

ŠOLSKI CENTER VELENJE  
ELEKTRO IN RAČUNALNIŠKA ŠOLA  
Trg mladosti 3, 3320 Velenje

MLADI RAZISKOVALCI ZA RAZVOJ ŠALEŠKE DOLINE

RAZISKOVALNA NALOGA

**RAZVOJ IN UPORABA NAVIGACIJSKIH SISTEMOV  
V LETALSTVU**

Tematsko področje: TEHNIKA ALI TEHNOLOGIJA

Avtor:

Aljaž Prislán, 2. letnik (TM)

Mentorja:

Jože Lukanc, univ. dipl. inž.

Vito Persoglia, dipl. inž.

Velenje, 2011

Raziskovalna naloga je bila opravljena na Šolskem Centru Velenje, na Letališču J. Pučnika Ljubljana in z letalom C172.

Mentorstvo: Jože Lukanc, univ. dipl. inž. in Vito Persoglia, dipl. inž.

Datum predavitve:



## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD ŠCV-ERŠ 2010/2011

KG Navigacija / instrumentalni postopki / radio navigacijska sredstva

AV PRISLAN, Aljaž

SA LUKANC, Jože / PERSOGLIA, Vito

KZ 3320 Velenje, SLO, Trg mladosti 3

ZA Šolski center Velenje, ERŠ

LI 2011

IN RAZVOJ IN UPORABA NAVIGACIJSKIH SISTEMOV V LETALSTVU.

TD RAZISKOVALNA NALOGA

OP X, 77 s., 13 tab., 4 graf., 70 slik

IJ sl

JI sl / en

AI Potreba po precizni navigaciji v letalstvu je za varnost transporta ključnega pomena. Že od 30-ih let prejšnjega stoletja se radio navigacija konstantno razvija in tako radio navigacijska sredstva še danes ostajajo glavno sredstvo instrumentalne navigacije. Ta je sprva potekala le s pomočjo oddajnikov na tleh, po principu poslušanja različnih signalov. Različna interferenca dveh soležnih signalov je povzročila različen ton, ta pa je označeval kurz leta. Kasneje se je področje navigacije razvilo do nivoja, kjer je instrument na letalu s pomočjo avtomatične antene zaznaval smer oddajnika. Nato se je pojavil še bolj precizen sistem, ki je danes najbolj razširjen v letalstvu, imenovan VOR. Glavna prednost tega sistema je ta, da lahko pilot leti po na instrumentu nastavljenem signalu, ki predstavlja položaj letala na enem izmed 360 radialov. Sistem temelji na principu primerjanja faznega zamika dveh signalov, ki do sprejemnika potujeta različno dolgo in je zelo precizen. Uporaba obeh sistemov se še danes najbolj razširjena pri območni navigaciji po zračnih poteh in tudi za letališke procedure. Za instrumentalno pristajanje v slabi vidljivosti pa se je razvil ILS pristajalni sistem z veliko preciznostjo, ki oddaja dva signala. Njihova sredina vodi letalo do steze, po smeri in višini. Prihodnost letalske navigacije verjetno leži v satelitskih oddajnikih. Sistemi, kot so GBAS, dandanes omogočajo letalom pristanke v vidljivosti do 550m, namen sistema pa je doseči zmožnost pristajanja pri vidljivosti 0 m, za kar danes ni certificirano nobeno letališče.



## KEY WORDS DOCUMENTATION

- ND SCV-ERS 2010/2011
- CX Navigation / instrumental procedures / radio navigation aids
- AU PRISLAN, Aljaž
- AA LUKANC, Jože / PERSOGLIA, Vito
- PP 3320 Velenje, SLO, Trg mladosti 3
- PB School Centre Velenje, ERS
- PY 2011
- TI ADVANTAGE AND USAGE OF NAVIGATION SYSTEMS IN AVIATION.
- DT RAZISKOVALNA NALOGA
- NO X, 77 p., 13 tabs, 4 graphs, 70 pics
- LA sl
- AL sl / en
- AB The air navigation systems have constantly been a subject to improvement and are crucial for the safe air transport. The ground based radio navigation aids are still the main source for today's flight navigation. At the very beginning, in 1930s, first navigation systems were based on pilot's comparison of sound signals, transmitted from the ground stations. The interference of two in-axis or offset beacons had caused a different received tone in the cockpit, indicating a brief information of aircraft's relative position to a specific point. Later the automatic direction finding of the magnetic course to a NDB was developed, based on an automatic antenna. Several years later an additional ground system came in use, named VOR. The most important new function supported was the pilot's selection of a desired radial to be flown, relative to the station. The cockpit instrument became capable of displaying an aircraft's deviation from the desired course, based on one of VOR's 360 radials. Nowadays it is still the mostly used area navigation aid. For the purposes of an approach phase in instrumental meteorological conditions an ILS became the most popular and widely used system. It gives a guidance by the course and descending slope to the runway threshold. The future of radionavigational aids probably represent the satellite systems, such as GBAS. Its purpose is to achieve a capability of the system to allow an aircraft landing on a runway in zero visibility. However, none of the airports is currently certified for that visibility minimum yet.



## 1 KAZALO

3	UVOD .....	1
4	NAMEN IN CILJI RAZISKOVALNE NALOGE .....	1
5	HIPOTEZE .....	1
6	PREGLED ZGODOVINE .....	2
6.1	Zgodovina letalstva .....	2
6.2	Navigacijski sistemi .....	3
6.3	Nizkofrekvenčni oddajniki – LFR .....	5
6.4	Priletne in »hold« procedure s pomočjo LFR oddajnikov .....	6
6.5	Lorenz .....	7
7.	CILJI IN UPORABLJENE METODE .....	9
8	DANAŠNJA NAVIGACIJSKA SREDSTVA .....	9
8.1	NDB oddajniki .....	9
8.1.1	Pogoste napake pri NDB navigaciji .....	11
8.1.2	RDF in ADF instrumenta .....	11
8.2	VOR – visokofrekvenčni vsesmerni radijski oddajnik .....	15
8.2.1	Konvencionalen VOR (C-VOR) .....	16
8.2.2	Doppler VOR (D-VOR) .....	17
8.2.3	Oprema na letalu .....	21
8.2.4	Napake in toleranca preciznosti VOR oddajnikov .....	23
8.3.	DME – naprava za merjenje razdalje .....	25
8.4	TACAN in VORTAC .....	30
8.5.	Instrumentalni pristajalni sistem ILS .....	31
8.5.1	Princip delovanja .....	32
8.5.2	Localizer – LOC .....	32
8.5.3	Glide Slope .....	35
8.5.4	Markerji – označevalniki .....	36
8.5.6	ILS kategorije .....	37
8.6	GNSS – satelitska navigacija .....	38
9	GPS .....	39
9.1	GBAS .....	42
9.2	SBAS .....	42
9.3	GNS .....	43
10.	RAZPRAVA, PRIMERJAVE, IZRAČUNI, ANALIZE .....	44
10.1	Primerjava NDB in VOR oddajnikov .....	44
10.2	Vpliv stožca tišine VOR in NDB oddajnika na preciznost navigacije .....	45
10.3	KLM metoda prestrezanja (interceptiranja) radialov .....	47
10.4.1	Prestrezanje QDM: .....	48
10.4.2	Prestrezanje QDR: .....	48
10.5	Menjava navigacijskega sistema C-VOR Dolsko v Portorož .....	49
10.6	Analiza procedure v primeru izpada komunikacijskih sistemov .....	52
10.7	Vpliv namestitve VOR-a na letališču v Portorožu .....	53
10.8	Primerjava ILS – LORENZ .....	53
10.9	Primerjava ILS – MLS .....	54
10.9.1	Princip delovanja .....	55
10.9.2	Inštalacija .....	55
10.9.3	Komponente MLS .....	55
10.9.4	Pokrivanje priletne smeri (AZ): .....	56
10.9.5	Pokrivanje priletne višine (EL): .....	56
10.9.6	DME/P .....	57



10.9.7 BAZ - oddajnik smeri v nasprotno smer steze v uporabi .....	58
10.9.8 Slabosti ILS sistema, ki naj bi jih MLS popravil .....	58
10.10 Primerjava NDB in ILS prileta na ljubljanskem letališču .....	59
10.11 Primerjava stare in nove procedure neuspelega prileta (MAP) v Ljubljani .....	65
10.12 Primerjava MAP in proceduralni zavoj v ILS v Mariboru .....	67
10.13 Vpliv povečanja prometa na navigacijo (v Sloveniji) .....	69
11 ZAKLJUČNE UGOTOVITVE, SKLEPI .....	74
12 Zahvala .....	76
13 Viri .....	76

## 1.1 Kazalo slik

Slika 1: Spekter radijskih frekvenc .....	4
Slika 2: Prikaz signalov pri LFR navigaciji .....	5
Slika 3: Primera holding procedure pri LFR sistemih .....	6
Slika 4: Shematski prikaz delovanja navigacijskega sistema Lorenz .....	7
Slika 5: Antene na letalu DC-3 za sprejem signalov iz oddajnikov sistema Lorenz .....	8
Slika 6: Simbol NDB oddajnika na aeronavtičnih kartah .....	9
Slika 7: Stožec tišine (Cone of Silence) pri NDB oddajniku .....	10
Slika 8: Risba QDM, QDR, RB .....	12
Slika 9: ADF s fiksno kompasno rožo .....	13
Slika 10: ADF z vrtljivo kompasno rožo .....	13
Slika 11 Slika 12: RMI z eno iglo .....	14
Slika 12: RMI z dvema iglama .....	14
Slika 13: Simbola za VOR oddajnik na aeronavtičnih kartah .....	15
Slika 14: Dolsko VOR na slovenski območni karti .....	16
Slika 15: Prikaz principa delovanja VOR-a s pomočjo kardiodnega grafa .....	17
Slika 16: D-VOR LBL na Brniku .....	18
Slika 17: Doppler VOR iz narisa in tloris .....	19
Slika 18: Ena od 39 zunanjih anten .....	19
Slika 19: Radio panel na letalu B727. Z desnim vrtljivim gumbom nastavljam .....	21
Slika 20: Nastavljen radio panel za poslušanje identifikacije VOR oddajnika .....	21
Slika 21: CDI na levi in HSI na desni .....	22
Slika 22: ADIRU panel na letalu A320 (ADIRU služi enakemu namenu kot IRS) .....	22
Slika 23: Stožec tišine pri VOR oddajniku .....	23
Slika 24: VOR/DME simbola na aeronavtičnih kartah .....	25
Slika 25: DME na VOR-u LBL na Brniku .....	25
Slika 26: Princip delovanja DME .....	26
Slika 27: DME odčitek .....	27
Slika 28: Primer napake prikaza DME instrumenta na letalu .....	28
Slika 29: Procedura vstopa v DME lok .....	28
Slika 30: Praktični napotki za letanje DME loka .....	30
Slika 31: VORTAC in TACAN simbola na aeronavtičnih kartah .....	31
Slika 32: Shema moduliranih signalov pri localizer anteni .....	32
Slika 33: Doseg localizer signalov .....	33
Slika 34: Localizer antena .....	33
Slika 35: Primer localizer prileta na enemu zmed najzahtevnejših letališč .....	34
Slika 36: Shema moduliranih signalov pri anteni priletne ravnine GS .....	35
Slika 37: Vertikalen prerez priletne procedure ILS 09 s 5.5° priletnim kotom .....	35
Slika 38: Letalo B737 pri ILS CAT IIIb avtomatskem pristanku .....	38



Slika 39: Natančnost različnih navigacijskih sistemov .....	38
Slika 40: GPSMAP 495 .....	40
Slika 41: GPSMAP 695 .....	41
Slika 42: GUS oddajnik .....	42
Slika 43: GNS 530W (zgoraj) in GNS 430W (spodaj) .....	43
Slika 44: Prikaz stanja in pozicije IRS in GNS sistemov na letalu MD-11 .....	44
Slika 45: BERTA 1D in BERTA 2E standardna odhoda .....	47
Slika 46: Letenje po KLM metodi .....	48
Slika 47: Stara procedura MODRO 1D .....	50
Slika 48: Nova procedura MODRO 1E .....	50
Slika 49: Prvoten plan spremembe prihodnih procedur na letališču Ljubljana .....	51
Slika 50: Simbol letala na radarski sliki .....	51
Slika 51: Primerjava holdinga nad DOL VOR in nad LUPIX .....	52
Slika 52: Lateralno pokrivanje oddajnika priletne smeri .....	56
Slika 53: Primer AZ komponente MLS .....	56
Slika 54: Vertikalen doseg signala priletne višine (EL) .....	57
Slika 55: Primer EL komponente MLS .....	57
Slika 56: MODRO 1E odhodna procedura .....	60
Slika 57: NDB instrumentalno priletna karta za ljubljansko letališče .....	61
Slika 58: Pogled skozi okno pilotske kabine na MDA med NDB priletom .....	63
Slika 59: Prikaz ILS signalov na zaslonih modernih letal .....	64
Slika 60: Pogled na stezo 31 v Ljubljani ob prečkanju minimumov ILS CAT II .....	64
Slika 61: Z rdečo je označena stara MAP procedura na ljubljanskem letališču .....	66
Slika 62: Nova MAP procedura označena z rdečo barvo brez DOL VOR .....	66
Slika 63: Stara procedura vstopa v ILS in njegova .....	67
Slika 65: Nova ILS procedura v Mariboru .....	68
Slika 66: R-NAV pot (črna ruta) in klasična pot (modra ruta) .....	69
Slika 67: Slovenski zračni prostor leta 2006 .....	70
Slika 68: Trenuten izgled slovenskega zračnega prostora .....	70
Slika 69: Potencialna LUMUS tranzicija v Ljubljani .....	71



## 1.2 Kazalo tabel

Tabela 1: C-VOR/D-VOR.....	18
Tabela 2: Kategorije VOR, njihove višine in oddaljenosti uporabe.....	20
Tabela 3: Načrtovana operacijska pokritost (DOC) slovenskih VOR oddajnikov.....	24
Tabela 4: VOR/DME pari kanalov.....	26
Tabela 5: ILS kanalov in parkiranih frekvenc med LOC in GS.....	36
Tabela 6: Markerji.....	37
Tabela 7: Minimume določa mednarodna zakonodaja ICAO v aneksu 10 (Vol. 1).....	37
Tabela 8: VOR/NDB.....	44
Tabela 9: Število sredstev.....	44
Tabela 10: KLM metoda QDM.....	48
Tabela 11: KLM metoda QDR.....	48
Tabela 12: ROD med celotnim priletom in časih med KAM in MG.....	62
Tabela 13: Ugotovitev med primerjavami.....	65

## 1.2 Kazalo grafov

Graf 1: Celoten promet po letih, na odstotkovno referenco za leto 2008.....	69
Graf 2: Razširjenost GPS in GNS sistemov v slovenskem splošnem letalstvu.....	72
Graf 3: Prikaz števila vgrajenih različnih satelitskih sistemov GPS in GNS v letala splošnega letalstva (GA) – do največje dovoljene vzletne teže 2,750 kg:.....	72
Graf 4: Primerjava števila vseh letal GA in letal v kategoriji GA, ki imajo dejansko nameščene GPS ali GNS sisteme.....	73

## 2 UPORABLJENE OKRAJŠAVE

ADF – Automatic Direction Finder

ADI – Attitude Direction Indicator

ADIRU – Air Data Inertial Reference Unit

AIP - Aeronautical Information Publication (publikacija države, ki vsebuje vse informacije, ki jih pilot potrebuje za izvedbo preleta, prihoda ali odhoda, v skladu s pravili, minimumi in omejitvami v zračnih prostorih)

AIRAC – Aeronautical Information Regulation And Control (je podatkovna baza vseh navigacijskih točk, ki veljajo na nekem območju. Da je baza posodobljena, se jo v FMS namešča vsak mesec na novo z izidom novih AIP-ov)

ALT – altitude (nadmorska višina, podana v čevljih)

AM – amplitudna modulacija

ASI – Air Speed Indicator

ATIS – Automatic Terminal Information Service

AZ – azimuth (pri MLS sistemu)

Back Course

BAZ – back azimuth (pri MLS sistemu)

CDI – Course Deviation Indicator

COMM FAIL – Communication Failure

C-VOR – Conventional VOR





DDM – Difference in the Depth of Modulation  
DH – Decision Height (točka odločitve na minimumu za precizne prilete)  
DME – Distance Measuring Equipment  
DME/P – Precision DME  
DOC – Designed Operational Coverage (pri VOR-ih)  
D-VOR – Doppler VOR  
EL – Elevation (pri MLS sistemu)  
FAF – Final Approach Fix  
FAP – Final Approach Point  
FM – frekvenčna modulacija  
FMS/FMC – Flight Management System/Computer  
ft – čevlji (feet - 1 m = 3,28 ft)  
G/A – Go-Around (Izvedba MAP)  
GA – General Aviation - splošno letalstvo  
GBAS – Ground Based Augmentation System  
GLONASS – Global Navigation Satellite System  
GNS – Global Navigation System  
GNSS – Global Navigation Satellite System  
GPS – Global Positioning System  
GPWS – Ground Proximity Warning System  
GS – Ground Speed - zemeljska hitrost  
GS/GP – Glide Slope/Glide Path  
GUS – Ground Uplink Station  
HDG – smer (heading)  
HSI – Horizontal Situation Indicator  
IAF – Initial Approach Fix  
IAP – Initial Approach Point  
IAS – Indicated Air Speed - indicirana hitrost  
ICAO – International Civil Aviation Organization  
IFR – Instrument Flight Rules - pravila instrumentalnega letenja  
ILS – Instrument Landing System - instrumentalni pristajalni sistem  
IM – Inner Marker - notranji označevalnik  
IMC – Instrument Meteorological Conditions - instrumentalni meteorološki pogoji (vse, kar je manj od VMC)  
IRS – Inertial Reference System - inercialni referenčni sistem  
KTS – vozli (knots)  
KZPS – Kontrola zračnega Prometa Slovenije  
LFF - Landefunkfeuer - runway localizing beacon (prejšnji sistem oddajnika priletne smeri)  
LFR – Low Frequency Range - območje nizkih frekvenc  
LOC - Localizer - oddajnik priletne smeri  
LVP – Low Visibility Procedures - postopki v nizki vidljivosti  
MAP – Missed Approach as Published - publicirana procedura neuspelega prileta  
MDA – Minimum Descend Altitude (višinski minimum za neprecizne prilete)  
MEA – Minimum En-route Altitude (višinski območni minimum)  
MLS – Microwave Landing System (mikrovalovni pristajalni sistem)  
MM – Middle Marker (srednji označevalnik)  
NDB – Non-Directional Beacon (neusmerjeni oddajnik)  
NM – navtične milje (Pretvornik iz NM v km znaša 1,852 NM, kar ni enako statutni milji, katere pretvornik v km je 1,609.)  
NOTAM – Notice to Airman (sporočila pilotom o spremembah, omejitvah v zračnem prostoru, navadno kratkotrajna inčasna)  
OCA – Obstacle Clearance Altitude - višina preleta ovire



OM – Outer Marker - zunanji označevalnik  
PAPI – Precision Approach Path Indicator - precizni svetlobni indikator pravilnega kota spuščanja  
pps – pulses per second - pulzov na sekundo (navadno radarskih)  
PRF - Pulse Repetition Frequency - frekvenca pulzov signala  
QDM – magnetna smer do letala  
QDR – magnetna smer od letala  
RDF – Radio Direction Finder - radijski iskarnik smeri  
RMI – Radio Magnetic Needle - radio magnetna igla  
R-NAV – Area Navigation - območna navigacija  
RNP – Required Performance Navigation - zahtevana stopnja tolerance pri preletu navigacijske točke ali sredstva  
ROD – Rate Of Descend - hitrost spuščanja  
RVR – Runway Visual Range - vidljivost na vzletno pristajalni stezi  
SBAS – Satellite Based Augmentation System  
SHF – Super High Frequency  
SID – Standard Instrument Departure - standardni instrumentalni prihod  
SLOP – Strategic Lateral Off-set Procedure  
SSR – Secondary Surveillance Radar - sekundarni nadzorni radar  
STAR – Standard Terminal Arrival Routes - standardni instrumentalni prihod  
TACAN – Tactical Air Navigation  
TCAS – Traffic Collision and Avoidance System  
UHF – Ultra High Frequency  
Vapp/Vref – hitrost prileta  
VFR – Visual Flight Rules - pravila letenja z vizualnimi referencami  
VHF – Very High Frequency  
VMC – Visual Meteorological Conditions (Vizualni meteorološki pogoji – vidljivost več kot 5 km in baza oblakov na 1500 ft nad letališčem.)  
VNAV – Vertical Navigation - vertikalna navigacija (navadno kot funkcija avtopilota, slediti v naprej planiranemu vertikalnemu profilu leta, programiranemu v FMC)  
VOLMET - Volume Meteorological  
VOR – VHF Omni-directional Radio Range  
VORTAC – VOR-TACAN  
VSI – Vertical Speed Indicator - indikator vertikalne hitrosti (spuščanja ali vzpenjanja)



### 3 UVOD

Raziskovalna naloga je nastala zaradi lastne želje po odkrivanju principa navigacije, postopkov navigiranja in delovanja modernih navigacijskih sistemov v letalstvu.

Zaradi gostote prometa in potrebne varnosti v letalstvu je navigiranje nujno. Pilot je, kot vodja letala, odgovoren za celoten let in mora tako poskrbeti, da letalo skupaj s potniki in prtljago varno prispe na cilj, kamor je bilo namenjeno. Brez navigacije to nikakor ne bi bilo možno. Dandanes se, zlasti pri linijskem letenju, uporablja natančna instrumentalna navigacija, ki naredi letenje bolj precizno in varno, omogoča boljši izkoristek zračnih poti ali "airways", ki že nekaj let niso odvisne le od radio navigacijskih sredstev na tleh.

Na začetku so letalci leteli le v lepem vremenu in se orientirali po pokrajinskih značilnostih. Tak princip navigiranja se imenuje VFR ("visual flight rules"), ki se še danes množično uporablja v splošnem letalstvu, v komercialnem pa je bolj redko oz. skoraj nikoli, saj se zaradi velike višine in hitrosti letal, takšno letenje praktično ne splača. Sodobnost predstavlja GNS, IFR ter IRS navigacija, vendar pa se zaradi cene in kompleksnosti pri splošnem letalstvu uporabljata samo prvi dve.

### 4 NAMEN IN CILJI RAZISKOVALNE NALOGE

V nalogi smo pregledali zgodovino razvoja radio navigacijskih sredstev in analizirali trenutno stanje na področju instrumentalne letalske navigacije. Osredotočili smo se na bistvene primerjave najbolj razširjenih sistemov za instrumentalno pristajanje ter območno navigacijo. Raziskali smo posebnosti sistemov in ugotovili zakaj so nekateri bolj razširjeni od drugih, kaj je bil vzrok, da so se nekateri boljši sistemi začeli razvijati, a se niso uveljavili, kaj so slabosti obstoječih najbolj uporabljenih, kako razvoj sistemov vpliva na trend rasti civilnega letalskega prometa, kako so s sodobnimi napravami opremljena letala splošnega letalstva in kako optimalno.

Raziskali smo tudi predvidene kratkoročne novosti in spremembe na radio navigacijskih sredstvih v našem zračnem prostoru, vpliv na procedure med in po menjavi določenih sistemov z novimi ter učinke nedavnih posodobitev nekaterih priletnih postopkov na promet ter pretočnost nekaterih zračnih prostorov.

### 5 HIPOTEZE

1. ILS je trenutno najbolj optimalen sistem za precizno pristajanje.
2. Stožci tišine so pri radio navigacijskih sredstvih moteči, a ne vplivajo bistveno na izvajanje postopkov.
3. KLM metoda interceptiranja poljubnih zadanih radialov je dovolj kvalitetna in praktična
4. Procedure za čas menjave DOL VOR-a vplivajo na izvajanje instrumentalnih postopkov in pretočnost zračnega prostora v fazi prihoda in prileta, vendar so ob razpoložljivem radarskem vektoriranju razlike lahko minimalne.
5. Izboljšava MAP procedur v Ljubljani in Mariboru omogoča boljšo razvrščanje in organizacijo prometa.
6. Preciznejša navigacija je eden od dejavnikov pri omogočanju povečanja prometa, zlasti v preletu.



## 6 PREGLED ZGODOVINE

### 6.1 Zgodovina letalstva

Odkar je človek začel opazovati okolje, v katerem je živel, se mu je pojavljala želja po doseganju stvari, ki mu naravno niso bile dane. Ob gledanju ptic in njihovi svobodi v zraku so se v 14. stoletju prvič pojavile ideje, kako bi se jim pridružili na nebu. Leonardo da Vinci je že imel idejo o zasnovi helikopterja, vendar pa se je prva želja po letenju človeka uresničila z balonom šele v 18. stoletju.

Velik prelom v zgodovini je leta 1891 dosegel Lilienthal, ki je s svojim jadralnim letalom Derwitzer z več kot 2000 uspelimi poleti dokazal, da je letenje z napravo, težjo od zraka, mogoče. Ravno v tem času pa je postajal bencinski motor dostopen, tako da je bilo samo še vprašanje časa, kdaj se bo pojavilo letalo na lasten pogon.

Ni minilo dolgo, ko sta brata Orville in Wilbur Wright leta 1903 svetu pokazala svoje prvo letalo na lasten pogon, ki sta ga optimistično poimenovala *The Flyer* (Letalec). 17. decembra tega leta sta blizu kraja Kitty Hawk, severna Karolina v Združenih državah Amerike, poletela štirikrat, od tega je bil najdaljši let dolg kar 260 metrov.

S pojavom človeka in njegovi želji po potovanju se je pojavila potreba po navigaciji. S tem, ko je človek potoval, se je moral tudi orientirati. Orientacija po kopnem zaradi vseh pokrajinskih značilnosti niti ni predstavljala večjih težav. V zgodovini je bilo veliko pomembnih iznajdb, ki so človeku olajšale orientacijo. Tako na primer so Kitajci kot prvi leta 1119 iznašli kompas. Newtonov optični zakon o vpadnih in odbojnih kotih svetlobe pa je leta 1730 pripeljal do iznajdbe oktanta, s katerim je bilo moč meriti kote do 90°, za tem pa z dodajanjem zrcal do sekstanta z možnostjo merjenja kotov do 120°. Za to raziskovalno nalogo se bomo usmerili bolj v uporabo navigacije v letalstvu.

Že prvi letalci so morali vedeti, kje so in kam gredo. Z večanjem višine, hitrost in razdalje potovanja je postajala navigacija vse bolj pomembna.

Sprva so piloti gledali ven iz svojih odprtih kabin in iskali kraje, reke in železnice, s pomočjo katerih so potem lahko podnevi določali svojo lokacijo in smer letenja. Takšna navigacija se imenuje vizualna navigacija ali VFR ("visual flight rules"), ki se uporablja še danes, v nekoliko sodobnejši obliki.

Dobro referenco je včasih malo bolj kot danes predstavljal tudi horizont, s katerim so piloti determinirali pozicijo svojega letala relativno na tla. Tudi to je imelo svoje meje, saj je ponoči in ob slabem vremenu bila takšna navigacija praktično nemogoča.

Leta 1918 je ameriška vojska začela s poleti, ki so prevažali pošto. Tako jim je okrog leta 1920 uspelo vzpostaviti trans-kontinentalno ruto iz New Yorka v San Francisco. V tistem času se je pojavila inovacija na področju navigacije. To je bil preprost instrument z mehurčkom zraka v tekočini, ki je omogočil pilotu raven let. Piloti so kljub temu bili zaradi velikega mraza, padavin ter stresa pod velikim pritiskom. Tako se je ideja, da bi pilotom pomagali olajšati delo, nadaljevala in navigacija izboljševala. Do leta 1930 so čez vso Ameriko namestili vrsto reflektorjev, ki so imeli moč okrog 1000 Wattov, to pa je omogočilo tudi letenje ponoči, za kar si je vojska že dolgo prizadevala.

Leta 1929 je ameriški inovator Lawrence Sperry naredil prvo izvedbo umetnega horizonta, ki je deloval na principu žiroskopov. Sperry je inovacijo pripeljal celo tako daleč, da je njegov sistem skrbel za raven let letala. Tako ni iznašel samo umetnega horizonta, ki že sam po sebi zelo olajša letenje v poslabšani vidljivosti, ampak tudi prvi avtopilot na svetu, ki je znatno zmanjšal pritisk na pilote.



Razvili so se novi sistemi, ki so merili hitrost in pritisk zraka zunaj letala. Tako je nastalo šest osnovnih instrumentov, ki jih uporabljamo še danes: umetni horizont (ADI), brzinomer (ASI), višinomer (Altitude), kompas (Heading Indicator – dandanes so to žirokompasi ali pa HSI), variometer (VSI) ter koordinator nagiba in zavoja (turn and bank indicator). S temi instrumenti se je navigacija bistveno izboljšala. Uvedli so tudi t.i. »mrtvo kalkulacijo«, kjer so za določeno hitrost, smer in začetno točko lahko približno ocenili, kje se v določenem trenutku nahajajo.

## 6.2 Navigacijski sistemi

Zaradi sprva nereguliranega ameriškega letalskega prometa in posledično velikega števila nesreč ter potrebe po povečanju prometa ameriške pošte US Mail in začetku potniškega prometa po prvi svetovni vojni, je ameriška vlada ustanovila Urad za letalsko trgovino. Uradu je bila dodeljena pravica za reguliranje varnosti v letalstvu. Zaradi omejene uporabe reflektorjev čez dan in v slabi vidljivosti, je Urad potreboval nov navigacijski sistem, ki bi omogočal letenje »na slepo« oz. letenje po instrumentih.

Pred vrstami, delovanjem in sami uporabi radio navigacijskih sredstev, ki so se in se še uporabljajo v letalstvu, si oglejmo lastnosti radijskih valov.

Val je postopna motnja v mediju, ponavadi zraku, ki jo povzročajo spremembe pritiska in napetosti, pri tem pa te spremembe medija ne izpodrinejo trajno. Poznamo naslednje karakteristike vala:

- Val se premika stran od svojega izvora, pri tem pa se medij (zrak ali voda) ne – ostajata na istem mestu.
- Ko val potuje, se zaradi trenja izgublja tudi njegova energija, zato se z oddaljevanjem vala zmanjšuje tudi njegova velikost (amplituda). Val potuje s konstantno hitrostjo.
- Val ima obliko sinusoide.

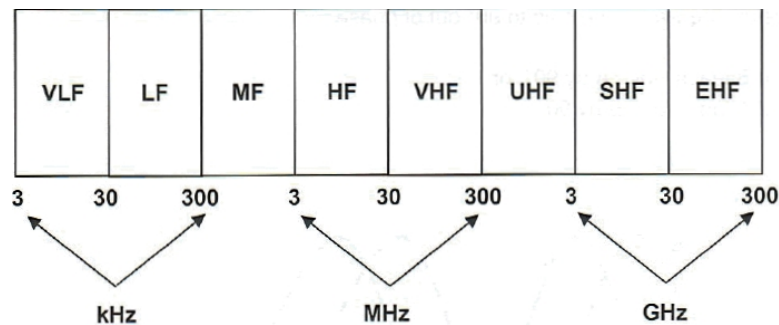
Za vse radijske valove velja, da se lahko lomijo, uklonijo ali odbijajo. Lom signala se pojavi, ko katerikoli del signala (nad ali pod srednjico) spremeni hitrost glede na drugo polovico. To se največkrat pojavi, ko val potuje poševno skozi medij, ki ima različne učinke na hitrosti širjenja.

Uklon signala se pojavi, ko val potuje blizu Zemljinega površja, saj s tem inducira majhno napetost, pri tem pa se nekoliko »prilepi« na Zemljo. Ko se pojavi indukcija vala, se signal upočasni, kar povzroči, da se val ukloni in sledi Zemljini ukrivljenosti.

Nekatere površine imajo takšno lastnost, da radijski signal sprejmejo, nato pa ga zopet oddajo. S tem se pojavi odboj signala in delna izguba energije, ki pa je manjša pri manjših odbojnih kotih. Problem majhnih odbojnih kotov pa je, da se lahko odbiti val združi s pravilnim, torej tistim, ki potuje naravnost, in tako povzroči interference pri sprejemniku.

Lastnost nižjih frekvenc je, da lahko zaradi uklona ter odboja od Zemeljske površine, prepotujejo zelo veliko razdaljo, vendar pa se s tem pojavi tudi sprememba v sami informaciji, ki jo prenaša signal. Lastnost višjih frekvenc pa je ravno obratna. Imajo krajši doseg vendar je njihov signal kvaliteten.





**Slika 1: Spekter radijskih frekvenc**

Lastnosti sprejema radijskih signalov in zaznavo njihovih karakteristik izkoriščamo pri navigaciji. Oddajniki na tleh služijo ne samo za navigacijo med letališči, ampak zagotavljajo tudi varen odhod in prihod iz oz. na letališče, tudi v primeru poslabšane vidljivosti. V grobem tako v letalstvu ločimo naslednje instrumentalne procedure:

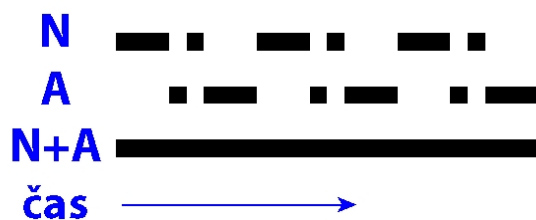
- Odhodne procedure (SID) – služijo za varen odhod letala iz letališča do prve točke v načrtu poleta, v kateri se pilot vključi v neko zračno pot (»airway«), ki ga nato vodi vse do zadnje točke pred namembnim letališčem.
- Prihodne procedure (STAR) – skrbijo za varen spust letala iz zadnje točke nekega airway-a do točke, kjer se vstopi v finalno fazo pristajanja, imenovano začetna instrumentalna točka (IAP za precizne in IAF za neprecizne prilete).
- Priletne procedure (approach) – služijo za varen prihod letala, ko je le-to že v območju letališča – od 10 pa do 30 NM. Priletne procedure so sestavljene iz treh delov: začetna faza (»Initial Approach«), nadaljevalna faza (»Intermediate Approach«) in finalna faza (»Final Approach«). V vsaki fazi je območje brez ovir različno veliko, prav tako pa so definirana različna dovoljena odstopanja od predvidene poti. Priletne procedure ločimo še na precizne in neprecizne. Neprecizne zagotavljajo samo smer do steze, medtem ko precizne vsebujejo še informacijo o priletni ravnini.



### 6.3 Nizkofrekvenčni oddajniki – LFR

Kot korak k večji varnosti in natančnejšemu letenju je Urad leta 1928 postavil vrsto nizkofrekvenčnih oddajnikov po Ameriki, imenovanih LFR. Delovali so na območju od 190 do 535 kHz in so skupaj tvorili zračne poti.

Princip navigiranja s pomočjo A-N oddajnikov, kot so jih tudi imenovali zaradi njihovega načina delovanja, je bil preprost. Pilot je preko AM sprejemnika poslušal zvočne signale A (· –) in N (– ·) v morsejevi abecedi, ki so jih oddajali strateško postavljeni oddajniki na tleh, v razmaku okrog 200 NM. Oddajnik je pošiljal signale v štiri smeri (po dve nasprotni smeri sta bile rezervirane za isti signal – dve za A in dve za N signal). Če je pilot letel v polju A, je slišal morsejevo kodo črke A. Če pa je letel v polju N, pa je slišal morsejevo kodo črke N. V primeru, da je pilot letel na signalu - meji med poljema A in N, je zaradi interference obeh signalov slišal neprekinjen ton frekvence 1020 Hz. To so izkoriščali za definiranje zračnih poti, ki so bile ponavadi široke 3° signala od oddajnika, kar je na razdalji 100 NM povzročilo kurz širine  $\pm 2,6$  NM. Preden je kontrola zračnega prometa začela separirati promet po višinah, so pilote vzpodbujali, da so čim večkrat leteli nekoliko desno od signala (zračne poti), da so zmanjšali možnost trčenj v zraku z letali, ki so letela na isti poti ampak v nasprotni smeri. Ta procedura se imenuje SLOP.



*Slika 2: Prikaz signalov pri LFR navigaciji*

Oddajnik je vsakih trideset sekund oddajal tudi svojo dvo-črkovno morsejevo identifikacijo, po kateri so piloti določili, ali se navigirajo po pravem LFR oddajniku ali ne. Za določanje letenja od/do sredstva so piloti poslušali intenzivnost signala, ki je postajal šibkejši z oddaljevanjem od oddajnika, ali pa so se pomaknili stran od poti, ujeli čist A ali N signal in s pomočjo karte določili, ali letijo proti ali stran od oddajnika. Ob preletu oddajnika sta se smeri A in N signala zamenjali.

Način navigiranja po LFR oddajnikih, je najprej uporabljala vojska, civilnim pilotom pa je neprekinjeno spremljanje zvočnih signalov, sploh na dolgih letih, postalo moteče. Tako so razvili instrument, ki je z vibriranjem palčk (trstenk) omogočil »levo-desno« indikacijo glede na trenutni oddajnik. Tak način navigiranja je bil veliko bolj zanesljivejši, preprostejši in imun na zaznavanje napačnih signalov.

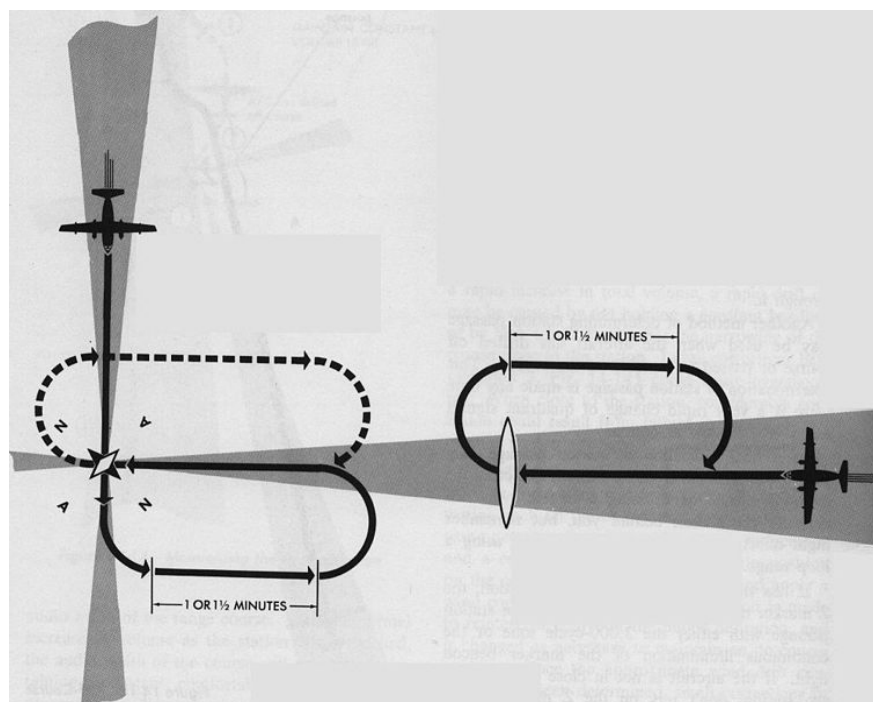


#### 6.4 Priletne in »hold« procedure s pomočjo LFR oddajnikov

Na priletnih procedurah je pilot priletel v območje, kjer je za nekaj trenutkov izgubil signal iz oddajnika, imenovano "stožec tišine" – več o tem pri NDB in VOR oddajnikih. To je pomenilo, da pilot preletava oddajnik. Slednje mu je najpogosteje predstavljalo referenco, povezano s predpisanim postopkom prileta na letališče.

Priletna procedura se je ponavadi začela ob preletu oddajnika, po katerem je pilot nato zavil v predpisano smer ter s preračunano hitrostjo spuščanja nadaljeval spusti na najnižjo varno višino (MDA). Na določeni točki, ki je bila največkrat definirana s časom od preleta oddajnika, je pilot zavil nazaj proti letališču in če na predpisani točki odločitve ni videl letališča, je moral prekiniti pristajanje in izvesti proceduro neuspelega prileta, navadno nazaj proti oddajniku, na varni višini. Določena letališča so omogočila prilete z bazo oblakov tudi do 300 čevljev nad terenom in vidljivost ene milje ali več.

"Holding" procedura, ki se uporablja za čakanje v zraku, v kateri pilot kroži v definirani elipsi nad določeno točko, je bila pri LFR veliko bolj natančnejša kot pri NDB oddajnikih, ki se uporabljajo še danes. NDB namreč kaže samo smer, v kateri je oddajnik, LFR pa pošilja signal širine  $3^\circ$ , ki je določal inbound track same hold procedure. Točka, nad katero se je holding izvajal, je bila definirana s stožcem tišine oddajnika ali pa z markerjem (označevalnikom), ki je oddajal samo zvočne signale (v vse smeri) in je bil del priletne procedure.



*Slika 3: Primera holding procedure pri LFR sistemih*



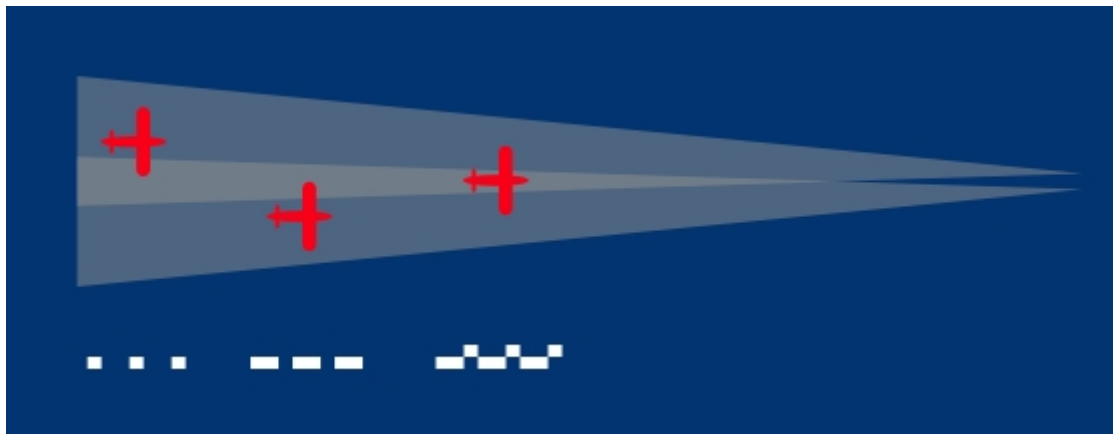


## 6.5 Lorenz

Signal Lorenz je kot navigacijsko sredstvo služil za pristajanje v slabi vidljivosti. Iznašli so ga Nemci (izdelovalo ga je takratno istoimensko podjetje) na koncu tridesetih let prejšnjega stoletja in ga poimenovali "Ultrakurzwellen-Landefunkfeuer" ali LFF (oddajnik za pristajanje z nizkimi valovnimi dolžinami). Nemci so pred drugo svetovno vojno s tem sistemom opremili večino svojih bombnikov in letališč.

Na začetku vojne so ga izboljšali za navigacijo dolgega dosega ter ga poimenovali *Sonne*. Angležem je uspelo dobiti Sonne sprejemnike in mape, kjer so bile narisane pozicije oddajnikov, ter jih začeli uporabljati za svojo navigacijo pod imenom *Consol*.

Lorenz je uporabljal dve anteni, ki sta delovali na frekvenci od 30 do 33 MHz. Slaba lastnost takšnih visokih frekvenc, je ta, da se ne odbijajo od tal, tako kot to velja za nizke frekvence. Da je zaznava teh visokofrekvenčnih signalov sploh možna, med oddajnikom in sprejemnikom visokih frekvenc ne sme biti nobene ovire. Zaradi tega razloga, so eno anteno postavili na desno, drugo pa na levo stran 25 m visokega droga. Sistem je deloval tako, da je leva antena (gledano iz letala, ki se približuje stezi) oddajala signal (pisk), dolg osmino sekunde (E ·), desno antena pa signal dolg sedem osmin sekunde (T –). Ko je pilot letel na področju, kjer je lovil samo signal iz leve antene (pika), je vedel, da je od steze odmaknjen levo in svojo smer popravil v desno. Obratno, ko je pilot slišal signal iz desne antene (črta) je zanj pomenilo, da mora svojo smer popraviti v levo. Kadar se je letalo nahajalo na sredinski liniji med signaloma, ki je označevala podaljšano os steze, je zaradi interference obeh signalov slišal neprekinjen ton. Področje, gledano iz vertikalnega profila, kjer je pilot lahko zaznaval signale, pa je predstavljalo kot spuščanja same priletne procedure. Ker so bili oddajniki narejeni tako, da so oddajali signale samo v ozkem tri stopinjskem snopu, je bil ta sistem zelo precizen.



**Slika 4: Shematski prikaz delovanja navigacijskega sistema Lorenz**

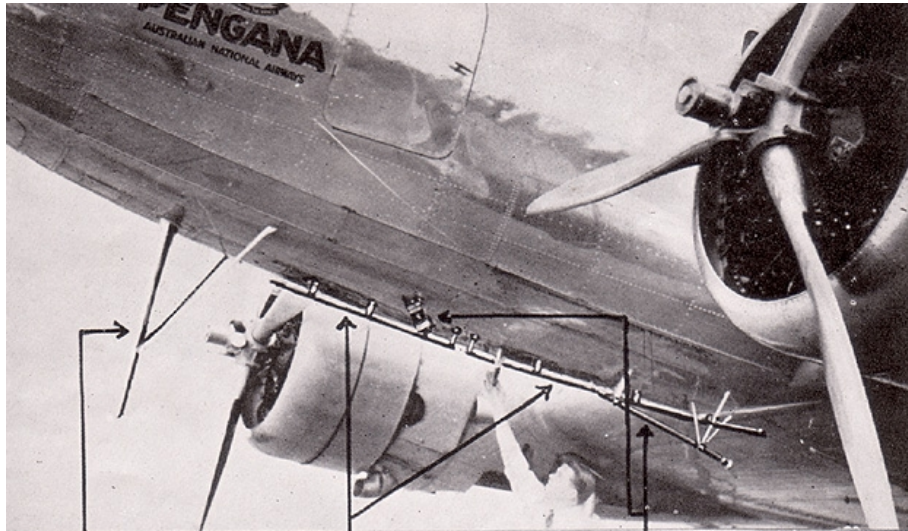
Sistem je vseboval tudi dve anteni za indikacijo oddaljenosti od steze, imenovani markerja (označevalnika). Prvi marker je bil postavljen 300 m od steze in se je imenoval HEZ, drugi, imenovan VEZ, pa je bil postavljen 3 km stran od steze. Markerji so signale pošiljali navpično, tako da je bilo signal mogoče slišati samo za kratek čas, med preletom njegove antene. Obe anteni sta delovali z močjo 5W na frekvenci 38 MHz, signala pa sta bila nato modulirana na 1700 oz. 700 Hz.

Leta 1937, po že tretji generaciji Lorenz sistemov EB3, je podjetje prenovilo HEZ marker, tako da je sistem vseboval še tretjo anteno. Druga antena na HEZ markerju- tista, ki je bila nameščena nižje, je pošiljala signal pod 3° kotom spuščanja, ki se je izkazal kot idealen za



prilet. Tako je Lorenz svoj sistem preciznega pristajanja še izboljšal. Ta pa je skozi čas dobil tudi prikazovalnik v pilotski kabini, kar je pilotom pristajanje zelo olajšalo.

Vredno je omeniti, da so antene pošiljale signal v obe smeri, kar je pomenilo, da je en sistem zadoščal za pristajanje v obe smeri iste pristajalne steze. Marjerji so ob tem, zaradi njihovega navpičnega oddajanja signala, morali biti podvojeni - inštalirani tudi na drugo stran osi steze.



Vertikalna antena za sprejemanje kurza

Antena za sprejemanje markerjev

Antena za sprejemanje zvočne identifikacije oddajnika

***Slika 5: Antene na letalu DC-3 za sprejem signalov iz oddajnikov sistema Lorenz***



## 7. CILJI IN UPORABLJENE METODE

### **Logične metode:**

S pomočjo logičnih metod so bile zbrane informacije iz literature (knjige o letalski zakonodaji, priročniki za instrumentalno letenje, knjige za študij teorije) in interneta (spletne strani z objavljenimi postopki, predpisi, procedurami, AIP zborniki). Poudarek zbiranja informacij je bil na analizi razvoja, odpravo pomanjkljivosti, novosti, izboljšav v sistemih, slabosti trenutnih in aktualne spremembe.

### **Metoda deskripcije, v sklopu metode obdelovanja in zbiranja podatkov:**

V splošnem delu naloge smo se pri analizi zgodovine in trenutnega stanja osredotočili predvsem na razlago in logično razumevanje navigacijskih letalskih sistemov, da smo jih nato šele lahko sistematično primerjali na koncu.

### **Induktivno-deduktivna metoda:**

S sklepanjem iz posameznih primerov v splošno in obratno je potekala primerjava VOR, NDB, ILS, MLS radionavigacijskih sredstev in izračuni gradientov ter stožcev tišine.

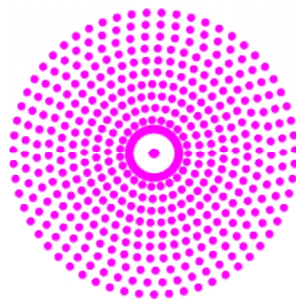
### **Združena sistetična in komparativna metoda:**

Skozi nalogo je potekalo združevanje navigacijskih sistemov v logična podpoglavja glede na funkcionalnost in namembnost ter združevanje sredstev po lastnostih, preko primerjave, s pomočjo tabel ni grafov.

## 8 DANAŠNJA NAVIGACIJSKA SREDSTVA

### 8.1 NDB oddajniki

Izumili so novo vrsto navigacijskih oddajnikov, imenovano neusmerjeni radijski oddajniki ali NDB, ki pošiljajo signale z enako močjo, v vse smeri. Že samo ime pove, da vsebujejo samo informacijo o smeri oddajnika, ne pa tudi odstopanja od zadanega kurza, tako kot drugi oddajniki (LFR, VOR in TACAN).



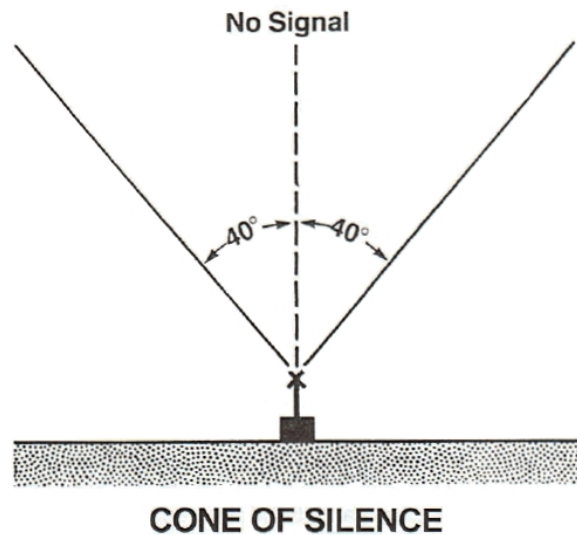
*Slika 6: Simbol NDB oddajnika na aeronavtičnih kartah*

Njihova prednost je, da lahko zaradi njegovih nizkih in srednjih frekvenc (150 – 400 kHz in 520 – 1720 kHz) signali prepotujejo daljšo razdaljo kot signali VOR oddajnikov. V osnovni izvedbi NDB sredstva oddajajo dva signala. Prvi signal vsebuje informacijo o smeri samega oddajnika, drug pa Morsejevo kodo za identifikacijo oddajnika. Slednja služi za pilotovo kontrolo, da je ta res nastavljen na željeno frekvenco sredstva, in da je sredstvo izpravno ter da ta deluje normalno - torej se je po njem mogoče varno navigirati. Določene izvedbe lahko



vsebujejo tudi dodatne informacije za pilote, kot so na primer vremenska opozorila in informacije o stanju na določenem letališču z umetno posnetim glasom (ATIS).

Čeprav NDB po definiciji oddaja signal v vse smeri, to velja le za horizontalno ravnino. V vertikalni ravnini antene prav tako obstaja že omenjen stožec tišine. Ta je v primerjavi z današnjim najbolj razširjenim območnim radionavigacijskim sredstvom VOR vseeno manjši.



*Slika 7: Stožec tišine (Cone of Silence) pri NDB oddajniku*

Iz zgornje sheme lahko opazimo, da je območje, ki ima obliko stožca, njegove stranice pa se raztezajo pod  $40^\circ$  od vertikale, prostor brez signala. Meje tega prostora so definirane z močjo signala, ko le-ta pade pod 50% svoje največje moči. To območje se imenuje stožec tišine ali po angleško »Cone of Silence«.

Poznamo dve vrsti NDB oddajnikov:

- **NDB** – delujejo pri večjih močeh (tudi do 4 kW), kar pomeni, da je njihovo območje delovanja lahko večje od 150NM. Po moči so razdeljeni v tri kategorije po namembnosti uporabe:
  - za procedure na letališču
  - za navigiranje po zračnih poteh
  - oddajniki z dolgim dosegom (običajno za navigacijo nad oceanom).
  
- **Locator (L)** – deluje pri manjši moči (območje delovanja je 15-25 NM), signale pa oddajajo v ožji stožčasti obliki. Zaradi tega se večinoma uporabljajo za letališke priletne procedure.



### 8.1.1 Pogoste napake pri NDB navigaciji

- **Nočni efekt** – lahko povzroči motnje pri sprejemu zaradi odbitih signalov od ionosfere. Pojav je najpogostejši pred sončnim vzhodom in zahodom, na razdalji 30 do 60 NM ter pri oddajnikih, ki delujejo s frekvenco, večjo od 350 kHz.
- **Efekt terena** – visok teren kot so gore in klifi lahko odbijajo radijske signale.
- **Električni efekt** – nevihte in električne interference iz drugih virov na zemlji ali na letalu lahko prav tako povzročijo motnje. (Sprejemnik na letalu lahko npr. med nevihto za trenutek pokaže proti viru bliska, namesto proti radionavigacijskemu sredstvu.)
- **Obalni efekt** – signal se vzdolž obale delno ukrivlja. Iz tega je za letalo, ki leti nad morjem, za navigacijo bolje izbrati sredstvo, ki je od obale čimmanj oddaljeno na kopno.
- **Efekt nagiba** – ko se letalo nagne po vzdolžni osi, to včasih privede do napačne indikacije instrumenta med zavojem.

### 8.1.2 RDF in ADF instrumenta

Za sprejemanje NDB signalov so na letalo namestili novo anteno, v pilotsko kabino pa je bil nameščen instrument, ki je ves čas kazal proti sredstvu na zemlji. Če je letalo s svojim nosom bilo usmerjeno naravnost proti NDB sredstvu, je igla instrumenta kazala naravnost naprej, v nasprotnem primeru pa ustrezen odmik glede na relativni kot med nosom letala in smerjo do sredstva. Sistem so nato še nekoliko izboljšali, tako da so na letala začeli vgrajevati ne več fiksne ampak vrtljive antene za sprejem signala.

Sistem so poimenovali RDF. Ta je, namesto obračanja letala, omogočal obrat antene v ustrezno smer, proti sredstvu in s tem hitreje določanje pozicije letala od izbranega NDB-ja. Pilot ali navigator je v letalu posredno obračal anteno do takšnega položaja, kjer je bila zaznana jakost NDB signala najmanjša. Ker je bila antena povezana na stopinjski senzor, so lahko z odštetjem oz. prištetjem  $180^\circ$  po potrebi določevali dva podatka - magnetno smer od letala do oddajnika ali pozicijo letala od oddajnika. Ta način je bil, v primerjavi z zaznavanjem smeri najmočnejšega signala, boljši, ker je bil prvič lažji, drugič pa je zagotavljal večjo natančnost pri odčitavanju pravilne smeri signala.

Sledila je revolucionarna izboljšava RDF – Automatic Direction Finder ali ADF, katere glavna posodobitev je bila ta, da se je antena na letalu avtomatsko obrnila v smer oddajnika.

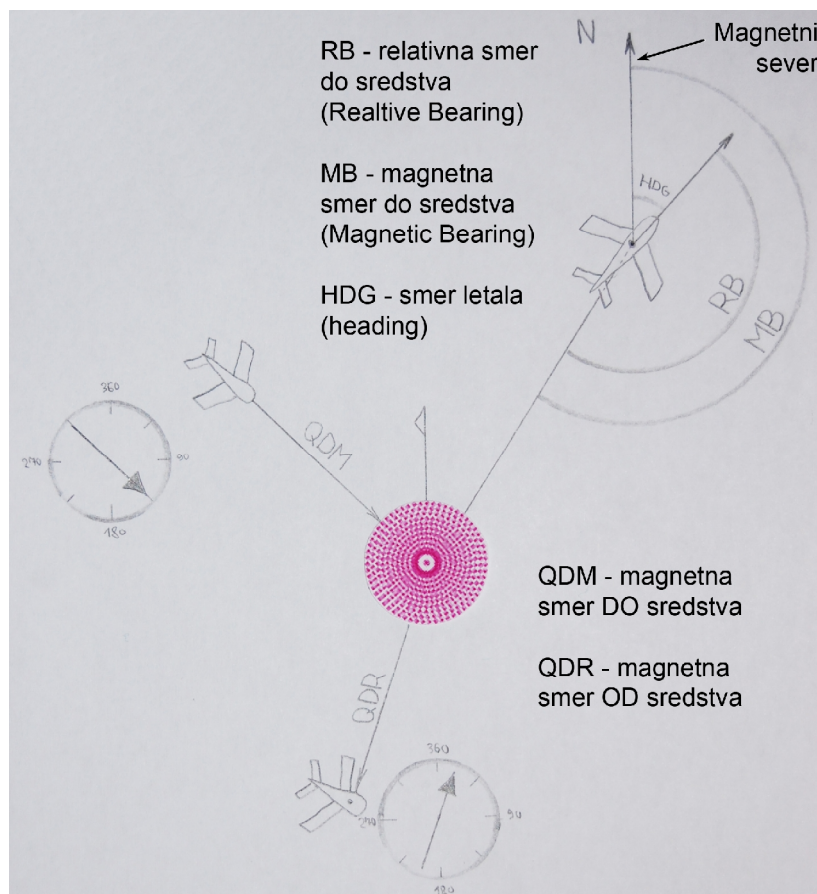
Sodobna NDB navigacija je sestavljena iz dveh delov – ADF sprejemnika na letalu in NDB oddajnika na tleh. Antena ADF-a zaznava signale iz oddajnika, ter jih prikaže na ADF instrumentu, ki zgleda kot kompas z iglo.



Preden preidemo na vrste ADF instrumentov, si bomo ogledali dva načina lovljenja NDB signalov. Z razliko letanja VOR radialov, kot bomo to spoznali v poglavju o VOR, kjer se letenje radiala proti ali stran od sredstva ne razlikuje, pri NDB ločimo:

- QDM [kju-de-majk] – magnetna smer do sredstva (gledamo vrh puščice pri ADF instrumentu)
- QDR [kju-de-romeo] – magnetna smer od sredstva (gledamo rep puščice pri ADF instrumentu)

Za lažjo predstavo pri nadaljevanju branja raziskovalne bomo najprej razložili še magnetno smer in relativno smer od/do sredstva. Magnetna smer do sredstva je kot med magnetnim severom in oddajnikom s središčem v točki letala (ADF antena), relativna smer pa je kot med smerjo letala (nosom letala) in oddajnikom. Za lažjo predstavo obrazloženih pojmov nam pomaga naslednja slika:



Slika 8: *Risba QDM, QDR, RB*

Vidimo lahko, da določitev QDM in QDR ne pomeni, da moramo dejansko leteti iz oz. na sredstvo, ampak lahko tudi mimo in v nekem trenutku odčitamo trenutno smer (v sliki je to primer QDR).



Poznamo štiri vrste ADF instrumentov:

- **S fiksno kompasno rožo**

Pri tem instrumentu je roža fiksna in vrh vedno kaže  $0^\circ$ . Pilot mora tako smer do oddajnika izračunati - sešteti ali odšteti relativno smer od azimuta (smeri) letala. Na spodnji sliki relativna smer (kot od izhodišča do smeri proti oddajniku) znaša  $75^\circ$ . V kolikor je trenutna smer letala (azimut), ki iz ADF instrumenta ni razvidna, npr.  $20^\circ$ , je smer do oddajnika torej seštevek obeh vrednosti -  $95^\circ$ .



*Slika 9: ADF s fiksno kompasno rožo*

- **Z vrtljivo kompasno rožo**

V tem primeru lahko pilot z gumbom prestavlja kompasno rožo in jo tako nastavi na položaj, ki je enak azimutu letala. Tako je odčitavanje iz instrumenta lažje. Odčitana vrednost  $60^\circ$ , ob nastavljenem azimutu letala na izhodišče, že predstavlja dejansko vrednost smeri do sredstva, vendar pa tovrstni princip še vseeno predstavlja veliko dela, saj je treba pred vsakim zavojem nastaviti oz. popraviti kompasno rožo na smer, ki je enaka azimutu letala po končanem zavoju.

Da bi si piloti olajšali delo, se pri tem instrumentu velikokrat uporablja isti način navigiranja kot pri instrumentu s fiksno kompasno rožo, saj je odštevanje/prištevanje z vizuelnim prenosom igle na žirokompasno skalo, ki kaže azimut letala, včasih hitrejša, kot nastavljanje instrumenta na pravilen položaj.



*Slika 10: ADF z vrtljivo kompasno rožo*



- **RMI z eno iglo**

Radio Magnetic Indicator predstavlja instrument, ki je v bistvu kombinacija dveh: ADF instrumenta in žirokompasa. Ta instrument je s strani pilotov najbolj zaželen, saj pilotu ni potrebno obračati rože ali pa preračunavati smeri, saj se roža ves čas prikazuje smer letala, enako tisti na žirokompasu.



*Slika 11 Slika 12: RMI z eno iglo*

- **RMI z dvema iglama**

Ta instrument se v večini uporablja v večjih letalih in tistih, ki so certificirana za instrumentalno (IFR) letenje v neugodnih vremenskih pogojih (IMC - "instrumental meteorological conditions"), ki po predpisih ne omogočajo letenja z vizualnimi referencami (VFR). Pri tem instrumentu je možno odčitavati podatke iz dveh oddajnikov hkrati. To sta lahko dve VOR, dve NDB sredstvi, ali kombinacija obojega.



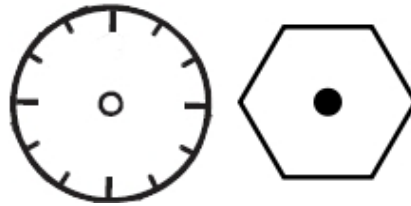
*Slika 12: RMI z dvema iglama*





## 8.2 VOR – visokofrekvenčni vsesmerni radijski oddajnik

VOR je angleška kratica za "VHF omnidirectional radio range" in je od leta 1960 eno izmed glavnih navigacijskih sredstev za kratke razdalje (do 200NM) po svetu. VOR je visokofrekvenčni vsesmerni oddajnik, čigar signali, za razliko od NDB vsebujejo tudi inherentno informacijo o smeri (več o tem v nadaljevanju). Prav tako VOR signali omogočajo znatno večjo natančnost in zanesljivost, predvsem zaradi višjih frekvenc. Delujejo namreč na območju med 108 in 117,95 MHz.



*Slika 13: Simbola za VOR oddajnik na aeronavtičnih kartah  
(levi simbol uporablja Jeppesen na svojih karta)*

Jeppesen je eden izmed vodilnih firm na svetu, ki mesečno posodablja karte vseh letališč po svetu. Podatke dobi od vsakega ministrstva posebej v AIP (»Aeronautical Information Publication«). To je za pilote zelo priročno, saj imajo vsa letališča in navigacijska sredstva enake simbole, ne glede na lokacijo letališča.

VOR poleg navigacijskega signala pošilja še tri-črkovno identifikacijo sredstva v morsejevi kodi, ki služi istemu namenu kakor pri NDB-jih, kakor tudi pri vseh ostalih modernih navigacijskih oddajnikih, v določenih primerih pa še posnet glas, ki ponavadi oddaja informacije o stanju na letališču (tako vremenske kot ostale, za katere je dobro, da jih pilot pozna – ATIS in VOLMET), informacije, ki se tičejo samega leta ali pa glasovno identifikacijo sredstva.

Zgodovina VOR-a sega v petdeseta leta prejšnjega stoletja, ko so predhodne LFR sisteme izboljšali, da so s pomočjo vrteče se antene omogočili ne samo štiri ampak 360 signalov, ki pa jih je lahko za povrhu izbral še pilot sam na instrumentu v letalu. Po njegovi uvedbi so po celem svetu naredili mrežo VOR-ov, ki so skupaj tvorili t.i. zračne avtoceste. Te so bile v Ameriki znane kot Victor (po NATO abecedi se V prebere kot Victor; V pa so kot prvo črko kratice VOR uporabili za splošno poimenovanje teh zračnih poti) – pod 18,000 čevlji, in jetways (zračne poti namenjene za reaktivna letala) – nad 18,000 čevlji.





Slika 14: Dolsko VOR na slovenski območni karti

Po principu delovanja ločimo dve vrsti VOR: konvencionalen VOR (ali C-VOR) in Doppler VOR (ali D-VOR).

### 8.2.1 Konvencionalen VOR (C-VOR)

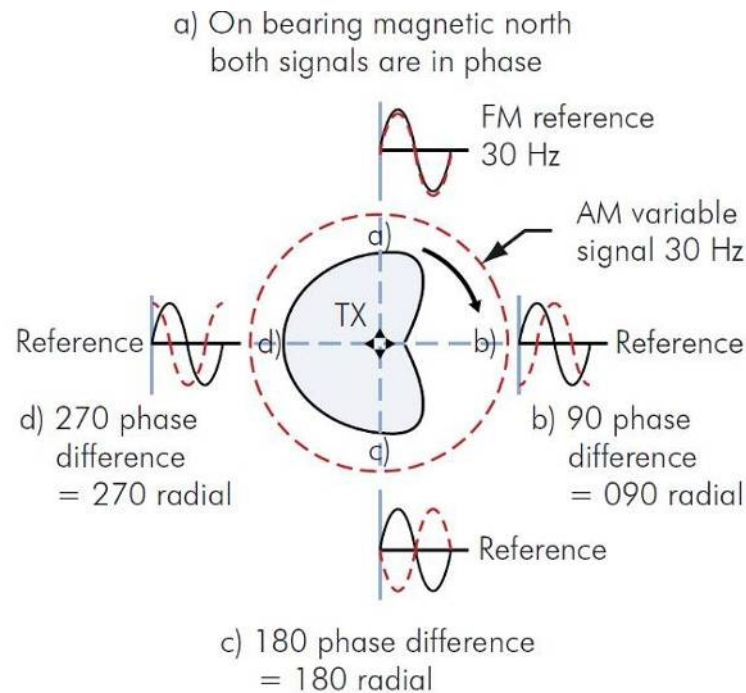
Osnovni princip delovanja C-VOR je oddaja dveh signalov, od katerih se prvi imenuje referenčni, drug pa spremenljivi signal.

Referenčni signal se kontinuirano oddaja v vse smeri, kar pomeni, da ga bo letalo na isti razdalji ulovilo istočasno, ne glede na pozicijo od sredstva, in je frekvenčno moduliran (FM) pri frekvenci 30 Hz.

Spremenljiv signal je amplitudno moduliran (AM) in se oddaja s pomočjo vrteče se antene v smeri urinega kazalca pri frekvenci 30 Hz, ki zagotovi fazen zamik signala.



S primerjanjem časov ob sprejetju obeh signalov dobimo kardioidni graf:



**Slika 15: Prikaz principa delovanja VOR-a s pomočjo kardioidnega grafa**

### 8.2.2 Doppler VOR (D-VOR)

Slabost C-VOR-a je ta, da se signali zelo radi odbijajo od objektov v okolici sredstva in terena med sredstvom in letalom. Ugotovili so, da bi povečanje površine antene to slabost znatno zmanjšalo, vendar pa to zaradi mehansko vrteče se antene ne bi bilo praktično. Tako so iznašli nov sistem, drugo generacijo VOR-ov, imenovano Doppler VOR ali krajše D-VOR. Temeljna sprememba tega sistema je, da je referenčni signal amplitudno moduliran (AM), spremenljiv signal pa frekvenčno (FM) – se pravi da je način delovanja C-VOR in D-VOR ravno nasprotna, medtem ko osnoven princip delovanja seveda ostaja isti.

V primeru C-VOR-a bo AM spremenljiv signal zadel teren ter se od njega odbil, sprejemnik na letalu pa bo zaznal »pravo« smer signala nekje na sredini med pravim in odbitim signalom. V primeru D-VOR pa se bo z odbitim FM spremenljivim signalom zdelo, kot da potujeta dva signala z neenako močjo in drugo zakasnitvijo. Tako se bo v ciklu 30 Hz dvakrat pojavila deviacija med dvema signaloma, kar bo zmedlo sprejemnik. Ko pa se bo to ponovilo drugič v naslednjem ciklu 1/30 sekunde, bo sprejemnik sledil pravemu-močnejšemu signalu, ki zaradi neoviranega potovanja po zraku od sredstva do letala ni izgubil na moči.

Da pa bi sprejemnik zaznal isto razliko/razmerje med obema signaloma, se spremenljiv signal giblje v nasprotni smeri urinega kazalca. Ker pa je manj verjetno, da bi se FM pomešal z AM, je signal kvalitetnejši, navigacija na ta način pa natančnejša.



D-VOR se imenuje po Dopplerjevem pojavu, ki nastane z »električnem vrtenjem« antene, ki ima premer 13.4 m, to pa povzroči, da signali potujejo s hitrostjo 1264 m/s. Ko se signal s 30 Hz obrne proti sprejemniku se frekvenca poveča, ko pa se signal obrne stran, se frekvenca zmanjša, kar povzroči Dopplerjev pojav, rezultat tega pa je efektivna frekvenčna modulacija s frekvenco 30 Hz.

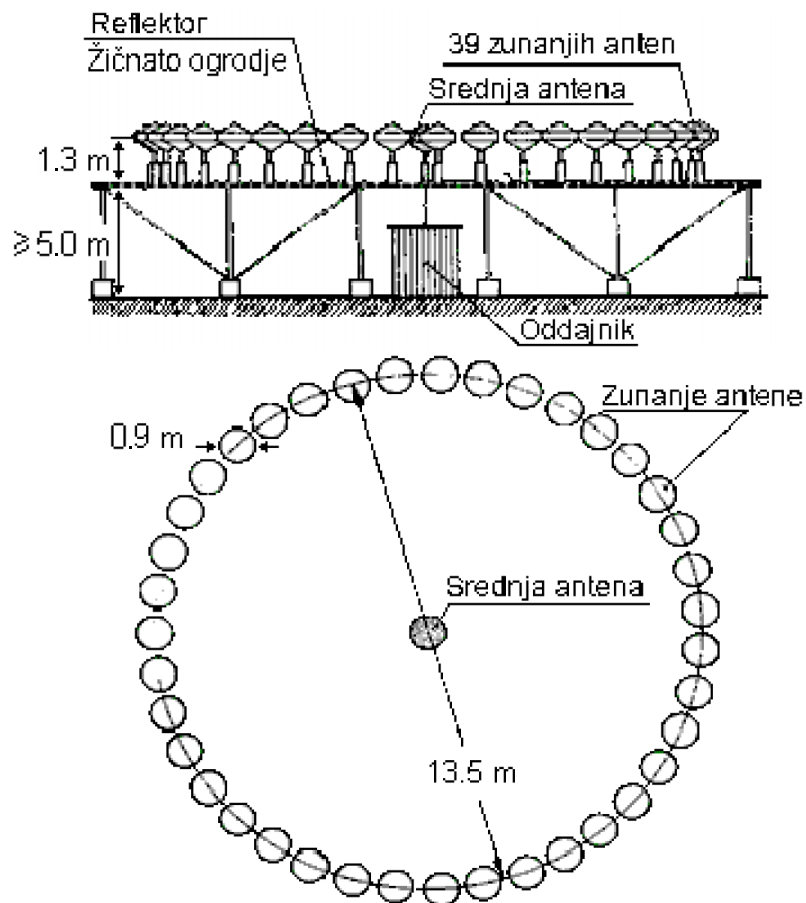
**Tabela 1: - C-VOR/D-VOR**

	<b>Referenčni signal</b>	<b>Spremenljiv signal</b>
<b>C-VOR</b>	Frekvenčno moduliran (FM)	Amplitudno moduliran (AM)
<b>D-VOR</b>	Amplitudno moduliran (AM)	Frekvenčno moduliran (FM)



**Slika 16: D-VOR LBL na Brniku**





*Slika 17: Doppler VOR iz narisa in tloris*



*Slika 18: Ena od 39 zunanjih anten*



VOR so po vrsti uporabe kategorizirani v dve kategoriji:

- T-VOR (Terminal VOR), ki se uporablja samo za odhodne, prihodne in priletne procedure na posameznem letališču.
- Airway VOR, ki se uporablja za navigiranje po zračnih poteh. Te delimo še v dve podskupini:
  - ~ L (Low Altitude – Nizka višina) – signale lahko lovimo samo do višine 18,000 čevljev (pribl. 5,500 m n.m.v.)
  - ~ H (High Altitude – Visoka višina) – signale lahko lovimo tudi do višine 60,000 čevljev (pribl. 18,000 m n.m.v.)

**Tabela 2: Kategorije VOR, njihove višine in oddaljenosti uporabe**

Kategorija	Dimenzije	Primer v Sloveniji	Slika
T (Terminal)	Od 1,000 čevljev (330m) do vključno z 12,000 čevlji (pribl. 3600m) in polmerom 25NM (pribl. 46km).	LBL (Ljubljana VOR) nameščen na zahodni strani letališča Ljubljana in služi kot navigacijsko sredstvo za odhodne, prihodne in priletne procedure.	
L (Low Altitude – Nizke višine)	Od 1,000 čevljev do vključno z 18,000 čevlji (pribl. 5,500m) in polmerom 40NM (pribl. 74km).	/	
H (High Altitude – Visoke višine)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Od 1,000 čevljev nad terenom do vključno z 14,500 čevlji (pribl. 4,400m) pri polmeru 40NM</li> <li>– Od 14,500 čevljev do vključno z 60,000 čevlji (pribl. 18,000m) pri polmeru 100NM (185km)</li> <li>– Od 18,000 čevljev do vključno z 130NM (pribl. 240km)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– DOL (Dolsko – letališče Ljubljana) se uporablja za odhodne, prihodne, priletne procedure kot tudi za navigacijo po zračnih poteh. Je namreč glavno »križišče« zračnih poti v Sloveniji</li> <li>– ILB (Ilirska Bistrica – letališče Portorož in Reka) je namenjen za odhodne, prihodne in priletne procedure na omenjenih letališčih, kot tudi za navigacijo po zračnih poteh.</li> </ul>	

Opomba: Vse višine so merjene nad terenom (nad sredstvom).



### 8.2.3 Oprema na letalu

Anteno na letalu predstavlja majhen, horizontalen dipol narejen tako, da zaznava signale iz oddajnika na tleh, v frekvenčnem območju od 108 do 118 MHz. Antena je ponavadi nameščena v vertikalnem stabilizatorju letala, da omogoča zaznavo signalov iz vseh smeri. Prav tako pa mora biti zavarovana pred sprejemom oddanih signalov VHF antene, ki služi za komunikacijo med pilotom in kontrolorjem zračnega prometa.

Sprejemnik primerja že prej omenjena referenčna in spremenljiva signala med sabo ter tako ugotovi razliko med njima. Signal, ki ga sprejema antena v repu letala, je filtriran s pomočjo visoko-frekvenčnega dela sprejemnika, ki zagotovi, da samo signali iz prednastavljene frekvence želenega VOR-a potujejo preko detektorjev in filtrov do instrumenta.

Izbira frekvence na radiu za navigacijo omogoča izbiro želenega oddajnika. Primerjalnik faze primerja referenčni in spremenljiv signal, razlika pa se pokaže na instrumentu. Posebno vezje v samem sprejemniku zazna identifikacijo oddajnika, ga ojača in pošlje v pilotove slušalke. Kontrolna plošča samega sprejemnika vsebuje gumb za izbiro frekvence, gumb za preklon frekvence iz pripravljenega v aktiven način in IDENT tipko za zvočno identifikacijo sredstva.



*Slika 19: Radio panel na letalu B727. Z desnim vrtljivim gumbom nastavljamo frekvenco VOR-ov in ILS-ov*



*Slika 20: Nastavljen radio panel za poslušanje identifikacije VOR oddajnika na letalu (MD-11 s prižganim IDENT gumbom na frekvenci VOR 1 in aktivirano frekvenco za komunikacijo s kontrolo letenja – VHF 1 - od možnih prednastavljenih treh).*



Pozicija letala se lahko odčita ali z uporabo RMI instrumenta, ali pa če je pilot nastavil ustrezno smer na CDI oz. na bolj natančnem in praktičnem instrumentu, imenovanem HSI.



**Slika 21: CDI na levi in HSI na desni**

Razlika med instrumentoma je ta, da se CDI uporablja v manjših letalih, ki niso namenjena za instrumentalno letenje, saj je cena samega instrumenta nižja. Za profesionalno instrumentalno letenje pa se uporablja HSI, saj zaradi združitve več instrumentov (žirokompas in VOR/ILS indikator, v nekaterih primerih pa tudi ADF) pilotu zelo olajša delo. V primeru CDI instrumenta mora pilot nastaviti izbran radial ter to venomer primerjati z žirokompasom. Pri HSI instrumentu slednje ni potrebno, saj sta oba instrumenta združena. Tako pilotu ni potrebno odmikati pogleda z instrumenta, kar omogoča natančnejšo in lažjo izvedbo (publicirane) procedure.

Najmodernejši sistemi za navigacijo, ki se uporabljajo v komercialnem letalstvu, imenovani IRS, uporabljajo VOR oddajnike predvsem za svojo posodabljanje (preverjanje) položaja. Za ta sistem potrebuje dva VOR oddajnika ali en kombiniran VOR/DME oddajnik.

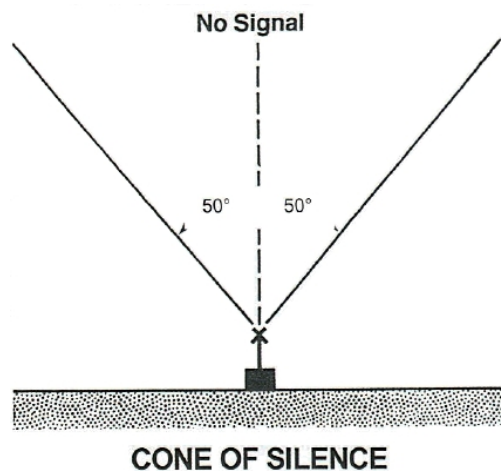


**Slika 22: ADIRU panel na letalu A320 (ADIRU služi enakemu namenu kot IRS)**





Tako kot pri NDB-jih, se tudi pri VOR oddajnikih pojavi stožec tišine, ki je pri slednjem širši in se razteza do 50° od vertikale antene.



*Slika 23: Stožec tišine pri VOR oddajniku*

Tudi ta stožec tišine pilotom občasno povzroča preglavice. Pri samem preletu sredstva mora pilot tako rečeno leteti na slepo, v bližini samega oddajnika oz. stožca tišine pa se pojavijo nenadne spremembe pri indikaciji signalov (zaradi bližine oddajnika in torej večje preciznosti), kar naredi prestrezanje radialov praktično nemogoče.

Izračun polmera stožca tišina ob znani relativni višini nad oddajnikom:

$$\text{Radij} = \text{višina (NM)} \times \tan 50^\circ$$

#### 8.2.4 Napake in toleranca preciznosti VOR oddajnikov

Delovanje VOR oddajnikov nadzira sprejemnik, oddaljen približno 15 m od sredstva. Ta sprejemnik avtomatsko izklopi identifikacijo sredstva in sredstvo samo, če:

- se pojavi napaka signala večja od 1°
- moč signala pade za več kot 15%
- sprejemnik odpove (kljub temu lahko VOR funkcionira še naprej, vendar bo v tem primeru izdano opozorilo (NOTAM), da naj se sredstvo uporablja s pazljivostjo)

Pri preciznosti delovanja celotnega navigiranja s pomočjo VOR-a je dopuščena toleranca  $\pm 5^\circ$ , in to zaradi naslednji dejavnikov:

- napaka položaja (teren in stale ovire v okolici oddajnika) – do  $\pm 1^\circ$
- napaka širjenja signala po zraku (ozračje, oblaki, nevihte) – do  $\pm 1^\circ$
- napaka opreme letala – do  $\pm 3^\circ$



VOR (prav tako pa tudi DME) pa imajo tudi omejitve, ki se večinoma nanašajo na geografijo pokrajine, saj med oddajnikom in sprejemnikom ne sme biti nobene ovire, ki bi preprečevala, da se lahko signal sploh ulovi (line of sight). Da bi zmanjšali napake signalov, so anteno postavili na dvignjeno platformo, imenovano protiutež (counterpoise), vendar pa ta protiutež ne deluje vedno na tak način, kot bi si večina želela, saj lahko v določenih primerih absorbira in celo odbije signale, pa še to ne konstantno okoli antene. Zakonodaja dopušča obratovanje takšnih sredstev samo v primeru, ko moteni signali niso uporabljeni za zračne poti. Tako je na primer je VOR-om v gorski pokrajini dovoljena uporaba samo za eno stezo. Vse omejitve posameznega VOR-a so zapisane v AIP-ju države, v kateri je VOR postavljen.

**Tabela 3: Načrtovana operacijska pokritost (DOC) slovenskih VOR oddajnikov iz slovenskega AIP**

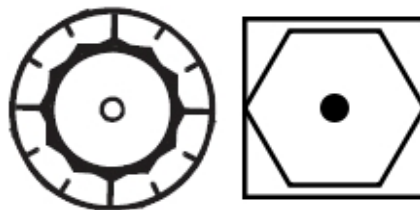
Name of station (VOR/ VAR)	Id	Frequency (CH)	Hours of operation	Co-ordinates	ELEV DME antenna	Remarks
DOLSKO VOR/DME	DOL	112.700 MHZ (CH 74X)	H24	46 05 02.90 N 014 46 42.87 E	624	<ul style="list-style-type: none"> <li>• R 027 to WPT RADLY is usable up to 22 NM at 8000 FT and up to 38 NM at FL 120 and above</li> <li>• R 239 to WPT BARPI is usable up to 50 NM at 8000 FT and up to 61 NM at FL 120 and above</li> <li>• R 315 to WPT PIKIT is usable up to 29 NM at 11000 FT and above</li> <li>• VOR/DME is usable for approach and missed approach at Ljubljana Airport (LJLJ)</li> <li>• VOR/DME is usable up to a distance of 20 NM in minimum IFR altitude and above</li> </ul>
BISTRICA VOR/DME	ILB	114.800 MHZ (CH 95X)	H24	45 33 56.11 N 014 10 15.11 E	598	/



### 8.3. DME – naprava za merjenje razdalje

DME je radionavigacijsko sredstvo, ki deluje na principu transponderja in meri razdaljo letala od sredstva z merjenjem zakasnitvenega signala na enem izmed 252 razpoložljivih kanalov v UHF frekvenčnem območju med 962 in 1213 MHz. Vsi pulzi so enako dolgi in sicer 3,5 mikrosekunde, ločevanje med kanali pa se doseže s frekvenčno separacijo in razmikom pulzov.

DME je največkrat postavljen tik zraven VOR-a, modernejšje uporabe tega sistema pa se uporabljajo pri ILS in MLS navigaciji za podajanje oddaljenosti od pristajalne steze pri preciznih priletih prej omenjenih sistemov. Sistem lahko določi razdaljo do desetinke navtične milje natančno. Poleg tega pa instrument na letalu prikazuje tudi čas prihoda letala do DME postaje ter ground speed (hitrost letala, popravljena za napako instrumenta, za stisljivost zraka ter za gostoto zraka in vetra).



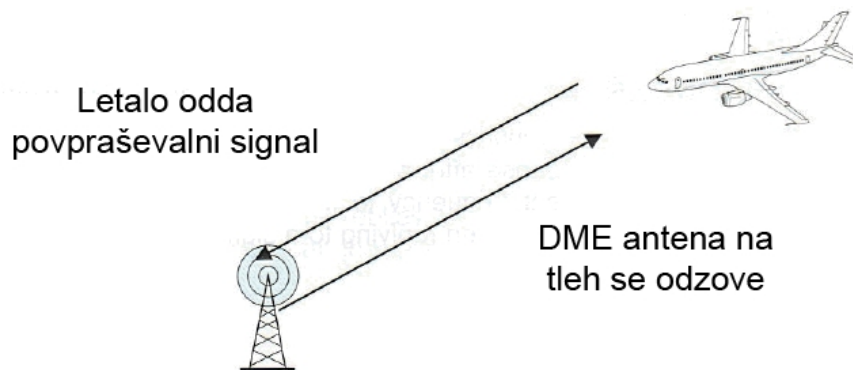
*Slika 24: VOR/DME simbola na aeronavtičnih kartah*

DME deluje na principu sekundarnega radarja: poseben del DME sistema na letalu se imenuje »povpraševalec« (interrogator), ki oddaja povpraševalni signal, na katerega se odzove DME postaja/transponder na tleh in odda signal, s pomočjo katerega sistem na letalu zazna oddaljenost od sredstva na tleh.



*Slika 25: DME na VOR-u LBL na Brniku*





**Slika 26: Princip delovanja DME**

Povpraševalec oddaja pare signalov na izbrani frekvenci oz. kanalu. Vsak kanal je poimenovan s številko od 1 do 126, ti pa se še naprej delijo v dva, X in Y signala. Da se kanali ne bi križali med sabo, so frekvenčno ločeni za 1 MHz od sosednjih, X in Y signala pa sta časovno ločena eden od drugega. X signal se oddaja vsakih 12 mikrosekund tako na povpraševalniku na letalu kot na transponderju sredstva na tleh. Y signal pa povpraševalnik oddaja vsakih 36 mikrosekund, transponder na tleh pa vsakih 30 mikrosekund.

**Tabela 4: VOR/DME pari kanalov**

VOR/ILS/MLS frekvenca	TACAN/DME kanali																																							
	.00		.05		.10		.15		.20		.25		.30		.35		.40		.45		.50		.55		.60		.65		.70		.75		.80		.85		.90		.95	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y				
108	17		18		19		20		21		22		23		24		25		26																					
109	27		28		29		30		31		32		33		34		35		36																					
110	37		38		39		40		41		42		43		44		45		46																					
111	47		48		49		50		51		52		53		54		55		56																					
112	57		58		59		70		71		72		73		74		75		76																					
113	77		78		79		80		81		82		83		84		85		86																					
114	87		88		89		90		91		92		93		94		95		96																					
115	97		98		99		100		101		102		103		104		105		106																					
116	107		108		109		110		111		112		113		114		115		116																					
117	117		118		119		120		121		122		123		124		125		126																					

Ko pilot izbere DME kanal, začne letalo oddajati 150 parov pulzov na sekundo (pps), kar omogoča največ 100 letalom, da istočasno »povprašujejo« po DME. To se imenuje iskalni način, ki pa traja, dokler se ali oprema ne zaklene (po 4 do 5 sekundah) ali pa povpraševalec na letalu odda 15 000 parov pulzov. Če se sistem zaklene, oddajnik zmanjša ponovitev frekvence pulzov (PRF) na območje med 24 in 30 pps, način pa se imenuje sledenje. Če sistem odda



15.000 pulzov in sprejemnik na letalu še ne zazna signala iz transponderja, potem PRF pade na 60 pps dokler se sistem ne zaklene – ulovi signal DME postaje na tleh.

Preden povpraševalnik odda signal, nekoliko zaniha PRF, ki je unikatna za vsako letalo posebej, oddajnik na tleh pa odda odzivni signal z identičnim PRF, kot ga je imel tisti, ki ga je sprejel. To prepreči zmešnjave sprejetih signalov iz oddajnika v primeru, če bi dve letali istočasno poslali povpraševalni signal, saj se vsak signal, ki ima drugačen PRF kot tisti, ki je bil oddan, sistemsko zavrne. Tako pride do pravilne zaznave zelenih odzivnih signalov.

Zemeljska DME postaja vsebuje sprejemnik in oddajnik. Ko sprejemnik zazna povpraševalni signal, se odzove po zamiku 50 oz. 74 mikrosekund, odvisno od kanala.

Frekvence, na katerih delujeta povpraševalnik in transponder, so združene v parih, ki so frekvenčno oddaljene 63 MHz. Povpraševalnik za oddajanje uporablja frekvence med 1025 in 1150 MHz, transponder pa ima frekvence kategorizirane v dve skupini:

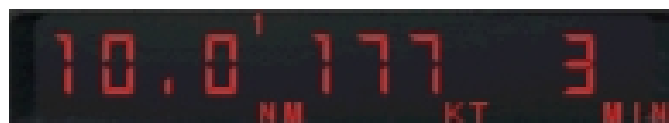
- Od 962 do 1024 MHz (nižje območje)
- Od 1151 do 1213 MHz (višje območje)

Ker ima povpraševalnik na voljo samo 126 signalov, so razcepili odzivne signale v dve skupini, 63 MHz pod in 63 MHz nad frekvenčnem območjem povpraševalnika, da bi povečali število razpoložljivih signalov na 252. Za povpraševalne signale od 1 do 63 X oddajnik oddaja v nižjem frekvenčnem območju, Y oddajnik pa v višjem. Za povpraševalne signale od 64 do 126 pa X oddajnik deluje v višjem območju, Y oddajnik pa oddaja signale v nižjem območju frekvenc.

Radijski pulz potrebuje približno 12.36 mikrosekund, da prepotuje eno navtično miljo do in od postaje, kar imenujemo tudi radijska milja. Časovna razlika med povpraševalcem in transponderjem minus 50 mikrosekund zakasnitve oddajnika na tleh meri časovno vezje povpraševalca. Enačba za razdaljo je torej:

$$s = c * (\text{skupen čas} - 50 \mu\text{s}) / 2$$

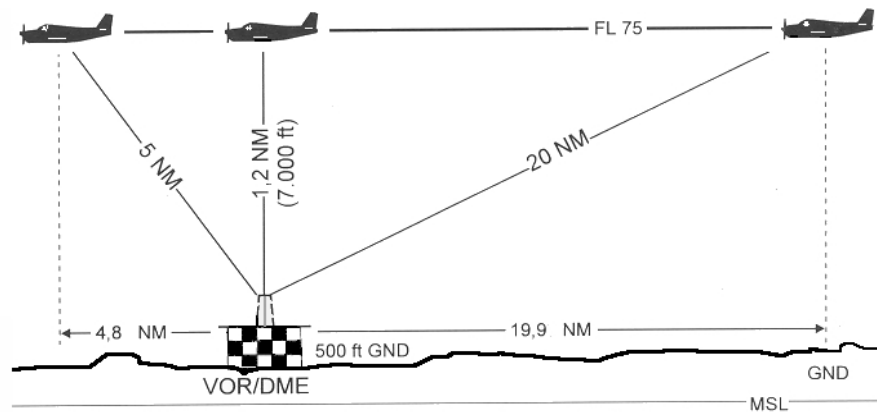
Piloti nikoli ne nastavljajo DME frekvenc v pilotski kabini. Čeprav sistem deluje v UHF območju frekvenc, se ga nastavi z nastavitvijo VHF frekvenc (kjer se nastavlja frekvence za VOR, ILS oddajnike). Glavni razlog za to je, da s tem postopkom zmanjšamo delovne obremenitve pilotov.



*Slika 27: DME odčitek*

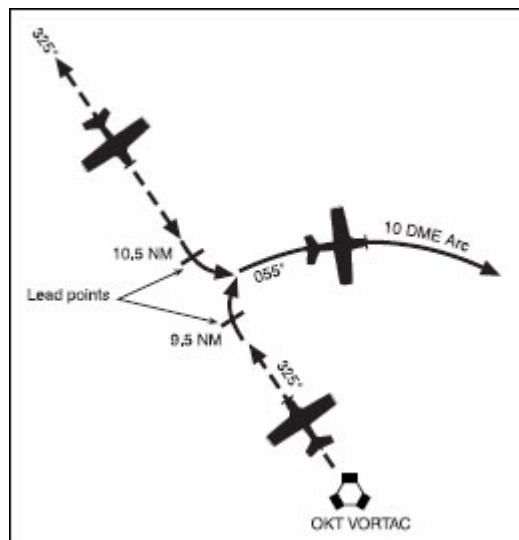


Preciznost DME sredstva je 185 m ( $\pm 0.1$  NM). Pomembno je vedeti, da DME ne prikazuje razdalje letala po tleh (gledano po karti) ampak fizično oddaljenost letala od sredstva. Pravo oddaljenost lahko dobimo s Pitagorovim izrekom, vendar je v večini primerov preračunavanje nepotrebno, saj so razlike minimalne, časa med letom za take stvari pa prav tako ni. Največja deviacija se pojavi, ko je letalo blizu sredstva oz. ko letalo preletava postajo, saj bo oddajnik izmeril višino letala v miljah (1 navtična milja = 6078 čevljev).



**Slika 28: Primer napake prikaza DME instrumenta na letalu**

Obstajajo tudi procedure (predvsem prihodne), ki vključujejo navigiranje samo po DME oddajniku. Ker se lahko samo z uporabo DME sredstva navigira tako, da se leti lok z radijem, ki je določen na karti, se tudi procedura imenuje po tem: DME arc ali DME lok. Na karti je poleg začetne točke vstopa v proceduro seveda še napisano, na kakšni razdalji v navtičnih miljah se mora procedura izvesti.



**Slika 29: Procedura vstopa v DME lok**



Procedura vstopa v DME lok in letenje samega loka po zgledu zgornje skice je sledeč:

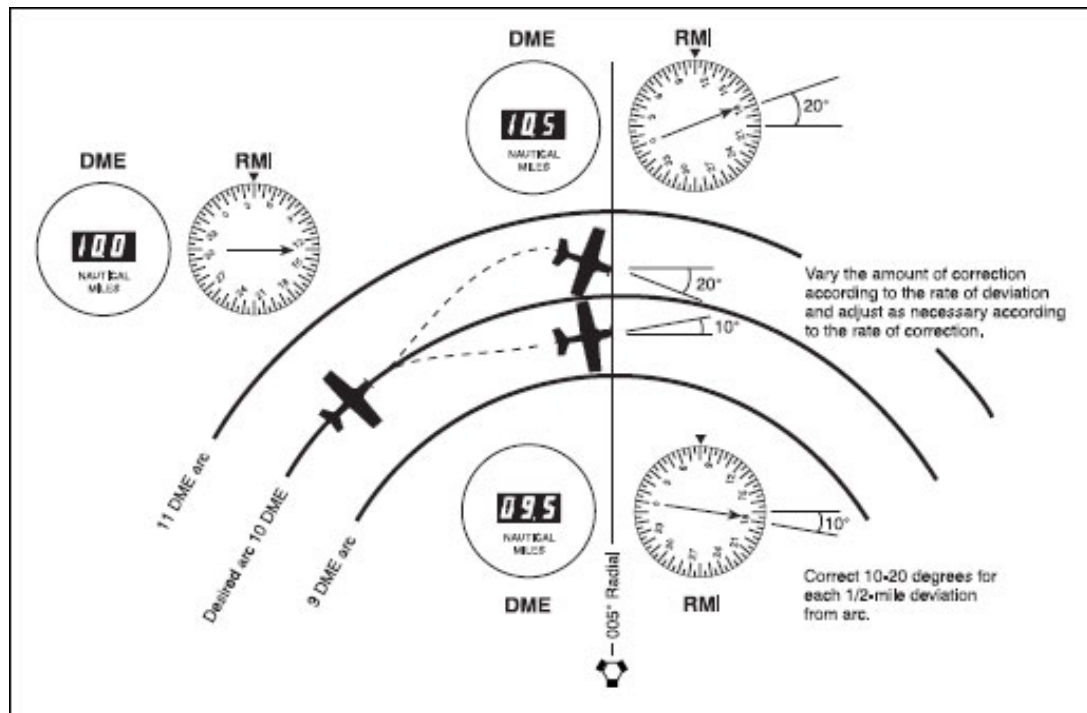
1. Najprej letimo po radialu 325 od oz. do OKT VORTAC-a, pri tem pa redno spremljamo prikaz DME.
2. 0.5 NM preden dosežemo 10NM od/do VORTAC-a začnemo zavijati in se tako vključimo v sam lok procedure. Razdalja pol milje velja za letenje pri hitrosti 150 vozlov ali manj. V primeru, da letimo hitreje, pa je potrebno začeti z zavojem nekoliko prej.
3. Zavoj končamo pod približno 90° glede na smer pred zavojem. V našem primeru mora kompas kazati približno 055°. To velja za brezvetrne pogoje.
4. Skozi zadnji del zavoja skrbno opazujemo prikaz DME. Če smo lok preleteli (prikazana je razdalja večja od 10 NM), zavijemo nekoliko več kot za 90°, v nasprotnem primeru pa nekoliko manj.

Ko letimo DME lok in pri tem piha veter, je nujno, da si v glavi predstavljamo svojo pozicijo v relaciji s sredstvom. Ker se popravek zaradi vetra v samem loku konstantno spreminja je vetrna orientacija prav tako pomembna, v nekaterih primerih pa lahko veter izkoriščamo, da pridem nazaj na lok. Poleg tega pa je pri večjih hitrostih biti pozoren, saj se pojavi večja hitrost deviacije in sledečega popravka na zeleni lok.

Če za letenje uporabljamo VOR CDI instrument nastavimo OBS na radial, na katerem bomo po končanem 90° zavoju pri vstopu v lok. Nos letala bo končal zelo blizu azimuta 90° oz. 270° od nastavljenega radiala, odvisno od tega, ali se lok leti v smeri urinega kazalca ali pa v nasprotni smeri urinega kazalca. To nam da začetni azimut letenja loka. Med samim letenjem popravljamo smer letala za napako vetra in se držimo na publicirani razdalji od sredstva. Smer letala popravljamo za vsako deviacijo med 2 in 4° od sredine nastavljenega radiala. Po preletenih 20° od VOR-a (če je le ta seveda na voljo), po potrebi še prej, si nastavimo CDI na nov radial, katerega razlika je 20° od predhodnega.

Z uporabo RMI instrumenta bi moral teoretično vsak pilot odleteti DME lok v brezvetrnih pogojih brez težav, saj je potrebno skrbeti samo to, da puščica, da le-ta kaže ves čas pravokotno na smer letenja. V praksi pa se večinoma leti med serijo odsekov, kot prikazuje spodnja slika.





**Slika 30: Praktični napotki za letanje DME loka**

Za vsake pol milje izven zadanega loka je potrebno popraviti smer letala za  $20^\circ$  proti sredstvu, za vsake pol milje znotraj kroga pa popravimo smer leta za  $10^\circ$  stran od sredstva. Letenje samega loka tako poteka sledeče:

Ko smo na željeni razdalji od DME oddajnika in imamo RMI puščico pravokotno na smer letenja, se obrnemo nekoliko proti sredstvu, dokler se puščica na instrumentu ne odkloni za  $5 - 10^\circ$  za konico krila, pri tem pa lahko pričakujemo nekoliko zmanjšanje oddaljenosti od sredstva. V tej točki pa zadržimo smer letenja, dokler nam puščica instrumenta ne kaže relativen odklon večji od  $90^\circ$ . To proceduro ponavljamo skozi celo proceduro DME loka, pri tem pa se poizkušamo držati zgoraj omenjenega načela popravljanja smeri v DME loku. Ker pa se v naravi skorajda nikoli ne pojavijo brezvetrni pogoji, moramo popravljati smer letala glede na to, koliko nas od zelene poti odnaša bočni veter. Če nas veter odnaša stran od sredstva bomo popravili smer letenja tako, da nam bo RMI puščica kazala nekoliko pred konico krila, če pa nas veter zanaša proti postaji, pa obrnemo letalo v nasprotno smer, da nam puščica na instrumentu kaže pred konico krila. Popravek za določeno smer in moč vetra ne moremo vedeti v naprej, razen če to planiramo pred letom samim po podatkih iz meteoroloških kart, kar pa je zaradi letenja loka praktično nemogoče in neuporabno, zato sproti med letenjem loka opazujemo smer nosa letala, RMI puščico in oddaljenost od sredstva in popravljamo po občutku.

## 8.4 TACAN in VORTAC

TACAN, ki so ga izumili Britanci je navigacijsko sredstvo, namenjeno vojski in njenim letalom. Sam oddajnik letalu zagotavlja informacijo o smeri in oddaljenosti od sredstva. TACAN je v bistvu natančnejša verzija VOR/DME sistema, saj deluje v višjem frekvenčnem območju med 960 in 1215 MHz., loči pa se tudi po principu delovanja. Smer TACAN-a je





veliko bolj precizna, saj sistem uporablja dvofrekvenčni princip delovanja z 15 in 135 Hz komponentami. Natančen princip delovanja, zaradi vojaškega posedovanja TACAN sistema, ni znan.

Transponder TACAN-a opravlja funkcijo DME, s čimer je zagotovljeno, da sistem ne potrebuje kolociranega DME oddajnika kot je to navada pri VOR sistemih. V primeru, da antena, ki služi za signal azimuta, odpove, se sistem takoj degradira v DME oddajnik. Ker je torej princip delovanja dela sistema TACAN-a, ki služi za merjenje oddaljenosti letala od postaje, isti kot pri civilnem sistemu DME, so sisteme TACAN kolocirali s civilnimi VOR-i in s tem zmanjšali število potrebnih postaj. Ta kolocirana sredstva se imenujejo VORTAC. Pri tem sistemu VOR služi za civilno informacijo o smeri, TACAN pa za vojaško informacijo o smeri in za vojaško/civilno informacijo o oddaljenosti sprejemnika od sredstva.



**Slika 31: VORTAC in TACAN simbola na aeronavtičnih kartah**

Letala, opremljena s TACAN avioniko, lahko uporabljajo TACAN oddajnike za en-routno navigacijo, kot tudi za neprecizne prilete. Space shuttle je eno izmed vozil, opremljeno z VORTAC sistemom, čeprav so ga v novejših modelih zamenjali GPS.

Tipična nadzorna plošča TACAN-a ima gumb za nastavitev frekvence zelenega oddajnika in gumb za izbiro načina med »Oddajaj/Sprejmi« (T/R), ki zagotavlja podatke o smeri in oddaljenosti od sredstva, in »Samo sprejmi« (REC), ki pa pokaže samo smer letala relativno na oddajnik. Možnost izbire načinov se je kasneje posodobil in sistem je dobil novo možnost, imenovano zrak-zrak (A/A) s pomočjo katere lahko dva uporabnika v zraku določita medsebojno relativno smer in oddaljenost.

## 8.5. Instrumentalni pristajalni sistem ILS

ILS je primaren precizen civilni sistem za instrumentalno pristajanje v uporabi. Precizen sistem za prilet oz. pristajanje je definiran kot sistem, ki za razliko od nepreciznih, ki nudijo samo informacijo o deviaciji od sredine steze, nudi tudi informacijo o kotu spuščanja. ILS z uporabo različnih signalov, ki delujejo na različnih valovnih dolžinah, omogoča voden prilet

tudi v slabših vremenskih pogojih, kakršni so t.i. instrumentalnih meteoroloških pogojih (IMC), kot so na primer nizka oblačnost, megla, dež, slaba vidljivost. Sistem varno vodi letalo do točke, imenovane DH, na kateri se mora pilot odločiti, na podlagi tega, ali stezo vidi ali ne, ali bo s pristajanjem nadaljeval, ali pa bo izvedel proceduro neuspelega prileta. Mnogo ILS sistemov vsebuje tudi DME oddajnike, ki nudijo pilotom bolj natančno informacijo o oddaljenosti od steze kakor markerji, ki so prav tako sestavni del vsakega ILS sistema.

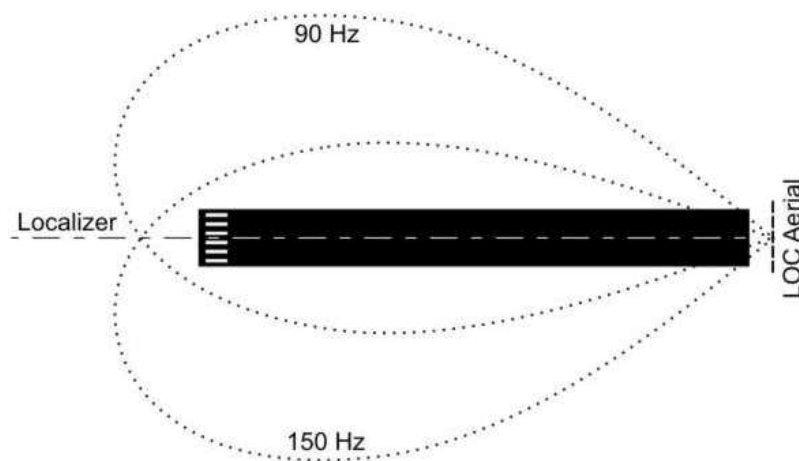


### 8.5.1 Princip delovanja

Sam sistem sestavljajo trije podsistemi. Eden skrbi za horizontalno vodenje, imenovan Localizer, drug skrbi za varen kot spuščanja, imenovan Glide Slope, tretjega pa sestavljajo trije označevalniki, postavljeni na različnih oddaljenostih od steze, ki služijo pilotovo kontrolo višine skozi celoten prilet.

### 8.5.2 Localizer – LOC

Localizer antena je postavljena približno 300 m za pristajalno stezo, v smeri katere se pristaja, služi pa za informacijo pilotom o deviaciji od zelenega kurza, t.j. od sredine steze. Anteno sestavlja vrsta dipol anten, ki lahko skupaj v širino merijo kar 20 m, v višino pa 3 metre. Localizerji delujejo v frekvenčnem območju med 108.10 in 111.95 MHz s 50 kHz presledki, vsak pa oddaja po dva signala na isti frekvenci, ki pa sta amplitudno modulirana na različnih frekvencah, da lahko sprejemnik loči med njima.



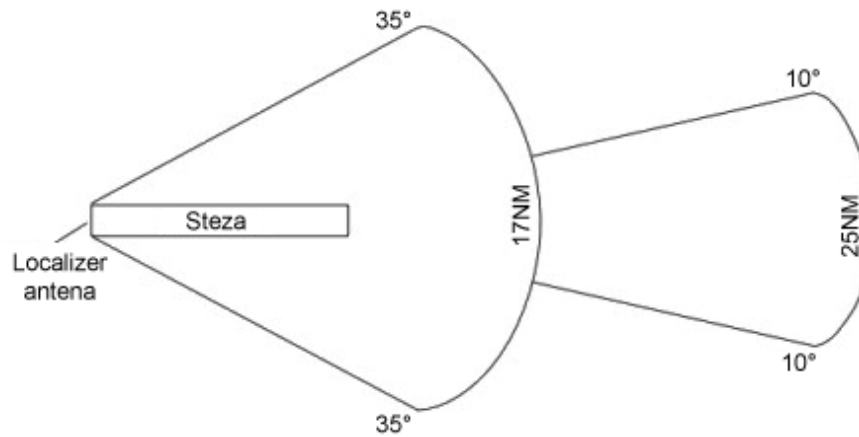
*Slika 32: Shema moduliranih signalov pri localizer anteni*

Gledano iz smeri pristanka je desni signal moduliran pri 150 Hz, levi pa pri 90 Hz. Sprejemnik na letalu zaznava moč obeh moduliranih signalov. V primeru, da letalo leti nekoliko stran od sredine localizerja, bo eden od signalov prevladoval, ta informacija pa se bo pokazala na HSI instrumentu. Razlika med zaznavo različnih modulacij se imenuje razlika modulacijske globine (DDM), ki povzroči odklon igle na instrumentu v letalu. Če noben od moduliranih signalov ne prevladuje, pomeni, da je DDM in posledično tudi odklon igle enak nič.

Kot dokaz preciznosti samega sistema nam priča podatek, da odstopanje od sredine signala za celotno skalo na instrumentu predstavlja odklon za  $2.5^\circ$  od zelenega kurza. Ta vrednost je pri VOR-u veliko večja, saj tam deviacija celotne skale predstavlja velikost odklona za  $10^\circ$  od zelenega radiala.

Ker je localizer žarek usmerjen v zelo ozkem snopu, se velikokrat pojavijo neželeni stranski žarki, ki dajejo napačne informacije. Z namenom, da bi vpliv teh lažnih žarkov izničil v območju samega prileta, je širina glavnega žarka zelo velika –  $35^\circ$  na vsako stran od sredine localizerja.





**Slika 33: Doseg localizer signalov**

Pri strmejših priletnih spustih so te razdalje od steze manjše in sicer:

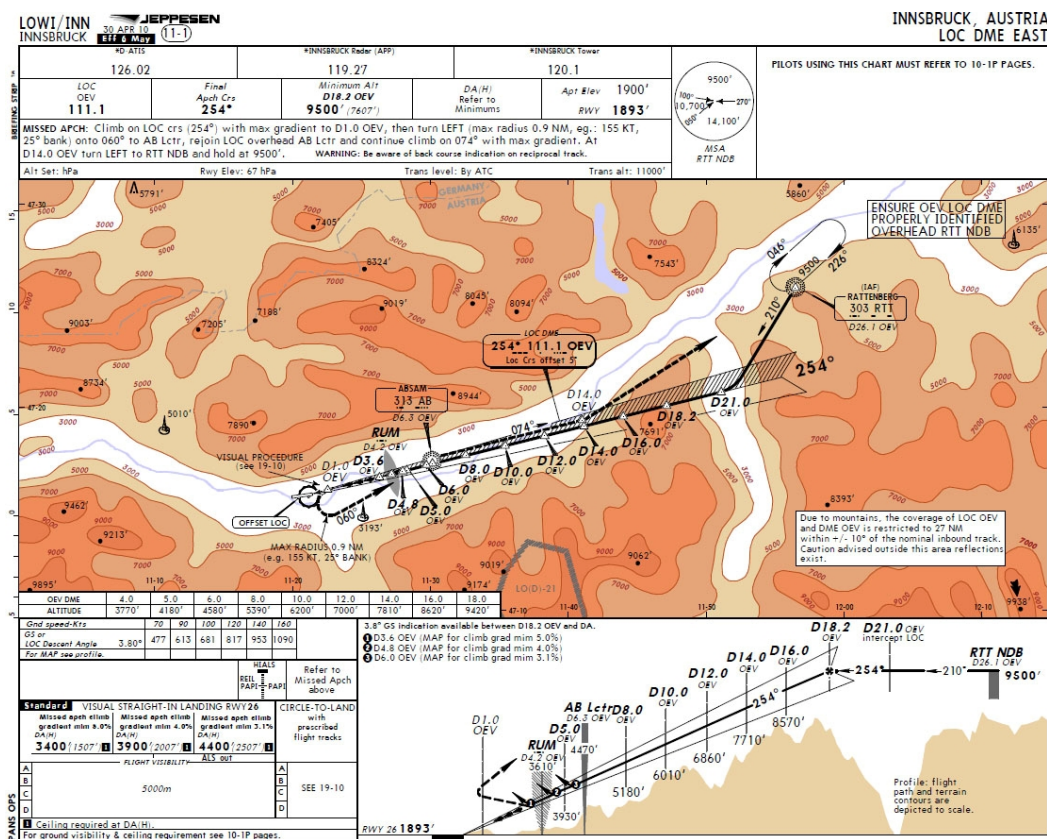
- Razdalja 18 NM za kote  $\pm 10^\circ$  od sredine steze
- Razdalja 10 NM za kote  $\pm 35^\circ$  od sredine steze



**Slika 34: Localizer antena na letališču Jožeta Pučnika Ljubljana, postavljena pred preagom steze 13, služi pa za priletno proceduro steze 31**

V primeru, da Glide slope zaradi kateregakoli razloga ne obratuje, je instrumentalen prilet na letališče še vedno možen s pomočjo localizerja. Tak prilet je neprecizen in se nikoli ne uporablja samostojno brez razloga.





Slika 35: Primer localizer prileta na enemu zmed najzahtevnejših letališč v Evropi – Innsbrucku (LOWI)

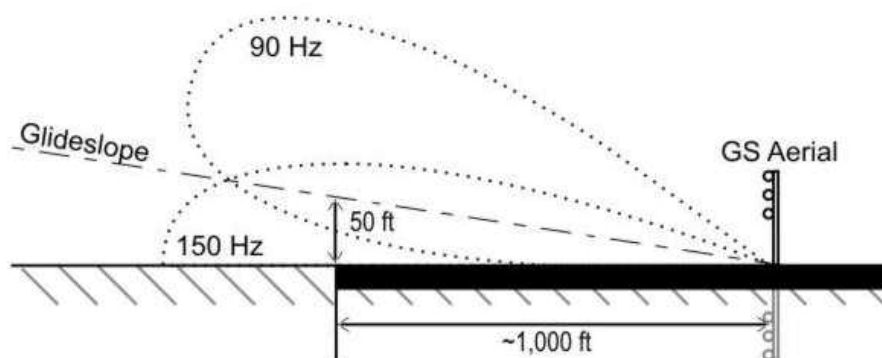
Slika 25 prikazuje primer localizer prileta v Innsbrucku. Zaradi goratega področja se na instrumentu lahko pokažejo lažne indikacije glide slope-a, zato morajo piloti odleteti prilet samo s pomočjo localizer-ja. Prilet na tem letališču je zanimiv zaradi velikega kota puščanja (3.8° oz. gradientom spusta 6.6%), prav tako pa zaradi bližine gorá ne dopušča nobene napake in od pilotov zahteva hitre odločitve.

Nekateri localizer-ji so narejeni tako, da oddajajo signale tudi v nasprotno smer, v kateri je postavljena primarna smer steze za pristajanje z uporabo tega localizer-ja. Tem signalom pravijo tudi hrbtni žarki (Back course - BC). Pri BC žarkov piloti ne bodo videli GS indikacije, ti žarki so tudi manj natančni, direktoratu za civilno letalstvo pa ni potrebno skrbeti za preverjanje točnosti teh žarkov, če le-ti niso del publicirane procedure. Zaradi teh faktorjev se letenje s pomočjo BC žarkov pilotom odsvetuje, razen seveda, če so del neke procedure. Piloti morajo v primeru letenja z njimi biti pozorni na dejstvo, da je indikacija na CDI instrumentu zrcalna. Če je letalo opremljeno z instrumentom HSI, pa se v primeru nastavitve kurza na smer prave smeri localizerja pojavi pravilna indikacija, v primeru nastavitve kurza hrbtnih žarkov pa bo indikacija zopet zrcalna.



### 8.5.3 Glide Slope

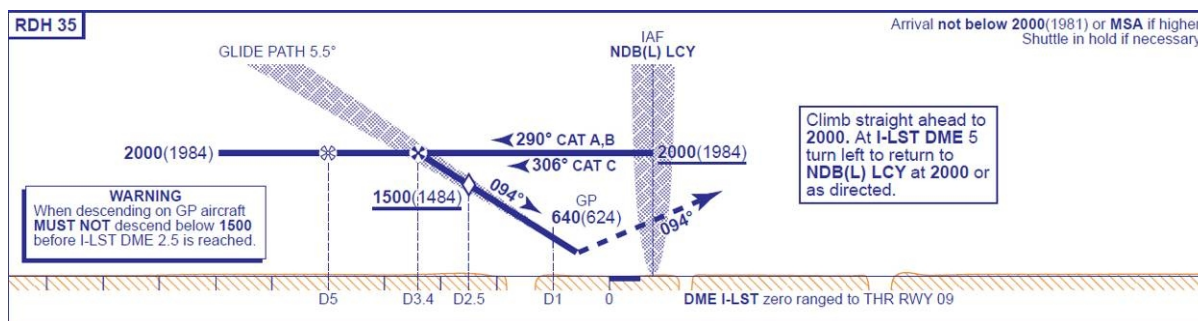
Glide slope antenna ali antena priletne ravnine instrumentalnega pristajalnega sistema je postavljena 300 m naprej od začetka steze in 150 m stran od sredine steze, ponavadi na levi strani.



**Slika 36: Shema moduliranih signalov pri anteni priletne ravnine GS**

Signali glide slop-a delujejo na enem od 40-ih frekvenc v UHF frekvenčnem območju med 329.15 do 335 MHz. Gledano iz vertikalnega profila, GS antena prav tako oddaja dva signala z različno modulacijo. Zgornji je moduliran pri 90 Hz, spodnji pa pri 150 Hz. Tako kot pri Localizer-ju tudi tukaj instrument zaznava DDM in posledično odkloni iglo, ki prikazuje sredino črte spuščanja.  $3^\circ$  ( $5,2\%$ ) kot spuščanja je izračunan kot idealen, zato se ga tudi uporablja na večini letališč. V določenih primerih, kjer zaradi geografskih značilnosti prilet pod  $3^\circ$  kakorkoli ni mogoč, je nameščen sistem z večjim kotom spuščanja. Vendar pa zaradi večjih hitrosti spuščanja na priletu to ni priporočljivo in se kote pusti čim nižje. Ob večjih kotih spuščanja potrebuje tako letalo kot tudi posadka posebno dovoljenje za uporabo takega letališča. Za uporabo avtomatskega pristanka kategorije CAT I je največji dovoljeni kot  $3,5^\circ$ , za vse ostale pa  $3^\circ$  (CAT II/III).

Primer enega najstrmejših kotov spuščanja pri ILS sistemu je London City Airport, ki je imel na začetku, predvsem zaradi zmanjšanja hrupa, postavljen kot spuščanja pri  $7,5^\circ$  ( $13,2\%$ ). Ta kot so kasneje znižali in tako letalom, kot so BAe 146/Avro omogočili prilet na letališče.



**Slika 37: Vertikalen prerez priletne procedure ILS 09 s  $5,5^\circ$  priletnim kotom letališča London City**



Področje pokritosti GS signalov se razteza do 8° na vsako stran od sredine steze, gledano iz horizontalnega profila. V vertikalnem profilu, pa je pokritost odvisna od velikosti kota spuščanja. Področje pokritosti GS v vertikalnem profilu se razteza od  $0.45 \theta$  do  $1.75 \theta$

(kjer je  $\theta$  kot spuščanja). Ker pa se, tako kot pri localizer-ju, tudi tukaj pojavijo napačni žarki pod napačnimi koti. Napačne indikacije se lahko pojavijo pri dvokratnikih velikosti kota (nikoli pa ne pod pravim kotom spuščanja), zato se prestrezanje GS vedno izvede od spodaj.

Podobno kot pri VOR/DME izbiranju sredstva, se tudi pri nastavitvi ILS frekvenca nastavi dejansko samo localizer frekvenca, zaradi parnih kanalov localizer-ja in GS. Ko pilot nastavi frekvenco ILS (localizer-ja) se tako avtomatsko nastavi tudi frekvenca GS antene in sprejem vseh signalov je tako možen.

**Tabela 5: ILS kanalov in parnih frekvenc med LOC in GS**

Kanal	LOC (MHz)	GS (MHz)	Kanal	LOC (MHz)	GS (MHz)	Kanal	LOC (MHz)	GS (MHz)	Kanal	LOC (MHz)	GS (MHz)
18X	108.10	334.70	28X	109.10	331.40	38X	110.10	334.40	48X	111.10	331.70
18Y	108.15	334.55	28Y	109.15	331.25	38Y	110.15	334.25	48Y	111.15	331.55
20X	108.30	334.10	30X	109.30	332.00	40X	110.30	335.00	50X	111.30	332.30
20Y	108.35	333.95	30Y	109.35	331.85	40Y	110.35	334.85	50Y	111.35	331.15
22X	108.50	329.90	32X	109.50	332.60	42X	110.50	329.60	52X	111.50	332.90
22Y	108.55	329.75	32Y	109.55	332.45	42Y	110.55	329.45	52Y	111.55	332.75
24X	108.70	330.50	34X	109.70	333.20	44X	110.70	330.20	54X	111.70	333.50
24Y	108.75	330.35	34Y	109.75	333.05	44Y	110.75	330.05	54Y	111.75	333.35
26X	108.90	329.30	36X	109.90	333.80	46X	110.90	330.80	56X	111.90	331.10
26Y	108.95	329.15	36Y	109.95	333.65	46Y	110.95	330.65	56Y	111.95	330.95




#### 8.5.4 Markerji – označevalniki

Markerji so tretji osnovni sestavni del ILS sistema, ki delujejo pri frekvenci 75 Hz in moči, manjši od 3 W, služijo pa za označevanje razdalj od steze, v primeru, da DME sistem na letališču ni nameščen oz. ne obratuje. Točne razdalje so označene na kartah za vsako stezo posebej. Število markerjev za uporabo steze v eni smeri pristajanja je tri, in sicer:

- Outer marker (OM ali zunanji marker)
- Middle marker (MM – srednji marker)
- Inner marker (IM – notranji marker)



**Tabela 6: Markerji**

Marker	Okrajšava (oznaka v pilotski kabini)	Razdalja od začetka steze (lokacija na letišču v Ljubljani)	Zvočni signal, slišen v pilotski kabini	Uporaba
Outer Marker	<b>OM</b> 	3.5 do 6.0 NM, ponavadi 3.9 NM (4.4 NM)	-----	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kontrola višine</li> <li>Občasno javljanje kontrolorjem, ki uporabljajo OM v primeru sekvenčnih priletov</li> <li>OM ima v Ljubljani isto lokacijo kot MG NDB</li> </ul>
Middle Marker	<b>MM</b> 	3500 čevljev ~ 1100m (0.7 NM)	-·-·-·-	<ul style="list-style-type: none"> <li>Označuje točko odločitve za neprecizne prilete (localizer, lahko tudi VOR in NDB)</li> </ul>
Inner Marker	<b>IM</b> 	1000 čevljev ~ 300 m (2.2 NM za stezo)	·······	<ul style="list-style-type: none"> <li>Označuje bližino steze (tudi točko odločitve) pri ILS priletih kategorije CAT II, v Ljubljani se uporablja kot MWEST - "marker - zahod"</li> </ul>

### 8.5.6 ILS kategorije

ILS sistem omogoča pristanke v zelo slabi vidljivosti, vendar pa morajo tem pogojem ustrezati tudi sistemi na letalu kot tudi usposobljenost posadk.

**Tabela 7: Minimume določa mednarodna zakonodaja ICAO v aneksu 10 (Vol. 1)**

Kategorija	DH	RVR
I	Več kot 200 ft	550m
II	Manj kot 200 ft	350m
IIIa	Več kot 100 ft	150m -200m
IIIb	Manj kot 50 ft	75m -150m
IIIc	Brez DH	Brez RVR

Za uporabo kategorij CAT IIIa in CAT IIIb mora imeti letalo podvojene sisteme, ki se uporabljajo pri samem vodenju pristanka:

- Vsaj dva avtopilota
- Dva ILS sprejemnika
- Dva radijska višinomera (RA), ki prikazujeta oddaljenost letala od terena. Služita pa pred pristankom, saj se pojavi velika nenatančnost GS tik pred stezo.



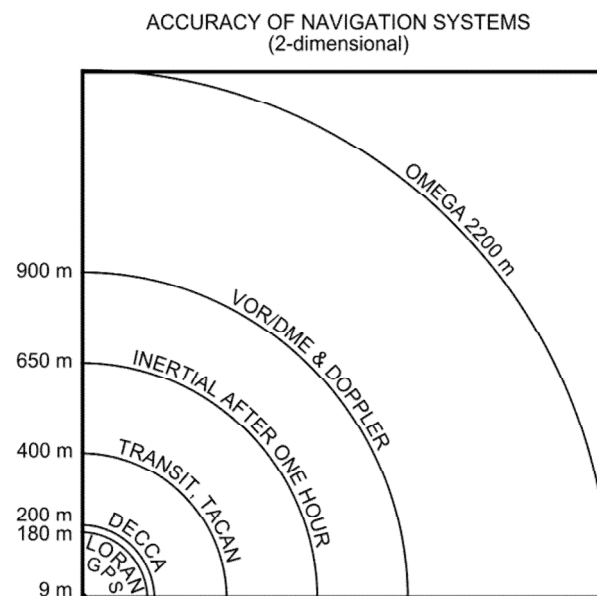
CAT IIIc zaenkrat ni na voljo še na nobenem letališču na svetu, saj sistem omogoča pristanek brez kakršne koli vizualne reference, torej pri vidljivosti nič metrov. Sistem pa pripelje letalo ne samo do steze, ampak letalo avtomatsko zapelje iz steze do dodeljene parkirne pozicije.



*Slika 38: Letalo B737 pri ILS CAT IIIb avtomatskem pristanku*

## 8.6 GNSS – satelitska navigacija

Satelitska navigacija je bila najprej namenjena vojaški uporabi, kasneje pa se je njeno področje uporabe razširilo tudi v vode civilnega letalstva. Ker je na voljo 24 ur na dan, omogoča natančnost in zanesljivost, kakršni še nismo bili priča v letalstvu.



*Slika 39: Natančnost različnih navigacijskih sistemov*





Globalni navigacijski satelitski sistem ali GNSS je standarden izraz za satelitski navigacijski sistem (sat nav), ki nudi geo-prostorsko pozicijo z globalno pokritostjo. Majhni elektronski sprejemniki lahko s pomočjo radijskih valov iz satelitov določijo pozicijo v tridimenzionalnem prostoru (zemljepisna širina, zemljepisna dolžina in nadmorska višina), hitrost in čas.

Poznamo dva GNSS sistema. Prvega in dandanes tudi najbolj razširjenega so razvili Američani, poimenovali pa so ga Global Positioning Service (GPS), drugega pa so iznašli Rusi, svoj sistem pa so poimenovali GLONASS.

GNSS je glede na natančnost določanja pozicije in spremljanje integritete klasificiran v naslednja dva glavna razreda:

- **GNSS-1** je prva generacija sistema in je kombinacija obstoječih GPS in GLONASS sistemov z povečanja natančnosti na principu dodatnih satelitov (SBAS) ali dodatnih anten na tleh (GBAS).
- **GNSS-2** je druga generacija sistema, ki deluje neodvisno z modernimi evropskimi Galileo sateliti. Le-ti bodo izboljšali natančnost same navigacije za civilno uporabo.

Prej omenjena sistema SBAS in GBAS sta dva sistema, ki omogočata natančnost satelitske navigacije s pomočjo dodatnih virov (anten na tleh ali satelitov), kar vodi do večje natančnosti, zanesljivosti in dostopnosti satelitov

## 9 GPS

GPS je GNSS sistem, katerega sestavlja vrsta satelitov v šestih orbitah ali efemeridah. GPS omogoča zanesljivo informacijo o lokaciji sprejemnika ne glede na vreme, čas ali pozicijo, vendar pa so za ta dosežek potrebni vsaj štirje sateliti, ki lahko v nekem trenutku nemoteno pošiljajo signal do sprejemnika.

Projekt je leta 1973 ustanovilo ameriško ministrstvo za obrambo, vendar je sistem kot tudi sprejem signalov že javno dostopen komurkoli, ki ima GPS sprejemnik. Za kvalitetno in natančno navigacijo trenutno skrbi 30 od vseh 59 satelitov, kar so jih od razvoja in začetka uporabe sistema izstrelili v orbito. Prve poizkuse namestitve satelitov v efemeride so izvedli leta 1978, leta 1996 pa so razvili še vejo satelitov, ki so služili samo civilni uporabi. Sistem se je ves čas razvijal, razvoj uporabe GPS za civilne namene pa je strmel predvsem k zagotavljanju večje varnosti v letalstvu.

Vsak GPS sprejemnik določa pozicijo s pomočjo natančno merjenih signalov iz satelitov, ki zemljo na višini 20.200 km obkrožijo dvakrat dnevno. Vsak satelit pošilja signale, ki vsebujejo informacije o:

- Čas, kdaj je bil signal oddan
- Točno informacijo o orbiti (efemerido)
- Generalno poročilo o pravilnem delovanju sistema in točnosti orbit



Čeprav se zdi, da so za določitev lokacije v tridimenzionalnem prostoru potrebni samo trije sateliti, pa se zaradi že majhnih napak v sprejemu časov in preračunu razdalj od satelitov lahko zaradi velike hitrosti potovanja radijskih signalov pojavi velika napaka, večina naprav zaradi večje natančnosti potrebuje vsaj štiri satelite.

Da bi povečali možnost uporabe GPS sistemov v letalstvu, je bilo potrebno povečati preciznost samega sistema, kar je posledično vodilo tudi do večje varnosti uporabe in tako možnosti uvedbe tega sistema ne samo v športnem, ampak tudi v komercialnem letalstvu. Razvila sta se že prej omenjena GBAS in SBAS sistema, ki sta priznana kot uradna sistema s strani mednarodne organizacije za civilno letalstvo ICAO.

V splošnem letalstvu sta najbolj razširjena Garminova sistema GPSMAP 495 in GPSMAP 695, zato se bomo v tej raziskovalni nalogi osredotočili predvsem na ta dva modela, njune značilnosti, prednosti in slabosti.

**GPSMAP 495** je namenjen bolj splošni uporabi, ne samo letalstvu, vendar pa je za uporabo v splošnem letalstvu zelo uporaben, saj je tudi po ocenah kupcev sodeč razmerje kvaliteta/cena zelo dobro. Proizvajalec mu je nadel vzdevek »mini-MFD«, saj poleg standardne mape vključuje tudi različne diagrame vozniških površin na več kot 850 prednaloženih ameriških letališč ter izboljšave prikaza zračnih prostorov, saj se oznaka različnih zračnih prostorov vizualno spremeni glede na bližino zrakoplova. Odlikuje ga hitro posodabljanje izrisovanja mape s frekvenco 5 Hz, izrisovanje terena pri visoki ločljivosti in prikaz drugih letalskih informacij. V primeru, da ima letalo vgrajen transponder S, Garminov model 495 deluje kot TCAS (Traffic Collision Avoidance System) sistem v povezavi s transponderjem in na zaslonu prikaže letala v bližini.



Slika 40: *GPSMAP 495*



Da vnesemo nov plan poleta sledimo naslednjemu postopku:

1. Dvakrat zaporedoma pritisnemo na tipko MENU, da se nam odpre glavni meni.
2. S smerno tipko označimo Route in pritisnemo na ENTER.
3. Označimo prvo prazno polje in pritisnemo ENTER.
4. Odpre se nam novo okno, kjer izberemo ime točke, ki jo želimo vnesti (velja identifikacija točke, ime sredstva ali pa ime mesta).
5. Označimo točko na listi in nato pritisnemo ENTER. Točka se nato pojavi na planu.
6. Postopka 4 in 5 ponavljamo tako dolgo, dokler nismo vnesli celotne rute.

Po vnosu rute se nam le-ta tudi izriše na Map Page. Zemljevid prikazuje ne samo navadnega zemljevida, ki kaže trenutni kurz, ampak označuje tudi lokacijo letališč, navigacijskih točk, meje zračnih prostorov, jezera, reke, obale, mesta in avtoceste. Za nastavitev zelenega dosega uporabimo tipki IN in OUT.

Panel stran prikazuje podatke v grafični obliki, ki je podobna instrumentalnemu panelu. HSI prikazuje kurz do naslednje točke v ruti, trenutni track, deviacijo od načrtanega kurza in od/do indikacijo (TO/FROM).

Še ena dobra lastnost tega GPS je funkcija vertikalne navigacije VNAV. GPS namreč sam izračuna vertikalni profil dviganja in spuščanja, kateremu lahko pilot z enostavnim grafičnim prikazom sledi.

### **GPSMAP 695**

GPSMAP 695 vsebuje vse funkcije, ki jih ima model 495, odlikujejo pa ga dodatne izboljšave, kot je boljši uporabniški vmesnik, večji in preglednejši zaslon, pridobitev aktualnih vremenskih podatkov, kvalitetnih in preglednih letaliških kart SafeTaxi, možnost uporabe Traffic Information System, prikaz Victor in Jet Airways.



Slika 41: *GPSMAP 695*



## 9.1 GBAS

Ground Based Augmentation System je vse vremenski letalski pristajalni sistem, ki temelji na trenutni korekciji GPS signala. Lokalni referenčni oddajniki okoli letališča pošiljajo signale v bazo na centralni lokaciji letališča, ki nato preko VHF data linka na frekvenci od 108 do 118 MHz posreduje sporočilo letalu. Računalnik nato predela podatke in s pomočjo le-teh popravi standarden ILS prikaz na instrumentu pri preciznem priletu.

V primerjavi s samostojno GPS navigacijo se s pomočjo teh podatkov lahko določi pozicija z natančnostjo do 0.5 metra znotraj 45 km radija od lokacije, kjer je GBAS nameščen. Vse to omogoča letalom z zahtevano opremo izvajanja preciznih priletov do kategorije CAT I kot tudi vse neprecizne prilete na letališčih, ki so opremljeni z GBAS sistemom. Zaradi zahtevane velike natančnosti sistema je princip oddajanja signalov pri GBAS tak, da se pred oddajo novih signalov, ki popravijo informacijo o prejšnji lokaciji, te informacije preverijo in primerjajo z limiti, ki so še dovoljeni, da letalo ne bi zaradi napak priletelo že izven varnega območja.

## 9.2 SBAS

Satellite-Based Augmentation System vsebuje mrežo 38 zemeljskih referenčnih postaj v severni Ameriki in na Havajih, ki merijo majhne variacije posameznih satelitov. Glavna postaja sprejema podatke o stanju satelitov iz referenčnih postaj in jih vsakih 5 sekund posreduje terenskemu usmerjevalnemu sistemu (GUS). GUS nato odda informacije o algoritmu, ki jih je prej pripravila glavna postaja, enemu izmed dveh satelitov sistema, ta pa posreduje sporočilo sprejemniku na letalu. Tako se lahko izračuna napaka posameznega satelita in rezultat je velika natančnost navigacije, ki selahko primerja s kategorijo CAT I pristajalnega sistema ILS. V praksi se je namreč izkazalo, da je sistem večino časa natančnejši od 1.0 m horizontalno in 1.5 m vertikalno, kar ustreza CAT I pogojem. Poleg javljanja napak v sistemu v prej kot 6,2 sekundah je dobra lastnost sistema tudi ta, da je na zanesljivost uporabe 99,9999% časa, kar v enem letu znese okrog 5 minut časa, ko sistem ni dovolj natančen za navigacijo.



*GUS Facility in Napa, California*

**Slika 42: GUS oddajnik**



### 9.3 GNS

Global Navigation System je sistem na letalu, ki lahko za navigacijo uporablja zgoraj omenjena sistema. Sistemov je veliko vrst, od tistih, namenjenih za generalno aviacijo, do tistih, ki se uporabljajo v komercialnem letalstvu na reaktivnih letalih.

V primeru generalnega letalstva ti sistemi vsebujejo tudi kombinacijo radiev za komunikacijo in navigacijo (COMM in NAV). Glavna predstavnika v tem razredu sta Garminova modela 430 in 530.

GNS 430 je certificiran za uporabo SBAS, omogoča večopravnost (»multitasking«), ima integrirano avioniko in najnovejšo tehnologijo za letenje SBAS procedur v grafični in instrumentni obliki prikaza – odhodnih (SID), prihodnih (STAR) in priletnih LPV procedur (Localizer performance with Vertical Guidance); toleranca določitve pozicije slednjega je namreč  $\pm 16$  m horizontalno in  $\pm 20$  m vertikalno v 95% časa.

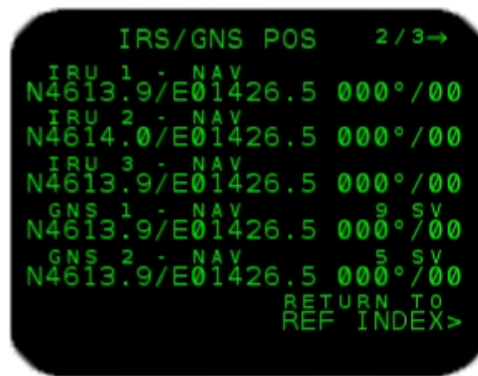
Prednost modela 530 je v tem, da ima večji zaslon in je zato grafični prikaz jasnejši, kar naredi letenje s pomočjo GNS lažje.



Slika 43: GNS 530W (zgoraj) in GNS 430W (spodaj)

Uporaba GNS sistemov v komercialnem letalstvu se uporablja pri večjih in modernejših letalih, ki to tehnologijo izkoriščajo predvsem za umirjanje (»align«) IRS sistema, ki služi kot primarno navigacijsko sredstvo, GNS pa je rezervni sistem, v primeru, da IRS sistemi odpovedo.





Slika 44: Prikaz stanja in pozicije IRS in GNS sistemov na letalu MD-11

## 10. RAZPRAVA, PRIMERJAVE, IZRAČUNI, ANALIZE

### 10.1. Primerjava NDB in VOR oddajnikov

Tabela 8: *VOR/NDB*

VOR	NDB
Večja natančnost	Cenejši sistem
Lažja uporaba	Enostavnejši sistem – manj možnosti okvare
Lažja vizualizacija	

S pojavitvijo VOR oddajnika je postala navigacija lažja. Dosegli so večjo varnost in zaradi velike preciznosti se VOR-i še dandanes množično uporabljajo tako za območno navigacijo kot tudi pri uporabi za letališke procedure. Ker pa je cena NDB oddajnika veliko manjša, se NDB veliko pojavljajo predvsem tam, kjer se večja investicija v VOR oddajnike ne zdi smiselna. V novejšem času se novih NDB-jev skorajda ne postavlja več, vsaj v takšni meri kot D-VOR-ov ne. Zaradi velikosti območja in nezadostnih financ pa smo v Rusiji priča velikim številom NDB oddajnikov, kjer ji drugje ne vidimo toliko.

Tabela 9: *Število sredstev*

Število NDB oddajnikov	Število VOR oddajnikov	Število VOR/DME oddajnikov	Skupno število NDB, VOR in VOR/DME oddajnikov v Rusiji:
429	3	27	459



## 10.2. Vpliv stožca tišine VOR in NDB oddajnika na preciznost navigacije

### NDB oddajnik:

#### Primer 1:

Začetek spuščanja na FAF točki v neprecizni NDB prilet, ki jo v Ljubljani označuje oddajnik KAM:

Hitsot prileta  $V_{APP} = 155kts$

Višina na FAF = 4600ft

$t$  brez signala = ?

$$\begin{array}{lll}
 r = \tan \alpha \times alt & GS \ V_{APP} = 2\% \times IAS \times \frac{alt}{1000} + IAS & t = \frac{2 \times r}{V_{APP}} \\
 r = \tan 40^\circ \times 4600 \text{ ft} & V_{APP} = 2\% \times 155kts \times \frac{4600 \text{ FT}}{1000} + 155kts & t = \frac{2 \times 0,6 \text{ NM}}{2,8 \frac{\text{NM}}{\text{min}}} \\
 r = 3860 \text{ ft} & V_{APP} = 169 \text{ KTS} & t = 26 \text{ s} \\
 r = 0,6 \text{ NM} & V_{APP} = 2,8 \frac{\text{NM}}{\text{min}} & 
 \end{array}$$

#### Primer 2:

Prelet Slovenije preko NDB oddajnika ILB (Ilirska Bistrica) na potovalnem nivoju FL370 in ruti VEKEN ul607 ILB UN737 BAXON

$$\begin{array}{ll}
 r = \tan \alpha \times alt & GS = 480kts \\
 r = \tan 40^\circ \times 37000 \text{ ft} & t = \frac{2 \times 5,1 \text{ NM}}{8 \frac{\text{NM}}{\text{min}}} \\
 r = 31047 \text{ ft} & \\
 r = 5,1 \text{ NM} & t = 1 \text{ min } 16 \text{ s}
 \end{array}$$

Vidimo lahko, da čas, v katerem letalo ne sprejema signalov iz NDB sredstva, z višino narašča, kar lahko predstavlja nekaj nevšečnosti pilotom.



## VOR oddajnik:

### Primer 1:

Vstop v ILS prilet v Ljubljani po publicirani proceduri preko Dolsko VOR:

alt = 5000ft

hitrost nad DOL VOR  $V_{IAP} = 180 \text{ kts}$

$t_{\text{brez signala}} = ?$

$$\tan \alpha = \frac{r}{alt}$$

$$r = \tan \alpha \times alt$$

$$r = \tan 50^\circ \times (5000 - 2047) \text{ ft}$$

$$r = 3519 \text{ ft}$$

$$r = 0,58 \text{ NM}$$

$$IAS : V_{IAP} = 180 \text{ kts}$$

$$GS : V_{IAP} = 2\% \times IAS \times \frac{alt}{1000} + IAS$$

$$V_{IAP} = 2\% \times 180 \text{ kts} \times \frac{5000 \text{ ft}}{1000} + 180 \text{ kts}$$

$$V_{IAP} = 198 \text{ kts} = 198 \frac{\text{NM}}{\text{h}}$$

$$V_{IAP} = 3,3 \frac{\text{NM}}{\text{min}}$$

$$t = \frac{s}{v}$$

$$t = \frac{2 \times r}{V_{IAP}}$$

$$t = \frac{2 \times 0,58 \text{ NM}}{3,3 \frac{\text{NM}}{\text{min}}}$$

$$t = 21 \text{ s}$$

### Primer 2:

Prelet Slovenije na potovalnem nivoju FL370 in ruti LUMUS UL172 DOL UP735 ZAG:

alt = 37000ft

GS hitrost nad DOL VOR  $V_{CRZ} = 480 \text{ kts}$

$t_{\text{brez signala}} = ?$

$$r = \tan \alpha \times alt$$

$$r = \tan 50^\circ \times (37000 - 2047) \text{ ft}$$

$$r = 41659 \text{ ft}$$

$$r = 6,85 \text{ NM}$$

$$V_{EN} = 480 \text{ kts}$$

$$V_{EN} = 8 \frac{\text{NM}}{\text{min}}$$

$$t = \frac{2 \times r}{V_{EN}}$$

$$t = 1 \text{ min } 43 \text{ s}$$

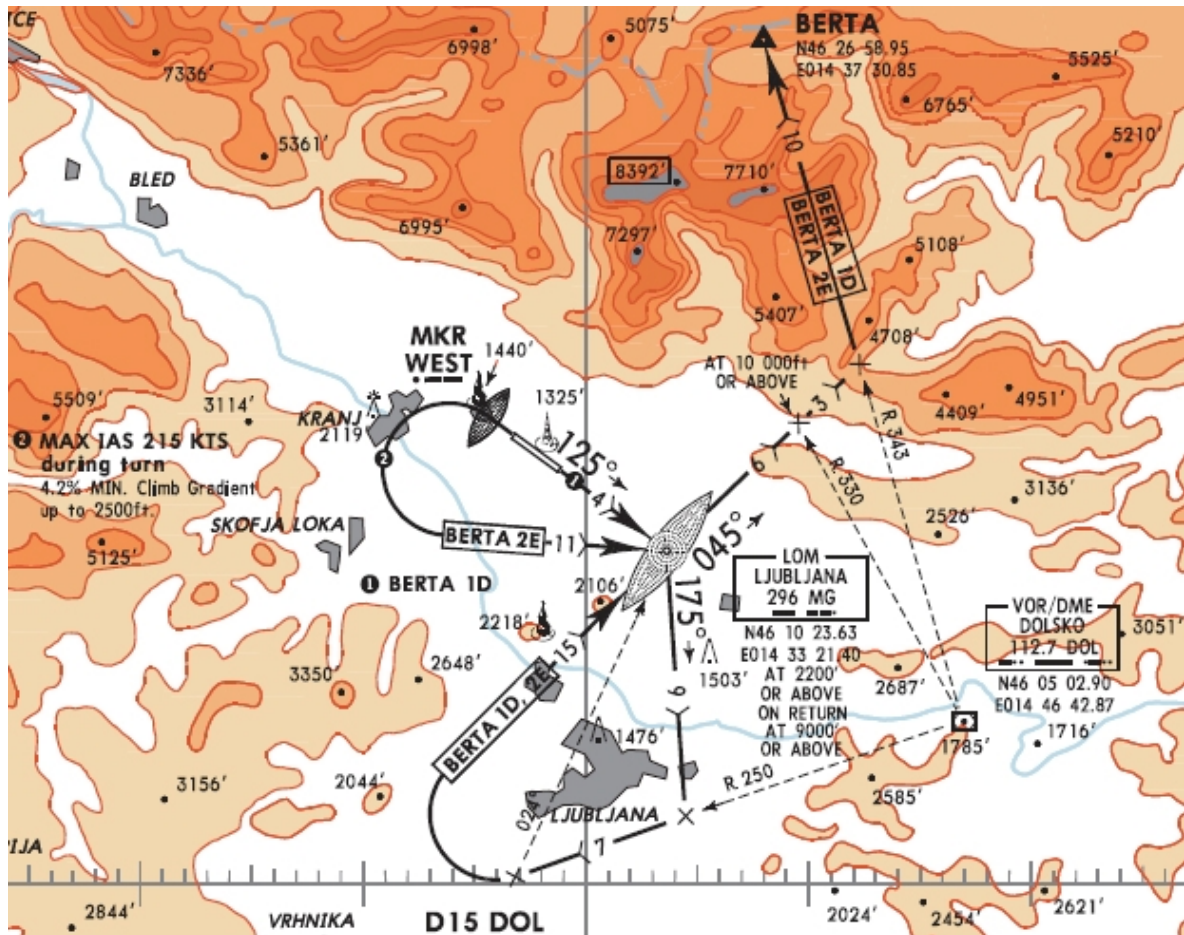
Tudi tukaj lahko vidimo, da se čas, v katerem letalo ne sprejema signalov iz VOR sredstva, z višino zelo poveča, vendar pa so zaradi večjega kota stožca tišine kot pri NDB oddajniku te številke večje. Da bi zagotovili ustrezno varnost ob konstantnem naraščanju prometa, trend povečanja preciznost navigacije narašča. To dosegajo z izboljševanjem raznih sistemov, ki delujejo v medsebojni povezavi. Moderne navigacije na visokih višinah, kjer bi za skoraj dve minuti letalo ostalo brez kakršnekoli informacije o natančni poziciji, si ne moremo predstavljati. Sodobni sistemi, kot sta GNS in IRS v povezavi z drugimi sistemi (FMS, ki je sistem na letalu, ki povezuje vse ostale sisteme na letalu, ki nudijo kakršnekoli informacije o navigaciji in planu leta. Prav tako skrbi za preračunavanje rute in ostalih parametrov na letalu, ki se spreminjajo glede na konfiguracijo letala), so tako na večjih višinah skoraj nujni, saj prikazujejo sredstvo kot neko referenčno točko v podatkovni bazi FMS, ta pa jo nato izriše na zemljevidu, in se ne orientirajo toliko na signale oddajnika.





### 10.3. KLM metoda prestreznja (interceptiranja) radialov

Značilnost VOR navigacijskih sredstev so radiali, t.j. signali, ki prihajajo iz antene oddajnika. Radiale, ki so sestavni deli odletnih, prihodnih in priletnih procedur, določa vsaka država za vsako letališče posebej, ki ga ima pod nadzorom. Za vse procedure je z zakonom predpisano, kako naj potekajo, da bo letalo varno odletelo ali priletelo iz/na letališče.



*Slika 45: BERTA 1D in BERTA 2E standardna odhoda s steze 13 oz. 31 na ljubljanskem letališču*

Veliko primerov pa je, zlasti na šolanju pilotov, ko je potrebno iz na začetku neznane lokacije priti na določen radial. Vsaka letalska družba ima svoje metode, kako izvesti to, ampak najbolj razširjena je metoda nizozemske letalske družbe KLM, katero učijo tudi pri naših letalskih šolah.

Postopek je tak, da je najprej potrebno določiti položaj (radial) glede na sredstvo (VOR). Po letenju ne nekem radialu se po tej metodi leti, kot sledi:



#### 10.4.1 Prestrežanje QDM:

Tabela 10: *KLM metoda QDM*

Trenuten QDM glede na zadanega	Kot prestrežanja zadanega QDM
Manjši od 10°	30°
Večji od 10° vendar manjši od 30°	60°
Večji od 30° vendar manjši od 60°	90°
Večji od 60°	Leteti je treba v nasprotni smeri od zadanega QDM

Opomba: V predpisani azimut se začne zavijati že 5° prej.

#### 10.4.2 Prestrežanje QDR:

Tabela 11: *KLM metoda QDR*

Trenuten QDR glede na zadanega	Kot prestrežanja zadanega QDR
Manjši od 20°	30°
Večji od 20° vendar manjši od 90°	60°
Večja kot 90°	Azimut enak zadanemu QDR

Opomba: Tudi tukaj se v predpisani azimut začne zavijati že 5° prej.



Slika 46: Letenje po KLM metodi do zelenega QDM 175 MG v MS Flight Simulator 2004 z letalom MD-11 proizvajalca PMDG



V primeru, da se pilot izgubi, mora biti sposoben priti na radial, publiciran na kartah, ki mu bo zagotovil varen let do naslednje točke oz. pristanka na letališču. Različne letalske šole po svetu uporabljajo različne metode pri učenju svojih študentov – bodočih pilotov, kako se naj znajdejo v takih situacijah. Najbolj razširjena je prav gotovo edina razširjena KLM-ova metoda in jo uporabljajo tudi pri domačih letalskih šolah.

Metodo so razvili pri nizozemski letalski družbi KLM, ker pa so si jo izmislili prvi so jo ostale družbe kopirale za KLM. Ostaja neformalna in je dobra za izvajanje prestrezanj pri majhnih kotih med zadanim in trenutnim radialom, pri večjih (od npr.  $60^\circ$ ) pa je potratna, saj letalo še vseeno pripelje daleč naokoli in se v tem primeru bolj splača zaprositi kontrolo za vektoriranje do želenega radiala.

Metoda je razvita tako, da lahko pilot s pravilno izvedbo v optimalnem času doseže zadan radial. V praksi s pomočjo MS Flight Simulatorja 2004 smo to metodo tudi preizkusili. Za preizkus učinkovitosti metode smo izbrali letalo MD-11 in po vzletu s steze 31 v Ljubljani obrnili proti jugu. Izbrali smo si locator MG, ki leži 4.2 NM pred začetkom steze 31 v Ljubljani in se odločili, da želimo priti na QDM 175. Najprej je bilo določiti trenutno pozicijo letala glede na MG. ADF nam je pokazal vrednost  $050^\circ$  do sredstva, ker pa smo leteli stran od sredstva (na sredstvo želimo priti s severa, mi letimo proti jugu, sredstvo pa je na levi strani za nami), smo ob upoštevanju KLM metode v desnem zavoju zavili v nasprotno smer želenega radiala  $355^\circ$  (v tem primeru QDM) in s tem pridobili nekoliko več manevrske površine. Zaradi visokega terena na severnem delu letališča lahko s pomočjo kart vidimo, da je minimalna dovoljena višina v tem območju 11.000 ft. Iz varnostnih razlogov smo se povzpeli na nivo leta FL120 in počakali, da je ADF kazal  $65^\circ$  manj od zadanega QDM, saj ga prestrezamo z leve strani. Praviloma bi morali zaviti na QDM 115, ampak zaradi hitrosti letal začnemo z zavojem  $5^\circ$  pred določenim, zato bomo tudi v nadaljevanju pri računanju upoštevali teh  $5^\circ$ . Ko nam je ADF pokazal QDM  $110^\circ$ , smo zavili pravokotno na zadan QDM, torej v smer  $085^\circ$ . Zopet smo opazovali ADF instrument in ko nam je pokazal vrednost  $140^\circ$ , smo obrnili v smer  $115^\circ$  in s tem dosegli letenje pod kotom  $60^\circ$  na zadan QDM. Ob prečkanju QDM 160 smo zavili v smer  $145^\circ$  in nato prestregli QDM pod normalnim kotom. Ugotovili smo, da je vsak zavoj preračunan tako, da ob večjih oddaljenostih od zadanega radiala zagotovi hitro postavitvev letala na lokacijo, kjer pilot s konstantnimi zavoji, katerih medsebojni čas se zmanjšuje z bližanjem zadanega radiala, prileti na želen radial določenega sredstva.

## 10.5 Menjava navigacijskega sistema C-VOR Dolsko v Portorož

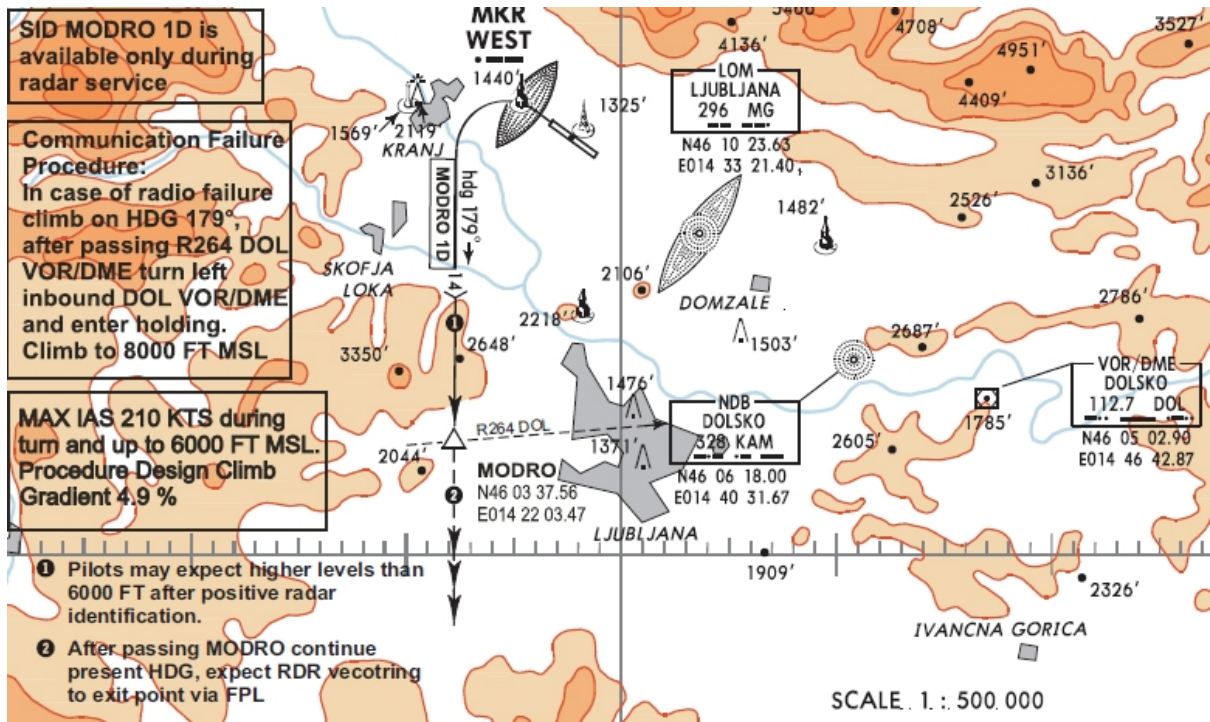
18. januarja 2011 je bila v slovenskem AIP-ju uradno objavljena zamenjava obstoječega Dolsko C-VOR. S premeščanjem sredstva iz bližine Litije v Portorož, kjer ga bodo zamenjali z Locatorjem PZ, so uradno začeli 10. marca. Razlog je v tem, da želijo nadgraditi tehnologijo konvencionalnega VOR-a v modernejši Doppler VOR, ki bo zaradi svojega načina delovanja izboljšal preciznost navigacije po Sloveniji in na letališču Ljubljana.

Točasno nedelovanje DOL VOR-a bo zelo vplivalo na procedure tako v Ljubljani kot tudi v Portorožu. Vse ljubljanske odhodne procedure ostajajo enake, k obstoječim pa so za boljši pretok prometa uvedli dve novi proceduri: MODRO 1E in LUPIX 1D.

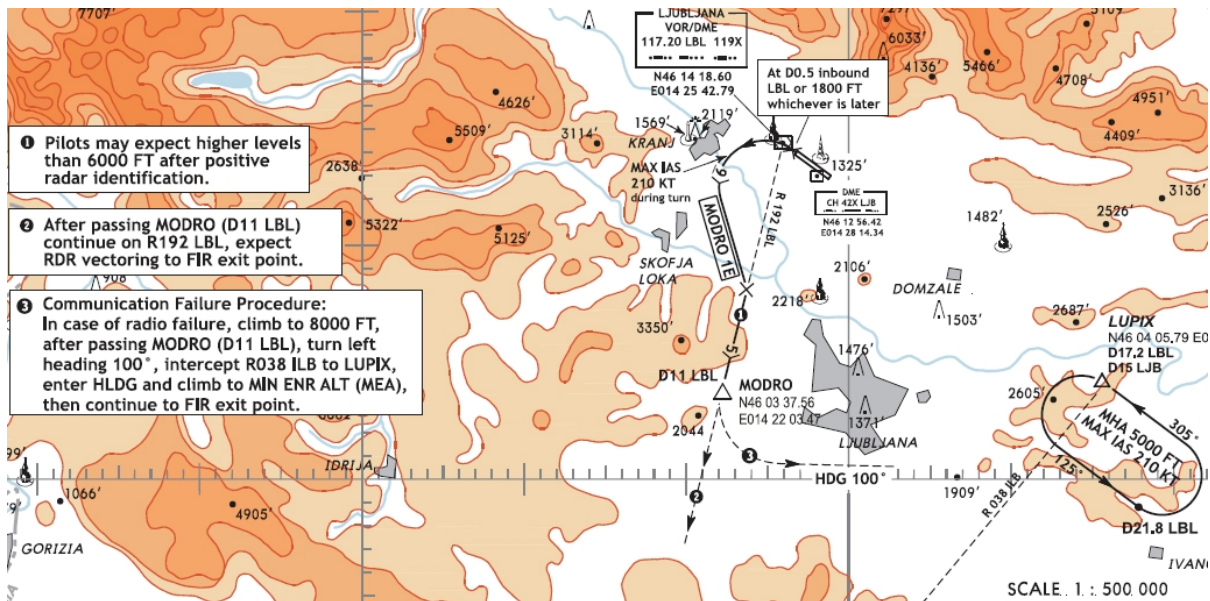
Nekaj sprememb pa se pojavi pri odhodnih kot tudi pri prihodnih in priletnih procedurah, saj je bil Dolsko VOR sestavni del večine teh procedur v Ljubljani. Prvotno so nameravali spremeniti vse prihodne procedure z uporabo DME loka od LBL VOR.



**Odhodne procedure:**



*Slika 47: Stara procedura MODRO 1D*

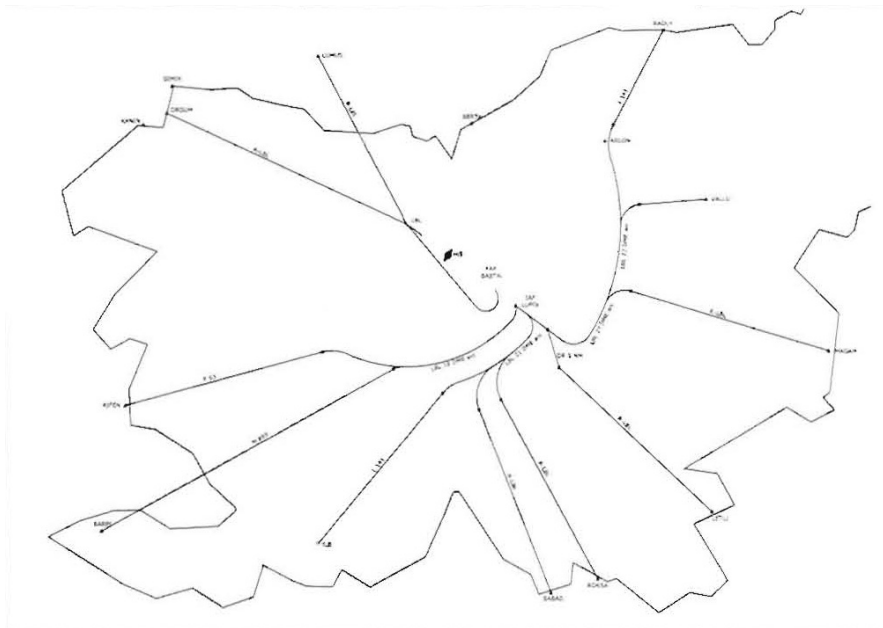


*Slika 48: Nova procedura MODRO 1E*

Iz primerjav zgornjih kart lahko vidimo, da je ob delovanju Dolsko VOR-a bil postopek COMM FAIL preprost, saj je pilot zavil proti Dolskem in v holding, iz katerega je nato po sedmih minutah nadaljeval po planu. Po proceduri MODRO 1E pa moramo po preletu točke MODRO zaviti v smer 100° in se s pomočjo radiala 038° od ILB vključiti v holding nad LUIPIX-om. Tako smo že prej, ko smo pisali o primeru COMM FAIL na prihodu, sklepali pravilno, kako priti do LUIPIX-a, če nimamo R-NAV navigacije.



Prihodne in priletne procedure:



**Slika 49: Prvoten plan začasne spremembe prihodnih procedur na letališču Ljubljana**

Ker je bil Dolsko postavljen na priročnem mestu za uveljavitev holdinga, ki se uporablja v primeru čakanja letal za pristanek v zraku, je bilo potrebno spremeniti pozicijo holdinga. Točko ali »fix«, nad katero se izvaja holding po novih procedurah, predstavlja LUPIX. V AIP-ju navajajo, da se lahko za planiranje leta uporabljajo vse prejšnje procedure, vendar pa lahko piloti pričakujejo radarsko vektoriranje po prečkanju FIR (Flight Information Region) meje do vstopa v ILS oz. VOR priletno proceduro.

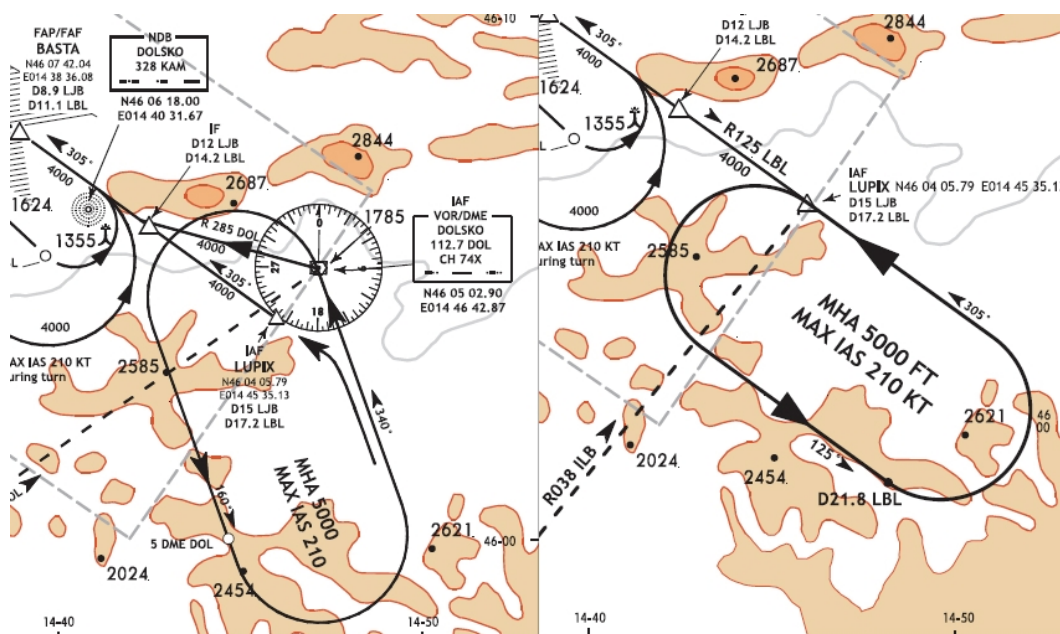
Vektoriranje je radarsko vodenje letal v horizontalni in vertikalni smeri. Vektorje ali ukaze lahko izdaja ustrezno usposobljen kontrolor zračnega prometa, če mu je na voljo ustrezna oprema, pod katero spada sekundarni radar SSR (»Secondary Surveillance Radar«), ki zaznava signale iz transponderjev na letalih v dosegu. Zaradi varnostnih razlogov potrebuje kontrolor tri delujoče in med sabo neodvisne SSR radarje, ki skupaj pokrivajo neko območje. Primarni radar skrbi za ugotovitev pozicije zrakoplova in jo pokaže kot križec na zaslonu. Sekundarni radarji sprejemajo od transponderja dva podatka: transpondersko kodo (»Squawk«), ki jo pilotu pred vzletom posreduje letališki kontrolor, in višino zrakoplova. Transponderska koda se nato programsko poveže s podatki v načrtu poleta, ki ga je oddal pilot, kontrolorju pa se nato prikaže poleg simbola letala še klicni znak, višina, hitrost, destinacija in tip letala.



**Slika 50: Simbol letala na radarski sliki**



Največje spremembe se pojavijo pri ILS proceduri. Zaradi spremembe načina prileta preko IAP (Initial Approach Point – prva točka instrumentalnega prileta, po novem je to LUPIX) v sam ILS je prilet na karti dobil oznako Y (ILS Y 31). Te oznake se dodeljujejo različnim priletom za eno stezo, pri čemer je Z primaren (ki se ga na karte ne piše, če je način prileta samo eden), Y sekundaren in X terciaren.



**Slika 51: Primerjava holdinga nad DOL VOR in nad LUPIX**

S pilotskega vidika je letenje po novejši proceduri v letalu, ki ima samo standardno navigacijsko opremo (ADF, VOR in ILS instrumenti), težje. Na odrezku iz desne karte zgoraj, ki predstavlja novo proceduro, lahko vidimo, da mora pilot v primeru neuspelega prileta (črtkana črta) prestopiti radial 038 od VOR-a Ilirska Bistrica – ILB. Točka LUPIX se nahaja na radialu 125 in razdalji 17,2 NM od VOR-a LBL (15 NM od začetka steze), kar pomeni, da bo pilot začel s postopkom vstopa v holding proceduro šele, ko bo na radialu 038 od ILB prečkal radial 125 od LBL. Pri letenju takih procedur mora pilot obvladati instrumentalno letenje, da si med samim letenjem tudi predstavlja, kaj mu odkloni HSI in CDI igel povedo. Ob delujočem DOL VOR-u je postopek veliko lažji, saj pilot neposredno dobi informacijo do holding fix-a – Dolsko VOR.

## 10.6 Analiza procedure v primeru izpada komunikacijskih sistemov

S strani pilotov bi bila izvedba teh procedur koristna, saj bi v primeru odpovedi komunikacijskih sistemov na letalu ali pa uvedbe proceduralne kontrole zaradi odpovedi radarskih sistemov na tleh, omogočile spust letala do nižje višine in tako hitrejši vstop v priletno proceduro. Kot navaja AIP, se morajo piloti v tej situaciji držati zakonsko določenih postopkov pri odpovedi komunikacije (COMM FAIL), s tem da se smejo spustiti na najnižjo območno višino rute, na kateri letijo (MEA). Takoj po ugotovitvi situacije mora pilot vstopiti v holding nad LUPIX-om. V primeru opremljenosti letala s sodobnimi sistemi IRS/GNS in dovoljeni uporabi R-NAV navigacije (»Area Navigation«), lahko pilot brez problema vstopi v



holding, saj mu FMC izračuna točno horizontalno in vertikalno pot do LUPIX-a, ki je v bistvu neka tridimenzionalna točka v prostoru. Če pa letalo ni opremljeno s temi sistemi oz. pilot ni izpopolnjen za uporabo le-teh, se je potrebno znati s pomočjo klasičnih instrumentov VOR, ILS in ADF. Odvisno od smeri prihoda na letališče (sever/jug oz. vzhod/zahod) bi kot pilot prestregel radial 038 od/do ILB (prihod iz SV oz. JZ) ali pa radial 125 od/do LBL (prihod iz SZ oz. JV). Ko bi prečkal radial drugega VOR-a bi vedel, da sem prečkal tudi LUPIX in bi lahko začel z vstopom v holding.

## 10.7 Vpliv namestitve VOR-a na letališču v Portorožu

Namestitev VOR-a v Portorožu bo letališču prineslo veliko prednost. Trenuten instrumentalni prilet je možen samo z uporabo PZ locatorja. Ker je sistem dokaj nenatančen in ima veliko toleranco, je potrebno upoštevati večje območje, kjer bi se letalo lahko med priletom znašlo kljub pravilni indikaciji in izvedbi procedure. V trenutni situaciji se pilot ne sme spustiti pod 1050 čevljev, če pristajalne steze ne vidi. Ta višina se imenuje MDA (Minimum Descend Altitude), ki pa je z manjšo natančnostjo sistema zaradi varnosti višja. Po končanem postopku se bo MDA znatno znižala, kar bo naredilo letališče Portorož bolj konkurenčno. Zaradi svoje lege (leži namreč v zalivu) in slabe navigacijske opreme so za pristajanje veliko bolj primerna okoliška letališča, kot so Trst, Reka in Pula.

VOR v Portorožu prinesel nekaj prednosti tudi proceduralni kontroli. Proceduralni kontrolorji lahko za separacijo med letali uporabijo tudi neko radionavigacijsko sredstvo, s pomočjo katerega ukažejo pilotoma različnih letal, da letita po določenem QDM oz. QDR (ali pa radialu, odvisno od sredstva). Zaradi manjše natančnosti NDB oddajnika v primerjavi z VOR-om so tudi razlike med radiali, po katerih kontrolor separira letala, večja. Za ustrezno separacijo morata biti dve letali vsaj 30° stopinj narazen v primeru NDB, z namestitvijo VOR-a v Portorožu pa bo zadostovalo že 15° razlike med dvema radialoma.

Ugotovitev, zakaj teh procedur na koncu niso izvedli:

Ker bo celotna postavitve novega D-VOR Dolsko trajala samo nekaj mesecev (predvidoma bi moral nov VOR stopiti v uporabo junija), verjetno ni bilo smiselno izdajati novih procedur, saj bodo kontrolorji v vsakem primeru letalo ob vstopu v slovenski zračni prostor vektorirali v ILS oz. VOR prilet, če ILS ne bo na voljo. V primeru, da pilotu ali kontrolorju odpovedo komunikacijski sistemi, je bilo ugotovljeno, da to ne bo predstavljalo težav, saj se bo pilot usmeril proti LUPIX-u, katerega je s pomočjo karte ILS Y 31 moč določiti s pomočjo dveh radialov dveh različnih VOR oddajnikov (LBL in ILB), katera sta pod kotom 87°, tako da lahko pilot brez problemov prileti v holding.

## 10.8 Primerjava ILS – LORENZ

Ob napredku tehnologije po drugi svetovni vojni, je iznajdba ILS sistema izpodrinila Lorenz sistem izključno zaradi olajšanja dela pilotov. Pilot je moral biti veliko bolj zbran, da je poslušal signale in slušno zaznal najmanjša odstopanja od sredine dveh signalov. Ob uveljavitvi instrumentov, ki so signalizirali tisto, kar je pilot pri prejšnjih sistemih slišal, je letenje priletnih procedur s stališča pilotov znatno olajšalo. Če dodamo še preciznost novih



sistemov, se je varnost navigacije med samim približevanjem letališču dvignila na visok nivo. To so ključni razlogi, zakaj Lorenz sistemov dandanes ne najdemo nikjer več.

## 10.9 Primerjava ILS – MLS

MLS ("microwave landing system") je precizni instrumentalni sistem, ki deluje v območju mikro valov elektromagnetnega frekvenčnega spektra (ang.: SHF - "super high frequency").

MLS sistem je bil sprva predviden kot nadgradnja ali zamenjava obstoječega in še vedno daleč najbolj razširjenega sistema ILS, z nekaj manjšimi slabostmi, vendar ga MLS, zaradi paralelnega napredovanja in dostopnosti uporabe satelitskega globalnega pozicijskega sistema GPS, ni nikoli opazno zamenjal. Prav GPS se precej razširjeno uporablja kot pomoč pri območni navigaciji med križarjenjem letala, deloma pa tudi že kot dodatna referenca pri postopkih prileta (približevanju letališču). Prav zaradi tega so v številnih državah prenehali z razvojem MLS-a in precej verjetno je, da linijski prometni pilot v svoji karieri niti enkrat v praksi ne bo uporabil tega sistema.

Kljub temu se MLS sistem, namesto ILS, uporablja na zelo redkih letališčih, kjer je inštalacija slednjega zaradi konfiguracije terena otežena. Pri pristajanju sistem v primerjavi z ILS predstavlja nekaj prednosti, kot so boljša preciznost, večja fleksibilnost prileta letala v priletno smer pod različnimi koti in izbiranje med več razpoložljivimi priletnimi višinskimi ravninami. ILS ima v nasprotju z MLS vedno eno uporabno priletno ravnino, ki določa kot spuščanja letala - torej višino med približevanjem stezi. Naklon te najpogosteje znaša 3 stopinje navzdol. Dejstvo je tudi, da civilna letala večinoma niti niso opremljena s sprejemnikom MLS signala, medtem ko ILS sprejemnik v civilno letalo sodi med standardne instrumente in tako samoumevne, kot npr. VHF radio za dvosmerno komunikacijo s kontrolo letenja.

Prvi MLS sistemi so se v ZDA pojavili okrog leta 1990. Tri leta pred tem ga je s svojim testnim letalom B737 npr. testirala NASA in ga še do pred kratkim med drugim uporabljala kot referenco tudi pri pristajanju svojega plovila Space Shuttle, ki med spuščanjem in pristajanjem nima lastnega pogona - jadra in za to ne more uporabiti zanj predolgega in položnega signala ILS-a. MLS je v Evropi sicer bil deležen manjšega zanimanja, a le v regijah, kjer je zaradi določenih dejavnikov (npr. razgibanega terena ali dvoma v zagotovljeno neprekinjeno delovanje satelitskega GPS-a) to izgledalo smiselno.





### 10.9.1 Princip delovanja

Sistem za delovanje uporablja antenske oddajnike na območju 5 GHz - točneje med 5031 in 5090.7 MHz, z razpoložljivostjo 200 kanalov, kar pomeni, da je medsebojen razmik med kanali 300 kHz. (ILS za primerjavo deluje na frekvencah okrog 110 MHz.) Tako ILS kot MLS oba oddajata signal z letališča proti približujočemu se letalu, vendar v primeru MLS sistema letalo uporablja poseben sprejemnik, ki preračunava svojo pozicijo glede na čase sprejema signala s tal, medtem ko letalo za ILS išče sredino med dvema različno moduliranimi frekvencama, kot je to omenjeno v poglavju o ILS.

Enako kot oddajnik priletne višine ILS-a, ima tudi ta sistem največkrat inštaliran še DME (distance measuring equipment), za indikacijo razdalje do točke pristanka na stezi, vendar gre pri MLS-u za še bolj točen DME, imenovan Precizni DME ali "DME/P", ki ga običajno v kombinaciji z drugimi radionavigacijskimi sredstvi (npr. VOR) ne najdemo.

Posebnost MLS-a je tudi ta, da na svoji frekvenci oddaja dodatne informacije. To so trenutni status sistema, informacije o stanju steze in vreme, medtem ko lahko ILS na svoji frekvenci oddaja le svojo identifikacijo ali ime v obliki tri-črkovne kode, ki jo pilot pred uporabo sistema preveri.

### 10.9.2 Inštalacija

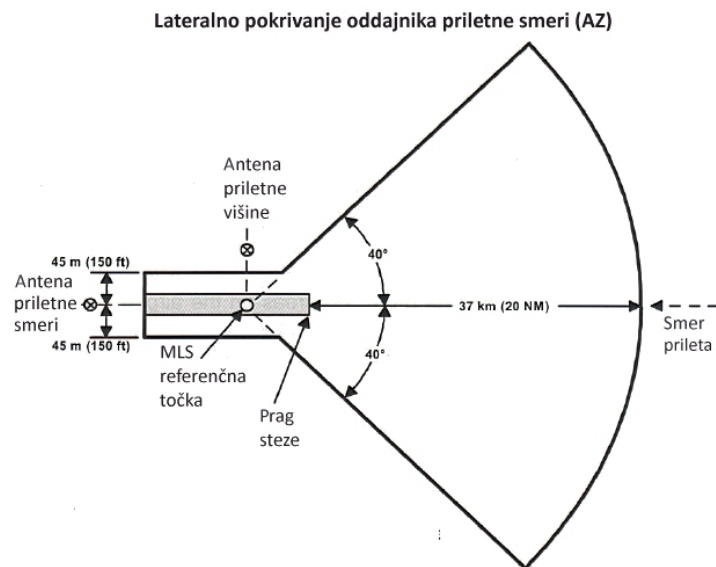
Gre za popolnoma digitaliziran sistem, ki praktično ni dovzeten za različne vremenske pojave ali motnje zaradi drugih oddajnikov. Sistem istočasno omogoča več različnih priletnih smeri (ILS le eno), kar omogoča fleksibilnejše priletne postopke (standardne prihode) iz različnih smeri in optimalnejše zavoje. Omogoča tudi izbiro različnih priletnih višinskih ravnin - z različnimi nakloni, do največ 15 stopinj. V primerjavi s prej omenjeno minimalno dolžino prileta za ILS (7 milj), lahko v primeru MLS-a kontrolor letalo usmeri na finalno fazo pristajanja, ki se nahaja samo 1,5 navtične milje pred pragom steze, kar je manj od njene dolžine običajnega večjega letališča.

### 10.9.3 Komponente MLS

Komponente, iz katerih je sestavljen MLS, so: oddajnik priletne smeri (AZ), priletne višine (EL), precizni DME/P, ponekod tudi oddajnik smeri v nasprotno smer ("back azimuth" - BAZ)



#### 10.9.4 Pokrivanje priletne smeri (AZ):



*Slika 52: Lateralno pokrivanje oddajnika priletne smeri*



*Slika 53: Primer AZ komponente MLS*

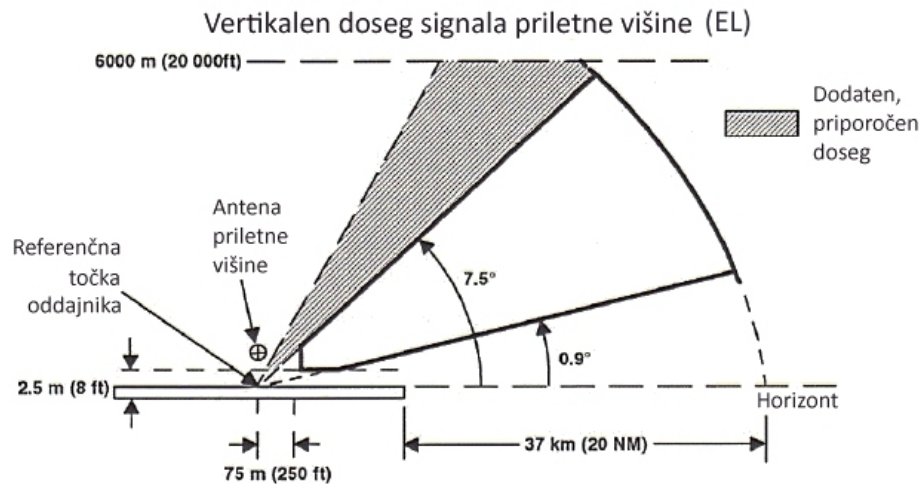
Azimet, ki ga med delovanjem skenira oddajnik priletne smeri, skupno znaša 80 stopinj oz. 40 stopinj v levo in 40 stopinj v desno od navidezno podaljšane osi steze, kar je več v primerjavi z ILS-om.

Dolžina snopa signala priletne smeri, kjer naj bi ga letalo garantirano sprejemalo, je običajno 20 navtičnih milj od praga steze proti letalu v osi steze, kar je večinoma enako zagotavljenemu dosegu oddajniku ILS sistema.

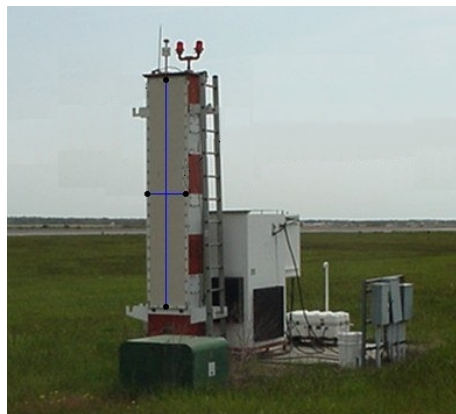
#### 10.9.5 Pokrivanje priletne višine (EL):

Oddajnik priletne višine ima, v nasprotju z ILS, enako razdaljo zagotavljanja signala (20 NM), kot oddajnik smeri.





**Slika 54: Vertikalni doseg signala priletne višine (EL)**



**Slika 55: Primer EL komponente MLS**

Komponenta priletne višine je primerljiva s tisto v sistemu ILS (GP - "glide path"). Edina razlika je ta, da lahko pilot izbira priletne ravnine, tudi do  $15^\circ$  naklona. Sistem navadno skenira vertikalno pod kotom od  $0,9^\circ$  do  $7,5^\circ$ , največ sistemov pa tja do  $15^\circ$ .

### 10.9.6 DME/P

Precizni DME/P: je vedno del MLS sistema, tako kot markerji pri ILS-u. Poleg posebne preciznosti, ki določa razdaljo letala od točne pristanka do 30 metrov natančno, ima DME/P v osnovi dve konfiguraciji delovanja - začetno (IA) in končno fazo prileta (FA). V začetni fazi DME/P omogoča omenjeno natančnost v začetni fazi pristajanja, medtem ko FA zagotavlja ustrezno točnost pri manjši razdalji do DME naprave, to je v zaključni fazi pristajanja ("kratkem finalu"), kar je pomembno ravno zaradi tega, ker omogoča MLS v primerjavi z ILS-om izjemno kratko finalno fazo.



### 10.9.7 BAZ - oddajnik smeri v nasprotno smer steze v uporabi

Funkcija omogoča precizno vodenje odhoda letala v osi steze, ko je to potrebno, uporabi pa se lahko tudi za navigiranje ob neuspelem priletu, za izvedbo procedure ponovnega vzpenjanja na predpisano višino za kasnejši povratak v fazo pristajanja. V praksi BAZ na nasprotni strani steze nima takšnega dometa, kot na originalni strani, pojavijo pa se lahko tudi določene asimetrije v zagotavljeni širini signala na obe strani od podaljšane osi steze.

Točnost MLS sistema: Za najvišjo III. kategorijo preciznega pristajanja znaša točnost +/- 20 ft po smeri in +/- 2 ft po višini.

### 10.9.8 Slabosti ILS sistema, ki naj bi jih MLS popravil

- ILS je v zagotavljanju pravilne priletne smeri učinkovit, če ima letalo pri interceptiranju te pravilne smeri na voljo zadostno razdaljo do steze. Snop signala je za normalno ravnanje letala s smerjo in ravnino na večji oddaljenosti od steze širši - dovolj širok, da se letalo ročno ali z avtopilotom v normalnem nagibu in z normalno priletno hitrostjo s signalom lahko poravnava, ne da bi ga pri tem sekalo in se poskušalo ponovno poravnati z druge strani. Snop obeh oddajnikov oz. komponent smeri in višine se s približevanjem steze oži. Popravki letala po nagibu in kotu smejo tako biti vse manjši. Iz teh razlogov letalo potrebuje minimalno 7 navtičnih milj prostora, da se z ILS-om po obeh komponentah lahko normalno poravnava. V praksi je priporočljivo, da se letalo s smerjo poravnava vsaj dve navtični miljji prej v primerjavi z ravnino, običajno pa letalo priletno smer prestreže nekje med deseto in dvanajsto miljo, priletno ravnino pa nekje med osmo in deveto. Te vrednosti se dejansko nekoliko spreminjajo med posameznimi letališči, točne vrednosti so določene v priletnih kartah. Priletno ravnino letalo ne sme prestreči pred smerjo, ravnino pa lahko prestreže le od spodaj. Iz tega sledi, da ILS od letala zahteva precej dolg "finale" pred pristankom in MLS je ta precizni sistem, s funkcijami ILS-a, ki to razdaljo dejansko zmanjšuje in je zato primernejši za letališča, ki se nahajajo v hribovitem ali goratem območju, kjer zaradi razgibanosti terena standardna (npr. 3 stopinje navzdol) in dolga priletna ravnina ni mogoča.

- Signali, ki jih oddaja ILS antenski sistem, se od tal lahko odbijajo, kar pomeni, da potrebujemo ob letališki stezi in pred njo ustrezno pripravljen, raven, na nekaterih kritičnih mestih pred antenskimi oddajniki celo betonski teren. S tem se formira t.i. ILS senzitivna cona, kjer v razmerah slabe vidljivosti (LVP - "Low visibility" postopkov) na ustrezno povečani razdalji od sistema ne sme nahajati niti avtomobil, ki bi del signala lahko preusmeril ali odbil. MLS naj bi tako bil bolj ustrezen sistem za področja, kjer priprava terena v takšni meri ni smiselna.

- ILS sistem je limitiran na 40 frekvenčnih kanalov, (npr. 110.10, 110.30, 110.50 MHz,...), zaradi česar obstaja večja možnost medsebojnih interferenc v primerjavi z MLS sistemom, ki omogoča 200 kanalov.

- ILS signal je dovzeten tudi za interference, šum in druge motnje, ki nastanejo zaradi drugih frekvenčno moduliranih (FM) oddajnikov, visoke moči, tudi če je njihova frekvenca precej drugačna. Za preprečevanje tega pojava mora sprejemnik ILS-a na letalu vsebovati dodaten FM filter, ki dodatno zmanjša frekvenčno širino sprejema valov in s tem zmanjša interferenčni šum. Redko se zgodi, da sprejemnik na letalu namesto identifikacije ILS sistema ujame celo dele oddajanj kakšne lokalne radijske postaje. To se pri MLS sistemu ne dogaja, saj je frekvenčno območje tega popolnoma drugačno.



V 80-ih letih prejšnjega stoletja je ICAO izdal poziv za razvoj novega sistema, ki bi imel vsaj tako preciznost kot ILS, ne bi pa vseboval slabosti tega sistema.

Razvoj MLS je odpravil vse napake vendar pa se kljub obetavnosti ni razširil, kaj šele zamenjal ILS. Poglejmo nekaj dejstev, ki so preprečili globalno uporaba MLS sistema.

Ravno v času razvoja MLS se je pojavil satelitski navigacijski sistem GPS. Ob vzporednem razvoju je GPS ob drugih sistemih, kot sta GBAS in SBAS, dosegel tak preskok, da ga je bilo moč uporabiti v letalstvu kot dodaten sistem, ki bi že obstoječim sistemom dodal preciznost s pomočjo informacij o dejanski lokaciji sprejemnika. GPS sistemi ne potrebujejo takšne infrastrukture, kot jo potrebuje zamenjava obstoječih ILS sistemov z MLS. V Primeru ILS in MLS sistemov je potrebna postavitve sistema za vsako smer steze posebej, v kateri želimo izvesti prilet. GBAS pa z razliko potrebuje samo glavno postajo nekje na sredi letališča, ki lahko služi za prilete vseh stez hkrati. Takšna namestitvev je hitrejša, enostavnejša pa tudi cenejša kot zamenjava vseh ILS sistemov.

Najprej so namestili nekaj sistemov v Ameriki, vendar pa so jih zaradi predvidene hitrosti razvoja GPS sistemov ukinili. Tako ostaja samo še nekaj MLS sistemov na svetu, največ v Evropi. Londonsko letališče Heathrow ima z MLS opremljene vse smeri obeh stez. Angleška letalska družba British Airways (krajše BA) je vložila veliko denarja v opremo, ki je omogočila pilotom izvajanje MLS priletov. Zaradi natančnosti MLS bi lahko bila separacija med letali veliko manjša v primeru, da bi kontrola pri vektoriranju v prilet spravila dve BA letali v sekvenci, vendar pa so zaradi majhne verjetnosti pojavitve dveh letal z MLS opremo v sekvenci tudi pri BA projekt ovrgli. Tako ILS še danes ostaja najnatančnejši sistem za pomoč pri pristanku v slabi vidljivosti, ki pa ga bo v naslednjih letih verjetno izpopolnil še GPS.

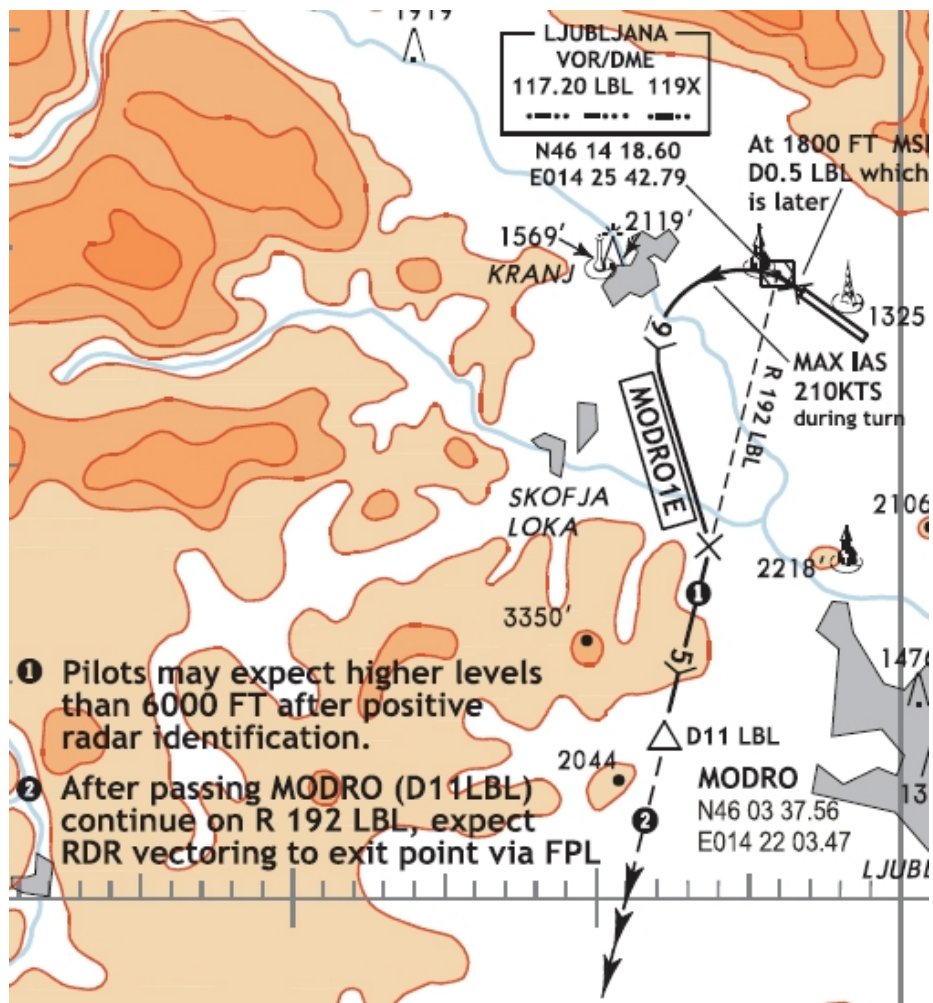
## 10.10 Primerjava NDB in ILS prileta na ljubljanskem letališču

Za raziskavo preciznosti med NDB in ILS priletoma smo v praksi zaradi okoliščin, kot so neustrezna kvalifikacija vseh sodelujočih v raziskovalni nalogi in težke izvedljivosti v realnosti zaradi gostote prometa na mednarodnih letališčih, vzeli Microsoft-ov Flight Simulator 2004. Za primerjavo smo izbrali ljubljansko letališče, ki zaradi visoko standardizirane opreme nudi dobro primerjavo med omenjenima priletoma. Letalo smo zaradi dobre vizualizacije prikaza instrumentov izbrali McDonnell Douglas MD-11, katerega je za to verzijo simulatorja za letenje izdelal proizvajalec PMDG.

Najprej smo izvedli NDB prilet. Že iz teorije smo ugotovili, da NDB pošilja samo informacije o smeri oddajnika in je tako za želeno postavitev v referenci s sredstvom potrebno nekaj vizualizacije s strani pilota.

Po celotni pripravi na testni let smo se odpravili proti stezi 31 (vzlet je potekal v smeri proti Kranju), ki je bila zaradi vetra iz smeri 240° pri moči 9 vozlov tokrat v uporabi. Po vzletu smo sledili novi proceduri MODRO 1E, ki je že zasnovana tako, da za izvedbo ne potrebujemo VOR-a Dolsko.

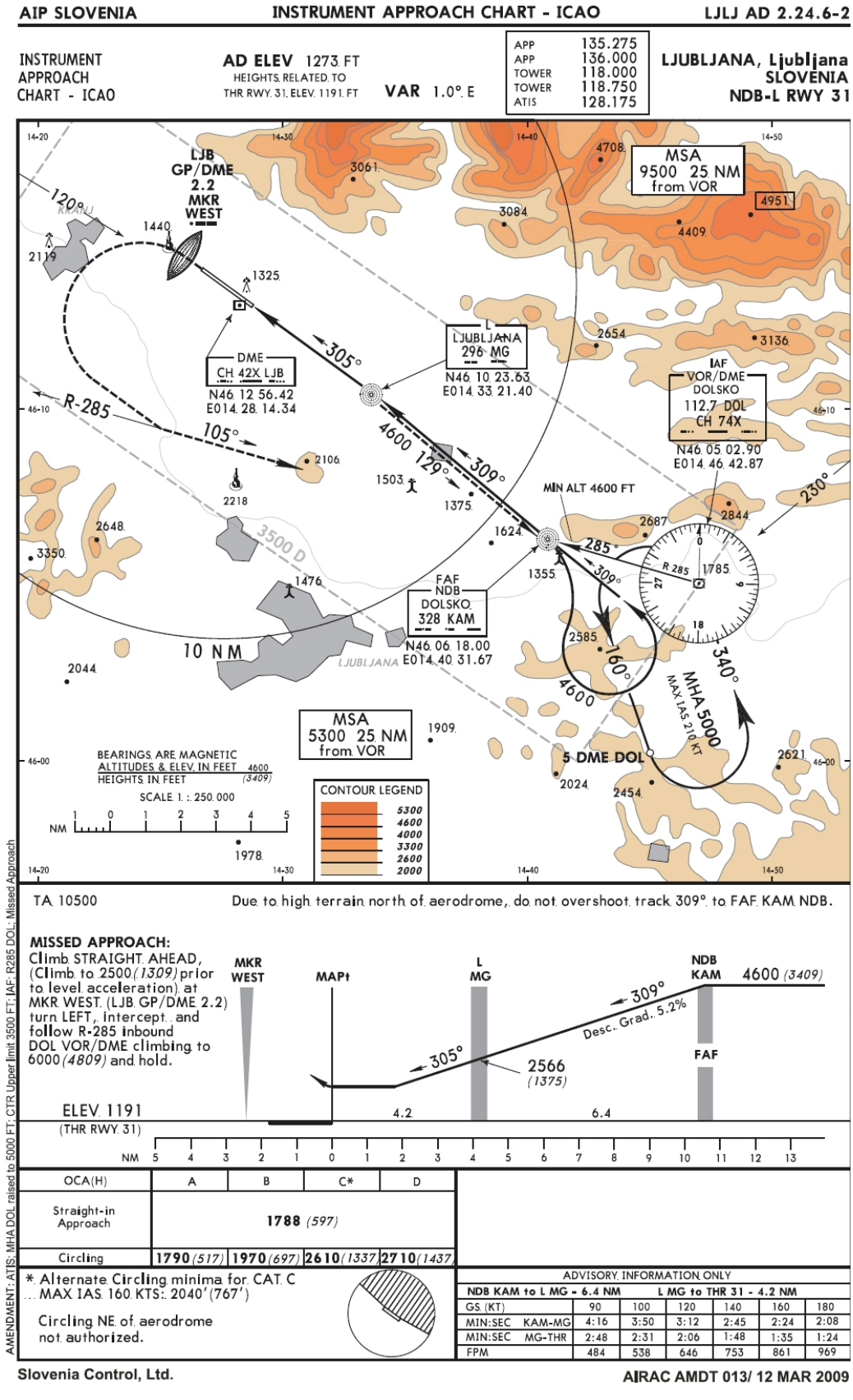




Slika 56: MODRO 1E odhodna procedura

Priletna kontrola nam je po pozitivni identifikaciji po vzletu odobrila let direktno do MG Locatorja in spust iz začetnih 6000 ft na 4600 ft. Po prečkanju MG smo obrnili proti KAM NDB, ki predstavlja točko FAF (Final Approach Fix) – vstopno točko v Final Approach. V tej fazi smo pričeli tudi upočasnjevati iz 250 kts na 157 kts, ki je pri teži 194 ton predstavljala končno priletno hitrost  $V_{ref}$ . Med upočasnjevanjem smo nastavili tudi pristajalno konfiguracijo: zakrilca (»flaps«) na  $35^\circ$  in spustili kolesa. Za neprecizne prilete je pomembno, da imamo do FAF-a pristajalno konfiguracijo, saj mora biti hitrost med samim priletom konstantna, da se izognemo letenju pri napačni hitrosti spuščanja. Pri manjši hitrosti moramo namreč za isti kot spusta zmanjšati tudi hitrost spuščanja, v primeru spremembe hitrosti med samim priletom pa je izvedba same procedure še veliko manj natančna, kot bi lahko bila. Ker pa na karti vidimo, da nas po prečkanju KAM čaka proceduralni zavoj 80/260 za vstop v samo priletno proceduro, moramo imeti pristajalno konfiguracijo pripravljeno že pred samim prečkanjem KAM, da se izognemo napačnim nagibom letala, ki lahko nastanejo med upočasnjevanjem.





Slika 57: NDB instrumentalno priletna karta za ljubljansko letališče



Ker nam letalo že samo izračuna GS hitrost, ki je pomemben pri preračunavanju potrebnih karakteristik leta, lahko s tem podatkom iz tabele na karti razberemo našo hitrost spuščanja (»ROD«) v ft/min.

**Tabela 12: ROD med celotnim priletom in časih med KAM in MG ter med MG in pragom steze 31 v odvisnosti od hitrosti zrakoplova med priletom iz NDB instrumentalno priletne karte (desni spodnji kot)**

ADVISORY INFORMATION ONLY							
NDB KAM to L MG – 6.4 NM				L MG to THR 31 – 4.2 NM			
GS (KT)		90	100	120	140	160	180
MIN:SEC	KAM-MG	4:16	3:50	3:12	2:45	2:24	2:08
MIN:SEC	MG-THR	2:48	2:31	2:06	1:48	1:35	1:24
FPM		484	538	646	753	861	969

Zaradi zanesljivosti računalnikov in sistemov, ki priskrbijo podatke o GS (IRS), nam kot pilotom ni potrebno posebej preračunavati te hitrosti iz indicirane (GS, ki je za preračune še vedno dovolj natančna, dobimo s prištevanjem 2% indicirane hitrosti IAS na vsakih 1000 ft višine:  $GS = 2\% \times IAS \times \frac{alt}{1000} + IAS$ ). Računalnik nam je pri  $V_{ref} = 157$  kts podal  $GS = 170$  kts. Iz tabele lahko razberemo, da bo naš ROD nekje med 861 in 969 ft/min. Ker pa v praksi ne moremo leteti tako natančno, bomo za ROD vzeli kar -900 ft/min. Ker v opombi na vrhu tabele piše, da se naj te vrednosti uporabljajo samo kot vodilo, bomo za kontrolo izračunali še dejanski ROD, ki bi se ga naj med priletom držali.

$$ROD = gradient \times GS$$

$$ROD = 5,2 \times 170 kts$$

$$ROD = 884 ft / min$$

Zaradi pretvornika med miljami-čevlji in urami-minutami, lahko iz 5,2% gradienta spuščanja, ki ga dobimo na karti, uporabimo samo vrednost 5,2 in jo pomnožimo z našo GS, da dobimo ROD. Vidimo, da bo vrednost -900 ft/min iz tabele zadovoljiva.

Ko se nam ADF igla odkloni za 30° vemo, da preletavamo NDB in takoj začnemo s spuščanjem. Obrnemo proti MG in pazimo na vse parametre: umetni horizont, hitrost, ROD, smer, spremljamo pa tudi višino. Publicirana višina ob prečkanju MG je 2566 ft. Ob prečkanju MG pa smo prileteli nekoliko visoko, saj nam je višinomer kazal 2650 ft. Ker nimamo višinskih kontrol na vsaki milji, moramo po občutku, ki ga dobimo z izkušnjami, ROD povečati samo za kratek čas.

Obrnemo v QDR 305° od MG in počasi znižamo ROD nazaj na -900 ft/min. nadaljujemo s spuščanjem do MDA. Kot piloti moramo vedeti, da je minimalna MDA za NDB prilet 300 ft nad višino steze, ker pa nam na karti piše minimalna višina nad vsemi ovirami (OCA) 1788 ft in če steze ne vidimo, se pod to višino v nobenem primeru ne smemo spustiti. Vrednost bomo zaokrožili navzgor in dodali za rezervo še 50 ft, da dobimo MDA 1850 ft. Tako bomo še zdaleč nad OCA, da pa je ne bomo slučajno prebili, bomo na višini 2000 ft pogledali ven. Če





stezo vidimo, bomo s spuščanjem nadaljevali, v nasprotnem primeru bomo pa imeli še dovolj čas za izvedbo instrumentalne procedure neuspelega prileta.

Ob prečkanju 2000 ft zagledamo stezo nekoliko na desno. PAPI luči ob straneh steze nam kažejo dve beli in dve rdeči, kar pomeni, da letimo na pravšnji ravnini prileta  $3^\circ$ .



**Slika 58: Pogled skozi okno pilotske kabine na MDA med NDB priletom**

Od letališke kontrole dobimo dovoljenje izvedbe publicirane procedure neuspelega prileta (»MAP«). Začnemo s postopkom izvedbe procedure neuspelega prileta (»Go Around« ali krajše »G/A«): povečamo potisk motorjev na G/A limit, ki tokrat znaša 107.9% N1 (hitrost vrtenja nizkotlačne turbine v motorju), dvignemo nos letala na  $22^\circ$ , da obdržimo konstantno hitrost pri danem potisku, ob pozitivnem dvigovanju dvignemo zakrilca na  $28^\circ$  in po preverjanju pospravimo kolesa. Na koncu obvestimo še kontrolo in po prečkanju MKR WEST (v Ljubljani je to Inner Marker ILS procedure) obrnemo v smer  $125^\circ$  ter nadaljujemo z dviganjem na višino 6000 ft. Nadaljujemo s pospeševanjem in pospravimo zakrilca. Med zavojem nas letališka kontrola preda priletni in po pozitivni identifikaciji nas kontrolor z vektoriranjem usmeri v ILS prilet.

Med časom, ko nas kontrolor vektorira, spustimo predkrilca in se lahko pripravimo na izvedbo samega prileta. Oglemdo si karto (glej naslednjo stran) in pripravimo letalo za samo proceduro. Nastavimo frekvenco in smer ILS sistema: 110.5 MHz in smer  $305^\circ$ . Ker je priletni kot isti, kot je bil pri NDB, bo tudi tokrat ROD  $-900$  ft/min, kar nam potrjuje tudi tabela v desnem spodnjem robu karte. Ker je ILS precizen prilet, nam ta podatek služi zgolj kot referenca pri začetku spusta, kasneje bomo ROD prilagajali odstopanju GS, ki nam ga zagotavlja ILS. Ker bomo proceduro odleteli na roke, nam proizvajalec ne pusti letenja v slabših pogojih, kot so predpisani za kategorijo CAT II, zato nastavimo minimume za CAT II prilet (kategorija D): 99 ft nad letališčem. V primeru, da bi bilo vreme slabše, bi moral pristanek izvesti avtopilot.





**Slika 59: Prikaz ILS signalov na zaslonih modernih letal**

Iz karte lahko razberemo, da bomo s spuščanjem začeli na točki BASTA. Kontrolor nas spusti na 4000 ft, da bomo lahko GS prestregli od spodaj, saj je to veliko lažje, po drugi strani pa se izognemo nevarnosti, da bi prestregli napačen GS žarek (pojavijo se pri dvokratnikih pravega žarka). Zadnji zavoj sledi pod 30° na localizer, kar omogoča optimalno prestrezanje. Zakrilca nastavimo na 28°, prestrežemo localizer in počakamo, da se GS spusti na eno ali pa eno piko in pol nad dejanskim kotom spuščanja in spustimo kolesa. ko so kolesa spuščena, nastavimo še zakrilca na pristajalno pozicijo 35°. Ves čas spremljamo umetni horizont, hitrost, ROD, predvsem pa pazimo na najmanjše deviacije od sredine localizer in GS ter jih kompenziramo. Ko se nam oglasi OM, še posebej pozorno preverimo hitrost, točnost prileta in višino (2566 ft). Precizen prilet nam v nasprotju z nepreciznim dovoli prečkanje točke odločitve, ki se tukaj imenuje DH («Decision Height»). GPWS – računalnik za opozorilo približevanja terenu – nas opozori, ko smo 100 ft nad DH. Ko prečkamo višino 1290 ft nad morske višine (99 ft nad stezo, ki ima elevacijo 119 ft), zaslišimo »minimums«. V tem trenutku pogledamo ven. Vidljivost je dobra (8 km), baza oblakov pa je tudi na 3300 ft nad letališčem, zato stezo vidimo in pristanemo.



**Slika 60: Pogled na stezo 31 v Ljubljani ob prečkanju minimumov ILS CAT II ročnega prileta**



**Tabela 13: Ugotovitev med primerjavami**

<b>ILS</b>	<b>NDB</b>
Večja preciznost	Sestavlja ga manj komponent in je za izpad sistema manj možnosti (pri ILS morajo delovati localizer, GS in markerji)
Lažja izvedba procedure	
Nižji minimumi – večja možnost uspešnega pristanka	
Večja varnost	
Boljša kvaliteta signalov	
Možnost avtomatiziranega pristanka	
Večji pretok prometa na letališču (piloti lahko javljajo točno razdaljo od steze)	
Lažja vizualizacija lokacije letala	
Lažji vstop v proceduro (ni standardnega 80/260 zavoja)	

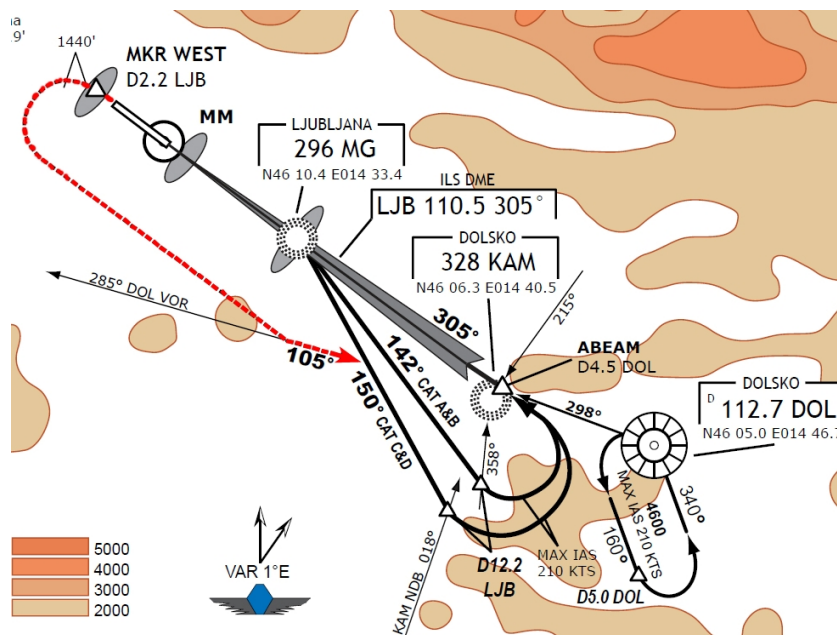
Kot smo v praksi ugotovili, nas bi ILS sistem privedel tik do steze pod pravilnim kotom 3°, vendar zaradi varnosti zakon še vseeno zahteva vizualno potrditev pred pristankom, da se pristajalna steza tam dejansko nahaja. Zaradi nepreciznosti samega NDB sredstva tudi skala ADF instrumenta ne more biti tako natančna, kot je pri ILS, kjer odstopanje celotne skale predstavlja deviacijo 2.5° od sredine localizerja. Posledično nas je MG locator, sestavni del NDB priletne procedure v Ljubljani, pripeljal na levo stran od sredine steze 31, v smeri katere smo izvajali prilet. Minimumi so z razlogom precej višji kot pri ILS, saj lahko zaradi velikih deviacij pilot pri NDB priletu zaide stran od začrtane poti, kjer pa se že lahko približa oviram. Po drugi strani pa se čas, ki je na voljo za poravnavo letala s stezo, manjša z bližanjem steze.

Preciznost ILS je tista lastnost, ki ga odlikuje in mu je tudi omogočila globalno razširitev. Zaradi enostavnosti uporabe in hkrati ogromne natančnosti se je ILS razširil na večino malo večjih letališč, ki zagotavljajo instrumentalne prihode in odhode.

### **10.11 Primerjava stare in nove procedure neuspelega prileta (MAP) v Ljubljani**

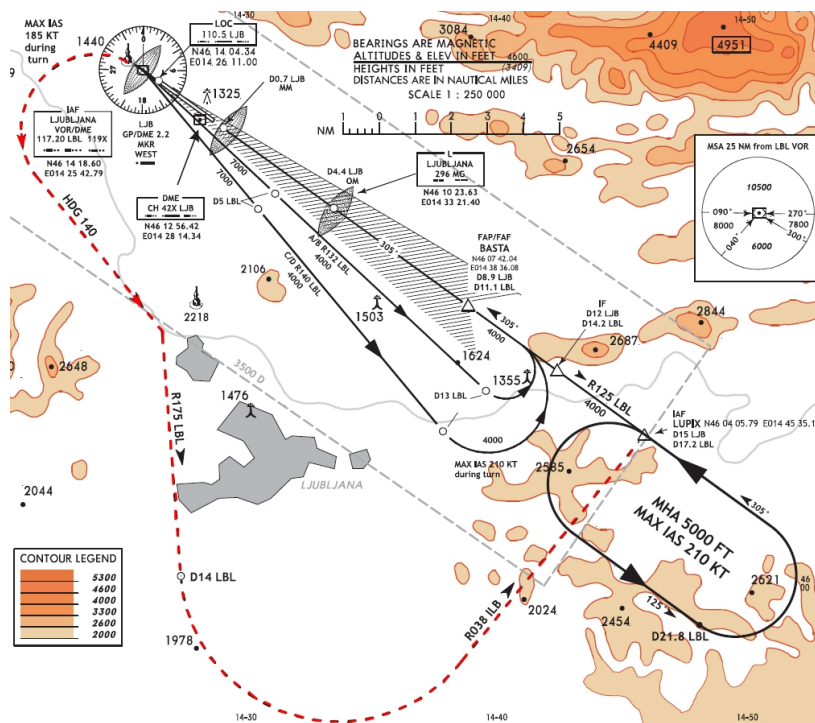
Stara procedura za neuspeli prilet (MAP) v Ljubljani je bila sledeča. Po prečkanju MKR WEST je pilot z levim zavojem obrnil v smer 125° in potem prestregel radial 285° proti DOL VOR-u, nad katerim je vstopil v holding.





**Slika 61:** Z rdečo je označena stara MAP procedura na ljubljanskem letališču

Zaradi enojnega levega obrata je to predstavljalo povečanje dela med razvrščanje zaradi letal v ILS priletu, zato so proti koncu poletja leta 2008 z namestitvijo novega D-VOR LBL, ki je takrat deloval še na frekvenci 117.65 MHz (danes na 117.20 MHz) proceduro spremenili, tako da je za pilote in kontrolorje primernejša.



**Slika 62:** Nova MAP procedura označena z rdečo barvo brez DOL VOR

Iz karte lahko vidimo, da nas radial 175° od LBL VOR-a pripelje daleč stran od ILS kar omogoča vstop drugih letal v ILS tudi med proceduralno kontrolo.

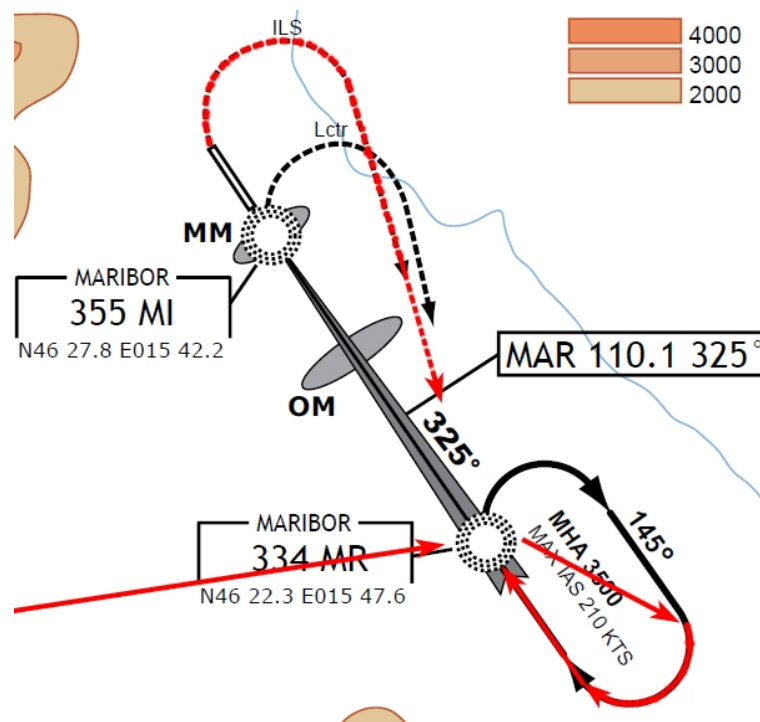


V prihodnosti bi lahko za povečanje varnosti in pretoka prometa uvedli še holding na določeni poziciji od LBL VOR. Iz zgornje karte vidimo, da se proti LUPIX-u začnemo obračati na 14 NM radiala 175° od LBL. To je po mojem mnenju zaradi ugodnega prostora in odmaknjenosti od osi steze dobra lokacija za uveljavitev novega holdinga.

## 10.12 Primerjava MAP in proceduralni zavoj v ILS v Mariboru

Ob prenovi vzletno-pristajalne steze v Ljubljani v letu 2010 so se nekateri letalski prevozniki odločili, za obdobje štirinajstih dni, kolikor je bilo letališče zaprto, prestaviti svojo bazo na letališče Maribor. Zaradi predvidenega povečanja števila prometa, je bilo treba nekoliko spremeniti letališke procedure, da so omogočale čim večjo pretočnost prometa s čim manj zamudami, ki so pri proceduralni kontroli, kakršna je v Mariboru, večje. Alternativa bi dolgoročno lahko bila postavitve dodatnih SSR radarjev, ki bi zagotovili pogoje in možnost vektoriranja, vendar pa se to zaradi majhnega zračnega prostora in bližine meje našega zračnega prostora, zaradi česar bi morala letala v velikokrat vseeno izvajati publicirano proceduro, ni splačalo. Procedure so se po vnovičnem odprtju letališča Ljubljana zaradi samih prednosti v primerjavi s starimi obdržale.

Za poglavitno spremembo so se odločili pri ILS proceduri, pri kateri je bilo najprej potrebno odleteti t.i. »theardrop« vstop v holding, iz katerega se je nato vstopilo v ILS.

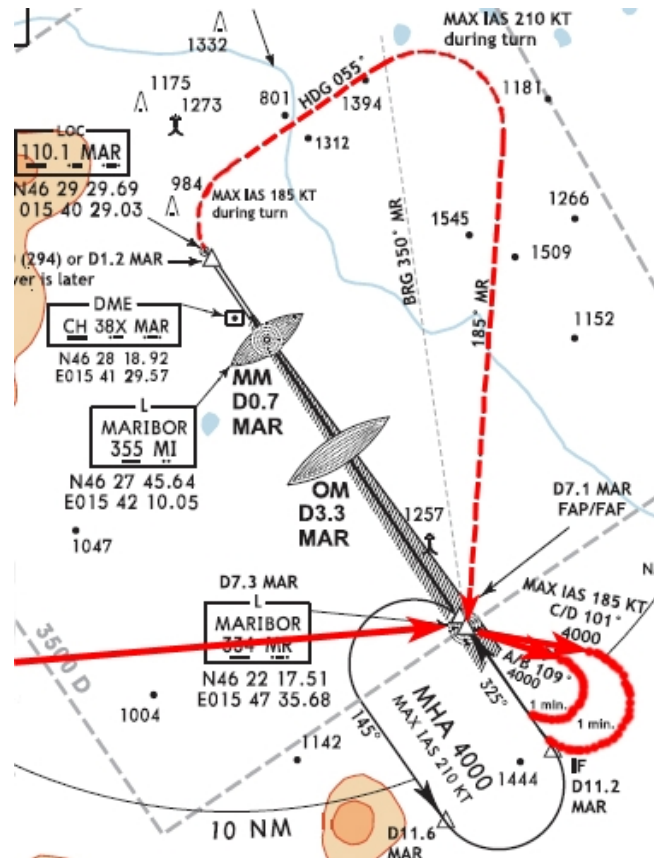


**Slika 63: Stara procedura vstopa v ILS in njegova procedura neuspelega prileta v Mariboru**

Iz zgornjega odrezka karte lahko opazimo naslednji dve stvari. Letala, ki prihajajo iz zahoda (skozi točko VALLU), iz koder jih je tudi največ, morajo najprej po vzoru »theardrop« vstopa v holding nad MR locatorjem zaviti v smer 115° (za 30° manj kot zunanji del holdinga – 145°), po eni minuti pa se v desnem zavoju vključiti v holding in nato v ILS. Druga stvar, ki bi



povzročila veliko zamud pri velikem prometu, pa je izvajanje procedure neuspelega prileta – črtkana črta (»Missed Approach« – letenje po publicirani procedura pa MAP). MAP namreč pelje zelo blizu samega localizerja in tako zaradi zagotavljanja separacije prepreči vstop v ILS drugemu letalu, ki ga mora tako počakati na višjem višinskem levelu.



**Slika 64: Nova ILS procedura v Mariboru**

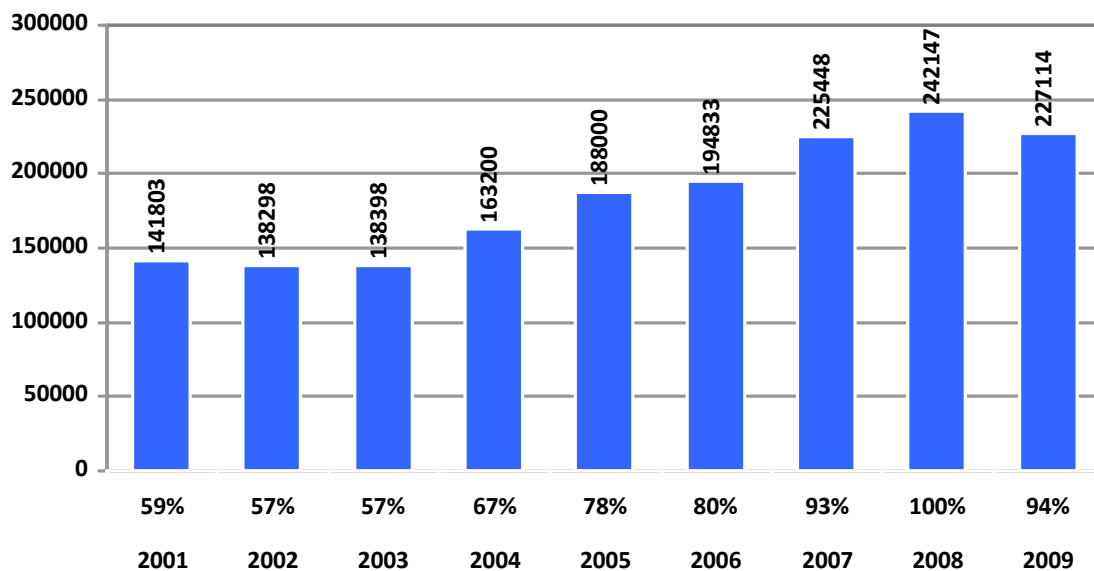
Vidimo lahko, da so sam vstop v ILS pilotom precej olajšali, saj morajo leteti samo po predpisani smeri za 1 min, odvisno od hitrosti letala. Če ima letalo priletno hitrost  $V_{ref}$  manjšo od 120 vozlov, mora pilot odleteti ožjo proceduro, v kolikor pa je  $V_{ref}$  večja, pa širšo. Največjo prednost pa prinaša MAP, saj je razlika med letalom, ki izvaja MAP in tistim, ki izvaja ILS  $60^\circ$ , kar je v proceduralni kontroli več kot zadosti za ustrezno separacijo letal in lahko tako drugo letalo vstopi v ILS takoj za predhodnim.



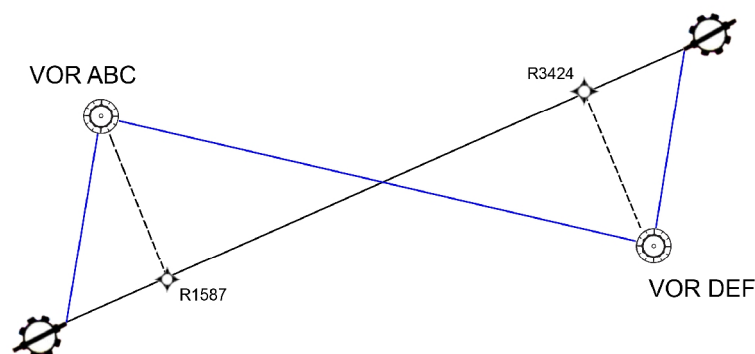
### 10.13 Vpliv povečanja prometa na navigacijo (v Sloveniji)

Število letal se povečuje iz leta v leto, kar nam za Slovenijo prikazuje spodnji graf rasti prometa med leti 2001 in 2009 (podatki so pridobljeni iz letnega poročila KZPS, d.o.o. iz leta 2009).

Graf 1: Celoten promet po letih, na odstotkovno referenco za leto 2008:



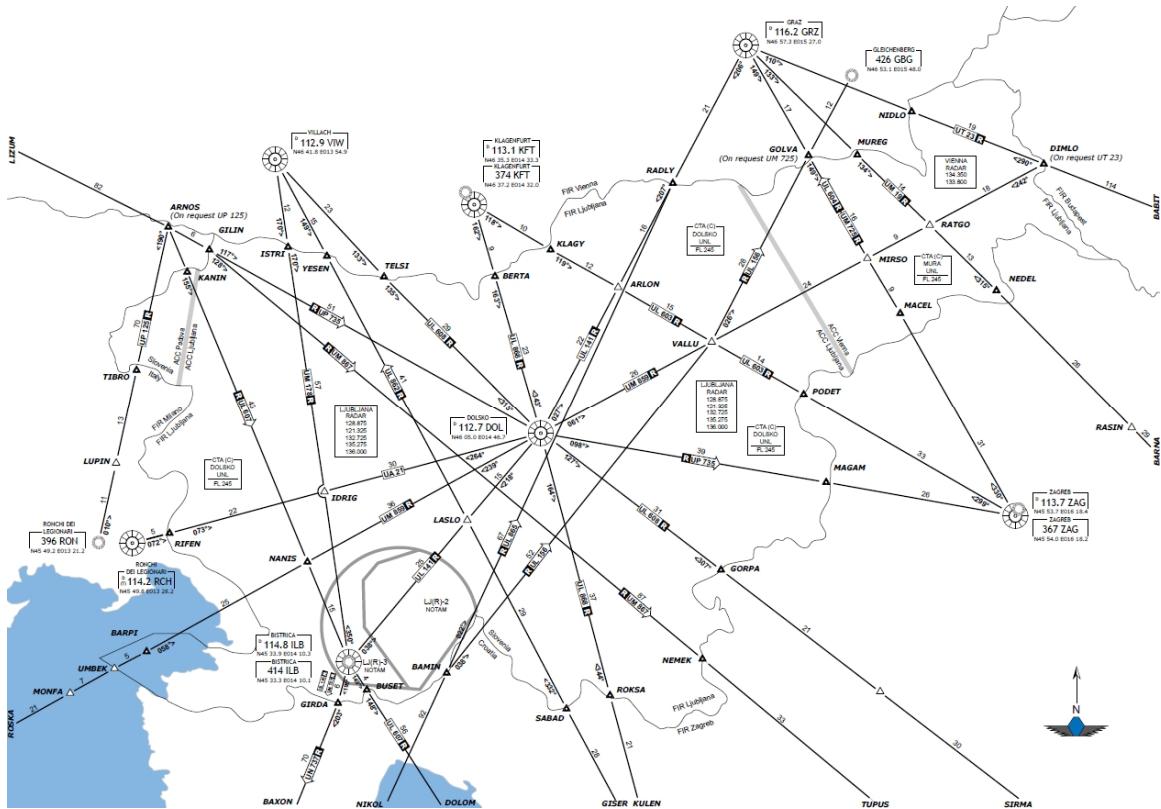
Da bi zagotovili večjo pretočnost skozi zračne poti ob enaki meri varnosti, se je uporaba R-NAV navigacije v komercialnem letalstvu zelo razširila. R-NAV je območna navigacija, ki zagotavlja letenje od točke (ali letališča) A do točke B s podajanjem točk na direktno ruto, ki predstavljajo projekcijo VOR-a na to ruto in ne preko VOR-a ali drugih oddajnikov, kot je to navada pri klasični navigaciji.



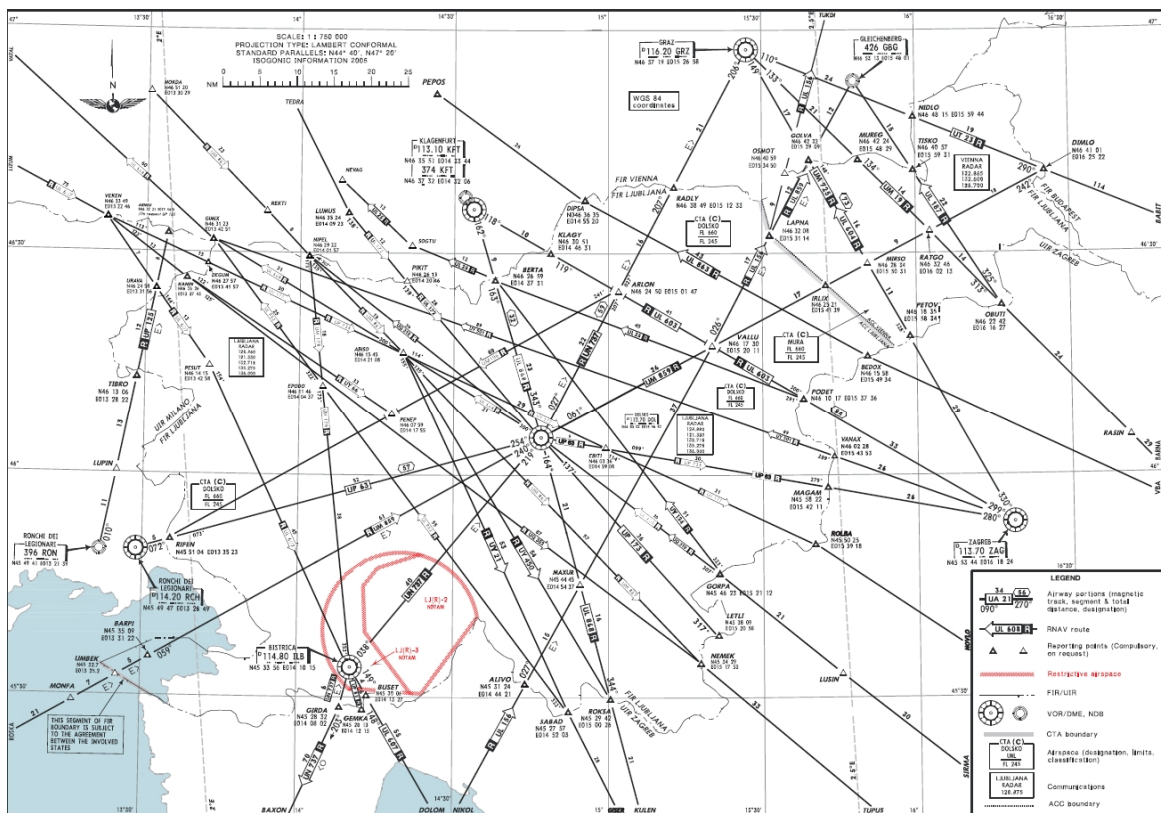
Slika 65: R-NAV pot (črna ruta) in klasična pot (modra ruta)

Računalnik ima v bazi podatkov lokaciji obeh VOR-ov, iz česar lahko izračuna dve točki, ki predstavljata (v tem primeru) pravokotno projekcijo teh dveh VOR-ov na direktno ruto med letališčema. Opazimo, da smo dobili dve točki z imenoma, ki nam ne povesta nič. Imena teh točk namreč kreira računalnik sam, da v spominu najde pravilno lokacijo le-teh.





Slika 66: Slovenski zračni prostor leta 2006



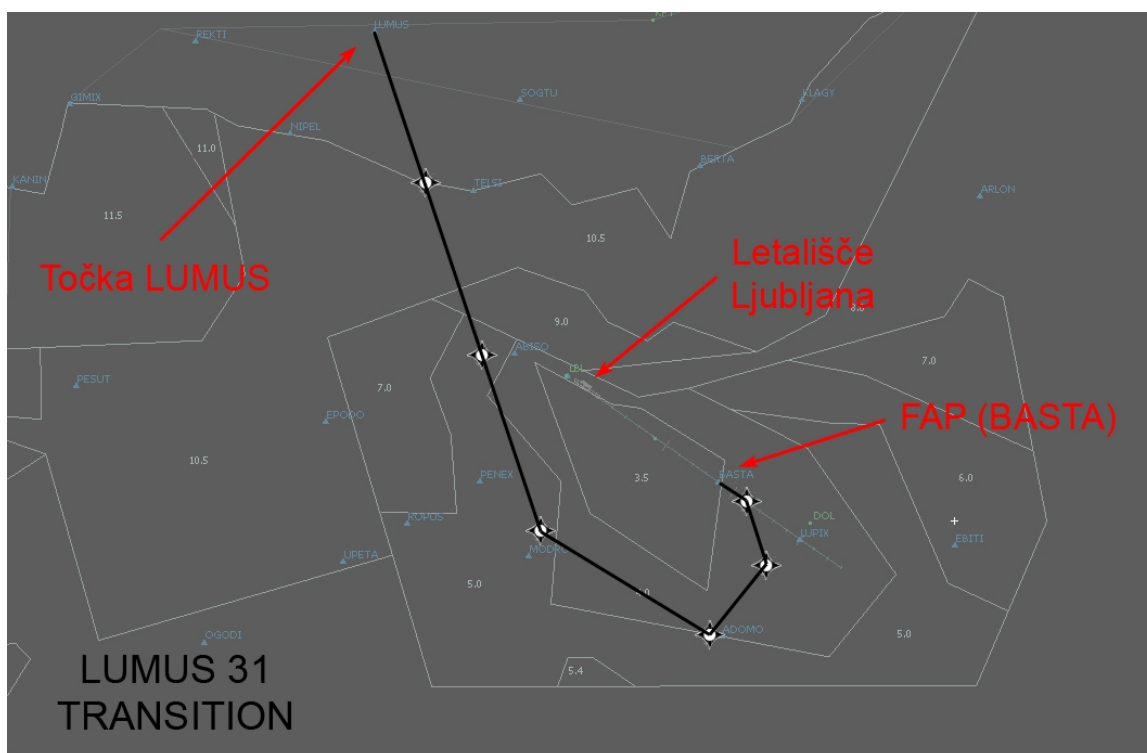
Slika 67: Trenuten izgled slovenskega zračnega prostora





R-NAV je omogočila uporabo številnejših rut kakor v preteklosti, saj lahko letala letijo natančneje. Po drugi strani pa to ni vedno najbolje. Če si zamislimo, da dve letali istočasno letita proti istemu VOR-u na isti višini z R-NAV navigacijo in da odpovejo vsi varnostni sistemi, ki skrbijo za preprečevanje konfliktov v zraku pri kontrolorjih, kot tudi v obeh letalih samih, potem jih bo precizna navigacija pripeljala na samo nekaj metrov razlike. V primeru, da je na obeh letalih manj natančna navigacija, t.j. klasični navigacijski instrumenti kot tudi npr. starejši višinomeri, pa bodo odstopanja večja, skupaj z minimalno vertikalno separacijo, kot posledico (npr. 2000 ft, namesto 1000 ft v RVSM prostoru). Vendar pa se je precizna navigacija razvila z namenom, da bi zagotovila manjšo možnost odstopanj od predvidenih delov procedur v kritičnih delih leta, kot so odhodi in prihodi na letališča. Z moderno RNP navigacijo, ki je v bistvu nadgradnja R-NAV, saj nam nudi informacijo o dejanskem odstopanju od rute in je klasificirana v več preciznih razredov, ki se razlikujejo od faze leta, lahko na teh odsekih dosežemo preciznost tudi do 0.3 NM izračunane rute (pri tem se ne šteje letenje s pomočjo signalov radionavigacijskih sredstev na tleh, ki pa se navsezadnje uporabljajo za posodobitev preciznosti teh sistemov). s tem razlogom se RNP na križarjenju poveča na 4 NM, na velikih in odročnih predelih sveta s proceduralno kontrolo, npr. oceanih, pa celo na 10 NM.

Na mnogih letališčih se je s prihodom R-NAV uveljavilo veliko procedur, imenovanih tranzicije (»transition«), ki predstavljajo pot letala, ki bi jo drugače pilot izvedel pod ukazi kontrolorja, s tem pa se zmanjša pritisk na kontrolorje in posledično poveča sama varnost letenja. Po zgledu drugih večjih letališč v tujini lahko sklepamo, da bomo tudi v Sloveniji v prihodnjih letih dobili tranzicije. Oblike posameznih tranzicij lahko trenutno samo predvidevamo s pomočjo vektorjev, ki jih dajejo realni kontrolorji letalom, ki pristajajo v Ljubljani. Primer oblike tranzicije v prihodnosti iz točke LUMUS, preko katere vstopajo letala v slovenski zračni prostor s severa in severozahoda.



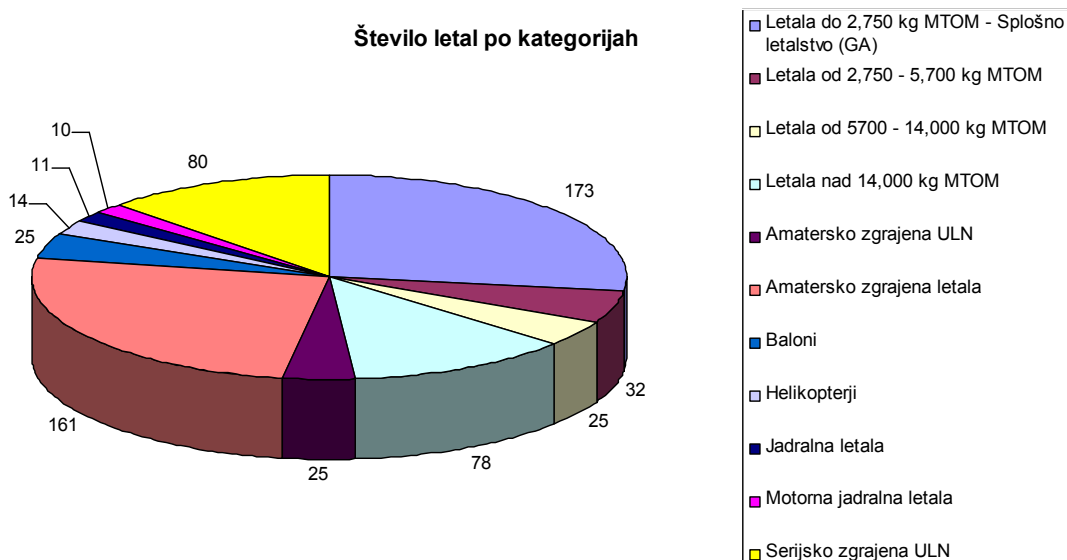
Slika 68: *Potencialna LUMUS tranzicija v Ljubljani*



Zavedati se moramo, da letala splošnega letalstva niso sposobna odpeljati R-NAV rut, kaj šele procedur, ker je za to pač potrebno ogromno opreme in različnih ter kompliciranih sistemov tudi na letalu, ki med sabo ves čas komunicirajo. Zaradi tega razloga je nujno potrebno zagotoviti trenutne procedure ali pa narediti rezervne po namembnosti uporabe, ki bi služile letalom splošnega letalstva in letalom, katerim bi odpovedali sistemi za R-NAV navigacijo.

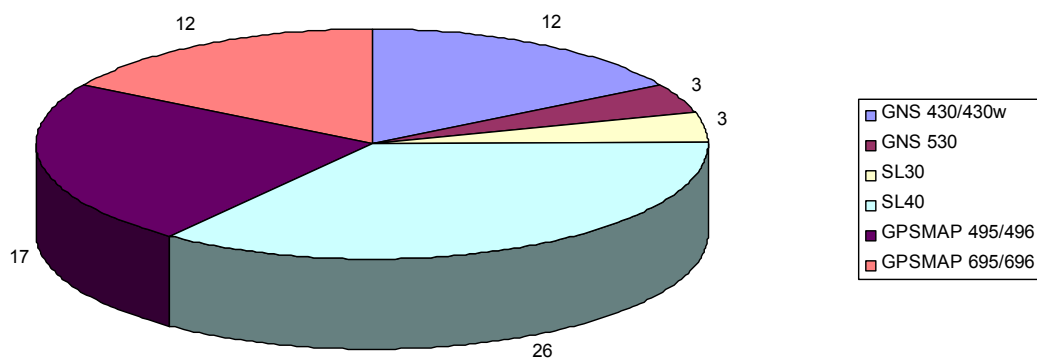
**Graf 2: Razširjenost GPS in GNS sistemov v slovenskem splošnem letalstvu**

Graf prikaza števila letal v posameznih kategorijah



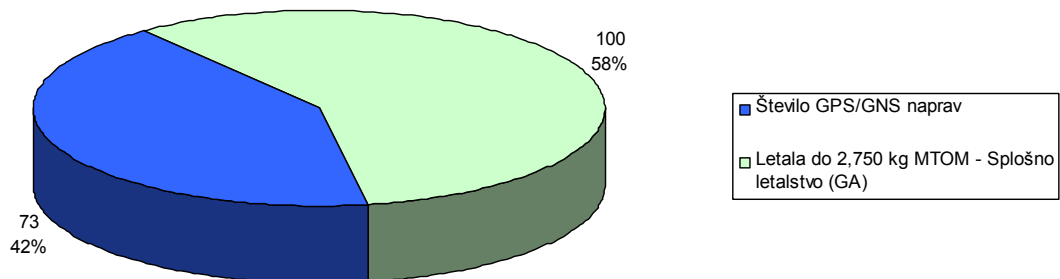
**Graf 3: Prikaz števila vgrajenih različnih satelitskih sistemov GPS in GNS v letala splošnega letalstva (GA) – do največje dovoljene vzletne teže 2,750 kg:**

Število letal GA z vgrajenimi GPS/GNS sistemi



**Graf 4: Pimerjava števila vseh letal GA in letal v kategoriji GA, ki imajo dejansko nameščene GPS ali GNS sisteme**

Število letal GA z vgrajenimi GPS/GNS sistemi



Čeprav so ILS, VOR in ADF instrumenti standardizirani in brez njih kontrola ne bo odobrila leta v kontroliranem zračnem prostoru, je po različnih letalskih klubih še veliko letal brez teh instrumentov, ki pa jim je dovoljeno letenje v nekontroliranem zračnem prostoru. Zaradi tega dejstva je skoraj nemogoče dobiti natančen podatek o številu letal GA, ki imajo dejansko vgrajene te instrumente.

Ugotovimo lahko, da je število letal v GA, ki imajo vgrajene GPS in GNS sisteme, relativno majhno, saj je takih dobrih 40%. Razlog verjetno tiči v tem, da uporaba teh sistemov pri letalih, ki skoraj izključno letijo po pravilih vizualnega letenja (VFR), ni potrebna, saj je za VFR letenje potrebna priprava rute na karti doma, katero nato vzamemo s sabo na let. Na njej je vse, kar pilot potrebuje za uspešno izvedbo leta, tako da večina lastnikov letal ni pripravljena vložiti denarja v to relativno drago investicijo.



## 11 ZAKLJUČNE UGOTOVITVE, SKLEPI

Ugotovili smo, da lahko moderni navigacijski sistemi bistveno pripomorejo k varnosti v letalstvu. Zavedanje posadke o stanju letala, kamor spada tudi pozicija, smer letenja, kot vzpenjanja ali spuščanja, pravilna - varna višina in hitrost, so že ves čas eni ključnih elementov letenja. Vzdrževanje zelenih parametrov s pomočjo računalnikov, hitro zaznavanje morebitnih napak v sistemih, je z napredkom tehnologije samih sistemov na letalu in radionavigacijskih napravah na tleh, v zadnjem desetletju postalo še zanesljivejše. Moderna potniška letala vsebujejo instrumente z minimalnimi tolerancami odstopanj indikatorjev. Pilotom prijaznejši in logični prikazovalniki posadki omogočajo boljše vodenje leta z usmerjanjem pozornosti na prave stvari, ob pravem času.

Teza 1, da je ILS najbolj optimalen sistem, se je potrdila preko zaključnih ugotovitev, tabele 13 in primerjave v točki 9.8. Stožci tišine so pri radionavigacijskih sredstvih lahko moteči, smo ugotovili v točkah 6.4 in 7.2.3 in da ne vplivajo bistveno na izvajanje postopkov, se je potrdilo z izračunom v točki 9.2. - kjer je bilo prikazano, kako kratek je dejansko ta čas letala v stožcu tišine. V tako kratkem času se s smerjo letenja ne more zgoditi kaj bistvenega, če je pred tem poravnava z radialom bila pravilna. Nekateri avtopiloti začnejo zavoj na naslednjo točko že malo prej, pri klasični IFR navigaciji pa se načeloma počaka, da sredstvo nedvomno preletimo. Ker moderni FMC-ji, sposobni RNAV navigacije, smatrajo sredstva tudi kot navadno točko (waypoint) s koordinatami, stožci tišine zares načeloma ne predstavljajo težav. DME naprave na pogladi zemeljske hitrosti preračunavajo tudi čas do preleta sredstva in če signala zadnje npr. pol minute do preleta nimamo, to ne spremeni predvidenega časa preleta sredstva.

Trenutno na letališču Ljubljana poteka premeščanje VOR-a Dolsko na portoroško letališče, kjer je sedaj na voljo le oddajnik Locator, na prvotno mesto Dolskega pa bo nameščen povsem nov DOL VOR oddajnik. Začasen izpad enega VOR signala za pilote ne bo predstavljal večjih sprememb (teza 4) med postopkom prihoda in prileta, saj je na letališču nameščen še en novejši VOR LBL, prvi pri nas, ki za delovanje delno uporablja tudi Dopplerjev princip. Poleg tega se v času menjave DOL VOR-a večinoma pričakuje radarsko vodenje letal ali vektoriranje s strani kontrole letenja do točke, kjer se letalo samodejno postavi na priletno ravnino ILS-a. Ta način se neglede na menjavo VOR-a že v osnovi najbolj pogosto uporablja za prihode na ljubljansko letališče, zlasti ko publicirani postopki ob istočasnih prihodih z večih smeri ne bi bili optimalni. Kvalitetno vektoriranje letal pa ravno povečuje optimalnost ob večjem prometu in izboljšuje ekonomično in hkrati varno sekvenca prihodov letal v ILS.

Vektoriranje je sicer pogojeno z delovanjem sekundarnih radarjev - SSR. Ti od radarskih odzivnikov na letalu prejemajo podatke o trenutni višini letala in kodi, ki jo na letalu nastavi pilot. Tej dodeljeni kodi računalnik kontrole letenja dodeli v naprej, z načrtom poleta družbe ali pilota, najavljen klicni znak. Oboje je osnova za radarsko vodenje letala. Brez tega so piloti omejeni na letenje objavljenih postopkov na letalskih kartah, ki so del aeronavtične publikacije (AIP). V primeru izpada določenega SSR radarja, se kapaciteta zmožnosti vektoriranja in s tem pretočnost zračnega prostora nekoliko zmanjša.

Moderna potniška letala so večinoma sposobna leteti RNAV navigacijo, kar pomeni, da lahko do točke, kjer bi moral delovati VOR, pridejo tudi z vnosom le-te v FMC računalnik, saj je točka ves čas vpisana v njegovi bazi in se obnavlja z rednimi popravki (AIRAC). Začasne spremembe v procedurah bi tako bile najbolj občutne v primeru popolne postopkovne (proceduralne) kontrole v primeru ne-delovanja večih SSR radarjev, kjer bi do izraza prišel začasno spremenjeni postopek čakanja (holding), namesto nad Dolskim, nad približno eno navtično miljo oddaljeno točko LUIX. Pot do točke LUIX lahko v primeru klasične



navigacije zahteva interceptiranje večih radialov v relativno kratkem času, je pa njena prednost ta, da je po koncu čakanja vstop v ILS lažji, saj točka leži na podaljšani osi steze oddajnika priletne smeri ILS, DOL VOR pa je z njo zaradi lege radionavigacijskega sredstva nekoliko paralelno zamaknjen.

V primeru uporabe klasične navigacije pride v poštev znanje prestrezanja radialov po KLM metodi (teza 3), ki pa je pri velikih kotih trenutnega in zadanega radiala včasih neoptimalna v primerjavi z radarskim vektoriranjem.

Ob instrumentalnem priletu na letališče piloti v 99% primerih uporabljajo ILS sistem, ki jih vodi čisto do praga steze tudi v zelo slabih vremenskih pogojih. Sistem ima zaradi svojega frekvenčnega območja nekaj manjših pomanjkljivosti, največje nevšečnosti lahko predstavljajo interference z drugimi radijskimi signali, a se je izkazal za najbolj enostavnega. Zaradi modernega načina prikazovanja odmika od priletne smeri ni višine je sledenje pravilni ravnini veliko bolj enostavno v primerjavi z ostalimi možnostmi. V 90-ih letih prejšnjega stoletja so izumili nov MLS sistem, ki je odpravil vse napake ILS, ampak je napredek GPS satelitskih sistemov, ki zagotovijo večjo preciznost kot že obstoječim ILS sistemom, ceneji ter hkrati enostavni namestitvi izpodrinil možnost zamenjave ILS z MLS sistemi.



## 12 Zahvala

Zahvaljujem se mentorju g. Jožetu Lukancu in somentorju g. Vitu Persogliu, za veliko vzpodbudo, usmerjanje, pomoč pri idejah in zbiranju podatkov skozi celotno izdelavo raziskovalne naloge. Zahvalil bi se tudi g. ravnatelju Simonu Konečniku za idejo in vzpodbudo ter vsem ostalim, ki so kakorkoli pomagali pri izdelavi raziskovalne naloge.

## 13 Viri

- [1] Airbus, S.A.S, Flight Operations Support & Line Assistance (STL): Getting to grips with modern navigation; Blagnac, 2002
- [2] Jeppesen Sanderson: Radio Navigation, JAA ATPL Training; Neu-Isenburk, Jeppesen GmbH, 2007
- [3] Jeppesen Sanderson: General Navigation, JAA ATPL Training; Neu-Isenburk, Jeppesen GmbH, 2007
- [4] Jeppesen Sanderson: Air Law, JAA ATPL Training; Neu-Isenburk, Jeppesen GmbH, 2007
- [5] Dominik Gregl: Letalski razlagalni slovar z ustreznici v angleščini; Ljubljana: samozal, 2009
- [6] Alenka Kukovec: Angleško-slovenski letalski slovar = English-Slovene aviation dictionary; Ljubljana: Republiška uprava za zračno plovbo; 1994
- [7] Alenka Kukovec: How do you read (me)?; Ljubljana DIOM, 2010
- [8] Garmin International, Inc: Tehnična dokumentacija GPSMAP 695/696; Olathe, 2008
- [9] [http://en.wikipedia.org/wiki/Radio\\_navigation](http://en.wikipedia.org/wiki/Radio_navigation) [11.01.2011]
- [10] [http://www.pilotfriend.com/training/flight\\_training/nav/navigation.htm](http://www.pilotfriend.com/training/flight_training/nav/navigation.htm) [11.01.2011]
- [11] [http://www.pilotfriend.com/training/flight\\_training/flt\\_school.htm](http://www.pilotfriend.com/training/flight_training/flt_school.htm) [11.01.2011]
- [12] [http://www.pilotfriend.com/training/flight\\_training/radnav.htm](http://www.pilotfriend.com/training/flight_training/radnav.htm) [11.01.2011]
- [13] <http://www.historynet.com/lawrence-sperry-autopilot-inventor-and-aviation-innovator.htm> [09.01.2011]
- [14] <http://www.navfltsm.addr.com/howitbegan.htm> [09.01.2011]
- [15] <http://www.airwaysmuseum.com/Index%20communications%20&%20navigation.htm> [18.01.2011]
- [16] <http://www.airwaysmuseum.com/Lorenz%20aircraft%20installation.htm> [19.01.2011]
- [17] <http://www.airwaysmuseum.com/Lorenz%20system%20article.htm> [19.01.2011]
- [18] [http://en.wikipedia.org/wiki/Instrument\\_landing\\_system](http://en.wikipedia.org/wiki/Instrument_landing_system) [21.02.2011]
- [19] <http://www.allstar.fiu.edu/aero/ils.htm> [21.02.2011]
- [20] [http://www.pilotfriend.com/training/flight\\_training/nav/ils.htm](http://www.pilotfriend.com/training/flight_training/nav/ils.htm) [22.02.2011]
- [21] <http://www.pprune.org/archive/index.php/t-395835.html> [23.02.2011]
- [22] [http://www.pilotoutlook.com/instrument\\_flying/dme\\_arc](http://www.pilotoutlook.com/instrument_flying/dme_arc) [25.02.2011]
- [23] [http://en.wikipedia.org/wiki/Distance\\_measuring\\_equipment](http://en.wikipedia.org/wiki/Distance_measuring_equipment) [24.02.2011]



- [24] <http://www.avweb.com/news/avionics/183230-1.html> [24.02.2011]
- [25] <http://www.allstar.fiu.edu/aero/DME.htm> [24.02.2011]
- [26] [http://www.casa.gov.au/wcmswr/\\_assets/main/pilots/download/dme.pdf](http://www.casa.gov.au/wcmswr/_assets/main/pilots/download/dme.pdf) [24.02.2011]
- [27] [http://en.wikipedia.org/wiki/Global\\_navigation\\_satellite\\_system](http://en.wikipedia.org/wiki/Global_navigation_satellite_system) [26.02.2011]
- [28]
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Satellite\\_based\\_augmentation\\_system#Satellite\\_Based\\_Augmentation\\_System](http://en.wikipedia.org/wiki/Satellite_based_augmentation_system#Satellite_Based_Augmentation_System) [04.03.2011]
- [29] [http://en.wikipedia.org/wiki/Local\\_Area\\_Augmentation\\_System](http://en.wikipedia.org/wiki/Local_Area_Augmentation_System) [05.06.2011]
- [30] [http://en.wikipedia.org/wiki/European\\_Geostationary\\_Navigation\\_Overlay\\_Service](http://en.wikipedia.org/wiki/European_Geostationary_Navigation_Overlay_Service) [27.02.2011]
- [31] <http://www.arso.gov.si/vreme/napovedi%20in%20podatki/SLM-depese.html> [01.03.2011]
- [32] Slovenia Control Ltd., Elektronski AIP – AIRAC AIP AMDT 026/2011 [spletna stran], 2011. [Dostopno na naslovu: <http://www.sloveniacontrol.si/acrobat/aip/eaip/Operations/2011-03-10-AIRAC/html/index-en-GB.html>]
- [33] Slovenia Control Ltd., Elektronski AIP – AIRAC AIP AMDT 026/2011 [spletna stran], 2011. [Dostopno na naslovu: [http://www.sloveniacontrol.si/acrobat/aip/eaip/Operations/2011-03-10-AIRAC/graphics/LJ\\_AD\\_2\\_LJLJ\\_chart\\_5-3\\_en.pdf](http://www.sloveniacontrol.si/acrobat/aip/eaip/Operations/2011-03-10-AIRAC/graphics/LJ_AD_2_LJLJ_chart_5-3_en.pdf)]
- [34] Slovenia Control Ltd., Elektronski AIP – AIRAC AIP AMDT 026/2011 [spletna stran], 2011. [Dostopno na naslovu: [http://www.sloveniacontrol.si/acrobat/aip/eaip/Operations/2011-03-10-AIRAC/graphics/LJ\\_AD\\_2\\_LJLJ\\_chart\\_6-1\\_en.pdf](http://www.sloveniacontrol.si/acrobat/aip/eaip/Operations/2011-03-10-AIRAC/graphics/LJ_AD_2_LJLJ_chart_6-1_en.pdf)]
- [35] Slovenia Control Ltd., Elektronski AIP – AIRAC AIP AMDT 026/2011 [spletna stran], 2011. [Dostopno na naslovu: [http://www.sloveniacontrol.si/acrobat/aip/eaip/Operations/2011-03-10-AIRAC/graphics/LJ\\_AD\\_2\\_LJLJ\\_SUP\\_MODRO%201E.pdf](http://www.sloveniacontrol.si/acrobat/aip/eaip/Operations/2011-03-10-AIRAC/graphics/LJ_AD_2_LJLJ_SUP_MODRO%201E.pdf)]
- [36] Slovenia Control Ltd., Elektronski AIP – AIRAC AIP AMDT 026/2011 [spletna stran], 2011. [Dostopno na naslovu: [http://www.sloveniacontrol.si/acrobat/aip/eaip/Operations/2011-03-10-AIRAC/graphics/LJ\\_AD\\_2\\_LJLJ\\_SUP\\_chart\\_ILS%20RWY%2031Y.pdf](http://www.sloveniacontrol.si/acrobat/aip/eaip/Operations/2011-03-10-AIRAC/graphics/LJ_AD_2_LJLJ_SUP_chart_ILS%20RWY%2031Y.pdf)]
- [37] Slovenia Control Ltd., Elektronski AIP – AIRAC AIP AMDT 023/18 NOV 2010 [spletna stran], 2010. [Dostopno na naslovu: <http://www.sloveniacontrol.si/acrobat/aip/eaip/Operations/2010-11-18-AIRAC/html/index-en-GB.html>]

