

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Ing. Pavel Foretník

**HLUKOVÁ CERTIFIKACE
MALÝCH LETADEL**

NOISE CERTIFICATION
OF LIGHT AIRCRAFT

ZKRÁCENÁ VERZE PH.D. THESIS

Obor: Konstrukční a procesní inženýrství

Školitel: Prof. Ing. Bohuslav Sedláček CSc.

Oponenti: Prof. Ing. Dušan Kevický, CSc.
Prof. Ing. Tobiáš Lazar, DrSc.

Datum obhajoby: 7. 7. 2004

KLÍČOVÁ SLOVA

civilní letectví, letecký hluk, hluková certifikace, určování polohy letadel

KEYWORDS

civil aviation, aircraft noise, noise certification, estimation of aircraft position

MÍSTO ULOŽENÍ PRÁCE

Oddělení pro vědu a výzkum FSI VUT v Brně

OBSAH

1 ÚVOD.....	5
1.1 Základní charakteristika zvuku	5
1.2 Účinky hluku na člověka.....	6
1.3 Letecký hluk a jeho zdroje	7
1.3.1 Letiště.....	7
1.3.2 Letadla	8
2 VYMEZENÍ CÍLŮ DIZERTAČNÍ PRÁCE.....	8
3 TEORETICKÉ A PRAKTICKÉ PŘÍNOSY DISERTAČNÍ PRÁCE.....	9
3.1 Teoretické přínosy disertační práce	9
3.2 Praktické přínosy disertační práce	9
4 STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY DOMA A V ZAHRANIČÍ.....	9
4.1 Vývoj hlukové legislativy ve světě	9
4.2 Vývoj hlukové legislativy v ČR.....	11
4.3 Letiště.....	12
4.3.1 <i>Letecký hluk v okolí letišť převážně určených pro licencovanou obchodní dopravu</i> 12	
4.3.2 <i>Hluk v okolí letišť převážně určených pro sportovní a rekreační létání.....</i>	13
4.4 Letadla.....	14
5 METODY ŘEŠENÍ	14
5.1 Letiště.....	14
5.2 Letadla.....	15
6 CHARAKTERISTIKA METODIKY HLUKOVÉ CERTIFIKACE MALÝCH LETADEL	16
Určování polohy letadel pro potřeby hlukové certifikace malých letadel	19
<i>Princip družicové navigace</i>	20
<i>NAVSTAR – GPS</i>	20
<i>Verifikace systému GPS pro potřeby hlukové certifikace malých letadel</i>	21
7 ZÁVĚR.....	24
LITEATURA.....	25
PŘEHLED PUBLIKACÍ.....	28
PROJEKTY A PŘEHLED ODBORNÉ ČINNOSTI.....	29
AUTOROVO CURRICULUM VITAE	30
ABSTRAKT	31
ABSTRACT	31

1 ÚVOD

Od dávných dob bylo životní prostředí tiché. Zvuky prostředí se skládaly nejdříve z šumění tekoucí vody a větrů, časem se přidávalo ševlení rostlin a stromů, ještě později začali přibývat i zvukové projevy živočichů. Zdroje hluku tvořilo pouze běsnění živelů. Situace se začala měnit až s příchodem člověka.

Opravdový nástup hluku nastal prakticky až s objevem páry a vznikem průmyslu. S vývojem a posléze velkým rozvojem průmyslu došlo i k prudkému rozvoji vědy, techniky a ekonomiky. To přineslo také zásadní rozvoj dopravy. Dnes je doprava integrována snad do všech lidských činností.

Jedním z neodmyslitelných druhů dopravy je doprava letecká. Vysoká rychlost, pohodlí a přeprava na velké vzdálenosti patří dnes k naprosté samozřejmosti letecké dopravy. Letecký průmysl je v období neustálého růstu. U mezinárodní letecké dopravy se předpokládá do roku 2015 zdvojnásobení provozu oproti stavu v roce 1995. Jako nežádoucí projev letecké dopravy je vnímán především letecký hluk.

Letecký hluk ovlivňuje zejména zdravotní stav leteckého personálu, cestujících, pozemního personálu, ale v neposlední řadě i obyvatele žijící v blízkosti letišť a příletových a odletových tras. Obecně lze říci, že letecký hluk nemá přímý negativní vliv na zdraví obyvatel. Má však rušivé účinky, obtěžuje a je vnímán jako hlavní projev letecké činnosti. Nejúčinnějším prostředkem při tvorbě a zabezpečování akusticky vhodných kvalit prostředí pro člověka je provázanost globálních i lokálních aktivit při řešení hlukové problematiky.

1.1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA ZVUKU

Zvuk

- je každé mechanické vlnění, které se šíří od zdroje ve vlnoplochách libovolným prostředím, fázovou rychlostí závislou na fyzikálních vlastnostech prostředí,
- vzniká kmitáním částic pružného prostředí, které na sebe vzájemně působí elastickými silami.

Zvuk můžeme dále dělit na tóny a šumy. Periodické zvuky vnímá sluch jako tóny, neperiodické zvuky jako šum.

Projevuje-li se zvuk rušivě, je-li nežádoucí nebo nepříjemný, označujeme jej jako **hluk**. Hlukem může být například i čistý tón, častěji však jde o směs zvuků o různých kmitočtech. Z uvedených údajů je zřejmé, že exaktně definovat hluku je velmi obtížné. Nezřídka je definování hluku závislé na subjektivních vjemech jedince.

Při vlnění v akustickém prostředí dochází ke zhušťování a zředování kmitajících částic pružného prostředí. *Vlnová délka* λ [m] je vzdálenost po sobě časově následujících např. maxim kmitů vlny u sledovaného vlnění. Lze ji také definovat jako vzdálenost, kterou urazí zvuková vlna za dobu jednoho kmitu, tedy periodu T .

Jestliže se akustická vlna od zdroje šíří rychlostí zvuku c a vlnění je s frekvencí f , pak pro vlnovou délku platí:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{1}{T} \quad [\text{m}]$$

kde: f [Hz] je frekvence vlnění
 c [m/s] je rychlost šíření vlnění (rychlost zvuku)
 T [s] je perioda vlnění.

Hladina akustického tlaku je definovaná na základě subjektivního sluchového vjemu. Lidské ucho je schopno registrovat akustický tlak, jakožto základní akustickou veličinu, ve značně širokém rozsahu. Pro průměrného zdravého člověka je spodní (prahová hodnota slyšení) hodnota akustického tlaku při frekvenci 1 000 Hz okolo $20 \mu\text{Pa} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$. Tato hodnota byla použita jako referenční hodnota, od které byly odvozovány referenční hodnoty dalších akustických veličin. Nejvyšší hodnota akustického tlaku, při kterém člověk začíná pociťovat bolest sluchového orgánu, je okolo 100 Pa (prahová hodnota bolesti). Hladina akustického tlaku je dána vztahem:

$$L_p = 10 \cdot \log \frac{P^2}{P_o^2} = 20 \cdot \log \frac{P}{P_o} \quad [\text{dB}]$$

V praxi se však používají jednotky dB(A), dB(B), dB(C) a dB(D). Příčinou je lidský sluch, který není stejně citlivý při různých kmitočtech změn akustického tlaku. Z tohoto důvodu jsou vyvíjena a vyráběna elektronická zvukoměrná zařízení (filtry), jejichž citlivost je závislá na kmitočtu přijímaného zvuku podobně jako lidský sluch. Velké písmeno za značkou dB vyjadřuje typ filtru použitého pro měření příslušného typu.

1.2 ÚČINKY HLUKU NA ČLOVĚKA

Negativní účinky na zdraví člověka se především projevují v oblasti sluchového orgánu. Nejčastěji uvádí literatura rozsah slyšitelného zvuku pro člověka v rozmezí 16 Hz ÷ 20 kHz. Jsou to však hodnoty průměrné. Řada špičkových výrobců reproduktorových soustav vyrábí reproduktorové soustavy s rozsahem 10, 12 Hz ÷ 22, 24 kHz. Základním parametrem hluku určujícím jeho účinek na člověka je intenzita hluku, případně akustický tlak. Nejčastějším projevem poškození sluchového orgánu je *trvalý posun sluchového prahu slyšitelnosti*.

Mimosluchové účinky hluku:

- podráždění neurovegetativního systému; projevují se zvýšenou frekvencí srdce, zvýšením krevního tlaku, zhoršením látkové výměny, stresem organismu atd.,
- poruchy spánku, projevující se jeho nedostatečnou hloubkou a délkou trvání, dochází k narušení nutných regeneračních pochodů v organismu,
- psychické poruchy, projevující se předrážděností, apatií, bolestí v zažívacím traktu a celkovou nervozitou,

- poruchy výkonnosti, projevující se ve snižování pozornosti a reakčního času, což má za následek snížení produktivity a také zvýšení počtu úrazů.

1.3 LETECKÝ HLUK A JEHO ZDROJE

Hluk z leteckého provozu můžeme přisoudit dvěma hlavním leteckým činnostem. První činností je obchodní letecká doprava a druhou činnost tvoří všeobecné letectví. Přestože se jedná v obou případech o letecký hluk, každý má svá specifika. V obchodní letecké dopravě je nadměrný hluk produkován především na letištích a v jejich blízkosti. Při cestovním režimu letu létají letadla ve velkých výškách. Technická úroveň letadel dnes již dosahuje takové úrovně, že při letu letadla po trati hluk letadla neslyšíme vůbec, nebo ho pro jeho nízkou intenzitu vůbec nevnímáme a splývá nám s hlukem pozadí.

Ve všeobecném letectví zatěžují letadla hlukem nejen blízké okolí letiště, ale celé okolí trajektorie dráhy letu letadla. Ve všeobecném letectví, především ve sportovním a rekreačním létání, využívají piloti vzdušný prostor třídy G, tedy prostor do výšky 300 m (1 000 ft) nad terénem.

Letecká doprava i všeobecné letectví zatěžují společně životní prostředí hlukem na letištích a v jejich okolí. Na velkých letištích určených pro leteckou dopravu nesmíme opomenout hluk generovaný pozemním zabezpečením, tzn. vozidly technické obsluhy, generátory elektrické energie, strojovny klimatizace budov a dalších technických zařízení.

1.3.1 Letiště

Letiště jako takové nemusí vždy zatěžovat okolí svými prostředky potřebnými k odbavení letadel resp. zabezpečením všech ostatních činností na letištích. V některých případech mohou vzniknout problémy se zvýšenou hlučností v důsledku přepravy cestujících dopravními prostředky mezi městem a letištěm. Této otázce se při výstavbě nových letišť věnuje náležitá pozornost a využívají se všechny možnosti, jak tuto problematiku řešit. Příkladem může být nově vybudované letiště Mnichov, kde architekti aplikovali všechny nejnovější poznatky a prostředky, směřující ke snížení vlivu dopravy mezi centry a letištěm. Nejvyšší zátěž přepravy cestujících nese rychlodráha, prostředky autobusové dopravy jsou využívány uvážlivě pouze k lokální přepravě cestujících po rozsáhlém areálu letiště.

Otázky hluku letiště velmi účinně pomáhají řešit i prostředky, které jsou určené na potlačení hluku od letadel, jež se pohybují po pojižděcích drahách, vzletových a přistávacích drahách a na plochách určených pro vykonávání kontrol a prověrek činnosti pohonných jednotek před letem, resp. po vykonaných opravách a kontrolách. Jsou to především protihlukové stěny nejrůznějšího charakteru (stromy, hliněné valy, protihlukové stěny z různých materiálů).

1.3.2 Letadla

Hluk způsobený letadly je objektivně existující skutečností. Letadla zatěžují okolí letiště hlukem při pojíždění, vzletu i přistání a motorových zkouškách. Hluk letadel je relativně velmi různorodý a má několik základních zdrojů.

Hluk pohonné jednotky

Při posuzování pohonných jednotek jako hlavních zdrojů hluku z leteckého provozu je potřebné rozlišit skupinu letadel s proudovými, turbovrtulovými a pístovými motory.

Hluk proudové jednotky je vyvozovaný vstupním ústrojím, obtékáním lopatek kompresoru, spalovací komorou, turbínou, výtokovou tryskou, skříní náhonů a agregátů, které jsou na pohonné jednotce umístěny.

Letadla s pístovými pohonnými jednotkami a vrtulí tvoří početně největší skupinu, jsou výrazným hlukovým zdrojem. U nich jsou hlavními zdroji hluku vlastní motor (především se jedná o hluk z činnosti pístového motoru nezachycený tlumičem), hluk vybuzený vrtulí a reduktorem.

Turbovrtulové motory vyvozují hluk podobně jak letadla pístová.

Aerodynamický hluk

Aerodynamický hluk je způsobený prouděním plynného prostředí kolem letadla. Při překročení rychlosti zvuku vzniká aerodynamický třesk, který je způsoben skokovou změnou stavových veličin v rázové vlně. Tato problematika se týká především nadzvukových vojenských letadel. V civilním letectví známe pouze dvě nadzvuková letadla Concorde a TU-144, která již nejsou provozována.

2 VYMEZENÍ CÍLŮ DIZERTAČNÍ PRÁCE

Cílem disertační práce je provést analýzu doporučení „Mezinárodní organizace civilního letectví“ (ICAO) a „Evropské konference civilního letectví“ (ECAC). Současně bude nutné provést analýzu měnící se legislativy v České republice. Na základě těchto analýz provést porovnání měření hluku v letectví ČR.

Dalším cílem je na základě nejnovějších legislativních požadavků navrhnout prakticky využitelnou metodiku a postupy pro certifikaci malých letounů dle doporučení ICAO, předpisu *Ochrana životního prostředí, svazek I – hluk letadel, L16/I*, vydaného Ministerstvem dopravy a spojů.

Součástí tohoto úkolu je navrhnout pracoviště umožňující měření a vyhodnocování leteckého hluku. Toto pracoviště by mělo být schopno provádět hlukovou certifikaci malých letounů podle výše uvedeného předpisu L 16/I.

3 TEORETICKÉ A PRAKTICKÉ PŘÍNOSY DISERTAČNÍ PRÁCE

3.1 TEORETICKÉ PŘÍNOSY DISERTAČNÍ PRÁCE

Disertační práce komplexně zpracovává problematiku hluku se zaměřením především na malá sportovní, rekreační letadla. Mohla by sloužit k inicializaci legislativních úprav v oblasti hlukové certifikace sportovních létajících zařízení (SLZ) a motorizovaných větroňů. Práce může být využita i Úřadem pro civilní letectví (ÚCL ČR) jako vodítko při schvalování metod použitých při hlukové certifikaci malých letadel.

Disertační práce může být využita jako výchozí studie pro vznik legislativních úprav v oblasti provozování sportovních létajících zařízení (SLZ), motorizovaných větroňů a regulace leteckého hluku v okolí malých letišť a ploch určených k vzletům a přistání SLZ.

Díky své komplexnosti se dá využít při výuce na vysokých školách leteckého zaměření, kde může studenty seznámit s vlivem letectví na životní prostředí v oblasti zátěže hlukem. Studenti získají přehled o základních vlivech hluku na člověka, o zdrojích hluku a základních možnostech ke snižování leteckého hluku.

Stejným způsobem může tato práce napomáhat budoucím pilotům při leteckém výcviku. Piloti získají přehled, jakým způsobem ovlivňují životní prostředí a jakými základními prvky mohou snížit jeho hlukovou zátěž.

3.2 PRAKTICKÉ PŘÍNOSY DISERTAČNÍ PRÁCE

V praxi je využitelná metodika monitorování a regulace hluku na malých letištích a na plochách určených k vzletu a přistání SLZ. Provozovatelé těchto letišť mohou čelit stížnostem obyvatel žijících v okolí letišť a obyvatelé naopak mají možnost kontroly, případně regulace letového provozu. To vše bez investic do jakéhokoli zařízení. Nevýhodou je nutnost hlukové certifikace letadel provozovaných na těchto letištích.

Zásadním přínosem práce je uplatnění metodiky hlukové certifikace malých letadel. Na Leteckém ústavu, FSI VUT v Brně se počítá s předložením metodiky na ÚCL ke schválení a rozšíření činnosti zkušebny letecké techniky právě o hlukovou certifikaci malých letadel.

Prakticky lze využít práci uplatněním poznatků verifikace použití GPS v letových měřeních (nenáročných na ostré obraty apod.). Verifikace prokázala, že za pohybu vlivem potlačení efektu vícecestného šíření signálu lze očekávat určení polohy až s třetinovou chybou oproti údajům výrobce.

4 STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY DOMA A V ZAHRANIČÍ

4.1 VÝVOJ HLUKOVÉ LEGISLATIVY VE SVĚTĚ

Na mezinárodní úrovni poprvé přijaty Standardy a Doporučené postupy k hluku Radou ICAO 2. dubna 1971 na základě ustanovení Článku 37 Úmluvy o mezinárod-

ním civilním letectví (Chicago, 1944) a označeny jako Příloha 16 k Úmluvě. Standardy a Doporučené postupy k hluku vycházely z hlavních bodů šestnáctého zasedání Shromáždění v Buenos Aires v září 1968. Problém hluku letadel v okolí mnoha světových letišť byl natolik vážný, že veřejné reakce vzrostly do stupně největšího znepokojení a problém vyžadoval naléhavé řešení. Zavádění nových typů letadel by mohlo zvýšit a zvýraznit tento hluk, pokud by nebyla podniknuta akce pro zmírnění situace.

V reakci na Usnesení šestnáctého Shromáždění byla svolána do Montrealu (listopad - prosinec 1969) Zvláštní schůze k hluku letadel v okolí letišť pro zkoumání následujících aspektů vztahujících se k problémům hluku letadel:

- a) postupy pro popis a měření hluku letadel,
- b) lidská tolerance k hluku letadel,
- c) hlukové osvědčení letadel,
- d) kritéria pro stanovení provozních postupů na snížení hluku letadel,
- e) řízení územního využití a
- f) postupy snížení hluku při pozemních motorových zkouškách.

Na základě doporučení Zvláštní schůze k hluku letadel v okolí letišť byly vypracovány Standardy a Doporučené postupy k hluku letadel ve formě návrhu a po změnách, které vyplynuly z obvyklých konzultací se smluvními státy Organizace, byly přijaty Radou k vytvoření textu této Přílohy.

Při vývoji Standardů a Doporučených postupů pro kontroly emisí motorů letadel bylo pocíťováno, že všechna opatření týkající se vlivu letectví na životní prostředí by měla být obsažena v jediném dokumentu. V souladu s tím, jako součást Usnesení přijímacího Změnu 5 (11.5.1981), bylo dohodnuto, že Příloha 16 bude přejmenována na „Ochrana životního prostředí“, aby Změnou 5 vzniklý Svazek I Přílohy obsahoval stávající ustanovení (Třetí vydání) Přílohy 16 - Hluk letadel a aby Svazek II obsahoval ustanovení pro kontroly emisí motorů letadel.

Od svého vzniku prodělal předpis mnoho změn. V současné době je u nás závazná národní (česká) verze předpisu – L 16/I PŘEDPIS OCHRANA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, Svazek I, Hluk Letadel. Předpis vydalo Ministerstvo dopravy a spojů jako publikaci Letecké informační služby Řízení letového provozu České republiky, s.p.

V mezinárodním hledisku je tedy stejně jako u nás základním předpisem pro měření a hodnocení hluku letadel již zmíněný ICAO, Annex 16, Part I (Environmental Protection, Aircraft Noise). Od něho mnohé státy odvozují svá legislativní opatření v oblasti leteckého hluku. Respektují jej všechny státy sdružené v ICAO, řídí se jím výrobci letadel a je tedy vhodné, aby se s tímto faktem vypořádala i legislativa jednotlivých států. V USA je platné federální legislativní opatření FAR Part 36 (Aircraft Type and Airworthiness Certification – Hlukové normy: Typ letadla a certifikace letové způsobilosti), které je velmi podobné ICAO, Annex 16, i když se v některých detailech odlišuje. V SRN je platné ustanovení LSL (Bekanntmachung

der Neufassung der Lärmschutzforderungen für Luftfahrzeuge – Protihluková opatření pro letadla), které je prakticky shodné s ICAO, Annex 16. Jednotlivé spolkové země však mohou mít svoje vlastní předpisy, které jsou v některých ustanoveních přísnější.

V rámci Evropské unie existují do současnosti tři směrnice, které se zabývají leteckým hlukem. Jsou však částečně znehodnoceny tím, že některá ustanovení nových směrnic neruší ustanovení směrnic předchozích. V ČR byly závěry směrnice shrnuty do AIC A 9/03 21 AUG (leteckého oběžníku publikovaného Leteckou informační službou ČR).

4.2 VÝVOJ HLUKOVÉ LEGISLATIVY V ČR

Základ ochrany životního prostředí v České republice před hlukovými imisemi tvořil Zákon o péči o zdraví lidu č. 20/1966 Sb. Jeho nová úprava zohlednila potřeby rozvoje letectví. Tento zákon byl dále rozpracován vyhláškami. O ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací pojednávala vyhláška č. 13/1977 Ministerstva zdravotnictví České republiky. Tato vyhláška byla dále rozpracována do jednotlivých směrnic obsažených v Hygienických předpisech, svazek 37/1977 MZ ČR. Leteckým hlukem se zabývala přímo Směrnice 44, jež stanoví způsob měření a hodnocení hluku z leteckého provozu, a Směrnice 41 - Nejvyšší přípustné hodnoty hluku a vibrací, příloha k vyhlášce č. 13/1977 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Pro měření hodnocení úrovně hluku jsou tu dva popisné znaky: maximální hladina hluku vyvolaná leteckým provozem L_{Amax} určená přímým měřením, ekvivalentní hladina hluku z leteckého provozu L_{Aeq} se vypočte na základě údajů o rozložení hladiny hluku A v čase. Tyto předpisy však vůbec ne navazovaly na mezinárodně platná ustanovení a metodiky. Například při udělování osvědčení technické způsobilosti pro velká letadla o maximální vzletové hmotnosti nad 9 t je hlučnost posuzována podle zcela rozdílné jednotky EPNdB (efektivní vnímaná hladina hluku v dB). Z toho plyne, že Zákon o péči o zdraví lidu a na něj navazující předpisy řešily pouze problém hluku v prostředí (hlukových imisí), nikoli problém zdrojů hlukových emisí. Tento fakt zabraňoval vzájemné korelaci těchto důležitých faktorů.

Problémem zdrojů hluku se v letectví zabývá odděleně předpis L – 16 Ministerstva dopravy a spojů ČR, který je převzatým doporučením ICAO (International Civil Aviation Organisation), Annex 16, Volume I. Podle tohoto předpisu uděluje Úřad pro civilní letectví (ÚCL) např. osvědčení o hlukové způsobilosti pro nově vyrobená letadla nebo letadla, která prošla tzv. „akustickou změnou“, nebo letadla v České republice nově zaváděná do provozu. Akustickou změnou se rozumí nové certifikování letadel podle přísnější Hlavy 3, dříve certifikovaných dle Hlavy 2. V USA musí letadla certifikovaná podle Hlavy 2 ukončit provoz do konce roku 1999. V České republice není již v leteckém rejstříku zapsáno žádné takové letadlo. Pro zajímavost můžeme uvést, že v roce 1988 létalo ve světě ještě 55% letadel certifikovaných dle Hlavy 2, v roce 1995 to bylo už jen asi 25%, dále 14% v roce 2000 a předpokládá se další pokles na 4% po roce 2005 až k úplnému vymizení těchto letadel mezi roky

2010 – 15. Hlavní zásluhu na tomto poklesu nemá bohužel lidské uvědomění, ale zavádění diferencovaných hlukových poplatků a možnost sankcí za nedodržení hlukových limitů leteckými dopravci.

Od 1.1.2002 vstoupil v platnost zákon č. 258/2000 „O ochraně veřejného zdraví“ a s ním související Nařízení vlády č. 502/2000 Sb. „O ochraně před nepříznivými účinky hluku a vibrací“, které je dále rozvedené v Metodických opatřeních do třech oblastí:

- Pracovní prostředí,
- Mimopracovní prostředí,
- Letecký hluk.

Ve smyslu tohoto nařízení je hluk z leteckého provozu hodnocený ekvivalentní hladinou hluku A za daný měřicí interval. Tento hluk se hodnotí uvnitř staveb a staveb občanského vybavení (nemocnice, školy) a ve vnějším prostředí. Časový interval pro hodnocení je 16 hodin pro den (od 06,00 do 22,00) a 8 hodin pro noc (od 22,00 do 06,00). Pro účely územního plánování se používá dlouhodobá 24 hodinová ekvivalentní hladina hluku A a dlouhodobá noční 8 hodinová ekvivalentní hladina zvuku A. V připravovaném vykonávacím předpise je dále navrhovaný další deskriptor - hladina hlukové expozice A jednotlivých zvukových událostí způsobených leteckou dopravou.

4.3 LETIŠTĚ

Hladina hluku v okolí letišť se stala v poslední době hlavním problémem ochrany životního prostředí v souvislosti s leteckým provozem. Obecně je možno rozdělit vnější letecký hluk na ten, který působí letadla na zemi a na hluk působený v určitých výškách nad terénem.

4.3.1 Letecký hluk v okolí letišť převážně určených pro licencovanou obchodní dopravu

Monitorování hluku se ukázalo jako optimální nástroj jak ke sledování a případnému postihování leteckých dopravců, tak ke zjišťování oprávněnosti stížností občanů. Jedná se však o činnost nákladnou jak na vybudování, tak i na samotný provoz. Proto je v České republice vybudovaný hlukový monitorovací systém na veřejném mezinárodním letišti Praha-Ruzyně. Vhodné rozmístění monitorovacích stanic leteckého hluku umožnilo ČSL nejen vyhlásit ochranné hlukové pásmo, ale i zavedení diferencovaných hlukových poplatků s možností sankcí za nedodržení hlukových limitů leteckými dopravci. Z obrázku 4.1. je zřejmé, jaký vliv mělo zavedení poplatku u nás na skladbu letadlového parku používajícího LKPR.

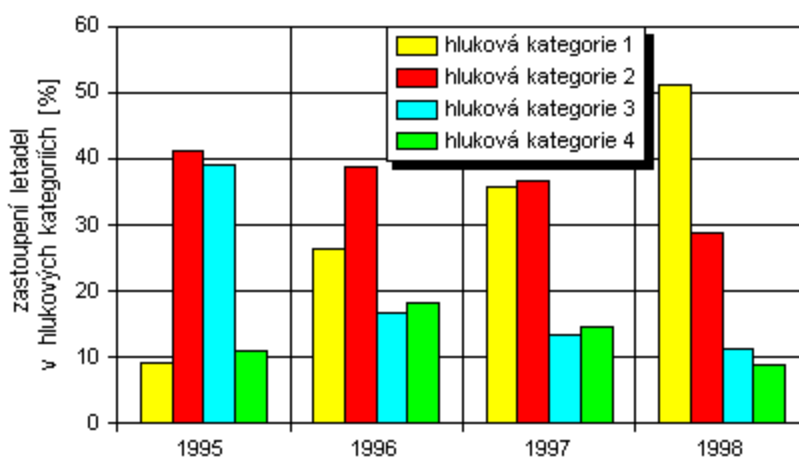
Od 1. 1. 1997 vstoupily v platnost provozní postupy ke snížení hluku z letadel, o kterých byly informovány všechny letecké společnosti a organizace civilního letectví:

- Preference dráhového systému určená přidělováním hlavní VPD 06/24 ke vzletům a přistání. Druhá VPD 13/31 ve směru na Prahu má vzlety povo-

leny v denní době pouze pro vrtulová letadla, v noční době jsou vzlety na Prahu zakázány. VPD 04/22 byla pro letový provoz uzavřena.

- Při přiblížení od Prahy nesmí letadlo sestoupit před nalétnutím sestupové dráhy pod výšku 1 070 m.
- Na odletu se letadlo může odklonit z přesně definované tratě až po dosažení výšky 980 m n. m.
- V nočních hodinách je zakázáno používat reverzního tahu.
- V nočních hodinách jsou zakázány motorové zkoušky v jiném než volnoběžném režimu.

V květnu 1997 vyhlásil ÚCL ve spolupráci s ČSL nové odletové tratě. Kritériem při jejich tvorbě byly kromě bezpečnostních hledisek i hlediska hluková. Velmi významným provozním opatřením je omezení nočního provozu, které vstoupilo v platnost 27. 10. 1997.



Obr. 4.1. Vývoj zastoupení letadel v hlukových kategoriích v období 1995 – 1998

4.3.2 Hluk v okolí letišť převážně určených pro sportovní a rekreační létání

V této kapitole se budeme zabývat hlukem v okolí letišť a ploch pro vzlety a přistání sportovních a létajících zařízení (SLZ). Měřtkem vztahů mezi letišťem a jeho okolím jsou obecně reakce okolí, vyjádřené množstvím a vahou stížností občanů a jejich reprezentací. Odezva okolí však nemusí být objektivním ukazatelem hlukové zátěže. Pro konkrétní případ řešení hlukové zátěže neexistuje zákonná norma. Je snaha, aby ve všech zemích ICAO, tedy ve všech státech EU byly harmonizovány

- měřicí a výpočtové metody,
- pravidla omezování hluku,
- jednotná terminologie.

To se týká těch zemí, které spolupracují v rámci International Standard Organization (ISO). ISO schvaluje definice, měřicí metody, tolerance, klasifikační a certifikační pravidla. Neexistují žádná obecná pravidla pro vyjádření norem hluku v okolí menších letišť, ani pro hodnoty produkované lehkými letadly (SLZ), motori-

zvanými kluzáky, navijáky pro start kluzáků a aktivitami souvisejícími se seskoky padákem.

4.4 LETADLA

Hluková certifikace letadel se řídí předpisem L 16/I, Svazek I – Hluk letadel. Tento předpis třídí letadla především podle typu (letouny, vrtulníky) a podle maximální vzletové hmotnosti. V leteckém rejstříku Úřadu pro civilní letectví bylo ke dni 19. 3. 2004 zapsáno 1 580 letadel.

Podle hmotnosti můžeme všechna letadla rozdělit do dvou kategorií a pracovní je nazvat „velká“ a „malá“ letadla. „Velká“ letadla jsou (dle L 16/I) letouny s maximální vzletovou hmotností nad 8 618 kg a vrtulníky o maximální vzletové hmotnosti nad 3 175 kg. „Malá“ letadla jsou potom letouny s MTOW nižší než 8 618 kg a vrtulníky s MTOW nižší než 3 175 kg. Rozdělení letadel podle typu a hmotnosti je uvedeno v tabulce 4.1.

<i>Letouny do 8 618 kg MTOW</i>		<i>Letouny nad 8 618 kg MTOW</i>	
Kategorie letadla	počet kusů	Kategorie letadla	počet kusů
Horkovzd. vzducholod'	2	Letoun	46
Horkovzdušný balón	103		
Kluzák	624		
Motorový kluzák	77		
Letoun	692		
<i>Vrtulníky do 3 175 kg MTOW</i>		<i>Vrtulníky nad 3 175 kg MTOW</i>	
Kategorie letadla	počet kusů	Kategorie letadla	počet kusů
Vrtulník	26	Vrtulník	10

Tab. 4.1. *Rozdělení letadel podle typu a hmotnosti*

Nezanedbatelnou součástí sportovního a rekreačního létání u nás se stala dynamicky se rozvíjející skupina ultralehkých letadel. Podle Leteckého zákona se nejedná o letadla, ale o sportovní létající zařízení (SLZ). Nepodléhají sice přímo pod ÚCL, jsou však evidována Leteckou amatérskou asociací ČR (LAA ČR).

Z tabulky 4.1. vidíme, že letadel podléhajících hlukové certifikaci malých letadel (do 8618 kg MTOW) je registrováno 769 kusů. Z uvedených údajů je zřejmé, že ultralehkých letounů (SLZ) je evidovaný téměř dvojnásobný počet, přitom hlukové certifikaci nepodléhají.

5 METODY ŘEŠENÍ

5.1 LETIŠTĚ

Předpis stanovující pravidla v oblasti leteckého hluku v okolí letišť a ploch pro vzlety a přistání sportovních a létajících zařízení (SLZ) dodnes nebyl schválen. Většina „malých“ letišť funguje prakticky bez omezení. Provozovatelé těchto letišť mo-

hou čelit stížnostem obyvatel žijících v okolí letišť a obyvatelé naopak mají možnost kontroly, případně regulace letového provozu pomocí následující metodiky. Tato metodika je velmi jednoduchá, účinná a nevyžaduje žádné investice. Pro její realizaci je však nutné znát maximální hladinu hluku produkovanou letadlem.

Doporučená metoda je omezena na letadla poháněná vrtulí, která mají vzletovou hmotnost pod 8 618 kg. Metoda je založena na určení akumulovaného zvukového účinku [Pa²s] v referenčním bodě 2,5 km vzdáleném od startovního bodu (předpis L 16/I, Hlava 10).

Navrhovaná metoda je jednoduchá a umožňuje vyjádřit hlukové dávky menších letišť. Musíme vynásobit hlukovou dávkou jednotlivého letadla počtem jeho startů. Hluková dávka, která se obdrží v okolí referenčního bodu od jednoho letadla, je druhá mocnina akustického tlaku, násobená dobou přeletu, tj. Pascal na druhou krát sekunda, Pa²s. (Pascal squared seconds - jednotka pasques).

Hlukové číslo letadla je normálně vyjadřováno v dB(A) - měření s filtrem A, pomalá odezva. Pro určení hlukové dávky od jednotlivých akcí je nezbytné převést čísla v dB(A) na akustický tlak vyjádřený v Pascalech. Tato hodnota akustického tlaku musí být umocněna na druhou a vynásobena časem přeletu. Efektivní čas přeletu je definován jako čas - 3 dB(A) před maximem až po čas - 3 dB(A) po maximu. Tento čas se pohybuje kolem 5 s pro rychle a 15 s pro pomalu letící letadla. Protože v praxi je velmi obtížné určit přesný čas pro každý start, použijeme 10 s. To je mírný nadprůměr z mnoha přesných měření. Je rozumné použít čas přeletu mírně nadprůměrný, protože nebereme v úvahu hlukovou dávku od přistání. Hluk při přistávání letadla poháněného vrtulí je málo významný oproti hluku při startu (méně jak 1/10).

Přepočítání měřené hodnoty hladiny akustického tlaku na akustický tlak:

$$p = 2 \cdot 10^{\left(\frac{L_A - 5}{20}\right)} \quad [\text{Pa}] \quad (5.1)$$

kde: L_A [dB(A)] je hladina hluku A.

Výpočet hlukové dávky:

$$P_{HD} = 4 \cdot 10^{\left(\frac{L_A - 9}{10}\right)} \quad [\text{Pa}^2\text{s}]. \quad (5.2)$$

Pro stanovení hodnot hlukové dávky z hlukových hodnot můžeme použít lineární interpolaci.

5.2 LETADLA

Termínem „malá letadla“ budeme účelově nazývat skupinu letadel, která je zájmem této práce. Jedná se o vrtulové letouny nepřesahující 8 618 kg maximální vzletové hmotnosti. Touto skupinou letounů se zabývá Hlava 6 a Hlava 10 předpisu L16/I. Tento předpis se nevztahuje na letouny konstrukčně řešené pro akrobacii, zemědělské účely, hašení požárů a motorizované větroně. V působnosti tohoto předpisu bohužel není skupina letadel klasifikovaných v Leteckém zákoně jako Sportovní létající zařízení (SLZ). Zásadním prvkem této práce je návrh, aby i SLZ a

motorizované větroně měly z pohledu hlukové certifikace status letounu do 8 618 kg MTOW a podléhalo povinnosti hlukové certifikace dle uvedeno předpisu.

Hlava 6 předepisuje požadavky k hlukové certifikaci letounů, jejichž žádost o osvědčení letové způsobilosti pro prototyp byla přijata od 1. 1. 1975 do 17. 11. 1988, nebo bylo-li osvědčení letové způsobilosti pro individuální letoun poprvé vydáno 1. 1. 1980 nebo později.

Hlava 10 předepisuje požadavky k hlukové certifikaci letounů, jejichž žádost o osvědčení letové způsobilosti pro prototyp letounu nebo odvozené verze byla přijata 17. 11. 1988 nebo později.

Z pohledu časové působnosti obou Hlav je vhodné preferovat hlukovou certifikaci malých letadel dle Hlavy 10. Hodnocení hluku dle Hlavy 6 by bylo dnes krokem zpět.

6 CHARAKTERISTIKA METODIKY HLUKOVÉ CERTIFIKACE MALÝCH LETADEL

- I. Mírou hodnocení hluku musí být maximální hladina hluku váženého filtrem A (L_{Amax}), kde:

$$L_{Amax} = 20 \log \frac{p_{max}}{p_0} \quad [\text{dB(A)}] \quad (6.1)$$

kde: p_{max} [Pa] je maximální hodnota akustického tlaku
 p_0 [Pa] referenční hodnota akustického tlaku $2 \cdot 10^{-5}$.

Charakteristiky celkového systému i jednotlivých komponent musí vyhovět doporučením Mezinárodní elektrotechnické komise IEC č. 651.

Měřicí systém musí obsahovat:

- mikrofonní systém s frekvenční charakteristikou,
- stativy nebo podobné upevňovací prvky mikrofону,
- záznamový a reprodukční systém,
- akustické kalibrátory.

K hodnocení hlukových emisí produkovaných letadlem je třeba použít hlukový analyzátor, který vyhovuje podmínkám stanoveným předpisem L 16/I. Na Leteckém ústavu byl pro své vlastnosti zvolen hlukový analyzátor Norsonic Nor 121. Mezi základní vlastnosti přístroje patří kmitočtová analýza v reálném čase (0.1 - 20 000 Hz) v oktávových a třetinooktávových pásmech včetně procentních hladin, současné měření při všech časových konstantách a váhových filtrech A, C a Linear, možnost napájení dlouhoživotnostními akumulátory, záznam zvuku na interní hard disk, umožňuje reprodukci zvuku a postprocesingové vyhodnocení dat na PC atd. Výhodná je funkce umožňující synchronizaci času s přijímačem GPS.

- II. Testy musí být prováděny za následujících atmosférických podmínek:

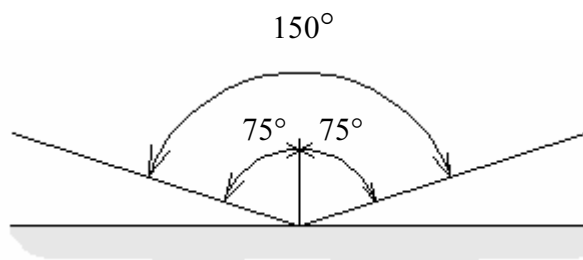
- žádné srážky;
- relativní vlhkost musí být v rozmezí od 20% do 95% a teplota okolního vzduchu musí být v rozmezí od +2°C do +35°C;

- hlášená rychlost větru nesmí být vyšší než 19 km.h^{-1} (10 kt) a rychlost bočního větru než 9 km.h^{-1} (5 kt) při užití průměru během 30 s;
- žádné další anomální meteorologické podmínky, které by výrazně ovlivnily naměřené hlukové hladiny zaznamenané v měřících místech specifikovaných leteckým úřadem;
- meteorologická měření musí být prováděna v rozmezí od 1,2 m do 10 m nad úrovní země.

Tyto hodnoty popisující atmosférické podmínky během měření hladin hluku nemusejí být při zkoušce měřeny. Mohou být použity hodnoty z meteorologické stanice, která však musí být vzdálena od měřícího místa nejvýše 2 000 m.

Abychom při realizaci certifikačních měření byli nezávislí na letištích s meteorologickou stanicí, je vhodné se vybavit vlastním měřidlem. Proto bylo na Leteckém ústavu rozhodnuto o nákupu vlastní meteorologické stanice, která by mohla být využita při různých letových měřeních. Pro své vlastnosti byla zvolena IRDAM WEATHER STATION WST7000 C. Tato stanice měří rychlost větru a směr větru vztažený ke skutečnému severu, teplotu vzduchu, relativní vlhkost, barometrický tlak a rosný bod. Tato meteorologická stanice nemá žádné rotující, ani pohyblivé části. Pro provoz vyžaduje externí zdroj 24 VDC +/-6V a připojení k PC. Záznam a vyhodnocování dat probíhá na PC.

III. Místa pro měření hluku letících letadel musí být obklopena relativně plochým terénem, který neabsorbuje příliš zvuk. Zvýšená absorpce zvuku může být způsobena například hustou, zcuchanou nebo vysokou trávou, křovinami, nebo lesním porostem. Prostor příjmu zvuku letadla nesmí být významně ovlivněn žádnými překážkami.



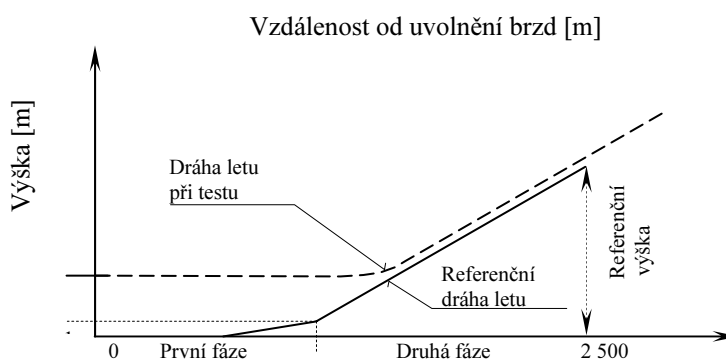
Obr. 6.1. *Místa pro měření hluku letících letadel*

Tento prostor je definován jako kužel, jehož vrchol se nachází na povrchu země pod mikrofonom, jeho osa je kolmá k povrchu země a vrcholový úhel svírá 150° ($2 \times 75^\circ$) (viz. obr. č. 6.1.). Překážkou pro příjem zvuku přitom mohou být i osoby provádějící měření.

IV. Poloha letounu vzhledem k referenční dráze letu musí být určena metodou nezávislou na palubním vybavení jako je sledování radiolokátorem nebo triangulace teodolity nebo zaměřování fotografickými technikami. Výpočty referenčních postupů a trajektorií musí být schváleny leteckým úřadem.

To znamená, že musí být navržena metodika vhodná pro záznam a vyhodnocení trajektorie letounu při certifikačních letech, která by průkazně doložila průběh měření na Úřadu pro civilní letectví (ÚCL).

Referenčním měřicím místem při vzletu je bod na prodloužené ose dráhy ve vzdálenosti 2 500 m od počátku rozjezdu po dráze se zpevněným povrchem. (viz. obr. č. 6.2.)



Obr. 6.2. Referenční měřicí místo při vzletu (Hlava 10)

Posouzení místa pro měření hluku letících letadel a referenčních postupů při měření hluku letících letadel je vhodné posuzovat společně. Problematiku můžeme rozdělit do tří základních bodů:

- A. zvolení letových postupů,
- B. volba vhodné lokality,
- C. volba vhodného určení polohy, trajektorie letounu.

ad A: Dodržení referenčního měřicího místa za letu a referenčního postupu při vzletu uvedeného v Hlavě 10 předpisu L16/I je závazné. Přesto existuje více možností realizace.

Základní možností je provádět hluková měření na letišti se zpevněným povrchem o délce 2 500 m. Letiště, která mají zpevněnou VPD o délce nejméně 2 500 m, jsou však letiště určena především pro licencovanou obchodní dopravu. Jedná se především o veřejná mezinárodní letiště. Tato letiště jsou pro hlukovou certifikaci malých letadel méně vhodná především z důvodu hustšího letového provozu s ohledem na bezpečnost a výskyt významných hlukových událostí způsobených dopravními letadly. Svou roli hrají i navigační a letištní poplatky. Vhodná letiště pro tento druh měření mohou být VFR letiště publikovaná v Letecké informační příručce, Volume

III. Letiště uvedená v této publikaci mají většinou délku VPD od 600 m do 1000 m. Povrchy VPD mají letiště většinou travnatý. VPD se zpevněným povrchem (asfalt, beton, kombinace) má pouze 8 letišť, přičemž délku VPD nad 2 500 m má pouze neveřejné vnitrostátní letiště Panenský Týnec (LKPC, 2 505 m x 30 m).

Hluková certifikační měření lze však provádět i na ostatních sedmi letištích za předpokladu, že referenční měřicí místo je možné umístit do terénu 2 500 m od počátku rozjezdu, v ose dráhy, za dodržení požadavků předpisu, uvedených v odstavci 4.3.2., bodě III.

Další možností výběru místa pro měření hluku letících letadel a referenčních postupů při měření hluku letících letadel vychází z požadavku předpisu viz. obr. č. 4.3., kdy dráha letu musí být rozdělena pro dva následující úseky. První úsek je od okamžiku odbrždění až do dosažení výšky 15 m (50 ft) nad vzletovou dráhou. Druhý úsek začíná na konci prvního úseku. Abychom dosáhli správné trajektorie nad referenčním měřicím místem, můžeme první úsek vynechat a nahradit jej letným průletem. To znamená, že letadlo by zahájilo měření průletem ve výšce 15 m (50 ft) nad prahem VPD a dále by pokračovalo druhým úsekem. Referenční měřicí místo by se posunulo blíže k prahu VPD o vzdálenost odpovídající prvnímu úseku dle letové a provozní příručky daného letadla.

Pro počátek druhého úseku doporučuji práh VPD především z důvodu bezpečnosti a snadné orientace. Pilot při měření nalétává nad práh dráhy do výšky patnácti metrů, v případě jakýchkoli problémů může přerušit stoupání a bezpečně přistát. Jinak by tato metoda byla proveditelná prakticky nad každou plochou, odpovídající požadavkům předpisu, uvedených v odstavci 4.3.2., bodě III.

Určení polohy letounu vzhledem k referenční dráze letu nezávislé na palubním vybavení letounu je věnována následující kapitola.

URČOVÁNÍ POLOHY LETADEL PRO POTŘEBY HLUKOVÉ CERTIFIKACE MALÝCH LETADEL

Aby bylo možné porovnávat různá měření s ohledem na různé podmínky měření, je třeba tyto podmínky určit a zaznamenat. V případě měření hluku letadel jsou těmito podmínkami, kromě podmínek atmosférických, především rychlost letu, vertikální rychlost (stoupání nebo klesání), výška letu, otáčky motoru a otáčky vrtule. Předpis L16/I vyžaduje nezávislé určování těchto veličin pomocí kalibrovaných měřicích přístrojů. Z tohoto důvodu nelze k určení těchto veličin použít palubní přístroje letadla, neboť nejsou pravidelně kalibrovány. Zvláště pak v kategorii sportovních létajících zařízení, kde nejsou vyžadovány přístroje s atestací, a mnohdy jsou zabudovány amatérsky, což způsobuje různé chyby měření.

Nezávislé určování polohy lze zajistit několika metodami. K základním metodám patří:

- sledování radiolokátorem,

- zaměřování fotografickými technikami,
- použití kinoteodolitů a
- a družicová navigace.

Z posuzovaných metod se pro vyhodnocení a dokumentaci trajektorie letu pro účely hlukové certifikace malých letadel hodí nejvíce použití družicové navigace GPS. Tato technologie umožňuje nejen záznam trajektorie, ale i její závislost na čase. Takže získáme nejen polohu letadla, ale i skutečnou rychlost letu, vertikální rychlost (stoupání nebo klesání) a výšku letu. GPS přijímače jsou levné, lehce dostupné. Vyhodnocení dat je možné na běžném PC bez zvláštních nároků na HW či SW. Přesnost systému udávaná výrobcem GPS přijímačů je s pravděpodobností 0,95 ($7 \div 10$) m horizontálně a ($15 \div 20$) m vertikálně.

Použití GPS přijímače v letounu neklade žádné nároky na zástavbu.

Princip družicové navigace

Při určování polohy zpracováním signálu družic se používají následující metody:

- a) metoda úhломěrná
- b) metoda dopplerovská
- c) metoda dálkoměrná
- d) metoda založená na měření nosné fáze
- e) metoda interferometrická

Pro družicovou navigaci má význam především metoda dálkoměrná, zejména v letectví.

NAVSTAR – GPS

System GPS (Global Positioning System) označovaný také jako NAVSTAR (Navigation System using Time And Range) je pasivní dálkoměrný systém. Lze ho použít i pro dopplerovskou navigaci. Tvoří ho 21 družic doplněných 3 družicemi záložními. Záložní družice jsou umístěny na oběžných drahách a pracují. V případě potřeby lze jejich dráhu (tak jako dráhu ostatních družic) změnit. Další 4 záložní družice jsou na Zemi a lze je uvést do provozního stavu na dráze během 2 dnů. System je určen pro potřeby armády USA. Družice obíhají ve výšce přibližně 20 200 km na kruhových drahách s inklinací 55° . Doba oběhu je přibližně 11 h 58 min. Navigační signály družice vysílají na kmitočtech 1 575,42 MHz a 1 227,6 MHz. System GPS měl být uveden do plného provozu v roce 1987. V důsledku havárie raketoplánu Challenger došlo ke zpoždění ve vypouštění družic, které však bylo využito k jejich zdokonalení. GPS dosáhl 8. prosince 1993 tzv. počáteční operační způsobilosti IOC (Initial Operational Capability).

System GPS umožňoval určovat polohu kdekoli na Zemi s vysokou přesností. *Autorizovaný uživatel* (tj. armáda Spojených států, armády některých dalších států NATO a příp. vybraný civilní uživatel) může dosáhnout radiální třírozměrné chyby (při jednorázovém určení), která je s pravděpodobností 0,95 menší než 37 m, příp.

chyby v horizontální rovině, která je s pravděpodobností 0,95 menší než 21 m. *Neautorizovaný uživatel* měl v době míru zajištěnou horizontální chybu s pravděpodobností 0,95 menší než 100 m. V případě ohrožení bezpečnostních zájmů USA však může být chyba pro neautorizovaného uživatele větší. Zájem o systém GPS velmi vzrostl po jeho úspěšném nasazení ve válce v Perském zálivu v létě 1991. Od května 2000 je z rozhodnutí presidenta USA vypnuto snížení přesnosti SA (Selective Availability – výběrové přístupnosti).

Další možnosti zpřesnění určování polohy GPS poskytuje systém EGNOS, který by měl zahájit svoji činnost od 1. 5. 2004. V principu se vlastně jedná o diferenciální korekce GPS signálu - DGPS. V konečném výsledku by měla být horizontální chyba alespoň v 95% měření menší než 1,5 metru, vertikální pak menší než 4,5 metru.

Verifikace systému GPS pro potřeby hlukové certifikace malých letadel

Na základě praktických zkoušek bylo naším cílem odhadnout přesnost přijímače GPS s typovým označením GPSmap GARMIN 76S.

Provedené experimenty lze rozdělit do dvou hlavních kategorií. První kategorie se týká měření, kdy aparatura GPS byla v klidu (nemění během měření svoji polohu) – jedná se o tzv. *statické zkoušky*. Druhou kategorií tvoří zkoušky aparatury za pohybu - *kinematické zkoušky*.

Statická zkouška

Na střeše (severní terase) geodeticko-astronomické observatoře byly k statickým experimentům využity pilíře s označením P9 a P10. Jedná se o čtvercové pilíře výšky asi 120 cm nad úroveň terasy, opatřené zařízením pro nucenou centraci. Při rozsáhlém 24 h trvajícím testu byly oba přístroje GARMIN umístěny na speciální konzoly výšky 1 m, které byly centricky umístěny na oba pilíře P9 a P10. Nezměnila se tedy poloha referenčních bodů a jejich výška se zvýšila o 1 m (viz. obr. č. 6.3.).

Při dlouhodobých experimentech byla data snímána do přenosných počítačů (laptopů). Každá aparatura měla přidělen jeden laptop. Výsledky testů pro oba přístroje jsou vyjádřeny střední hodnotou odchylky od správné pozice obsahující 95% změřených veličin (DRMS).

Polohová přesnost 95% pro G1 ***DRMS = 5,50 m***

Polohová přesnost 95% pro G2 ***DRMS = 4,87 m***

Těchto hodnot bylo dosaženo i při významném negativním vlivu vícecestného šíření signálu.

Kinematická zkouška

Základním úkolem při tomto testu bylo určit pro stejný časový okamžik polohu testované aparatury GPS (aparatura G1 případně G2) a kontrolní aparatury GPS, jejíž polohu lze pro daný okamžik určit s mnohem vyšší přesností. Testovaná i kont-

rolní aparatura byly umístěny blízko sebe na pohybujícím se letounu. Obě aparatury (testovaná i kontrolní) byly tedy při testování v pohybu.

Pro umístění kontrolní aparatury Leica v letounu byl použit speciální malý měřický stojan, který byl pevně připoután na plošinku za sedadly letounu. Do tohoto stojanu byla upnuta standardní trojnožka s trnem pro anténu přijímače. Poloha antény byla volena přibližně v podélné ose letounu. Umístění aparatur GARMIN s označením G1 a G2 bylo zvoleno excentricky od kontrolní stanice Leica. Anténa aparatury G2 byla umístěna z vnitřní strany krytu kabiny vpravo od antény kontrolní aparatury ve vzdálenosti necelých 30 cm od ní. Druhá anténka aparatury G1 byla připevněna na letoun před pilota, těsně vedle antény GPS přijímače zastavěného v letounu. Anténa aparatury G2 byla tedy pod krytem kabiny a anténa aparatury G2 mimo vliv krytu kabiny (viz. obr. č. 6.4.).

Zkouška byla rozdělena na dva lety. První let trval 54 minut v běžném cestovním režimu. Při zatáčkách (náklonech) docházelo ke krátkým výpadkům signálu družic. Druhý let trval 17 minut a na rozdíl od prvního letu bylo cílem udržet po celou dobu příjem signálu z družic, tzn., že pilot prováděl zatáčky s větším poloměrem a malým náklonem.

Výsledky testů pro oba přístroje jsou vyjádřeny opět střední hodnotou odchylky od správné pozice obsahující 95% změřených veličin (DRMS). Hodnoty jsou uvedeny pro oba lety zvlášť.

1. let

Polohová přesnost 95% pro G1 **DRMS = 3,86 m**

Polohová přesnost 95% pro G2 **DRMS = 5,12 m**

2. let

Polohová přesnost 95% pro G1 **DRMS = 2,87 m**

Polohová přesnost 95% pro G2 **DRMS = 3,24 m**

Rozsáhlé testování přístrojů GARMIN GPSmap 76S ukázalo, že přesnosti udávané výrobcem lze s rezervou dosáhnout. Reálná přesnost polohy udávaná přijímači GPS se nadále zvýší od 1. 5. 2004 po zavedení volného šíření diferenčních korekcí a monitorování integrity EGNOS.



Obr.6.3. *Celkový pohled na pilíře P9 a P10 s konzolami pro externí antény GARMIN*



Obr.6.6. *Umístění antén testovaných aparatur G1 a G2*

7 ZÁVĚR

Disertační práce se zabývá především hlukovou certifikací malých letadel. Přesto je pojata jako ucelený základní přehled v oblasti leteckého hluku. V úvodu seznamuje s problematikou a teorií hluku. Zabývá se i vlivem vibrací a hluku na člověka, seznamuje se základními specifikami leteckého hluku.

V práci je provedena analýza domácí legislativy s přehledem světové situace leteckého hluku.

V práci je uveden přehled počtu letadel provozovaných v ČR. Z rozboru vyplývá, že hlukově certifikovaných letadel (dle předpisu L16/10, Hlavy 10, případně 6) je registrováno v ČR 769 ks a sportovních létajících zařízení (SLZ) nepodléhajících povinnosti hlukové certifikace je evidováno 1 402 ks, což je téměř dvojnásobný počet. Podle odborných odhadů je předpoklad, že počet celkově provozovaných (tedy i neregistrovaných) SLZ je asi o třetinu vyšší. Přitom právě SLZ vykonávají ročně nezanedbatelný počet letových hodin. Především vzhledem k sezónnímu provozování SLZ dochází zejména v letních měsících k velkému nárůstu hlukové zátěže v okolí malých letišť. Stížnosti obyvatel postižených oblastí naráží na odpor provozovatelů letišť, malých letadel a SLZ.

Proto hlavním podnětem vzniku a řešení této práce je nastavení pravidel, za účelem podnícení legislativních změn.

V působnosti předpisu L 16/I nejsou motorizované větroně stejně jako skupina letadel, klasifikovaných v Leteckém zákoně jako Sportovní létající zařízení (SLZ). Zásadním prvkem této práce je návrh, aby i motorizované větroně a SLZ mělo z pohledu hlukové certifikace status letounu do 8 618 kg MTOW a podléhalo povinnosti hlukové certifikace dle uvedeného předpisu, nejlépe Hlavy 10.

Dalo by se uvažovat o povinnosti hlukové certifikace „alespoň“ podle Hlavy 6 uvedeného předpisu. Metoda je jednoduchá, měřící místo se přelétává v ustáleném režimu ve výšce 300 m. Z pohledu časové působnosti obou Hlav 6 a 10 je vhodné preferovat hlukovou certifikaci malých letadel dle Hlavy 10. Hodnocení hluku dle Hlavy 6 by bylo dnes krokem zpět. Také porovnatelnost s okolními státy by byla snížena. Například pro export a prodej ULL (SLZ) do SRN je nutné prokázat splnění místních hlukových předpisu LSL téměř shodných s L16/I, Hlavou 10. Jediný rozdíl tvoří maximální povolené hodnoty hluku, které jsou v SRN přísnější.

Disertační práce se nezabývá jen hlukovou certifikací malých letadel, ale pro komplexní návrh řešení hlukové problematiky malých letadel je provedeno rozřídění typů letišť a pro příslušný typ letišť je zde citována metodika monitorování a regulace hluku. Tato metodika je velmi jednoduchá, účinná a nevyžaduje žádné investice. Pro její realizaci je však nutné znát maximální hladinu hluku produkovanou letadlem. To znamená, že letadla provozovaná na takovém letišti musí být hlukově certifikována, aby se hodnocení a regulace hluku nemíjely účinkem.

Další část práce je již směřována k vývoji vlastní metodiky hlukové certifikace malých letadel a návrhu konkrétního pracoviště a jeho přístrojového vybavení. Je provedeno porovnání různých metod určování a dokumentací polohy pro potřeby metodiky hlukové certifikace malých letadel. Z posuzovaných metod se hodí nejvíce

použití družicové navigace GPS. Tato technologie umožňuje nejen záznam trajektorie, ale i její závislost na čase. Takže získáme nejen polohu letadla, ale i skutečnou rychlost letu, vertikální rychlost (stoupání nebo klesání) a výšku letu. GPS přijímače jsou levné, lehce dostupné. Vyhodnocení dat je možné na běžném PC bez zvláštních nároků na HW či SW. Přesnost systému udávaná výrobcem GPS přijímačů je s pravděpodobností 0,95 ($7 \div 10$) m horizontálně a ($15 \div 20$) m vertikálně, což je pro účely měření dostatečné. Použití GPS přijímače v letounu navíc neklade žádné nároky na zástavbu.

Předposlední rozsáhlá část práce se věnuje verifikaci systému GPS nejen pro potřeby hlukové certifikace malých letadel. Rozsáhlé testování přístrojů GARMIN GPSmap 76S ukázalo, že přesnosti udávané výrobcem lze s rezervou dosáhnout. Reálná přesnost polohy udávaná přijímači GPS se nadále zvýší od 1. 5. 2004 po zavedení volného šíření diferenčních korekcí a monitorování integrity EGNOS. Verifikace systému GPS pro potřeby hlukové certifikace malých letadel byla provedena na Leteckém ústavu v rámci Centra leteckého a kosmického výzkumu Vysokého učení technického v Brně. Na základě vybavenosti měřicí technikou včetně patřičného SW a zkušeností byl jako realizační partner vybrán Ústav geodézie, Fakulty stavební, Vysokého učení technického v Brně.

V závěru této práce je vypracována metodika hlukové certifikace malých letadel určená především pro sportovní létající zařízení a motorizované větroně. Metodika obsahuje i stručný popis potřebných přístrojů a jejich využití při měření. Podrobný popis přístrojů je uveden v přílohách.

LITEATURA

- [1] Ministerstvo dopravy a spojů ČR. *Ochrana životního prostředí, L 16/I Hluk letadel.*
- [2] Ministerstvo zdravotnictví ČR. *Zákon č.258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví.*
- [3] Ministerstvo zdravotnictví ČR. *Vyhláška č 13/1977 Sb.*
- [4] Ministerstvo zdravotnictví ČR. *Hygienické předpisy svazek 37/1977.*
- [5] ČSN 31 0306. *Měření vnitřního hluku letadel (účinnost od 1. 9. 1984).*
- [6] ČSN 31 0305. *Měření vnějšího hluku letadel (účinnost od 1. 3. 1970).*
- [7] ČSN ISO 3891. *Akustika – postup pro popis leteckého hluku vnímaného na zemi.* Český normalizační institut. Praha 1994.
- [8] ČSN ISO 1996-1. *Akustika – popis a měření hluku prostředí: základní veličiny a postupy.* Český normalizační institut. Praha 1992.

- [9] ČSN ISO 1996-2. *Akustika – popis a měření hluku prostředí: získání údajů souvisejících s využitím území*. Český normalizační institut. Praha 1992.
- [10] ČSN ISO 1996-3. *Akustika – popis a měření hluku prostředí: použití při stanovení nejvyšších přípustných hodnot hluku*. Český normalizační institut. Praha 1993.
- [11] VAŇKOVÁ, M. *Hluk, vibrace a ionizující záření*. Brno 1995, ISBN 80-214-0695-X.
- [12] MIŠUN, V. *Vibrace a hluk*. Brno 1998, ISBN 80-214-1262-3.
- [13] AIC: *Letecký informační oběžník*. A 9/03 21 AUG. MDS ČR. LIS ŘLP, s.p.
- [14] BENDA, L. *K hlukovým předpisům pro provoz SLZ*. VZLÚ Praha 1997.
- [15] KULČÁK, L., BLAŠKO, P., DENDIS, T., PALIČKA, L. *Zabezpečovacia letecká technika*. Žilina 1999. ISBN 8-7100-584-3.
- [16] DANĚK, M. *Zkoušení letadel za letu*. Brno 1993.
- [17] HRDINA, Z., PÁNEK, P., VEJRAŽKA, F. *Radiové určování polohy (družicový systém GPS)*. Praha 1995. ISBN 80-01-01386-3.
- [18] PARÝZEK, M. *Měření hluku sportovních létajících zařízení*. VZLÚ Praha 1998.
- [19] WEIGEL, J. *Testy přesnosti přístrojů GPSmap 76S*. CLKV Brno 2003.
- [20] SEDLÁČEK, B. *Provoz a ekonomika letecké dopravy*. Bratislava 1983.
- [21] PAVLÍK, P., SMETANA, C. *Monitorování hluku leteckého provozu*. Doprava a ochrana životního prostředí. Praha 1981. NADAS.
- [22] DRAHOTA, J. *Letecký hluk, Letecký obzor č.33/90*.
- [23] SADOWSKI, J. *Znázornění akustického klimatu měst pomocí hlukových map (dopravní hluk)*. Doprava a ochrana životního prostředí. Praha 1981. NADAS.
- [24] DENDIS, T. *Nové aspekty problematiky hluku v leteckém dopravě*. Žilina 1996. Habilitační práce na VŠDS v Žilině.

- [25] HLADKÁ, Z. *Hluková zátěž letiska Praha – Ruzyně lietadlami B 737*. Žilina 2003. Diplomová práce na ŽU v Žilině.
- [26] KARHANOVÁ, J. *Monitorování hluku leteckého provozu v okolí civilních mezinárodních letišť v ČR*. Praha 2000. Diplomová práce na ČVUT v Praze
- [27] *Podklady o životním prostředí od organizace ČSL, s.p.* [online]. 2000 [cit. 2000-02-09]. Dostupné z: <http://www.csl.cz>.
- [28] *Podklady o leteckém hluku od firmy J*D*S.* [online]. 2004 [cit. 2004-04-19]. Dostupné z: <http://www.jds.cz>.
- [29] *Vývoj a výroba komunikační, navigační, digitální i analogové elektroniky pro armádu a policii.* [online]. 2003 [cit. 2003-11-05]. Dostupné z: <http://www.dicom.cz/>.
- [30] *Ekola – výhradní zástupce Norsonic pro ČR.* [online]. 2004 [cit. 2004-04-09]. Dostupné z: <http://www.norsonic.cz/>.
- [31] *PICODAS Praha s.r.o., GPS - družicové navigační přístroje Garmin, navigace, digitální mapy.* [online]. 2004 [cit. 2004-04-09]. Dostupné z: <http://www.gpscentrum.cz/>.
- [32] *Ing. Jiří Bain, obchod s GPS a s ním spojené služby, informace.* [online]. 2004 [cit. 2004-04-09]. Dostupné z: <http://gpsweb.cz/>.
- [33] *Oficiální stránky výrobce meteorologických stanic IRDAM.* [online]. 2004 [cit. 2004-04-09]. Dostupné z: <http://www.irdam.ch/>.
- [33] *Oficiální stránky výrobce meteorologických stanic IRDAM.* [online]. 2004 [cit. 2004-04-09]. Dostupné z: <http://www.irdam.ch/>.
- [34] *Oficiální stránky Úřadu pro civilní letectví ČR.* [online]. 2004 [cit. 2004-03-19]. Dostupné z: <http://www.ucl.cz/>.
- [35] *Oficiální stránky LETECKÁ AMATÉRSKÁ ASOCIACE ČR.* [online]. 2004 [cit. 2004-03-19]. Dostupné z: <http://www.laa.cz/>.

PŘEHLED PUBLIKACÍ

Ing. Pavel Foretník

1. FORETNÍK, P., Letecký hluk v České republice. *Nové trendy v civilním letectví: sborník příspěvků mezinárodního semináře, Praha 19. – 20. října 1999.* Praha: ČVUT, Fakulta dopravní, Katedra dopravní techniky, 1999.
2. FORETNÍK, P., Aerodromes and meteorology basic operational requirements and planning criteria. *Nové trendy v civilním letectví: sborník příspěvků mezinárodního semináře, Brno 20. – 21. září 2000.* Brno: VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav, 2000. ISBN 80-7204-187-8.
3. KULČÁK, L., FORETNÍK, P., Optimalizace uspořádání a propustnosti vzdušného prostoru a letového provozu. *Výsledky činnosti Centra leteckého a kosmického výzkum, sborník příspěvků semináře, Praha 23. – 24. května 2001 [CD-ROM].* VZLÚ,a.s. Praha 2001.
4. FORETNÍK, P., Jeden z deskriptorů leteckého provozu: „Hluk“. *Nové trendy v civilním letectví: sborník příspěvků mezinárodního semináře, Žilina 18. – 19. září 2001.* Žilina: Žilinská univerzita, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov, Katedra leteckej dopravy, 2001. ISBN 80-7204-220-3.
5. FORETNÍK, P., ŠOŠOVIČKA, R., Využití GPS při měření hluku letadel. *Výsledky činnosti Centra leteckého a kosmického výzkumu: sborník příspěvků semináře s mezinárodní účastí, Brno 15. – 16. října 2002.* VZLÚ,a.s. Praha 2002, Letecký zpravodaj 3/2002, ISSN 1211-877X.
6. FORETNÍK, P., Současná opatření ke snížení leteckého hluku v ČR. *Nové trendy v civilním letectví: sborník příspěvků mezinárodního semináře, Brno 10. – 11. září 2003.* Brno: VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav, 2003. ISBN 80-214-2493-1
7. FORETNÍK, P., ŠOŠOVIČKA, R., Verification of GPS under Various Conditions Used for Aeronautical Applications. *Výsledky činnosti Centra leteckého a kosmického výzkumu: sborník příspěvků semináře s mezinárodní účastí, Praha 15. – 16. října 2003.* VZLÚ,a.s. Praha 2003, Letecký zpravodaj 3/2003, ISSN 1211-877X.
8. FORETNÍK, P., Návrh hlukové certifikace ULLa. *Nové trendy v civilním letectví: sborník příspěvků mezinárodního semináře, Žilina 10. – 11. červen 2004.* Žilina: Žilinská univerzita, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov, Katedra leteckej dopravy, 2004.

PROJEKTY A PŘEHLED ODBORNÉ ČINNOSTI

Ing. Pavel Foretník

1. Snížení nehodovosti v provozu letounů všeobecného letectví České republiky, GAČR 1999
2. Seminář „ISO /DIS 9000:2000“, Česká společnost pro jakost, v Přerově dne 23.3.00
3. Seminář „Moderní nástroje řízení jakosti ISONet a metoda BPN“, Česká společnost pro jakost, v Praze dne 9.5.2000
4. Zvyšování bezpečnosti a kvality v civilním letectví ČR, GAČR 2001
5. Seminář „Problémy a možnosti rozvoje kosmických technologií a výzkumu v České republice“, VZLÚ, a.s., v Praze dne 26.6.2003

AUTOROVO CURRICULUM VITAE

Pavel Foretník

Narozen 19. února 1976, Brno, Česká Republika

Národnost česká

Rodinný stav svobodný

Vzdělání

1990 – 1994 Střední průmyslová škola strojnická, Sokolská 1, Brno.

1994 – 1999 Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav, ukončeno státní zkouškou. Téma diplomové práce: Vztah mimořádných leteckých událostí a provozních výkonů v České republice.

1999 – 2004 Postgraduální doktorandské studium; Letecký ústav, Vysoké učení technické v Brně, obor Konstrukční a procesní inženýrství, specializace Provoz letadel, předpokládané ukončení studia 2004, téma disertační práce „Hluková certifikace malých letadel“.

Zaměstnání

Centrum leteckého a kosmického výzkumu VUT v Brně

Jazykové znalosti

němčina, ruština

ABSTRAKT

Disertační práce komplexně zpracovává problematiku leteckého hluku se zaměřením především na malá sportovní, rekreační letadla. Seznamuje se základními definicemi a veličinami hluku, popisuje účinky hluku na člověka. Zabývá se tříděním zdrojů leteckého hluku, charakterizuje letecký hluk v okolí letišť. Práce rozebírá vývoj hlukové legislativy v České republice a v zahraničí. V práci je proveden rozbor počtu letadel z pohledu nutnosti hlukové certifikace letadel. Pokazuje na nedosta- tečné řešení hlukové legislativy především v oblasti zájmové letecké činnosti.

Na základě legislativní analýzy práce navrhuje řešení regulace a sledování hluku v okolí malých letišť a ploch určených k vzletu a přistání SLZ. Klíčovým řešením celé situace je návrh hlukově certifikovat i sportovní létající zařízení (SLZ) a moto- rizované větroně. Součástí práce je návrh metodiky pro hlukovou certifikaci malých letadel, podle které by měla být certifikována právě SLZ a motorizované větroně. Metodika vychází z předpisu L16/I, Hlavy 10 (Annex 16, Part I, Chapter 10). V metodice je uveden i návrh vhodného pracoviště – přístrojů pro hlukovou certifi- kaci malých letadel.

Metodika využívá družicového určování polohy letadla. Práce je proto rozšířena i o verifikaci systému GPS pro potřeby hlukové certifikace malých letadel.

ABSTRACT

The dissertation includes a complex work related to the problematic of aircraft noise, primarily focused on light aviation. Introduces the basic noise definitions, quantities and describes the noise effects on human body. The work features the se- lection of the sources of the aircraft noise and characterizes the noise in the vicinity of airports. The overview of noise legislation in Czech Republic and other countries is also included. The research part features an analysis of the amount of aircraft needed to perform the noise certification. The work also points at insufficient noise legislation for the category of ‘recreational’ aviation.

Based on the analysis of current legislation the dissertation suggests a solution in regulation and monitoring of the noise close to the airfields, small airports and areas selected for microlights operations. The proposed key solution suggests performing noise certification for micro-lights and motorized gliders. The certification method included is based on regulation standard Annex 16, Part I, Chapter 10. The descrip- tion also features a design monitoring station, including detailed description of equipment, which needs to be used to perform the noise certification of a light air- craft.

The mentioned method features aircraft’s satellite position definition. The disser- tation is due to this extended to verification of GPS receivers for the needs of light aircraft noise certification.