

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní

Czech Technical University in Prague, Faculty of
Transportation Sciences

Ing. Jakub Hospodka Ph.D.

Kondenzační stopy

Contrails

Summary

The presented habilitation thesis is focused on contrails, which are connected exclusively with air transport. Contrails occurs on very specific circumstances, and their physical background is well described. Lower scientific understanding is in estimation of their impact on atmosphere.

The outline of habilitation lecture includes the following topics, Formation of contrails, impact of contrails on atmosphere, mitigation options.

Souhrn

Předkládaná habilitační přednáška se zaměřuje na kondenzační stopy, které jsou spojeny s leteckou dopravou. Kondenzační stopy vznikají za velmi specifických podmínek a jejich vlastnosti jsou dobře popsány. Menší úroveň vědeckého poznání panuje v oblasti odhadu jejich vlivu na atmosféru.

Obsah habilitační přednášky zahrnuje následující body: Tvorbu kondenzačních stop, Vliv kondenzačních stop na atmosféru, Možnosti omezení těchto dopadů.

Klíčová slova:

Kondenzační stopa, letecká doprava, atmosféra, letová hladina

Key words:

Contrails, air transport, atmosphere, flight level

Obsah

Úvod	6
Kondenzační stopy	7
Význam kondenzačních stop	10
Mitigace vlivu kondenzačních stop	13
Výzkum na ÚLD	16
Shrnutí	18
Použitá literatura.....	19
Životopis.....	21
Publikační činnost	23

Úvod

Kondenzační stopy jsou nedílným projevem letectví. Vznik kondenzačních stop je způsoben leteckými motory. Letecké motory vypouštějí velké množství vodní páry, CO₂ a dalších částic. Vzhledem k tomu, že tvorba páry a CO₂ je nutnou součástí spalovacího cyklu v leteckém motoru, není možné se emisím těchto látek vyhnout. Samotný vznik kondenzačních stop je potom spojen s nukleací na pevných částicích obsažených ve výfukových plynech letadel, ke kterému dochází při teplotách okolo -40 °Celsia.

Význam kondenzačních stop se stává zřejmým až v posledních dvaceti letech. Kondenzační stopy jsou ve své podstatě formou oblačnosti. Oblačnost je největší proměnou ovlivňující teplotu a stav atmosféry na celé Zemi. Jakékoliv ovlivnění přirozené rovnováhy a stavu vede k vychýlení rovnovážného stavu a v důsledku ke změně v radiční bilanci Země. Konkrétní vliv kondenzačních stop se dá rozdělit na lokální a globální.

Možná mitigace kondenzačních a jejich dopadů je omezená. Vzhledem k tomu, že tvorbě nukleací částic a emisím vodní páry nelze při spalovacím procesu zabránit, je třeba se zaměřit na mitigaci vlivu stop. Vzhledem k tomu, že pro tvorbu kondenzačních stop musí být splněny některé meteorologické podmínky, se jako nejvhodnějším prostředkem mitigace zdá změna letových cest a hladin tak, aby došlo k vyhnutí se potenciálním oblastem tvorby kondenzačních stop.

Výzkum kondenzačních stop na Ústavu letecké dopravy už trvá dva roky. Cílem tohoto výzkumu je zjistit reálnou situaci vzhledem k tvorbě kondenzačních stop ve vzdušném prostoru ČR.

Kondenzační stopy

Kondenzační stopa je zvláštním typem umělé oblačnosti. Je tvořena ledovými krystalky. Tyto ledové krystalky se tvoří nukleací.

Výfukové plyny leteckých motorů obsahují velké množství vodní páry a pevných částic, které společně způsobují vznik kondenzačních stop.

Po průletu letounu vzduchovou hmotou dojde k vychýlení rovnovážného stavu. Do vzduchu je uvolněno velké množství vodní páry a částic, které mají vyšší teplotu i tlak než okolní prostředí. Díky změně tlaku a teploty je vzduch po krátkou dobu schopný udržet celkové množství vody.

V poměrně malé vzdálenosti od letadla (maximálně desítky metrů) dochází k vyrovnání tlaků a postupnému snižování teploty. Vzduchová hmota rychle dosahuje teploty rosného bodu a plné saturace. Voda začíná kondenzovat a rychle mrznout. Nutnou podmínkou je tedy teplota pod bodem mrazu. Tvorba ledových krystalů, nukleace, je jevem, který má dva možné zdroje. Homogenní nukleace je jevem, kdy vodní kapka mrzne samovolně bez interakce s další látkou. Heterogenní nukleace je jev, kdy vodní kapka mrzne vlivem styku s pevnou částicí, nebo její částí. Emise pevných zplodin z leteckého motoru je významným zdrojem heterogenní nukleace a zdrojem dodatečných krystalů.

Nutnou podmínkou pro oba způsoby nukleace je supersaturace vzduchu vzhledem k ledu. Tento přebytek vlhkosti, který je nutný pro tvorbu ledových krystalů na částicích síry obsaženém ve spalínách je více než 40 %. Tento jev je dále ovlivněn tím, kdy k nukleaci dochází na různých částicích, kde pro různé částice je různý potřebný poměr tlaku a teploty. K tvorbě nukleačního jádra dochází při různých kombinacích vlhkosti vzduchu a teploty.

Kondenzační stopy se tedy vytváří jednak díky dodatečné vlhkosti přidané do atmosféry, která navýší její celkovou vlhkost a zadruhé díky dodatečným nukleacím jádrům, která jsou v emisích obsažena.

Méně významným typem kondenzačních stop jsou kondenzační stopy tvořící se na místech letounu, kde se mění prudce tlak. Typicky v oblasti vrtule a na konci křidel, kde dochází k prudké změně tlaku nad a pod křídlem. Tento typ kondenzačních stop se tedy tvoří jen homogenní nukleací. Životnost těchto stop je maximálně v řádu vteřin, proto nemají pro vliv na atmosféru význam.

Ve většině případů se kondenzační stopa rozpadá díky tomu, že vlhkost ze stopy postupně sublimuje, protože hodnota vlhkosti je menší, než je hodnota saturace.

Významným vlivem kondenzačních stop na atmosféru, popsaným v kapitole Význam kondenzačních stop, je změna radiální bilance. Na změně radiální bilance Země se pravděpodobně podílí především přetrvávající kondenzační stopy. Přetrvávající kondenzační stopy, persistant contrails, jsou kondenzační stopy, které v atmosféře zůstávají delší dobu. Konkrétní čas není přesně determinován, ale doba životnosti delší než jedna minuta už je statisticky neobvyklá.

Přetrvávající kondenzační stopy jsou způsobeny další nukleací, která je možná díky dostatečné vlhkosti v atmosféře. Na nukleačních jádrech, a už existujících ledových krystalech se díky větru, který zanáší kondenzační stopu do vzduchové hmoty mimo původní stopu, tvoří další jádra a kondenzační stopa tak dále roste. Nárůst rozměrů je významný především v horizontální rovině, kde může šířka kondenzační stopy narůst na stovky metrů. Důkazem je možnost zaznamenat kondenzační stopy na záznamech ze satelitního systému MODIS.

Pokud nedochází k tvorbě přetrvávajících stop, kondenzační stopa se rozpadá díky tomu, že vlhkost ze stopy postupně sublimuje, protože hodnota vlhkosti je menší, než je hodnota saturace, ledová vločka postupně zaniká.



Obrázek 1 Kondenzační stopa (V. Plos)

Na obrázku 1 je patrný horizontální rozdíl nové kondenzační stopy a přetrvávající kondenzační stopy.

Význam kondenzačních stop

Výzkum kondenzačních stop byl ovlivněn tím, že, s jednou výjimkou, dlouho nebyl důvod se tímto efektem příliš zabývat. Touto výjimkou byl vojenský výzkum, který měl za cíl omezit tvorbu kondenzačních stop, aby bylo letadlo hůře detekovatelné ze země.

Skutečný význam kondenzačních stop a urychlení jejich výzkumu přinesla zpráva IPCC Aviation and the Global Atmosphere (2) která poprvé přímo zmínila efekt kondenzačních stop na atmosféru Země. Kondenzační stopy ovlivňují atmosféru, protože mění její odrazivost a ovlivňují tak skleníkový efekt. Skleníkový efekt je způsoben rozdílnou vlnovou délkou slunečního záření a vlnovou délkou, kterou vyzařuje Země. Sluneční záření nabývá maxima na vlnových délkách viditelného světla, kolem 500 nanometrů. Země naopak vyzařuje většinu energie na vlnových délkách 5, 10 a 20 mikrometrů. Rozdíl vlnových délek je tedy přibližně desetinásobný. Tento rozdíl způsobuje, že každé z těchto záření se při průchodu atmosférou Země chová jinak. Vodní pára, oblačnost, CO₂ a další skleníkové plyny propouští krátkovlnné záření od Slunce a naopak brání delším vlnovým délkám vyzařování Země, aby atmosféru opustily.

Oblačnost ale ovlivňuje atmosféru i opačným způsobem, Vzhledem k většímu albedu oblačnosti odráží oblačnost větší množství slunečního záření zpět do vesmíru. Konkrétní vliv oblačnosti na radiální bilanci Země je tedy v některé dny kladný a v jiných dnech záporný.

Rozhodujícím faktorem pro determinaci, který z výše popsáných procesů převáží, je optická mohutnost oblačnosti. S rostoucí optickou mohutností je více slunečního záření odraženo a oblačnost tak ochlazuje klima. Při malé optické mohutnosti převládá efekt zachycování záření Země a oblačnost naopak zvyšuje celkovou teplotu. Z globálního pohledu se předpokládá, že převládá efekt zvyšující teplotu (4).

Tento efekt také převládá u kondenzačních stop a případně i u cirrovité oblačnosti, která se může za určitých podmínek z kondenzačních stop vytvořit. Optická mohutnost kondenzačních stop je malá, část stop má optickou mohutnost mimo viditelné spektrum.

Průměrná hodnota optické mohutnosti kondenzačních stop a indukované oblačnosti je 0,2-0,3. Přibližně jedna třetina kondenzační stopy leží mimo viditelné spektrum, takže přestože není vidět, odrazivost ovlivňuje (5).

Celkový efekt kondenzačních stop na radiační bilanci Země je pozitivní, ve smyslu, že kondenzační stopy zvyšují celkovou teplotní úroveň atmosféry. Aby převládl ochlazující efekt, musela by vzrůst optická mohutnost kondenzačních stop cca čtyřnásobně oproti průměru.

Je zřejmé, že u kondenzačních stop s krátkou životností je problém poměrně malý, protože kondenzační stopa se rychle rozpadne a pokrývá tedy jen velmi malé procento oblohy. Z tohoto hlediska jsou problémem přetrvávající kondenzační stopy a případně indukovaná cirrovitá oblačnost, která se může ze stopy vyvinout. Tato přetrvávající kondenzační stopa může mít dobu rozpadu v řádu desítek minut. Za určitých meteorologických podmínek se navíc stopa dále zvětšuje, protože vítr zanáší kondenzační jádra do superstauvaného vzduchu dále od dráhy letadla. Kondenzační stopa potom může narůstat v horizontální rovině do šířky několika set metrů. I bez tohoto nárůstu rozměrů je díky delší době rozpadu nad oblastí delší dobu a zasahuje tak větší procento oblohy. Indukovaná cirrovitá oblačnost je při pohledu ze země nerozeznatelná od přírodní cirrovité oblačnosti. Jedním způsobem, jak rozeznat uměle vytvořený oblak od přírodního, je pomocí zkoumání velikostí a tvarů krystalů, které oblaka tvoří. To je ovšem nesnadné. Druhou možností je využít specifického tvaru, který může indukovaný cirrus nabývat, pokud se vytvoří v trajektorii letadla, která je zahnutá, nebo eliptická. Původní tvar kondenzační stopy si potom dále ponechává i cirrus a je možné ho identifikovat jako umělý.

Předpokládá se, že kondenzační stopy mají další efekt na atmosféru, protože tím, že v nich dochází ke kondenzaci vody, klesá koncentrace kondenzačních jader a ze vzduchové hmoty tak vypadává méně srážek, protože se dostatečné množství jader vytvoří až později, když už je vzduchová hmota dále od místa, kde by došlo k dostatečné koncentraci kondenzačních jader, kdyby nebyla část z nich znehodnocena vytvořením kondenzační stopy. V oblastech s hustou leteckou dopravou tak může vzniknout srážkový stín. Nedostatek oblačnosti dále snižuje odrazivost atmosféry a dále tak zvyšuje teplotu Země. Tyto lokální jevy je ovšem těžké modelovat, a proto konkrétní vliv letecké dopravy na úbytek srážek je zatím nejistý.

Pro představu CO_2 je odpovědný za cca $1,96 \text{ W/m}^2$ (3), z toho letecká doprava představuje asi 3 %, tedy cca $0,057 \text{ W/m}^2$. Kondenzační stopy globálně jsou odhadovány na $0,05 \text{ W/m}^2$ (1). To je způsobeno

koncentrací letecké dopravy do poměrně malých oblastí. V těchto oblastech s hustou leteckou dopravou může dosáhnout přírůstek k radiační bilanci až $0,2 \text{ W/m}^2$. Přírůstek radiační bilance Země, způsobený agregovaným působením kondenzačních stop a indukované oblačnosti, je významnějším vlivem než vliv CO_2 leteckou dopravou generovaných. (7)

Mitigace vlivu kondenzačních stop

Letecká doprava je zařazena do systému obchodu s povolenkami pro emise skleníkových plynů. V praxi to pro provozovatele letecké dopravy znamená, že musí získat povolenky na každou tunu CO₂, kterou vyprodukuje. Část povolenek je přidělována bezplatně, ale část je třeba kupovat. Z jedné tuny paliva se vyprodukuje 3,15 tun CO₂ (6). Tržní cena jedné povolenky dosahuje v roce 2016 ceny pouze 5,5 euro. Odhady při zavádění systému předpokládaly ceny kolem 35 EUR. Při ceně 340 EUR za tunu leteckého paliva znamená příplatek za emise navýšení ceny za palivo o 5 %. V reálu je ale přidělováno bezplatně téměř 80 % povolenek a dodatečné náklady jsou tedy kolem 1 % z ceny paliva. V budoucnosti ale bude klesat podíl bezplatně přidělených povolenek, a bude tedy vzrůstat význam tohoto příplatku.

Zapojení letecké dopravy do tohoto systému obchodu s povolenkami je nástrojem, který umožňuje porovnávat a oceňovat i další vlivy letecké dopravy na životní prostředí.

V předcházející kapitole je uvedeno, že vliv kondenzačních stop je ve skutečnosti pravděpodobně větší než vliv CO₂ vypouštěných leteckou dopravou, a přesto není nijak zpoplatněn. Díky tomu se nabízí poměrně zajímavá možnost, jak mitigoval část negativního vlivu na atmosféru.

Omezit tvorbu kondenzačních stop je možné díky tomu, že se letecká doprava vyhne oblasti se super saturovanou vzduchovou hmotou, a tím se výrazně omezí životnost stop a tedy i jejich vliv na atmosféru. Pokud zabráníme vzniku stopy, omezíme vliv letecké dopravy na atmosféru. Protože není tvorba kondenzačních stop nijak zpoplatněna, neexistuje nástroj, jak letecké dopravce přesvědčit k tomu, aby se takovým oblastem vyhýbaly.

Zde by tedy mohlo být výhodné použít poplatků za tvorbu CO₂. Letoun CO₂ stále vypouští, ale protože by omezil svůj vliv na atmosféru tím, že by se vyhnul oblasti vzduchu, kde by tvořil přetrvávající kondenzační stopy, omezil svůj dopad na atmosféru a bylo by vhodné ho za to odměnit, například bezplatným získáním povolenek na ekvivalentním objemu CO₂. Takový model by přinesl benefit jak životnímu prostředí, tak provozovatelům letecké dopravy.

Z pohledu významu hrají největší roli přetrvávající kondenzační stopy a indukovaná oblačnost. Přestože zabírají horizontálně jen o málo větší prostor, jejich nebezpečnost spočívá v tom, že díky delšímu životu

pokrývají větší oblast. Přetrvávající kondenzační stopy se vytvářejí v dané oblasti jen poměrně vzácně. Podle našich měření méně než 3 % procenta kondenzačních stop mají životnost větší než jedna minuta. V praxi tedy 3 % stop s nejdelší dobou rozpadu pokrývají stejnou plochu oblohy jako zbylých 97 % stop.

Pokud bychom tedy odklonili tato 3 % letů do oblastí mimo supersaturovanou vzduchovou hmotu a tvorbu přetrvávajících kondenzačních stop, snížili bychom tak vliv letecké dopravy na radiační bilanci z kondenzačních stop o 50 %.

Bohužel ovšem je situace ve skutečnosti složitější a zavedení podobného systému je brzděno několika podstatnými faktory. V současné době není sledování vzduchové hmoty z pohledu supersaturace dostatečné. Provádí se jen velmi omezená měření, která nestačí pro vytvoření map oblastí, kterým by se letadla měla vyhýbat. Dalším problémem je vyřešit, jakým způsobem by se letecký provoz měl oblasti vyhnout. Horizontální změna trasy by byla velmi obtížně řešitelná, protože největší význam by mělo omezení tvorby kondenzačních stop v oblasti s nejhustším provozem, kde ovšem chybí kapacita pro horizontální úhybné manévry. Vertikální úhybný manévr ovšem vede k nárůstu spotřeby letadla. V takovém případě je nezbytně nutné vědět, jak velký by byl vliv kondenzační stopy oproti vlivu dodatečné spotřeby paliva kvůli letu v jiné než optimální letové hladině. Pokud by byl nárůst spotřeby větší než úspora dopravce za odměnové povolenky, nevyplatilo by se mu měnit letovou hladinu. Jak je uvedeno výše, pokud cena povolenky dnes představuje 1 % nákladů na palivo, je prostor pro nárůst spotřeby kvůli změně letové hladiny omezený.

Podobným úskalím je i poměrně malá znalost chování kondenzačních stop. V současné době není jasné, jak velký vliv má například fuel flow letounu na tvorbu kondenzačních stop. Není tedy jisté, zda by se měly případné poplatky za tyto stopy vztahovat ke spálenému palivu, nebo k jinému ukazateli.

Některé z výše uvedených problémů se snaží pomoci vyřešit výzkum, který probíhá na Ústavu letecké dopravy Dopravní fakulty ČVUT v Praze.



Obrázek 2 Závislost kondenzační stopy na letové hladině (V. Plos)

Výzkum na ÚLD

Výzkum kondenzačních stop se začal připravovat v roce 2014 a v roce 2015 začal dlouhodobý sběr dat.

Sběr dat je ze tří zdrojů. Sbíráme záznamy z kamer, které sledují oblohu. Dále sbíráme záznamy z odpovídače sekundárního radaru, díky kterým máme informace o každém letadle, které pozorovanou oblastí proletí. Třetím zdrojem dat jsou data ze satelitního pozorování Země pomocí spektroskopu MODIS umístěného na satelitech Terra a Aqua. Data z Modisu jsou ovšem sbírána jen ve dnech, kdy se tvoří perzistentní kondenzační stopy a tyto se navíc vlivem větru rozšiřují do oblastí s větším průměrem. Modis má omezené rozlišení a kondenzační stopy nejsou patrné po většinu času. Rozlišovací schopnost Modisu je 500 metrů na pixel, a proto není možné záznamy analyzovat, pokud nedosahuje šířka kondenzační stopy alespoň této hodnoty. Na druhou stranu ve dnech, kdy jsou stopy ze satelitu rozpoznatelné, přináší snímání kondenzačních stop v několika vlnových délkách více informací, než kolik je možné zjistit z pozemního pozorování v pouze viditelném spektru.

Cílem našeho výzkumu je vytvořit statistiku výskytu kondenzačních stop nad územím ČR. Dále potom identifikovat, zda existuje korelace mezi délkou rozpadu kondenzační stopy a fuel flow letadla, které danou oblastí prolétá. Další informace může výzkum přinést o tom, které letové hladiny jsou statisticky nejnáchylnější k tvorbě přetrvávajících kondenzačních stop.

Sběr dat probíhá od října 2015, vyhodnoceny jsou zatím ovšem pouze první dva měsíce. Celkem za tuto dobu jsme získali přes 33 000 záznamů ADS-B. Všechny záznamy jsou ukládány, aby bylo možné záznamy kdykoliv zkontrolovat, nebo případně zpřístupnit externím výzkumníkům.

Kondenzační stopy jsou zaznamenávány z budovy ČVUT v Děčíně. Důvodem, proč byl vybrán Děčín, je vhodná poloha vzhledem k letovým tratím, které přes město vedou, ale také fakt, že nedaleko

Děčín a velká část letů mění směr. Díky změně směru mají kondenzační stopy typické zakřivení. Jedním z následujících kroků výzkumu bude vyhodnocení záznamů přetrvávajících kondenzačních stop a indukované oblačnosti. Věříme, že díky zakřivenému profilu bude možné identifikovat indukovanou cirrovitou oblačnost a bude tak jednodušeji možné vytvořit statistiku, jak často k tomu efektu dochází. Na obrázku 3 je vidět pokrytí ČR cirrovitou oblačností, ze dne 27. 2. 2016, která byla pravděpodobně indukována z přetrvávajících kondenzačních stop. Červený bod je Děčín.



Obrázek 3 Pokrytí ČR indukovanou oblačností (Modis Terra)

Shrnutí

Kondenzační stopy jsou nedílnou součástí letecké dopravy. Jejich dopad na životní prostředí je negativní. Jejich vliv na radiační bilanci Země se nejvýznamněji projevuje u persistentních, dlouhotrvajících, kondenzačních stop. Je pravděpodobné, že celkový vliv kondenzačních stop a indukované oblačnosti je nejvýznamnějším vlivem letecké dopravy na životní prostředí. Přesto mu není věnována dostatečná pozornost.

V rámci systému obchodování s emisními povolenkami se jen v rámci letecké dopravy v EU využijí ročně povolenky v ceně přibližně 1,5 miliardy EUR. Využití části těchto prostředků ke stimulaci leteckých dopravců aby se vyhýbali oblastem vzdušného prostoru, kde hrozí výskyt persistentních kondenzačních stop, by měl pozitivní dopad na celkovou radiační bilanci. Řešení problematiky přetrvávajících kondenzačních stop je tak nejslibnějším cestou k omezení vlivu letecké dopravy na atmosféru Země.

K dosažení tohoto cíle bude třeba zpřesnit některé odhady, aby bylo možné vytvořit důvěryhodný model. Rozhodujícím bude popsání a pochopení tvorby persistentních kondenzačních stop a indukované oblačnosti. K tomuto výzkumu by měl přispět i výzkum kondenzačních stop, který Ústav letecké dopravy provádí v posledních 2 letech.

Použitá literatura

- 1 - U. Burkhardt, B. Kärcher, Global radiative forcing from contrail cirrus, *Nat. Climate Change* 1, pp. 54-58, 2011. doi:10.1038/nclimate1068
- 2 - J. E. Penner, D. H. Lister, D. J. Griggs, D. J. Dokken, M. McFarland (Eds.), *Aviation and the Global Atmosphere*, Prepared in collaboration with the Scientific Assessment Panel to the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer Cambridge University Press, UK. pp 373, 1999. Dostupné z: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/aviation/index.php?idp=0>
- 3 - NOAA document: Butler, J. H. and S. A. Montzka (1 August 2013). „THE NOAA ANNUAL GREENHOUSE GAS INDEX (AGGI)". NOAA/ESRL Global Monitoring Division, <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>,
- 4 - IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, doi:10.1017/CBO9781107415324.
- 5 - Kärcher, B., Burkhardt, U., Unterstrasser, S., and Minnis, P.: Factors controlling contrail cirrus optical depth, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 6229-6254, doi:10.5194/acp-9-6229-2009, 2009
- 6 - NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) č. 601/2012 ze dne 21. června 2012 o monitorování a vykazování emisí skleníkových plynů podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/87/ES. In: EUR-Lex [právní informační systém]. Úřad pro publikace Evropské unie [cit. 25. 4. 2015]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1437659798275&uri=CELEX:32012R0601>

7 - D. S. Lee, D. W. Fahey, P. M. Forster, P. J. Newton, R. C. N. Wit, L. L. Lim, B. Owen, R. Sausen, Aviation and climate change in the 21st century, *Atmos. Envir.* 43, no. 22-23, pp. 3520-3537, 2009. doi:10.1016/j.atmosenv.2009.04.024

Životopis

Ing. Bc. Jakub Hospodka Ph.D.

Datum narození: 20. 07. 1982

Místo narození: Děčín

Vzdělání

1997-2001 Střední průmyslová škola strojní a dopravní Děčín

2001-2006 Univerzita Pardubice – Dopravní fakulta Jana Pernera
obor Management, marketing a logistika

2004-2008 ČVUT Praha – Fakulta dopravní, obor Profesionální pilot

2006-2010 ČVUT Praha – Fakulta dopravní – doktorské studium,
program Technika a technologie v dopravě a spojích

Odborné znalosti

Pilotní průkaz CPL MEP/IR

Všeobecný průkaz radiotelefonisty letecké pohyblivé služby

ATPL (frozen) + MCC

Instruktor ATO 010

Chief ground instructor FTO 010

Chief Theoretical knowledge instructor ATO 010

Zaměstnání

Od 09/2006 Interní doktorand - Ústav letecké dopravy Fakulta dopravní ČVUT

Od 12/2010 Odborný asistent Ústav letecké dopravy ČVUT FD v Praze

Od 09/2014 Odborný asistent FVTM UJEP Ústí nad Labem – zkrácený úvazek

Pedagogická činnost:

7 předmětů v prezenční a kombinované formě studia. 2 předměty v magisterském oboru 5 v bakalářských oborech (TUL, LED, PIL, obecný bakalář)

Vedení dvou projektů – Provoz a ekonomika letecké dopravy a

Kosmické technologie

Školitel specialista

Vědecká činnost

Vedoucí laboratoře Simulací v letecké dopravě

Odpovědný řešitel – smluvní výzkum „Feasibility study for parallel parking and optimal Wheeltug terminal“ objednatel WheelTug, plc, Spoluřešitel TAČR Alfa TA04030465 „Výzkum a vývoj progresivních metod pro měření bezpečnostní výkonnosti leteckých organizací“

Jmenovaný řešitel H2020 - Horizon 2020 Capacity Building for Aviation Stakeholders inside and outside the EU 641627

Užitný vzor - 28019. 2015-03-31

Užitný vzor - 26165 2013-12-02

Řešitel interních grantů ČVUT – SGS,IRP, IP

Ostatní činnost:

Člen Akademického senátu FD ČVUT

Člen Rady vysokých škol

Člen komise MŠMT pro oblast vzdělávání Doprava a dopravní služby

Hlavní instruktor teoretického výcviku při ATO 010 ČVUT ve výcviku pilotů letounů

Publikační činnost

Monografie ČR

Hospodka, J. - Pleninger, S.: Vliv letecké dopravy na atmosféru - Problematika začlenění leteckých společností do EU ETS. 1. vyd. Praha: ČVUT v Praze, 2015. 100 s. ISBN 978-80-01-05824-4.

Článek v impaktovaném periodiku:

Hospodka, J.: Cost-benefit analysis of electric taxi systems for aircraft. Journal of Air Transport Management. 2014, vol. 20, no. 39, p. 81-88. ISSN 0969-6997.

Článek v mezinár. recenzovaném časopise:

Hospodka, J.: Forecast of Contrails. Acta Avionica. 2012, vol. 14, no. 25, p. 70-71. ISSN 1335-9479

Hospodka, J. - Holeček, J.: Economical Analysis of Václav Havel Airport Prague Alternatives. Acta Avionica. 2014, vol. 16, no. 1, p. 60-64. ISSN 1335-9479.

Hospodka, J.: Lowering the Impact of Aviation on Global Earth's Radiation Balance. Transactions on Transport Sciences. 2012, vol. 5, no. 4, p. 189-194. ISSN 1802-971X.

Hospodka, J.: Critical Issues of Inclusion of Aviation in EU Emissions Trading System. Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology. 2011, no. 59, p. 346-349. ISSN 2010-376X.

Hospodka, J. - Szabo, S. - Novák, K.: Influence of autonomous vehicles on logistics. International Review of Aerospace Engineering. 2015, vol. 8, no. 5, p. 179-184. ISSN 1973-7459

Příspěvek na mezinár. konf. (ve sborníku):

Hospodka, J. - Polánecká, A.: GNSS for VFR flights. In Proceedings of 19th International Scientific Conference Transport Means. Kaunas: Technologija, 2015, vol. 2, p. 555-558. ISSN 1822-296X.

Hospodka, J.: Electric taxiing. In New Trends in Civil Aviation 2014. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2014, p. 15-18. ISBN 978-80-7204-891-5.

Hospodka, J.: Possible Mitigations of Aviation Impact on Global Atmosphere. In *New Trends in Civil Aviation 2011*. Praha: ČVUT v Praze a OSL ČR, 2011, p. 44-46. ISBN 978-80-01-04893-1

Původní článek v českém věd. a odb. čas.

Fedorco, L. - Hospodka, J.: Airline Pricing Strategies in European Airline Market. *Perner's Contacts*. 2013, vol. 8, no. 2, p. 33-41. ISSN 1801-674X.

Hospodka, J.: Doppler shift satellite navigation. *MAD - Magazine of Aviation Development*. 2013, vol. 1, no. 2, p. 11-14. ISSN 1805-7578.

Hospodka, J.: Electric taxiing – Taxibot system. *MAD - Magazine of Aviation Development*. 2014, vol. 2, no. 10, p. 17-20. ISSN 1805-7578.

Hospodka, J.: Začlenění dopravy do EU ETS. *Perner's Contacts*. 2011, roč. 6, č. 4, s. 104-108. ISSN 1801-674X.

Kodera, M. - Hospodka, J. - Chleboun, M.: Flight planning and flexible use of airspace in Free route airspace area. *MAD - Magazine of Aviation Development*. 2014, vol. 2, no. 7, p. 4-7. ISSN 1805-7578.

Michlová, A. - Hospodka, J.: Costs of Delay and Default Flight Level. *MAD - Magazine of Aviation Development*. 2014, vol. 2, no. 8, art. no. 3, p. 11-13. ISSN 1805-7578.

Štěrbá, J. - Hospodka, J.: Airport Emissions of Particulate Matter. *MAD - Magazine of Aviation Development*. 2013, vol. 1, no. 3, p. 9-12. ISSN 1805-7578.

Voráček, M. - Hospodka, J.: Measurement of Contrails Using ADS-B Data. *MAD - Magazine of Aviation Development*. 2016, vol. 4, no. 17, p. 27-30. ISSN 1805-7578.

Přív. příspěvek na čes. konf. (ve sborníku)

Hospodka, J.: External Costs of Air Transport. In *Workshop 2010*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2010, p. 404-405. ISBN 978-80-01-04513-8.

Kursa, J. - Hruška, R. - Hospodka, J.: Evaluation of passenger flow through Ostrava airport. In *20th Anniversary of the Faculty of Transportation Sciences, Czech Technical University in Prague - Selected Papers*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, 2013, p. 379-384. ISBN 978-80-01-05320-1.