

Karakteristike sustava za prilaz i slijetanje zrakoplova

Fanjek, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:473325>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -
Institutional Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Ivan Fanjek

KARAKTERISTIKE SUSTAVA ZA PRILAZ I SLIJETANJE
ZRAKOPLOVA

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2017.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**KARAKTERISTIKE SUSTAVA ZA PRILAZ I SLIJETANJE
ZRAKOPLOVA**

**CHARACTERISTICS OF APPROACHING AND LANDING SYSTEMS
FOR AIRCRAFT**

Mentor: doc.dr.sc. Mario Muštra

Student: Ivan Fanjek
JMBAG: 0135232818

Zagreb, svibanj 2017.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. SUSTAV ZA INSTRUMENTALNO SLIJETANJE ZRAKOPLOVA - ILS	2
2.1. UREĐAJI NA ZEMLJI.....	5
2.1.1. ODAŠILJAČ PRILAZNOG PRAVCA, LLZ (<i>LOCALIZER</i>).....	6
2.1.2. ODAŠILJAČ PUTANJE SLIJETANJA (PONIRANJA), GS (<i>GLIDE SLOPE</i>) .	8
2.1.3. RADIOMARKERI (<i>MARKER BEACONS</i>)	9
2.2. UREĐAJI U ZRAKOPLOVU	10
2.2.1. PRIJAMNIK PRAVCA PRILAZA (VHF) – ILS PRIJAMNIK	12
2.2.2. PRIJAMNIK KUTA PONIRANJA (UHF)	14
2.2.3. PRIJAMNIK MARKERSKOG SIGNALA.....	14
3. MIKROVALNI SUSTAV ZA SLIJETANJE ZRAKOPLOVA – MLS.....	15
3.1. OSNOVNI ELEMENTI SUSTAVA MLS	17
3.1.1. AZIMUTNI UREĐAJ – AZ.....	17
3.1.2. DME/P	18
3.2. PRINCIP RADA – TSRB	19
3.3. SLANJE PODATAKA	21
4. VOR – VHF OMNIDIRECTIONAL RADIO RANGE	23
4.1. INSTALACIJE NA ZEMLJI	23
4.2.1. KONVENCIONALNI VOR – CVOR	23
4.2.2. DOPPLER VOR.....	24
4.3. INSTALACIJE U ZRAKOPLOVU	24
4.4. ULOGA TACCAN I VORTAC SUSTAVA	26
4.5. DME (Distance Measuring Equipment).....	27
5. ZAKLJUČAK.....	29
LITERATURA.....	32
POPIS SLIKA I TABLICA.....	33

KARAKTERISTIKE SUSTAVA ZA PRILAZ I SLIJETANJE ZRAKOPLOVA

SAŽETAK

Prilaz i slijetanje predstavljaju završnu fazu leta. Sustav ILS predstavlja standardni sustav pomoću kojeg pilot dobiva informacije o prilaznoj putanji na uzletno-sletnu stazu. Zbog svojih nedostataka u radu je prikazan sustav MLS koji zbog boljih karakteristika predstavlja moguću alternativu. Sustav VOR neophodno je navigacijsko pomagalo za odvijanje komercijalnog zračnog prometa jer pozicije takvih postaja određuju koridore u kojima se odvija ukupan zračni promet. DME koristi se za mjerenje udaljenosti zrakoplova od stanice na zemlji na principu radara. Pojašnjenjem rada i funkcija sustava za navigaciju i slijetanje provedena je usporedba performansi, te mogućnost daljnjeg napretka.

KLJUČNE RIJEČI: navigacijski sustavi, precizni prilaz, radiofarovi

CHARACTERISTICS OF APPROACH AND LANDING SYSTEMS FOR AIRCRAFT

SUMMARY

Approach and landing represent the final flight phase. The ILS system represents a standard system by which the pilot receives information about the access road to runway. Due to its disadvantages, the MLS system is presented, which, due to its better characteristics, represents a possible alternative. The VOR system is a necessary navigational aid for commercial air traffic, since the positions of such stations determine the corridors in which the total air traffic takes place. DME is used to measure the distance of a plane from a station on Earth to the radar principle. Explanation of the operation and functions of the navigation and landing systems performed a comparison of performance and the possibility of further progress.

KEYWORDS: navigation systems, precision approach, radio beacon

1.UVOD

Bez radionavigacijskih sredstava zrakoplovstvo se ne bi moglo razvijati do visokog stupnja sigurnosti i redovitosti. Sustavi navedeni u radu uz pomoć tehnoloških usavršavanja uređaja na zemlji i prijemnika u zrakoplovu pridonijeli su visokom stupnju iskorištenja i sigurnosti. Tehničke karakteristike, kao i dozvoljena odstupanja, standardizirana su od strane ICAO-a. Prilaz i slijetanje predstavljaju završnu fazu leta zrakoplova, osim toga i najkritičniju.

Zadatak završnog rada podijeljen je na sljedeće cjeline:

1. UVOD
2. Sustav ILS
3. Sustav MLS
4. VOR
5. VORTAC i TACAN
6. Sustav DME.

Sustav ILS predstavlja standardni instrumentalni sustav za prilaz i slijetanje. U uvodnom dijelu cjeline pojašnjeno je što je to uopće precizni prilaz, odnosno neprecizni, kategorije preciznih prilaza i postupci u navedenim slučajevima. Uređaji na zemlji predstavljaju one koji odašilju signale prema zrakoplovu u smjeru prilaza, a uređaji u zrakoplovu zaprimaju informacije, te ih obrađuju prema potrebi. Nadalje, objašnjeni su frekvencijski rasponi rada sustava, te preciznost.

Sljedeća cjelina predstavlja sustav MLS kao moguću alternativu u odnosu na ILS. Uza sve prednosti MLS sustav nije zaživio u komercijalnoj upotrebi jer se paralelno razvijao GPS sustav koji je po mnogo čemu bolji. Osim toga, objašnjen je i princip na kojem se zasniva rad sustava, te njegovi glavni dijelovi. Uz objašnjenja priložena su i slike, odnosno crteži, te odgovarajuće matematičke formule.

Sustav VOR je definiran u posljednjem poglavlju gdje je razložen na opremu koja se koristi u zrakoplovu, njene komponente i detalje prijenosa informacija; te na potrebnu infrastrukturu sustava na zemlji. Opisan je način prijenosa informacija, no i vrsta prikaza tih informacija na različitim modelima pokazivača.

2. SUSTAV ZA INSTRUMENTALNO SLIJETANJE ZRAKOPLOVA - ILS

Postoje dva uvjeta letenja, uvjeti letenja s vanjskom vidljivošću VMC (*Visual Meteorological Conditions*) i uvjeti letenja uz pomoć instrumenata IMC (*Instrumental Meteorological Conditions*). Ovisno o uvjetima letenja, zrakoplovi se moraju pridržavati sljedećih pravila; pravila vizualnog letenja VFR (*Visual Flight Rules*) ili pravila instrumentalnog letenja IFR (*Instrumental Flight Rules*).

Pravila instrumentalnog letenja primjenjuju se na letenje zrakoplova koje se odvija isključivo pomoću instrumenata i uređaja na zrakoplovu i na zemlji. Pri tome se pod IFR letom podrazumijevaju letovi koji se odvijaju kada su meteorološki uvjeti ispod propisanih minimuma za VFR letove ili kada to zahtjeva kontrola zračnog prometa. Uobičajena je praksa da se komercijalni letovi izvode isključivo kao IFR bez obzira na meteorološke uvjete. Važni preduvjeti za izvođenje takvoga leta su postojanje opreme za IFR letove na aerodromu slijetanja i polijetanja, te postojanje odgovarajuće radionavigacijske opreme u zrakoplovu. Instrumentalne USS (uzletno sletne staze) opremljene su uređajima koji omogućuju prilaženje po pravcu, radi pravocrtnog vođenja zrakoplova.¹

Kao što je u prethodnom odlomku objašnjeno, prilaz se prema načinu izvođenja može podijeliti na vizualni i instrumentalni, a instrumentalni nadalje na precizni i neprecizni. Za provedbu preciznog instrumentalnog prilaza i slijetanja koristi se ILS (*Instrument Landing System*). ILS sustavi pripadajuće kategorije (CAT I/II/III) omogućuju provedbu operacija u zračnim lukama u uvjetima smanjene, pa čak i potpuno smanjene vidljivosti. Sve zračne luke primarne važnosti opremljene su sustavom ILS.²

ILS je međunarodno normiran sustav za navigaciju zrakoplova nakon konačnog pristupa za slijetanje. Prihvaćen je kao standard od strane ICAO-a (*International Civil Aviation Organization*) 1947. godine.

¹ Mihetec T.: autorizirana predavanja Usluge u zračnom prometu, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2016.

² <http://www.crocontrol.hr/default.aspx?id=65>

Budući da su tehničke specifikacije ovog sustava prihvaćene diljem svijeta, zrakoplovi opremljeni opremom za ILS moći će pouzdano surađivati sa onima na zemlji na svakom aerodromu.³

ILS sustav omogućuje vođenje zrakoplova po pravcu i kutu poniranja do visine odluke DH (*Decision Height*). Prema ICAO-u Annex 6, visina odluke (DH – *Decision Height*) je određena visina u preciznom prilazu ili prilazu s vertikalnim navođenjem na kojoj neuspjeli prilaz mora biti započet u slučaju da potrebna vidljivost zemaljskih orijentira za nastavak prilaza nije uspostavljena. DH se određuje u odnosu na nadmorsku visinu praga USS-a. Potrebna vidljivost zemaljskih orijentira podrazumijeva da dio vizualnih pomagala ili dio prilazne ravnine bude vidljiv dovoljno dug period vremena koji će omogućiti pilotu da procijeni poziciju zrakoplova i brzinu promjene pozicije zrakoplova u odnosu na željenu putanju leta. Na slici 1 prikazan je slučaj za proces neuspjelog prilaza. U suprotnom slučaju, ispod DH nastavlja se spuštanje ako je uspostavljen vizualni kontakt sa USS-om.⁴



Slika 1. Neuspjeli prilaz zrakoplova [6]

³ <http://instrument.landingssystem.com>

⁴ <http://kontrolaletenja.net/minimalna-apsolutna-visina-snizavanja-i-minimalna-visina-snizavanja-mdah/>

U zavisnosti od opremljenosti USS-a uređajima i sustavima za obilježavanje, zrakoplovi mogu sletjeti na sljedeće načine:

- ne instrumentalno
- neprecizno
- instrumentalno CAT I
- instrumentalno CAT II
- instrumentalno CAT III.

Navigacijski zahtjevi za precizni prilaz i slijetanje definirani su prema visini odluke DH i uzdužnoj vidljivosti RVR (*Runway Visual Range*).

Tablica 1. Minimalne visine odluke i vidljivosti za staze za precizni prilaz [16]

	DH (m)	RVR (m)
CAT I	≥ 60	>550
CAT II	≥ 30	>300
CAT IIA	<30 (0)	>175
CAT IIB	<15 (0)	≥ 50
CAT IIIC	0	0

Sustav ILS opskrbljuje pilota sljedećim informacijama:

- informacijama o prilaznoj putanji u ovisnosti o signalu *localizer*-a i *glide slope*-a;
- informacijama o udaljenosti duž linije poniranja na određenim točkama pomoću radio markera ili kontinuirane informacije o udaljenosti uz pomoć uređaja DME (*Distance Measuring Equipment*)
- vizualnim informacijama u posljednjoj fazi leta pomoću prilaznih svjetala, središnje linije i svjetala na USS-u.⁵

⁵ https://www.iviao.aero/training/documentation/books/SPP_ADC_Navigation_ILS.pdf

2.1. UREĐAJI NA ZEMLJI

Oprema na zemlji ILS sustava sastoji se od tri glavna dijela na zemlji koji odašilju signale prema zrakoplovu. Ta tri uređaja su:

- Odašiljača prilaznog pravca, LLZ (*Localizer*)
- Odašiljača putanje slijetanja (poniranja), GP/GS (*Glide path/slope*)
- Radio markeri, (*Marker beacons*)
 - OM (*Outer Marker*)
 - MM (*Middle Marker*)
 - IM (*Inner Marker*).

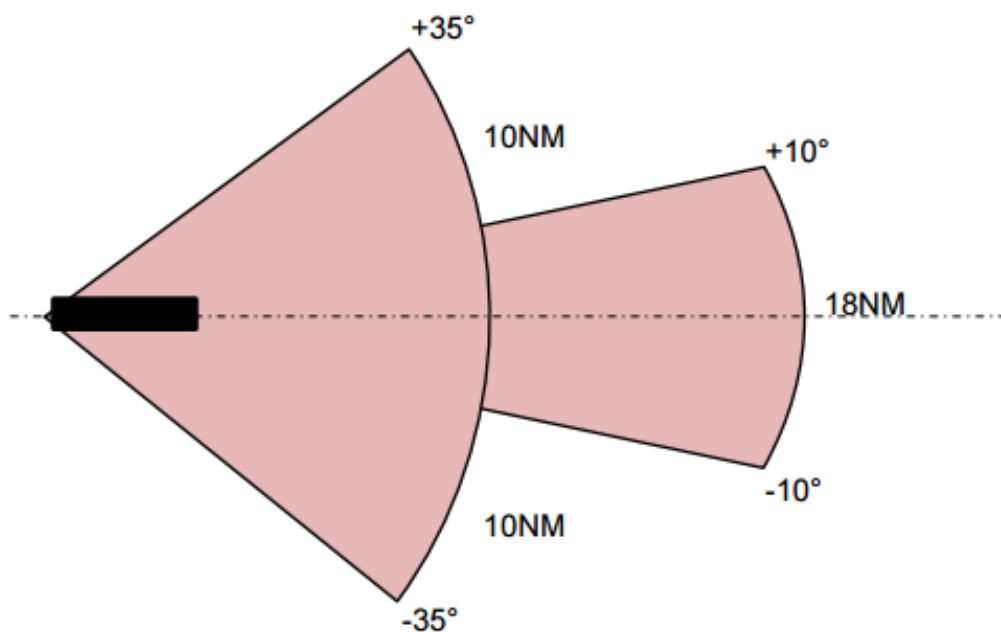
Localizer je uređaj na zemlji koji odašilje informacije o pravcu i nalazi se na suprotnoj strani prilaza USS-a. U daljnjem dijelu rada opisati će se njegove karakteristike, odnosno frekvencijsko područje rada, princip rada, te antenski sustav. *Glide slope* daje zrakoplovu informaciju o idealnoj putanji u vertikalnoj ravnini, odnosno osigurava vertikalno navođenje ili vođenje zrakoplova po visini do određene točke za slijetanje. Nadalje, zrakoplov u slijetanju dobiva informacije o udaljenosti od praga USS-a uz pomoć markera. Postoje tri markera, te su oni postavljeni na različitim udaljenostima od USS-a i služe za indicaciju udaljenosti od praga USS-a.⁶

⁶ Markežić, I., Autorizirana skripta 1. dio Komunikacijski, navigacijski i nadzorni sustavi, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2013.

2.1.1. ODAŠILJAČ PRILAZNOG PRAVCA, LLZ (LOCALIZER)

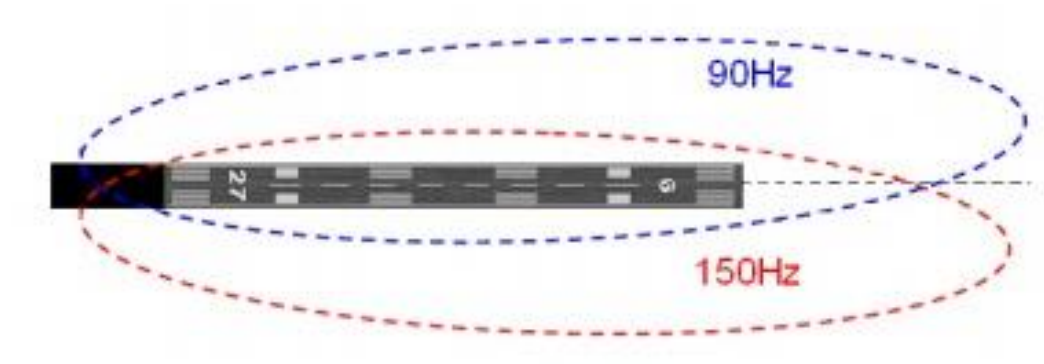
Jedna od glavnih komponenti sustava ILS je *Localizer*, koji daje informaciju zrakoplovu o prilaznom pravcu i omogućava, bez vanjske vidljivosti vođenje duž produžene osi USS. Sustav se sastoji od 13 do 41 VHF (*very-high frequency*) antena. Svojom dimenzijom antene predstavljaju opasnost za zrakoplove koji se kreće u njegovoj blizini. Zbog toga se nalaze (200-300) m od ruba USS-a, ali na suprotnoj strani od prilaza. Visina antena je (1,5 – 5,5) m. Dimenzije antena, odnosno vrsta ovise o kategoriji ILS-a. Površine ispod antena u pravcu emitiranja moraju biti potpuno „čiste“, bez prepreka.

Antenski sustav zrači u VHF području (108,10 - 111,95) MHz, međutim frekvencije *Localizer*-a nalaze se samo na neparnim decimalama, uz odvajanje kanala od 50 kHz, na primjer: 108.1, 108.15, 108.3, i 108.35. Zbog toga broj kanala iznosi 40. Snaga sustava iznosi 100 W, a polarizacija je horizontalna. *Localizer* emitira signal iz odašiljača sa suprotne strane prilaza kutne širine između (3 i 6)°. Domet snopa iznosi: 25 NM, unutar 10° od osi USS-a, 18 NM, unutar (10-35)° od osi USS-a, 10 NM, izvan +/-35° od osi USS-a kao što je i prikazano na slici 2.



Slika 2. Domet LLZ-a [13]

Localizer antenski niz zrači dva različita signala, *carrier and sideband* (CSB) i *sideband only* (SBO). Princip *Localizer*-a temelji se na razlici u dubini modulacije DDM (*difference in the depth of modulation*). Ukoliko zrakoplov slijedi produženu središnjicu USS DDM iznosi 0, a DDM vanjskog ekstremiteta *Localizer*-a iznosi 15,5%. Prema slici 4., gledano iz prilaza, polje signala 90 Hz nalazi se s lijeve strane, a polje signala 150 Hz s desne strane. Slabije usmjerene antene omogućuju neprecizni prilaz u *back course*, odnosno zrakoplovima je omogućeno hvatanje signala u suprotnom smjeru od usmjerenosti antena.⁷



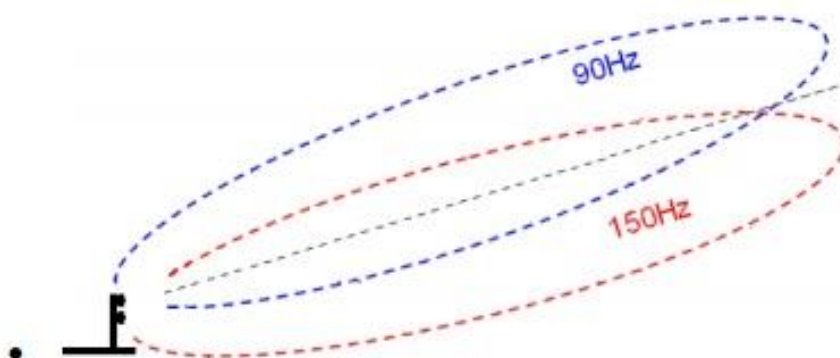
Slika 3. Raspored frekvencija gledano iz prilaza [13]

⁷ http://www.pilotfriend.com/training/flight_training/nav/ils.htm

2.1.2. ODAŠILJAČ PUTANJE SLIJETANJA (PONIRANJA), GS (*GLIDE SLOPE*)

Glide slope predstavlja antenski sustav koji emitira radijski signal koji nadalje, formira putanju poniranja u vertikalnoj ravnini koja prolazi središnjicom osi USS. Ukratko omogućuje slijetanju po kutu poniranja.

Niz signala je emitiran antenom koja se uobičajeno nalazi na udaljenosti od (750-1250) ft od praga USS-a, odnosno 300ft horizontalno od središnjice USS-a. Navedena udaljenost je potrebna kako bi se osigurao potreban razmak od vanjskih rubova kotača zrakoplova. Val nosioca je moduliran s dva signala, vertikalno gledano jedan iznad drugoga. Gornji dio je moduliran s 90 Hz, a donji sa 150 Hz. Signal je formiran tako da se ostvari kut poniranja idealno od 3° , generalno u granicama $(2-4)^\circ$. Kut od 3° znači poniranje 300 ft po nautičkoj milji. Snop signala širok je $1,4^\circ$. Prethodno navedeno moguće je vidjeti na slici br. 4.



Slika 4. Prikaz signala GS-a [13]

Za razliku od *Localizer*-a ovaj antenski sustav zrači u UHF (*Ultra high frequency*) području, na frekvencijama (329,30-335,00) MHz, te su kanali separirani sa po 50 Hz. Prednost korištenja UHF frekvencije je manja antena, tj. Što je veća frekvencija antena je manja. Postoji 40 radijskih kanala koji su upareni sa *Localizer* kanalima, što znači da iako su frekvencije različite kada pilot odabere *Localizer* frekvenciju radio će je automatski upariti s *Glide slope* frekvencijom. *Glide slope* frekvencije nisu vidljive pilotu. Mana *Glide slope*-a je mogućnost lažne indikacije kuta poniranja zbog konfiguracije terena.⁸

⁸ <http://instrument.landingssystem.com/>

2.1.3 RADIOMARKERI (*MARKER BEACONS*)

Radio markeri su odašiljači smješteni u produžetku osi USS-a s prilazne strane. Emitiranjem vertikalno uskog radijskog snopa presijecaju ravninu poniranja *Glide slope*-a. Služe kako bi tijekom preleta pilot dobio informacije o udaljenosti od praga USS-a i visinu na toj udaljenosti. Takva informacija pilotu je dostupna u audio i vizualnom obliku. ILS sustav može sadržavati tri markera: *Inner marker* (IM), *Middle marker* (MM) i *Outer marker* (OM). Markeri su postavljeni na specifičnim udaljenostima uzduž prilaza po ILS-u, te se prepoznaju po specifičnim audio zvukovima (tonovi) i vizualnim karakteristikama (bojama). Sva tri markera rade na frekvenciji od 75 MHz, snaga im iznosi (2-3) W, a polarizacija im je horizontalna.

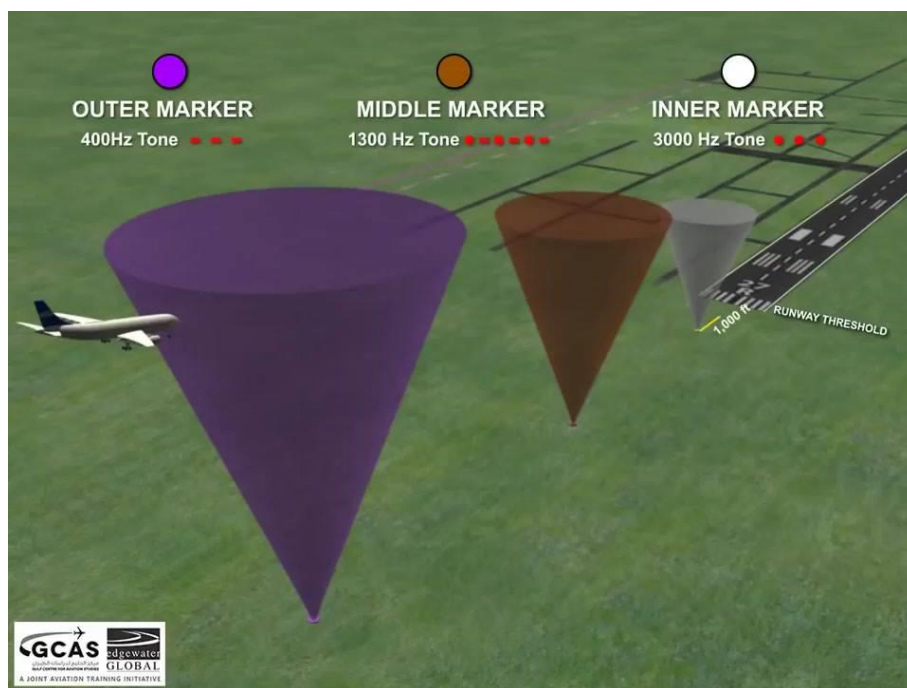
Outer marker (OM) označava da se zrakoplov nalazi u snopu odašiljača kuta poniranja *Glide slope*-a. Udaljen je (3,5-6) NM od praga USS-a. Odašlani snop presijeca zraku *Glide slope*-a na visini od približno 427 m (1400 ft) iznad USS-a. Također, približno označava točku gdje zrakoplov ulazi u zraku *glide slope*-a u normalnim uvjetima i predstavlja početak finalnog dijela prilaza na slijetanje. Signal identifikacije je moduliran signalom od 400 Hz.

Middle maker (MM) označava mjesto tranzicije sa instrumentalnog na vizualni prilaz. Smješten je (0,5-0,8) NM od praga USS-a. Kada zrakoplov prelijeće preko njega nalazi se na visini (200-250) ft. Signal identifikacije je moduliran sa signalom od 1300 Hz.

Inner marker (IM) označava da se zrakoplov nalazi na visini odluke DH. Signal identifikacije je moduliran signalom od 3000 Hz. Nalazi se 60 m od praga USS-a, te se obavezno koristi za precizne prilaze CAT II i III.

Kao što je prethodno spomenuto u određenim slučajevima koristi se i *back course*, zato vrijedi napomenuti da postoji i BC marker. On se nalazi na suprotnoj strani prilaza, te se koristi za neprecizni prilaz.

Moguće je primijetiti da što se više približavamo USS tonovi postaju „jači“ i svjetla na prikazivačima postaju svjetlija. Na slici 5 prikazan je razmještaj markerskih uređaja od prilaza USS-u.⁹



Slika 5. Razmještaj markerskih uređaja [2]

2.2. UREĐAJI U ZRAKOPLOVU

Sustav antena sastoji se od tri antene: za *Localizer*, *glide path* i *markere*. *Localizer* koristi antenu istu kao i VOR, fiksiranu za vertikalni stabilizator. *Glide path* antena je horizontalna antena instalirana u nosu zrakoplova, oblika slova U. Budući da dijeli zadani prostor s radarskom antenom postoji mogućnost refleksija od radarske antene, što može dovesti do ometanja operacija *glide path* prijmnika. Markerske antene položene su na trupu zrakoplova. Zrakoplovni prijmnik je jednostavan, podešava određenu frekvenciju, demodulira signal i generira ih u signale navođenja.¹⁰

⁹ <http://instrument.landingssystem.com/ils-marker-beacons/>

¹⁰ <http://www.doe.carleton.ca/courses/ELEC4504/ILS.pdf>

Uređaji u zrakoplovu (*onboard*) predstavljaju sklopove koji prikupljaju i obrađuju dobivene informacije (signale) i prikazuju ih na pokazivačima u zrakoplovu. Oprema se sastoji od *Localizer* prijemnika, *Glide path* prijemnika i svjetlosnih pokazivača markera.

Pokazivači mogu biti:

- CDI-*Course Deviation Indicator*
- HSI-*Horizontal Situation Indicator*
- EHSI-*Electronic Horizontal Situation Indicator*.

Naredne slike prikazuje izgled pokazivača *Localizer*-a i *Glide slope*-a, odnosno vertikalne i horizontalne strelice koje se pomiču ovisno o poziciji zrakoplova.¹¹



Slika 6: *Localizer* pokazivači [13]



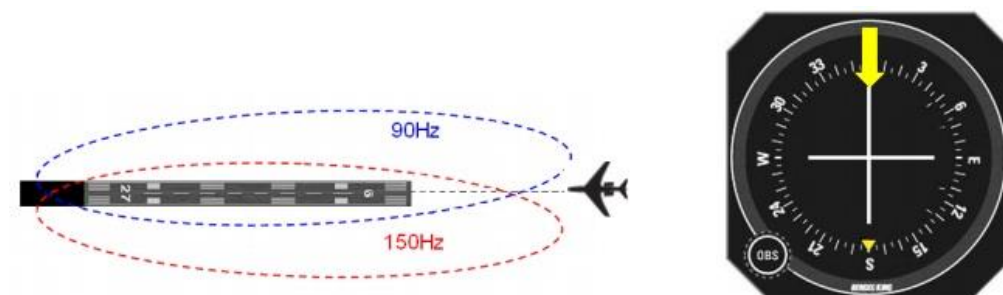
Slika 7: *Glide slope* pokazivači [13]

¹¹ L'hotellier, E., Training documentation, IVAO training department, 2016.

2.2.1. PRIJAMNIK PRAVCA PRILAZA (VHF) – ILS PRIJAMNIK

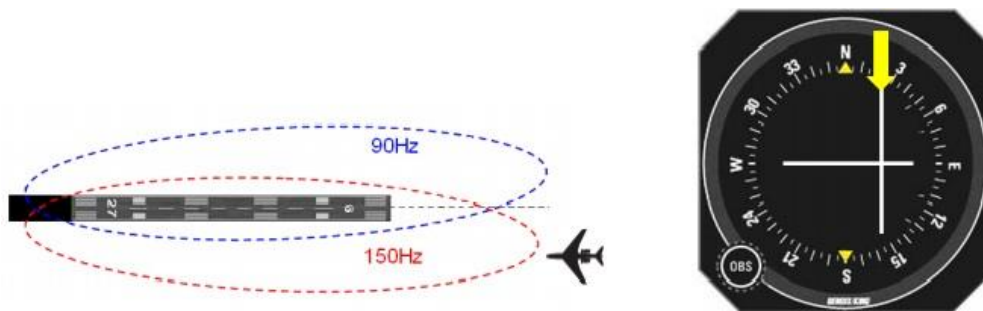
Prijamnik pravca prilaza omogućava prijem VHF signala emitiranog od strane odašiljača sa zemlje, obradu informacije i prikazivanje na pokazivaču. *Informacije Localizera* uobičajeno su prikazane na CDI (*Course Deviation Indicator*). Pilot koristi CDI sve dok se ne uspostavi vizualni kontakt sa zemaljskim orijentirima. Signal je prikazan kao vertikalni pokazivač koji koristi vertikalnu liniju. Linija se može pomicati ulijevo ili udesno unutar instrumenta oko centralne linije. Princip se zasniva na mjerenju DDM (*difference in depth of modulation*), odnosno mjerenju razlike frekvencije signala od 90 Hz i 150 Hz. Prikazom sljedećih slika i objašnjenja moguće je vidjeti izgled pokazivača ovisno o poziciji zrakoplova.

Optimalnom putanjom smatra se prilazni pravac na produženu središnjicu USS-a. Ukoliko se zrakoplov kreće optimalnom putanjom znači da ne postoje lateralna odstupanja od idealne pozicije. Odnosno, frekvencije signala od 90 Hz i 150 Hz su jednake; DDM=0. Izgled pokazivača u slučaju optimalne putanje i smjera zrakoplova moguće je vidjeti na slici 6 gdje se kazaljka nalazi na sredini skale.



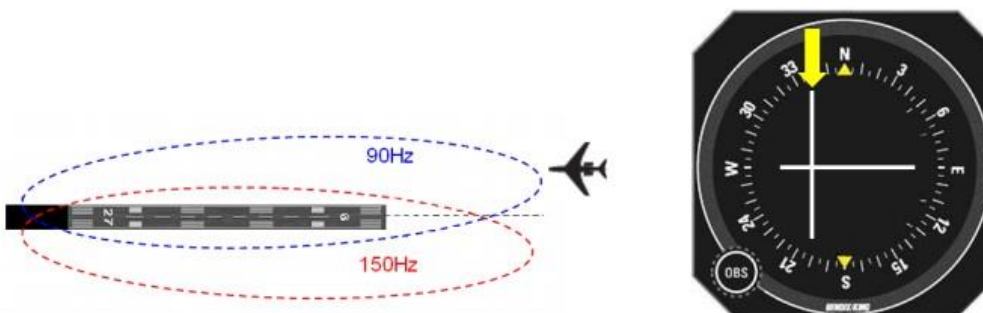
Slika 8: Izgled pokazivača kada se zrakoplov nalazi na produženoj središnjici USS-a [13]

Sljedeća situacija predstavlja onu kada se zrakoplov nalazi lijevo od idealne putanje kao što je prikazano na slici 11. Sa slike je vidljivo da se zrakoplov nalazi u polju nadjačanim signalom od 150Hz što uzrokuje otklon kazaljke na lijevo, te ukazuje pilotu da izvede manevar ulijevo kako bi se vratio na centralnu poziciju.



Slika 9: Izgled pokazivača kada se zrakoplov nalazi lijevo od središnjice USS-a [13]

Sljedeća situacija predstavlja onu kada se zrakoplov nalazi desno od idealne putanje kao na slici broj 12, odnosno u dijelu prekrivenim signalom od 90Hz. Kazaljka na pokazivaču pomaknuta je u desno što signalizira pilotu da je potrebno izvesti manevar udesno kako bi se vratio na centralnu poziciju.¹²



Slika 10: Izgled pokazivača kada se zrakoplov nalazi desno od središnjice USS-a [13]

¹² E. L'hotellier, Training documentation, IVAO training department, 2016

2.2.2. PRIJAMNIK KUTA PONIRANJA (UHF)

Slično kao i u slučaju *Localizer-a* ovaj prijamnik prihvata, obrađuje i prikazuje signal odaslane *Glide slope* zrake. Princip je isti kao i kod *Localizer-a*, razlika je u tome što se igla pomiče prema gore ili dolje. Ukoliko se zrakoplov nalazi na 3° u prilazu, signali od 90Hz i 150Hz su jednaki i kazaljka na CDI biti će centrirana, kao što je vidljivo na slici 12. Ako je zrakoplov iznad *Glide patha-a* modulacija od 90Hz nadvisiti će onu od 150Hz, te će kazaljka napraviti otklon prema dolje. U suprotnom slučaju, kada se zrakoplov nalazi ispod *Glide-patha*, modulacija od 150Hz uzrokovati će otklon kazaljke prema gore.¹³



Slika 11: Kazaljka pokazuje slučajeve kada se zrakoplov nalazi ispod u sredini i iznad *glide slope-a* [11]

2.2.3. PRIJAMNIK MARKERSKOG SIGNALA

Markeri služe pilotu kao pomoć u određivanju udaljenosti zrakoplova od praga USS-a. Prijamnik u zrakoplovu sastoji se od tri elementa. Kako se približavamo cilju, indikator upozorava pilota bojom i zvukom gdje se nalazimo, odnosno zvuk postaje sve snažniji, a boje svjetlije. Izgled pokazivača prikazan je na slici 13. Slova označavaju u snopu kojeg markera se nalazimo, a kako je već prethodno spomenuto zvuk se pojačava.

Valja napomenuti da se vanjski marker u ILS sustavu ponekad zamjenjuje s *Non Directional Beacon* (NDB) uređajem

¹³ <http://www.navfltsm.addr.com/gs.htm>

3. MIKROVALNI SUSTAV ZA SLIJETANJE ZRAKOPLOVA – MLS

Microwave Landing System – MLS standardno je sredstvo za instrumentalno slijetanje od 1998. godine. Osmišljen je kako bi zamijenio ILS sustav s naprednijim sustavom preciznog prilaza koji bi nadišao sve nedostatke, te pružao veću fleksibilnost korištenja samoga sustava. To je sustav za precizni prilaz i slijetanje koji pruža pilotu indikaciju azimuta i elevacije u širokom području i njihov odabir po vlastitom izboru, odnosno pruža odgovarajući prilaz zrakoplova u prostoru finalnog prilaza gdje linija završnog prilaza ne treba odgovarati onoj na produljenu središnjicu USS-a.¹⁴

Sustav je fleksibilan zbog mogućnosti prilaza po pravcu koji ne mora biti jednak onom na produljenu središnjicu USS-a. Radi pomoću mikrovalnih zraka koje zemaljske postaje odašilju u obliku funkcija u području prilaza, na jednoj od 200 frekvencija u području 5031,0 – 5190,7MHz u vremenskom multipleksu. Zrakoplov u prilaznom sektoru prima signal, te pomoću tih zraka određuje svoju relativnu poziciju u prostoru. Pozicija zrakoplova određena je u horizontalnom smjeru pristupa kao i okomici ravnine sve dok se nalazi u prostoru skenirajućih zraka.¹⁵

ILS ima sljedeće nedostatke:

- Ima samo 40 mogućih kanala.
- Azimut i zraka *glide slope*-a su fiksne i uske, što ima za posljedicu sekvenciranje, odnosno razdavanje zrakoplova koji svojim čekanjem na prilaz uzrokuju kašnjenja.
- Ne postoje posebne procedure za spore zrakoplove, helikoptere i STOL (*Short Take Off and Landing*) zrakoplove.
- ILS sustav ne može biti pozicioniran u brdovitim područjima, odnosno pozicioniranje ILS-a u brdovitim područjima zahtjeva veliku eksploataciju tla, što uzrokuje velike novčane izdatke, u svrhu minimiziranja interferencije zraka *localize*-a i *glide slope*-a.

¹⁴ <https://www.aircraftspruce.com/catalog/pdf/13-08721.pdf>

¹⁵ <http://microwave.landingsystem.com/>

- Vozila, zrakoplovi u taksiranju, zrakoplovi u niskom prilazu i građevine zračne luke moraju biti dovoljno udaljeni od zraka odašiljača u svrhu minimiziranja (*bending of the beams*) devijacije *localizer* i *glide slope* kursa.

MLS ima sljedeće prenosit u odnosu na ILS:

- Postoji 200 mogućih kanala.
- Azimut pokriva kut od $\pm 40^\circ$, *Glide slope* može biti selektiran u području od 9° do 20° , te se korisni domet proteže na 20 NM-30 NM
- Otklonjeni su problemi sa *Back-coursom*, odnosno sekundarni sistem osigurava navođenje $\pm 20^\circ$ od strane USS-a, elevaciju do 15° do dometa-a 10 NM i visine 10000 ft.
- Djeluje u području SHF frekvencijskog područja od 5031 – 5090MHz, što omogućuje pozicioniranje u brdovitim područjima. Devijacije kursa (*bending*) LLZ i GS od strane vozila, zrakoplova u taksiranju, zrakoplova u niskom prilazu i građevina zračne luke su otklonjene.
- Zbog širokog kuta kojeg pokrivaju, zrakoplov u odnosu na svoje karakteristike može izabrati svoju određenu prilaznu putanju.
- MLS ima ugrađeni DME.
- MLS je kompatibilan sa konvencionalnim *localizer* i *glide path* instrumentima, EFIS, auto-pilotom i *area navigation* opremom.¹⁶

¹⁶ <https://www.aircraftspruce.com/catalog/pdf/13-08721.pdf>

3.1. OSNOVNI ELEMENTI SUSTAVA MLS

Sustav se sastoji od sljedećih uređaja:

- Azimutni (odašiljački) uređaj (AZ)
- Elevacijski (odašiljački) uređaj (EL)
- Precizni DME (DME/P)
- Uređaj za davanje informacija.

Također, postoje i dodatne mogućnosti uređaja:

- Uređaj za stražnji azimut (BAZ)
- Uređaj za vođenje zrakoplova u kratkom finalu (*Flare Guidance*, FG, EL2).

3.1.1. AZIMUTNI UREĐAJ – AZ

Oprema je instalirana na produljenoj središnjici kraja USS-a na udaljenosti od 125m do 500m. Sastoji se od odašiljača, skenirajuće zrake, kontrolne jedinice i sustava za monitoriranje. Odašiljači su neusmjerene antene snage 20W, dometa do 20NM. Skeniranjem po azimutu u širokom sektoru postiže se proporcionalna kutna informacija. Kut prilaženja odražen je vremenskim intervalom između uzastopnih prolaza snopa. Tako postoji TO i FRO skeniranje snopa signala s kojima se zrakoplov ravna u odnosu na produljenu središnjicu USS-a. Pri tome postupku se vrši mjerenje vremenske razlike T koja je direktno proporcionalna azimutnom kutu.

Azimutni odašiljač smješten je na krajnjem dijelu USS-a koji odašilje tanki lepezasti snop radijskog signala od -40° do $+40^{\circ}$. Moguće je napraviti proširenje kapaciteta kojeg pokriva azimut $\pm 60^{\circ}$, dometa do 14NM. Kut u odnosu na središnjicu USS-a određuje se tako što uređaj u zrakoplovu mjeri odaziv, odnosno vremenski interval u mikro sekundama između TO i FRO zrake. TO zraka započinje skeniranjem od krajnje vrijednosti $+40^{\circ}$ određenom brzinom do sljedećeg ekstremiteta -40° . Nakon toga započinje sa skeniranjem FRO zrake prema početnoj poziciji. Vremenski interval između zaprimanja TO i FRO pulseva je proporcionalna kutnoj poziciji zrakoplova u odnosu na liniju kursa QDM - on course line.

Taj vremenski interval može se izračunati prema sljedećoj formuli:

$$\varnothing = \frac{v}{2} * (t - t_0) \quad (1)$$

gdje je:

- T - vremenski razmak u prijemu TO i FRO snopa
- T_0 - vremenski razmak u prijemu TO i FRO snopa koji odgovara 0°
- $\varnothing$ – kut
- V – brzina skeniranja ($^\circ/\text{s}$)¹⁷

3.1.2. DME/P

DME/P, kao dio MLS sustava, koristi se za određivanje udaljenosti, odnosno pridodavanja vrijednosti treće koordinate zrakoplovu u slijetanju. Konvencionalan DME sustav nije u dovoljnoj mjeri precizan za ovakve radnje. Princip rada sustava, detaljnije opisan u nastavku rada, se ne razlikuje u velikoj mjeri, no korišteni pulsovi su strmiji, korišten je širi frekvencijski pojas te se koriste drugačije vrste detekcije kod prijamnika. Dodatno je povećan i broj kanala na 200. kako bi se zadovoljio sustav MLS-a s kojim se koristi ovaj sustav. Značajka ovog sustava je da točka detekcije pulsa ne ovisi ni o amplitudi odaslanog pulsa ni vremena dizanja prilikom propagiranja kroz prostor. Vrijeme kašnjenja signala, odnosno razlika u vremenu emitiranog signala i dolaznog signala se, od strane ICAO, naziva virtualni postanak signala. Taj je vremenski odsjek pobliže definiran kao točka presjecišta osi ordinata koja označava vrijeme pravcem koji prolazi kroz 5% i 30% rastućeg ruba emitiranog pulsa. Puls veće strmine označava veći spektar korištenih frekvencija. Kako ICAO određuje točne iznose dopuštene snage po emitiranom kanalu, zbog sprječavanja izlivanja emitiranih signala u okolne kanale, snaga se reducira i istim se smanjuje domet ovog sustava.

Budući da postoje dva transpondera sustava DME/P, jedan na zrakoplovu, a drugi na zemlji u prilazu, gore navedeni problem riješen je na sljedeći način. Za prilaz zrakoplova do

¹⁷ Tooleys, M., Wyatt, D., Aircraft Communications and Navigation System, 2007.

8NM koristi se DME uređaj na zemlji, da bi se nakon 7NM koristio DME uređaj u zrakoplovu. Ta dva načina rada nazivaju se inicijalni prilaz i finalni prilaz.

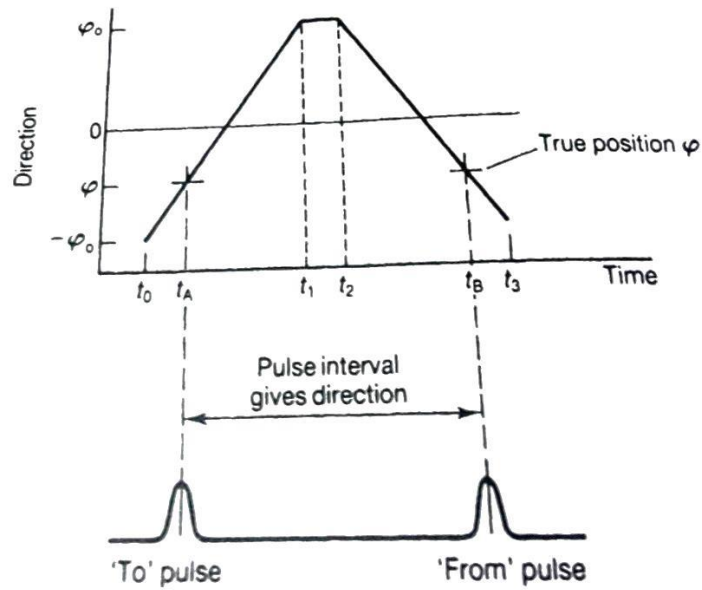
Preciznost sustava također ima dva standarda koje je potrebno zadovoljiti. Standard 1 odnosi se na preciznost obzirom na CTL (*Conventional Take-off and Landing*) gdje je posljednja faza slijetanja kontrolirana od strane radarskog visinomjera. Standard 2 odnosi se na STOL (*Short Take-off and Landing*) i VTOL (*Vertical Take-off and Landing*), kao i na sva slijetanja gdje se MLS koristi za prilaz i spuštanje zrakoplova netom prije slijetanja. PTE (*Path Following Error*) je fizička devijacija zrakoplova od mjerene udaljenosti.¹⁸

3.2. PRINCIP RADA – TSRB

Princip TSRB (*Time Referenced Scanning-Beam*), tzv. TO-FRO princip, koristi se za sva kutna mjerenja. Odašiljači su postavljeni na zemlji na skoro identičnim pozicijama, kao i kod ILS-a i frekvencijski raspon je između 5.03 – 5.09 GHz.

Zrake skeniraju prostor konstantnom brzinom, te zrakoplovni prijamnik zaprima puls za vrijeme svakog skeniranja. Mjereći vrijeme između prolaza u jednom smjeru (TO puls) i prolaza u suprotnom smjeru (FRO-puls) može se odrediti smjer.

¹⁸ Forssell, B., Radionavigation Systems, artech house inc., Boston, 2008.



Slika 12. Smjer zrake azimuta obzirom na vrijeme [1]

Prema slici 12. vidljivo je:

$$t = t_b - t_a = t_2 - t_1 + 2 \frac{(\phi_0 - \phi)}{v}, \quad (2)$$

gdje je:

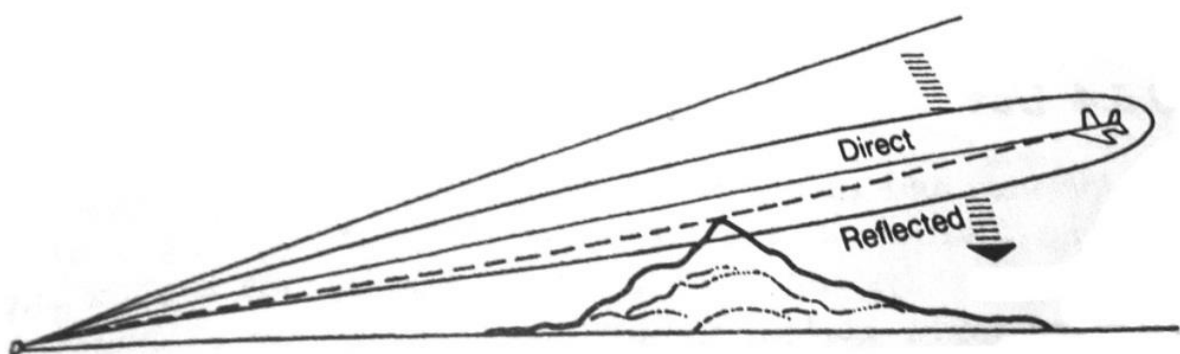
$$\frac{2\phi_0}{t_1 - t_0}. \quad (3)$$

Brzina skeniranja u ($^{\circ}/s$) je standardizirana prema ICAO na $0.2^{\circ}/\mu s$. ICAO također propisuje vrijednosti za $T_0 = (T_b - T_a)$ za $\phi = 0$. U konačnici formula za kut izračunava se kao:

$$\phi = \frac{v}{2(t_0 - t_1)}. \quad (4)$$

Flare elevacija predstavlja završni dio slijetanja u točki gdje se mijenja smjer gravitacije zrakoplova iz *glide path*-a do skoro horizontalnog smjera do trenutka kada kotači ne dotaknu USS. Princip skenirajućih zraka ne zahtijevaju prostornu orijentaciju, ali zahtjeva da brzina skeniranja bude konstantna i poznata, te da eliptični oblik bude simetričan i nezavisan obzirom na smjer zrake. Većina principa za otkrivanje u prijamniku baziraju se na svojstvima simetrije. Prijamnik detektira polovišta između trenutaka gdje primljeni puls prelazi prag na

krajnjim rubovima. Središnja točka je uzeta kao vrijeme dolaska tj. puls. Prije detekcije vrši se simpliranje i digitaliziranje primljenog pulsa i neke druge metode procesuiranja signala kako bi se smanjio utjecaj refleksija izmijenjenog signala. Puls reflektira radijacijski dijagram zemaljske antene. Čak i ako se antena odašiljača konstruira na način da minimalno emitira radijaciju u neželjen smjer, neke se refleksije ne mogu izbjeći – teren kao i okolne zgrade neminovno uzrokuju odbijanje radijacije. Sa slike 13 također je moguće vidjeti grafički prikazana pogreška prilikom primanja glavnog i reflektiranog signala na odašiljaču.¹⁹



Slika 13. Prikaz refleksije signala [1]

3.3 SLANJE PODATAKA

Podaci se šalju preko statične antene koja se nalazi, zajedno sa antenom azimuta, na položaju koji im omogućuje pokrivanje cjelokupne površine sektora skeniranja. Korištene frekvencije sustava MLS su 5031,0 – 5090,7MHz u kojem je pojasu alocirano preko 200 kanala (5 puta veći frekvencijski pojas od ILS sustava) sa razdvajanjem od 300kHz. Sve kružne frekvencije i podatkovni signali odašiljani su za sve stanice istovremeno u istom kanalu. Svaka funkcija započinje sa prijenosom čistog signala nosioca na 768 mikro sekundi. Nakon tog slijeda, odašilje se 5 bitni Barkerov kod i identifikacijska funkcija od 7 bita. Preneseni podaci prenose osnovne i pomoćne podatke kao što su:

¹⁹ Forssell, B., Radionavigation Systems, artech house inc., Boston, 2008., str. 160 - 190

- vrijeme opsluživanja
- minimalan kut poniranja
- status DME sustava
- širina skeniranog područja
- kvaliteta signala.

MLS odašiljač se nalazi na gotovo istoj lokaciji kao i onaj ILS sustava. Prilikom prelaska sa jednog na drugi sustav očekuje se preklapanje dvaju signala što može prouzročiti neke probleme, no isto je toliko bitno radi osiguravanja pravilnog rada sustava. Kod izrade pokazivača MLS sustava dozvoljena je veća sloboda, pa tako većina bira križni pokazivač. Glavna prednost MLS sustava je širina pojasa pretraživanja. To se obično iskorištava na način da se potrebit smjer prilaza programira u računalo u zrakoplovu prema uputama kontrole zračnog leta. Nakon što su uneseni parametri, pokazivač pokazuje devijaciju od programirane vrijednosti. Nadalje, kutne pogreške sustava MLS u odnosu na sustav ILS su značajno manje. postoje nekoliko različitih izvedbi varijacije TRSB za drugačije tipove aerodroma, sačinjenih od više podsustava i pod funkcija i sa boljom točnošću od onih na većim zračnim lukama. Ove se razlike, očituju u cijeni i čine osnovnu razliku između količine i tipa podataka koje se odašilju. MTBF (*Mean Time Between Failures*) za ovaj sustav iznosi barem 4000 sati. Cijena implementacije i ukupnog održavanja MLS sustava jest od 2 do 2,5 puta veća od cijene ILS sustava. Bitno je spomenuti cijenu potrebnog restrukturiranja aerodroma, tj. postojeće infrastrukture u slučaju kada se implementira sustav MLS uz već postojeći sustav ILS kako bi se zadovoljile potrebe obaju sustava.²⁰

²⁰ Ibid. Str. 190 - 230

4. VOR – VHF OMNIDIRECTIONAL RADIO RANGE

Kao što i sami naziv kaže, sustav radi u VHF području. Početkom 60-ih godina VOR započinje biti glavno *short-range* navigacijsko sredstvo do 200NM. Signal emitiran od strane VOR-a sadrži direktne informacije, suprotno od NDB-a koji odašilje neusmjerene signale.

Princip korištenja zasniva se na faznom pomaku dvaju signala prema čemu se određuje faza. Odnosno, odašiljači na zemlji odašilju signale koji omogućuju prijammniku da otkrije poziciju u odnosu na zemljane stanice uspoređujući fazu dva signala. Iz radiosignala VOR-a zrakoplovni prijammnik određuje podatak o pravcu prema VOR stanici. Ti pravci nazivaju se radijalima i numeriraju se 1-360. Radijal 360 je pravac kojeg VOR odašilje prema magnetskom sjeveru, 090 prema istoku, 180 prema jugu i 270 prema zapadu, svi u odnosu na magnetski sjever.²¹

4.1. INSTALACIJE NA ZEMLJI

VOR sistem funkcionira na frekvencijama između 108 – 118MHz. Kanali su odvojeni sa po 50kHz, te je signal horizontalno polariziran. Frekvencije između 108 – 112MHz koriste se za *Localizer* i *Short-range* VOR (terminal VORs – TVOR). TVOR koriste frekvencije na parne brojeve na prvoj decimali, dok *Localizer* koristi neparne. Kada se dodjeljuju VOR frekvencije u tome spektru, osnovni preduvjet je da se ne miješaju sa ILS kanalima. Frekvencije u rasponu 112,00-117,95MHz koristi samo VOR i na parnim i neparnim decimalama. Frekvencije VOR u blizini aerodroma koriste se za odašiljanje ATIS (*Automatic Terminal Information Service*).²²

4.2.1. KONVENCIONALNI VOR – CVOR

Instalacija na zemlji postavljena je na preglednom području i sastoji se od rotirajuće dipol antene na uzdignutoj horizontalnoj ravnini. Ta horizontalna površina omogućuje usmjerenje signala prema gore, tako da se signali prihvaćaju do 40° iznad horizontale u skladu s ICAO

²¹ Nordian, London Metropolitan University, KLM Flight Academy, 6th dition Radio Navigation, 2010.

²² Lbid. Poglavlje 4.

standardima. Jedan dio antene proizvodi referentni signal, a drugi varijabilni signal. Pošto se radi o višesmjernom odašiljanju, polarni dijagram referentnog signala je krug i u svim smjerovima odaziv ima istu fazu. U prijamniku, komponenta 30Hz navedenog signala koristi se kao referenca za računanje razlike u fazi. Varijabilni signal odašilje se preko dva unakrsna dipola, te dijagram zračenja rotira brzinom 30 okr./s. Dobiveni signal, odnosno suma vala nosioca putem dipola i svesmjerne antene nazvane varijabilni signal detektirana je pomoću prijamnika kao 30Hz amplitudno modulirani nosivi val.

Amplitudno i fazno modulirani signali procesuiraju se kroz različite kanale i fazne modulacije od 30Hz fiksnog referentnog, te varijabilnog signala se uspoređuju u faznom komparatoru. Razlika u fazi ta dva signala direktno je proporcionalna s kutnom pozicijom u odnosu na VOR stanicu.²³

4.2.2. DOPPLER VOR

Doppler VOR predstavlja drugu generaciju VOR sustava koji pruža poboljšanu kvalitetu signala i točnost. Referentni signal je amplitudno moduliran, dok je varijabilni signal frekvencijski moduliran, što ukazuje da su modulacije obrnute u usporedbi s konvencionalnim VOR sustavom. Doppler efekt kreiran je tako što je varijabilni signal pušten u elektroničku rotaciju na kružno postavljenim antenama brzinom od 30 okr./s. Faza zaprimljenog frekvencijski moduliranog signala ovisi o radijalnoj poziciji zrakoplova. Navedeno će stvoriti Dopplerov pomak uzrokujući porast frekvencije kako se signal pomiče prema promatraču ili smanjivati ukoliko se rotira od njega sa 30 punih ciklusa u sekundi. Kao rezultat imamo frekvenciju modulaciju od 30Hz.²⁴

4.3. INSTALACIJE U ZRAKOPLOVU

U zrakoplovu se nalazi VOR pokazivač koji pilotu pruža informacije o kretanju zrakoplova u zavisnosti od referentne VOR postaje. Kako bi se osiguralo da zrakoplov prati točno određenu postaju sustava VOR, svaka postaja pruža informacije u obliku auditivnih

²³ Lbid. Poglavlje 4.

²⁴ Lbid. Poglavlje 4.

poruka, nekada samo oznaka Morse abecede. Brojeva skala ima maksimum u 360 kako bi bilo moguće odrediti svaki od mogućih smjerova u kružnici definiranih stupnjevima. U trenutku kada zrakoplov polijeće, pilot zrakoplova mora odabrati točnu frekvenciju zadane VOR postaje, te nakon što dosegne visinu od 1000ft, pratiti pokazivač koji označava *to* ili *from* postaje sustava VOR. Pokazivači korišteni u zrakoplovima variraju, te se do danas koriste 3 vrste pokazivača: RMI – *Radio Magnetic Indicator*, *Standard VOR Indicator* i HSI – *Horizontal Situation Indicator*.

RMI pokazivač najstariji je korišteni pokazivač korišten u zrakoplovima. Sačinjen je od rotirajuće igle na koju je pričvršćen pokazivač koji ukazuje na smjer zrakoplova na odabranom kursu. Ta igla ne pokazuje smjer na kojem je slijedeća VOR postaja, već izričito određuje smjer odabranog radijala. To znači da, premda u većini slučajeva ta dva pojma mogu biti poistovjeđeni, u slučaju da stanica sustava VOR zakaže, ili se pri odabiru frekvencije odabere pogrešna stanica, pokazivač pokazuje odabrani radijal, neovisno o tome nalazi li se postaja sustava VOR na tom radijalu ili ne. Rep igle RMI sustava uvijek ukazuje na referentni položaj zrakoplova sa radijalom na kojeg je pokazivač sustava VOR kalibriran u tom trenutku.

Standard VOR Indicator je pokazivač kompleksnije građe za čije je očitavanje potrebno veće znanje. Na ovakvom pokazivaču, uz iglu koja pokazuje smjer gibanja zrakoplova, postoji i OBS – *Omni Bearing Selector* ; kojim pilot zadaje točan radijal po kojem želi da zrakoplov leti. U slučaju kada je odabran radijal po kojem se zrakoplov treba kretati, potrebno je samo pratiti, obično vertikalnu, liniju koja ukazuje na točan položaj zrakoplova obzirom na zadani radijal u svakom trenutku leta zrakoplova. Dok je takva linija centrirana, zrakoplov sa sigurnošću leti na odabranom radijalu. Ta se linija naziva CDI – *Course Deviation Indicator*, a obavlja funkciju jednoznačnog predviđenja mogućeg odstupanja od zadanog kursa. Kod ovakvih pokazivača bitno je znati da se CDI translacija udesno ukoliko je zrakoplov do 180° u smjeru kazaljke na satu od zadanog radijala, te ulijevo ukoliko je zrakoplov od zadanog radijala udaljen do 180° u smjeru suprotno kazaljki na satu. Kada je CDI centriran sa upaljenim indikatorom „*from*“ zrakoplov se nalazi na odabranom radijalu, no ukoliko se CDI centrira sa indikatorom „*to*“ potrebno je znati kako se zrakoplov u tom slučaju nalazi na recipročnom radijalu, te je za točno poznavanje smjera kretanja zrakoplova potrebno znati očitati točan radijal.

Najmodernija izvedba pokazivača sustava VOR u zrakoplovu jest HSI – *Horizontal Situation Indicator*. Ovakav pokazivač omogućuje jasnije vizualizaciju točnog položaja zrakoplova obzirom na željeni smjer, tj. radijal. Kod ovakvih se pokazivača koristi još jedna igla koja se naziva „*Track-bar*“, a pomiče se obzirom na skretanje zrakoplova na način da kada zrakoplov skrene, uz pomicanje CDI indikatora, pomiče se i igla. Kod ovakvih se pokazivača jedini nedostatak očituje u smanjenoj preglednosti indikatora „*to*“ i „*from*“, pa je kod takvih očitavanja potreban dodatan oprez.²⁵

4.4. ULOGA TACCAN I VORTAC SUSTAVA

VORTAC kratica sačinjena je od dvije jednoznačne kratice VOR – *Very High Frequency Omni Directional Radar*, te TAC, skraćeno od TACAN – *Tactical Air Navigation System*, sustav koji je prvotno namijenjen za vojnu upotrebu. Takav sustav, uz informacije o referentnom smjeru, pruža i informacije o udaljenosti od, tj. do stanice koju prati zrakoplov. Smatra se boljim od osnovnog sustava konfiguracije VOR / DME jer se zrakoplovi sa dovoljnom opremljenošću, često isključivo vojni, ovakvim postojećim sustavima mogu služiti i za neprecizne prilaze pri slijetanju. Za razliku od DME sustava koji služe isključivo za dobivanje informacije o udaljenosti između odašiljača u zrakoplovu i prijemnika na površini, sustav TACAN osigurava dobivanje informacija o udaljenosti kao i azimutno usmjerenje zrakoplova. Takav se sustav koristi dvostrukom signalu ispitivača koji se odašilje sa zakašnjenjem od 12 μ s. Dodatna modulacija signala obzirom na vrijeme nije potrebna, budući da se svaki emitirani signal vrati ispitivačkom uređaju prije slanja sljedećeg. TACAN sustav obično odašilje na frekvencijama između 962 i 1213 MHz, koje su podijeljene na niski pojas frekvencija i visoki pojas. Odašiljanje u niskom pojasu obavlja se na frekvencijama od 1025 do 1087 MHz, a primanje od 962 do 1024 MHz. Frekvencije korištene u visokom pojasu odašiljanja su od 1088 – 1150 MHz, a primanje signala u tom pojasu jest od 1151 – 1213 MHz. Pouzdanost informacija o smjeru kretanja zrakoplova ovisi o točnosti koja iznosi +/- 0.5° obzirom na azimut na kojem se zrakoplov nalazi te +/- 0.1 NM obzirom na udaljenost.

²⁵ <http://www.digitalflightinstructor.com/how-a-vor-works>

Informacije o smjeru kretanja zrakoplova dobivene su pomoću antene koja rotira brzinom od 900 okr/min.²⁶

4.5. DME (Distance Measuring Equipment)

DME (*Distance Measuring Equipment*) koristi se za mjerenje udaljenosti zrakoplova od stanice na zemlji. Koristi se princip radara, odnosno mjerenje koje je potrebno da odaslani puls stigne do zrakoplova i nazad do stanice na zemlji. Nosive frekvencije su u rasponu 962-1213MHz i jačina odašlanog signala iznosi 50-1000W. Maksimalni domet je 370km, ali na letovima 3000-6000m iznosi 120km.

DME frekvencijski spektar podijeljen je 126 upitnih i 126 kanala za odgovor sa odvajanjem od 1MHz. Upitni kanali raspodijeljeni su unutar 1025-1150MHz, a kanali za odgovor raspodijeljeni su u dva frekvencijska raspona; 962-1024MHz i 1151-1213MHz. Svaki kanal upita je uparen sa specifičnim kanalom 63MHz ispod ili iznad, zavisno o kanalu koji se koristi. Svaki odašiljač na zemlji ima fiksnu frekvenciju, dok prijammnik može biti podešen

DME signali odašilju se u dva para sa specifičnim oblikom i odvajanjem. Sistem može raditi u dva moda, X-mod i Y-mod. Odvajanje pulsa od 12μs je za X-mod (upit i odgovor), a 36μs za Y-mod (upit) i 30μs (odgovor).

Kada odašiljač na zemlji zaprima puls upita od strane zrakoplova, upit se detektira, regenerira i vraća nakon specificiranog vremena, odnosno kasni 50μs. U zrakoplovu se mjeri ukupno vrijeme kašnjenja između odašlanog i zaprimljenog signala, te dodavanjem 50μs kašnjenja udaljenost može biti izračunata.

Pošto svaka stanica na zemlji ima fiksiranu frekvenciju vala nosioca, varijacije ponavljanja pulsova frekvencije su jedini način na koji zrakoplov može prepoznati vlastiti puls. Ta frekvencija varira 120-150 pulsova u sekundi u modu pretraživanja i 24-30 pulsova u modu praćenja. Zrakoplov započinje emitirati upitni signal, nakon što je ušao u domet zemaljskog transpondera, nasumičnim PRF u pojasu od 120 – 150 Hz. Određen vremenski

²⁶ <http://www.rfwireless-world.com/Terminology/difference-between-DME-and-TACAN.html>

zaostatak, T raste s brojem odašlanih upita transpondera zrakoplova. To znači da, kako vrijeme prolazi, vremenski razmak u kojem je moguće primiti upit raste za $20 \mu\text{s}$ svakog puta, što odgovara 3km u prostoru. Odašiljač na površini Zemlje sveukupno, bez obzira na učestalost upita, odašilje 2700 parova pulsova po sekundi, a zrakoplov prima samo 7 do 8 parova odašiljanih pulsova odašiljača u sekundi. Vremenski period odgovora upita prostorno se očituje u udaljenosti od 3km, a budući da se kreće 18km/s, potrebno je $1/6\text{s}$ da signal prođe relevantnu točku u prostoru. U tom vremenu transponder na površini odgovara na upite zrakoplova istom učestalošću kojom su upiti zaprimljeni, tj. 135 parova pulsa u sekundi. Iz toga slijedi kako zrakoplov zaprima $135/6=22,5$ parova pulsa u vremenu kojem je potrebno da signal dođe do transpondera. Transponder na zemlji konstruiran je na način da može posluživati maksimalno stotinu zrakoplova istovremeno. Kako ni na najvećim zračnim lukama ne postoji toliki broj zrakoplova u jednom trenutku na određenom području, 95 kanala opsluživanja i 5 kanala za traženje sasvim su dostatna u svim prilikama. Takav transponder emitira u prosjeku $\eta(95*27+5*135)$ parova pulsova, gdje je η koeficijent učinkovitosti odgovora transpondera, a iznosi obično oko 80%; pa iznosi 2595 parova pulsova. Razlog nešto nižoj vrijednosti ovog koeficijenta nalazi se u činjenici da nakon zaprimljenog odgovora postoji određeni vremenski period u kojem transponder ne radi odašilje ni prima, a to je vrijeme od $60 \mu\text{s}$.²⁷

²⁷ Ibid. str 100.-200.

5. ZAKLJUČAK

Zračni promet bilježi konstantan porast letova iz godine u godinu. S obzirom na to da prilaz i slijetanje predstavljaju najkritičniju fazu leta, implementacija i razvoj sustava predstavljaju važan čimbenik za održivi razvoj zračnoga prometa. Sustavi kao što su VOR, ILS i DME neophodna su navigacijska pomagala u modernom zračnom prometu, te se komercijalni zračni promet pomoću njih odvija već dugi niz godina.

Sustav ILS predstavlja temelj za precizni prilaz današnjice. Uređaji na zemlji odašilju uski radijski signal u pravcu prilaza, te opskrbljuju pilota informacijama o prilaznoj putanji i udaljenosti od praga USS. Zrakoplovi u prilazu moraju biti razdvojeni dosta velikom udaljenosti 3-10NM, što može uzrokovati čekanja na prilaz i samim time kašnjenja, te raspolaže sa samo 40 kanala što može isto tako predstavljati problem na zračnim lukama s gustim prometom.

MLS sustav osmišljen je kako bi nadišao nedostatke ILS-a novim tehnologijama, odnosno boljim performansama. Sustav raspolaže sa čak 200 kanala, te može biti smješten u brdovitim područjima, bez potrebe za skupom eksploatacijom terena. Odašiljanjem znatno većeg kuta u prilazu omogućuje zrakoplovu da u odnosu na svoje karakteristike može izabrati određenu prilaznu putanju. Usprkos prednostima pojavom satelitske navigacije koja je jeftinija u pogledu eksploatacije i implementacije sustav MLS samo je djelomično zaživio u komercijalnoj upotrebi.

Sustav VOR neophodno je navigacijsko pomagalo korišteno u modernom zračnom prometu. Zemaljske su postaje posebno bitne za odvijanje komercijalnog zračnog prometa jer pozicije takvih postaja određuju koridore u kojima se odvija ukupan zračni promet. Takve postaje emitiraju jedan svesmjerni signal u određenim razmacima, zajedno sa audio signalom kojim se odašilje poruka Morse abecedom kako bi se mogla pozitivno identificirati pojedina VOR postaja. Treći emitirani signal kasni u fazi za određenu vrijednost valne duljine čime se može definirati udaljenost zrakoplova od izvorišta na temelju faznog pomaka signala koji se odašilje brzinom od 30 RPM. Ovakav revolucionaran, istovremeno vrlo jednostavan model koristi se i danas zajedno sa puno preciznijim sustavima poput GPS-a.

POPIS KRATICA

AZ	(Localizer) Azimutni uređaj
BAZ	(Back Azimuth) Uređaj za stražnji azimut
CAT	(Category) Kategorija
CDI	(Course Deviation Indicator) Pokazivač kursa
CTL	(Conventional Take-off and Landing) Konvencionalno slijetanje i uzlijetanje
DDM	(Difference in the depth of modulation) Razlika u dubini modulacije
DH	(Decision Height) Visini odluke
DME	(Distance Measuring Equipment) Uređaj za mjerenje udaljenosti
DME/P	(Precision DME) Precizni DME
EFIS	(Electronic flight instrument system) Elektronički instrumentalni sustav
EHSI	(Electronic Horizontal Situation Indicator) Elektronički Horizontalni indikator
EL	(Glide slope) Elevacijski uređaj
FG	(Flare Guidance) Flare navigacija
GP/GS	(Glide slope/path) Elevacijski uređaj
HSI	(Horizontal Situation Indicator) Horizontalni indikator
ICAO	(International Civil Aviation Organization) Međunarodna organizacija civilnog zračnog prometa
IFR	(Instrumental Flight Rules) Pravila instrumentalnog letenja
IM	(Inner Marker) Unutarnji radio marker

IMC	(Instrumental Meteorological Conditions) Uvjeti letenja uz pomoć instrumenata
LLZ	(Localizer) Azimutni uređaj
MM	(Middle Marker) Središnji radio marker
MTBF	(Mean Time Between Failures) Srednje vrijeme između otkaza
NDB	(Non Directional Beacon) Neusmjereni radio far
OM	(Outer Marker) Vanjski radio marker
PTE	(Path Following Error) Greška prilazne putanje
RMI	(Radio Magnetic Indicator) Radio magnetski indikator
RVR	(Runway Visual Range) Uzdužna vidljivost
STOL	(Short Take-off and Landing) Kratko uzlijetanje i slijetanje
TACAN	(Tactical Air Navigation System) Taktička zračna navigacija
TRSB	(Time Referenced Scanning-Beam) Vrijeme skenirajuće zrake
UHF	(Ultra high frequency) Ultra visoka frekvencija
USS	(Runway) Uzletno-sletna staza
VHF	(Very-high frequency) Vrlo visoka frekvencija
VFR	(Visual Flight Rules) Pravila vizualnog letenja
VMC	(Visual Meteorological Conditions) Uvjeti letenja s vanjskom vidljivošću
VOR	(VHF Omnidirectional radio range) Svesmjerni radio far
VTOL	(Vertical Take-off and Landing) Vertikalno uzlijetanje i slijetanje

LITERATURA

- [1] Forssell, B., Radionavigation Systems, Artech house inc., Boston, 2008.
- [2] <http://hamidiqbal5938.blogspot.hr/2015/11/automatic-landing-system-steering.html>
- [3] https://www.iviao.aero/training/documentation/books/SPP_ADC_Navigation_ILS.pdf
- [4] <http://instrument.landingsystem.com>
- [5] <http://instrument.landingsystem.com/ils-marker-beacons/>
- [6] <http://kontrolaletenja.net/minimalna-apsolutna-visina-snazavanja-i-minimalna-visina-snazavanja-mdah/>
- [7] <http://microwave.landingsystem.com/>
- [8] <https://www.aircraftspruce.com/catalog/pdf/13-08721.pdf>
- [9] <http://www.crocontrol.hr/default.aspx?id=65>
- [10] <http://www.doe.carleton.ca/courses/ELEC4504/ILS.pdf>
- [11] <http://www.navfltsm.addr.com/gs.htm>
- [12] http://www.pilotfriend.com/training/flight_training/nav/ils.htm
- [13] L'hotellier, E., Training documentation, IVAO training department, 2016.
- [14] Markežić, I., Autorizirana skripta 1. dio Komunikacijski, navigacijski i nadzorni sustavi, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2013
- [15] Mihetec T.: autorizirana predavanja Usluge u zračnom prometu, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2016.
- [16] Pavlin, S.: Aerodromi I, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2006.
- [17] Tooleys, M., Wyatt, D., Aircraft Communications and Navigation System, 2007.
- [18] <http://www.digitalflightinstructor.com/how-a-vor-works>
- [19] <http://www.rfwireless-world.com/Terminology/difference-between-DME-and-TACAN.html>
- [20] Nordin, London Metropolitan University, KLM Flight Academy, 6th Edition Radio Navigation, 2010.

POPIS SLIKA I TABLICA

Slika 1	Neuspjeli prilaz zrakoplova	3
Slika 2	Domet LLZ-a	6
Slika 3	Raspored frekvencija gledano iz prilaza	7
Slika 4	Prikaz signala GS-a	8
Slika 5	Razmještaj markerskih uređaja	10
Slika 6	<i>Localizer</i> pokazivači	11
Slika 7	<i>Glide slope</i> pokazivači	12
Slika 8	Izgled pokazivača kada se zrakoplov nalazi na produženoj središnjici USS-a	13
Slika 9	Izgled pokazivača kada se zrakoplov nalazi lijevo od središnjice USS-a	14
Slika 10	Izgled pokazivača kada se zrakoplov nalazi desno od središnjice USS-a	14
Slika 11	Kazaljka pokazuje slučajeve kada se zrakoplov nalazi ispod u sredini i iznad <i>glide slope</i> -a	15
Slika 12	Smjer zrake azimuta obzirom na vrijeme	21
Slika 13	Prikaz refleksije signala	23
Tablica 1	Minimalne visine odluke i vidljivosti za staze za precizni prilaz	4