



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
**FAKULTA DOPRAVNÍ**

Kevin Kulík

**MOŽNOSTI POJÍŽDĚNÍ PŘI VELMI NÍZKÉ**  
**DOHLEDNOSTI**

Bakalářská práce

**2017**



**K621**..... **Ústav letecké dopravy**

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Kevin Kulík**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**B 3710 – LED – Letecká doprava**

Název tématu (česky): **Možnosti pojiždění při velmi nízké dohlednosti**

Název tématu (anglicky): Taxiing at Very Low Visibilities

**Zásady pro vypracování**

Při zpracování bakalářské práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Úvod do problematiky LVP
- Seznámení s používanými radionavigačními systémy a jejich omezení
- Současné možnosti vedení letadla po pojezdových drahách
- Budoucí využití radionavigačních zařízení při pojiždění



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Integrating datalink and cockpit display technologies into current and future taxi operations, 2000  
Enhanced Flight Vision Systems operational feasibility study using radar and infrared sensors, 2015  
Satisfying airport operational requirements using GNSS, 1995

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ladislav Capoušek, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce: **28. října 2016**  
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **28. srpna 2017**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Stanislav Szabo, PhD. MBA  
vedoucí  
Ústavu letecké dopravy



prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Kevin Kulík  
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 28. října 2016

## Poděkování

Rád bych na úvod vyjádřil velké díky všem lidem, kteří mi pomohli s vypracováním této bakalářské práce, zejména vedoucímu projektu, doktorovi Ladislavu Capouškovi, který poskytnul odbornou záštitu celé práce a podmětné konzultace, pilotovi Radimu Bradáčovi, který dodal mnoho poznatků a znalostí a mé rodině za podporu v průběhu studia.

## Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně, a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

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

V Praze dne 28. srpna 2017



---

podpis

# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

## MOŽNOSTI POJÍŽDĚNÍ PŘI VELMI NÍZKÉ DOHLEDNOSTI

bakalářská práce

Kevin Kulík

srpen 2017

### **Abstrakt**

Cílem bakalářské práce *Možnosti pojiždění při velmi nízké dohlednosti* je analyzovat současné možnosti přesného vedení dopravních letadel po pojezdových drahách za velmi nízkých dohledností, nastínit další možný technologický vývoj v této oblasti a seznámit čtenáře s implementací těchto technologií v praxi.

### **Abstract**

The goal of bachelor thesis *Taxiing in Very Low Visibility* is to analyze the current possibilities of a precise lateral guidance for airplanes when taxiing in a very low visibility, show future possible technological progress in this area and get the reader acquainted with implementation of these technologies in practice.

### **Klíčová slova**

letecká doprava, letadlo, navigace, snížená dohlednost, letiště, přiblížení, pojiždění

### **Keywords**

air transport, aircraft, navigation, low visibility, airport, approach, taxiing

# Obsah

1. Seznam použitých zkratk	5
2. Úvod do problematiky	7
2.1. Přístrojová přiblížení	9
2.1.1. Nepřesná přístrojová přiblížení	9
2.1.2. Přesná přístrojová přiblížení	10
2.2. Legislativní požadavky pro provoz při snížené dohlednosti	10
3. Radionavigační technologie související se sníženou dohledností	13
3.1. Instrument Landing System	13
3.2. GNSS (GPS)	14
3.2.1. Přesnost určení polohy	17
3.2.2. GPS Augmentace	19
3.2.2.1. ABAS	19
3.2.2.2. GBAS	20
3.2.2.3. SBAS	22
3.2.2.4. Současné využití v dopravě	23
3.2.2.4.1. DGPS v tuzemsku	23
3.2.2.4.2. GBAS Landing System	24
3.2.2.4.3. WAAS a EGNOS	25
3.3. Head Up Display	26
3.4. Enhanced Vision System	27
4. Vedení letadla po jezdových drahách	29
4.1. Problémy spojené s poježděním za nízké dohlednosti	29
4.2. Informační požadavky	30
4.3. Současné možnosti pozemního vedení letadla	30
4.3.1. Vozidlo Follow Me	31
4.3.2. Taxiway Guidance System	32
4.4. Budoucí možnosti pozemního vedení letadla	34
4.4.1. Integrace HUD a EMM pro poježděcí účely	34
4.4.2. Taxibot	38
4.4.3. Poježdění s podporou EVS	41
5. Shrnutí problematiky a slovo závěrem	44
6. Použité zdroje	46

# 1. Seznam použitých zkratk

<b>ICAO</b>	International Civil Aviation Organization
<b>ASMGC</b>	Advanced Surface Movement Guidance and Control System
<b>IFR</b>	Instrument Flight Rules
<b>IMC</b>	Instrument Meteorological Conditions
<b>MSA</b>	Mean Sea Altitude
<b>DME</b>	Distance Measuring Equipment
<b>VOR</b>	VHF Omnidirectional Radio Range
<b>NDB</b>	Non-Directional Beacon
<b>LOC</b>	Localizer
<b>DH</b>	Decision Height
<b>RVR</b>	Runway Visibility Range
<b>LVP</b>	Low Visibility Procedures
<b>ATS</b>	Air Traffic Services
<b>TWR</b>	Tower (stanoviště ATS)
<b>GND</b>	Ground (stanoviště ATS)
<b>ATIS</b>	Automatic Terminal Information Service
<b>ILS</b>	Instrument Landing System
<b>GNSS</b>	Global Navigation Satellite System
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>ABAS</b>	Aircraft Based Augmentation System
<b>GBAS</b>	Ground Based Augmentation System
<b>SBAS</b>	Satellite Based Augmentation System
<b>GLONASS</b>	Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistěma
<b>RAIM</b>	Receiver Autonomous Integrity Monitoring
<b>AAIM</b>	Aircraft Autonomous Integrity Monitoring
<b>DGPS</b>	Differential Global Positioning System
<b>GLS</b>	GBAS Landing System
<b>LPV</b>	Localizer Performance with Vertical Guidance
<b>WAAS</b>	Wide Area Augmentation System
<b>EGNOS</b>	European Geostationery Navigation Overlay Service

<b>FAA</b>	Federal Aviation Administration
<b>HUD</b>	Head Up Display
<b>EVS</b>	Enhanced Vision System
<b>FLIR</b>	Forward Looking Infrared (Camera)
<b>EMM</b>	Electronic Moving Map
<b>DMS</b>	Data Management System
<b>SVS</b>	Synthetic Vision System
<b>CVS</b>	Combined Vision System



## 2. Úvod do problematiky

Letecká doprava je velmi rychle se rozvíjející odvětví. Ročně přepraví letadla na celém světě přes 3,5 miliardy cestujících a vývoj počtu přepravených cestujících má jasně rostoucí trend. Navíc je letecká doprava statisticky dlouhodobě jedním z nejbezpečnějších způsobů přepravy. Ve srovnání s ostatními druhy dopravy je ale ve větší míře závislá na počasí.

Jedním z omezujících faktorů v oblasti povětrnostních podmínek jsou základny oblačnosti a dráhová dohlednost a to jak pro provedení vzletu, tak přiblížení na přistání. Pokud dojde k poklesu hodnot těchto veličin pod minimální, provedení vzletu či přiblížení není možné. Dnešní dopravní letadla mohou být certifikována až do ICAO kategorie IIIB, která umožňuje přiblížení s výškou rozhodnutí menší, než 15 metrů, nebo žádnou výškou rozhodnutí a dráhovou dohledností alespoň 75 metrů. Minima pro vzlet jsou stanovena pro každou vzletovou a přistávací dráhu daného letiště a mohou také dosahovat hodnot v řádu desítek metrů. Ani takto nízká minima ale nemusí být v určitých situacích dostatečná. Nedostatečné meteorologické podmínky na cílovém letišti jsou samozřejmě nežádoucí – letadla musí vyčkávat, případně divertovat na záložní letiště, což způsobuje zpoždění, zvýšené náklady i nelibost cestujících. Z toho důvodu se v poslední době experimentuje s přiblíženími kategorie IIIC, které nemá žádné omezení výšky rozhodnutí či dráhové dohlednosti. Dnešní technologie umožňují takové přiblížení bezpečně provést. Problém ovšem nastává s pozemním vedením letadla z dráhy na stojánku – pro přesné pojiždění prozatím neexistují žádné adekvátní radionavigační systémy a za teoreticky nulové dohlednosti je tedy nemožné letadlo z dráhy na stojánku dovést. Dalším problémem je ztížená možnost lokalizace místa letecké nehody v případě nouze.

Dnešním nejužívanějším způsobem vedení letadla po pojezdových drahách za snížené dohlednosti je stále metoda vizuálního kontaktu. Za snížené dohlednosti se také často využívá follow me vozidla, tedy speciálního automobilu s majáčkem, které jede před letadlem po pojezdové dráze a dovede ho až na místo stání. Velkým pomocníkem pro řídicí letového provozu je systém ASMG, který umožňuje udržet si přehled o pozemním provozu i za snížené dohlednosti. Posádkám pro změnu pomáhá *Taxiway Guidance System*, který rozsvěcením jednotlivých úseků pojezděcích drah a stop příček vyznačuje trasu pojiždění. Ani ta však ale nemusí být viditelná při velmi nízké dohlednosti.

Systém, který by dopravním letadlům umožnil automatické či alespoň radionavigačně vedené pojiždění, by našel uplatnění nejen při provozu za zhoršených meteorologických podmínek, nýbrž by přispíval k bezpečnějšímu provozu i za dobrého počasí, redukcí chyb

pilotů a řídících, jako jsou neoprávněné vjezdy na vzletovou a přistávací dráhu, vzlet z pojížděcí dráhy nebo pozemní střety mezi letadly.



*Obrázek 1: Pohled z kokpitu při pojíždění za nízké dohlednosti (zdroj: ytimg.com)*

Je důležité zmínit, že automatizované pojíždění by bylo leteckými společnostmi vřele uvítáno zejména také díky výraznému ušetření paliva. Při pojíždění je příliš paliva spotřebováno zbytečně, například při nutnosti zastavení před křížením přistávací dráhy a následné akceleraci nebo při stání na letištní ploše během čekání na povolení od řízení letového provozu. To znamená vyšší opotřebení pohonné jednotky a její kratší životnost. Náklady na palivo jsou ve vysoce rizikovém a konkurenčním leteckém trhu pro aerolinky klíčovým faktorem zásadně ovlivňujícím její hospodářský výsledek a představují až 30 procent celkových nákladů společnosti [1]. Kolísavost ceny leteckých pohonných hmot nutí aerolinky zaměstnávat odborníky na analýzu vývoje ceny paliva, kteří provádějí co nejpřesnější predikci její budoucí hodnoty.

Zárodky řešení vzrůstající ceny paliva různými pojížděcími metodami sahají do 70. let minulého století, kdy tehdejší ropná krize donutila aerolinky přijít s úspornými opatřeními. Letecká společnost Air France vyvinula traktor, který by rychlostí okolo 50 km/h tahal letadla ze stojánky až ke vzletové dráze a zabránil tak nadbytečné spotřebě paliva [2]. V příští dekádě však ceny pohonných hmot opět klesly a nápad se odložil. Opět se náklady na palivo začaly řešit během ekonomické recese kolem roku 2009, kdy cena ropy překročila 120 dolarů za barel. Doposud však nebyl vyvinut adekvátní pojížděcí systém a letecké společnosti tak nadále trátí nemalé peníze na nadbytečné spotřebě paliva a opotřebení motoru. V neposlední řadě pak trpí i obyvatelé okolí letiště, neboť musí snášet nadměrný hluk a dýchat znečištěnější vzduch.

V následující práci tedy bude provedena analýza v současné době používaných technologií uzpůsobitelných pro automatizované pojiždění, dále návrh možností vedení letadla po pojezdových drahách (nejen) za nízké dohlednosti a na závěr nastíním budoucí vývoj v této problematice související s implementací přístrojových přiblížení kategorie III C. Pro pochopení širších souvislostí v této oblasti nejprve představím obecné informace k leteckému provozu, zejména provozu za nízké dohlednosti a příslušnou legislativu.

## 2.1 Přístrojová přiblížení

Protože dopravní létání musí být co nejméně závislé na povětrnostních vlivech, je naprostá většina letů provedena v souladu s pravidly pro let podle přístrojů (IFR). Pro posádku letadla to znamená, že je letadlu v závislosti na třídě vzdušného prostoru zajišťován rozstup od ostatního provozu a let může být proveden v podmínkách IMC. Abychom ale mohli v takových podmínkách bezpečně přistát, musíme radionavigačně zajistit vedení letadla i ve fázi přiblížení na přistání – a to pokud možno co nejpřesněji.

Představme si situaci, kdy byl let podle přístrojů proveden až do blízkosti cílového letiště. Přes danou oblast přechází teplá fronta a na cílovém letišti se náchází základna nízké oblačnosti Nimbostratus s deštěm, která pokrývá 8/8 oblohy a vrcholy sahají vysoko nad MSA. Aby bylo možné v takové situaci bezpečně provést přiblížení a přistání bez rizika srážky s terénem, je třeba zajistit v každou chvíli radionavigační a výškové vedení letadla po trati tak, aby v žádném případě nemohl být snížen rozstup od překážek.

Proto jsou konstruována přístrojová přiblížení. Skládají se z pěti segmentů: příletové tratě, úseku počátečního přiblížení, středního přiblížení, konečného přiblížení a úseku nezdařeného přiblížení. V každém segmentu přiblížení je zajištěn jiný minimální rozstup od překážek. Podrobný rozbor těchto segmentů by byl nad rámec této práce, obecně ale platí, že čím blíže je letadlo zemi, tím menší rozstup od překážek je zajišťován – s klesající výškou jsou tedy kladeny zvýšené nároky jak na přesnost radionavigačního zařízení, tak techniku pilotáže. Obecně je možné přístrojová přiblížení rozdělit do dvou kategorií, a to přesná a nepřesná.

### 2.2.1 Nepřesná přístrojová přiblížení

Nepřesné přiblížení je takové, v průběhu kterého má pilot v každý okamžik informaci o směrovém vedení letadla, ale informace o odchylce od sestupové roviny je dostupná jen v určitých bodech, daných například DME vzdáleností. Minimální výška rozhodnutí je

přímo úměrná přesnosti směrového vedení a závisí tedy na použitém radionavigačním zařízení. Jako příklad těchto přiblížení lze uvést VOR přiblížení, NDB přiblížení, VOR/DME, LOC/DME a další. Protože meteorologická minima těchto přiblížení jsou natolik vysoká, že po přistání nemůže následovat pojezdění za velmi nízké dohlednosti, považují jejich přesnější rozbor nad rámec této práce a dále se jimi nebudu zabývat.

## 2.2.2 Přesná přístrojová přiblížení

V průběhu přesného přístrojového přiblížení má pilot v každý okamžik konečného přiblížení informaci jak o směrovém vedení, tak o vedení po sestupové rovině. Vertikální a směrové vedení letadla je zajištěno buď pomocí pozemního navigačního zařízení, případně přesným přibližovacím radarem.

Kategorie přesného přístrojového přiblížení jsou definovány organizací ICAO na základě výšky rozhodnutí (DH) a dráhové dohlednosti (RVR). Výška rozhodnutí je specifická výška nad prahem dráhy, kde letadlo musí bezpodmínečně zahájit proceduru nezdařeného přiblížení, pokud nezískalo dostatečné vizuální reference pro bezpečné dokončení přistání. Dráhová dohlednost je vzdálenost, na kterou pilot letadla stojícího na vzletové dráze vidí světla na středové čáře nebo podél dráhy [3].

Níže uvedená povětrnostní minima jsou minima systému a mohou být zvýšena například z důvodu místních vlivů (terén) nebo přidavkem provozovatele. Pouze letadla provozovaná pro obchodní leteckou dopravu mohou být certifikována pro přiblížení vyšší kategorie, než I.

kategorie	výška rozhodnutí	dráhová dohlednost
CAT I	60 m (200 ft) a více	550 m a vyšší
CAT II	méně než 60 m (200 ft), alespoň 30 m (100 ft)	350 m a vyšší
CAT IIIA	méně než 30 m (100 ft) nebo žádná	200 m a vyšší
CAT IIIB	méně než 15 m (50 ft) nebo žádná	méně než 200 ale alespoň 50 m
CAT IIIC	žádný limit	žádný limit

## 2.3 Legislativní požadavky

Protože jsou letadla při vysokých rychlostech na zemi, tedy při vzletu a přistání, říditelná jen značně omezeně, jsou poměrně zranitelná. Pokud se v jejich dráze nachází překážka,

kteřá není včas viditelná, srážka je velmi pravděpodobná. Jakmile na letišti klesne dohlednost na nízké hodnoty, znamená to značné množství dalších rizik. Z toho důvodu je létání za nízkých dohledností (podmínek horších, než jsou minima pro přiblížení CAT I) regulováno množstvím předpisů jak na straně provozovatele letiště, tak leteckého dopravce.

### **Požadavky kladené na provozovatele letiště**

Pokud hodnoty základny oblačnosti a dráhové dohlednosti padnou pod minimální limity předem definované letištěm, zavádí se na letišti mimořádné nízkodohlednostní procedury (LVP). Ty musí být zavedeny nejpozději tehdy, když meteorologické podmínky poklesnou pod limity CAT I (základna oblačnosti pod 60 metrů, dráhová dohlednost pod 550 metrů). Specifické procedury, které vyžadují vyhlášení LVP, jsou vzlet při RVR nižší než 550 metrů a přiblížení a přistání CAT II a CAT III.

Cílem LVP je zajistit bezpečnost provozu ve zhoršených dohlednostních podmínkách a chránit vzletovou a přistávací dráhu a její okolí společně s navigačními signály potřebnými pro provedení přesného přiblížení. Za vyhlášení a také zrušení nízkodohlednostních procedur je odpovědně řídicí stanoviště TWR a těmito speciálními postupy se řídí kromě stanoviště TWR i GND. Posádky se o jejich zavedení dozvídají prostřednictvím zprávy ATIS. Povinností provozovatele letiště při LVP je mimo jiné zabezpečit následující [4]:

- 1. oblast dráhy a jejího okolí nesmí být narušena - možné zavedení CAT II a CAT III vyčkávacích míst a předdefinovaných pojízďecích tratí za tímto účelem*
- 2. poskytnutí dostatečných rozstupů odlétajícím a přistávajícím letadlům*
- 3. provoz stop příček a jejich sledování*
- 4. fungující letištní přehledový radar*
- 5. omezení provozu pozemních vozidel na nutné minimum*

### **Požadavky kladené na provozovatele letadla**

Provoz za nízké dohlednosti klade zvýšené nároky na posádky letadel a je tak možné jej provozovat pouze po splnění určitých podmínek. Je nutné, aby posádka letadla byla kvalifikovaná pro tento druh provozu, letadlo bylo vybaveno potřebnými systémy

a společnost měla předem stanovené standardní provozní postupy. Dohled nad shodou s příslušnou legislativou provádí příslušný úřad (v ČR Úřad pro civilní letectví).

Základní pravidla pro provoz kategorie II a III jsou stanoveny následovně [5]:

- 1. každé dotčené letadlo je certifikováno pro provoz s výškou rozhodnutí nižší než 60 metrů nebo s žádnou výškou rozhodnutí a je vybaveno pro provoz v každém počasí nebo ekvivalentně*
- 2. musí být v provozu systém pro monitorování přiblížení a/nebo automatické přistání pro zajištění celkové bezpečnosti provozu*
- 3. provoz je schválen úřady*
- 4. posádka má patřičný výcvik a skládá se z minimálně dvou pilotů*
- 5. výška rozhodnutí je určena pomocí radiovýškoměru*

## 3. Radionavigační zařízení související s provozem při snížené dohlednosti

### 3.1 Instrument Landing System (ILS)

Přístrojový přistávací systém, zkráceně ILS, byl vyvinut již ve 40. letech 20. století pro letadla ve fázi konečného přiblížení na přistání. Organizací ICAO byl certifikován do provozu roku 1947 a v dnešní době je ILS nejpoužívanější přesný přistávací systém. Poskytuje jak horizontální, tak vertikální vedení, potřebné pro přesné konečné přiblížení na přistání za podmínek IMC. Navíc dává pilotovi, nad danými pevnými body, informaci o vzdálenosti k referenčnímu bodu přistání, díky trojici radiomajáků umístěných v ose přistávací dráhy (dnes je tento systém tzv. "markerů" často nahrazován dálkoměrem DME).

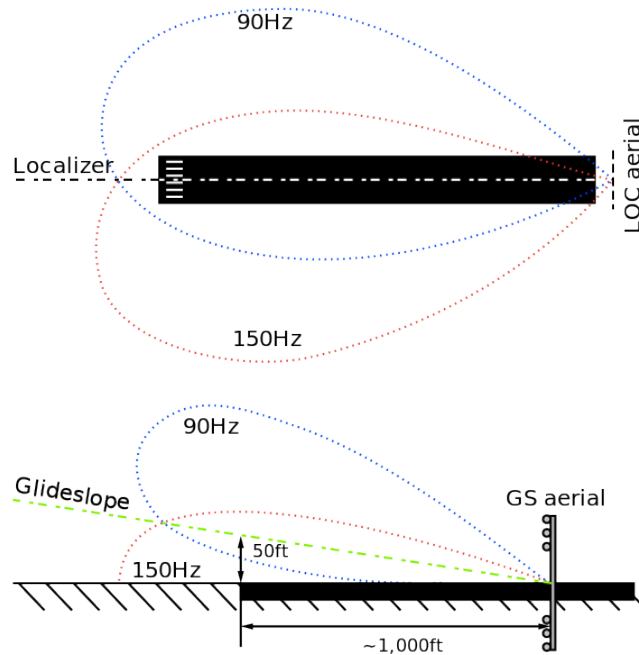
Instrument Landing System využívá k přesnému vedení letadel na přiblížení pozemní radiové vysílače. Dvojice vysílačů umístěných po stranách prahu přistávací dráhy tvoří takzvaný kurzový maják. Každý z vysílačů emituje signál o rozdílné modulaci ve směru osy dráhy, proti přibližujícím se letadlům. Každý signál je ale jemně vyosený a tam, kde je hloubka modulace stejná, se nachází osa dráhy, nad kterou by mělo letadlo ideálně přelétat.

Vertikálního vedení letadla se docílí stejně, pouze s tím rozdílem, že dvojice vysílačů je pootočena o 90 stupňů. Vyzařují tedy také ve směru osy dráhy, ale ve vertikální rovině. Správná sestupová rovina se opět nachází v místech souhlasné hloubky modulace. ILS umožňuje provést přiblížení a přistání až do kategorie IIIB, s výškou rozhodnutí menší než 15 metrů a dráhovou dohledností alespoň 50 metrů. Pokud je letadlo patřičně vybaveno, může být ILS přiblížení a přistání provedeno automaticky funkcí autoland, díky které pilot nemusí na finále přebrat řízení letadla a přistát manuálně, ale letadlo dosedne a případně i dobrzdí automaticky.

***S funkcí autoland je letadlo schopno přistát i v 0/0 podmínkách. To však zatím není schváleno legislativou a přistání v takových podmínkách se nesmí provádět z důvodu mnoha nevyřešených problémů s tím spojených, jako je značně ztížená lokalizace letadla pro integrované záchranné složky v případě nouze nebo právě nedostatečná dohlednost pro pojíždění.***

Instrument Landing System je na dnešní dobu již poměrně zastaralý. Kvalita a dostupnost ILS signálu je limitována terénem a dalšími překážkami v blízkosti vysílačů. Vysílání

radiových signálů jedním směrem způsobuje, že ILS poskytuje jen přímé lineární přiblížení s konstatním úhlem sestupové roviny.



Obrázek 2: Princip ILS (zdroj: wikipedia.org)

I když je systém dobrým pomocníkem pro přiblížení při zhoršených meteorologických podmínkách a umožňuje i automatické přistání, naráží na své technologické limity a více již nabídnout nedokáže. Asistované pojíždění je zcela mimo jeho schopnosti. S vzestupem globálních satelitních polohovacích systémů se nyní více než jindy mluví o jeho nahrazení moderním flexibilnějším nástupcem.

## 3.2 GNSS

Při zhoršených dohlednostních podmínkách se posádka letadla při pojíždění potýká se ztrátou orientačních bodů důležitých pro pilotovo globální povědomí jako jsou terminály nebo hangáry. Při opravdu silně zhoršené dohlednosti ztrácí vizuální kontakt i s navigačními znaky podél pojížděcích drah a jen udržet letadlo na povrchu dráhy může činit problém. Stěžejní atribut přesného pojížděcího systému je proto co nejpreciznější určení polohy letadla na pojížděcích drahách, jejíž přesnost by se měla pohybovat v řádu centimetrů až decimetrů. Metoda lokalizace musí být zároveň extrémně spolehlivá, neboť posádka letadla bude na systému v mnoha situacích plně závislá. Ideální kandidát pro tento účel je některý ze systémů GNSS, například americký systém GPS.



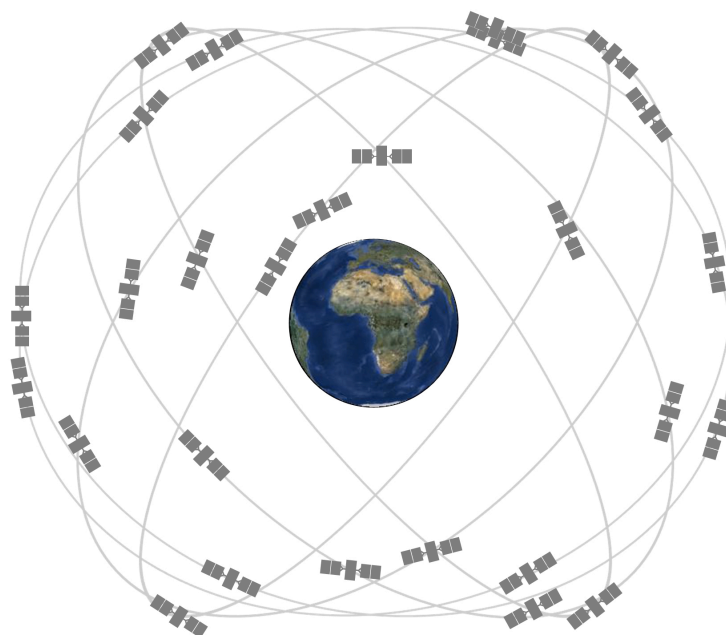


Obrázek 3: Umělá družice GPS (zdroj: gps.gov)

Globální polohový systém byl vyvinut vládou Spojených států amerických pro vojenské účely již v 70. letech minulého století. Poskytuje uživatelům možnost určení jejich geografické polohy, navigace a zjištění přesného času. Systém se skládá ze tří hlavních komponent: kosmické, řídicí a uživatelské části.

**Kosmická část** sestává z rozmístění umělých družic na oběžné dráze Země, které odesílají radiové signály uživatelům. Pro zajištění bezproblémového chodu systému a všech jeho funkcí je třeba, aby jich v daném okamžiku pracovalo bez malfunkce alespoň 24, a to 95 procent času. Celkem je uspořádáno 31 družic do šesti oběžných drah po pěti až šesti kusech tak, aby uživatel byl schopen přijmout signál alespoň od čtyř družic z kteréhokoliv místa na zemi.

Všechny satelity GPS se nacházejí ve střední oběžné dráze Země, ve výšce zhruba 20 200 metrů nad Zemí a každý z nich obkrouží Zemi dvakrát za den. Hmotnost jednoho umělého satelitu činí zhruba 1,8 tuny a pohybuje se rychlostí přibližně 3,8 km/s.

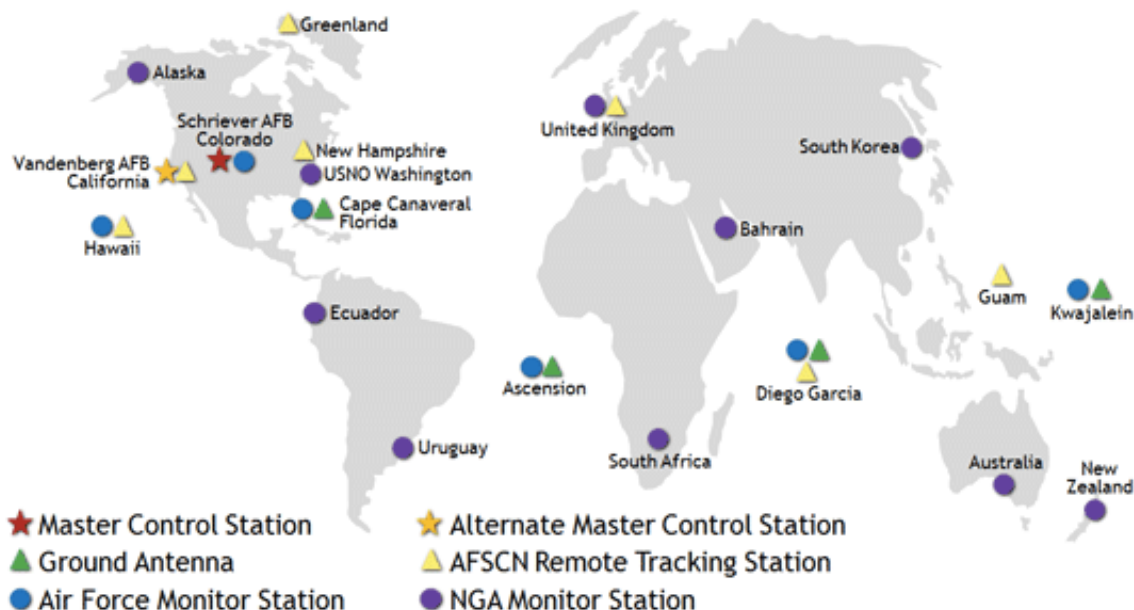


Obrázek 4: Rozmístění umělých družic GPS na oběžné dráze Země (zdroj: gps.gov)

**Řídící segment** GPS zahrnuje světovou síť pozemních zařízení, které sledují GPS satelity na oběžné dráze, monitorují jejich činnost, provádí analýzy provozu a posílají satelitům data a příkazy. Stávající řídicí část se skládá z hlavního řídicího střediska, alternativního hlavního řídicího střediska, jedenácti povelových a řídicích antén a šestnácti monitorovacích stanic.

Hlavní řídicí středisko umístěné ve státě Colorado, USA provádí primární řízení systému, generuje a nahrává do systému navigační informace a zajišťuje zdraví a přesnost konstelace družic. Zpracovává obdržené polohové informace od monitorovacích stanic, využije je k výpočtu přesných poloh GPS satelitů na oběžné dráze a následně posílá tuto informaci satelitům. Středisko zároveň provádí údržbu satelitů, monitoruje integritu systému a v případě poruchy satelitu může zbylé satelity přestavět tak, aby byla dále zajištěna optimální konstelace.

Monitorovací stanice zaměřují GPS satelity když prolétávají nad nimi a posílají svá pozorování zpět na hlavní řídicí středisko, společně se sesbíranými atmosferickými daty a navigačními signály. Pozemní antény jsou používány pro komunikaci s GPS satelity pro povelové a řídicí účely.



Obrázek 5: Řídící segment GPS (zdroj: gps.gov)

**Uživatelský segment** tvoří GPS přijímací zařízení, které dostává signály z GPS satelitů a s jejich pomocí pak počítá uživatelovu třídímenzionální polohu a čas.

Princip určení polohy uživatele pomocí GPS je založený na dálkoměrném systému trilaterace. Velmi přesnými hodinami se změří doba, za kterou signál urazí vzdálenost od satelitu k přijímači. Protože rychlost šíření vlny je známá a je rovna rychlosti světla, snadno se vypočte vzdálenost uživatele od satelitu na oběžné dráze. První satelit zaměří uživatele někde na ploše Země. Druhý zaměřený satelit zužuje možnost polohy uživatele do oblasti ohraničené dvěma kulovými plochami. Třetí satelit sníží výběr na dva možné body a čtvrtý satelit vypočítá korekci času a vybere jeden ze dvou bodů jako polohu přijímače. Pro určení přesné polohy uživatele je tedy nutné pro přijímač vidět na obloze alespoň 4 satelity.

### 3.2.1 Přesnost určení polohy pomocí GPS

Určení polohy uživatelského přijímače pomocí Globálního polohovacího systému však není zcela přesné. GPS přijímač musí při výpočtech brát v potaz širokou škálu nepřesností a výsledná určená poloha uživatele se jistě liší od jeho skutečné polohy. Pojďme si představit zdroje chyb měřené polohy a jejich velikosti, pro zvážení použitelnosti systému při automatizovaném pojiždění.

Zprv je chyba uvažovat, že se signál od satelitu k přijímači šíří rychlostí světla a tuto rychlost použít k výpočtu této vzdálenosti, neboť tak rychle se signál šíří pouze ve vakuu.

Při průchodu nabitými částicemi v **ionosféře** se vlna láme a musí urazit delší cestu. Velká část chyby způsobená ionosférickou refrakcí se dá napravit matematickým modelováním, stále však jde o jeden z nejvýraznějších zdrojů chyby.

Nepřesnost určení polohy způsobuje také spodnější část atmosféry zvaná **troposféra**, která je plná vodní páry a proměnlivých teplot a tlaků. Velikost chyby, kterou způsobuje troposféra, již však není tak velká a také se dá snížit matematickým modelováním.

K polohovým výpočtům je nutné znát přesné polohy umělých družic na oběžné dráze Země, tzv. **efemeridy**. Přestože družice mají dobře popsateľný pravidelný oválný orbit, na jejich oběžný pohyb působí slunce a měsíc a jejich dráha se tak může nepatrně lišit. Dochází tak k další nezanedbatelné chybě.

Když se GPS signál dostane k zemskému povrchu, může být odrážen různými překážkami než se dostane k přijímači. Tato chyba se nazývá **vícecestné šíření**, jelikož na přijímač první dorazí nereflektovaný signál a poté další zpožděné signály. Pokud je odražený signál silný, může zmást přijímač a způsobit chybné výpočty.

Sám **přijímač** není bezchybný a jeho konstrukce, vlastnosti a metodika výpočtu polohy uživatele ovlivňují výsledek měření, stejně jako signálový šum.

Nakonec ještě hrají velkou roli atomové **hodiny** umístěné v umělých družicích které, ač velmi přesné, jsou vystaveny šumu a relativistickým efektům. Seběmenší odchylka od přesného souřadnicového času se promítne do nejistoty v určení polohy až 2 metry.

Až do roku 2000 byla navíc v GPS aktivována tzv. selektivní dostupnost, záměrné opatření americké vlády, které způsobovalo chybu ve změření polohy až 45 metrů. To mělo za cíl zabránit zneužití polohového systému, například k navádění balistických střel. Opatření se zrušilo po vyvinutí pozemního zařízení k rušení GPS signálu.

chyba	velikost
ionosféra	4 m
troposféra	0,5 m
efemeridy	2,5 m
vícecestné šíření	1 m
přijímač	0,5 m
družicové hodiny	2 m
<b>celkem</b>	<b>10,5 m</b>

Po sečtení všech příspěvků chyb určení polohy se dostáváme na 10,5 metru [6]. Tak vysoká výsledná nejistota v zásadě nečiní závažné problémy při použití GPS za letu, kde je dostatek prostoru pro stálé udržování bezpečných odstupů od překážek a ostatního provozu. Avšak ve vysoce přesném pozemním provozu, kde je zapotřebí precizních manévřů, je integrace GPS v základní podobě nemyslitelná.

Protože je mnoho odvětví, pro které je taková přesnost nedostatečná, byla vyvinuta řada zpřesňujících, tedy podpůrných systémů, které rozšiřují základní GPS a s kterými lze docílit větší přesnosti v určení polohy či zlepšení integrity a dostupnosti, prostřednictvím integrace externí informace do polohových výpočtů.

### 3.2.2 GPS Augmentace

Rozlišujeme tři základní způsoby rozšíření GPS, podle umístění zařízení provádějící korekturu polohových výpočtů. Poslední dvě metody zpřesňují určení polohy uživatele pomocí korekční referenční stanice.

- ABAS (Aircraft Based Augmentation System)
- GBAS (Ground Based Augmentation System)
- SBAS (Satellite Based Augmentation System)

#### 3.2.2.1 Aircraft Based Augmentation System (ABAS)

Pokud za letu dojde z nějakého důvodu k degradaci úrovně GPS signálu, vypočtená poloha letadla může být zatížena velkou chybou. Při používání standartního systému GPS ale tato chyba není odhalena a mohla by znamenat značné zhoršení kvality navigačního vedení letadla po trati. Z tohoto důvodu byly vyvinuty ABAS systémy, které sice **nezvyšují přesnost systému**, ale monitorují integritu přijímaného signálu. Toho lze docílit třemi způsoby.

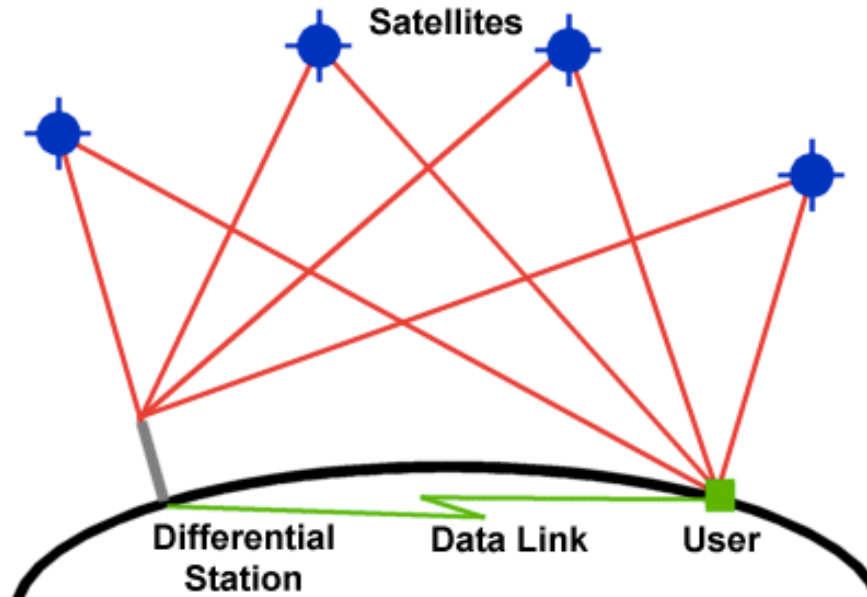
1. Kombinací GPS s jiným polohovacím systémem jako GLONASS. To zvýší počet satelitů ve výhledu a použitím dvou frekvencí se sníží efekt propagace chyb v systému [7]. Tato metoda dopodud není schválená pro využití za IFR podmínek.
2. **RAIM** (Receiver Autonomous Integrity Monitoring) monitoruje integritu GPS signálu pravidelným nahrazováním jednoho ze čtyř satelitů pro získání 3D polohy jiným satelitem. Průběžným pozorováním dokáže systém identifikovat závadný satelit.

3. **AAIM** (Aircraft Autonomous Integrity Monitoring) zajišťuje integritu inerciálními navigačními systémy, které dokážou integritu GNSS dat zkontrolovat při nedostupnosti systému RAIM.

Přesnost určení polohy uživatele vylepšují následující dvě GNSS rozšíření.

### 3.2.2.2 Ground Based Augmentation System (GBAS)

GBAS označuje rozšiřující systém GPS, který ke zpřesnění polohových výpočtů využívá pozemních radiových signálů. Tento systém, který se jinak nazývá **diferenciální GPS** (DGPS), poskytuje poziční korekci GPS signálu pomocí kooperace mezi dvěma přijímači - jedním pozemním statickým a jedním pohyblivým, který ovládá uživatel a který provádí polohové výpočty. **Systém dokáže eliminovat běžné chyby na obou z těchto přijímačů, kromě chyb z vícecestného šíření signálů** (protože ty se přihodí v těsné blízkosti zařízení) **a chyb přijímače** (neboť ty jsou unikátní pro daný přijímač). Základem systému je statický přijímač, velmi přesně umístěný na místě o známých zeměpisných souřadnicích, tzv. referenční stanice, která dává satelitním pozičním výpočtům pevný lokální referenční bod.



Obrázek 6: Schéma DGPS (zdroj: [www.beacon-egypt.com](http://www.beacon-egypt.com))

Referenční stanice přijímá stejné GPS signály jako běžný umělý GPS satelit, ale pracuje opačně. Místo toho, aby s využitím časových signálů počítala svou polohu, počítá pomocí informace o své známé poloze čas. Zjistí, jaká by měla být doba cesty signálu a porovná ji se skutečnou dobou přenosu. Tato diference mezi dvěma časovými údaji, která dala systému jeho název, se nazývá časový korekční faktor. Stanice pošle dále korekční faktor

do přijímače uživatele, aby ten mohl opravit své výpočty. Protože referenční stanice nemůže vědět, které z mnoha umělých družic může pohyblivý přijímač právě využívat k zjištění své aktuální polohy, stanice rychle propočítá chyby všech dostupných satelitů, zakóduje tyto informace do standardního formátu a pošle pohyblivým přijímačům.

**Přesnost určení polohy** se odvíjí od vzdálenosti přijímače od referenční stanice, maximálně se uživatel může pohybovat 200 námořních mil (370 kilometrů) daleko [8]. Některé kompenzované chyby se však liší s místem vzniku, zejména chyby v efemeridách družic a ionosferické a troposferické zpoždění. Pokud je uživatel daleko od referenční stanice, je možné, že se stav ionosféry v místě stanice a uživatele liší. Referenční stanice však opravuje chybu způsobenou ionosferickou refrakcí pouze v její lokalitě. Z tohoto důvodu se přesnost systému GBAS s rostoucí vzdáleností přijímače od referenční stanice snižuje zhruba o jeden metr na každých 160 kilometrů. Oproti standardní GPS, která dosahuje přesnosti určení polohy cca 10 metrů, **GBAS dokáže spolehlivě určit polohu uživatele s nejistotou v řádu desítek centimetrů**, při nízké vzdálenosti od referenčního bodu [9]. S použitím moderních sofistikovaných metod jako je post-processing lze dosáhnout ještě dalšího značného zpřesnění určení polohy, přesnost měření pak dosahuje nejistoty pouze v řádu centimetrů, v závislosti na vnějších vlivech. Tyto metody jsou však pro letecký obor nepoužitelné, neboť nepodávají informaci o poloze v reálném čase, ale až se značným zpožděním.

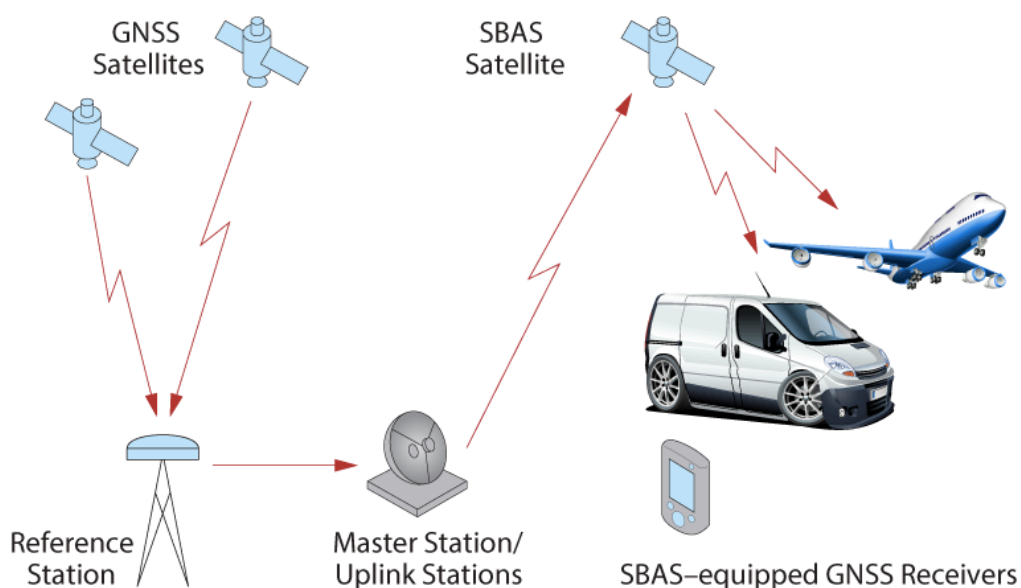


Obrázek 7: Referenční stanice DGPS v České republice (zdroj: [www.opd.cz](http://www.opd.cz))

### 3.2.2.3 Satellite Based Augmentation System (SBAS)

Satelitní augmentační systém vylepšuje přesnost a integritu základní GPS pomocí konstelace geostacionárních satelitů na oběžné dráze a soustavy pozemních referenčních a zpracovávacích stanic. Oproti GBAS je vhodný zejména pro využití na rozsáhlém území.

Síť pozemních referenčních stanic, rozmístěných rovnoměrně po celém pokrývaném území, přijímají signály od GPS satelitů a přeposílají je do hlavní stanice. Stejně jako v případě GBAS počítá hlavní zpracovávací stanice satelitního systému se známou informací o přesné poloze referenčních stanic a s její pomocí vypočítává korekce v reálném čase. Hlavní stanice sbírá korekce od všech referenčních stanic a zasílá je v pravidelném intervalu 5 sekund do SBAS satelitu, odkud se šíří ke koncovým uživatelům.



Obrázek 8: Princip SBAS (zdroj: Novatel)

Oproti pozemní augmentaci GBAS, která využívá pouze jedné referenční stanice ke korekci a výpočtu polohy, SBAS má k dispozici celou síť referenčních stanic rozmístěných na velké oblasti. Korekci ionosferické refrakce proto provádí ve více místech zároveň a chyba měření polohy se tak neodvíjí od vzdálenosti uživatele a referenční stanice.

Přesnost pozemní a satelitní augmentace GPS se liší. Výhoda SBAS je, že jeho chyba určení polohy je po celém pokrytém takřka stejná [10]. Jeho přesnost je však limitována počtem referenčních stanic v pokrývaném území.



***Pro adresování problematiky pojiždění je GBAS vhodnější volba. Přesnost určení polohy se snižuje se vzdáleností od referenční stanice, nicméně při umístění stanice do blízkosti letiště dosahuje systém značně přesnějších výsledků než SBAS.***

Do budoucna se počítá s vzájemným doplňováním obou systémů v zájmu prevence *spoofingu* (falešných signálů) [11] a ve smyslu použití satelitních podpůrných systémů GPS pro navigaci při fázi letu a přiblížení kategorie I a lokálních pozemních augmentačních systémů instalovaných na jednotlivých letištích pro navigaci ve fázi přesného přiblížení pouze kategorie II a III [12] a potažmo také pro pojižděcí účely.

#### **3.2.2.4 Současné využití v dopravě**

Jak GBAS, tak SBAS jsou systémy, které nejsou v dopravě žádnou novinkou, ba i v letectví jsou již dlouho zaběhlé. Diferenciální GPS a celková pozemní augmentace GPS je rozšířená všude po světě pro účely přesnějšího měření v mnoha oblastech lidské činnosti jako je zemědělství, stavebnictví nebo geografie. Na světě již stojí stovky referenčních stanic a to nejen ve vyspělých krajinách, nýbrž i státech jako je Bangladéš, Panama nebo Vietnam [13].

##### **DGPS v tuzemsku**

V České republice se začala psát historie DGPS v roce 2008, kdy byla zbudována jedna korekční stanice, za účelem zlepšení navigačních podmínek v české říční dopravě. Stojí v těšné blízkosti řeky Labe v obci Obříství nedaleko od Mělníka a její výstavba vyšla Ředitelství vodních cest České republiky na bezmála 25 milionů korun. Zatímco při používání GPS bez korekčních signálů docházelo běžně k chybám v určení polohy až 50 metrů, při použití DGPS změní proplouvající lodě svou polohu s přesností 0,5 až 2 metry, nezávisle na terénu [14]. Významně se tak zvýšila bezpečnost plavby a zjednodušil průjezd obtížnými plavebními úseky.

Dnes v tuzemsku provozuje dalších síť 23 referenčních stanic GBAS Zeměměřický úřad a komerčně nabízí svůj produkt pod názvem CZEPOS, přičemž garantuje nepřesnost určení uživatelské polohy do pouze 10 centimetrů. Využití systému v letecké dopravě je však v Česku zatím minimální.

## GBAS Landing System

V letectví zatím našel GBAS využití jako nástroj k provedení přesného přiblížení. GBAS Landing System, neboli GLS, byl vyvíjen od počátku nynějšího milénia a první GLS přiblížení bylo provedeno v roce 2012. Nabízí mnohem větší flexibilitu než systém ILS a má potenciál ho jednou nahradit. K provedení GBAS přiblížení nepotřebuje posádka žádné další certifikace nad rámec ILS přiblížení, pouze letadlo musí být schváleno pro provádění LPV (či GBAS) přiblížení. Na straně letiště je nutné vybudování lokální referenční stanice. Jelikož chyba změření polohy letadel se se vzdáleností od referenční stanice zvyšuje, nepřesahuje tato vzdálenost typicky 3 námořní míle od letiště a navigace dotčených letadel se uskutečňuje z maximální vzdálenosti 20 námořních mil, pro dosažení dostatečně přesných výsledků. Jediný výrazný rozdíl pro posádku v provedení přiblížení je nutnost navolení pětimístného čísla kanálu, místo obvyklé ILS radiové frekvence.

Navíc GLS přináší řadu výhod. Dokáže například, na rozdíl od ILS, obsluhovat vícero přiblížení na několik přistávacích drah zároveň. Nezabírá škálu radiových frekvencí – jen jedna frekvence stačí k zajištění všech systémových přiblížení, kterých může být až několik desítek. Dokáže počítat s posunutými prahy na přistávací dráze i s nelineárními sestupovými rovinami. Navíc předvedená přesnost systému při jeho certifikaci činí velmi solidní maximálně  $\pm 1$  metr [15]. Moderní letadla jako Dreamliner nebo A350 mají avioniku potřebnou pro provedení GLS přiblížení ve standardní výbavě a očekává se, že systém GLS jednou ILS zcela nahradí [16].

GBAS je v současnosti jediná satelitní navigace, schopná provést přesné přiblížení, přistání a dobrzdění. Zatím je její provoz limitován do podmínek kategorie I, ale americké i evropské letecké orgány se nyní snaží zakomponovat požadavky pro kategorii II a III do legislativního rámce [17]. GBAS Landing System je v současné době instalován už na více než stovce letišť po celém světě, z evropských například ve Frankfurtu, Zurichu nebo Malaze. Na pražském letišti doposud nebyl instalován.

***Kombinace světové sítě již vybudovaných referenčních stanic, minimální nutnost jejich údržby, vysoká přesnost systému ověřená z ne nepodobných podmínek lodní dopravy a malá finanční náročnost dělají z DGPS ideálního adepta pro využití v automatickém pojižděcím systému.***

Využití GBAS pro pojižděcí účely je tak logické pokračování současného vývoje.

## WAAS a EGNOS

Wide Area Augmentation System je regionální satelitní augmentační systém GPS (SBAS), provozovaný americkým federálním leteckým úřadem FAA určený pro podporu letecké navigace napříč Severní Amerikou. Při jeho aktivaci v roce 2003 se počítalo s použitím pro čistě letecké účely, v dnešní době jsou však GPS přijímače s WAAS podporou dostupné široké veřejnosti. Systém vykazuje v praxi nepřesnost v určení polohy ve vertikální ose i v horizontální ose 1,6 metru, 95% času [18].

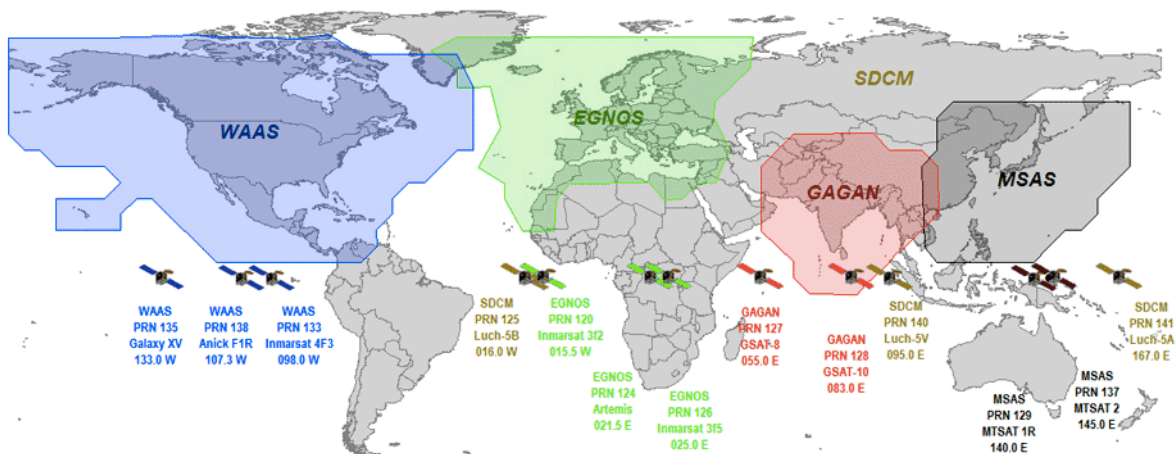
Z důvodu pozice WAAS geostacionárních satelitů nad rovníkem však může být příjem nerušeného signálu pro obyvatelstvo žijící daleko od rovníku značně ztížený, pokud překážky jako stromy nebo hory blokují výhled na horizont jižním směrem. Lidé ze Severní Ameriky pravděpodobně nezaměří WAAS družice, pokud je jejich pohled zastřen pod úhlem větším než 20° [9] a navigace tak pozbývá smyslu pro pozemní použití.

WAAS nabízí velmi přesnou a jednoduchou navigaci za cenu jednoho přijímače instalovaného na letadle. S jeho pomocí je možné provést přesné WAAS LPV (Localizer Performance With Vertical Guidance) přiblížení. Není nutná žádná přídavná infrastruktura na straně letiště, pouze vývoj přibližovacích procedur. Jelikož je toto řešení získání přesného přiblížení pro letiště řádově levnější než instalace ILS, získal si tento systém v Severní Americe velkou oblibu a nyní je dostupný na tisících letištích napříč Spojenými státy, v Kanadě a Mexiku.

Evropský geostacionární navigační služba (EGNOS) je evropská aplikace systému SBAS, vyvinutá v roce 2009 Evropskou kosmickou agenturou společně s EUROCONTROL, interoperabilní s americkým WAAS. Kosmický segment je složen ze třech geostacionárních družic. Systém byl vytvořen, narozdíl od americké verze, pro širokou škálu oborů a pomáhá nejen v letectví, nýbrž i v zemědělství, kartografii nebo lodní dopravě. Jeho certifikovaná přesnost činí 3 metry v horizontální rovině a 4 metry ve vertikální. EGNOS dokáže kromě GPS provést korekci i GLONASS signálu a po spuštění navigačního systému Galileo bude spolupracovat i s ním.

Stejně jako WAAS začal i EGNOS sloužit pro potřeby přesného GPS přiblížení. V roce 2016 bylo po jeho certifikaci pro přiblížení kategorie I s výškou rozhodnutí 200 stop provedeno první evropské EGNOS LPV přiblížení na letišti Charlese De Gaulla v Paříži.

Po prokazatelném úspěchu těchto systémů se ve světě nyní snaží další státy vyvinout svůj vlastní satelitní augmentační systém. V současnosti jsou v provozu ještě další dva regionální státní SBAS, a to japonský MSAS a indický GAGAN. Další dva vyvíjí Rusko (SDCM) a Čína (SNAS).



Obrázek 9: SBAS pokrytí a družice ve světě (zdroj: GENEQ Inc.)

### 3.3 Head Up Display

Transparentní panel, kterým jsou vybaveny moderní letadla a na který jsou promítány informace o letu se nazývá Head Up Display. Jeho hlavní bezpečnostní benefit spočívá v eliminaci pilotovy potřeby střídat pohled před letadlo s pohledem na displeje a indikátory v kokpitu a ztrácet tak vizuální kontakt s okolím letadla. HUD umožňuje pilotovi při přiblížení nepřetržitý pohled před sebe, bez ztráty informací nutných pro provedení bezpečného přiblížení a přistání. Navíc odpadá nutnost přeastřít svůj zrak mezi sledováním blízkých přístrojů v kokpitu a vzdáleným okolím.



Obrázek 10: Pohled skrz Head Up Display při přiblížení (zdroj: airliners.net)

Head Up Display sám o sobě nepomáhá k lepší viditelnosti objektů před letadlem, pouze zobrazuje navigační a polohové informace do vhodného zorného pole před pilota. V současné době se pro pojiždění téměř nevyužívá. V kombinaci s jinými pokročilými technologiemi však může být pro tyto účely důležitým stavebním článkem.

### 3.4 Enhanced Vision System

Termín Enhanced Vision System označuje pokročilé technologické systémy, které augmentují pilotův zrak. Systém typicky obsahuje infračervenou kameru umístěnou na přídě letadla, jejíž obraz je přenášen buď na Head-Up Display před pilotův zrak, nebo na displej v panelu kokpitu. Účel EVS je umožnit vzlet, přistání a pojiždění ve zhoršených dohlednostních podmínkách, kdy by tyto úkony jinak nebyly možné.

EVS je založen na termografickém principu FLIR (Forward Looking Infrared Camera), tedy detekci elektromagnetického vlnění dopadajícího na kameru a následné transformaci na černobílý obraz znázorňující teplo vyzařující z letištních světel a dalších objektů. Díky tomu umožňuje vidět skrz tmou, déšť, sníh, nebo mlhu. Objekty zobrazené na displeji uvnitř kokpitu jsou v souladu s okolím a v přesném poměru, což pilotovi ve snížené dohlednosti dovoluje bez problémů přejít mezi čtením Head Up Displeje a standartním výhledem z kokpitu.



Obrázek 11: Enhanced Vision System instalovaný v letadle Gulfstream (zdroj: Gulfstream)

Výhoda Enhanced Vision System je, že bezpečnost je zvýšena téměř v každé fázi letu, zejména během přiblížení a přistání. Pilot je při přiblížení schopen rozpoznat prostředí přistávací dráhy dříve ve fázi přípravy na přistání. Překážky jako terén nebo vozidla, které by jinak nemusely být viditelné, jsou jasně zřetelné na infračerveném obrazu.

System není v reálném provozu dlouho, byl už však shledán natolik spolehlivým, že si vysloužil certifikaci pro přiblížení kategorie I s tou výjimkou, že letadlo s funkčním EVS může ve finální fázi přiblížení sestoupit níže než je standardní minimum výšky rozhodnutí pro kategorii I (100 ft) i pokud pilot nemá vizuální kontakt s přistávací dráhou, v případě že je zřetelná na EVS obrazu [19].

## 4. Vedení letadla po jezdových drahách

Již víme, že moderním dopravním letadlům dnes nedělá žádný problém automaticky přistát i při teoretické nulové viditelnosti, za předpokladu vybavenosti patřičnými technologiemi, jak na straně letiště, tak letadla. To však ještě nestačí ke zdárnému ukončení letu, neboť pojezdění z dráhy na stojánku nebo opačně představuje pro piloty další nástrahy, které mohou vyústit ve fatální nehody.

Vzpomeňme na největší leteckou katastrofu v dějinách z roku 1977, kdy se na španělském ostrově Tenerife srazili na letišti právě za snížené dohlednosti dva Boeingy 747. Tragédie si vyžádala 583 lidských životů. Příčinou srážky byl neoprávněný vstup na runway. Je velice pravděpodobné, že s adekvátním pojezděním systémem by se nehoda nepříhoda. Pojďme se tedy nyní zaměřit na nynější pozemní provoz (nejen) za stavu nízké dohlednosti.

### 4.1 Problémy spojené s pojezděním při nízké dohlednosti

Již na přelomu tisíciletí se problematice pojezdění za snížené dohlednosti začal věnovat americký národní úřad pro letectví a kosmonautiku NASA, s cílem vylepšit efektivitu pozemního provozu dopravních letadel v podmínkách až po CAT IIIB, při zachování velkého stupně bezpečnosti.

Pro správnou identifikaci a porozumění problémům a jiným situacím, se kterými se piloti setkávají při pojezděním za zhoršených dohlednostních podmínek, bylo téměř 50 posádek v kokpitu monitorováno během běžných komerčních letů [20] a následně dotazováno na jejich poznatky [21]. Na základě těchto pozorování byly vyhodnoceny základní problémy při pojezděním ve zhoršených viditelnostních podmínkách:

- zhoršené situační povědomí z důvodu ztráty vizuálních pomůcek, promítající se do nižší pojezděcí rychlosti, větší zátěže a sníženého sebevědomí ve své schopnosti
- navigační problémy kvůli špatné čitelnosti vizuálních navigačních prostředků, ústící ve vyjetí mimo danou trasu, což ohrožuje jak bezpečnost, tak efektivitu pojezdění
- neefektivní komunikace mezi pozemním řízením letového provozu a kokpitem, znamenající kongesci radiové frekvence, pletení volacích značek a prodlevy během udělování povolení

- zvýšená zátěž z důvodu častějších pokynů k pojízdné trase, *hold-short* instrukcí a uspíšenému křížování dráhy
- úskalí spočívající v nutnosti přizpůsobit se dalším letadlům na letištní ploše a pojíždět v souladu s nimi

Tyto primární úskalí, se kterými se musí piloti při zhoršené dohlednosti potýkat, způsobují nižší plynulost pozemního provozu a mohou vyústit i v nebezpečné situace. Budoucí pojízdný systém by měl ideálně adresovat všechny tyto problémy.

## 4.2 Informační požadavky

K dosažení cíle zvýšení efektivity pozemního provozu za zhoršených meteorologických podmínek je nutné přesně vědět, které informace jsou posádce běžně dostupné při dobré dohlednosti, ale jsou naopak hůře dostupné, nebo úplně nedostupné při snížené dohlednosti. Informační požadavky můžeme dobře rozdělit na dva druhy: **globální povědomí** a **lokální povědomí**.

Do informací, které pilotovi přispívají k získání globálního povědomí, patří vzdálené a nadcházející křižovatky pojízdných drah a křížení s vzletovými a přistávacími drahami, navigační referenční body jako nástupní brány, budovy, hangáry, terminály a dále také poloha a identifikace ostatních letadel a vozidel na letištní ploše. Při velmi nízké dohlednosti jsou informace o globálním povědomí pilotům nezřídka zcela nedostupné.

Informace o lokálním povědomí jsou získávány z vizuálních pomůcek na ploše, které piloti využívají k řízení a navigování letadla v oblasti, kde se právě nacházejí. Viditelnost těchto pomůcek, jako jsou návěstidla, příčky nebo středová linie pojízdné dráhy a její osvětlení, je při špatných meteorologických podmínkách silně snížena.

Informační požadavky na široce využitelný budoucí pojízdný systém by měly být definovány tak, aby zavedly globální povědomí pilotů, které úplně chybí a rozšířily lokální povědomí, které je značně degradováno.

## 4.3 Současné možnosti pozemního vedení letadla

Stěžejní vlastnost jakéhokoliv takového systému je zajištění viditelnosti tratě, po které má letadlo pojíždět. Toho se dnes při pojíždění při nízké dohlednosti docíluje tradiční cestou, tedy jejím osvětlením pomocí statických či pohyblivých světél. Taková metoda však



nejenom že není hodna dnešní moderní doby informačních technologií, je navíc značně nespolehlivá.

***Při mírně snížené dohlednosti zajistí jasná světla provoz na daném letišti, za cenu nižší efektivity poježdění. V situaci, kdy je dohlednost degradována značně, ztrácí iluminační metody na efektu úplně.***

### 4.3.1 Vozidlo Follow-Me

Jak bylo zmíněno v úvodu, současnou stále nejvyužívanější metodou usnadnění pozemní navigace na letišti je vozidlo *Follow Me*, auto výrazného, obvykle kostkovaně žlutočerného zbarvení se žlutými majáčky na střeše, pro docílení jeho co nejvyšší viditelnosti. Jeho využití se však liší od letiště k letišti a nepoužívá se jen pro navigaci při snížené dohlednosti, i když tento účel je z hlediska bezpečnosti nejpodstatnější. V případě, že posádce není dostatečně známé prostředí daného letiště, obzvláště na letištích s komplikovaným systémem poježděcích drah a posádka si tak není jista nalezením správné cesty z přistávací dráhy na přidělenou stojánku, může požádat o dovedení na své stanoviště *Follow Me* vozidlem. Žluté auto je důležitý nástroj pro provoz letiště také v období nefunkčního osvětlení poježděcích drah, během rekonstrukcí nebo například při výměně navigačních znaků.



Obrázek 12: Lamborghini Huracan právě dovedlo na stojánku Boeing 777 v italské Boloni (zdroj: Aeroporto di Bologna)

Použití vozidel Follow Me na letišti Václava Havla v Praze je popsáno v letecké informační příručce řízení letového provozu České republiky. Pokud jsou v účinku pravidla pro provoz za nízké dohlednosti, přikazuje příručka všem letadlům po přistání zastavit před vjezdem na odbavovací plochu příslušné pojízděcí dráhy a vyčkat na vozidlo Follow Me, které je zavede na příslušné místo stání. Dále je specifikováno, že vedení Follow Me vozidlem ke stojánce je povinné za každých okolností pro nadprůměrně velká letadla Boeing 747-8, Airbus A380, Antonov 124 a Lockheed C5, z důvodu jejich ztíženého manévrování.

Tento způsob dovedení letadla na své místo stání funguje i při velmi nízké dohlednosti poměrně spolehlivě a je to způsob finančně nepřilíš náročný. Problém samozřejmě nastává za extrémně nízké dohlednosti, když pilot není schopen ani lokalizovat vozidlo před ním. Další riziko spojené s takovýmto pozemním vedením letadla přichází, když si posádka letadla nesprávně uvědomí, kdy končí úloha Follow Me vozidla – na vyčkávacím místě. Je zdokumentováno mnoho případů, kdy piloti následovali auto dále, přešli stop příčku a neoprávněně vstoupili na runway. Tato metoda tedy jistě potřebuje svého nástupce, v zájmu vyšší bezpečnosti a omezení meteorologických vlivů na letový provoz.

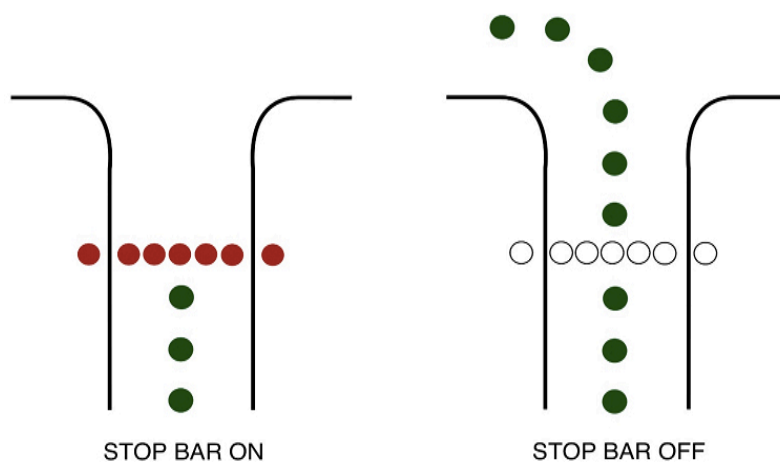
### 4.3.2 Taxiway Guidance System

Na letištích, kde se uskutečňuje provoz kategorie II nebo III, nebo jsou tamější podmínky náročné na pozemní operace, se může instalovat světelný systém zabudovaný v povrchu pojízděcí dráhy, který posádkám letadel pomáhá se snadněji orientovat v nočních podmínkách a při snížené dohlednosti a zároveň snižuje jak pilotům, tak řídicím letového provozu zátěž v podobě nižší potřeby komunikace. Dále pomáhá minimalizovat frekventované omyly, jako je projetí stop příčkou.

*Taxiway Guidance System* se skládá z červeně osvětlených stop příček a zeleně osvětlených os pojízděcích drah. V momentě, kdy je zvolena patřičná trasa pojíždění, se automaticky zapnou zelená světla v celém úseku pojížděné trasy. Pokud jsou zvoleny dva nebo více na sebe navazující pojížděné úseky, systém automaticky zapne zelená světla podél prvního úseku, ukončí ho červeně osvětlenou stop příčkou a zároveň rozsvítí červenou stop příčku na všech křižovatkách, které ústí do schválené pojízděcí dráhy.

Řídicí letového provozu má přirozeně možnost 'přebít' systém a rozsvítit nebo zhasnout červenou stop příčku manuálně, pokud je to nutné. Všechny zelená pomocná světla podél pojízděcích drah vedoucí k vzletové dráze končí na vyčkávacím bodu před vjezdem

na dráhu, kde zůstává zapnutá červená stop příčka až do manuálního zhasnutí řídicím, pro zabránění neoprávněným vjezdům na dráhu.



Obrázek 13: Příklad rozsvícené a zhasnuté stop příčky (zdroj: [www.skybrary.aero](http://www.skybrary.aero))

Instalace pomocného pojížděcího systému umožňuje plynulé vzlety a přistání při snížené dohlednosti, kde by jinak nastaly dlouhé zpoždění a nepravidelnosti provozu. Provoz systému nevyžaduje žádné speciální vybavení na straně letadel ani vozidel, podstatný ale je kvalitní výcvik posádek a řídicích a striktní dodržování zavedených procedur. Pilot musí bezpodmínečně zastavit před červenou stop příčkou a dále pokračovat pouze když dostane povolení, současně se zhasnutím stop příčky. I přes pomocné vedení zelenými světly jsou piloti vybízeni, aby i nadále (pokud možno) prováděli vlastní navigaci s pomocí navigačních znaků umístěných vedle pojížděcích drah pro zachování situačního povědomí v každém okamžiku.

Tento pojížděcí systém má výhodu zejména v odpadající nutnosti vybavit všechna letadla, co chtějí pojíždět s pomocí tohoto systému, jakýmkoliv zařízením. Systém je to značně nenáročný a více než směrová světla dvou barev a technologické vybavení na straně letiště není potřeba. *Taxiway Guidance System* je vlastně pouze Follow Me vozidlo zabudované do letištního asfaltu. Nejde o plnohodnotný automatický systém, nýbrž jen o vizuální pomůcku, která při překročení určitého prahu dohlednosti pozbývá využití. Neschopnost systému zajistit zcela bezpečný provoz až do teoretické dohlednosti nula ho vyřazuje ze souboje o ultimátní pojížděcí systém.

## 4.4 Budoucí možnosti pozemního vedení letadla

Moderní studie a evaluace zaměřené na řešení problematiky pojiždění mají za cíl minimalizovat závislost letecké dopravy na meteorologických podmínkách a na místo světelných jako hlavní navigační pomůcky komponují do předváděných řešení přesné navigační technologie (DGPS), podpořené dalšími letadlovými nebo exténními systémy pro zajištění ovladatelnosti aeroplánu, nebo kamery, zajišťující pilotovi viditelnost okolí jako za IMC podmínek.

Je jisté, že v průběhu dalších let se proveditelným pojižděním systémem začne zabývat více technologických společností. V současné době, kdy probíhá prohlubování významu globálních polohovacích systémů, certifikace těchto systémů pro přesná přiblížení a implementace do reálného provozu, je nevyhnutelné jejich uvedení i pro potřeby pozemní navigace letadel.

Tři možná řešení pojižděcí problematiky jsou představena na následujících stranách. Každá z nich nabízí jiný přístup k problému a jiné klady a zápory.

### 4.4.1 Integrace technologií v kokpitu

Výzkumné středisko NASA Ames Research Center analyzovalo problémy a omezení plynoucí z pojiždění za nízké dohlednosti (viz výše) a po několikaletém vývoji představilo návrh integrace technologií v kokpitu letadla pro pozemní provoz. Cíl výzkumného centra nebyl vývoj nových technologií, nýbrž integrace stávajících zařízení v kokpitu a jejich uzpůsobení k využití při snížené dohlednosti [22]. Meta NASA byla zajistit pilotovi provádějícímu pojiždění při snížené dohlednosti podmínky, jako za IMC podmínek. Přitom byl brán zřetel pouze na provozně-bezpečnostní stránku věci, projekt nijak neřeší problematiku nadměrného hluku či spotřeby paliva.

**Palubní displeje.** Head-Up Display je dnes již instalován v mnoha komerčních letadlech. Tyto moderní displeje, které promítají informace přímo před pilota, aby ani na chvíli nemusel hledět jinam než před sebe, mají velké využití při vzletu a přistání. Pro pojiždění je však zatím využití mizivé. Jako vhodné se také jeví využití elektronický pohyblivých map EMM, které jde snadno zakomponovat do letadel se skleněným kokpitem. Zvukové signály byly zváženy jako nejlepší volba pro upozornění a kritické výstrahy, stejně jako ve fázi letu.

**DGPS.** Diferenciální GPS a elektronická databáze letišť na palubě k poskytnutí přesných informací pilotovi o relativní poloze letadla k pojižděcím a vzletovým a přistávacím drahám.

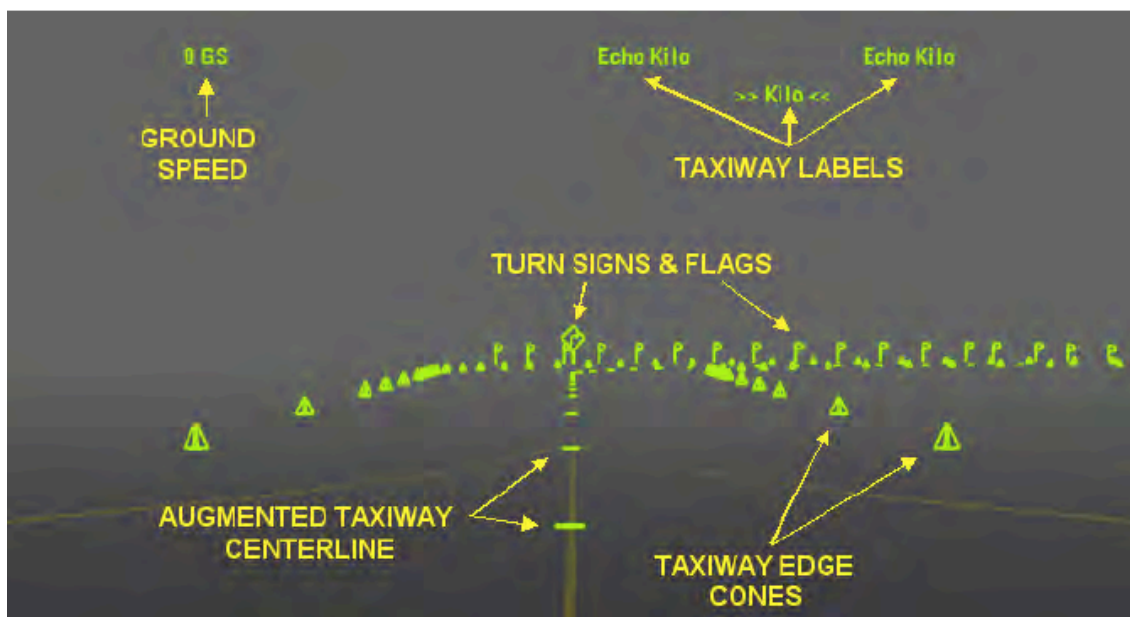
**Pozemní přehledový radar,** který sbírá přehledová data a předává je řízení letového provozu a dalším letadlům a vozidlům pro vyobrazení letištního provozu na palubní obrazovce.

**Datový okruh,** který umožní řízení letového provozu udělovat trasové a řídicí instrukce posádce letadel.

Důležitým krokem bylo vynesení technologických předpokladů, vybrání vhodných základních komponent systému a jejich zaintegrování do kokpitu. Důraz byl kladen na využití stávajících technologických zařízení v kokpitu a jejich rozšíření, intuitivnost ovládání a na přizpůsobení řízení letadla na zemi tak, aby co nejvíce korespondoval s řízením letadla za letu.

Stanovení požadovaných informací pro nynější pojiždění a vyhodnocení výzkumu zaměřeném na interakci pilota s palubními navigačními displeji [23] vedlo k určení adekvátní systémové charakteristiky a požadavků na filosofii designu systému. Řízení letadla by mělo být maximálně uživatelsky přívětivé tak, aby pilot ideláně potřeboval jen krátké zaškolení pro ovládání takto vybaveného letadla.

- Docílení globálního povědomí posádky pomocí perspektivní elektronické pohyblivé mapy EMM, navržené pro navigační orientaci, ne však pro zatáčení nebo udržování na středové čáře.
- Vylepšení (případně zavedení) viditelnosti lokálních vizuálních navigačních pomůcek jejich virtuálním promítáním na Head-Up Displeji.
- Lokální navádění pouze pomocí HUD, tak aby bylo nutné jen občas kouknout dolů na elektronickou pohyblivou mapu pro udržení globálního povědomí.
- Při vyjetí mimo určenou pojižděcí dráhu zavedeny zvukové výstrahy, stejně tak pro upozornění na ostatní provoz.



Obrázek 14: Využití HUD pro pojízděcí účely (zdroj: NASA Ames Research Center)

Head Up Display umožňuje kvalitní výhled na důležité navigační body z pilotní kabiny i při snížené dohlednosti. HUD zobrazí virtuální kužele kolem pojízděcí dráhy, zvýrazní středovou čáru a na konci povolené pojízděcí dráhy změni navazující kužely v křížky a rozsvítí virtuální stop příčku. Poskytuje tak všechny důležité navigační pomůcky, které jsou pilotovi běžně dostupné při nezhoršených dohlednostních podmínkách. Kooperace s místním řízením letového provozu zabezpečí, že po udělení trasového povolení se křížky na okraji zakázané pojízděcí dráhy přemění zpět v kužely. Displej dále zobrazuje pozemní rychlost letadla a textové pole s informací o nadcházejících zatáčkách a pozici na letištní ploše, pro podporu pilotova povědomí. HUD nezobrazuje ostatní provoz na letišti, aby na displeji nebyl chaos a nedocházelo k zastínění důležitých informací.

Elektronická pohyblivá mapa (EMM), zabudovaná v panelu kokpitu, poskytuje obou pilotům trasové a řídicí pokyny a informace o ostatním provozu na *head-down* multifunkčním displeji. Mapa není určena k primárnímu řízení letadla a nezobrazuje tak rozpětí křídel nebo polohu hlavního podvozku letadla. Ostatní provoz na letišti je zvýrazněn pomocí ikon pohybujících se v reálném čase a řídicí pokyny jsou prezentovány v řádku textu na spodu displeje. Mapa je dostupná ve čtyřech přiblíženích, které si pilot může nastavit podle preferencí.



Obrázek 15: Zobrazení EMM při pojíždění (zdroj: NASA Ames Research Center)

Zvukové výstrahy jsou zavedeny v korespondenci s akustickými signály upozorňujícími na potenciální nebezpečí v ostatních částech letu. Zvuky přispívají k situačnímu povědomí pilotů a upozorňují na možné problémy. Do systému jsou zakomponovány tři zvukové signály. Zvuková výstraha následovaná hlasovou nahrávkou *Traffic* varuje před ostatním provozem v blízkosti. Tato výstraha je směrová, pokud se tedy hrozba blíží zprava, signál se ozve z pilotova pravého sluchátka pro získání pozornosti jeho pravé strany. Druhý tón s varováním *Hold Short* se ozve, pokud letadlo neoprávněně přejede stop příčku. Třetí, s výstrahou *Off Route*, zazní v případě že letadlo vyjede mimo určenou cestu.



*Obrázek 16: Celkový pohled z pohledu pilota při integraci HUD a EMM (zdroj: NASA Ames Research Center)*

Následovalo ověření proveditelnosti v reálném provozu na letišti v Atlantě v roce 1997, kde se úspěšně prokázala použitelnost těchto technologií v praxi. Do testování se zapojilo 18 posádek ze šesti amerických aerolinek. Bylo pozorováno zvýšení průměrné rychlosti pojíždění o 16% a úplná eliminace navigačních chyb [22].

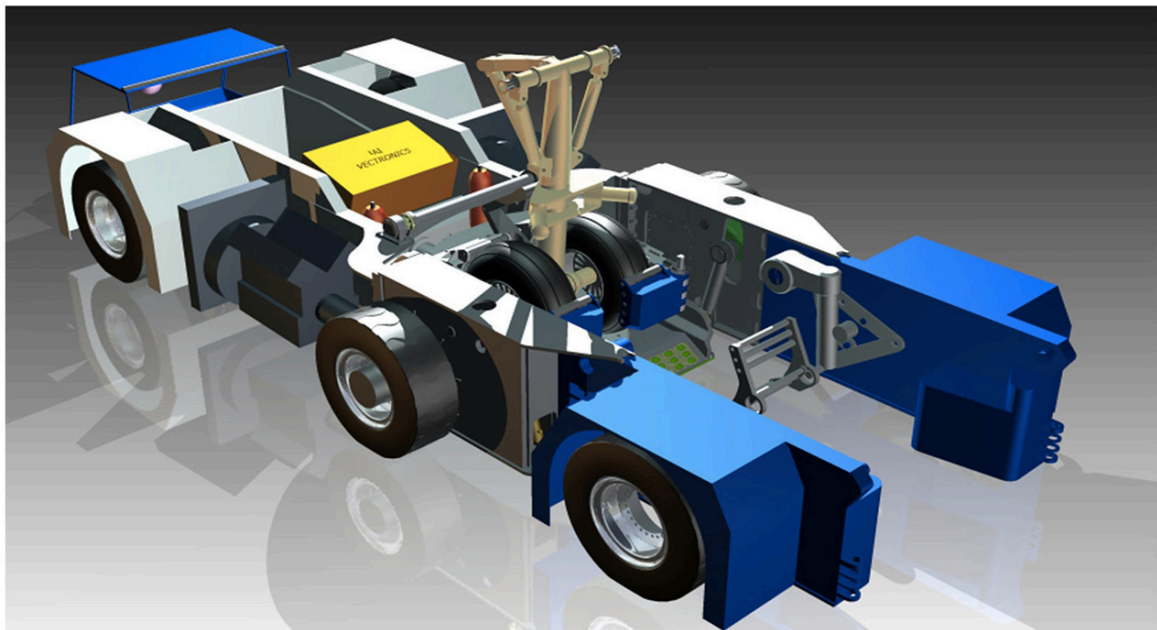
#### 4.4.2 Taxibot

Britské dopravní vývojové studio Ricardo přišlo ve spolupráci s Israel Aerospace Industries v roce 2009 během období ekonomické krize se zajímavým způsobem řešení problémů spojených s pojížděním, když představilo polorobotický tahač zvaný Taxibot - vozidlo podobné těm, které se používají k vytlačení letadla ze stojánky – určený ale nejen k vytlačení letadla, ale i k následnému odtažení letadla až k vzletové dráze, kde teprve letadlo nastartuje své motory a odstartuje.

Vozidlo poháněné dvěma dieselvými motory o celkovém výkonu 1000 koní obsluhuje řidič, který nejprve ručně přichytí přední podvozkovou nohu letadla. Pilot poté ovládá Taxibot z kokpitu, zatáčení předního podvozku je přímo přenášeno do zatáčení Taxibotu. Před vzletovou drahou řidič tahače opět manuálně odpojí Taxibot od předního podvozku



a dojede s vozidlem k jinému letadlu. Samozřejmě funguje i obráceně, není tedy problém odtáhnout letadla po přistání na stojánku.



Obrázek 17: CAD model Taxibotu (zdroj: Ricardo plc)

Hlavní přednost taxibotu je jasná – úspora paliva, což bylo velmi podstatné v tehdejší době ekonomické recese, v dnešní době je to však aspekt neméně důležitý. Israeli Aerospace Industries uvádí, že během pojiždění Boeingem 737 nebo Airbusem A320 se při průměrné době 17 minut ze stojánky na dráhu spálí 1250 litrů leteckého benzínu a vyprodukuje zhruba 3,2 tuny oxidu uhličitého. Taxibot si vyžádá na stejnou operaci pouze 25 až 30 litrů paliva a emituje jen 60 kg CO<sub>2</sub>. Hlukové emise jsou nižší o polovinu [24]. Mezi jeho další výhody patří i nižší opotřebení pohonné jednotky nebo šetření brzd.

Taxibot v roce 2014 prošel certifikací, dostal povolení k tažení letadel Boeing 737 a v listopadu téhož roku vstoupil do pravidelného provozu, když odtáhl první letadlo na komerčním letu ze stojánky na dráhu na frankfurtském letišti. V roce 2017 získal Taxibot certifikaci pro rodinu letadel A320, od modelu A318 až po A321 s jejich NEO verzemi. Nyní tak může obsloužit více než 70% komerčních letů na světě. Letecké společnosti jsou s automatizovaným traktorem spokojeni a v současnosti probíhá příprava pro jeho certifikaci i na širokotrupá letadla.

***Taxibot má však větší potenciál, než jen snížit náklady na palivo. Osazením vhodných technologií by mohl výrazně zlepšit efektivitu pojiždění při nízké dohlednosti.***

Nynější podobu poloautomatického traktoru by bylo zapotřebí inovovat několika opatřeními, pro získání plně automatického pojížděcího systému letadlových tahačů, použitelných za různorodých meteorologických podmínek.



*Obrázek 18: Taxibot a Boeing 737 společnosti Lufthansa na letišti ve Frankfurtu (zdroj: LH LEOS)*

Důležité by nejprve bylo provést konstrukční změnu Taxibotu, aby nebylo nutné podvozek letadla z tahače odpojovat manuálně. Jako logické se dále jeví nahrazení dvou naftových motorů elektrickými, ke snížení emisní stopy. Pro automatické pojíždění by pak byla nevyhnutelná integrace následujících systémů [25].

- GBAS

Metoda pozemní augmentace globálního polohovacího systému DGPS pro určení přesné pozice letadla a jeho navigace. Přesnost systému na menší než jeden metr je dostatečná a finanční náklady na instalaci systému nejsou vysoké z důvodu jejich již současného využívání.

- Data Management System

Systém řízení dat k uložení letových plánů, letadlových specifikací, informací o pojezdových, vzletových a přistávacích drahách a počasí, pro zvolení nejoptimálnější trasy. DMS také vyměňuje informace a pokyny mezi řídícími, posádkami a ostatními Taxiboty.

- Mikrovlnné radarové senzory

Soustavu radarových senzorů s dlouhým dosahem by bylo potřeba instalovat za dvěma účely – pro vyhnutí se překážkám v cestě a pro vyrovnání předového podvozku taženého letadla.

- Noční kamera

Pilot by měl mít v ovládní letadla hlavní slovo. Pokud systém selže, pilot musí mít možnost převzít kontrolu nad letadlem. Přidání kamery s vysokým rozlišením a nočním viděním zajistí pilotovi situační povědomí a umožní mu vidět hrozící nebezpečí i ve zhoršených podmínkách.

Taxibot v současné době adresuje pouze problémy spojené s emisemi. Jeho úspěch však vede k rozvoji této technologie a podobné systémy WheelTug a EGTS International už dělají Taxibotu konkurenci. Oba však pracují na jiném principu – jsou přimontovány přímo na předový podvozek – a jsou tak vhodné pouze pro šetření paliva a snížení hluku. Potenciál Taxibotu je ale větší a jen čas ukáže, jak bude jeho budoucí vývoj probíhat.

#### 4.4.3 Pojíždění s podporou EVS

Enhanced Vision System není systémem určeným primárně k účelům pojíždění, bezpečnost vylepšuje ve všech fázích letu. EVS umožňuje pilotovi vidět skrz déšť, sněžení nebo hustou mlhu a výrazně tak zlepšuje bezpečnost a efektivitu letového provozu. Pro pojíždění má význam zejména pokud je zkombinován s HUD. Pilotovi nabízí mnohem lepší celkovou viditelnost okolí zvýrazněním světel, znaků, vozidel a dalších objektů na letištní ploše. Při dráhové dohlednosti 750 metrů je pilot v závislosti na charakteru objektů před letadlem schopen s pomocí EVS dohlédnout až 3 km [26]. Za stavu snížené dohlednosti nebo v noci je tak pilotův augmentový výhled z kokpitu skrz Head Up Display řádově lepší, než výhled bez použití těchto technologií. Výrazně se tak zvyšuje šance na včasné spatření překážky v cestě letadla.

Další benefit využití systému k pozemním operacím je výrazně nižší zátěž na piloty v průběhu pojíždění, stejně jako značné vylepšení situačního povědomí pilotů. Globální uvědomění pilotů není podpořeno z důvodu limitů systému a omezených možností zobrazení na HUD. Nenáročně by se však dalo zajistit spolupráci s diferenciální GPS, která by ukazovala polohu letadla na elektronické mapě v kokpitu.



Obrázek 19: EVS ve spolupráci s HUD v praxi (zdroj: Fred George, aviationweek.com)

Ač se tato metoda již používá v praxi, její uvedení v budoucích možnostech pojiždění způsobil fakt, že technologii je zatím možné dovybavit zejména do soukromých tryskáčů od několika málo výrobců, jako je Embraer nebo průkopník systému Gulfstream a její využití v komerčních letech s cestujícími je doposud minimální. Limitujícím faktorem je zejména pořizovací cena. Například zákazník výrobce letadel Gulfstream si za dovybavení EVS do tryskáče připlatí přes \$800,000 (18 milionů korun) [27]. Komerční letecké společnosti si takovým systémem vybaví svá letadla až v době, kdy jeho pořizovací náklady bude jasně nižší, než náklady spojené se zpožděným linek nebo jejich občasnými nucenými diverty. Jeho současný překotný vývoj navíc nutí aerolinky vyčkat a poříditi si až 'hotový produkt'.

Enhanced Vision System skrývá velký potenciál. Proč vlastně vyvíjet přesný radionavigační systém pro pojiždění, když lze pomocí EVS augmentovat zrak tak, že vytvoří jasný den z jakýchkoliv vnějších podmínek?

Pokrok ve vývoji systému je slibný. Co nabízí nyní je velmi užitečné, dále však probíhá jeho technologické vylepšování, pro dosažení cíle umožnění provozu v teoreticky nulových dohlednostních podmínkách. Nynější strategie zahrnuje vývoj pokročilého softwaru pro zpracování obrazu, schopného zpracovávat všechny užitečné údaje ze senzorů při poskytnutí maximálního rozlišení obrazu. Probíhají snahy o fúzi se *Synthetic Vision System* (SVS) [28], který s pomocí GPS a geografické databáze nahrazuje konvenční umělý horizont počítačovým 3D obrazem s detailnějším vyobrazením terénu a jiných překážek pro vylepšení situačního povědomí pilota.



Obrázek 20, 21: Porovnání záběru EVS na letištní plochu (nalevo) se standatním pohledem (zdroj: faa.gov)



Tato kombinace dostala název *Combined Vision System* (CVS). V praxi jde o překrytí syntetického zobrazení okolí před letadlem na Head Up Displeji doplněním záběru termografické kamery EVS na Head Up Displeji. Hlavní výhoda tohoto kombinovaného systému spočívá v upřednostněním a vizuálním zvýrazněním různých nebezpečných překážek při přiblížení a přistání. Vývoj a doladění CVS je považováno za podstatný krok k uvedení jeho nástupce *Verified Synthetic Vision System* natolik přesného, že umožní přesné přiblížení a přistání následované pojižděním na stojánku při nulové dohlednosti [29].

## 5. Shrnutí problematiky a slovo závěrem

V bakalářské práci jsem se zaměřil na představení technologií důležitých pro pozemní provoz letadel, dále na seznámení čtenáře s aktuálním stavem problematiky pojiždění a také s metodami pojiždění, které mají potenciál zajistit do budoucna bezpečný a efektivní provoz na letištích.

Analýza radionavigačních technologií souvisejících s pojižděním ukazuje, že současné polohovací systémy jsou natolik přesné, že jim dostatečně precizní lokalizace letadla nedělá problém. Ground Based Augmentation System výrazně zlepšuje přesnost GNSS a je jisté, že do budoucna bude jeho využití po světových letištích stále rozšířenější, díky jeho spolehlivosti a finanční nenáročnosti. Instalací referenční stanice v blízkosti letiště lze docílit určení polohy letadla s nepřesností maximálně pár desítek centimetrů. Pro navigaci po pojezdových drahách je tato přesnost dostačující. GBAS tvoří základ pro jakýkoliv pojižděcí systém.

Ani zajištění viditelnosti okolí pro pilota i při nulové viditelnosti dnes není technologicky nemožné. V současné době se jako nejslibnější pro tento účel jeví využití infračervených kamer, které proměňují zhoršené dohlednostní podmínky v téměř ideální a promítají svůj termografický záběr na Head Up Display přímo před zrak pilota, kterému tak výrazně zvyšují situační uvědomění.

Do systému využívající infračervené kamery pro získání jasného obrazu dění před letadlem (EVS), vkládají letečtí vývojáři největší naděje, co se řešení problémů při pojiždění týče. Poměrně mladý systém prochází v současné době rychlým vývojem, společnosti jako Honeywell nebo Rockwell-Collins se snaží o jeho obohacení systémem syntetické vize. Ten poskytuje počítačové 3D zobrazení terénu před letadlem za pomoci geografických databází a GNSS a dokresluje tak obraz z infrakamery. Bezpečnost a efektivita leteckého provozu by se tak dále zvýšila ve všech fázích letu a zvýšila by se integrita EVS. Tento kombinovaný systém by zároveň umožňoval přesné přiblížení a přistání následované pojižděním na stojánku do teoretické dohlednosti nula.

Již nyní nabízí systém výrazné benefity pro pojiždění a dovoluje provoz v podmínkách jinak nemožných, vysoká pořizovací cena a rychlý vývoj systému však letecké společnosti zatím odrazuje od jeho instalace. Výrobce letadel Boeing prozatím vyjádřil příklonění k instalaci syntetické vize na jejich příštím od nuly vyvíjeném modelu a Airbus několikrát prezentoval svoji zjednodušenou verzi SVS zobrazení na Head Up Displeji v jeho letadlech [30].

Nynější společnosti ani jejich dopravní letadla ale ještě nejsou plně připraveni na implementaci těchto technologií. Displeje v letadlech nejsou přizpůsobeny k syntetickému zobrazení terénu nebo postrádají důležitý Head Up Display.

Letecké společnosti si tento systém nebudou pořizovat do té doby, než jeho využíváním dosáhnou měřitelného užitku nebo snížení nákladů, vynaložených na nadbytečně spotřebované palivo na *go-aroundech*, *divertech* na záložní letiště a odškodnění postižených cestujících. Tyto mimořádnosti jsou ale tak zřídka, že aerolinky v instalaci nevidí ekonomický potenciál. Změna by mohla nastat po potenciální certifikaci systému pro přesné přiblížení kategorie III.

Cílem mé práce bylo zjistit současné možnosti pojiždění za snížené dohlednosti, jejich budoucí vývoj a použitelné technologie. I když je již technologicky možné takový systém vyvinout a zejména v oblasti business aviation jsou různé komponenty již využívány, implementaci takových zařízení v obchodní letecké dopravě nelze v následujících letech očekávat. Aby mohl být takový systém jako celek certifikován, je třeba projít nákladným certifikačním procesem a připravit samotné letiště pro používání takového systému, jak nastavením vhodných postupů, tak technologickým vybavením. Na letištích, kde jsou ale podmínky nízké dohlednosti četné, by se mohlo jednat o rentabilní systém. Protože z textu vyplynulo, že z hlediska palubního vybavení je možné takový systém instalovat, právě příprava letištních provozních postupů a radionavigačního vybavení letiště by mohla být vhodným námětem mé příští práce.

## 6. Použité zdroje

1. BLOKHIN, Andriy. *To what extent will changing fuel costs affect the profitability of the airline industry?* Investopedia [online]. 3 srpen 2015, [cit. 25.8.2017] Dostupné z: [www.investopedia.com](http://www.investopedia.com)
2. MOUAT, Lucia. *Towing airplanes: Will it save fuel?* In *Christian Science Monitor*. Boston, MA, 8 leden 1981, s. 9.
3. *Evropská komise: Commission Regulation (EC) No 859/2008*. [online] 20 srpen 2008, [cit 25.8.2017] Dostupné z: [www.skybrary.aero/bookshelf/books/818.pdf](http://www.skybrary.aero/bookshelf/books/818.pdf)
4. *ICAO: European Guidance Material on Aerodrome Operations Under Limited Visibility Conditions* [online]. [cit. 28.8.2017] Dostupné z: [www.theairlinepilots.com/forumarchive/aviation-regulations/low\\_visibility\\_operations.pdf](http://www.theairlinepilots.com/forumarchive/aviation-regulations/low_visibility_operations.pdf)
5. *ICAO: IR-OPS Subpart E Low Visibility Operations (LVO)* [online]. [cit. 25.8.2017] Dostupné z: [www.skybrary.aero/bookshelf/books/2092.pdf](http://www.skybrary.aero/bookshelf/books/2092.pdf)
6. *Trimble: Correcting GPS Errors* [online]. [cit. 2017-08-07] Dostupné z: [www.trimble.com/gps\\_tutorial/howgps-error2.aspx](http://www.trimble.com/gps_tutorial/howgps-error2.aspx)
7. PRASAD, Ramjee a RUGGIERI, Marina. *Applied Satellite Navigation Using GPS, GALILEO and Augmentation Systems*. California: Artech House, 2005. ISBN 1580538142
8. MONTEIRO, Sardinha, MOORE, Terry, HILL, Chris. *What is the Accuracy of DGPS?* Proceedings of the 61st Annual Meeting of The Institute of Navigation, Cambridge, MA, červen 2005, s. 805-817.
9. KARSKY, D.: *Comparing Four Methods of Correcting GPS Data: DGPS, WAAS, L-Band, and Postprocessing* [online]. červenec 2004, [cit. 25.8.2017] Dostupné z: [www.fs.fed.us/t-d/pubs/pdfpubs/pdf04712307/pdf04712307dpi300.pdf](http://www.fs.fed.us/t-d/pubs/pdfpubs/pdf04712307/pdf04712307dpi300.pdf)
10. *SXBlue: SBAS Made Easy* [online]. [cit. 2017-08-07] Dostupné z: [www.sxbluegps.com/technology/sbas-made-easy/](http://www.sxbluegps.com/technology/sbas-made-easy/)
11. SANKARAN, Vis, BENSON, Donald. *Integrating WAAS with LAAS to Avoid Signal Spoofing*. Proceedings of the 8th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation. Palm Springs, CA, září 1995, s. 677-684.



12. GUSTAFSON, David, SMITH, Alexander a CASSELL, Rick: *Cost Benefit Analysis Of The Combined WAAS/LAAS System* [online]. 1998, [cit. 2017-08-07] Dostupné z:  
www.citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.196.9274&rep=rep1&type=pdf
13. *World DGPS Database for Dxers* [online], [cit. 15.8.2017] Dostupné z: www.ndblist.info/datamodes/worldDGPSdatabase.pdf
14. *Ředitelství vodních cest České republiky: Vysílač korekčních signálů DGPS v rámci RIS* [online], [cit. 14.8.2017]. Dostupné z: www.rvccr.cz/strategicke-zamery-a-stavby/ricni-informacni-sluzby/vysilac-korekcnich-signalu-dgps-v-ramci-ris-opd
15. COLLINSON, R. P. *Introduction to avionics systems*. Dordrecht: Springer, 2006. ISBN 978-1-4419-7466-2
16. WYATT, David. *Aircraft flight instruments and guidance systems: Principles, Operations and Maintenance*. London: Routledge, Taylor & Francis Group, 2014, s.195-197.
17. *ICAO: GBAS CAT II/III Development Baseline SARPs* [online]. [cit. 2017-20-08] Dostupné z: www.icao.int/safety/airnavigation/documents/gnss\_cat\_ii\_iii.pdf
18. *FAA: Global Positioning System Wide Area Augmentation System (WAAS) Performance Standard* [online]. [cit. 2017-20-08] Dostupné z: www.gps.gov/technical/ps/2008-WAAS-performance-standard.pdf
19. *Jeppesen: Aerodrome operating minimums – EASA air operations* [online]. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: ww1.jeppesen.com
20. HOOEY, B. L., SCHWIRZKE, M. F. J., McCAULEY, M. E., RENFROE, D., PURCELL, K., & ANDRE, A. D. *Issues in the procedural implementation of low-visibility landing and surface operation displays*. In R. S. Jensen, B. Cox, J. D. Callister, & R. Lavis (Eds.), *Proceedings of the Tenth Symposium on Aviation Psychology*. Columbus, Ohio: Ohio State University, 1999, s. 797 – 803.
21. ANDRE, A. D. *Information requirements for low visibility taxi operations: What pilots say*. In R. S. Jensen and L. A. Rakovan (Eds.), *Proceedings of the Eighth International Symposium on Aviation Psychology*. Columbus, OH: The Ohio State University, 1995, s. 484- 488.

22. HOOEY, B.L., FOYLE, D.C. a ANDRE, A.D. *Integration of Cockpit Displays for Surface Operations: The Final Stage of a Human-Centered Design Approach*. In SAE Transactions: Journal of Aerospace. 2000, s. 1053-1065.
23. ANDRE, A. D., WICKENS, C. D., MOORMAN, L., & BOSCHELLI, M. M. *Display formatting techniques for improving situation awareness in the aircraft cockpit*. In International Journal of Aviation Psychology, 1, 1991, s. 205-218.
24. *Ricardo: Ricardo engineered vehicle concept aims to reduce aircraft fuel costs, CO2 emissions – and noise* [online] 17 November 2009, [cit. 17-07-2017]. Dostupné z: [www.ricardo.com/news-and-media/press-releases/ricardo-engineered-vehicle-concept-aims-to-reduce](http://www.ricardo.com/news-and-media/press-releases/ricardo-engineered-vehicle-concept-aims-to-reduce)
25. KIM, Jin, KEATON, Aktay a KORY, Timothy: *Automated NextGen Taxi System* [online]. 2009, [cit. 17-07-2017]. Dostupné z: [www.vsgc.odu.edu/ACRPDesignCompetition/competitionwinners/2010/2010Management\\_firstplace.pdf](http://www.vsgc.odu.edu/ACRPDesignCompetition/competitionwinners/2010/2010Management_firstplace.pdf)
26. PŘIBYLA, David. *Prostředky zlepšování vizuálního situačního uvědomění*. [online] Praha: ČVUT, 2007, [cit. 12.8.2017]. Dostupné z: [www.fd.cvut.cz/projects/k621x1rl/dokumenty/EVS.pdf](http://www.fd.cvut.cz/projects/k621x1rl/dokumenty/EVS.pdf)
27. CHURCHVILLE, Lou. *What's Next For Enhanced Vision Systems?* In Aviation Week & Commercial Aviation [online] 19 srpen 2015, [cit. 15.8.2017]. Dostupné z: [www.aviationweek.com](http://www.aviationweek.com)
28. *Rockwell Collins: Seeing is believing* [online]. [cit. 2017-20-08] Dostupné z: [www.rockwellcollins.com](http://www.rockwellcollins.com)
29. HONEYWELL. *Aircraft synthetic vision system for approach and landing*. Vynálezci: Thea FEYEREISEN, Ivan Sandy WYATT a Gang HE. USA. US7852236 B2, 14 prosinec 2010.
30. CROFT, John. *Airbus, Boeing Set Sights On Synthetic Vision*. In Aviation Week & Space Technology. [online] 29 duben 2015, [cit. 15.8.2018]. Dostupné z: [www.aviationweek.com](http://www.aviationweek.com)