

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

ANALÝZA ŘÍZENÍ PŘIBLÍŽENÍ A PŘISTÁNÍ LETADEL PODLE GNSS

ANALYSIS OF GNSS-CONTROLLED APPROACH AND LANDING

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. STANISLAV SYCHRA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. SLAVOMÍR VOSECKÝ, CSc.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně,
Fakulta strojního inženýrství
Letecký ústav
Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Stanislav Sychra
který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**
obor: **Letecký provoz (3708T011)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Analýza řízení přiblížení a pristání letadel podle GNSS

v anglickém jazyce:

Analysis of GNSS-Controlled Approach and Landing

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Popis současného systému řízení přesného přiblížení na zvoleném letišti a provozní a technické možnosti jeho změny směrem k využití GNSS.

Cíle diplomové práce:

Stručně popsat současný systém řízení přiblížení na zvoleném letišti.

Objasnit možnosti použití GNSS pro řízení tohoto manévru.

Navrhnout technické řešení přechodu na řízení přiblížení na daném letišti pomocí GNSS.

Seznam odborné literatury:

- [1] PŘIBYL, Karel; KEVICKÝ, Dušan: Letecká navigace, Praha, Nakladatelství dopravy a spojů, 1980, 412s.
- [2] VOSECKÝ, Slavomír a kol.: Základy leteckých navigačních zařízení, Brno, Vojenská akademie, 1988, 750s.
- [3] KULČÁK, Ludvík a kol.: Air Traffic Management, Brno, Akademické nakladatelství CERM, 2002, 314s. ISBN 80-7204-229-7.
- [4] KAYTON, Myron; FRIED, Walter: Avionics Navigation Systems, John Wiley & Sons, Inc, London, 1997, 773s. ISBN 0-471-54795-6.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Slavomír Vosecký, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 20.11.2008



prof. Ing. Antonín Píštecký, CSc.
Ředitel ústavu



doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Obsahem předložené diplomové práce je popis současného způsobu přiblížení na přistání pomocí systému ILS na letišti Brno Tuřany. Následně jsou zpracovány meteorologické a provozní informace dané lokality. Na základě jejich vyhodnocení byl předložen návrh přechodu ze stávajícího systému přiblížení na přistání na vhodný GNSS systém.

Klíčová slova: systém ILS, letiště Brno Tuřany, meteorologické a provozní informace, systémy GNSS, systém EGNOS, systém GBAS

Abstrakt

The content of this work is description of the current precision approach system ILS. The location is Brno Tuřany airport. Meteorologic and traffic information was sorted to aim to show current conditions at the airport. In relation to these informations was made project of the future GNSS approach at Brno Tuřany.

Key words: system ILS, airport Tuřany, meteorologic and traffic informations, system GNSS, system EGNOS, system GBAS

Bibliografická citace:

Sychra, S. *Analýza řízené přiblížení a přistání letadla podle GNSS*, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 88 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Slavomír Vosecký, CSc.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem byl seznámen s předpisy pro vypracování diplomové práce, a že jsem celou diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Brně dne 28.5. 2009

.....

Stanislav Sychra

Poděkování

Děkuji doc. Ing. Slavomíru Voseckému, CSc. za odborné vedení a pomoc při vypracování této diplomové práce. Dále chci poděkovat panům Ing. J. Hrdličkovi, Ing. J. Herzánovi, RNDr. K. Krškovi CSc., RNDr. M. Kiriakovovi, Ing. R. Šošovičkovi Ph.D. a všem ostatním, kteří mi jakýmkoliv způsobem pomohli a nejsou zde uvedeni.

OBSAH

1. ÚVOD.....	1
2. Systém přesného přístrojového přiblížení ILS	3
2.1. Obecná charakteristika systému ILS.....	3
2.2 Historie systému ILS.....	3
2.3. Základní struktura systému ILS	5
2.3.1. VKV Kurzový maják LLZ.....	5
2.3.2. UKV sestupový maják GP	7
2.3.3. Polohová návěstidla.....	8
2.3.4. Monitoring	9
2.4.Integrita systému ILS	10
2.5.Palubní přijímač systému ILS.....	10
2.6.Anténní zástavba.....	11
2.7.Pracovní oblast systému ILS.....	11
2.7.1.Pracovní oblast kurového majáku	11
2.7.2.Pracovní oblast sestupového majáku	12
2.8. Provozní minima systému.....	13
2.9. Ochranné zóny ILS	14
2.10. Chyby ILS způsobené povětrnostními podmínkami.....	15
2.11. Zajištění údržby systému ILS	15
2.12. Provozní postupy související s ILS.....	16
2.13. Druhy přístrojových přiblížení.....	17
2.14. Popis stávajícího přiblížení na LKTB.....	18
2.15. Vyhodnocování polohy letounu vůči sestupové dráze ILS.....	20
2.16. Zásady bezpečného použití ILS	23
2.17. Závěrem k systému ILS	24
3. Blízká budoucnost GNSS	25
3.1. Historie družicových systémů.....	24
3.2. Koncepce FANS	27
3.3. Koncepce CNS.....	27
3.3.1.Požadavky koncepce CNS	27
3.3.3. Očekávané přínosy	28

3.4. Koncepce FEATS	29
3.5. Základní princip systému GNSS	30
3.6. Základní struktura GNSS	32
3.7. Signály a poskytované služby	33
3.8. Chyby měření	34
3.9. Diferenční metody měření DGNSS	35
3.10. DGNSS v letectví	35
3.10.1. EGNOS	36
3.10.2. Přijímač systému EGNOS	39
3.10.3. Série testů EGNOS	39
3.11. GBAS	41
3.11.1. Umístění systému na letišti a konstrukce antén	42
3.11.2. Navigační informace GBAS	43
3.11.3. Výhody systému	43
3.11.4. Přijímač GBAS	44
3.11.5. Náklady na GBAS	44
3.11.6. Možnosti řešení	45
4. Letiště Brno Tuřany	45
4.1. Geografická poloha LKTB	45
4.2. Klima na LKTB	46
4.3. Technické údaje LKTB	46
4.4. Analýza meteorologických podmínek na LKTB	46
4.5. Charakteristika provozu na LKTB	53
5. Možnosti realizace GNSS přiblížení	57
5.1. Postup schvalování přístrojového přiblížení	57
5.2. Přiblížení RNAV/GPS	58
6. Závěr	60
7. Seznam literatury	61
8. Seznam zkratk	63
9. Seznam tabulek	68
10. Seznam grafů	69
11. Seznam obrázků	70
12. Seznam příloh	72

1. Úvod

Je to už přes 105 let, co se dva bratři O. a W. Wrightové rozhodli uskutečnit svůj sen. Létání se stalo vzrušující zábavou a výzvou. Ta nezřídka končila tragicky. Během první světové války lidé pochopili, jaký potenciál letadla skrývají a začali je hojně využívat jako pozorovací prostředky. Později je obě strany využily i jako první stíhací a bombardovací stroje.

Během meziválečného období se začala rozvíjet letecká doprava a s ní i věci související, jakož i navigace a radionavigace. V civilním odvětví se začala rozvíjet hlavně na požadavek pravidelné přepravy pošty ve třicátých letech. Vzniklo několik koncepcí, podle kterých se letadla udržovala na trati.

Evropská koncepce využívala středovlnné radiomajáky. Radiokorespondence probíhala pomocí Q-kódů. Letadlo bylo vedené po trati pomocí pozemních radiomajáků. Pilot v letadle obdržel požadovaný kurz pro odlet od stanice (QDR) až do doby kdy byl zachycen stanicí na letišti příletu (QDM). Tam obdržel kurz pro přílet. Proces zachycení a předání informace trval asi třicet sekund. Nešlo o aktivní radionavigaci na palubě. Pilot pouze dodržoval pokyny pozemních stanic. [1]

Americká koncepce vycházela z vytvoření pevných letových cest. Na začátku a konci každé letové cesty stál středovlnný paprskový radiomaják. Pokud byl pilot na letové cestě, slyšel ve sluchátkách spojitý tón. Pokud se odchýlil, začala být slyšet více intenzivně jedna nebo druhá značka. Šlo tedy o aktivní navigaci na palubě. Výhodou bylo to, že letová cesta byla pevně vytyčena spojitým tónem a pilotovi stačilo poslouchat. Na druhou stranu, pokud se hodně odchýlil od trati lehce se mohl ztratit a nenajít cestu zpět. [1]

Ruská koncepce vycházela také z vytyčení letových cest. Využívala nesměrové radiomajáky a palubní radiokompas. Pilot prováděl aktivní radionavigaci. Nevýhodou byla nutnost vylučování snosu větru a tím pádem více práce na palubě. Na druhou stranu systém dovozoval boční zaměření a stálou informaci o poloze. Tento systém se do značné míry dochoval až do dnešních dnů v celé Evropě, hlavně na východě. [1]

Není jisté, zda se dá konstatovat, že na neštěstí přišla druhá světová válka, protože každý válečný konflikt posunul letectví velmi rychle dopředu. Letouny byly čím dál víc technicky vyspělejší. Zároveň se na letoun kladl požadavek, aby byl nejen rychlý, obratný, dobře vyzbrojený atd., ale aby byl schopen létat i za špatného počasí a tím získal výhodu nad nepřítelem. Jako příklad může být zmíněn požadavek Spojeneckého letectva na zefektivnění nočního kobercového bombardování německých měst, které se řešilo za pomoci radionavigačních prostředků. Ty zajistily vedení bombardérů až nad nepřátelská města a po splnění úkolu umožnily, aby se posádky bezpečně vrátily zpět na letiště a aby mohli bezpečně přistát. To byla jedna z úloh radionavigace. Bylo vyvinuto několik významných radionavigačních systémů. Nejvýznamnějším byl pravděpodobně systém pro přesné přístrojové přiblížení ILS. Válka také přinesla významný radiolokační prvek, kterým byl pasivní radar. S jeho pomocí Angličané odvrátili německou invazi v legendární letecké bitvě o Británii a právě díky němu se mohlo po válce civilní letectví velmi rychle dále rozvíjet.

Radar poskytl nové možnosti řízení letového provozu, zejména daleko efektivnější využití vzdušného prostoru.

Po válce vznikla mezinárodní organizace pro civilní letectví ICAO, zavedli se základní normy a doporučení (ANEXY). Cílem sjednocení postupů bylo létat bezpečně, přepravit maximální možný počet pasažérů co nejrychleji, pohodlně a ekonomicky.

Základním radionavigačním zařízením se stal VKV všesměrový radiomaják VOR poskytující úhlovou informaci o poloze v kombinaci s UKV měřičem vzdálenosti DME poskytující informaci o vzdálenosti.

V radiolokaci se vyvinul sekundární radar SSR, díky kterému je možné sledovat pohyb letounu jak v horizontální rovině, tak i zároveň jeho výšku.

Období studené války politicky rozdělilo svět na dvě strany - východ a západ. V té době Rusové vypustili na oběžnou dráhu první umělou družici jménem Sputnik. Byl to první přijímaný rádiový signál z vesmíru. Roku 1961 následovalo první úspěšné vyslání člověka do vesmíru. Spojené státy jakožto velmoc potřebovaly opětovat tyto technické i politické úspěchy a vyhlásily, že budou první, komu se podaří vyslat člověka na měsíc. V této době vznikly první myšlenky na družicové systémy tzv. hvězdných válek, špionážní satelity atd.

Z těchto zařízení vznikla myšlenka globální družicové navigace GNSS, která by poskytovala uživateli informace o jeho poloze kdekoli a kdykoli na světě. Měla by nahradit a překonat stávající neekonomické a stárnoucí radionavigační systémy ať už traťové nebo letištní.

2. Systém přesného přístrojového přiblížení ILS

2.1 Obecná charakteristika systému ILS

Systém pro přesné přiblížení na přistání (dále jen ILS) je pozemní povelové přiblížovací zařízení. Bylo zkonstruováno pro to, aby mohl pilot i za špatného počasí bezpečně provést manévry přiblížení na přistání. Poskytuje pilotovi velmi přesnou vertikální i horizontální informaci o poloze letadla v prostoru. Na základě těchto informací pilot provádí korekce řízení a tím udržuje letoun na sestupové dráze. Systém často pracuje v kombinaci s výkonnou světelnou soustavou, která umožňuje získat vizuální kontakt s přistávací drahou.

2.2 Historie systému ILS

První testy systému začaly v severní Americe v roce 1929. Byly podníceny potřebou zajištění pravidelnosti letů, zejména kvůli poště. Testovalo se několik variant systému. Roku 1941 Federální úřad pro letectví FAA schválil instalaci systému na šesti letištích. 28. ledna roku 1938 provedl letoun Boeing 247-D, letící na lince Washington, D.C – Pittsburgh, první přiblížení a přistání pomocí systému ILS. Důvodem byla silná sněhová bouře. Do roku 1945 již byl ILS v provozu na devíti letištích a na dalších deseti lokalitách pokračovala jeho usilovná výstavba. Armáda si jejich výstavbu objednala na padesáti letištích po celých Spojených státech. [2]

15. ledna v roce 1945 Americká armáda představila ILS s vyšší vysílací frekvencí. Důvodem změny frekvence byla snaha o zkvalitnění signálu a vytyčení co nejpřímější sestupové osy. Systém byl pojmenován Army air force instrument approach system signal set 51. [2]

Byly přijaty nové normy známé jako United states standard for terminal instrument procedures (TERPS). V roce 1949 byl tento vojenský systém přijatý Mezinárodní organizací pro civilní letectví ICAO jako standartní systém přesného přístrojového přiblížení pro všechny členské státy. Normu TERPS přejatou ICAO známe do dnes jako Procedures for air navigation service – aircraft operation (PAN- OPS). Zavedly se zásadní termíny jako výška rozhodnutí DA, nebo minimální výška pro klesání MDA a vyspecifikovaly se povětrnostní podmínky, které omezují možnosti přistání. Těmi jsou: dohlednost VIS, dráhová dohlednost RVR, výška nejnižší základny oblačnosti CIG. [2]



Obr. 1 C-121C Lockheed Super Constellation

První letadla, která využívala systém ILS byla vrtulová. Mezi ně patřily např. DC-6, DC-7 nebo Lockheed Super Constellation (obr. 1). Nedosahovaly takových výkonů jako jejich následovníci (cestovní rychlost max. do 500 km/h), jejich minima na přistání byla stanovena na dohlednost 0,5 NM a výška rozhodnutí na 200ft.



Obr. 2 Boeing B707

S nástupem doby proudových letounů v 50. letech, mezi které patřily Boeing 707 (obr.2), Convair 880 nebo DC-8, bylo nutné zvýšit minima ILS na výšku rozhodnutí 300ft a dohlednost na 0,75 NM. Hlavními důvody byly: větší rychlost na přiblížení, jiná poloha letounu při klesání na přistání, omezený výhled z kabiny, pomalejší odezva nových proudových motorů na reakci plynových pák a odlišné manévrovací charakteristiky. To platilo až do počátku 60. let. Výrobci letadel ve spolupráci s leteckými úřady a s ICAO se snažili najít řešení, jak bezpečně dosáhnout minim straších a pomalejších vrtulových strojů. Toho se docílilo vybavením letadel technologickými novinkami pro usnadnění pilotáže, zejména v podmínkách IMC. Šlo o autopilota a o tzv. flight director. Po roce 1960 bylo možné provést ILS přiblížení v plně automatickém režimu až po dosednutí na přistávací dráze. Od šedesátých let až do dnešních dnů zůstal systém v principu prakticky beze změn. Další vývoj prodělaly zejména systémy spolupracující s ILS. Např. světelné systémy ALS (approach lighting system) nebo měřiče dohlednosti resp. dráhové dohlednosti a měřiče základny oblačnosti. [2]

2.3 Základní struktura systému ILS

Systém ILS se skládá z několika základních komponent. Těmi jsou:

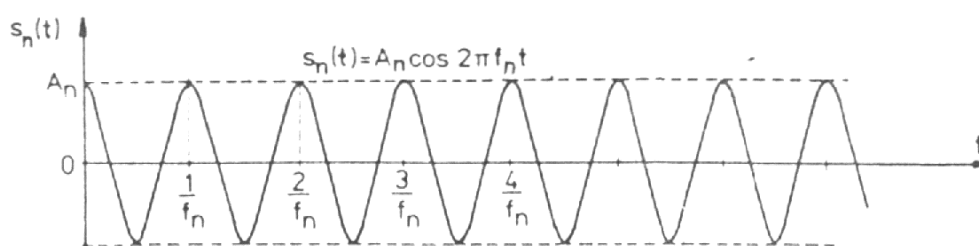
- VKV Kurzový maják LLZ
- UKV Sestupový maják GP
- Polohová návěstidla
- Monitoring



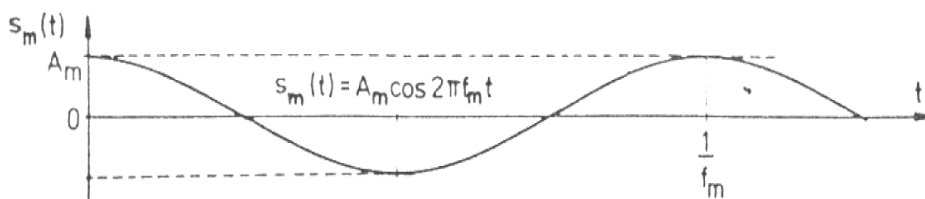
Obr. 3 Antény LLZ

2.3.1 VKV Kurzový maják LLZ

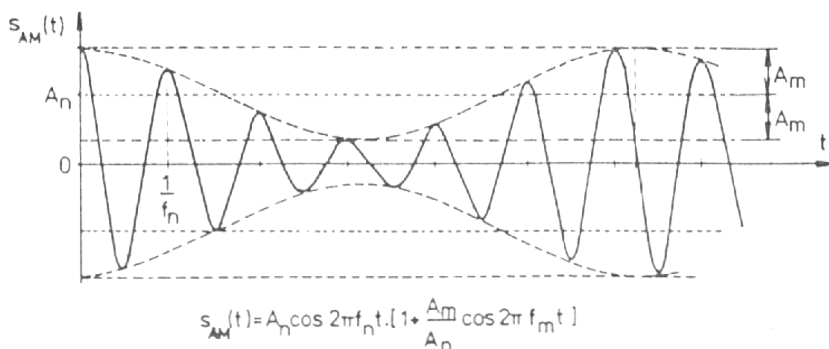
Tento radionavigační systém je umístěn ve vzdálenosti 300 m až 400 m za prahem dráhy ve směru přiblížení na přistání. Anténní systém se skládá z několika párů směrových antén, vzdálených od sebe 1,5 m až 2 m. Krajní antény jsou propojeny a jedna z antén je napájena proudem opačné fáze. K postranním anténám se přivádějí dva amplitudově modulované signály s potlačenou nosnou vlnou. Nosný signál využívá pásma VKV a to od 108 MHz až do 111,975 MHz. Normálně pracuje na jedné frekvenci, pokud je ale požadavek na zabudování systému na letišti, kde hrozí vysoký stupeň odrazů kvůli zástavbě nebo členitému terénu, využívá se dvoufrekvenčního systému. Ten je schopen do jisté míry nežádoucí vlivy eliminovat. [3], [4]



Obr. 4 Nosný signál systému LLZ

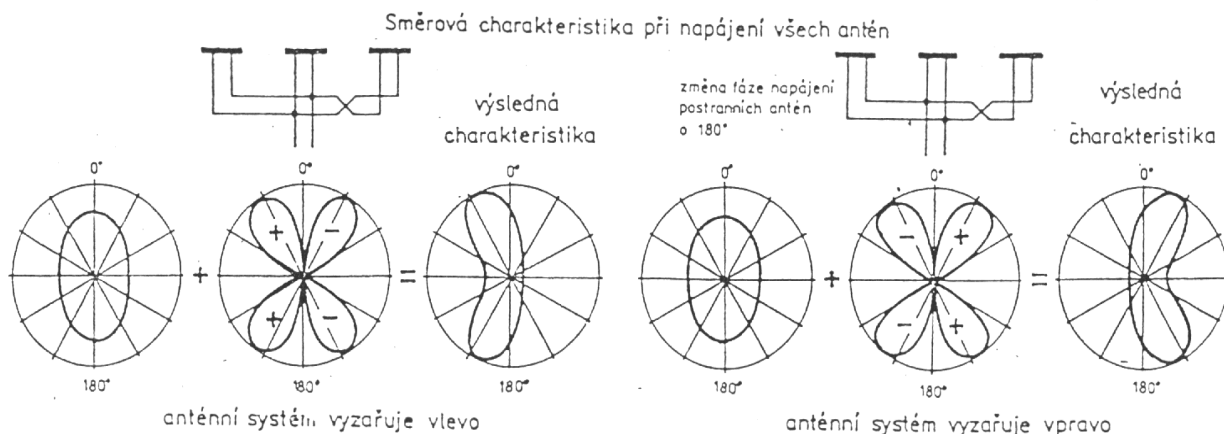


Obr. 5 Modulační signál systému LLZ



Obr. 6 Modulovaný signál

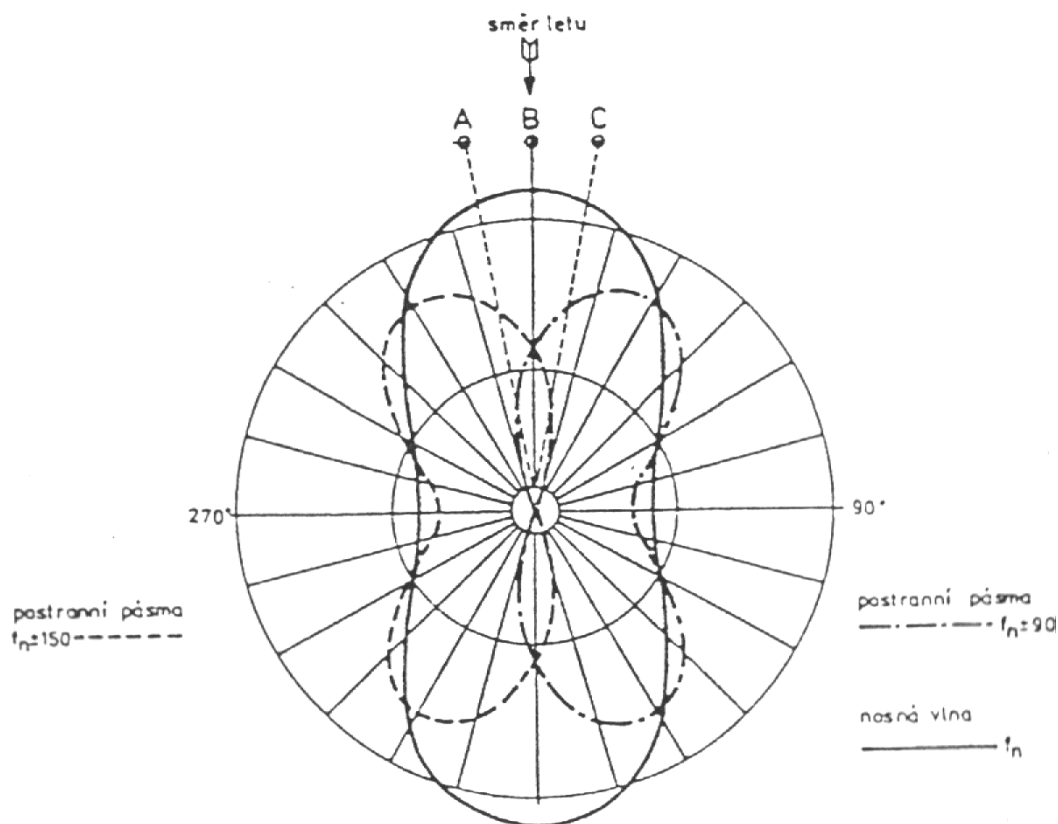
První signál je modulovaný 150Hz, s fází stejnou jako v prostřední anténě. Druhý signál, modulovaný 90 Hz, s opačnou fází než ve střední anténě. Při činnosti ILS převládá modulační 90 Hz vlevo a modulační 150 Hz vpravo od osy RWY ve směru přiletu. Střední anténa má směrovou charakteristiku vysílání ve tvaru elipsy ve směru přistání, boční antény v podobě čtyř laloků okolo společného středu (Obr.7). Tato pole se navzájem sčítají a odčítají, výsledkem je velké směrové pole nosné vlny a dvě směrově vychýlená pole postranních pásů.



Obr. 7 Vyzařovací diagramy jednotlivých antén LLZ a jejich kombinací

Kursový maják pracuje na frekvencích 108-11,975 MHz (nosná vlna) s rozpětím 50 kHz mezi jednotlivými kanály. Na mapách můžete frekvence ILS poznat tak, že jsou pouze liché. Tzn. Například frekvence v Přerově LLZ 110,15MHz, Brno LLZ 111,5. Z toho vyplývá, že systém ILS poskytuje 40 možných kanálů. Sudé frekvence jsou rezervované pro zařízení VOR. Výsledkem vyzařování je složený vyzařovací diagram, v němž převažuje hloubka modulační 150 Hz vpravo a 90 Hz vlevo. Přijímač LLZ v letadle zpracuje přijímaný signál (demoduluje ho) a porovná úroveň hloubky modulační pro 90 Hz a 150 Hz. Podle jejího

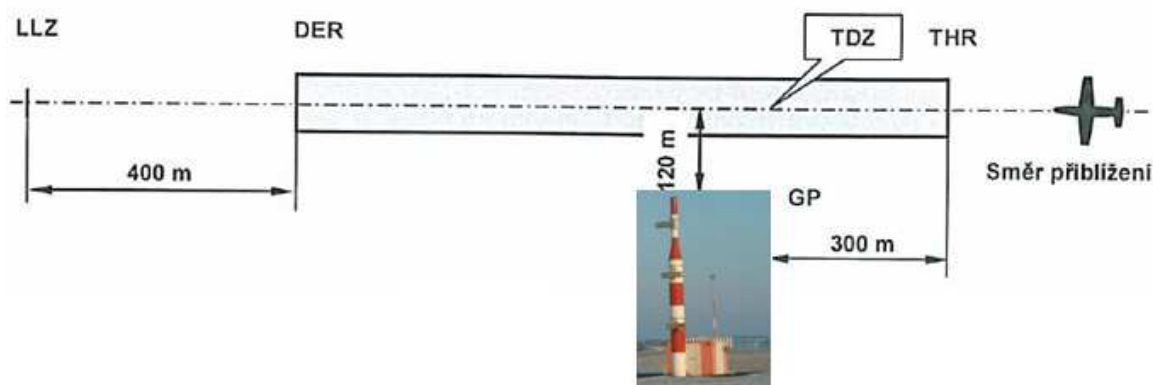
rozdílu přístroj vyhodnotí polohu letounu vůči ose RWY. Pokud se letoun nachází přesně na ose přiblížení, je rozdíl roven nule. [3], [4]



Obr. 8 Výsledná vyzářovací charakteristika VKV sestupového majáku

2.3.2 UKV sestupový maják GP

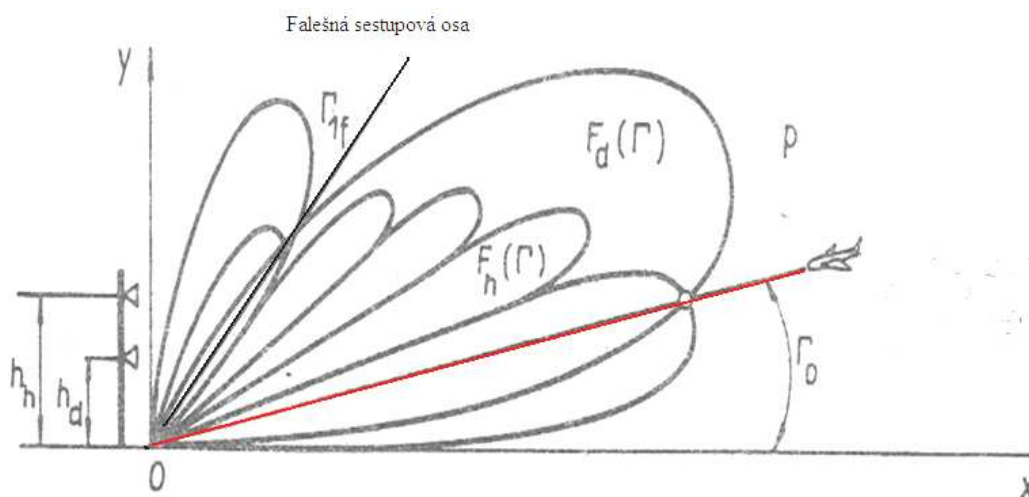
Vytváří sestupovou rovinu (glidepath) pro přiblížení na přistání. Má dvě antény umístěné asi 400 m od prahu VPD ve směru přistání, zhruba 120 m od její osy. Nosná vlna se moduluje opět dvěma frekvencemi. Signál modulovaný 90 Hz napájí spodní anténu umístěnou cca 2 m nad zemí. Horní anténa je ve výšce zhruba 8 m a vysílá signál modulovaný 150 Hz. GP pracuje v pásmu UKV na kmitočtech 329,15 až 335 MHz. Používá 40 kanálů s dělením po 150 kHz 329,15; 329,3; 329,45; 329,6 – 335 MHz. [3], [4]



Obr. 9 Sestupový maják UKV a jeho umístění na letišti

Směrová charakteristika se skládá z prostorových útvarů, které mají v řezu svislou rovinou podobu smyček kapkovitého tvaru s vrcholem v anténě, jejichž počet roste a velikost klesá s rostoucí výškou antény nad zemí. Spodní anténa tvoří několik větších laloků pro signál modulovaný 90 Hz, horní anténa vyzařuje větší množství menších laloků pro 150 Hz. Body, kde je stejná úroveň modulace, vytvářejí kuželové plochy s vrcholem v anténě.

Vhodnou kombinací výšek antén se nastaví úhel první plochy totožný s požadovaným úhlem sestupu. Standardně se sestupy provádí pod úhlem 3° . Pro letiště, která se nachází v členitějším terénu předpis povoluje maximální hodnotu sestupového úhlu $3,5^\circ$ (pro CAT III pouze 3°). [3], [4]



Obr. 10 Vyzařovací charakteristika horní a dolní antény UKV sestupového majáku

2.3.3 Polohová návestidla

Polohová návestidla (markery) vysílají pole ve tvaru elipsy postavené na výšku, kolmo k ose přistání. Pomáhají pilotům určit svou polohu a vzdálenost vůči přistávací dráze. Nejčastěji se užívají společně vnější (Outer Marker, OM) a střední (Middle Marker, MM) polohové návestidlo. Mohou být doplněny ještě vnitřním návestidlem (Inner Marker, IM) a polohovým návestidlem zadního paprsku (Back Marker). Všechna návestidla mají stejnou nosnou vlnu na frekvenci 75 Mhz. [3]



Obr. 11 Anténa polohového návestidla

Vnější polohové návěstidlo

Jeho poloha od prahu RWY je 7,2 až 12 km. Jeho modulační frekvence je 400 Hz, vysílá nepřetržitě čárky a to rychlostí 2 čárky za sekundu. Kromě tohoto zvukového signálu se při průletu nad ním rozsvítí fialové nebo modré světlo na přístrojové desce. Pole návěstidla pokrývá cca 600 m na sestupové ose. V této poloze je výška letadla nad zemí přibližně 330 m z toho důvodu je jeho vysílací výkon malý. Společně s vnějším návěstidlem se často umísťuje radiomaják NDB tzv. dálná. Zajišťuje dodatečnou kontrolu polohy letadla nad OM. [3]

Střední polohové návěstidlo

Stojí přibližně 1 km od prahu RWY. Modulační frekvence je 1300 Hz, vysílá střídavě tečky a čárky, na přístrojové desce se rozbliká oranžové světlo. MM pokrývá zhruba 300 m na sestupové ose, výška letadla je při přeletu je 60 m. V této výšce pilot rozhoduje, zda bude pokračovat v přiblížení nebo zahájí postup nezdařeného přiblížení (CAT I). Rovněž v poloze MM bývá také nesměrový maják NDB tzv. bližná. [3]

Vnitřní polohové návěstidlo

Vzdálenost od prahu je nejčastěji 75 m. Modulační kmitočet je 3000 Hz, pilot slyší nepřetržitě tečky rychlostí 6 teček za sekundu. Optickou kontrolou je bílé blikající světlo. Délka pokrytí signálem je asi 150 metrů a letoun ho přelétá ve výšce 20 m. IM se používá proto, aby pilotovi signalizoval přelet prahu dráhy (THR). [3]

Polohové návěstidlo zadního paprsku

V případě, že zařízení ILS má zadní paprsek pro obrácený směr dráhy. Stojí asi 7 km za prahem dráhy. Modulační frekvence je 400 Hz, signál 6 teček za sekundu. Vizualní signalizace je fialová.

2.3.4 Monitoring

LLZ, GP a polohová návěstidla jsou nepřetržitě monitorovány. Nejvyšší stupeň ochrany je nutný proti riziku nezjištěné nesprávnosti v činnosti monitoru a odpovídajícím systémem ovládání majáku. To se dosahuje pečlivým projektováním zaměřeným na maximální snížení takových případů a systémem preventivních kontrol činnosti monitoru v časech, daných analýzou konstrukce. Takové analýzy se mohou využít pro výpočet integrity systému pro každé jednotlivé přistání. Překročení tolerancí daných předpisem L10 vede k tomu, že se systém přepne na záložní soupravu a nebo vypne celý systém, protože v letectví platí :“ než klamná informace, to radši žádná“. [4]

Řídící letového provozu má na věži k dispozici signalizační varovný pult, který mu umožňuje mít systém ILS pod neustálým dozorem a při jakékoliv chybě spustí vizuální a zvukový varovný signál . Druhé takové zařízení se nachází na stanovišti pozemní údržby.

Pilot může zkontrolovat funkčnost systému naladěním příslušné frekvence a jejím poslechem. Zpravidla je dán dvěma nebo třemi písmeny Morseovi abecedy. První písmeno bývá I. Při vypnutí systému je slyšet pouze spojitý tón a nebo je signál vypnutý. Vizualně mohou pilota upozornit na chybu varovné červené terčíky s nápisy GS OFF, LLZ OFF, které se při přerušení signálu objeví na palubním ukazateli HSI (horizontal situation indicator). [4]

Zásah GP a LLZ monitoringu při:

- Vychýlení svazku SVD LLZ
- Vychýlení GP svazku SVD
- Pokles vysílacího výkonu
- Změna citlivosti vysílačů

Zásah monitoringu u polohových návěstidel při:

- Snížení vysílacího výkonu
- Chyba modulace

2.4 Integrita systému ILS

Nezávisle na provozních minimech se celkově uvádí, že střední počet leteckých událostí se smrtelným následkem v době přistání, způsobený výpadkem celého systému nebo jeho částí, včetně pozemního zařízení letadla a pilota, nesmí překročit 10^{-7} . Toto kritérium se nazývá obecným ukazatelem rizika. [4]

Při přistávání za kategorie CAT I za dodržení minim ve větší nebo menší míře v podstatě odpovídá pilot. Při přistávání v kategorii CAT III se požaduje dodržení téhož kritéria, které se v daném případě uvažuje ve vztahu k celému systému. V této souvislosti je nutné se snažit o dosažení vysoké úrovně integrity a nepřetržitosti provozu celého systému. Integrita je nutná k zajištění toho, aby letadlo uskutečňující přiblížení na přistání mělo malou pravděpodobnost výpadku navigačního signálu. [4]

2.5 Palubní přijímač systému ILS

Většinou se všechny komponenty systému ILS ladí jedním palubním zařízením, které obsahuje: přijímač signálu kurzového majáku a přijímač signálu sestupového majáku. Pilot si na přijímači ILS naladí příslušnou publikovanou frekvenci LLZ a pokud je na letišti vybudovaná i GP a měřič vzdálenosti DME, automaticky se naladí, aniž by se o to pilot musel starat. Mluvíme o tzv. párování kmitočtů. Respektují ho všechny státy a ICAO ho přijala jako mezinárodní standart. Tabulka nám ukazuje příklad párování frekvencí. [4]

LLZ	GP	DME kanál
109.3 MHz	332.0 MHz	30x
109.5 MHz	332.6 MHz	32x
109.7 MHz	333.2 MHz	34x
109.9 MHz	333.8 MHz	36x

Tab. 1 Příklad párování kmitočtů LLZ, GP a DME

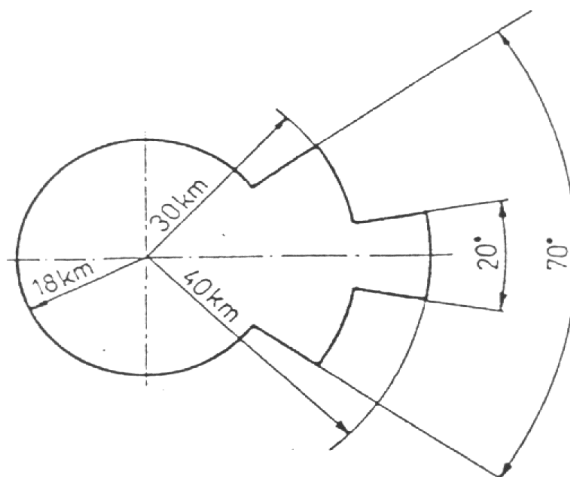
2.6 Anténní zástavba

Palubní přijímač získává signál prostřednictvím antén. Ty jsou u většiny rychlých letounů zabudované do kýlové plochy a do příďové části letounu. U velkých letadel a nebo u letadel, které mají při přistání vysoko položenou přední část trupu, se GP anténa umísťuje na podvozek. Antény polohových návěstidel se připevňují na spodní stranu trupu nebo křídel letounu. [4]

2.7 Pracovní oblast systému ILS

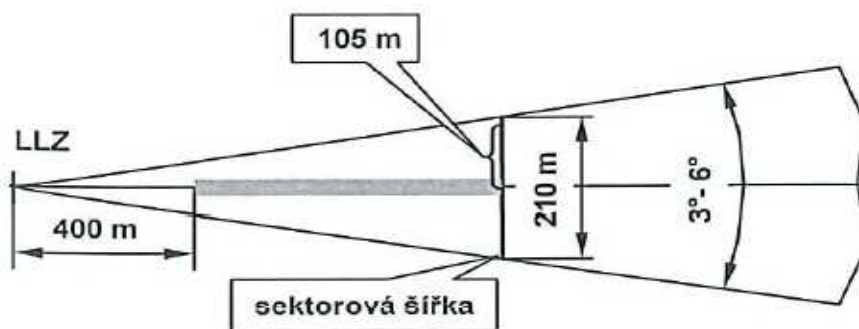
2.7.1 Pracovní oblast kurzového majáku

Pracovní oblast kurzového majáku musí být $\pm 10^\circ$ od osy dráhy do vzdálenosti 40 km a v sektoru $\pm 35^\circ$ do vzdálenosti 30 km od zařízení. Grafickým znázorněním vznikne příslušný obrazec (obr.12). Uvnitř obrazce je zajištěn správný signál směrového radiomajáku ILS. Pokud se letadlo nachází vně tohoto obrazce, na palubním indikátoru se zobrazí červený praporek, znamenající nedostatečný signál pro palubní přijímač. Jakmile se letadlo přiblíží k hraně krytí, praporek zmizí. [3], [4]



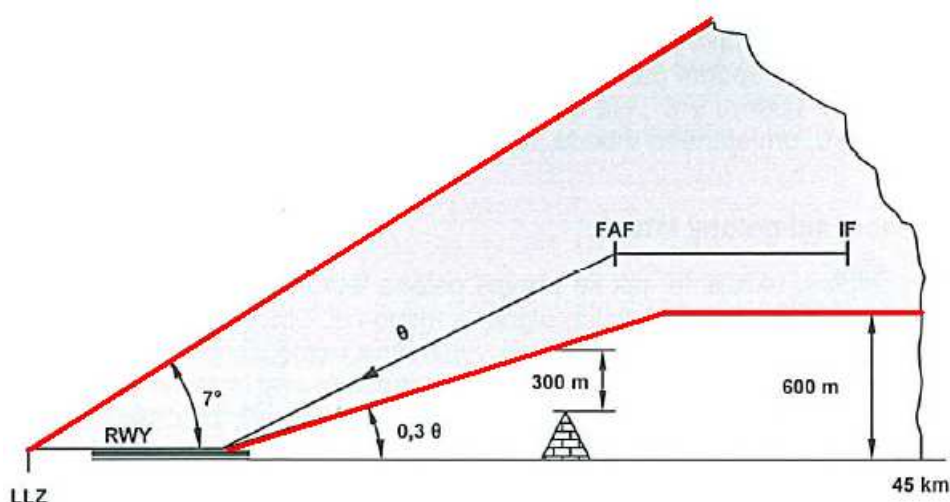
Obr. 12 Pracovní oblast směrového majáku

Vertikální ručička (břevno) se ale rozpožhybuje až v okamžiku nalétnutí kurzového sektoru. Ten odpovídá právě rozsahu ± 5 tečkovému indikátoru. Tečky na indikátoru jsou bezrozměrnou veličinou. Funkcí rozevření kurzového sektoru je délka vzletové a přistávací dráhy RWY. Platí, že čím delší je dráha, tím užší je sektor indikace. Rozevření kurzového sektoru je min. 3° a max. 6° . Pokud není dosažena požadovaná úhlová hodnota, zpravidla se změní vzdálenost antén LLZ od prahu RWY. Sektorová šířka v místě prahu dráhy musí být vždy 210 m. [5]



Obr. 13 Rozevření kurzového sektoru

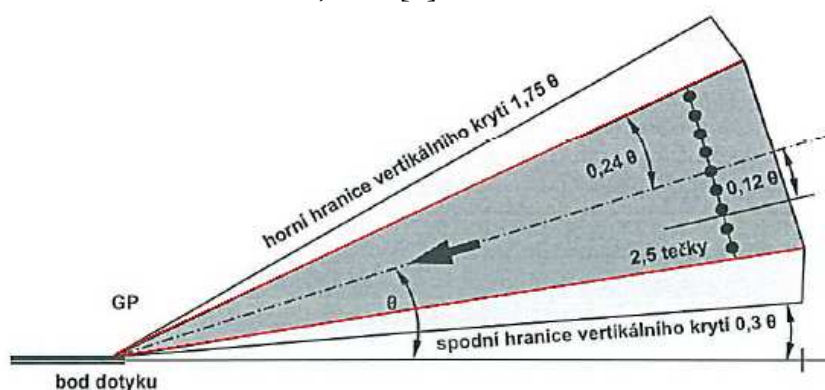
Krytí LLZ ve smyslu vertikálním musí být zajištěn až do 600 m nad nadmořskou výškou prahu dráhy a nebo 300 m nad nadmořskou výškou nejvyšší překážky v místě středního a konečného přiblížení dle toho, co je větší. Úhlově musí být signál zajištěn tak, aby se dal přijímat pod úhlem do 7° od antén LLZ nad vodorovnou rovinou RWY. Úhel θ je úhel skluzové roviny GP. [5]



Obr. 14 Pracovní oblast LLZ ve vertikální smyslu

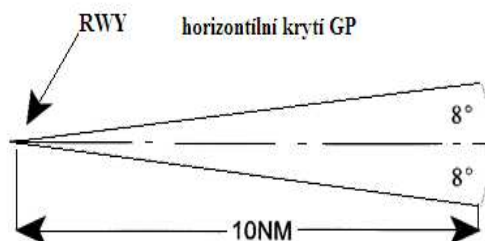
2.7.2 Pracovní oblast sestupového majáku GP

Pokrytí sestupovým majákem je zřejmé z níže uvedeného obrázku. Spodní hranice krytí je $0,3 \theta$ a horní hranice $1,75 \theta$. V této oblasti musí být signál bezpečně přijímaný až do vzdálenosti 18 km. Jakmile letadlo vletne do tohoto sektoru uvolní se červený ukazatel GP OFF a zmizí. To znamená, že má přístroj dostatečně silný signál. Břevno se začne pohybovat po nalétnutí sektoru o šířce $\pm 0,24 \theta$. [5]



Obr. 15 Pracovní oblast sestupového majáku GP

Pracovní oblast sestupového majáku systému ILS v horizontálním smyslu musí být zajištěno do vzdálenosti 18 km (10 NM) a to $\pm 8^\circ$ od osy RWY.



Obr. 16 Horizontální pracovní oblast sestupového majáku ILS

2.8 Provozní minima systému

Zařízení ILS vede pilota po přímce na přiblížení na přistání až do výšky rozhodnutí DH, kde pilot musí získat vizuální reference s RWY nebo světelnými návěstidly. V opačném případě provádí postup nezdařeného přiblížení. [5]

Předpis definuje podle kvality přiblížení 3 kategorie ILS přesného přiblížení. Parametry kvality jsou výška rozhodnutí společně s dohledností resp. dráhovou dohledností. Nazývají se provozní minima systému.

Na většině letišť se setkáváme s přiblížením CAT I. Vyšší kategorie najdeme jen na letištích s vysokou koncentrací provozu. V České republice pouze na letišti Praha Ruzyně a Ostrava Mošnov. Zavedení a provoz vyšších kategorií než CAT I je provozně i ekonomicky velmi náročné.

Předpis definuje kategorie přesných přístrojových přiblížení takto:

- Přesné přiblížení CAT I - DH ne méně než 200 ft, VIS 800 m, resp. RVR 550 m
- Přesné přiblížení CAT II - DH méně než 200 ft ale ne menší než 100 ft, RVR 350m
- Přesné přiblížení CAT III - kategorie III se dále dělí na:
 - CAT IIIA – DH ne méně než 50 ft, RVR ne méně než 200 m
 - CAT IIIB - RVR ne méně než 75 m
 - CAT IIIC – nejsou stanovena minima

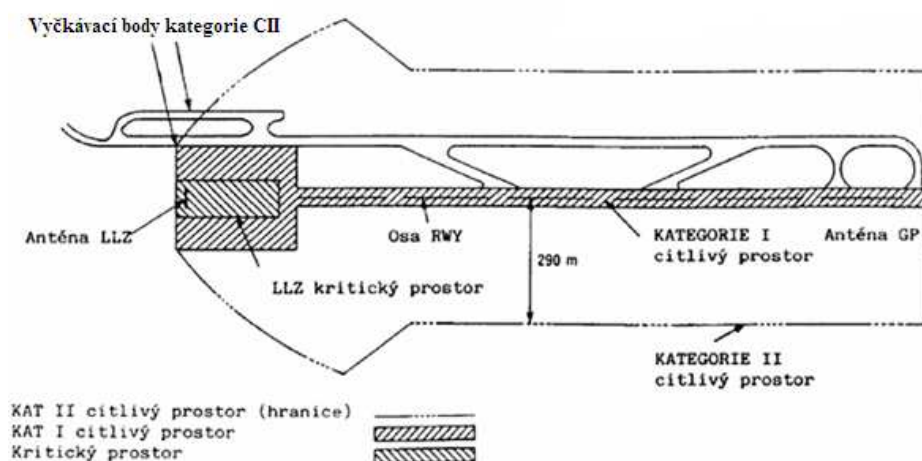
Kategorie přesných přístrojových přiblížení					
Kategorie přiblížení	CAT I	CAT II	CAT III A	CAT III B	CAT III C
Dráhová dohlednost RVR	550 m	350 m	200 m	75 m	X
Výška rozhodnutí DH	200 ft	100 ft	50 ft	X	X

Tab. 2 Shrnutí kategorií přesných přístrojových přiblížení

2.9 Ochranné zóny ILS

Systém ILS má několik nevýhod, mezi které patří vysoká citlivost na překážky v blízkosti zařízení. Proto, aby byla dosažena bezpečnost a správná funkce (vyzařování), byly kolem zařízení zřízeny bezpečnostní zóny. [4]

Kritická zóna je zřízena v nejbližším okolí LLZ a GP. Během navádění podle ILS zde nejsou povoleny žádné pohyby ani stání vozidel ani letadel, protože by tyto objekty mohly způsobit nepřijatelné poruchy funkcí ILS. V jistých místech této zóny může i pohyb člověka způsobit vychýlení svazku SVD. Pro ochranu citlivých prostorů je nutné, aby mělo každé letiště zpracované provozní postupy. [4]



Obr. 17 Kritické a citlivé zóny kurzového majáku ILS

Druhou zónou je tzv. citlivá zóna. V ní je pohyb a parkování vozidel a letadel řízen tak, aby se předešlo možným vznikům nepřijatelných poruch funkcí ILS během navádění na přistání. [4]

Rozměry této oblasti závisí na druhu rušivých vlivů. Velikost citlivého prostoru se odvíjí od řady faktorů včetně typu antény ILS, topografické situaci a velikost a orientaci objektů včetně velkých letadel a vozidel. Moderní konstrukce kurzových a sestupových antén může podstatně snížit možnosti rušení a zmenšit rozsah citlivých prostorů. Protože pro větší letadla se zvětšují možnosti rušení signálu ILS, jsou pro tato letadla citlivé prostory zvětšeny na významnou vzdálenost za kritické prostory. Tento problém se zvětšuje při zvýšení hustoty pozemního provozu. [4]

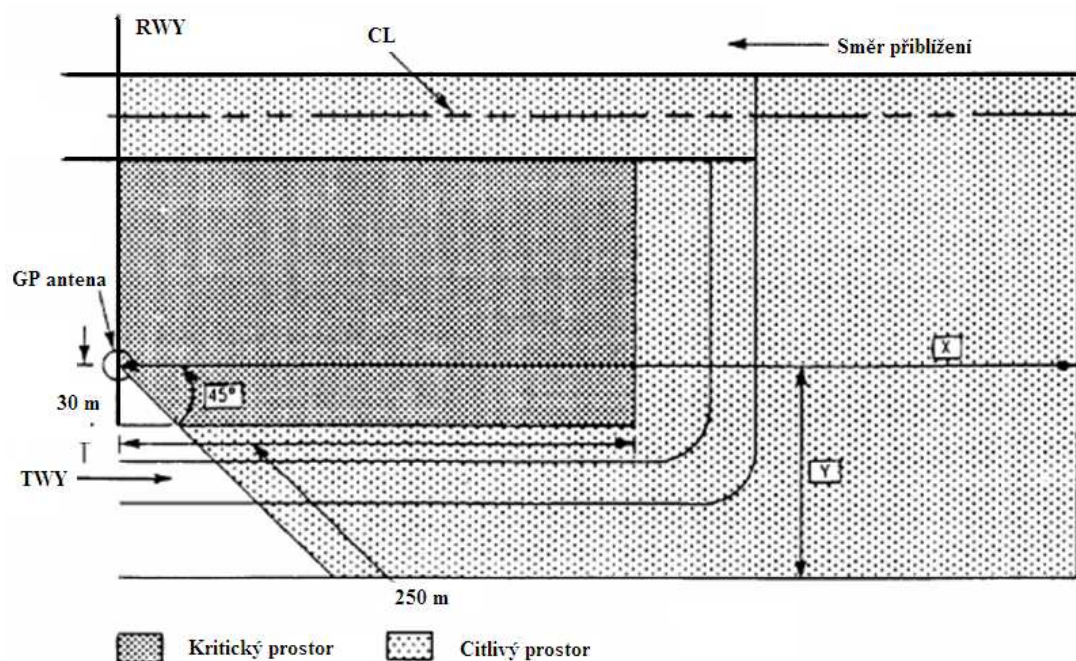
V případě kurzového majáku se jakýkoliv velký objekt ozářený hlavním lalokem (svazkem SVD) považuje za možný zdroj nepřijatelného rušení signálu. To zahrnuje letadla na RWY a některých pojezdových drahách. Rozměry citlivého prostoru pro ochranu provozu CAT I, CAT II. a CAT III. se liší. Největší je pro kategorii CAT III. Pouze nejmenší zvlnění je přípustné pro kategorii CAT III, zatímco zkreslení kurzu mimo tolerance podél povrchu RWY neovlivní provoz kategorie CAT II nebo CAT I. Jestliže je kurzová rovina ovlivněna statickými efekty, může nepřijatelné zvlnění signálu vyvolat menší dodatečná interference. V těchto případech jsou nutné větší citlivé prostory. [4]

V případě sestupového majáku zkušenost ukazuje, že se za možný zdroj rušivé interference signálu považuje každý objekt protínající povrch nad obrazovou rovinou antény v prostoru krytí azimutu. Úhel povrchu nad horizontální rovinou antény závisí na typu antény. Velmi rozměrná letadla, jestliže vyčkávají nebo pojíždějí několik set metrů od antény a přímo

mezi ní a sektorem přiblížení, obvykle působí vážné rušení signálu sestupového majáku. Naopak vliv malých letadel několik desítek metrů od antény sestupového majáku může být zanedbatelný. Zkušenost ukazuje, že hlavní činitele ovlivňující odrazy a rozptyl signálů ILS, které působí interferenci jsou výška a orientace svislých povrchů letadel a vozidel. [4]

Pokud se vyskytne problém rušení signálu z důvodů husté zástavby, problém se řeší snížením vyzařování do dané oblasti resp. vhodným stíněním. Tím se docílí omezení odrazů a rušení. [4]

Ve snaze ochránit funkce ILS při činnosti za podmínek snížené dohlednosti (CAT II, III) se na trasách pojíždění ke vzletu používají jiné vyčkávací prostory. Takové oblasti jsou označeny „Cat II/III Hold“ (tabule a řada červených světél).



Obr. 18 Kritický a citlivý prostor sestupového majáku systému ILS

2.10 Chyby ILS způsobené povětrnostními podmínkami

Systém ILS je citlivý nejen na provoz stojící, nebo se pohybující ve zmíněných zónách, ale z pozorování se zjistilo, že ho může ovlivnit i např. silný déšť, nebo sníh a také podstatným způsobem námraza. Proto jsou antény vybavovány v závislosti na provozních podmínkách a požadavcích zákazníka vyhřívacím zařízením pro odmrazování. [21]

2.11 Zajištění údržby systému ILS

Na letišti v Brně Tuřanech pracuje systém ILS od firmy Thales air traffic management. Na jeho správnou funkčnost dohlíží vhodně vyškolený personál. Systém ILS podléhá standardním prohlídkám, které výrobce doporučuje a uvádí ve svých provozních příručkách. Jde hlavně o pravidelné vizuální kontroly všech komponent systému. Dále se dvakrát ročně provádí kontrolní přeměřování systému za pomoci letadla. Tuto službu zajišťuje Odbor letového ověřování Úřadu pro civilní letectví České republiky. [9]

Výrobce doporučuje následující systém prohlídek:

- Týdenní prohlídka (vizuální inspekce přístřešku hardwaru, antén)
- Měsíční prohlídka (kontrola baterií, jejich napětí a kontrola elektrolytu)
- Čtvrtletní prohlídka (kontrola systému varování při poruše, simulace výpadku energie)
- Roční prohlídka (kontrola polarizace, kontrola nosné frekvence) [9]

2.12 Provozní postupy související s ILS

Předpis L8168 byl ustanoven jako národní předpis řady L výnosem ministerstva dopravy ze dne 18. 11. 1983. Jako podkladový materiál byl použit dokument ICAO doc 8168/OPS/611, který byl vyvinut ve spojených státech a plně akceptovaný organizací ICAO. Československo tento dokument přijalo a zavázalo se k jeho aplikaci. [5]

Doporučený dokument má dvě části: první část (volume 1) je soubor definic, poznatků a letových postupů, bezprostředně související s provedením letu podle pravidel IFR, zejména jeho závěrečné části přiblížení na přistání podle přístrojů. Předpis zde definuje jednotlivé fáze letu, jejich význam a jejich užití. Předpis 8168 část 1 je veřejně dostupný na webových stránkách letecké informační služby České republiky. [5]

Část druhá obsahuje rozsáhlé analýzy, zabývající se vztahem přibližujícího se letadla na přistání a překážkami v okolí letiště. Předkládá výsledky dlouhodobého empirického sledování pohybu letadla v prostředí umělých i přírodních překážek. Tyto výsledky se jednak promítly do obecně platných zásad předpisu L8168/1. část a jednak tvoří základ letových postupů. Druhá část Volume 2 není závazná pro všechny pracovníky v civilním letectví. Je určena pro odborníky jednotlivých států ke konstrukci letových postupů. V současné době se pracuje na překladu části dvě, ale bylo mi řečeno, že je to technicky tak náročné, že není jisté, zda se dokonce od tohoto záměru neopustí a neponechá se pouze anglické vydání. [5]

Předpis 8168 je závazný pro všechny výkonné letce a pracovníky civilního letectví České republiky, kteří jsou zapojeni do organizace, přípravy a provádění letů nad územím ČR a při mezinárodních letech nad územím jiných států. Letové postupy jsou rovněž závazné pro posádky letadel jiných států, provádějí-li vzlety a přistání na území České republiky. Celkově vzato se dá říct, že předpis 8168 byl vytvořen proto, aby se minimalizovali výšky rozhodnutí a zvýšily se počty přistání. Stanovuje a definuje soubor manévru, úkonů a povinností pilota letadla, který provádí přiblížení podle přístrojů. A taky řeší vztah letadla vzhledem k překážkám, které se nachází na trati a ve fázi přiblížení v blízkosti letiště. Konstrukcí a tvorbou postupů je u nás pověřen Úřad pro civilní letectví v Praze (ÚCL). Letecká informační služba ŘLP ČR tyto postupy přebírá a publikuje je v Letecké informační příručce AIP ČR. Informace v AIP jsou závazné pro všechny provozovatele a mají právní podstatu. Avšak každý provozovatel má právo zpracovat vlastní letovou dokumentaci na základě AIP. Ta vychází z AIP. Může to udělat sama, nebo tím pověří specializovanou firmu. Taková instituce je např. společnost Jeppesen. Podle dokumentace od této společnosti provádí lety většina společností na světě. [5]

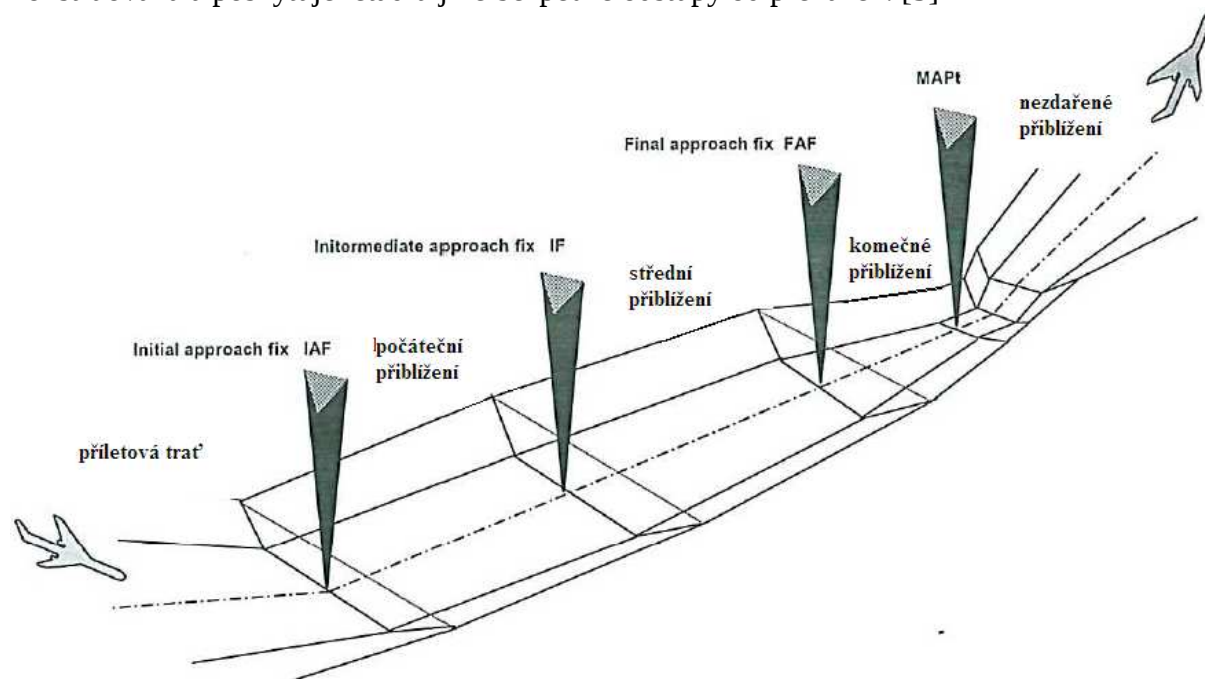
Stejně tak najdeme zpracované postupy pro mnou vybrané letiště Brno Tuřany. S pomocí jejich dokumentace podle které také létáme můžeme popsat postup přiblížení na přistání pomocí systému ILS. Abychom mohli popsat tento manévr, musím se pokusit vysvětlit několik zásadních věcí. [5]

V zásadě rozeznáváme dva druhy provedení letu. Let podle pravidel VFR a let podle pravidel IFR. [5]

Let podle pravidel VFR provádíme pomocí srovnávací navigace. Tzn. pilot si zvolí požadovanou trať a zakreslí si ji do mapy. Při letu pak provádí vizuálním kontaktem se zemí opravy kurzu, tak aby se udržel na požadované trati. Velmi důležité je to, že pilot letící za VFR je povinen udržovat rozestupy od ostatního provozu a také od překážek. [5]

Při letu podle pravidel IFR pilot vede letoun po trati pomocí informace, kterou získává z palubních přístrojů. Ty mu udávají okamžitou polohu vůči požadované trati a pilot tak může neustále provádět opravu chyb. Podstatným rozdílem je ta skutečnost, že při letu podle pravidel IFR pilot nezajišťuje rozestup od ostatního provozu. Zajišťuje pouze rozestup od překážek. Rozestup od provozu mu musí zajistit řídicí letového provozu. [5]

Přiblížení podle přístrojů je závěrečná fáze letu dle pravidel IFR. Pilot vede letadlo po publikované trati pro dané letiště. Začátek přiblížení je na letové cestě a je označeno radionavigačním zařízením a nebo hlásným bodem. Celá procedura se obvykle skládá z pěti samostatných úseků. Těmi jsou příletová trať, úsek počátečního přiblížení, úsek středního přiblížení, úsek konečného přiblížení a úsek nezdařeného přiblížení. Každá část je oddělena tzv. fixy (Obr.19). Rozdělení jednotlivých částí je důležité, protože každá část je jinak konstruována a poskytuje letadlu jiné bezpečné odstupy od překážek. [5]



Obr. 19 Úseky přiblížení, oddělené tzv. fixy

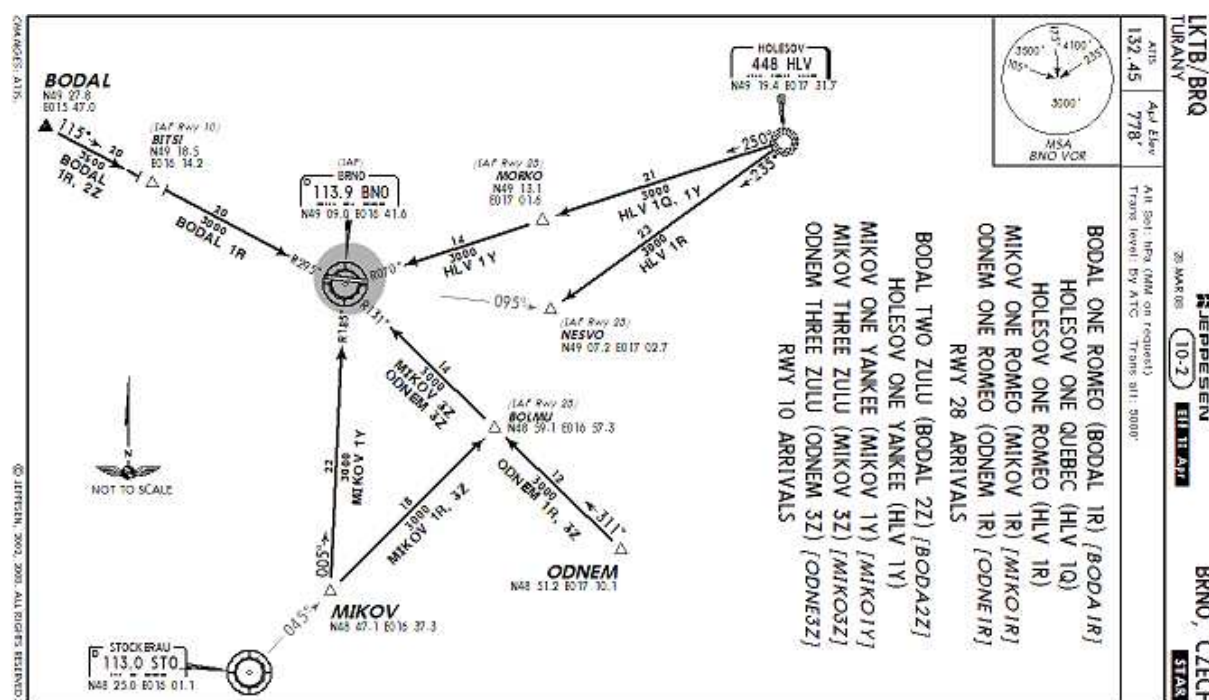
2.13 Druhy přístrojových přiblížení

Přiblížení se dělí na nepřesná přístrojová a přesná přístrojová. U přesných přiblížení má pilot informaci ve vertikální i horizontální rovině. U nepřesných využívá pouze horizontální informaci, která je dostupná. [5]

Dále se budu zabývat pouze přesným přístrojovým přiblížením. To zabezpečují systémy ILS (instrument landing system), MLS (microwave landing system), PAR (precision approach radar). Letiště Brno Tuřany má vypublikováno přesné přístrojové přiblížení ILS RWY 28 CAT I. Jde tedy o přiblížení na dráhu 28 v Brně do úrovně CAT I (obr. 22).

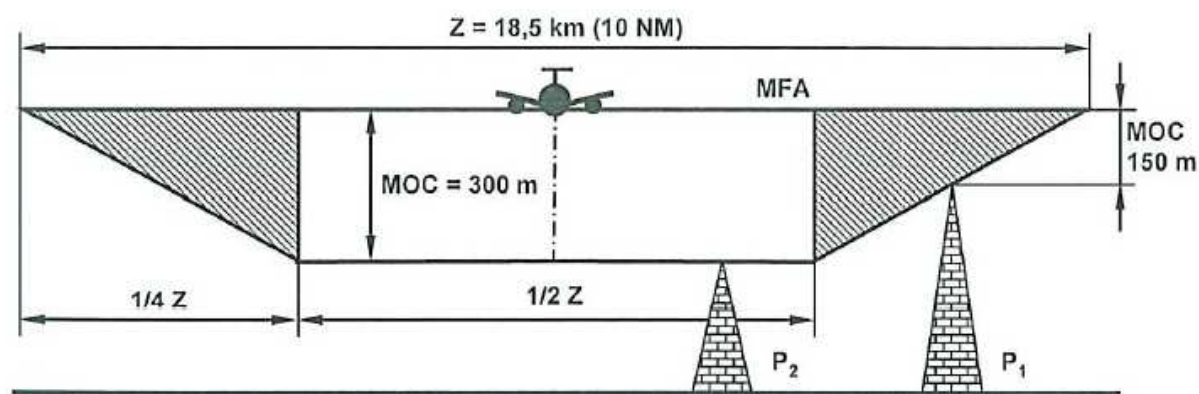
2.14. Popis stávajícího přiblížení ILS na LKTB

Pokud pilot zamýšlí přistát na LKTB v souladu s pravidly IFR, zahájí přilet na letové cestě a dále pokračuje po příletové trati. To může být např. povinný hlásný bod BODAL západně od Brna na letové cestě M748, nebo všesměrový NDB radiomaják HLV na východě. Řídicí letového provozu mu povolí přilet např. BODAL 1R arrival, nebo HOLESOV 1 Q arrival (Obr. 20).



Obr. 20 Příletová mapa pro letiště Brno Tuřany

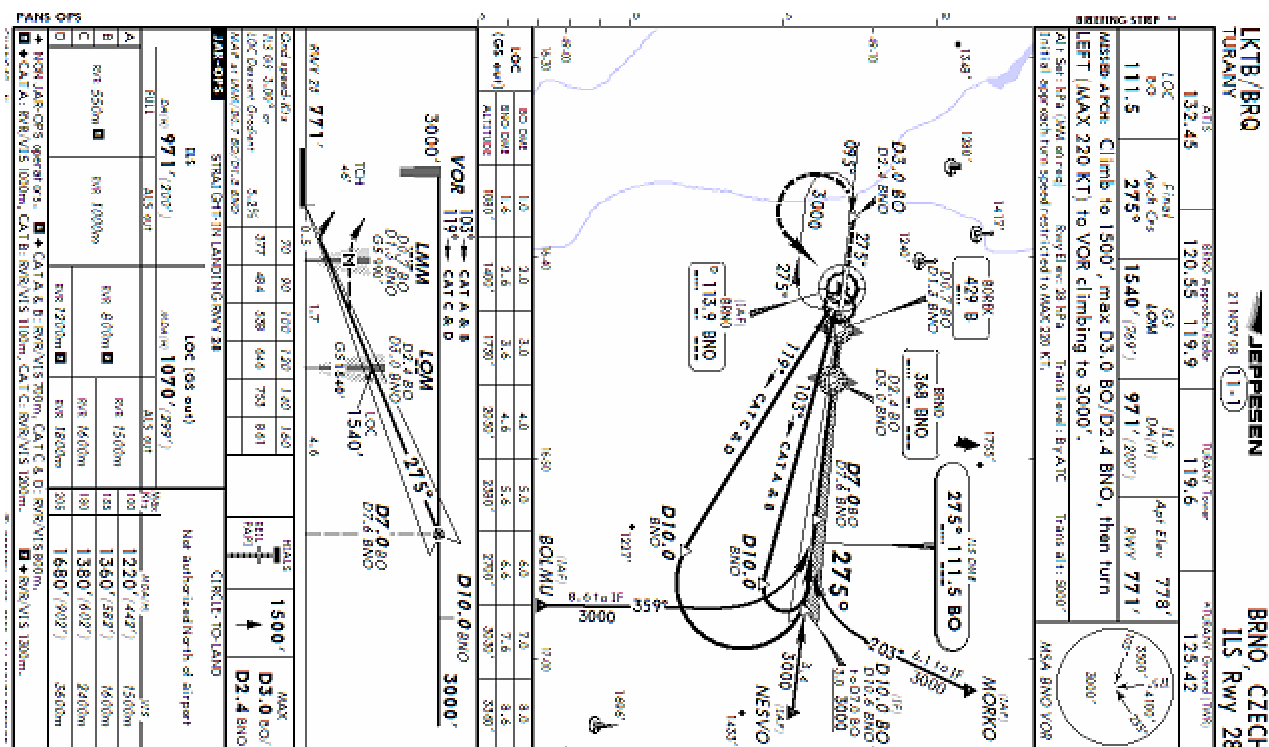
Pilot je povinen dodržet publikovanou minimální letovou výšku (MFA) a příslušný kurz. Tím má zajištěnou bezpečnou výšku nad překážkami v rozsahu 5 NM na levou i pravou stranu od letové cesty. Zmíněných 5 NM vytváří ochranný prostor, který se skládá z primární a sekundární části. V primární části (2,5 NM) je vertikální vzdálenost od překážek (MOC) 300 m a v sekundární části se snižuje ze zmíněných 300 m na nulu.



Obr. 21 Primární a sekundární ochranný prostor ochraňující letadlo od překážek

Dále se pilot dostane do bodu počátečního přiblížení (IAF). Pokud poleťte od západu, je tímto bodem Brněnský VOR (BNO), pokud letoun letí od východu, IAF je bod MORKO. Tento bod je definovaný radiálem 250° k BNO a vzdáleností 14 NM k měřiči vzdálenosti (DME), který je umístěn na letišti společně se zařízením VOR.

Po minutí bodu IAF pilot pokračuje až do bodu konečného přiblížení (FAF). Ten je ve vzdálenosti 7 NM od BO (ILS). Dle předpisu je možné FAF vytyčit ve vzdálenosti 5 až 15 NM. Pilot snižuje rychlost, výšku a vysouvá vztlakovou mechanizaci. Na přijímači si naladí příslušnou frekvenci brněnského ILS tj. 111,5Mhz a na ukazatelích OBS a HSI si nastaví přesný kurz přiblížení. Pro RWY 28 je to 275 ° (Obr. 22). Pilot přivádí letoun na trať konečného přiblížení. Dosah zařízení ILS je dostatečný k tomu, aby byl pilot schopen v dostatečné vzdálenosti před FAF přijímat signál a provést tzv. „plné usazení“. Pilot by měl vědět, že v této části přiblížení už nemá bezpečnou výšku nad překážkami 300 m, ale pouze 75 m a ochranný prostor je zde chápán v celé šíři jako primární. Před minutím FAF by měl mít pilot letoun v přistávací konfiguraci A měl by se věnovat pouze pilotáži a opravám vůči



Obr. 22 Mapa přesného přístrojového přiblížení pro letiště Brno Tuřany

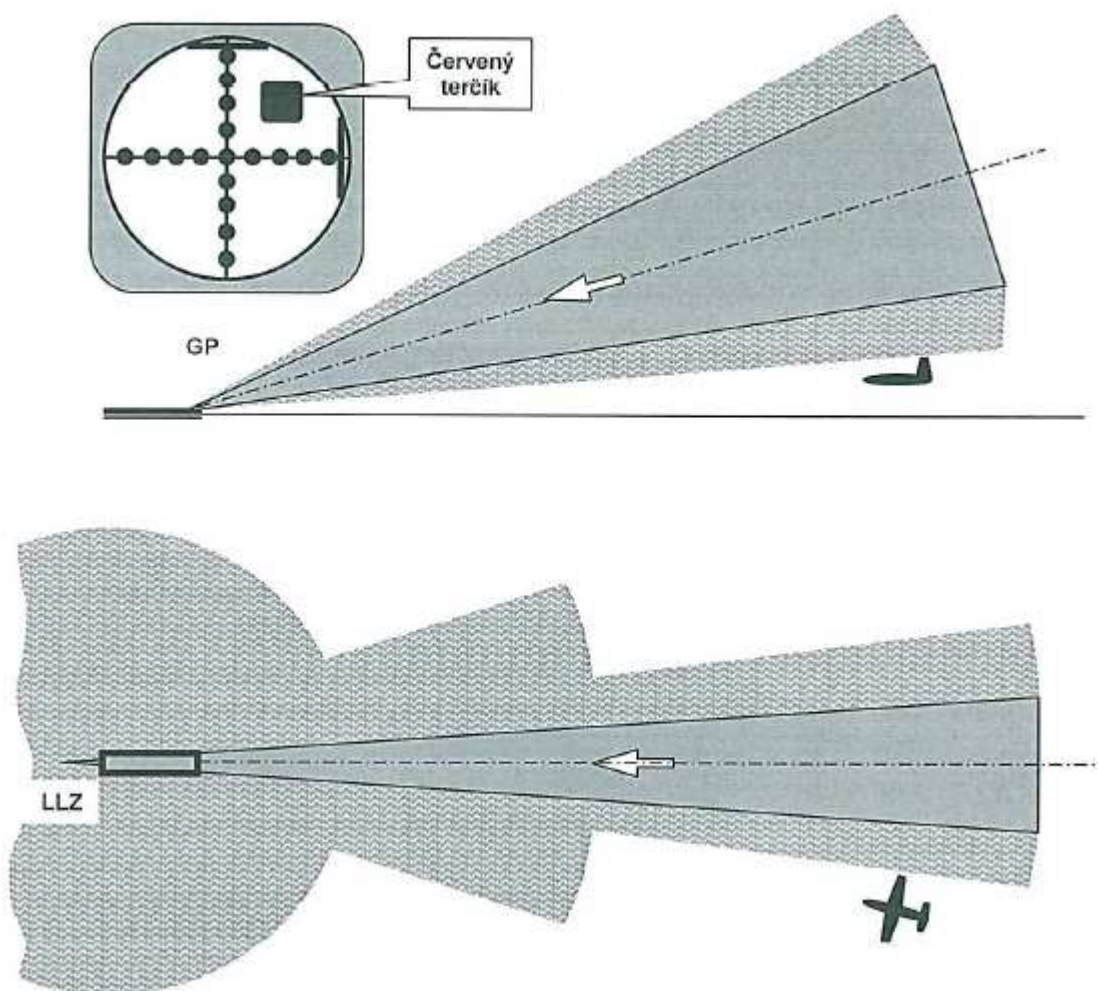
požadovanému směru. Čím blíže je letadlo k zemi, tím menší ochrana od překážek se mu poskytuje. Proto je potřeba, aby přesnost pilotáže byla co největší. Při závěrečném klesání má pilot k dispozici jako kontrolu kromě informace z OBS a HSI také signalizaci přeletu polohových návěstidel (Markerů). Při přeletu LOM by měl mít pilot výšku 1540 ft ve vzdálenosti 2,4 NM před prahem dráhy. Na palubě se pilotovi rozsvítí kontrolní signální světlo a ve sluchátkách uslyší pípání (při správné funkci markeru). V Brně není publikován žádný stepdown fix (bod postupného klesání), takže pilot během závěrečného klesání dodržuje po celou dobu sestupový úhel 3 °. Druhé návěstidlo přelétá letoun ve vzdálenosti 0,7 NM. Při konečném klesání pilot sleduje téměř výhradně přístroje. Až blízko výšky rozhodnutí se začíná věnovat pohledu ven z kabiny aby měl co největší možnost získat vizuální reference. Dosahuje výšku rozhodnutí (DA/DH) 971 ft a rozhoduje, zda přistane, nebo provede postup nezdařeného přiblížení. Aby mohl přistát, musí získat dostatečné vizuální reference. Práh

dráhy, dráhová světla, prahová zelená světla, osová návěstidla nebo příčky. Pokud budou meteorologické podmínky na minimech pro CAT 1, pilot má šanci vidět maximálně čtyři po sobě jdoucí světelná návěstidla a jednu prahovou příčku. Pokud požadované reference nezíská, provádí postup nezdařeného přiblížení.

Postup nezdařeného přiblížení začíná v bodu MAPt (missed approach point) a končí na radionavigačním zařízení BNO. Tj. pilot nejpozději v MAPt musí zahájit postup nezdařeného přiblížení, aby nedošlo k narušení bezpečné výšky nad překážkami. Pilot zvyšuje výkon a převádí letoun z klesání do stoupání. Pokračuje až do výšky 1500 ft kurzem dráhy 275 °, maximálně do vzdálenosti 3 NM od ILS BO (111,5 Mhz) a poté točí levou zatáčkou na VOR BNO (113,9 Mhz) a stupá do 3000 ft. Jeho další činnost záleží na okolnostech. Může se pokusit o opakované přiblížení, nebo může vyčkávat nad BNO ve vyčkávacím obrazci a nebo bude pokračovat v letu na náhradní letiště.

2.15 Vyhodnocování polohy letounu vůči sestupové dráze ILS

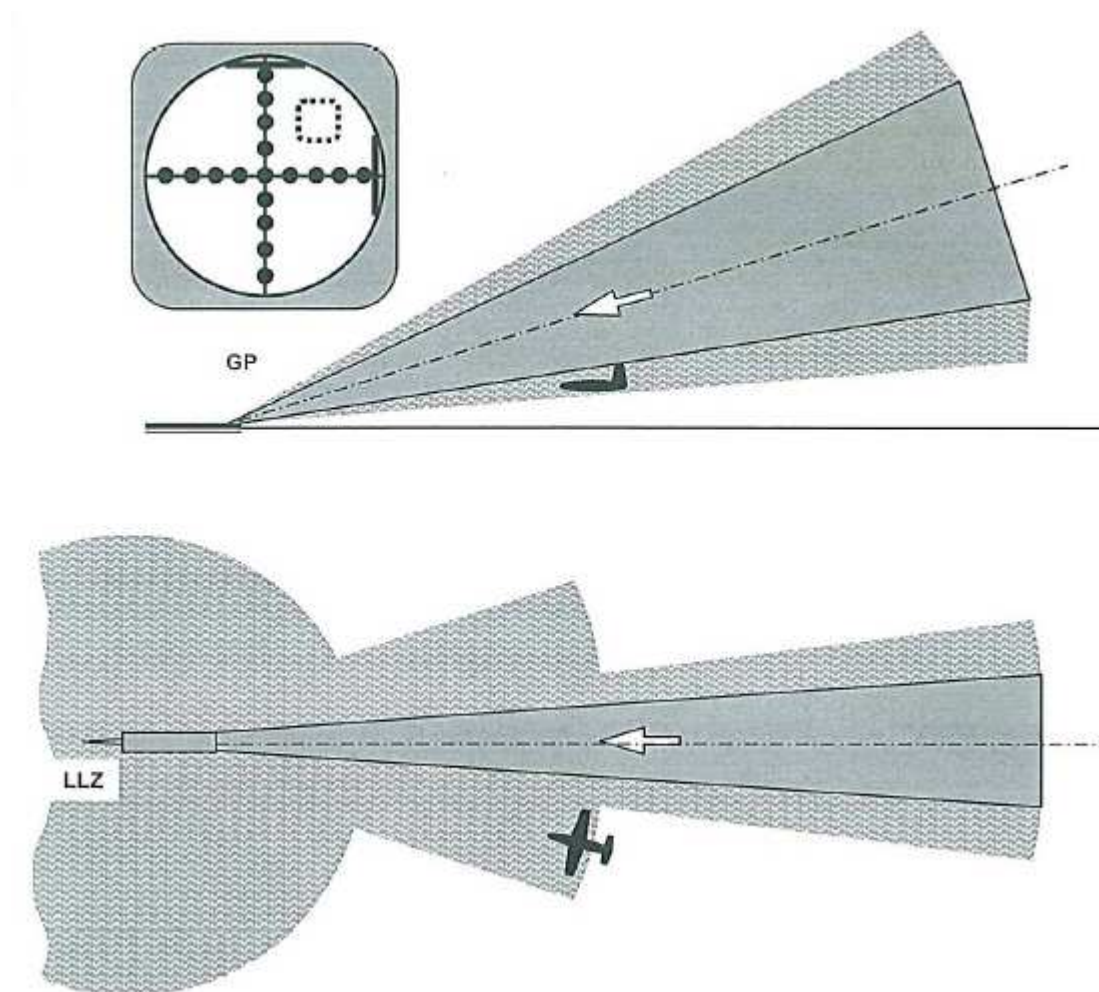
Na následujících obrázcích je jasně vidět závislost indikace přístroje na poloze letadla vůči signálu ILS.



Obr. 23 Indikace přístroje, pokud je letoun mimo pracovní oblast ILS

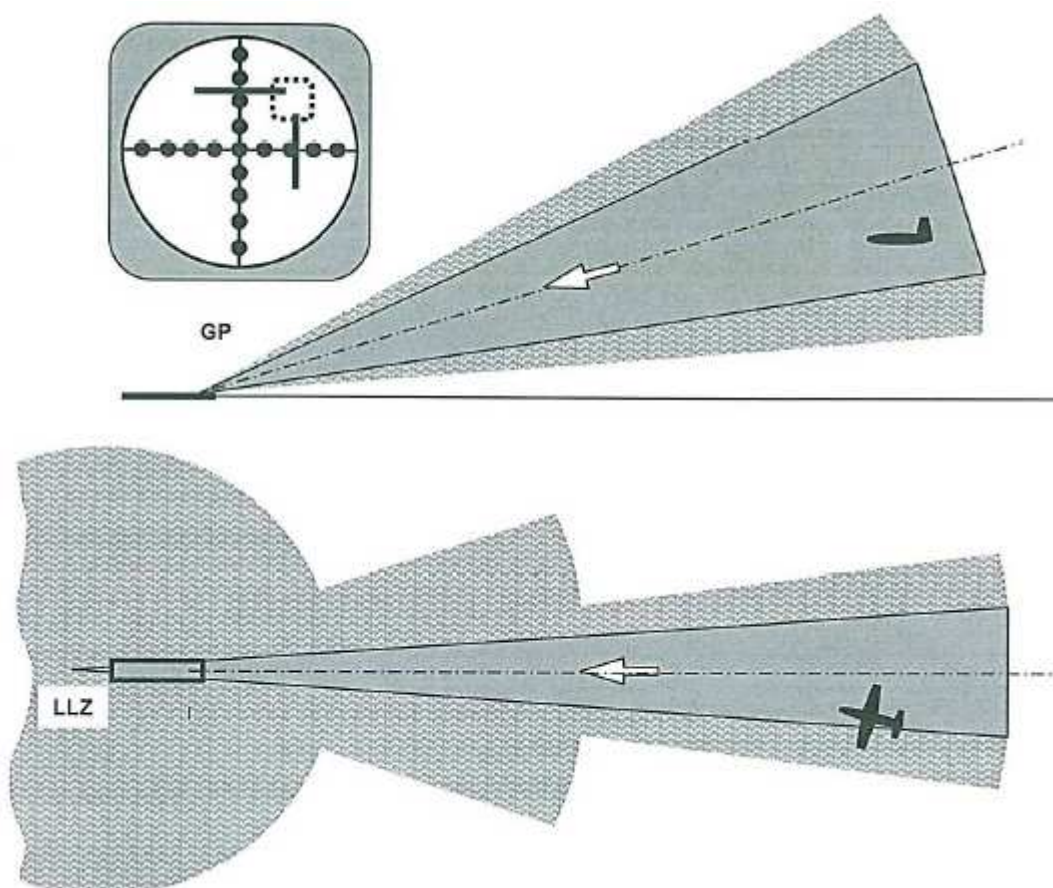
Pilot je vně dosahu signálu, tudíž obě povelová břevna jsou ve svých krajních polohách a dále je viditelný červený terčík signalizující nedostatek signálu (obr. 23). Podle typu přístroje by mohli být červené terčíky jeden nebo dva (každý zvlášť pro LLZ a GP nebo jeden společný).

Na následujícím obrázku (Obr. 24) se pilot dostal do prostoru s dostatečným signálem. To se projeví zmizením červených terčíků, nicméně povelová břevna zůstávají stále ve svých okrajích až do doby, kdy pilot vstoupí za hranici kurzového sektoru. Poté se začnou přibližovat ke středu indikátoru. [5]



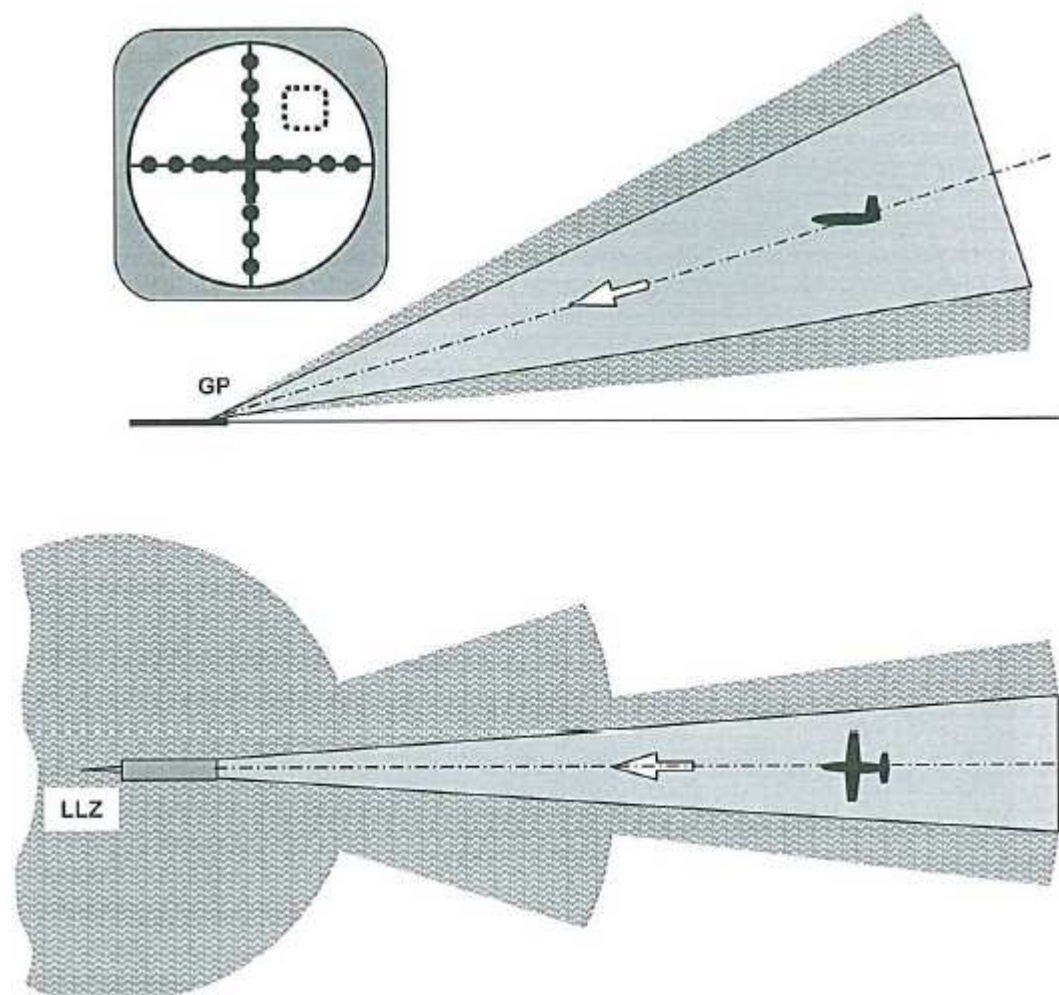
Obr. 24 Indikace přístroje, pokud je letoun v pracovní oblasti ILS, ale stále mimo kurzový sektor

Na následujícím obrázku už je pilot se svým letounem v oblasti kurzového sektoru v oblasti indikace. Příklad indikuje vůči oběma rovinám jakousi odchylku. Kurzové břevno je napravo od středu indikátoru. Tzn. letadlo se nachází vlevo od osy RWY. Břevno skluzové roviny se nachází nad středem indikátoru. Tzn. že letoun je pod sestupovou rovinou. Obě břevna jsou povelová (nařizují pilotovi kam letět). Činnost pilota by měla být následující: Mírně točit doprava a zmírnit klesání. [5]



Obr. 25 Indikace přístroje, pokud je letoun v kurzovém sektoru ILS

Poslední obrázek demonstruje, jak by měla vypadat správná poloha letadla vůči kursové a sestupové ose a indikace na přístroji.



Obr. 26 Indikace přístroje, pokud je letoun na plně usazen na sestupové dráze ILS

2.16 Zásady bezpečného použití ILS

- Před zahájením přiblížení důkladně nastudovat příslušnou mapu
- Kontrola správné indikace přístrojů (vlajky neviditelné)
- Před zahájením přiblížení identifikovat morse kód systému ILS
- Mít na paměti, že se citlivost přístroje se snižující se vzdáleností od THR zvyšuje
- Výrazné korekce by neměly být prováděny po minutí Outermarkeru, přiblížení by mělo být ukončeno

- Chvilkové vychýlení indikace LLZ může být vyvoláno vzlétajícím letadlem
- Chvilkové vychýlení indikace GP může být vyvoláno přistávajícím letadlem
- Pokud jsi v DA nezískal vizuální reference, okamžitě bez prodlení zahaj postup nezdařeného přiblížení
- Pokud máš jakékoliv pochybnosti o kterékoliv části systému, zkontroluj zařízení s pomocí řídicího letového provozu [10]

2.17 Závěrem k systému ILS

V první části diplomové práce byl představen stávající radionavigační systém pro přesné přístrojové přiblížení na přistání ILS. Dále byly popsány jeho technické parametry a možnosti využití leteckými posádkami při závěrečné fázi letu pro konkrétní letiště a to pro Brno Tuřany. Systém ILS funguje po celém světě spolehlivě již víc než 60 let. To svědčí o jeho kvalitách. Bohužel rostoucí požadavky v letectví na ekonomičnost provozu a na maximální možné využití vzdušného prostoru vedou odborníky k závěru, že stávající radionavigační systémy (mezi kterými je i ILS) nebudou v následujících letech schopny obstát v tvrdých požadavcích a budou muset být nahrazeny novými technologiemi. Systém ILS se již brzy stane pouhou historií a vzpomínkou všech lidí, kteří se jakýmkoliv způsobem podíleli na jeho provozu.

3. Blízká budoucnost GNSS

Druhá část práce obsahuje možnosti přechodu ze stávajících radionavigačních systémů na novodobé systémy, kterými jsou tzv. globální navigační systémy GNSS. Ty mají za cíl splnit požadavky všech uživatelů podílejících se na leteckém provozu. Mají za cíl odstranit nedostatky stávajících systémů, které jsou již na hranici svých možností. Odborníci věří, že GNSS systémy jsou jedinou možnou cestou, jak dosáhnout ekonomického provozu a dalšího rozvoje v letectví. GNSS mají postupně nahradit dosavadní stárnoucí systémy, jejichž provoz se stává ekonomicky neefektivní a čím dál více se prodražuje. [11]

Nejprve bude popsána stručná historie systémů GNSS, důvody jejich vzniku a požadavky jednotlivých institucí na nové koncepce využívání radionavigačních prostředků včetně GNSS.

3.1 Historie družicových systémů

USA

Historie umělých družic se začala odvíjet od roku 1957, kdy Sovětský svaz úspěšně vypustil první umělou družici Země s názvem Sputnik.

První družicový navigační systém byl vyvinutý ve Spojených státech a nikdy se s ním nepočítalo pro civilní využití. Nesl název Tranzit a využívalo ho námořnictvo Spojených států amerických. Systém obsahoval pět družic, které poskytovaly navigační informaci přibližně jedenkrát za hodinu. Testy proběhly úspěšně v roce 1960.

V roce 1967 vyvinulo americké námořnictvo v programu Timation satelit, jehož součástí byly velmi přesné hodiny, na kterých je založen stávající systém GPS.

V roce 1973 byla založena Společná programová skupina kosmické divize velitelství systémů vzdušných sil USA. Ta obsahovala pracovníky nejen ze Spojených států, ale i z členských států Severoatlantické aliance a Austrálie. V prosinci téhož roku dostala povolení zahájit práce na programu Navstar GPS, jež byly rozděleny do tří fází. [11]

Fáze jedna probíhala mezi lety 1973 až 1979. Firma Rockwell vyrobila čtyři družice, které byly úspěšně vyneseny na oběžnou dráhu v roce 1978. Testy probíhali v Arizoně a ukázaly, že tyto čtyři družice jsou během omezené doby schopny poskytovat trojrozměrnou informaci o poloze. Družice v tomto období se nazývají družice bloku jedna.

Fáze dvě časově navazovala na fázi jedna a pokračovala do roku 1985. V tomto období se budovaly řídicí střediska. Probíhala výběrová řízení na výrobu 28 družic bloku dvě a taky uživatelských zařízení. V poslední části této fáze byly přijímače testovány. V tomto období došlo k závažnému incidentu, konkrétně v roce 1983, kdy bylo sestřeleno civilní dopravní letadlo společnosti Corea airlines, z důvodu neúmyslného narušení sovětského zakázaného vzdušného prostoru. Tehdejší prezident USA Ronald Reagan vydal prohlášení o poskytnutí GPS ve prospěch civilnímu letectví. [11]

Fáze tři trvá od roku 1985. První družice bloku dvě byla vynesena v únoru 1989. Jejich předností je možnost samostatné činnosti po dobu 180 dní. V červnu téhož roku byla dojednána objednávka dalších dvaceti modernizovaných družic označovaných jako blok dvě R. Jejich předností je např. vzájemná komunikace mezi družicemi, určování polohy a při chybné funkci některé z družic detekce této chyby a vyslání příslušné zprávy a to bez kontaktu s řídicím střediskem. Roku 1993 vyhlásilo americké ministerstvo obrany počáteční operační schopnost systému a v roce 1995 vydalo prohlášení, že bylo dosaženo plné operační schopnosti.

Do roku 2000 byla služba GPS signálu poskytována pouze s aktivovanou úmyslnou degradací přesnosti SA. V principu šlo o úmyslné vnášení chyb měření. To mělo za následek

nižší přesnost řádově 100 m. Avšak prvního března roku 2000 vydal americký prezident Bill Clinton nařízení o vypnutí režimu SA. Tím se nevýrazně zpřesnily měření a chyba polohy se podstatně zmenšila (cca 20 m). V tomto roce bylo schváleno americkým kongresem další budování GPS systému s názvem GPS 3. Mělo by jít o výstavbu dalších pozemních stanic, nových družic, zavedení nových signálů (L2C, L5, M) atd.

První družice vysílající signál L5 byla vynesena na oběžnou dráhu 14. března 2009 a nyní probíhá testování. Jde o osmou modernizovanou družici tzv. IIR-20(M) s životností kolem 10 let. V současné době systém GPS zahrnuje 31 provozuschopných družic. Poslední nejnovější satelity mají nést označení IIF. Jejich životnost by měla dosahovat 15 let. Dokončení poslední obnovy GPS systému se zatím plánuje do roku 2013.

Rusko

Rusko nechtělo zůstat pozadu a vyvíjelo svůj vlastní systém tzv. GLONASS. Jeho vývoj započal roku 1976. Mezi lety 1982 až 1985 bylo vyneseno více než 15 prototypů. Kompletní instalace první generace byla dokončena v roce 1995.

Po roce 1990 byla vyvinuta druhá generace satelitů (Uragan-M). V devadesátých letech systém doplácel na ekonomické problémy Ruska. Několik satelitů také shořelo aniž by se dostalo na oběžnou dráhu z důvodu poruchovosti raketových nosičů Proton. Nebylo dostatek financí na jeho provoz a údržbu. Do roku 1999 bylo vyneseno 82 satelitů. Až v roce 2001 Rusko zahájilo obnovu systému ve spolupráci s Indií s cílem dosáhnout plné operační schopnosti do roku 2009. Roku 2001 byl vynesena na oběžnou dráhu první satelit druhé generace.

Třetí generací mají být satelity známé jako Uragan-K. Jejich životnost se odhaduje na 10 až 12 let a první kus by měl být připraven v roce 2009. v systému se počítá s 24 družicemi.

Evropa

Evropský systém nemá zdaleka tak dlouhou historii jako výše zmíněné systémy. Počátky sahají do roku 1998. Budují jej Evropská unie, Evropská kosmická agentura a Eurocontrol. Na rozdíl od ruského GLONASSu a amerického GPS, které byly od počátku vyvíjeny pro vojenské využití, systém Galileo je navržen tak, aby vyhovoval civilním uživatelům. Jeho první úrovní je systém EGNOS. Původně měl být určen pouze pro region Evropy, ale zjistilo se že dosahuje uspokojivých výsledků i na blízkém východě, v Rusku a v Africe. Jeho první testovací vysílání probíhalo od roku 2003. V prvním harmonogramu měl být systém plně operační do roku 2008. V tuto chvíli se hovoří o certifikaci pro letecký provoz do roku 2009 až 2010.

Druhým stupněm bude systém GALILEO. Datum jeho plného operačního nasazení je nejasné. Nejprve se hovořilo o roku 2010, následně o roku 2014. Systém doprovází technické i finanční problémy. Jeho služby by měly být rozděleny podle druhu použití (komerční, veřejné). V roce 2005 byl vynesena první testovací satelit nazvaný GIOVE-A, a roku 2008 druhý s názvem GIOVE-B.

Ostatní země

V posledních letech se o GNSS technologie výrazně zajímají také Japonsko (MSAS), Kanada (CWAAS), rychlý rozvoj v potřebných technologiích zaznamenaly také Čína (Compass) a Indie (GAGAN). Čína vypustila svůj první satelit v roce 2007 a do tří let by měla vyslat dalších 10 družic s názvem BEIDOU.

3.2 Koncepte FANS

Od 80. let minulého století se nárůst letecké dopravy zvýšil až na takovou úroveň, že došlo k přesycení vzdušného prostoru a jednotlivé složky řízení letového provozu nebyly schopny vyhovět požadavkům jednotlivých dopravců. Tato situace si vyžádala reakci rady ICAO. Ta v roce 1983 ustanovila výbor FANS (Speciál Commitee on Future Navigation Systems), který měl tuto situaci řešit. Výbor FANS navrhl novou koncepci budoucích leteckých systémů (koncepte FANS nebo ICAO koncepte CNS/ATM). Podstata koncepte měla dva hlavní směry. [1]

- Zavést nový proces ATM (air traffic management), který kromě letových provozních služeb ATS (Air traffic service) bude obsahovat dvě nové složky a to uspořádání toku letového provozu ATFM (air traffic flow management) a uspořádání vzdušného prostoru ATM (air traffic management).
- Zavedení nové koncepte pro komunikaci, navigaci a sledování CNS (communication, navigation, surveillance) založenou na širokém využití družic pro spojení, navigaci a sledování.

3.3 Koncepte CNS

Podstatou koncepte je využít při vývoji nových systémů systémy stávající a řídit zavádění budoucích systémů. Cílem koncepte je zvýšit bezpečnost, snížit zpoždění, zvýšit kapacitu, pružnost systému a snížit náklady na provoz. Proces zavádění se odlišuje pro jednotlivé oblasti v závislosti na konkrétních charakteristikách provozu. Např. zcela jiné požadavky jsou pro vzdušný prostor nad Afrikou ve srovnání s požadavky vzdušného prostoru nad Evropou. Prostory jsou definovány např. takto: kontinentální vzdušný prostor s nízkou hustotou provozu, kontinentální vzdušný prostor s vysokou hustotou provozu, oceánský vzdušný prostor s nízkou hustotou provozu, oceánský vzdušný prostor s vysokou hustotou provozu, vzdušný prostor v TMA s nízkou hustotou provozu a vzdušný prostor v TMA s vysokou hustotou provozu. [1]

3.3.1 Požadavky koncepte CNS

Požadavky na spojení

- Možnost globálního přenosu datových a hlasových informací pomocí družic.
- Pro komunikaci primárně využívat pásmo VKV.
- Nad územím s vysokou hustotou provozu využívat pro přenos dat modu S sekundárního radaru SSR.

Požadavky navigace

- Maximální využití a uplatnění prostorové navigace RNAV v souladu s požadovanou navigační výkonností RNP.
- Využívání globálních navigačních družicových systémů a postupné vyřazení současných radionavigačních systémů (VOR/DME, NDB, ILS).

- Omezení využívání systému LORAN-C.

Požadavky sledování

- Postupné vyřazování primárních radarů PSR.
- Módy A/C nebo mód S sekundárního radaru SSR se budou používat v uzlových oblastech a v kontinentálním vzdušném prostoru s vysokou hustotou provozu.
- Automatické závislé sledování ADS se bude využívat v ostatních oblastech vzdušného prostoru a nahrazení primárních radarů.

3.3.2 Očekávané přínosy CNS

Přínosy v navigaci

- Vysoká integrita a přesnost
- Snížení nákladů a pozemních navigačních zařízení
- Lepší využití RWY
- Vylepšená 4D navigace

Přínosy v komunikaci

- Výkonnější spojení
- Snížení spojovacích chyb, pracovního zatížení a nákladů
- Přesnější data
- Snížení počtu chyb

Přínosy ve sledování

- Snížení chyb hlášení polohy
- Přesnější data
- Snížení nákladů

S GNSS systémy se v koncepci CNS počítá zejména pro poskytování radionavigačního signálu, vysílání korekčních zpráv DGNSS, telekomunikace, automatický přenos informací o poloze letadel ADS. [1]

3.4 Koncepce FEATS

Pro použití v Evropě byla koncepce FANS přepracována z důvodu velmi specifické situace leteckého provozu nad Evropou a v roce 1989 byla Evropskou kanceláří ICAO schválena a vydána jako dokument ICAO EUR DOC 004. V roce 1990 byl schválen dokument: Strategie zavádění budoucího evropského systému LPS, který specifikoval etapy budoucího systému FEATS. Cílem strategie je sloužit jako základ pro uspořádané zavádění budoucího systému organizace letového provozu v celé Evropě. [1]

Období zavádění FEATS bylo stanoveno mezi lety až 2015 a mělo se skládat ze tří vzájemně proložených etap. [1]

V první etapě mělo dojít ke sladění národních systémů a jejich plnému využití. Druhá etapa v délce deseti let byla zahájena v polovině devadesátých let, kdy zavedení nových CNS systémů dovolilo zabezpečit postupnou integraci sladěných národních systémů a tím dosáhnout větší propustnosti ve vzdušném prostoru. Třetí etapa měla od roku 2000 dokončit plnou realizaci koncepce FEATS a to nejen pozemních systémů ale i systémů paluba- země. [1] I v této koncepci hraje systém GNSS důležitou roli.

3.5 Základní princip systému GNSS

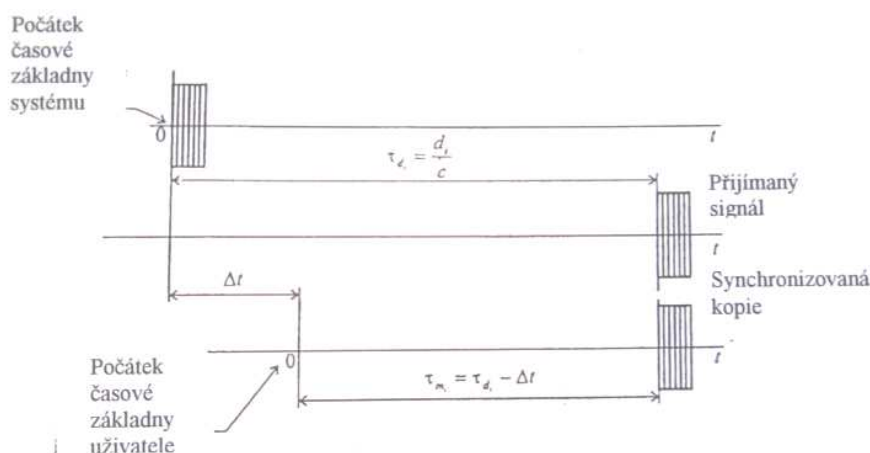
Družicové navigační systémy patří k tzv. globálním systémům, využívající umělé družice jako obdobu pozemních majáků u tradičních radionavigačních zařízení, s tím rozdílem, že díky vhodnému počtu a rozmístění družic na oběžných drahách kolem Země, zajišťují nepřetržitou radionavigační informaci o poloze kdekoli na Zemi. Podmínkou je, aby byl příslušný objekt vybaven GNSS přijímačem (palubním zařízením). Družice vysílají signál, který obdrží uživatel prostřednictvím přijímače. Ten jej nějakým způsobem zpracuje a jako výstup poskytne uživateli informaci o aktuální poloze. [11]

Pro zpracování signálu z družic je možné využít několik principiálně odlišných metod. Jsou to:

- metoda úhloměrná
- metoda dálkoměrná
- metoda dopplerovská
- metoda měření fáze nosné vlny
- metoda interferometrická

U GNSS navigačních systémů se využívá zejména metody dálkoměrné. Dálkové systémy se dále dělí na aktivní a pasivní. U GNSS jde o pasivní dálkoměrný systém. Tzn. že systém od uživatele nepotřebuje ke své činnosti žádný signál, jako je tomu u aktivních systémů (dotaz-odpověď). Pro pasivní systémy se konstruktéři rozhodli proto, aby uživatel nemohl nijak ovlivnit činnost systému. Uživatel je pouze pasivním příjemcem. [11]

Uživatel měří vzdálenost k několika různým družicím. Měření vzdáleností se provádí na základě měření času τ_i . Tento čas reprezentuje dobu od vyslání signálu z družice do přijetí signálu uživatelským přijímačem. Při známé poloze družic (x_i, y_i, z_i), se řešením tří rovnic o třech neznámých vypočítá poloha uživatele (x, y, z) ke každé družici. Informace o poloze družice je obsažena ve vysílaném signálu.

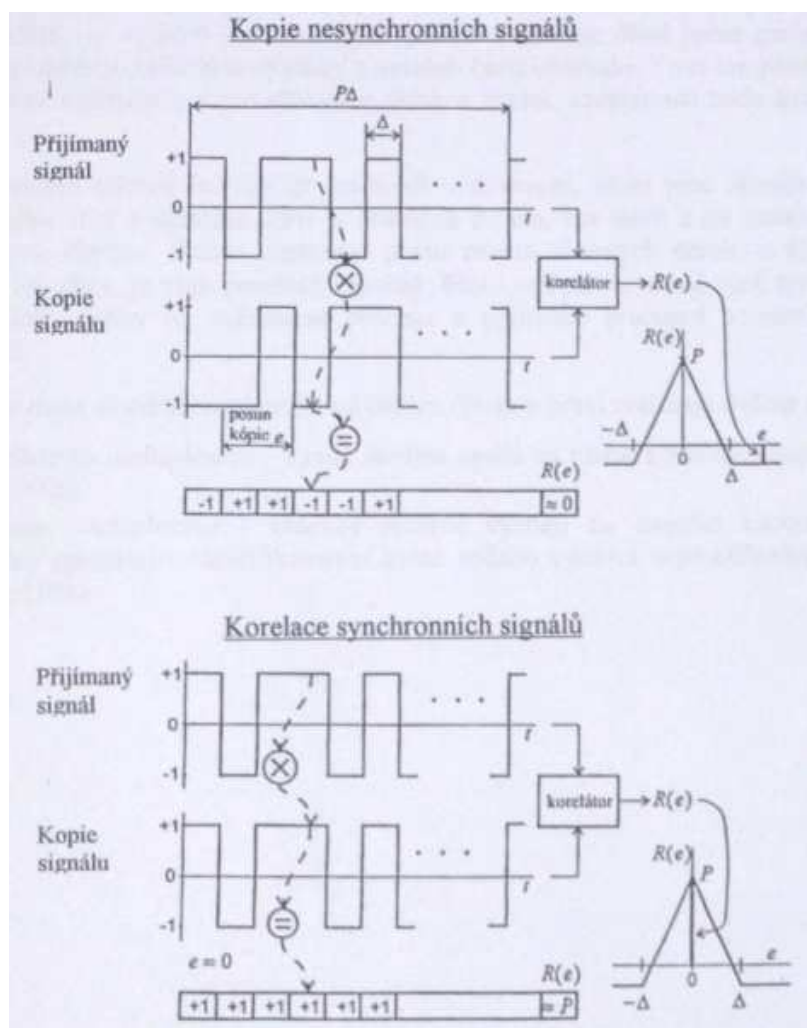


Obr. 27 Měření času τ_i

Metoda má jednu velkou nevýhodu. Problémem je měření času τ_i . Je třeba změřit čas od vyslání družicí po příjem signálu přijímačem. Podstata problému je v nesynchronnosti časových základen na palubě družice a v přijímači uživatele. Časová základna uživatele je posunuta o neznámou hodnotu Δt . Při známé rychlosti světla je možné neznámý čas převést

na vzdálenost, kterou signál za dobu Δt urazí. Z této úvahy vyplývá, že pro úspěšné řešení problému je potřeba přijímat signál od čtyř různých družic (čtyři neznámé).

Měření se uskutečňuje v přijímači tak, že přístroj generuje kopii přijímaného signálu od každé přijímané družice. Následně kopii zesynchronizuje s přijímaným signálem a měří τ_i počátku kopie vzhledem k počátku své časové základny. Změřený čas se přepočítá na vzdálenost. Tato vzdálenost se nazývá pseudovzdálenost (zdánlivá vzdálenost). Sesouhlasení signálu se provádí pomocí tzv. korelátoru. Korelátor vytváří součet součinu hodnot přijímaného signálu s hodnotami signálu kopírovaného. Tento součet součinu se nazývá korelační funkce $R(e)$. [11]



Obr. 28 Zpracování signálu

Její hodnota závisí na vzájemném posunu e obou dvou signálů. Pokud je vzájemný posun nulový hodnota funkce je maximální. V opačném případě s rostoucím rozdílem se hodnota korelační funkce zmenšuje. Při použití dvou korelátorů se do jednoho přivádí vhodně opožděná kopie a na vstup druhého bude kopie předbíhat. Pokud budeme odčítat výstupní napětí obou modelátorů, dostaneme obvod tzv. diskriminátor zpoždění s požadovanou závislostí výstupního signálu $u(e)$ na posunu e . Velikost a znaménko $u(e)$ odpovídá velikosti a smyslu časového posunu e . [11]

V diskriminátoru zpoždění je na společný vstup dvou korelátorů vedený přijímaný signál $c(t)$ vysílaný družicí. Na druhé vstupy korelátorů je přivedený signál $c(t)$ z generátoru časové základny, která generuje kopii vysílaného signálu. Kopie je však zpožděná o neznámé Δt proti signálu generovaného v družicovém signálu.

Aby bylo možné signály $c(t)$ přenášet jako radiový signál družice - země, musí se namodulovat na nosnou vlnu a vytvořit dálkoměrný signál.

$$S = c(t) \cdot D(t) \cdot \sin(2\pi f t)$$

Kde f je kmitočet nosné vlny, $c(t)$ je dálkoměrný kód a $D(t)$ je navigační zpráva. Dálkoměrné kódy se obvykle volí jako pseudonáhodné kódy, které mají vhodné korelační vlastnosti. Tyto kódy jsou periodické a vytváří se podle jistých algoritmů.

Vzdálenost k družici se dá měřit dvěma způsoby a to fázovým měřením na nosné vlně a nebo kódovým měřením. [11]

Kódové měření spočívá v porovnávání generovaného a přijímaného kódu. Tento speciální periodicky se opakující kód je obsažen v signálu vysílaného z družice. Radiová vlna se mění přibližně s frekvencí 1,6 GHz a k této frekvenci je připojen zmíněný kód. Přijímač tento kód hledá v přijímaném signálu a měří zpoždění mezi generovaným a přijímaným signálem. U systému GPS pracují družice na stejném kmitočtu a každá družice má svůj vlastní kód. Obsah kódu je přibližně 1Mb/s resp. 1Mb/s. Tento způsob měření je poměrně rychlý a nenáročný na přijímač (z hlediska ceny). Dá se dosáhnout řádově desítek metrů. Zásadně rozdílný je v tomto ohledu GLONASS, u kterého pracuje každá družice na svém vlastním kmitočtu. [11]

Druhým způsobem je fázové měření na nosné vlně. Signál má tvar sinusoidy. Může se měřit počet celých vlnových délek a zbytek vzdálenosti kratší než je vlnová délka signálu. Fázová metoda je výrazně přesnější vzhledem k vlnové délce (asi 20 cm). Dosažitelná přesnost může být až subcentimetrová. Problémem měření je jeho větší náročnost. Z toho vyplývá i složitější a dražší přijímač a hlavně také delší čas potřebný pro měření. [11]

3.6 Základní struktura GNSS

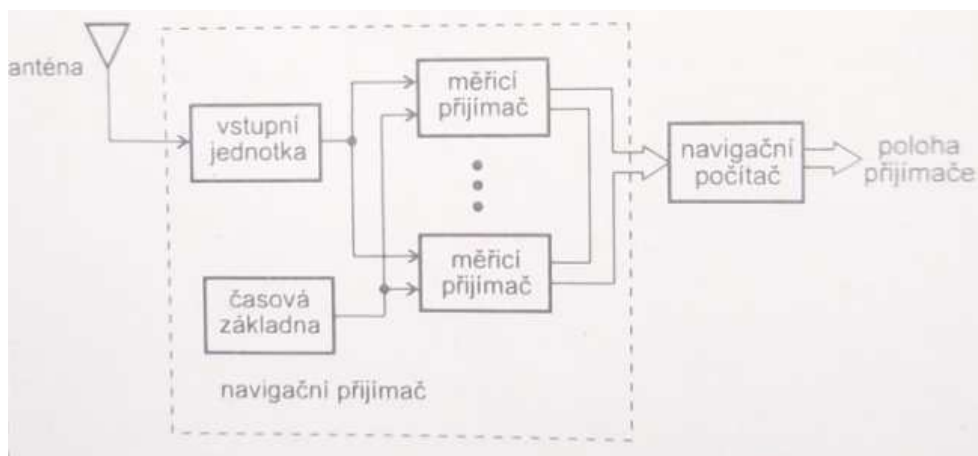
Systém je tvořen několika základními segmenty. Těmi jsou kosmický segment, řídicí segment a uživatelský segment.

Kosmický segment je budován na oběžných dráhách s velmi malou excentricitou (téměř kulová oběžná dráha). U systému GPS byla potřeba minimálně 24 družic. V současné době obsahuje 31 družic. Střední doba oběhu je asi 12 hodin. Družice obíhají Zemi ve výšce 20200 km. Základem každé družice je následující vybavení: přijímač, vysílač a přesné atomové hodiny. [3]

Řídicí segment se skládá z hlavní řídicí stanice MCS (master kontrol station), monitorovacích stanic a pozemních řídicích stanic. Jeho základním úkolem je sledovat družice, vysílat družicím příslušné opravy a dle potřeby opravovat polohu družic na oběžné dráze. Současné rozmístění stanic dovoluje navázat spojení s každou družicí třikrát denně.

Uživatelský segment zpracovává informace vysílané z družic. Pomocí nich přijímač počítá polohu své antény. Zároveň kromě polohy poskytuje uživateli další navigační informace nejrůznějších typů. Přijímače jsou rozdílně technicky vyspělé v závislosti na svém určení. V dnešní době jsou na trhu v nejrůznějších variantách (kapesní, palubní, doplňkové moduly do palubních počítačů atd.). V letectví se používají vícekanálové přijímače. (v současné době dvanáctikanálové). Jsou vhodné z hlediska dostupnosti signálu i při výrazném manévrování. [3]

Hlavními částmi přijímače jsou: anténa, měřicí přijímač, počítač a zobrazovací jednotka. Navigační přijímač tvoří vstupní jednotka, časová základna, která navigační přijímač řídí a jeden nebo více měřících přijímačů. Vícekanálový přijímač musí mít minimálně čtyři měřicí přijímače. Každý z nich vykonává měření k jedné družici. Tím odpadá problém se zpracováním navigačních parametrů. Všechna měření probíhají v jednom čase.



Obr. 29 Schéma GNSS přijímače

3.7 Signály a poskytované služby

V civilním provozu jsou použity tzv. C/A kódy o délce jedné milisekundy. Jsou modulované kmitočtem 1,023 MHz. Kód C/A je veřejný a trvalý. Ve vojenském provozu jsou použity tzv. P-kódy, modulované kmitočtem 10,23 MHz. Kód P je neveřejný a mění se po sedmi dnech. [3]

Přenos informací od družic k uživatelům v současné době využívá dvou pevných nosných kmitočtů. Základní přenosový kanál L1 má kmitočet 1 575,42 MHz a druhý přenosový kanál L2 1 227,6 MHz. Kanálem L1 jsou přenášeny oba kódy (C/A i P) a také navigační zpráva. Signály jsou přijímány civilními i vojenskými uživateli. Vojákům slouží jako hrubé zaměření. Pro příjem signálu C/A stačí jedno kmitočtový přijímač.

Kanálem L2 jsou přenášeny kód P a navigační zpráva. Současný příjem téhož signálu (P) na dvou kmitočtech umožňuje zpřesnit měření vzdáleností. Měření pomocí signálu P vyžadují dvou kmitočtový přijímač. [12]

V následujících letech bude zpřístupněn druhý civilní signál L2C 1 227,6 MHz a třetí signál L5 s frekvencí 1176,45 MHz. Tyto frekvence by měly být více odolné. Kód na frekvenci L5 má být desetkrát rychlejší než stávající C/A kód a bude daleko více odolný vůči šumu. Signál L5 byl spuštěn v dubnu roku 2009. [12]

Služba, poskytovaná uživateli prostřednictvím C/A kódu, se nazývá standardní službou určování polohy (SPS – Standard Positioning Service). Služba, poskytovaná uživateli prostřednictvím P-kódu, se nazývá přesnou službou určování polohy (PPS – Precise Positioning Service).

Elmag. vlny, vysílané družicemi GPS, jsou kromě kódů C/A a P modulovány současně ještě tzv. navigační zprávou, jejíž kmitočet je 50 Hz (délka bitu je 20 ms). Cílem navigační zprávy je trvale předávat uživatelům ty informace, které jsou nezbytné k provádění potřebných měření (dálky a času), tzn.:

- údaje o poloze v okamžiku vysílání signálu
- čas, udávaný etalonem
- chyby času (časové korekce)
- informace o okamžitém stavu ionosféry

- další informace (almanach a jiné zprávy)

3.8 Chyby měření

Existují chyby ovlivňující měření. Mezi ně patří časová chyba hodin přijímače. Ta je opravována každých 12 hodin.

Ionosféra má podstatný vliv na šíření signálu. Díky volným iontům a elektronům, které obsahuje, se mění rychlost i směr šíření používaných elektromagnetických vln. Dochází k ohybu signálu k tzv. ionosférické refrakci. Stav ionosféry je trvale sledován. Jedná se o nejvýznamnější chybu GNSS. Její omezení lze provést několika způsoby. Např. pomocí vhodného modelu ionosféry, který se zahrne do výpočtu polohy. Další možností je dvou kmitočtové měření, kde se využívá principu rozdílného lomu v ionosféře v závislosti na dané frekvenci. Poslední možností je diferenční měření, které bude detailněji popsáno dále.

Chyba troposféry se vyskytuje díky atmosférickým změnám v okolí antény přijímače (teplota, tlak, vlhkost, hustota). [11]

Chyba vlivem šumů přijímače v obvodech způsobují chybu měření do jednoho metru. Potlačení šumu závisí na kvalitě konstrukce přijímače.

Chyba vícecestného šíření signálu z družic je dána tím, že signály nepřicházejí jen přímou cestou, ale také odrazem od země a od předmětů na jejím povrchu. Chyba vícecestného šíření lze omezit konstrukcí antény, volbou jejího umístění (tzn. umístěním přijímače UZ) a také vhodným způsobem zpracování přijatých signálů. Snaha o vyřešení tohoto problému je teď v popředí mnoha institucí zabývajících se GNSS.

Do roku 2000 byla podstatnou chybou GPS funkce SA (selective availability). Šlo o uměle vytvořenou chybu, kterou do signálu vnášely USA z důvodů obav o svou bezpečnost. Tato chyba se dá odstranit diferenčním měřením, nebo přijímačem schopným využívat službu PPS (precision positioning service) např. armáda Spojených států amerických. V současnosti není SA aplikována. [11]

Dalším problémem je zastínění signálu při manévrování letadla. To lze do jisté míry také považovat za chybu, protože při přiblížení je nutné zajistit nepřetržitost přijímaného signálu.

segment	zdroj chyby	chyba vzdálenosti m	
		C/A kód	P kód
kosmický	stabilita kmitočtu	3	3
	predikce perturbace družice	1	1
	jiný	0,5	0,5
řídící	chyba modelu predikce efemerid	4,2	4,2
	jiný	0,9	0,9
	uživatelský	10,1	2,3
uživatelský	ionosférická refrakce	2	2
	troposférická refrakce	7,5	1,5
	šum	1,2	1,2
	vícecestné šíření	0,5	0,5
	jiný	13,9	6,6
Celkem m		13,9	6,6

Tab. 3 Chyby GNSS

3.9 Diferenční metody měření DGNSS

Aplikace diferenčních metod měření v DGNSS systémech přispívá k podstatnému zlepšení přesnosti. Do bodu se známými přesnými souřadnicemi umístíme speciální přijímač tzv. referenční stanici a porovnááme skutečnou a naměřenu polohu. Z porovnání získáme opravy měřených zdánlivých vzdáleností a následně je přenášíme k uživatelům pomocí vhodné linky. Přijímače tyto opravy zahrnou do výpočtu a tím zpřesní určení polohy. Nevýhodou je omezený dosah od referenční stanice a to asi na 400 km. [11]

Referenční stanice se skládá z: přijímací antény, přesného mnoha kanálového přijímače, vysílače korekcí, antény vysílače korekcí. Přijímač má pro každou viditelnou družici jeden kanál a zpracovává její signál od prvního zachycení družice při východu nad obzor až po ztrátu signálu po zapadnutí družice za obzor. Pokud je družice nízko nad obzorem, dochází často k výkyvům úrovně přijímaného signálu. Přesnost měření roste se zmenšující se vzdáleností letadlo - referenční stanice. [11]

Podle účelu využití korekčních zpráv je pro přenos možné využít metalické vedení, optické vlákna nebo radiový signál. Volba kmitočtu je závislá na požadovaném dosahu, kvalitě a odolnosti signálu. V České republice probíhaly experimenty s pásmy UKV, VKV a DV. Bylo zjištěno, že dlouhé vlny mají dlouhý dosah ale neposkytují dostatečnou odolnost signálu např. při výskytu bouřek. Z toho důvodu bylo rozhodnuto pokračovat ve výzkumu v pásmu VKV. [11]

V současné době se zdá být velmi výhodné vysílat korekční zprávy pomocí stávajících radiových služeb např. systémem RDS (radio data system). Touto cestou lze do rozhlasového FM VKV vysílání vložit dodatečné informace v podobě číslicových dat. Přijímač by se mohl automaticky přeladovat na nejbližší vysílač, tím by se odstranil problém malého dosahu. Systém v této podobě úspěšně pracuje např. v USA a v severských státech.

Mezi světově nejúspěšnější výrobce těchto systémů patří společnosti Rockwell (divize Collins), Trimble a Garmin.

V České republice se touto problematikou zabývala společnost DICOM, s.r.o v Uherském Hradišti. Bohužel ekonomické problémy a redukování stavu armády České republiky, vedly k opuštění od vývoje referenčních stanic a GPS přijímačů. V současné době si společnost ponechala pouze výrobu velmi přesných oscilátorů.

3.10 DGNSS v letectví

Protože samotné systémy jako GLONASS nebo GPS nesplňují požadavky civilního letectví na dostupnost, integritu a kontinuitu, bylo třeba provést rozšíření systému (augmentation). Je možné rozšiřovat pozemní část (GBAS), palubní část (ABAS), a kosmickou část (SBAS) systému. [11]

V případě přiblížení na přistání je třeba zajistit zmíněné vlastnosti systému, aby byla zajištěna potřebná bezpečnost.

Přesnost a dostupnost závisí na konstalaci družic. GPS lze rozšířit systémem Glonass a další možné doplnění geostacionárními družicemi např. Inmarsat, které zvýší potřebnou přesnost a dostupnost navigačního signálu. [11]

Palubní rozšíření ABAS spočívá v rozšiřování a integraci informací získaných z jednotlivých elementů GNSS s informacemi dostupnými na palubě letadla. Autonomní monitorování integrity RAIM je způsob, jak zajistit integritu GNSS. Přijímač sleduje větší počet družic, než je nutné pro určení polohy, vybírá si satelity nejvhodněji rozmístěné pro výpočet polohy a při detekci chyby vyloučí špatný signál bez ztráty funkčnosti systému.

Druhým způsobem rozšíření je tzv. AAIM, kdy jsou informace z GNSS systému ověřovány a porovnávány s klasickými radionavigačními zařízeními (VOR, DME, INS, IRS) na palubě letadla.

Rozšíření pozemním systémem GBAS spočívá v příjmu korekčního navigačního signálu, poskytování dat o úseku konečného přiblížení, poskytování dat o letišti a poskytování nepřetržitého monitoringu a integrity. Rozšíření GBAS velice dobře funguje v Americe a je označován jako LAAS (local area augmentation system). V současné době se pracuje na tom, aby tento systém byl schopen dosáhnout výkonnosti přesného přiblížení třetí kategorie. Korekční zprávy budou přenášeny VKV, UKV nebo pomocí módu S. Doporučené standardy pro přenos korekcí jsou obsaženy v dokumentu RTCA DO-217. Lokální diferenční systém je jednou z možných možností přechodu z klasických zavedených přistávacích ILS systémů na GNSS systémy. [11]

Rozšíření SBAS je všeobecným termínem pro podporu GPS a Glonass systémy jako jsou WAAS, EGNOS a MSAS. Označují se jako WADGNSS (wide area differential global navigation system) Spočívá ve využití geostacionárních družic, které vysílají informace pro uživatele a to nad rozsáhlými geografickými plochami (USA, Evropa, Japonsko atd.). Systémy jako jsou WAAS a EGNOS budou plně vyhovovat požadavkům na přesnost, dostupnost, kontinuitu a integritu. [11]

Protože letiště Brno Tuřany leží v centru Evropy, využití systému EGNOS jakožto evropského družicového systému, by byla druhá možná varianta jak zabezpečit stávající kvalitu přiblížení bez využití systému ILS tzn. CAT1. [11]

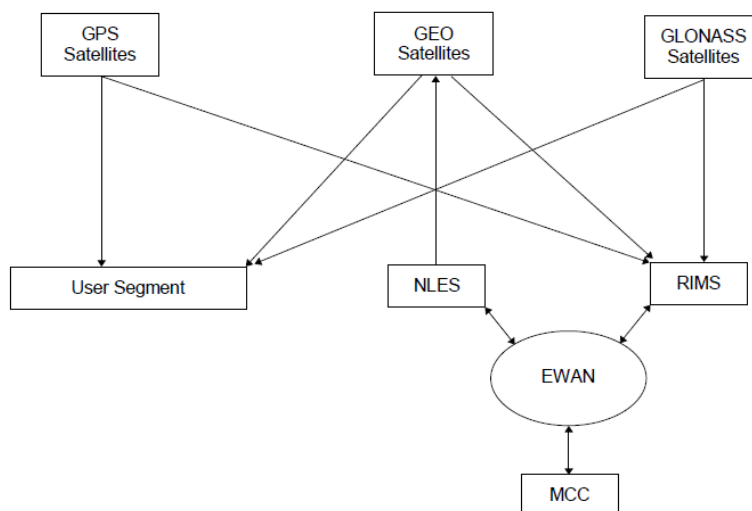
3.10.1 EGNOS

Systém EGNOS je evropskou obdobou amerického WAAS. Je vyvíjen ve dvou fázích. První je tzv. AOC (advance operational capability). Druhou fází bude FOC (full operational capability). V konečném výsledku bude systém schopen poskytovat navigační informaci od vzletu letounu, přes traťový let až po přesné přiblížení CAT 1.

Struktura systému je obdobná ostatním GNSS systémům. Tvoří ji kosmický, pozemní a uživatelský segment. [13]

Kosmický segment tvoří geostacionární družice INMARSAT 3 a družice ARTEMIS. Pozemní segment je tvořen sítí stanic RIMS, které přijímají signály z GPS, GLONASS a GEO. Ty pak získané informace odesílají do řídicího střediska MCC, kde se tvoří navigační, korekční zprávy a následně jsou odeslány prostřednictvím navigačních pozemních stanic NLES na geostacionární družice. Ty je pak vysílají uživatelům. Celý systém je propojen telekomunikační sítí EWAN. [13]

Uživatelský segment je tvořen přijímači nejrozličnějších druhů v závislosti na konkrétních požadavcích uživatele (letectvo, námořnictvo, železnice atd.).

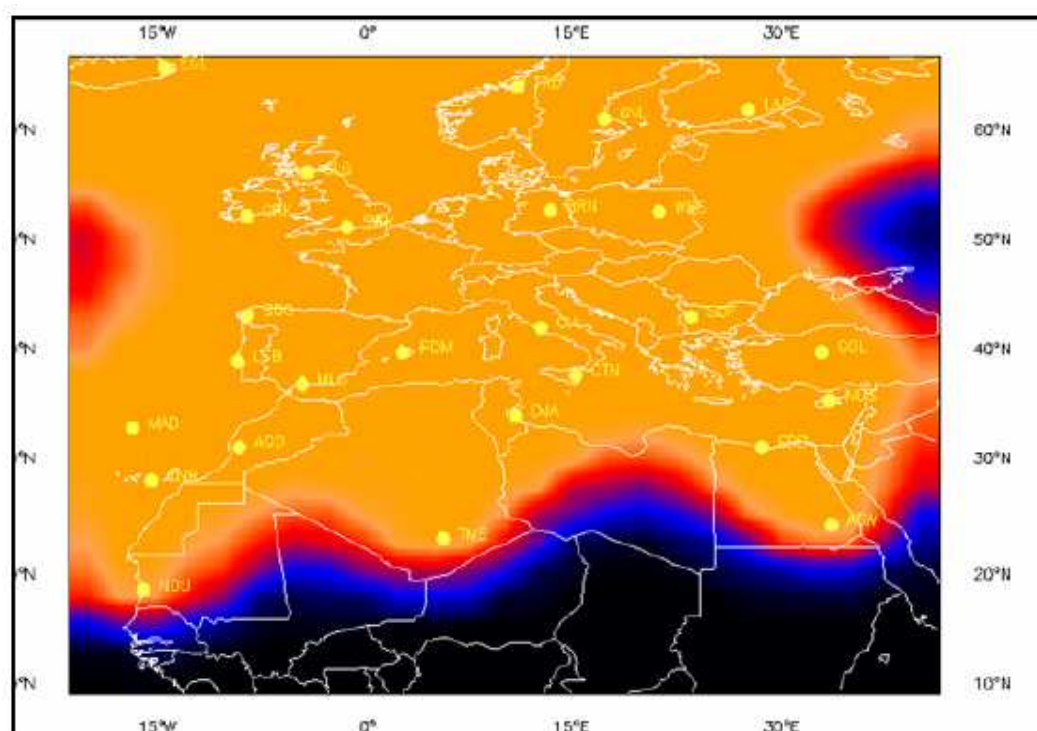


Obr. 30 Struktura systému EGNOS

EGNOS zahrnuje následující komponenty:

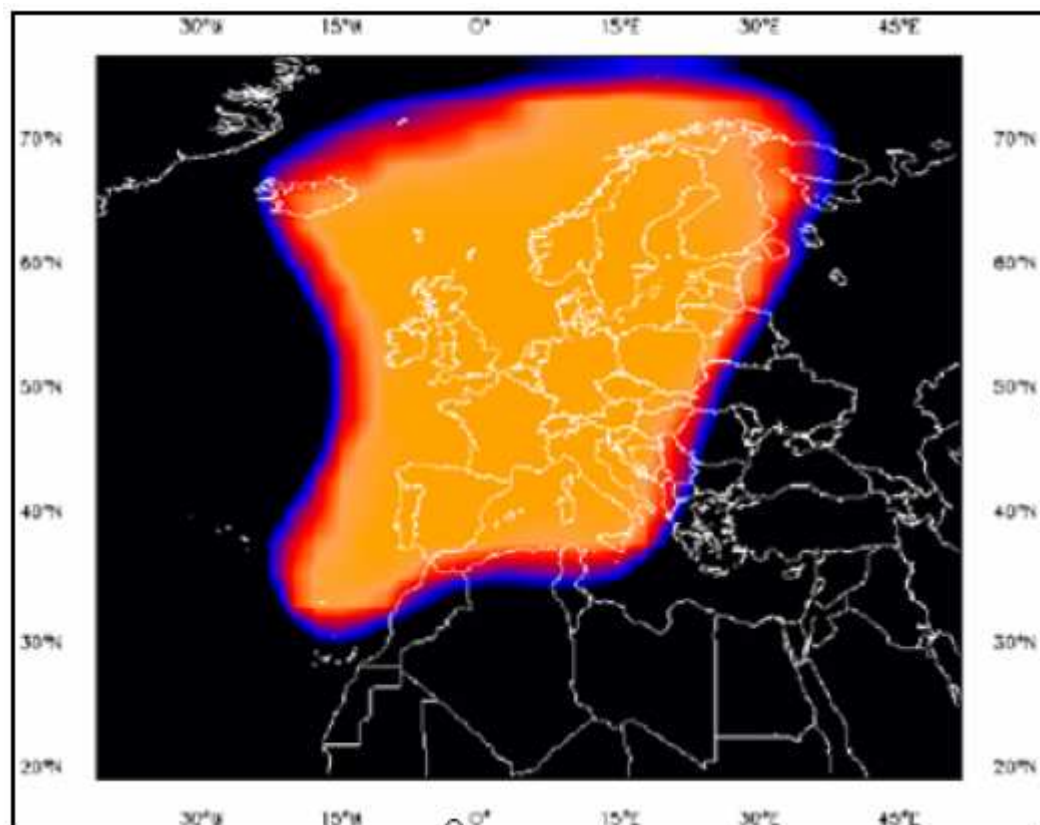
- 22 RIMS počítá se dodatečně s dalšími 11 RIMS. Djerba, Golbasi, Agadir, Alexandria
- 4 MCC Madrid, Gatwick, Langen, Ciampino.
- 6 NLES 2 vysílací stanice pro jeden satelit, jedna z nich funguje jako horká záloha.
- 3 GEOSTAT. SAT. AOR-E, IOR-W, ARTEMIS

Následující obrázek ukazuje požadovanou dostupnost signálu v plné operační činnosti EGNOS. Vyžaduje se aby dostupnost signálu pokrývala všechny členské země ECAC. [13]



Obr. 31 Plánované pokrytí systémem EGNOS při plné operační činnosti

Spodní obrázek představuje pokrytí signálem k prosinci roku 2008.



Obr. 32 Pokrytí signálem EGNOS v r.2008

EGNOS je plánovaný ve dvou fázích. První je počáteční provozní kapacita (IOC) a druhou je plná operační kapacita (FOC). V plné operační kapacitě bude EGNOS poskytovat korekce efemerid, časové korekce, korekce spojené s ionosférickou chybou a informaci o integritě.

Podle aktuálních zpráv vyhlásil Úřad pro dohled nad evropským GNSS (GSA) plné spuštění operační kapacity do konce roku 2012.

EGNOS bude poskytovat následující služby: Služba OPEN, která bude volně přístupná, služba SAFE OF LIFE a Komerční služba.

EGNOS představuje nové možnosti v civilním letectví:

- Méně zrušených letů kvůli špatnému počasí na hůře vybavené letiště
- Menší rizika možnosti srážky s terénem na hůře vybavené letiště
- Možnost přístrojového přiblížení na letištích, kde nelze instalovat tradiční systémy.
- Zvyšování kapacity zejména v sektoru všeobecného letectví a helikoptér
- Omezení hluku v blízkosti letišť využitím nových příletových/ odletových tratí
- Efektivnější příletové tratě
- Vytvoření letových cest na hůře vybavená letiště

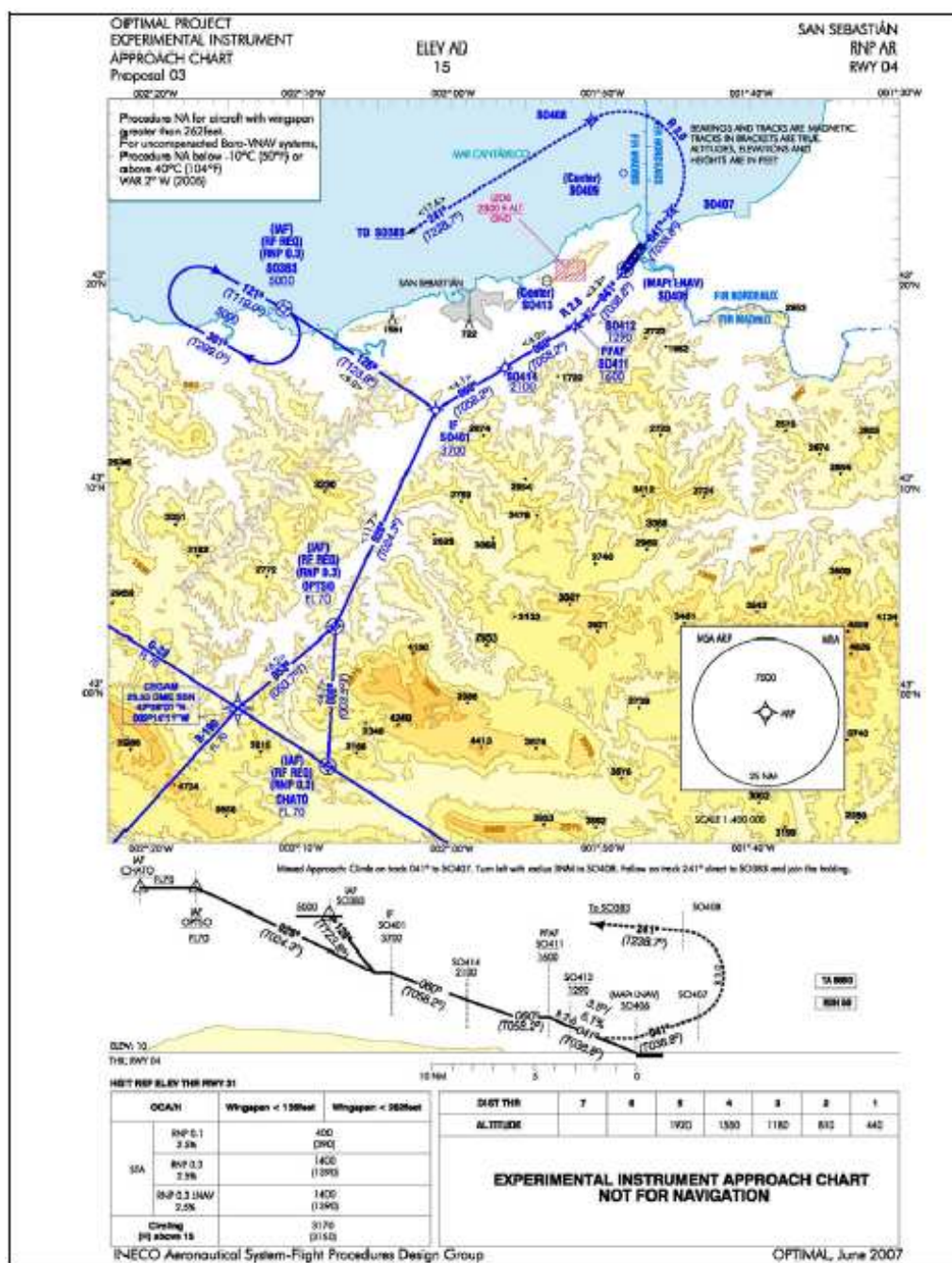
- Minimalizace nákladů na avioniku a její údržbu
- Odstranění nákladných pozemních radionavigačních zařízení
- Vyšší propustnost vzdušného prostoru nad Evropou
- Zvýšení kapacity letišť
- Snížení nákladů na pohonné hmoty
- Snížená produkce emisí
- Není třeba vytýčovat bezpečnostní zóny jako u ILS [13]

3.10.2 Přijímač systému EGNOS

Výrobce navigačních systémů Garmin uvádí, že cena jeho nejlevnějších přijímačů schopných využívat systémů WAAS nebo EGNOS se pohybuje mezi 10 750,- USD (za Garmin 430 W) až 16 495,- USD (za přijímač Garmin 530 W). Pokud je letoun těmito přístroji vybaven, ale není schopen signál WAAS (EGNOS) přijímat, je zde možnost „upgrade“ stávajícího přístroje a to v ceně okolo 1500,- USD. Vzhledem k tomu, že v dnešní době je už většina letadel minimálně přístrojem Garmin 430W vybavena, finanční náklady na využívání systému EGNOS považují za nevýznamné. Přijímače jsou finančně dostupné i pro oblast všeobecného letectví.

3.10.3 Série testů EGNOS

V posledních letech probíhaly série leteckých testů (např. program Giant) v různých částech Evropy, v Africe a na blízkém východě, které měly za úkol potvrdit schopnosti systému a také poukázat na možné problémy, které nebylo možné odhalit bez letových zkoušek. Měly se zaměřit zejména na tyto problémy: zastínění signálu ať už kvůli terénu nebo některými částmi letounu např. v zatáčce, vícecestné šíření nebo atmosférické efekty. Projekt EGNOS řídí tzv. tripartita. Jde o organizace ESA, Eurocontrol a Evropskou komisi. Regulační funkci vykonává úřad GSA (european GNSS supervisory authority). Na testech se podílejí největší měrou společnosti INECO, AENA, THALES ATM, AIR NOSTRUM, ROCKWELL COLLINS, BOMBARDIER, EUROCOPTER. Následující obrázek je přibližovací mapka zkonstruovaná pro testy systému EGNOS na letišti San Sebastian pro dráhu 04. Velmi dobře demonstruje výhody systému EGNOS. Oblast je tvořena dosti kopcovitým terénem. Tím vzniká problém zajistit bezpečnou výšku nad překážkami ve všech fázích přiblížení. EGNOS může poskytnout řešení v podobě zakřiveného přiblížení (Obr. 33). [14], [15]



Obr. 33 Mapa pro přiblížení s využitím EGNOS, testy na letišti San Sebastian

Letové zkoušky EGNOS:

- 2001 březen Trondheim (testy ve vysokých zeměpisných šířkách)
- 2001 září Nice (testy využití zakřivených tratí na přiblížení)
- 2003 Dakar, Nigerie, Kamerun, Gabon (potvrzení dostupnosti EGNOS na Africkém kontinentu)
- 2005 červen Lugano (testy dostupnosti signálu v problematickém terénu)
- 2006 říjen Valencie

- 2007 prosinec San Sebastian
- 2008 srpen Valencia
- 2008 září Bologna
- 2008 září Lausanne

Testy byly hodnoceny jako velmi úspěšné. Překvapující byly i velmi dobré výsledky v případě zkoušek nad 69° severní šířky (Trondheim). V závěrech se uvádí že problémem EGNOS není dosažení přesnosti, ale zajištění dostatečné integrity a nepřetržitého signálu. Všechny tyto problémy budou do operačního spuštění vyřešeny. Systém EGNOS se zdá být ideálním řešením zejména pro menší regionální letiště, nebo tam kde je velmi omezené radionavigační vybavení, nebo v místech kde povětrnostní podmínky nemají výrazně vysokou intenzitu výskytu pod úrovní CAT 1. [14], [15]

3.11 GBAS

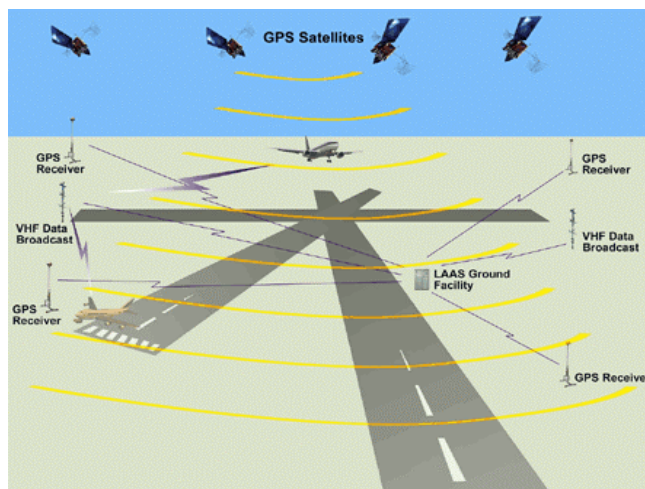
První systém GBAS byl schválený v roce 1997 na letišti v New Yorku. V roce 2003 nabídla firma Honeywell 10 typů stanic z nichž 4 měli prodělávat laboratorní testy a zbylých 6 bylo rozmístěno na hlavních letištích v USA. Dnes už se GBAS systémy zavádí, nebo jsou ve stadiu schvalování i v Evropě. Jsou například na letištích v Brémách (od r. 2007), ve Frankfurtu, v Palermu, v Braunschweigu, v Toulouse nebo v Malaze (obr. 34).



Obr. 34 Rozmístění pozemních komponent systém GBAS na letišti Malaga (Španělsko)

Systém GBAS je první možností, jak přejít z klasického radionavigačního systému ILS na GNSS systémy. V USA je spíše známý jako LAAS (local area augmentation system). S těmito technologiemi mají zkušenosti i vědci v České republice. Kolem počátku nového tisíciletí zde probíhal výzkum využití možností těchto systémů zejména pro armádu ČR. Očekávalo se, že Armáda České republiky nezíská v blízké době přístup k službě PPS ani v

případě rozšíření styků ČR se státy NATO. Proto se zaměřila na hledání jiných možností, jak zpřesnit svá měření. Šlo zejména o docílení dosáhnout výkonnosti podmínek CAT 1 při přiblížení na přistání. [20]

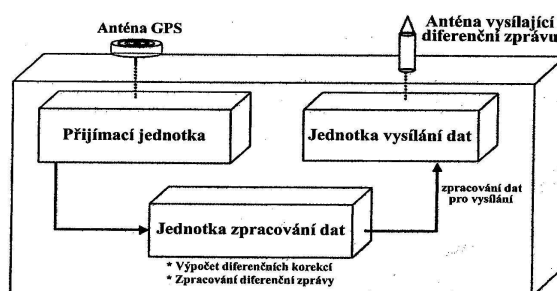


Obr. 35 Architektura systému GBAS

Řešením může být lokální systém tvořený vhodně umístěnými referenčními přijímači GPS, které znají svoji přesnou polohu a na základě signálů přijímaných z družic, poskytovat uživateli (letadlo na přiblížení) navigační korekční signál prostřednictvím VHF spojení.

Systém GBAS tvoří čtyři segmenty a to: Kosmický, uživatelský, pozemní, segment datového spojení. GBAS je rozšířením systémů GPS a GLONASS (Obr. 35).

Referenční stanice se skládá z následujících hlavních komponentů: GPS anténa, přijímací jednotka, jednotka zpracování dat, jednotka vysílání dat a anténa pro vysílání korekční zprávy. Typický systém GBAS obsahuje dvě až čtyři referenční stanice (Obr. 34). [11]



Obr. 36 Referenční stanice GBAS

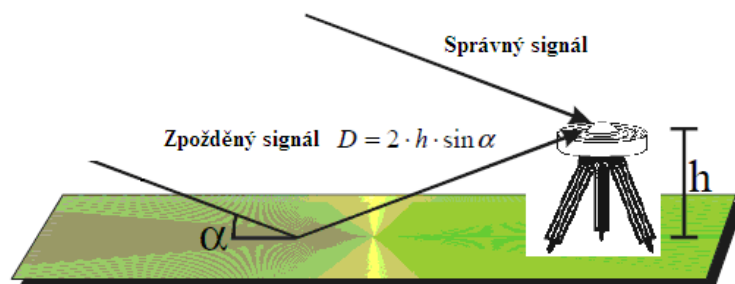
3.11.1 Umístění systému na letišti a konstrukce antén

Místo pro antény referenční stanice na letišti by mělo být vybráno v oblasti bez překážek, aby mohly být signály z družice přijaty pod nejmenšími možnými elevačními úhly. Obecně, cokoli co zakrývá družice GNSS v elevačních úhlech větších než 5 stupňů bude degradovat dostupnost systému. Zároveň musí umístění splňovat požadavky předpisu L14 na omezení překážkami (zejména VHF anténa). [4]

Antény referenčních přijímačů by měly být konstruovány a umístěny tak, aby byly omezeny interference vícecestných signálů s požadovaným signálem. Montáž antén blízko povrchu země snižuje dlouhé zpoždění vícecestného signálu vyplývající z odrazů pod

anténou. Výška montáže by měla být dostatečná pro zabránění pokrytí antény sněhem nebo interferencím s personálem údržby nebo pozemním provozem. Anténa by měla být umístěna tak, že jakékoli kovové konstrukce jsou mimo blízké pole antény. [4]

Instalace každé antény by měla mít takové upevnění, aby nedošlo k ohnutí antény ve větru nebo zatížením ledem. Antény referenčního přijímače by měly být umístěny v místě s kontrolovaným přístupem. Provoz může přispívat k chybám vzniklým v důsledku vícecestného šíření. Vhodná výška umístění antény musí být založena na analýzách, aby se zajistilo, že bude vyhověno požadavkům na intenzitu signálu v celém rozsahu. [4]



Obr. 37 Vícecestné šíření GNSS signálu

3.11.2 Navigační informace GBAS

Navigační data GBAS obsahují následující informace:

- korekce pseudovzdálenosti
- referenční čas
- integrita dat
- data pro konečné přiblížení (dráha segmentu konečného přiblížení, bod podrovnání, výška přeletu prahu dráhy, úhel sestupové dráhy)
- data týkající se GBAS
- data o předpovídané dostupnosti zdrojů určování vzdálenosti

3.11.3 Výhody systému

- Poskytne přesné přístrojové přiblížení CAT 1 až CAT 3
- Možnost využití pro blízká regionální letiště (do 20 km)
- Možnost použití, kde není dostupný SBAS (např. Austrálie)
- Méně citlivý na ovlivnění signálu než SBAS
- Možnost odstranění stávajících systému

- Nižší náklady pro letiště s mnohonásobným dráhovým systémem
- Energetická nenáročnost

Velkou předností GBAS je zejména možnost využití jednoho systému pro všechny směry RWY (na rozdíl od ILS). Přináší to velmi výrazné omezení finančních investic do pozemního zařízení na letišti, zejména pokud je letiště vybaveno dráhovým systémem s několika RWY. V současné době se provádí výzkum v oblasti možnosti využití korekčního signálu i pro letiště kde není instalován GBAS, ale jejich poloha je v dostatečné blízkosti takového letiště. Systém by mohl poskytovat alespoň nepřesné přiblížení. Těmito problémy se intenzivně zabývá např. Technická univerzita v Braunschweigu. [16]

Problémy, které sebou GBAS nese, jsou do jisté míry podobné, jako u systému EGNOS. Vícecestné šíření, nestabilita časové základny referenční stanice, požadovaná dostupnost signálu, dostatečně zajištěný monitoring a integrita. Podle techniků firmy DICOM s.r.o je největším problémem zajistit dostatečnou integritu systému. Zejména jde o zajištění včasné výstrahy pilota a špatné funkce systému.

3.11.4 Přijímač GBAS

Přijímače GBAS jsou z velké části vyráběny jako tzv. MMR (multi mode receiver) víceúčelové přijímače. Toto zařízení může obsahovat různé komponenty, které jsou schopné přijímat signály z různých zařízení (ILS, VOR, GPS resp. DGPS, MLS).

Jedním z takových produktů je např. přístroj GLU-925 víceúčelový přijímač od společnosti Rockwell Collins viz. obrázek (Obr.37) . Obsahuje přijímač pro ILS, DGPS, VOR, COM. Dalším výrobkem je vojenský MLR 2000 od společnosti BAE používaný např. ve stíhacích letounech F-15 a F-16.

Jde o velmi nákladné systémy, proto jsou v civilních službách využívány zejména ve velkokapacitních dopravních letounech.



Obr. 38 GLU-925

Rocwell Collins GLU-926	
hmotnost	4,3 kg
délka	374 mm
šířka	95 mm
výška	95 mm
provozní teplota	od -40° do +70°C
max. nadmořská výška	55,000 ft
napájení	115V AC, 400 Hz

Tab. 4 Základní parametry přístroje GLU-925

3.11.5 Náklady na GBAS

Aby se nastínil rozdíl mezi finančními náklady na stávající ILS systémy a budoucí GNSS systémy, byly zjištěny orientační náklady na pořízení systému ILS a systému GBAS.

Pracovníci ŘLP v diskusi sdělili, že orientační cena jednoho systému ILS (tzn. pro jeden směr na přistání) se pohybuje v řádu 30 až 40 milionů korun. Pro systém GBAS byly pořizovací náklady na jednu referenční stanici v řádu 3 až 4 milionů korun. Je zde patrný řádový rozdíl v pořizovacích nákladech. [19]

3.11.6 Možnosti řešení

V druhé větší části se diplomová práce snaží nastínit problematiku GNSS systémů, jejich základní principy funkce a jejich možnosti využití při přesném přístrojovém přiblížení. Pokud se dané letiště rozhodne pro přechod na GNSS systémy, budou se mu v podstatě nabízet dvě možnosti. Každá má své kladné i záporné stránky. Tou první bude systém EGNOS poskytující přiblížení maximálně CAT I. Druhá možnost spočívá ve využití systému GBAS, který bude poskytovat i vyšší úroveň přesného přístrojového přiblížení (CAT II a CAT III).

Následující stránky si dávají za cíl zvážit vhodnou variantu využití GNSS pro zvolené letiště, kterým je letiště Brno Tuřany. Rozhodnutí by se mělo odvíjet zejména od toho, zda letiště potřebuje vyšší kategorii přiblížení než je CAT I. Důležitými faktory jsou meteorologické podmínky a charakteristika provozu na letišti. Na tyto významné faktory je zaměřena předposlední část práce. Výsledky jejich rozborů budou sloužit jako podklad pro návrh, zda zvolit systém EGNOS (CAT I je dostačující) nebo systém GBAS (potenciál pro CAT II a CAT III).

4. Letiště Brno Tuřany

Práce má za cíl popsat postup přiblížení na vybraném letišti. Bylo vybráno letiště známé autorovi a to Brno Tuřany. Dále bude velmi stručně popsána historie, rozvoj, poloha, letiště, jeho klimatické a technické specifikace.

Roku 1946 bylo přijato rozhodnutí o výstavbě nového letiště v lokalitě Tuřany. Od roku 1956 vstoupilo do provozu jako letiště s vojenským provozem. Dále pak roku 1958 proběhlo oficiální zahájení civilního provozu. Největšího civilního rozmachu dosahovalo letiště mezi lety 1965 až 1970 a to díky neexistenci kvalitní a rychlé pozemní dopravy. Letiště se tak stalo důležitou křižovatkou pro České aerolinie na linkách do Košic, Sliače, Bratislavy, Ostravy, Holešova, Prahy a Karlových Varů. Do roku 1967 se zde vybudovala nová odbavovací hala a zároveň se zřídil systém pro přesné přiblížení ILS. Do roku 1986 byla prodloužena délka RWY z původních 2000 m na stávajících 2650 m. Od roku 1989 má letiště statut veřejného mezinárodního letiště. V 90. letech spravovala letiště Brno Tuřany Česká správa letišť. Na rozvoj a opravy se zde vynaložilo víc než 150 milionů korun. V současné době je letiště majetkem Jihomoravského kraje a jeho provozovatelem je společnost LETIŠTĚ BRNO a.s. [16]

4.1 Geografická poloha LKTB

Letiště Brno Tuřany (LKTB) leží asi 8 km jihovýchodně od středu města v nadmořské výšce 237 m. Rozkládá se na 350 ha v severním výběžku Dyjskosvrateckého úvalu v blízkosti Dražanské vysočiny, která se svým jihozápadním výběžkem pozvolna svažuje k soutoku Svatavy a Svitavy.

4.2 Klima na LKTB

Poloha letiště je z hlediska klimatického velmi příznivá. Ve střední Evropě patří k letištím, které jsou nejméně ovlivněny negativními povětrnostními podmínkami. To jsou zejména přízemní mlhy a nízká oblačnost. Je to způsobeno tím, že vzletová a přistávací dráha je postavena na Tuřanské terase s malým orografickým převýšením do vzdálenosti v řádu kilometrů. Větrné dny jsou zde velmi časté (zejména ze severozápadu). To do značné míry zajišťuje provozuschopnost letiště až do kategorie 1 přesného přístrojového přiblížení po značnou část roku. Lokalita je charakterizována dlouhým, teplým a suchým létem, krátkým obdobím jara a podzimu a mírně teplou a suchou zimou s krátkým trváním sněhové pokrývky. Průměrný roční úhrn srážek činí 509 mm a průměrná roční teplota je 8,4 °C.

Období s průměrnou denní teplotou nižší než 0°C je od 13. prosince do 19. února. Ledových dnů (t max menší nebo rovno -0,1°C) v roce je 32,3, mrazových dnů (t min méně nebo rovno -0,1°C) je 105,2. První mrazový den je 16. října a poslední 21. dubna. Sněhová pokrývka je průměrně 45 dní v roce a trvá od prvního dne se sněhem (28. října) do posledního dne se sněhem (12. března). Počet tropických dnů (tmax větší nebo rovno 25°C) je 54,7.

4.3 Technické údaje LKTB

Technické specifikace letiště LKTB jsou dostupné v letecké informační příručce AIP ČR (air information publication), nebo na stránkách letecké informační služby. [17]

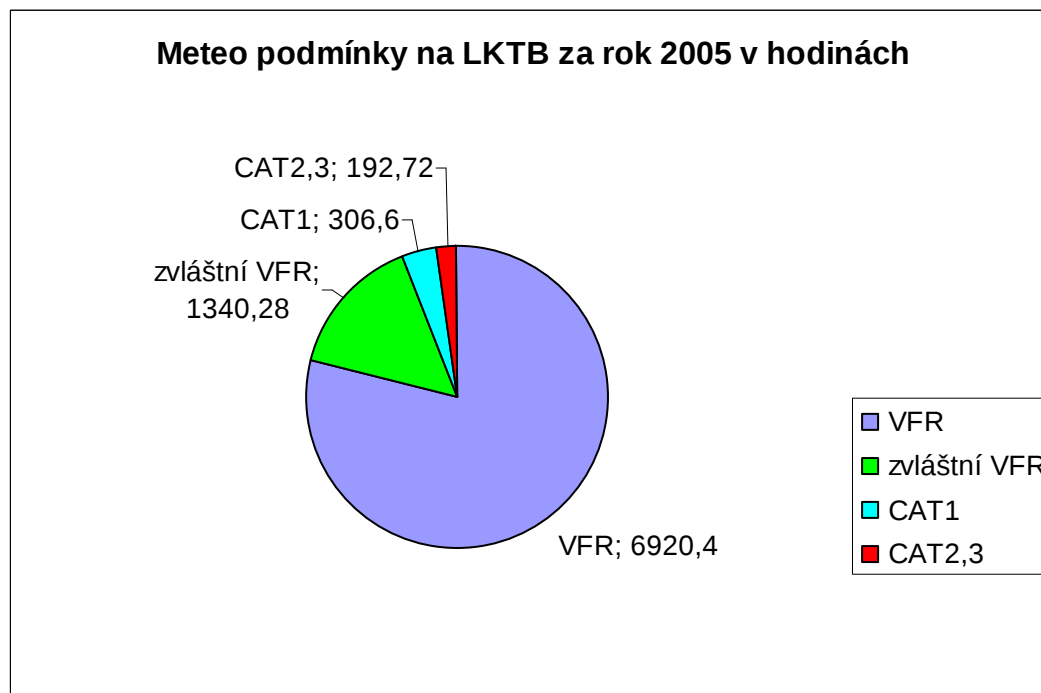
4.4 Analýza meteorologických podmínek na LKTB

V současné době je letiště Brno Tuřany schopné zajistit kategorii I přesného přístrojového přiblížení. Při zvažování přechodu na GNSS systémy je podstatné zvážit, zda se bude od nového systému očekávat možnost poskytnout vyšší kategorii než je ta současná a zda je vůbec potřebná. Aby bylo možné alespoň přibližně seriosně zvážit využití vyšší kategorie přiblížení než je CAT I, je nutné zvážit faktory, které je způsobují. Těmi jsou nižší dohlednost jak 800 m, nižší dráhová dohlednost než 550 m a výška nejnižší základny oblačnosti menší než 200 ft.

Bylo velmi obtížné shromáždit potřebná data. Nakonec jsou k dispozici všechna meteorologická hlášení Metar mezi lety 2005 až 2008 v intervalu po jedné hodině, tzn. 35040 hlášení. Může se tak zjistit nejenom počet dní, ve kterých nastaly zmíněné nepříznivé podmínky, ale díky hodinovým intervalům i délku trvání.

Je jasné, že je velký rozdíl, pokud např. díky bouři bylo letiště neschopné přijímat letouny cca 30 min a nebo když se v zimě nasune teplá fronta a letiště je zavřené celý den. Z toho logicky vyplývá, že kdyby se počítalo pouze počet dní a ne počet hodin v roce, kdy nastanou nepříznivé podmínky, výrazně by se zkreslila výsledná statistická informace a následné doporučení vyšší kategorie než CAT I by mohlo vést až k finančním problémům letiště, protože by se systém dostatečně nevytěžoval a tím pádem by na sebe nebyl schopen vydělat.

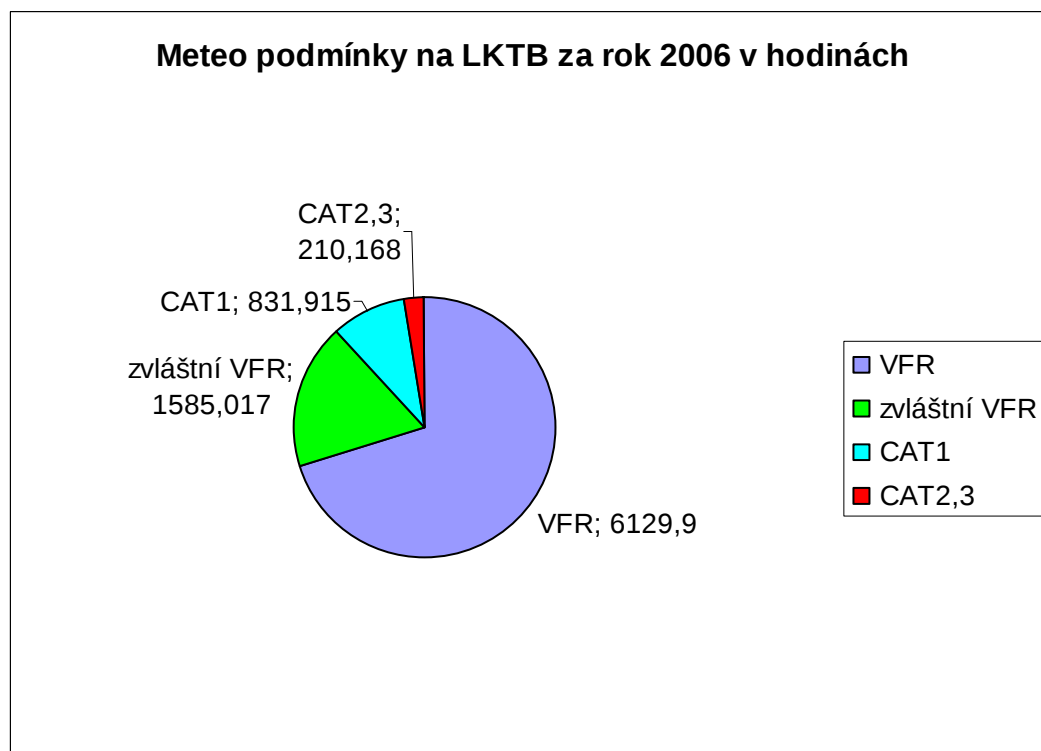
Protože je letiště Brno Tuřany regionálním letištěm a jeho velká část příjmů pochází z charterové dopravy, bude se práce detailněji věnovat meteorologickým hlášením za období květen až říjen. Roční úhrny jsou pro nás méně významné, protože po celý rok se zde létají převážně výcvikové lety a ty jsou vykonávány v souladu s pravidly letu za VMC a nebo maximálně dle IMC CAT I. Roční statistiky byly zpracovány do přehledných grafů.



Graf 1 Meteorologické podmínky na LKTB za rok 2005

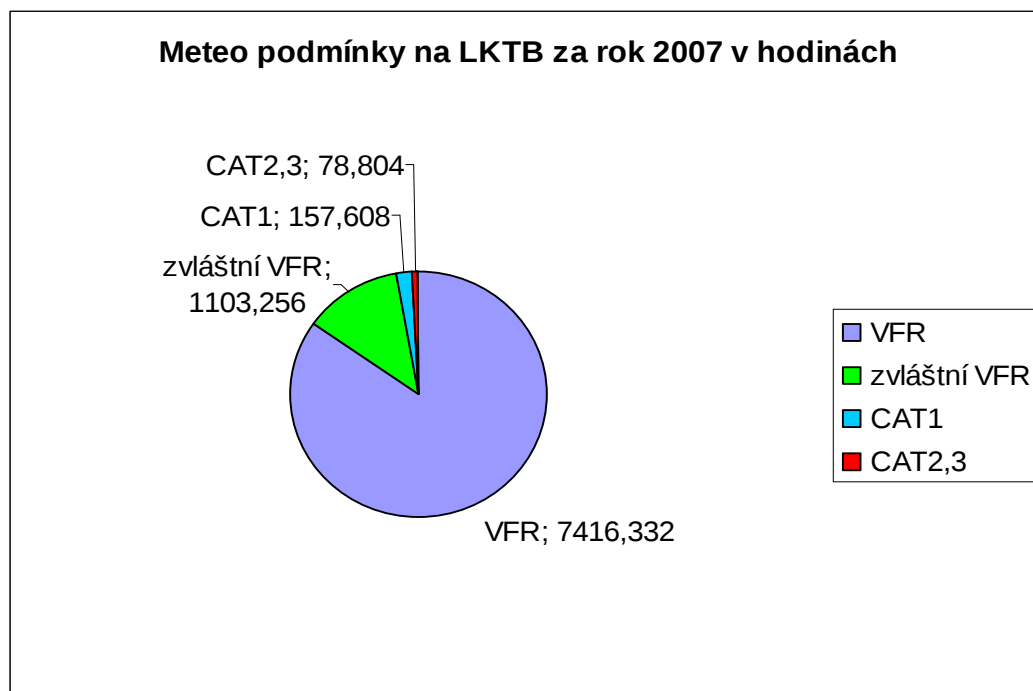
Je nutné podotknout, že podmínky pro zvláštní VFR lze považovat také za oblast která spadá pod CAT I. Protože obchodní lety zpravidla probíhají pouze v souladu s létáním za IMC.

Jak lze vidět z grafu pro první rok pozorování, drtivá většina počasí je lepší než podmínky nízké dohlednosti. Následující roky vypadají obdobně. Převažuje příznivé počasí, vhodné jak pro všeobecné letectví, tak i pro obchodní leteckou dopravu.



Graf 2 Meteorologické podmínky na LKTB za rok 2006

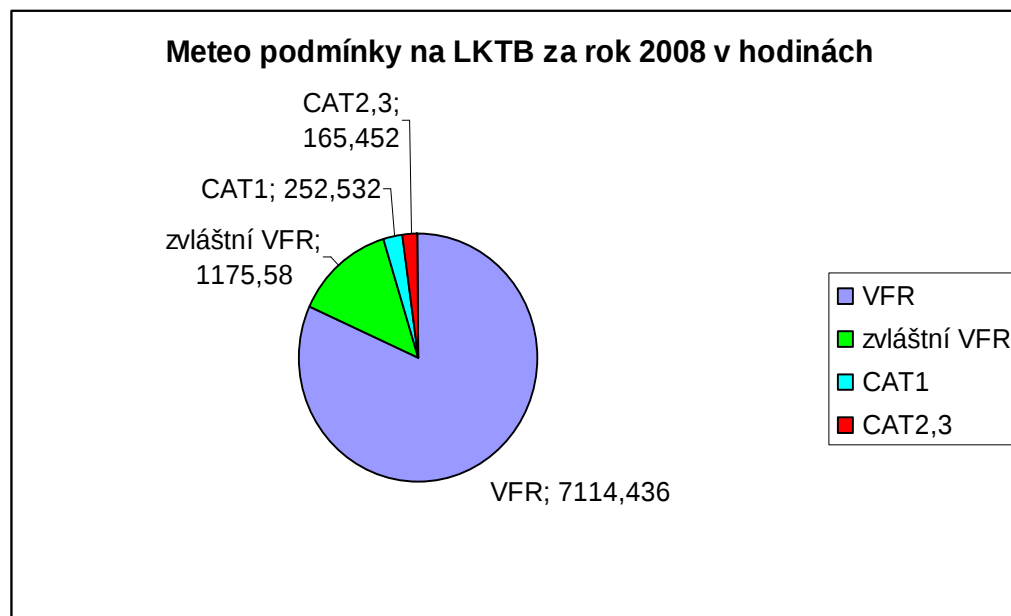
Rok 2006 má téměř stejné rozložení četností jako rok 2005. Ideálním reprezentativním souborem by bylo třicetileté období. Bohužel to by znamenalo shromáždit hlášení od roku 1970. To je cca 270 000 hlášení. Vzhledem k tomu, že v té době nebyla digitální technika k dispozici, nejsou tyto informace k dispozici a z dostupných zdrojů se zjistilo, že ani lidé, kteří se těmito statistikami v současnosti zabývají, nemají informace, v jakém stavu a podobě se hlášení minulých desetiletí nachází.



Graf 3 Meteorologické podmínky na LKTB za rok 2007

Údajně má probíhat další zpracovávání těchto poměrně významných statistických souborů.

Výše zpracovaná statistika by mohla výrazně pomoci při rozhodování, zda se ubírat cestou pozemních diferenciálních systémů, které mají dovolovat přiblížení až do CAT III a nebo zvážit druhou variantu využití očekávaného evropského systému EGNOS, který bude dovolovat nepřesná přiblížení a přesná přiblížení do úrovně CAT I. Zároveň je dobře využitelná při zvážení přechodu na vyšší kategorii přesného přiblížení ILS.



Graf 4 Meteorologické podmínky na LKTB za rok 2008

Z důvěryhodných zdrojů ŘLP bylo zjištěno, že náklady na přechod z CAT I na CAT II činní v řádech sto milionů korun (záleží na aktuálním vybavení daného letiště). To jsou velké investice, které by měli být podloženy pádnými důvody. Jedním z nich by mohla být tato statistika.

Jak již bylo zmíněno, letiště Brno Tuřany je regionálním letištěm a jeho hlavní příjmy pochází z charterové dopravy. Tzn. Může se předpokládat největší komerční pohyb mezi květnem až říjnem. Za tímto účelem byly zpracovány tyto měsíční hlášení pro roky 2005 až 2008. Jedná s o 24 statistických souborů. Většina je v přílohách, ale protože se považuje tato část za podstatnou, uvádí se zde alespoň přehled za první rok a to 2005.

Prvním měsícem je květen. Soubor obsahuje 744 hlášení, po hodinových intervalech. Hlášení zahrnuje procentuální četnosti výskytu dohlednosti, nebo dráhové dohlednosti a nejnižší vrstvy oblačnosti, pokrývající alespoň 4/8 oblohy.

TIME UTC	RVR/HS						VIS/HS			
	<100 ---	<200 ---	<400 <30 ---	<600 <30 ---	<800 <60 ---	<1500 <90 ---	<1500 ---	<3000 ---	<5000 <450 ---	<8000 <600 ---
00										
01										
02										
03										6.5
04										3.2
05										3.2
06										
07										
08										3.2
09									3.2	3.2
10									3.2	3.2
11									3.2	3.2
12									3.2	3.2
13									3.2	3.2
14									3.2	3.2
15										3.2
16										6.5
17										
18										3.2
19										3.2
20										3.2
21									3.2	6.5
22										3.2
23										3.2
MEAN									0.9	2.8

Tab. 5 Meteorologické podmínky na LKTB květen 2005

Jak lze vidět z tabulky, květnové podmínky v roce 2005 obsahují pouze 0,9 % četnosti dohlednosti menší než 5 km a nejnižší základna oblačnosti nižší než 1500 ft. Hlášení pochází z 9. až 14. hodiny UTC a pak ještě z 21. hodiny UTC. Ostatní květnové statistiky jsou velmi podobné.

Červnová statistika vykazuje větší počet daných meteorologických četností než květnová, nicméně pořád jsou to hodnoty, které jsou málo četné a jejich výskyt nemá podstatný vliv na provozní podmínky na letišti. Mlhy se nevyskytují. Jedná se pravděpodobně o kouřma a lokální bouřky, které se v této části roku mohou tvořit.

TIME UTC	RVR/HS						VIS/HS			
	<100 ---	<200 ---	<400 <30 ---	<600 <30 ---	<800 <60 ---	<1500 <90 ---	<1500 ---	<3000 ---	<5000 <450 ---	<8000 <600 ---
00						3.3	3.3			6.7
01							3.3	3.3		6.7
02							3.3	10.0		13.3
03								3.3		20.0
04								3.3		16.7
05										10.0
06										10.0
07										3.3
08										6.7
09									3.3	6.7
10								3.3	3.3	6.7
11									3.3	3.3
12									3.3	3.3
13									3.3	6.7
14										3.3
15										
16										
17										
18						3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
19								3.3	3.3	6.7
20								3.3	6.7	13.3
21							3.3	3.3	3.3	6.7
22								3.3	6.7	6.7
23							3.3	3.3	6.7	6.7
MEAN						0.1	0.3	0.6	1.4	2.8

Tab. 6 Meteorologické podmínky na LKTB červen 2005

TIME UTC	RVR/HS						VIS/HS			
	<100 ---	<200 ---	<400 <30 ---	<600 <30 ---	<800 <60 ---	<1500 <90 ---	<1500 ---	<3000 ---	<5000 <450 ---	<8000 <600 ---
			<100	<100	<200	<300	<500	<1000	<1500	<2000 ft
00					3.2	3.2	6.5	6.5	6.5	12.9
01								3.2	3.2	12.9
02					3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	19.4
03								3.2	6.5	19.4
04								6.5	6.5	22.6
05									3.2	19.4
06										12.9
07									3.2	12.9
08									3.2	16.1
09								3.2	6.5	9.7
10										9.7
11									3.2	12.9
12									9.7	9.7
13										9.7
14								3.2	3.2	6.5
15										3.2
16									3.2	3.2
17										6.5
18									3.2	9.7
19									3.2	9.7
20								3.2	3.2	9.7
21						3.2	3.2	3.2	3.2	9.7
22			3.2	3.2	3.2	6.5	6.5	6.5	6.5	16.1
23							3.2	3.2	6.5	16.1
MEAN			0.1	0.1	0.4	0.7	0.9	1.9	3.6	12.1

Tab. 7 Meteorologické podmínky na LKTB červenec 2005

Červenec je prakticky identický s předchozím měsícem a opět vykazuje hodnoty nad danými minimy.

TIME UTC	RVR/HS						VIS/HS			
	<100 ---	<200 ---	<400 <30 ---	<600 <30 ---	<800 <60 ---	<1500 <90 ---	<1500 ---	<3000 ---	<5000 <450 ---	<8000 <600 ---
			<100	<100	<200	<300	<500	<1000	<1500	<2000 ft
00										16.1
01										19.4
02					3.2	3.2	3.2	6.5	9.7	19.4
03				3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	9.7	19.4
04			3.2	6.5	6.5	6.5	6.5	9.7	9.7	22.6
05			3.2	3.2	6.5	6.5	6.5	6.5	12.9	25.8
06						3.2	3.2	6.5	12.9	25.8
07							3.2	3.2	9.7	16.1
08									3.2	19.4
09									9.7	16.1
10									3.2	9.7
11									3.2	6.5
12										3.2
13										3.2
14										3.2
15									3.2	3.2
16										6.5
17										6.5
18									3.2	6.5
19										6.5
20										6.5
21								3.2	3.2	6.5
22										6.5
23										6.5
MEAN			0.3	0.5	0.8	0.9	1.1	1.6	3.9	11.7

Tab. 8 Meteorologické podmínky na LKTB srpen 2005

V srpnových hlášeních se začínají mezi 2. a 6. hodinou projevovat radiační mlhy, které jsou pro území České republiky typické. Jejich četnost je, ale ještě stále nevýznamná, vzhledem k době výskytu. Od osmé hodiny ranní LT nejsou mlhy pozorovány. Pro pořádek je zmíněn převod mezi místním časem a světovým koordinovaným časem. Od 29.3 do 25.10 platí LT = UTC +2 h. V časných ranních hodinách se vzduch při vyjasnění ochladí a nad teplým zemským povrchem vytváří přízemní mlhy nebo kouřma.

TIME UTC	RVR/HS						VIS/HS			
	<100	<200	<400	<600	<800	<1500	<1500	<3000	<5000	<8000
	---	---	<30	<30	<60	<90	<150	<300	<450	<600 m
	---	---	<100	<100	<200	<300	<500	<1000	<1500	<2000 ft
00			3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	6.7	10.0
01			3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	6.7	6.7	13.3
02			3.3	3.3	3.3	3.3	6.7	6.7	10.0	10.0
03			3.3	3.3	6.7	6.7	6.7	6.7	10.0	13.3
04				3.3	3.3	6.7	6.7	10.0	13.3	20.0
05			3.3	3.3	6.7	6.7	6.7	10.0	13.3	23.3
06					6.7	6.7	6.7	10.0	16.7	36.7
07					3.3	3.3	3.3	10.0	16.7	30.0
08					3.3	3.3	3.3	10.0	20.0	26.7
09							3.3	10.0	16.7	23.3
10						3.3	3.3	6.7	13.3	16.7
11							3.3	3.3	6.7	13.3
12								3.3	6.7	10.0
13								3.3	3.3	6.7
14										3.3
15										
16									3.3	3.3
17										3.3
18										3.3
19								3.3	3.3	6.7
20								3.3	3.3	6.7
21							3.3	3.3	3.3	10.0
22								3.3	6.7	6.7
23									6.7	6.7
MEAN			0.7	0.8	1.7	1.9	2.5	4.7	7.8	12.6

Tab. 9 Meteorologické podmínky na LKTB září 2005

V září se ještě více prodlužuje délka trvání ranních mlh až do desáté hodiny ojediněle až do dvanácté hodiny.

TIME UTC	RVR/HS						VIS/HS			
	<100	<200	<400	<600	<800	<1500	<1500	<3000	<5000	<8000
	---	---	<30	<30	<60	<90	<150	<300	<450	<600 m
	---	---	<100	<100	<200	<300	<500	<1000	<1500	<2000 ft
00			3.2	3.2	3.2	6.5	6.5	12.9	22.6	41.9
01			6.5	6.5	6.5	9.7	9.7	16.1	25.8	45.2
02			3.2	3.2	6.5	6.5	6.5	16.1	22.6	41.9
03			3.2	6.5	9.7	12.9	16.1	19.4	29.0	41.9
04			3.2	9.7	9.7	9.7	12.9	19.4	32.3	48.4
05			3.2	6.5	6.5	9.7	16.1	29.0	38.7	58.1
06			6.5	6.5	6.5	19.4	19.4	29.0	38.7	61.3
07			3.2	3.2	3.2	9.7	16.1	22.6	35.5	64.5
08						3.2	9.7	12.9	29.0	61.3
09						6.5	6.5	9.7	22.6	51.6
10							3.2	9.7	16.1	35.5
11							3.2	9.7	9.7	32.3
12								9.7	16.1	25.8
13								9.7	16.1	25.8
14								9.7	16.1	19.4
15								9.7	16.1	22.6
16								6.5	16.1	29.0
17							3.2	6.5	22.6	25.8
18		3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	12.9	22.6	25.8
19						3.2	3.2	12.9	22.6	29.0
20								16.1	25.8	29.0
21					3.2	3.2	3.2	12.9	22.6	32.3
22							3.2	16.1	22.6	38.7
23				3.2	3.2	6.5	6.5	19.4	22.6	41.9
MEAN			0.1	1.5	2.2	2.6	4.6	6.2	14.5	23.5
									38.7	

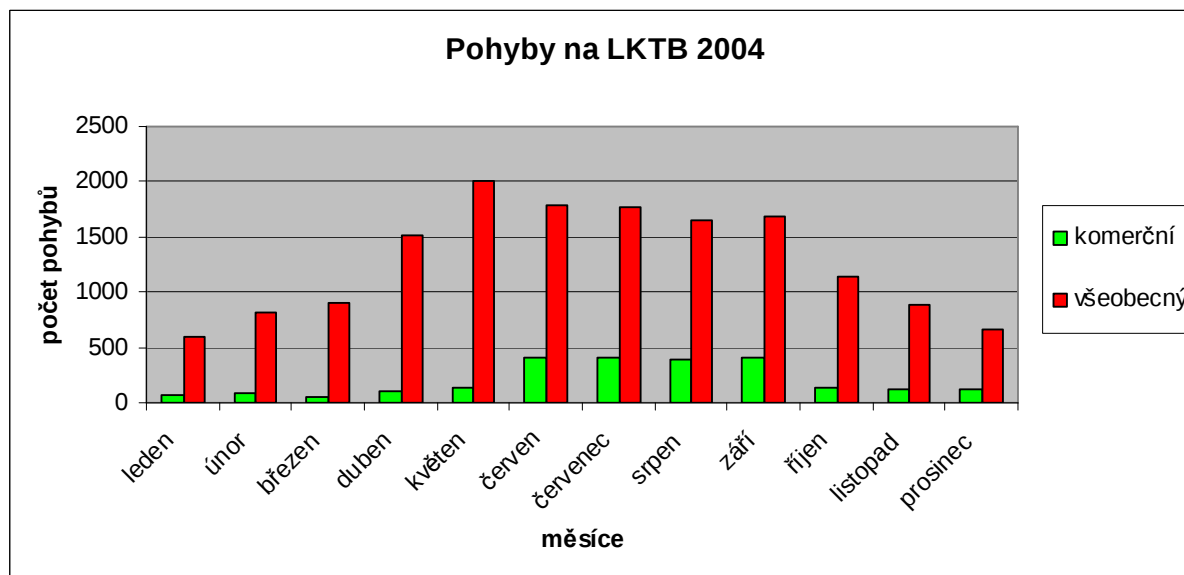
Tab. 10 Meteorologické podmínky na LKTB říjen 2005

V říjnu se výskyt ranních mlh zdvojnásobil až ztrojnásobil. Začínají se projevovat teplé fronty a jihovýchodní proudění.

Nastínla se zde nejdůležitější část sezony. Jak lze vidět, podstatná část z této doby probíhá za podmínek, kdy je nutné využití maximálně přesného přístrojového přiblížení CAT 1, vzhledem k tomu, že přes noc je počet ohybů minimální.

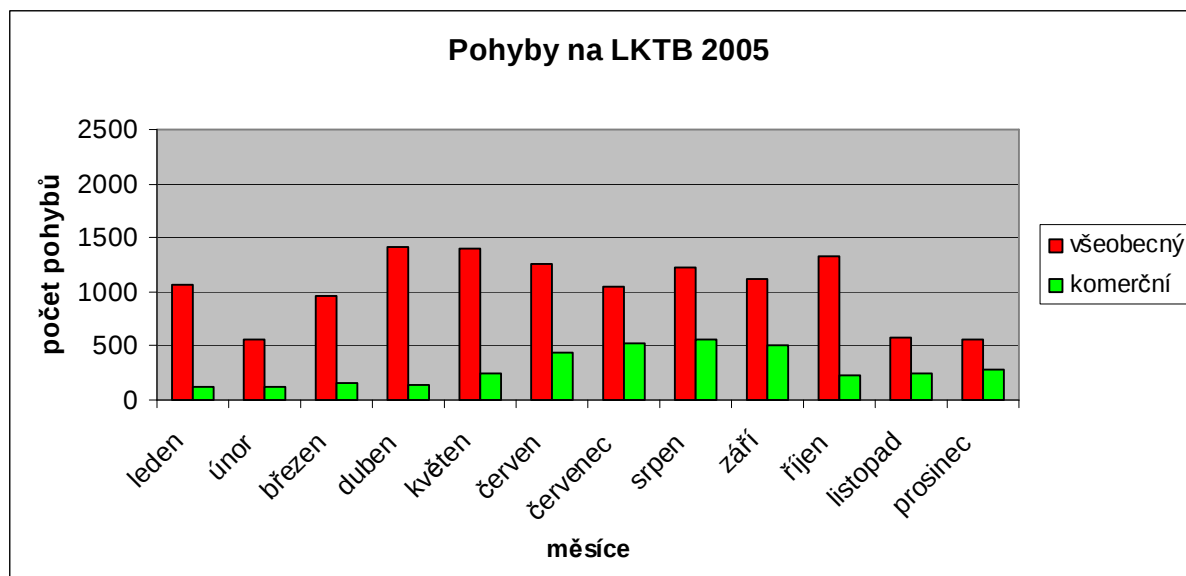
4.5 Charakteristika provozu na LKTB

Při zvažování přechodu na konkrétní druh GNSS technologie by se kromě povětrnostních podmínek zvažilo rovněž počet pohybů na daném letišti. Proto se shromáždily dostupné informace o pohybech na letišti Brno Tuřany. Z grafů pro roky 2004 až 2008 lze jednoznačně usoudit, jak moc je letiště závislé na sezónních charterových letech. Ty jsou hlavním zdrojem příjmů z letecké přepravy na zdejším letišti.

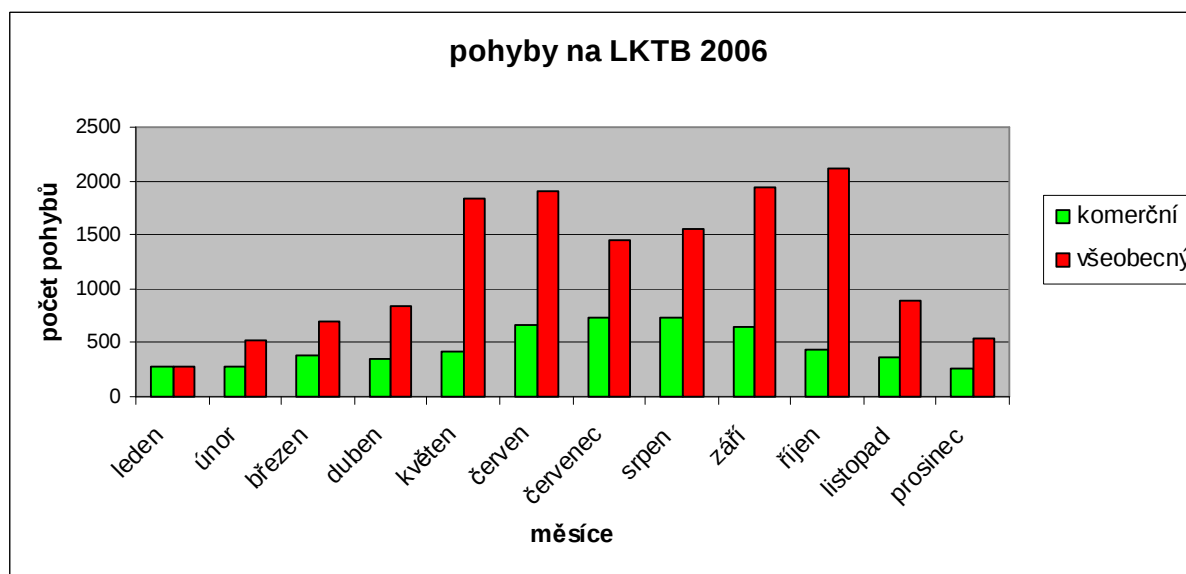


Graf 5 Počet pohybů na LKTB za rok 2004

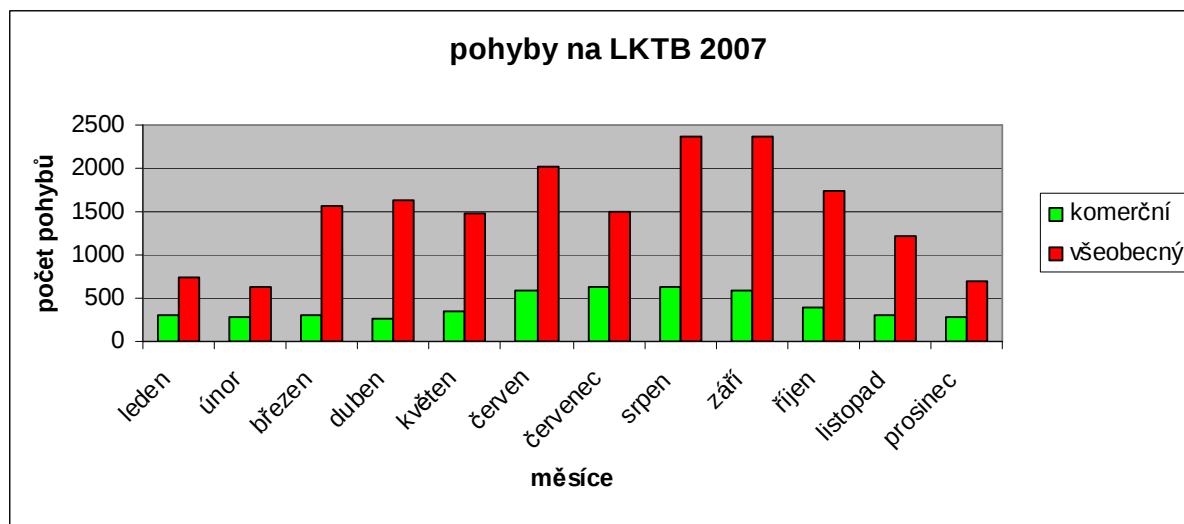
Během roku tvoří komerční přeprava pouze zlomek pohybů na LKTB. Jde hlavně o pravidelné linky. V každém měsíci je ještě stabilním provozem cca 50 pohybů poštovní služby. S nastupující turistickou sezónou v květnu se počet pohybů komerčních letů zvýší asi třikrát až čtyřikrát. Tento trend trvá až do října. V těchto měsících se také zvyšuje počet pohybů všeobecného letectví. Velký podíl na těchto letech mají místní letecké školy (Bemo air, Bluesky service, Flying academy) a společnosti vykonávající letecké práce působící na LKTB. Letecké školy tvoří značnou část provozu také během celého roku a to díky dobrým meteorologickým podmínkám k výcviku VFR a IFR. Letiště je díky nízké četnosti provozu velmi vhodné pro začínající letce. Druhou významnou částí všeobecných pohybů jsou lety aeroklubových letounů, které jsou vzhledem k travnatým letišťům závislé na počasí, takže se do Brna mohou dostat pouze v letní části roku. [18] , [19]



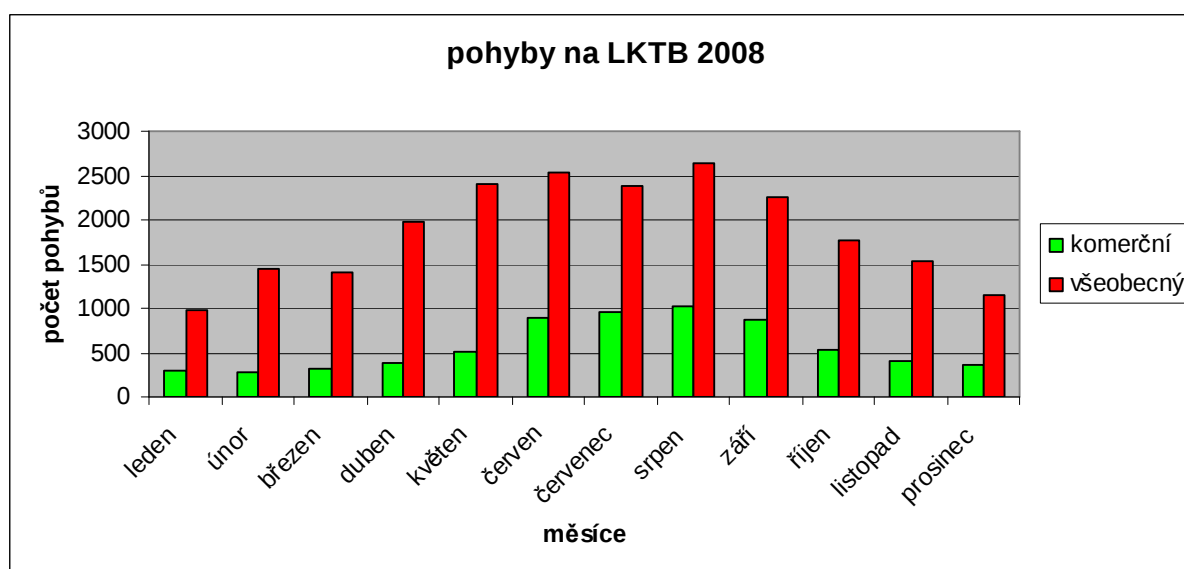
Graf 6 Počet pohybů na LKTB za rok 2005



Graf 7 Počet pohybů na LKTB za rok 2006



Graf 8 Počet pohybů na LKTB za rok 2007



Graf 9 Počet pohybů na LKTB za rok 2008

Na grafech je vidět, že počet pohybů má mírně rostoucí tendenci a v loňském roce (2008) byl počet všech pohybů největší za posledních pět let. Avšak sezónní trend neustále převládá a dá se předpokládat, že se v dohledné době určitě nezmění. [18]

Tyto statistické údaje byly zpracovány proto, abych se poukázalo na případnou četnost využití systému pro přesné přiblížení za podmínek horších než je CAT I během roku.

Při zvažování přechodu na vyšší kategorii přesného přístrojového přiblížení je nutné si uvědomit, že samotné radionavigační zařízení nestačí k zajištění provozu pro vyšší kategorii. Bylo by třeba velkých finančních nákladů zejména na vybavení letiště. Mezi nejnákladnější investice by pravděpodobně patřilo dodatečné zabudování osvětlení na vzletové a přistávací dráze, na pojezdových drahách a pojezdový radar. Takové rozsáhlé práce by znamenaly nejen finanční náklady, ale také by přinesly problémy se zajištěním provozu na letišti během prací.

Stejně jako vyšší požadavky na zázemí a vybavení letiště, předpis klade důraz na vyšší stupeň vybavení letadel a vycvičení příslušných posádek. Letadlo musí být certifikováno pro LVP (Low Visibility Procedures). Vzhledem k vysokým finančním nákladům na vybavení takových letounů jde většinou pouze o velké dopravní letouny (např. B737, A320, atd.).

Následující tabulka pro představu dokresluje zmíněné požadavky na vybavení letounu schváleného pro LVP, konkrétně pro letoun Boeing typ 737.

zařízení	CAT 1	CAT 2 ruční LDG	CAT 2 auto LDG	CAT 3 auto LDG
Autopilot	0	1	2	2
Flight director	0	2	2	2
FD bars	0	2	2	2
IRS	1	2	2	2
Umělý horizont	2	3	3	3
ILS	1	2	2	2
Radiovýškoměr	1	2	2	2
Autoland	ne	ne	ano	ano
Air data computer	0	2	2	2
EADI	1	2	2	2
EHSI	0	1	1	2

Tab. 11 požadavky na vybavení letounu pro LVP podmínky (LDG land)

Ze statistik počtu pohybů na letišti v Brně Tuřanech je patrné, že počty takto vybavených letadel nejsou nijak vysoké. Tato skutečnost taktéž poukazuje na malou pravděpodobnost potenciálního využívání CAT II, resp. CAT III. Dalším důvodem k zamyšlení, zda zachovat či zvýšit stávající kategorii je fakt, že při náhodném výskytu málo četných podmínek nízké dohlednosti jsou v dosahu minimálně tři velká letiště, schopná přijmout divertující provoz (Praha, Vídeň, Bratislava).

Rozhodnutí o tom, zda investovat nebo neinvestovat finanční prostředky do případného zvýšení kategorie přesného přiblížení na letišti LKTB by bylo určitě potřeba daleko víc informací, než se povedlo shromáždit. Bohužel přístup k informacím je značně obtížný.

Určitě by bylo zajímavé, kdyby se např. četnosti pohybů na LKTB daly roztrždit i podle maximální vzletové hmotnosti letounů a ne jen na komerční a privátní lety. Od toho se odvíjejí příslušné poplatky a také by se zjistily konkrétnější počty letounů, které by byly schopny CAT II a CAT III použít, protože zkušenosti poukazují na fakt, že se na komerčních pohybech na LKTB výraznou částí podílí i malé letouny např. typu PA-34, nebo C-303. Ty samozřejmě nejsou schopné využít schopností LVP.

5. Možnosti realizace GNSS přiblížení

Byl proveden rozbor GNSS systémů, které by mohli v budoucnu nahradit stávající systém ILS na letišti v Brně. Dále byly vypracovány statistiky meteorologických podmínek nízkých dohledností a statistiky počtu pohybů na letišti Brno Tuřany. S ohledem na jejich výsledky a na stávající vybavení letiště se došlo k závěru, že letiště nepotřebuje vyšší kategorii přesného přístrojového přiblížení. Z těchto důvodů se doporučuje při přechodu na GNSS systémy zachovat stávající kategorii CAT I, která se jeví jako dostačující. Pro zachování CAT I se navrhuje stávající systém ILS nahradit systémem EGNOS.

Z dosavadních zkušeností s velmi dobře fungujícím systémem WAAS v USA, se systém EGNOS jeví jako ideálním řešením pro regionální letiště. V USA bylo ke dni 5.5 2009 vypublikováno 1595 postupů pro LPV přiblížení s využitím GNSS, z toho 262 jich bylo jen od začátku roku 2009. Pro provozovatele letiště nepředstavuje žádné náklady. Ba naopak při odstranění dosavadních pozemních zařízení se náklady na provoz sníží. Jediné náklady ponese provozovatel letadla, který bude chtít využívat GNSS navigaci na přiblížení. Bude muset své letadlo vybavit schváleným typem GNSS přijímače (dle RTCA DO 229 C a TSO C145A nebo TSO 146A). Nejjednodušší a nejlevnější variantou je již zmiňovaný GNSS přijímač Garmin G430 W. Jeho velkou výhodou je cenová dostupnost i pro všeobecné letectví. To tvoří hlavní část provozu na regionálních letištích.

5.1 Postup schvalování přístrojového přiblížení

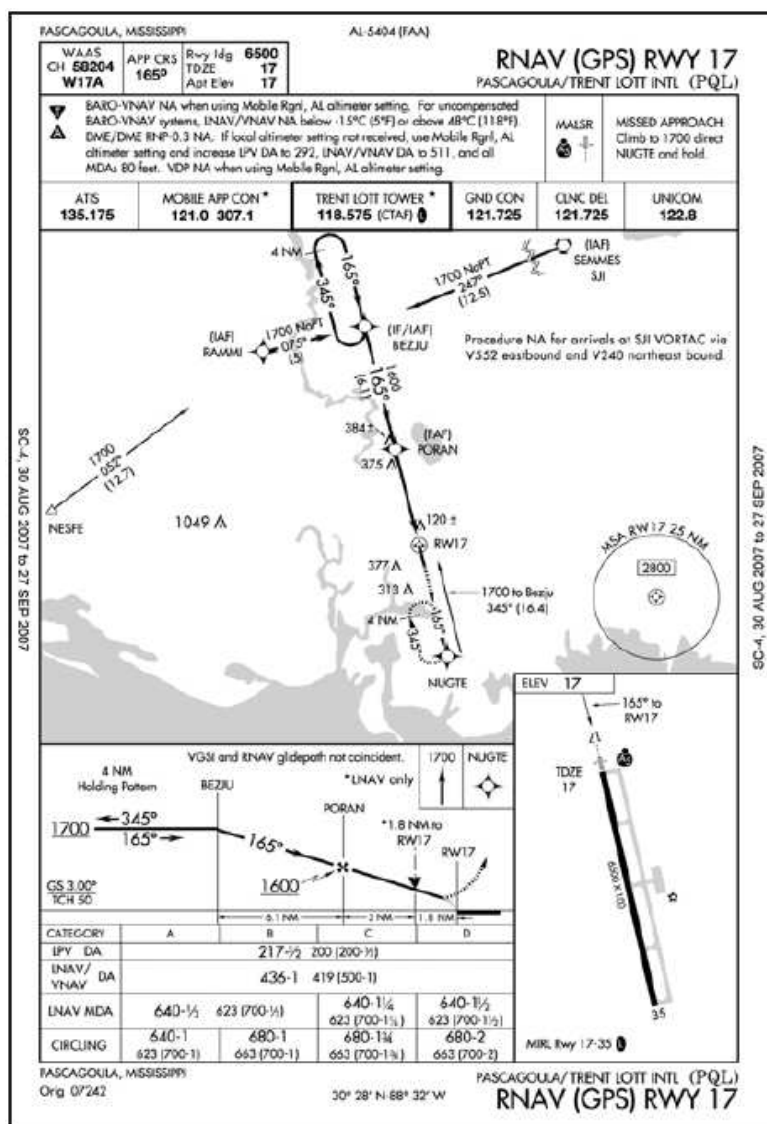
Z hlediska provozovatele letiště je při požadavku na vypublikování přiblížení za pomoci GNSS třeba splnit několik požadavků. Protože v Evropě ještě nejsou příslušné postupy dostatečně zavedeny, budou zde uvedeny postupy FAA. Dá se předpokládat obdobný proces při schvalování i v Evropě (i pro letiště Brno Tuřany), samozřejmě s evropskými institucemi zajišťující letecký provoz. [19], [23]

Provozovatel se spojí s tzv. FAA Airport office, nebo Státní leteckou kanceláří, která je nejbližší jeho letišti a předloží stávající postupy, které letiště poskytuje. Při jednání by se mělo docílit návrhu postupu, jak letiště upravit do takové podoby, aby piloti mohli využívat nejnížší možná minima systému WAAS.

Hlavní faktory, které ovlivňují případné zvýšení minim jsou podobné jako u postupů využívajících ILS. Jsou to terénní podmínky a překážky v blízkosti letiště a infrastruktura letiště. Překážky mají vliv na konečnou výšku rozhodnutí. Infrastruktura (osvětlení, značení a délka dráhy) letiště ovlivňuje podmínky minimální požadované dohlednosti.

Dalším krokem je shromáždění geografických dat pro návrh GNSS přiblížení (nadmořská výška letiště, přesné zeměpisné souřadnice, zeměpisné a magnetické směry RWY atd.). Jde o velmi přesná měření (zpravidla trvají 12 až 18 měsíců). [23]

Následně se všechny informace předají spolu s oficiální žádostí Pracovišti RAPT (FAA Regional Airspace and Procedure Team). To provede další stupeň zpracování postupů pro GNSS přiblížení. Zahrne do nich např. složky řízení letového provozu, provozní postupy, letové postupy atd. Po dokončení všech úkonů je k dispozici kompletní dokumentace, která putuje na ověření a kontrolu letecké inspekci. Následuje vypublikování příslušných mapek a rozslání příslušnou leteckou informační službou. Výsledným produktem je platné přístrojové přiblížení na konkrétním letišti. Grafické provedení mapky RNAV GPS přiblížení se nijak neodlišuje od dosud publikovaných postupů. Piloti jsou schopni bez sebemenších potíží využívat jejich informací. [23]



Obr. 39 mapka RNAV/GPS přiblížení

5.2 Přiblížení RNAV/GPS

Avionika SBAS zahrnuje tři módy (úrovně) přiblížení. Jsou to LVP (APV I a APVII) přiblížení, LNAV/VNAV přiblížení a LNAV přiblížení. Na mapkách jsou označovány jako RNAV/GPS RWY XX. Jak je vidět na dolní polovině obr. 38, pro každou úroveň přiblížení se definují příslušná minima (DA, VIS, resp. RVR). Pokud má pilot na palubě GNSS přijímač schopný využít WAAS může postupovat v souladu s postupy LPV. V opačném případě může využít přiblížení LNAV. Na mapce (obr. 38) jsou publikovaná minima srovnatelná s přiblížením ILS (DA 200 ft a VIS ½ NM). Vzhledem k tomu, že Letiště Brno Tuřany plní kritéria pro ILS CAT I, je velmi pravděpodobné, že by se při přechodu na GNSS přiblížení minima výrazně nezměnila. [23]

Samotné provádění přiblížení se v podstatě výrazně nezmění. Pilot si při předletové přípravě musí zkontrolovat příslušný Notam, zda není omezena dostupnost signálu WAAS (EGNOS) v místě zamýšleného přistání. Jedinou podstatnou změnou může být možnost provádět tzv. zakřivená přiblížení. Ta umožní využít přístrojová přiblížení v oblastech, kde terén nedovoluje vybudovat přímé přiblížení jako u ILS, nebo v místech s citlivými oblastmi na hluk. Pilot si v databázi svého přijímače zvolí postup přiblížení a s ohledem na výkonnost

svého přijímače je povinen dodržet publikovaná minima. Přijímač si automaticky volí kurzovou citlivost a výstrahu ve vertikální i horizontální rovině (VAL, HAL) v závislosti na své aktuální poloze na trati a na požadavcích pro jednotlivé úseky letu a typy přiblížení (tab. 12). V případě nedostatečné integrity signálu WAAS pro LPV přiblížení, zobrazí přijímač varovnou zprávu „Approach downgraded – use the LNAV minima“. Pilot respektuje oznámení a pokračuje v souladu s minimy pro LNAV přiblížení. V případě nedostatečné integrity i pro LNAV přiblížení vydá přijímač zprávu o ukončení přiblížení. Pilot ukončí přiblížení a pokračuje dle postupů pro nezdařené přiblížení. Protože je přijímač pro systém WAAS plně kompatibilní se systémem EGNOS, neočekávají se výrazné změny v postupech přiblížení. [23]

	Přesnost		Integrita				Dostupnost	Průchodnost
	Horiz. 95%	Vert. 95%	Výstraha limit horiz.	Výstraha limit Vert.	Integrita	Čas do výstrahy		
Let po trati konečná fáze	0.4 NM / 740 m	N/A	1 NM / 1.85 km	N/A	$1 \cdot 10^{-7}/h$	15 s	0.999 to 0.99999	$1 \cdot 10^{-4}/h$ to $1 \cdot 10^{-8}/h$
Poč. Přiblížení a odlety	220 m	N/A	0.3 NM / 0.6 km	N/A	$1 \cdot 10^{-7}/h$	10 s	0.99 to 0.99999	$1 \cdot 10^{-4}/h$ to $1 \cdot 10^{-8}/h$
Nepřesné přístroj. přiblížení	220 m	N/A	1 NM / 1.85 km	NA	$1 \cdot 10^{-7}/h$	10 s	0.99 to 0.99999	$1 \cdot 10^{-4}/h$ to $1 \cdot 10^{-8}/h$
Přístroj. Přiblížení s vert. Vedením APV I	16 m	20 m	40 m	50 m	$2 \cdot 10^{-7}$ per approach	10 s	0.99 to 0.99999	$1 \cdot 8 \cdot 10^{-6}$ in any 15 s
Přístroj. Přiblížení s vert. Vedením APV II	16 m	8 m	40 m	20 m	$2 \cdot 10^{-7}$ per approach	6 s	0.99 to 0.99999	$1 \cdot 8 \cdot 10^{-6}$ in any 15 s
Přesné přístroj. přiblížení CAT I	16 m	6 m to 4 m	40 m	12-10 m	$2 \cdot 10^{-7}$ per approach	6 s	0.99 to 0.99999	$1 \cdot 8 \cdot 10^{-6}$ in any 15 s

Tab. 12 výkonnost navigačního signálu GNSS

GNSS systémy se každým měsícem posouvají velmi rychle kupředu. I když systém EGNOS dosud není plně operační, je jen otázkou času, kdy se jím stane a nahradí stávající dosluhující radionavigační prostředky. Systém WAAS je toho důkazem.

6. Závěr

Práce má za cíl popsat stávající dosluhující systém pro přesné přístrojové přiblížení na přistání ILS. Dále je popsán postup přiblížení na přistání za pomoci ILS z pohledu pilota pro letiště Brno Tuřany.

Následně byly popsány základní principy funkce GNSS systémů, jejich historie vývoje v jednotlivých státech, požadavky na jejich využití v letectví a možnosti zlepšení jejich výkonnosti.

Poté byly shromážděny meteorologické informace z letiště Brno Tuřany v rozsahu 4 po sobě jdoucích let, u kterých byl následně proveden rozbor četnosti dohlednosti a nejnižší základny oblačnosti. Statistický soubor je velmi rozsáhlý díky intervalům hlášení po jedné hodině. Cílem bylo získat informaci o míře závislosti provozuschopnosti letiště na meteorologických podmínkách.

Podobně jako meteorologické informace byly zpracovány počty pohybů na letišti Brno Tuřany. Šlo zejména o zjištění počtů komerčních pohybů v závislosti na roční době a také srovnání četnosti pohybů všeobecného a komerčního letectví. Cílem bylo poukázat na složení letadlového parku (radionavigační vybavenost letounů), který tvoří provoz na letišti v Brně.

Na tyto výše zmíněné parametry byl kladen důraz při zvažování možností přechodu na GNSS přiblížení. V úvahu připadaly dva systémy. Systém GBAS poskytující až CAT III přesného přístrojového přiblížení a nebo systém EGNOS, který bude dovolovat maximálně CAT I. Z hlediska charakteru a četnosti provozu a také s ohledem na povětrnostní podmínky se došlo k závěru, že budování vybavení letiště pro podmínky přísnější než pro CAT I není v Brně Tuřanech nutností. To znamená, že při návrhu přechodu na GNSS systémy na přiblížení se doporučuje zajistit stávající kategorii CAT I přesného přístrojového přiblížení. Toho lze dosáhnout zavedením systému EGNOS. Z ekonomického i provozního hlediska systém EGNOS představuje nejdostupnější možnost GNSS přiblížení na letišti Brno Tuřany.

V závěrečných částech práce se návrh využití systému EGNOS snaží nastítnit kroky pro zavedení postupů přiblížení z hlediska provozovatele letiště a poslední část je věnována možnostmi provedení přiblížení z pohledu pilota.

7. Seznam literatury

- [1] Kulčák, L. *Air Traffic Management*. 1. vyd Brno: CERM, 2002. ISBN 80-7204-229-7
- [2] Imrich, T. All-Weather OPS. *Aero safety world* [online]. September 2007, s. 22-27 [2009-04-19].
<www.flightsafety.org/asw/sept07/asw_sept07.pdf>
- [3] Vosecký, S. *Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL 1, Radionavigace*. 1. vyd Brno: CERM, 2006. ISBN 80-7204-448-6
- [4] Předpis L 10: *O civilní Letecké Telekomunikační službě Svazek I-Radionavigační prostředky*. ŘLP ČR, LIS. Praha 2005
- [5] Soldán, V. *Letové postupy a provoz letadel*. 1. vyd. Praha: Letecká informační služba Řízení letového provozu České republiky 2007
- [6] Předpis L 14: *Letiště*. ŘLP ČR, LIS. Praha 2005
- [7] *AIP České republiky, část letiště, Praha-Ruzyně*, ŘLP-ČR dne 30

Března, 2006

- [8] Předpis L 8168: *Provoz letadel- Letové postupy*. ŘLP ČR, LIS. Praha 2005
- [9] Provozní příručka systému ILS od firmy THALES ATM
- [10] CAA Australia *Instrument Landing System Operational Notes* [online]. [2009-07-03].
<www.casa.gov.au/pilots/download/ILS.pdf>
- [11] Hrdina, Z. *Rádiové určování polohy: Družicový systém GPS*. 1.vyd. Praha 1995 ISBN 80-01-01386-3
- [12] *GPS L5 signal* [online]. [2009-03-13].
<www.insidegnss.com/node/1511Baseband_Technologies_Inc_ >
- [13] EUROCONTROL experimental centre. *EGNOS operational test and validationfor civil programme outline* [online]. [2009-03-11].
<www.eurocontrol.be/eec/gallery/content/public/document/eec/report/1999/028_EGNOS_OperationalTest_and_Validation.pdf >
- [14] <<http://www.gnss-giant.com/home.html?presentation>> [online]. [2009-03-12].
- [15] <<http://www.gsa.europa.eu/go/news/succesful-giant-flight-at-san-sebastian-airport>> [online]. [2009-03-12].
- [16] <www.insidegnss.com/node/864Baseband_Technologies_Inc_ >
- [16] <www.airport-brno.cz/index.php?id=41lang=cs> [online]. [2009-02-11].
- [17] <http://lis.rlp.cz/ais_data/www_main_control/frm_cz_aip.htm>[online]. [2009-04-22].
- [18] Osobní konzultace Ing. Radek Lang (2009)
- [19] Osobní konzultace Jaroslav Hrdlička (2009)

[20] Osobní konzultace Ing. Jiří Krča

[21] Osobní konzultace Jakub Herzán

[22] Osobní konzultace Mgr. Mario Kiriakov

[23] <http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/nav_services/gnss/media/MaximizingAirportOperationsUsingWAAS.pdf>[online].[2009-01-14].

[23] <<http://aviationmentor.blogspot.com/2006/12/flying-in-alphabet-soup.html>>[online].[2009-02-09].

8. Seznam zkratek

ADS	Automatic Dependent Surveillance Automatické závislé sledování
ABAS	Aircraft Based Augmentation System Palubní rozšíření GNSS systému
AIP	Aeronautical Information Publication Letecká informační služba
ALS	Approach Lighting System Systém přibližovacích světel
AOC	Počáteční operační schopnost
ATM	Air Traffic Management organizace vzdušného prostoru
BNO	Označení Brněnského VOR
CAT I	Kategorie jedna přesného přístrojového přiblížení
CAT II	Kategorie dvě přesného přístrojového přiblížení
CAT III	Kategorie tři přesného přístrojového přiblížení
CIG	Ceiling Základna oblačnosti
CNS	Komunikace, navigace, sledování Communication, Navigation, Surveillance

DGNSS	Differencial Global Navigation Satellite System Diferenční globální navigační systémy
DH	Decision High Výška rozhodnutí
DME	Měřič vzdálenosti
DV	Dlouhé vlny
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay System Evropský diferenční velkoplošný navigační systém
ESA	European Space Agency Evropská vesmírná agentura
EUR	Evropský
FAA	Federal Aviation Administration Vládní letecký úřad
FAF	Final Approach Fix Fix konečného přiblížení
FANS	Future Air Navigation System Koncepce budoucích leteckých radionavigačních služeb
FEATS	Future Europe ATS Koncepce budoucích evropských leteckých radionavigačních služeb
FOC	Full Operation Capability Plná operační schopnost
GBAS	Ground Based Augmentation System Pozemní rozšíření GNSS systému
GLONASS	Ruský GNSS systém
GNSS	Global Navigation Satellite System Globální navigační systém
GP	Glide Path UKV sestupový maják
GPS	Global Position System Globální navigační systém
HAL	Horizontal Alert Limit Horizontální limit varování
HLV	Značení Holešov
HSI	Horizontal Situation Indicator Indikátor horizontální situace
IAF	Initial Approach Fix Fix počátečního přiblížení
ICAO	International Civil Aviation Organization

	Mezinárodní organizace civilního letectví
IFR	Intrument Flying Rules Pravidla pro let za podmínek IMC
ILS	Instrument Landing System Systém pro přesné přiblížení na přistání
IM	Inner Marker Vnitřní polohové návestidlo
IMC	Instrument Meteorological Conditions Meteorologické podmínky horší než podmínky pro let za VMC
LAAS	Local Area Augmentation System Lokální diferenční systém GPS
LKTB	Značení letiště Brno Tuřany
LLZ	Localizer VKV kurzový maják
LNAV	Lateral Navigation Příčná navigace
LORAN-C	Radionavigační zařízení dlouhého dosahu
LT	Local Time Místní čas
LVP	Low Visibility Procedures Postupy za nízké dohlednosti
MCS	Master Control Station Řídící stanice
MDA	Minimum Descend Altitude Minimální výška pro klesání
MFA	Minimum Flight Altitude Minimální letová výška
MLS	Microwave Landing System Mikrovlný přistávací systém
MM	Middle Marker Střední polohové návestidlo
MOC	Minimum Obstacle Clearance Altitude Minimální bezpečná výška nad překážkami
MORKO	Zkratka Morkovice
NDB	No- Directional Beacon Nesměrový radiomaják
NM	Nautical Mile Námořní míle
NOTAM	Notice To Airman Informace týkající se letového provozu
OBS	Ohmi Bearing Selector

	Kurzový ukazatel polohy
OM	Outer Marker vnější polohové návěstidlo
PAN-OPS	Procedures for air navigation service – aircraft operation Postupy pro radionavigační služby ICAO
PAR	Precision Approach Radar Přesný přibližovací radar
PPS	Precise Position Service Služba přesného zaměření
PSR	Passive Surveillance Radar Pasivní radar
QDM	Magnetic bearing to facility Q-kód pro magnetické zaměření ke stanici
QDR	Magnetic bearing from facility Q-kód pro magnetické zaměření od stanice
RAIM	Receiver Autonomous Integrity Monitoring Systém monitorování integrity
RNAV	Random Navigation Prostorová navigace
RNP	Require Navigation Performance Požadovaná navigační výkonnost
RVR	Runway Visual Range Dráhová dohlednost
RWY	Runway Vzletová a přistávací dráha
ŘLP	Řízení letového provozu
SA	Selective Availability Výběrová dostupnost signálu GPS
SBAS	Satellite Based Augmentation System Kosmické rozšíření GNSS systému
SSR	Secondary Surveillance Radar Sekundární radar
TERPS	United States Standard for Terminal Instrument Procedures Postupy pro radionavigační služby USA
THR	Runway Treshold Práh RWY
TMA	Terminal Manoeuvring Area Koncová řízená oblast
ÚCL	Úřad pro civilní letectví
UKV	Ultra krátké vlny
USA	United States of America

UTC	Spojené státy americké United Time Co-ordinated Světový koordynovaný čas
VAL	Vertical Alert Limit Vertikální limit pro varování
VFR	Pravidla letání za VMC
VIS	Visibility Dohlednost
VKV	Velmi krátké vlny
VNAV	Vertical Navigation Vertikální navigace
VOR	VKV všesměrový radiomaják
VPD	Vzletová a přistávací dráha
WAAS	Wide Area Augmentation System Velkoplošný diferenční GPS systém
WADGNSS	Wide Area Differential System Velkoplošný diferenční GNSS systém

9. Seznam Tabulek

Tab. 1 Příklad párování kmitočtů LLZ, GP a DME

Tab. 2 Shrnutí kategorií přesných přístrojových přiblížení

Tab. 3 Chyby GNSS

Tab. 4 Základní parametry přístroje GLU-925

Tab. 5 Meteorologické podmínky na LKTB květen 2005

Tab. 6 Meteorologické podmínky na LKTB červen 2005

Tab. 7 Meteorologické podmínky na LKTB červenec 2005

Tab. 8 Meteorologické podmínky na LKTB srpen 2005

Tab. 9 Meteorologické podmínky na LKTB září 2005

Tab. 10 Meteorologické podmínky na LKTB říjen 2005

Tab. 11 požadavky na vybavení letounu pro LVP podmínky (LDG land)

Tab. 12 výkonnost navigačního signálu GNSS

10. Seznam grafů

Graf 1 Meteorologické podmínky na LKTB za rok 2005

Graf 2 Meteorologické podmínky na LKTB za rok 2006

Graf 3 Meteorologické podmínky na LKTB za rok 2007

Graf 4 Meteorologické podmínky na LKTB za rok 2008

Graf 5 Počet pohybů na LKTB za rok 2004

Graf 6 Počet pohybů na LKTB za rok 2005

Graf 7 Počet pohybů na LKTB za rok 2006

Graf 8 Počet pohybů na LKTB za rok 2007

Graf 9 Počet pohybů na LKTB za rok 2008

11. Seznam obrázků

Obr. 1 C-121C Lockheed Super Constellation

Obr. 2 Boeing B707

Obr. 3 Antény LLZ

Obr. 4 Nosný signál systému LLZ

Obr. 5 Modulační signál systému LLZ

Obr. 6 Modulovaný signál

Obr. 7 Vyzařovací diagramy jednotlivých antén LLZ a jejich kombinací

Obr. 8 Výsledná vyzařovací charakteristika VKV sestupového majáku

Obr. 9 Sestupový maják UKV a jeho umístění na letišti

Obr. 10 Vyzařovací charakteristika horní a dolní antény UKV sestupového majáku

Obr. 11 Anténa polohového návěstidla

Obr. 12 Pracovní oblast směrového majáku

Obr. 13 Rozevření kurzového sektoru

Obr. 14 Pracovní oblast LLZ ve vertikální smyslu

Obr. 15 Pracovní oblast sestupového majáku GP

Obr. 16 Horizontální pracovní oblast sestupového majáku ILS

Obr. 17 Kritické a citlivé zóny kurzového majáku ILS

Obr. 18 Kritický a citlivý prostor sestupového majáku systému ILS

Obr. 19 Úseky přiblížení, oddělené tzv. Fixy

- Obr. 20** Příletová mapka pro letiště Brno Tuřany
- Obr. 21** Primární a sekundární ochranný prostor ochraňující letadlo od překážek
- Obr. 22** Mapka přesného přístrojového přiblížení pro letiště Brno Tuřany
- Obr. 23** Indikace přístroje, pokud je letoun mimo pracovní oblast ILS
- Obr. 24** Indikace přístroje, pokud je letoun v pracovní oblasti ILS, ale stále mimo kurzový
- Obr. 25** Indikace přístroje, pokud je letoun v kurzovém sektoru ILS
- Obr. 26** Indikace přístroje, pokud je letoun na plně usazen na sestupové dráze ILS
- Obr. 27** Měření času τ_i
- Obr. 28** Zpracování signálu
- Obr. 29** Schéma GNSS přijímače
- Obr. 30** Struktura systému EGNOS
- Obr. 31** Plánované pokrytí systémem EGNOS při plné operační činnosti
- Obr. 32** Pokrytí signálem EGNOS v r.2008
- Obr. 33** Mapka pro přiblížení s využitím EGNOS, testy na letišti San Sebastian
- Obr. 34** Rozmístění pozemních komponent systém GBAS na letišti Malaga (Španělsko)
- Obr. 35** Architektura systému GBAS
- Obr. 36** Referenční stanice GBAS
- Obr. 37** Vícecestné šíření GNSS signálu
- Obr. 38** GLU-925
- Obr. 39** mapka RNAV/GPS přiblížení

12. Seznam příloh

- Příloha č.1** úhrn výšky oblačnosti a dohlednosti resp. dráhové dohlednosti za rok 2006, měsíc květen, červen
- Příloha č.2** úhrn výšky oblačnosti a dohlednosti resp. dráhové dohlednosti za rok 2006, měsíc červenec, srpen
- Příloha č.3** úhrn výšky oblačnosti a dohlednosti resp. dráhové dohlednosti za rok 2006, měsíc září, říjen
- Příloha č.4** úhrn výšky oblačnosti a dohlednosti resp. dráhové dohlednosti za rok 2007, měsíc květen, červen
- Příloha č.5** úhrn výšky oblačnosti a dohlednosti resp. dráhové dohlednosti za rok 2007, měsíc červenec, srpen
- Příloha č.6** úhrn výšky oblačnosti a dohlednosti resp. dráhové dohlednosti za rok 2007, měsíc září, říjen

Příloha č.1 úhrn výšky oblačnosti a dohlednosti resp. dráhové dohlednosti za rok 2006,
měsíc květen, červen

Aerodrome Climatological Summary Tabular form - Model A
 Aerodrome: LKTB Period of Record: 05/2006 - 05/2006
 Total number of observations: 744
 Latitude: 49 09 N Longitude: 16 42 E Elevation above msl: 241m
 Frequencies (per cent) of the occurrence of runway visual range (RVR)
 or visibility (VIS, both in meters) and/or height of the base of the
 lowest cloud layer, covering more than 4/8 of the sky (HS)
 below specified values at specified times

	RVR/HS						VIS/HS			
TIME	<100	<200	<400	<600	<800	<1500	<1500	<3000	<5000	<8000
UTC	---	---	<30	<30	<60	<90	<150	<300	<450	<600 m
	---	---	<100	<100	<200	<300	<500	<1000	<1500	<2000 ft
00								3.2	6.5	19.4
01								9.7	16.1	16.1
02								6.5	16.1	16.1
03							3.2	6.5	9.7	16.1
04							3.2	6.5	12.9	19.4
05							3.2	3.2	9.7	19.4
06							3.2	6.5	9.7	22.6
07						3.2	3.2	6.5	9.7	19.4
08								6.5	6.5	16.1
09								6.5	6.5	9.7
10								3.2	6.5	9.7
11									3.2	3.2
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20								3.2	3.2	3.2
21										6.5
22						3.2	3.2	3.2	3.2	9.7
23								6.5	6.5	9.7
MEAN						0.3	0.8	3.2	5.2	9.0

Aerodrome Climatological Summary Tabular form - Model A
 Aerodrome: LKTB Period of Record: 06/2006 - 06/2006
 Total number of observations: 720
 Latitude: 49 09 N Longitude: 16 42 E Elevation above msl: 241m
 Frequencies (per cent) of the occurrence of runway visual range (RVR)
 or visibility (VIS, both in meters) and/or height of the base of the
 lowest cloud layer, covering more than 4/8 of the sky (HS)
 below specified values at specified times

	RVR/HS						VIS/HS			
TIME	<100	<200	<400	<600	<800	<1500	<1500	<3000	<5000	<8000
UTC	---	---	<30	<30	<60	<90	<150	<300	<450	<600 m
	---	---	<100	<100	<200	<300	<500	<1000	<1500	<2000 ft
00										3.3
01								3.3	3.3	6.7
02									3.3	6.7
03									3.3	3.3
04										3.3
05									3.3	10.0
06									3.3	6.7
07									3.3	6.7
08								3.3	6.7	10.0
09									3.3	6.7
10									3.3	3.3
11									3.3	3.3
12										
13										
14										3.3
15										3.3
16										
17										
18										
19										
20										
21										3.3
22										
23										
MEAN								0.3	1.5	3.3

Příloha č.2 úhrn výšky oblačnosti a dohlednosti resp. dráhové dohlednosti za rok 2006, měsíc červenec, srpen

Aerodrome Climatological Summary Tabular form - Model A
 Aerodrome: LKTB Period of Record: 07/2006 - 07/2006
 Total number of observations: 744
 Latitude: 49 09 N Longitude: 16 42 E Elevation above msl: 241m
 Frequencies (per cent) of the occurrence of runway visual range (RVR)
 or visibility (VIS, both in meters) and/or height of the base of the
 lowest cloud layer, covering more than 4/8 of the sky (HS)
 below specified values at specified times

	RVR/HS						VIS/HS			
TIME	<100	<200	<400	<600	<800	<1500	<1500	<3000	<5000	<8000
UTC	---	---	<30	<30	<60	<90	<150	<300	<450	<600 m
	---	---	<100	<100	<200	<300	<500	<1000	<1500	<2000 ft
00										
01										
02										
03										3.2
04									3.2	3.2
05								3.2	3.2	3.2
06								3.2	3.2	3.2
07								3.2	3.2	3.2
08										
09										
10										
11										
12										
13					3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
14										
15										3.2
16									3.2	3.2
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
MEAN					0.1	0.1	0.1	0.5	0.8	1.1

Aerodrome Climatological Summary Tabular form - Model A
 Aerodrome: LKTB Period of Record: 08/2006 - 08/2006
 Total number of observations: 744
 Latitude: 49 09 N Longitude: 16 42 E Elevation above msl: 241m
 Frequencies (per cent) of the occurrence of runway visual range (RVR)
 or visibility (VIS, both in meters) and/or height of the base of the
 lowest cloud layer, covering more than 4/8 of the sky (HS)
 below specified values at specified times

	RVR/HS						VIS/HS			
TIME	<100	<200	<400	<600	<800	<1500	<1500	<3000	<5000	<8000
UTC	---	---	<30	<30	<60	<90	<150	<300	<450	<600 m
	---	---	<100	<100	<200	<300	<500	<1000	<1500	<2000 ft
00							3.2	6.5	9.7	16.1
01								3.2	6.5	9.7
02							3.2	3.2	6.5	12.9
03					3.2	3.2	3.2	6.5	9.7	22.6
04			3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	9.7	16.1
05			3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	6.5	16.1	19.4
06			3.2	3.2	6.5	6.5	6.5	9.7	9.7	22.6
07						3.2	3.2	6.5	6.5	16.1
08							3.2	3.2	12.9	12.9
09									3.2	6.5
10								3.2	3.2	3.2
11								3.2	3.2	6.5
12									3.2	6.5
13										3.2
14										3.2
15									3.2	6.5
16									3.2	6.5
17										3.2
18										6.5
19										3.2
20										6.5
21							3.2	3.2	3.2	6.5
22							3.2	3.2	3.2	3.2
23							3.2	3.2	3.2	6.5
MEAN					0.4	0.4	0.7	0.8	1.6	2.7
									4.8	9.4

Příloha č.3 úhrn výšky oblačnosti a dohlednosti resp. dráhové dohlednosti za rok 2006, měsíc září, říjen

Aerodrome Climatological Summary
 Aerodrome: LKTB
 Total number of observations: 720
 Latitude: 49 09 N Longitude: 16 42 E Elevation above msl: 241m
 Frequencies (per cent) of the occurrence of runway visual range (RVR)
 or visibility (VIS, both in meters) and/or height of the base of the
 lowest cloud layer, covering more than 4/8 of the sky (HS)
 below specified values at specified times

Tabular form - Model A

Period of Record: 09/2006 - 09/2006

TIME UTC	RVR/HS						VIS/HS			
	<100 ---	<200 ---	<400 <30 ---	<600 <30 ---	<800 <60 ---	<1500 <90 ---	<1500 ---	<3000 ---	<5000 <450 ---	<8000 <600 ---
							<500	<1000	<1500	<2000 ft
00									3.3	6.7
01									3.3	13.3
02				3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	13.3
03									3.3	13.3
04									3.3	20.0
05						3.3	3.3	3.3	6.7	16.7
06									6.7	16.7
07			3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	13.3
08								3.3	3.3	13.3
09									3.3	10.0
10										6.7
11										3.3
12										3.3
13										
14										
15										
16										
17										
18										6.7
19										6.7
20										10.0
21										10.0
22										10.0
23										10.0
MEAN			0.1	0.3	0.3	0.4	0.4	0.6	1.7	8.5

Aerodrome Climatological Summary
 Aerodrome: LKTB
 Total number of observations: 744
 Latitude: 49 09 N Longitude: 16 42 E Elevation above msl: 241m
 Frequencies (per cent) of the occurrence of runway visual range (RVR)
 or visibility (VIS, both in meters) and/or height of the base of the
 lowest cloud layer, covering more than 4/8 of the sky (HS)
 below specified values at specified times

Tabular form - Model A

Period of Record: 10/2006 - 10/2006

TIME UTC	RVR/HS						VIS/HS			
	<100 ---	<200 ---	<400 <30 ---	<600 <30 ---	<800 <60 ---	<1500 <90 ---	<1500 ---	<3000 ---	<5000 <450 ---	<8000 <600 ---
							<500	<1000	<1500	<2000 ft
00								6.5	19.4	25.8
01				3.2	3.2	3.2	3.2	9.7	19.4	25.8
02			3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	9.7	22.6	25.8
03								9.7	22.6	29.0
04						3.2	3.2	16.1	22.6	29.0
05					3.2	3.2	3.2	16.1	29.0	32.3
06			3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	16.1	19.4	41.9
07								9.7	12.9	38.7
08								6.5	12.9	35.5
09								3.2	16.1	22.6
10								3.2	12.9	19.4
11								3.2	9.7	16.1
12									6.5	19.4
13						3.2	3.2	3.2	6.5	19.4
14									9.7	16.1
15									6.5	16.1
16									6.5	19.4
17									9.7	19.4
18								6.5	9.7	22.6
19								6.5	9.7	22.6
20								6.5	9.7	22.6
21								6.5	9.7	22.6
22								9.7	12.9	22.6
23		3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	9.7	16.1	22.6
MEAN		0.1	0.4	0.5	0.7	0.9	0.9	6.6	13.8	24.5

Příloha č.4 úhrn výšky oblačnosti a dohlednosti resp. dráhové dohlednosti za rok 2007, měsíc květen, červen

Aerodrome Climatological Summary Tabular form - Model A
 Aerodrome: LKTB Period of Record: 05/2007 - 05/2007
 Total number of observations: 744
 Latitude: 49 09 N Longitude: 16 42 E Elevation above msl: 241m
 Frequencies (per cent) of the occurrence of runway visual range (RVR)
 or visibility (VIS, both in meters) and/or height of the base of the
 lowest cloud layer, covering more than 4/8 of the sky (HS)
 below specified values at specified times

TIME UTC	RVR/HS						VIS/HS			
	<100	<200	<400	<600	<800	<1500	<1500	<3000	<5000	<8000
	---	---	<30	<30	<60	<90	<150	<300	<450	<600 m
	---	---	<100	<100	<200	<300	<500	<1000	<1500	<2000 ft
00								3.2	3.2	9.7
01								3.2	3.2	9.7
02									3.2	12.9
03								3.2	3.2	9.7
04								3.2	6.5	9.7
05							3.2	3.2	6.5	9.7
06									6.5	16.1
07								6.5	6.5	6.5
08									9.7	12.9
09									3.2	3.2
10										
11										3.2
12										6.5
13										6.5
14										6.5
15									3.2	3.2
16								3.2	3.2	3.2
17								3.2	3.2	3.2
18								3.2	3.2	3.2
19								6.5	6.5	6.5
20									3.2	3.2
21									3.2	3.2
22										3.2
23									3.2	6.5
MEAN							0.1	1.6	3.4	6.6

Aerodrome Climatological Summary Tabular form - Model A
 Aerodrome: LKTB Period of Record: 06/2007 - 06/2007
 Total number of observations: 720
 Latitude: 49 09 N Longitude: 16 42 E Elevation above msl: 241m
 Frequencies (per cent) of the occurrence of runway visual range (RVR)
 or visibility (VIS, both in meters) and/or height of the base of the
 lowest cloud layer, covering more than 4/8 of the sky (HS)
 below specified values at specified times

TIME UTC	RVR/HS						VIS/HS			
	<100	<200	<400	<600	<800	<1500	<1500	<3000	<5000	<8000
	---	---	<30	<30	<60	<90	<150	<300	<450	<600 m
	---	---	<100	<100	<200	<300	<500	<1000	<1500	<2000 ft
00									3.3	10.0
01									3.3	10.0
02									3.3	13.3
03									3.3	13.3
04									10.0	16.7
05									3.3	13.3
06									3.3	6.7
07										10.0
08								3.3	3.3	13.3
09									3.3	3.3
10										
11									3.3	3.3
12										
13										
14										
15										
16									3.3	3.3
17										3.3
18									3.3	3.3
19										
20										
21										3.3
22										3.3
23					3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	10.0
MEAN					0.1	0.1	0.1	0.3	2.1	5.8

Příloha č.5 úhrn výšky oblačnosti a dohlednosti resp. dráhové dohlednosti za rok 2007, měsíc červenec, srpen

Aerodrome Climatological Summary Tabular form - Model A
 Aerodrome: LKTB Period of Record: 07/2007 - 07/2007
 Total number of observations: 742
 Latitude: 49 09 N Longitude: 16 42 E Elevation above msl: 241m
 Frequencies (per cent) of the occurrence of runway visual range (RVR)
 or visibility (VIS, both in meters) and/or height of the base of the
 lowest cloud layer, covering more than 4/8 of the sky (HS)
 below specified values at specified times

	RVR/HS						VIS/HS			
TIME	<100	<200	<400	<600	<800	<1500	<1500	<3000	<5000	<8000
UTC	---	---	<30	<30	<60	<90	<150	<300	<450	<600 m
	---	---	<100	<100	<200	<300	<500	<1000	<1500	<2000 ft
00										
01										
02										
03										3.2
04										
05										
06										
07								3.2	3.2	3.2
08								3.2	3.2	3.2
09										6.5
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										6.5
20										
21										
22										
23										

MEAN | 0.3 0.3 0.9

Aerodrome Climatological Summary Tabular form - Model A
 Aerodrome: LKTB Period of Record: 08/2007 - 08/2007
 Total number of observations: 744
 Latitude: 49 09 N Longitude: 16 42 E Elevation above msl: 241m
 Frequencies (per cent) of the occurrence of runway visual range (RVR)
 or visibility (VIS, both in meters) and/or height of the base of the
 lowest cloud layer, covering more than 4/8 of the sky (HS)
 below specified values at specified times

	RVR/HS						VIS/HS			
TIME	<100	<200	<400	<600	<800	<1500	<1500	<3000	<5000	<8000
UTC	---	---	<30	<30	<60	<90	<150	<300	<450	<600 m
	---	---	<100	<100	<200	<300	<500	<1000	<1500	<2000 ft
00										
01									3.2	3.2
02										
03										
04								3.2	3.2	9.7
05									3.2	6.5
06								3.2	6.5	6.5
07									3.2	9.7
08									3.2	3.2
09										3.2
10										
11										3.2
12										
13										
14										
15										
16										3.2
17										3.2
18										3.2
19										
20										
21									3.2	3.2
22								3.2	3.2	6.5
23								3.2	3.2	3.2

MEAN | 0.5 1.3 2.8

Příloha č.6 úhrn výšky oblačnosti a dohlednosti resp. dráhové dohlednosti za rok 2007, měsíc září, říjen

Aerodrome Climatological Summary Tabular form - Model A
 Aerodrome: LKTB Period of Record: 09/2007 - 09/2007
 Total number of observations: 720
 Latitude: 49 09 N Longitude: 16 42 E Elevation above msl: 241m
 Frequencies (per cent) of the occurrence of runway visual range (RVR)
 or visibility (VIS, both in meters) and/or height of the base of the
 lowest cloud layer, covering more than 4/8 of the sky (HS)
 below specified values at specified times

	RVR/HS						VIS/HS			
TIME	<100	<200	<400	<600	<800	<1500	<1500	<3000	<5000	<8000
UTC	---	---	<30	<30	<60	<90	<150	<300	<450	<600 m
	---	---	<100	<100	<200	<300	<500	<1000	<1500	<2000 ft
00									6.7	6.7
01									6.7	6.7
02									6.7	16.7
03								3.3	10.0	13.3
04									3.3	13.3
05								3.3	10.0	10.0
06								3.3	10.0	13.3
07								3.3	10.0	13.3
08								3.3	13.3	13.3
09								3.3	3.3	13.3
10								3.3	10.0	13.3
11								3.3	6.7	13.3
12								3.3	6.7	10.0
13								3.3	3.3	6.7
14								3.3	6.7	6.7
15								3.3	3.3	10.0
16							3.3	3.3	6.7	10.0
17							3.3	3.3	3.3	6.7
18							3.3	3.3	3.3	6.7
19							3.3	3.3	3.3	6.7
20						3.3	3.3	3.3	3.3	6.7
21									3.3	6.7
22									3.3	10.0
23									3.3	13.3
MEAN						0.1	0.7	2.4	6.1	10.3

Aerodrome Climatological Summary Tabular form - Model A
 Aerodrome: LKTB Period of Record: 10/2007 - 10/2007
 Total number of observations: 744
 Latitude: 49 09 N Longitude: 16 42 E Elevation above msl: 241m
 Frequencies (per cent) of the occurrence of runway visual range (RVR)
 or visibility (VIS, both in meters) and/or height of the base of the
 lowest cloud layer, covering more than 4/8 of the sky (HS)
 below specified values at specified times

	RVR/HS						VIS/HS			
TIME	<100	<200	<400	<600	<800	<1500	<1500	<3000	<5000	<8000
UTC	---	---	<30	<30	<60	<90	<150	<300	<450	<600 m
	---	---	<100	<100	<200	<300	<500	<1000	<1500	<2000 ft
00							3.2	6.5	29.0	35.5
01							3.2	16.1	25.8	35.5
02							3.2	16.1	25.8	45.2
03						3.2	6.5	12.9	25.8	45.2
04			3.2	3.2	3.2	3.2	6.5	16.1	25.8	54.8
05				6.5	6.5	6.5	9.7	19.4	41.9	61.3
06			6.5	6.5	9.7	12.9	12.9	19.4	35.5	51.6
07			3.2	3.2	3.2	9.7	12.9	22.6	38.7	54.8
08			3.2	3.2	6.5	6.5	12.9	22.6	32.3	54.8
09			3.2	3.2	3.2	3.2	6.5	25.8	32.3	48.4
10							3.2	16.1	32.3	41.9
11							6.5	12.9	22.6	29.0
12						3.2	6.5	12.9	22.6	32.3
13							3.2	9.7	16.1	32.3
14								9.7	16.1	29.0
15								3.2	12.9	29.0
16								9.7	16.1	32.3
17								6.5	19.4	29.0
18								6.5	16.1	32.3
19								6.5	19.4	35.5
20								9.7	22.6	29.0
21								9.7	19.4	29.0
22								6.5	22.6	32.3
23								6.5	29.0	32.3
MEAN			0.8	1.1	1.3	2.0	4.0	12.6	25.0	38.8