

MANUFACTURER: CFMI
TEST ORGANIZATION: CFM56 Evaluation Engineering
TEST LOCATION: Peebles Site IIIB
TEST DATES: FROM 07 Oct 92 TO 08 Oct 92

REMARKS

1. Ref GE Report R92AEB262.
2. Engine S/N 779101

This document was prepared on 1 October 2004
Check website for latest version