

Značajke sustava za prilaz i slijetanje zrakoplova

Križanac, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

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:119:044939>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-16**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Ivan Križanac

ZNAČAJKE SUSTAVA ZA PRILAZ I SLIJETANJE
ZRAKOPLOVA

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2019.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

ZNAČAJKE SUSTAVA ZA PRILAZ I SLIJETANJE ZRAKOPLOVA

FEATURES OF AIRCRAFT APPROACH AND LANDING SYSTEMS

Mentor: doc. dr. sc. Mario Muštra

Student: Ivan Križanac

JMBAG: 0135245155

Zagreb, rujan 2019.

Zagreb, 4. travnja 2019.

Zavod: **Zavod za zračni promet**
Predmet: **Komunikacijski, navigacijski i nadzorni sustavi**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 5322

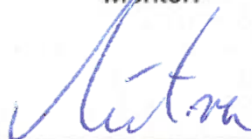
Pristupnik: **Ivan Križanac (0135245155)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Zračni promet**

Zadatak: **Značajke sustava za prilaz i slijetanje zrakoplova**

Opis zadatka:

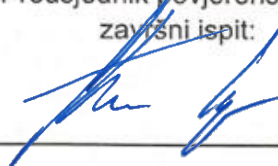
Detaljno opisati građu sustava za instrumentalno slijetanje zrakoplova - ILS. Opisati zemaljske uređaje koji su dio sustava ILS. Objasniti načine prijama i prikaza informacije kod zrakoplovnih uređaja koji koriste komponente sustava ILS. Opisati unaprjeđeni sustav za instrumentalno slijetanje koji radi u mikrovalnom frekvencijskom području - MLS. Navesti mogućnosti lociranja uporabom satelitskih navigacijskih sustava i pokazati primjerom mogućnosti uporabe sustava za prilaz i slijetanje GLS.

Mentor:



doc. dr. sc. Mario Muštra

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:



ZNAČAJKE SUSTAVA ZA PRILAZ I SLIJETANJE ZRAKOPLOVA

SAŽETAK

Sustavi za prilaz i slijetanje zrakoplova omogućuju siguran i precizan prilaz zrakoplova prema uzletno-sletnoj stazi u posljednjoj fazi leta, odnosno slijetanju. Sustav koji se najviše koristi na zračnim lukama je Sustav za instrumentalno slijetanje (ILS) koji pomoću *Localizer-a*, *Glide slope-a*, radiomarkera i prijamnika u zrakoplovu navodi zrakoplov u fazi slijetanja. Za slijetanje se mogu koristiti i dva razvijenija sustava za slijetanje: Mikrovalni sustav za slijetanje koji je zamišljen kao zamjena za sustav za instrumentalno slijetanje i GBAS koji pomoću satelita određuje poziciju zrakoplova u okolici zračne luke.

KLJUČNE RIJEČI: slijetanje, precizan prilaz, mikrovalni sustav, sateliti

FEATURES OF AIRCRAFT APPROACH AND LANDING SYSTEMS

SUMMARY

Aircraft approach and landing systems provide safe and precision approach of an aircraft on the runway in the final phase of flight, landing. System that is most used on airports is Instrumental Landing System which with Localizer, Glide slope, marker beacons and aircraft receivers guide the aircraft at landing. For landing there is also two more developed landing systems: Microwave Landing System which is designed to replace Instrumental Landing System and GBAS Landing System which determines position of an aircraft with satellites at nearby airports.

KEYWORDS: landing, precision approach, Microwave system, satellites

SADRŽAJ

1.	UVOD.....	1
2.	GRAĐA SUSTAVA ZA INSTRUMENTALNO SLIJETANJE ZRAKOPLOVA – ILS.....	2
2.1.	KATEGORIJE ILS.....	2
2.2.	ANALIZA SLIJETANJA PO ILS-U U RAZLIČITIM VREMENSKIM UVJETIMA.....	4
2.2.1.	SLIJETANJE U NORMALNIM VREMENSKIM UVJETIMA	5
2.2.2.	SLIJETANJE PO MAGLI	6
2.2.3.	SLIJETANJE PO SNIJEGU	6
2.2.4.	SLIJETANJE U UVJETIMA JAKOG VJETRA.....	7
2.2.5.	ZAKLJUČAK O UTJECAJU VREMENSKIH UVJETA NA RAD ILS-A.....	8
3.	ZEMALJSKI UREĐAJI SUSTAVA ZA INSTRUMENTALNO SLIJETANJE ZRAKOPLOVA	9
3.1.	ODAŠILJAČ PRILAZNOG PRAVCA – <i>LOCALIZER</i>	9
3.2.	ODAŠILJAČ PUTANJE SLIJETANJA – <i>GLIDE SLOPE</i>	11
3.3.	RADIOMARKERI	12
3.4.	SVJETLOSNI POKAZIVAČI NAGIBA PRILAZA.....	14
4.	ZRAKOPLOVNI UREĐAJI ZA PRIMANJE SIGNALA PRI INSTRUMENTALNOM SLIJETANJU ZRAKOPLOVA	17
4.1.	PRIJAMNIK PRAVCA PRILAZA (<i>LOCALIZER RECEIVER</i>)	17
4.2.	PRIJAMNIK KUTA PONIRANJA (<i>GLIDE SLOPE RECEIVER</i>)	19
5.	MIKROVALNI SUSTAV ZA SLIJETANJE ZRAKOPLOVA – MLS.....	21
5.1.	OSNOVNI ELEMENTI MLS-A.....	21
5.2.	UREĐAJI U ZRAKOPLOVU	24
5.3.	PREDNOSTI MLS-A U ODNOSU NA ILS.....	25
6.	GBAS SUSTAV ZA SLIJETANJE - GLS.....	27
6.1.	GNSS SATELITSKI PODSUSTAV	28
6.2.	GBAS ZEMALJSKI PODSUSTAV	28
6.3.	GBAS ZRAKOPLOVNI PODSUSTAV	29
6.4.	EKONOMSKA ISPLATIVOST GBAS-A I PREDNOSTI U ODNOSU NA ILS.....	30
7.	ZAKLJUČAK	31
	LITERATURA	32
	POPIS SLIKA	33

1. UVOD

Slijetanje zrakoplova predstavlja posljednju fazu leta zrakoplova te se smatra da je ujedno i najkritičnija faza leta. Sustavi za prilaz i slijetanje zrakoplova omogućuju uvelike olakšano slijetanje zrakoplova na uzletno-sletnu stazu posebice u uvjetima snijega, kiše, magle i vjetra gdje uvjeti vidljivosti pilotu ne dozvoljavaju da sigurno prizemli zrakoplov. Stoga se krajem 30-tih godina u Sjedinjenim Američkim Državama počinju testirati sustavi koji bi pomogli u rješavanju problema pri slijetanju. Prvi takav sustav izgrađen je na zračnoj luci u Berlinu 1932. godine.

U ovom radu sustavi za prilaz i slijetanje biti će obrađeni kroz sedam poglavlja. U uvodu se nalazi opis svakog poglavlja s informacijama o početku razvitka sustava za slijetanje. U drugom poglavlju bit će obrađen sustav za instrumentalno slijetanje (ILS). To je najrašireniji sustav za slijetanje, koji kada ga pilot koristi omogućuje vrlo precizno vođenje zrakoplova pri slijetanju i sigurno slijetanje. Uređaji za instrumentalno slijetanje dijele se na uređaje na zemlji i uređaje u zrakoplovu. U trećem poglavlju obrađeni su svi zemaljski uređaji koji se koriste pri instrumentalnom slijetanju zrakoplova, a to su odašiljač prilaznog pravca, odašiljač putanje slijetana (u radu će se koristiti engleski nazivi *Localizer* i *Glide slope*) i radiomarkeri koji šalju informacije o horizontalnoj i vertikalnoj poziciji i udaljenosti u odnosu na uzletno-sletnu stazu. U četvrtom poglavlju su obrađeni uređaji u zrakoplovu, odnosno prijarnici, koji služe za primanje zemaljskih signala od zemaljskih odašiljača. Kako tehnologija napreduje tako se i sustav za prilaz i slijetanje pokušava unaprijediti. Da bi se još preciznije zrakoplov mogao voditi pri slijetanju, implementiraju se novi sustavi kao što su MLS (Microwave Landing System) i GLS (GBAS Landing System). MLS je opisan u petom poglavlju dok je GLS opisan u šestom poglavlju. Na kraju rada u sedmom poglavlju nalazi se zaključak.

2. GRAĐA SUSTAVA ZA INSTRUMENTALNO SLIJETANJE ZRAKOPLOVA – ILS

ILS je zemaljski sustav za precizno navođenje zrakoplova na uzletno-sletnu stazu. Sustav je implementiran na svakom kraju uzletno-sletne staze da bi se omogućilo slijetanje sa obje strane uzletno-sletne staze. Sustav je odobren kao standardni sustav za slijetanje od Međunarodne organizacije za civilno zrakoplovstvo (International Civil Aviation Organization) 1947. godine. Sustav odašilje kombinaciju radio signala (VHF i UHF) prema zrakoplovnim prijamnicima, koji u kombinaciji s svjetlosno vizualnim signalima omogućuje sigurno slijetanje i u teškim meteorološkim uvjetima kao što su smanjena vidljivost i padaline. Procedure pri instrumentalnom slijetanju izdane su za svaki ILS prilaz kako bi pilotu omogućili sve potrebne informacije za letenje po ILS tijekom IFR (Instrumental Flight Rules) operacija. ILS se koristi da:

- Navodi pilota prilikom prilaza i slijetanja, a posebno je koristan pri ograničenoj vidljivosti kada pilot ne može vidjeti aerodrom i uzletno-sletnu stazu.
- Osigurava precizan prilaz zrakoplova.
- Pomogne navođenju zrakoplova prema zoni dodira i ciljnoj točki uzletno-sletne staze.
- Osigura navođenje zrakoplova horizontalno i vertikalno prema uzletno-sletnoj stazi.
- Poveća razinu sigurnosti pri slijetanju. [1]

2.1. KATEGORIJE ILS

Prilaz se prema načinu izvođenja može podijeliti na neinstrumentalni i instrumentalni, a instrumentalni nadalje na precizni i neprecizni. Za provedbu preciznog instrumentalnog prilaza i slijetanja koristi se ILS. Sustav ILS ima pripadajuće kategorije (CAT I/II/III) koje omogućuju provedbu operacija u zračnim lukama u uvjetima smanjene, pa čak i potpuno smanjene vidljivosti. Kategorija III dijeli se još na pripadajuće kategorije A, B, C. Sve zračne luke primarne važnosti opremljene su sustavom ILS. 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.

Kategorija I ILS-a, pruža specificiranu kvalitetu u vođenju zrakoplova od granice pokrivenosti ILS-a do točke gdje se odašiljač prilaznog pravca (*Localizer*) sječe s odašiljačem putanje slijetanja (*Glide Slope*) na visini većoj od 60 metara od praga uzletno-sletne staze. Koristeći ovu kategoriju opreme pod uvjetom da se koristi i odgovarajuća dodatna oprema na zemlji i u zrakoplovu, operacije slijetanja mogu se odvijati ukoliko je zadovoljen uvjet da je vidljivost uzduž uzletno-sletne staze veća od 550 metara te ako je horizontalna vidljivost veća od 800 metara. Visina odluke i vidljivost uzduž uzletno-sletne staze su određene iz razloga jer pilot do te visine mora vidjeti uzletno-sletnu stazu da bi mogao sletjeti.

Kategorija II ILS-a pruža bolju kvalitetu i preciznost zrakoplova u prilazu nego kategorija I i vodi zrakoplov od granica pokrivenosti ILS-a do točke gdje se sijeku *Localizer* i *Glide slope* na visini većoj od 30 metara iznad praga uzletno-sletne staze. Koristeći ovu kategoriju opreme pod uvjetom da se koristi i odgovarajuća dodatna oprema na zemlji i u zrakoplovu, operacije slijetanja mogu se odvijati ukoliko je zadovoljen uvjet da je vidljivost uzduž uzletno-sletne staze veća od 300 metara, a horizontalna vidljivost nije definirana.

Kategorija III podijeljena je u tri potkategorije A, B i C. Kategorija IIIA je kategorija kod koje je visina odluke manja od 30 m ili 0, a vidljivost uzduž uzletno-sletne staze veća od 175 metara. Kategorija IIIB je kategorija kod koje je visina odluke manja od 15 metara ili 0, a vidljivost uzduž uzletno-sletne staze veća od 50 metara. Kategorija IIIC zapravo nigdje nije implementirana te se takav sustav nigdje ne koristi. Kod Kategorije IIIC visina odluke i vidljivost uzduž uzletno-sletne staze je 0 metara.

Da bi se koristile Kategorije II/III, određeni uvjeti moraju biti zadovoljeni:

- Oprema na zemlji mora zadovoljiti stroge uvjete, i mora biti jako precizno podešena. Kao rezultat, primjena i održavanje takve opreme je jako skupa stoga je nemaju svi aerodromi.
- Osim antena ILS-a također se moraju zadovoljiti ostali zahtjevi na uzletno-sletnoj stazi kao što su svjetla.
- Zrakoplovi moraju biti opremljeni specijalnom opremom koja je certificirana za slijetanje za CAT II/III. Tu je također prisutan faktor novca, odnosno preskupi

sustavi za opremljene zrakoplova te ako zrakoplov leti na relacijama gdje je vrijeme uglavnom dobro onda nije vrijedno imati takve skupe sustave.

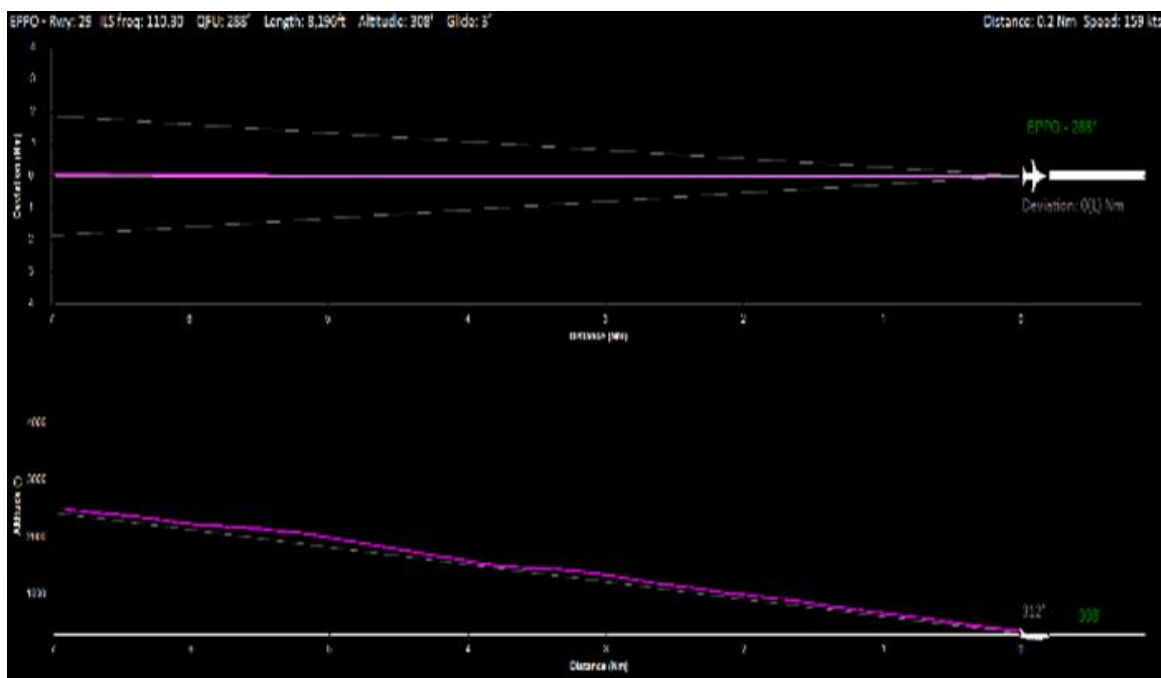
- Piloti moraju biti obučeni jer normalna pilotska dozvola nije dovoljna za slijetanje pri CAT II/III. Piloti moraju proći posebnu obuku da bi mogli dobiti dozvolu za takva slijetanja.
- Iz razloga što se signali ILS-a emitiraju sa zemlje, postoji rizik od ometanja signala zbog kojeg može doći do netočnog navođenja. Glavni problem je kada se zrakoplov kreće blizu antena i djelomično ometa signal koji se emitira prema zrakoplovu u prilazu i slijetanju. Zbog ovoga, zračne luke uvode stroga pravila o tome koliko blizu zrakoplov može prići tim antenama kada se koriste tokom slijetanja drugog zrakoplova. Zrakoplovi na zemlji moraju se držati na većoj udaljenosti od uzletno-sletne staze nego što bi to inače morali, da bi izbjegavali takozvana osjetljiva područja ILS-a. [2]

2.2. ANALIZA SLIJETANJA PO ILS-U U RAZLIČITIM VREMENSKIM UVJETIMA

Cilj analize, koja je provedena na prometnom fakultetu u Poznanu, bio je utvrditi utjecaj različitih vremenskih uvjeta na točnost rada ILS-a kada sam mora prizemljiti zrakoplov bez kontroliranja od strane pilota. Svi letovi održavani su u CKAS MotionSim5 simulatoru. Analiza se obavljala tako što je odredište bilo na zračnoj luci Poznan – Ławica. Sustav ILS-a opremljen je s CAT I, a zrakoplov je slijetao na prag 28 uzletno-sletne staze. Svaki je let počeo s istog mjesta na istoj visini odnosno na udaljenosti od 12 kilometara od praga i na visini od oko 700 metara. Nakon što je zrakoplov “uhvatio” signale s zemaljske postaje ILS-a automatski je počeo s prilazom. Piloti su bili zaduženi samo za upravljanje potiskom motora, dok su svi ostali parametri bili kontrolirani od strane sustava ILS. Svi podatci o pojedini slijetanjima su zabilježeni i grafički prikazani u programu FS Instructor.

2.2.1. SLIJETANJE U NORMALNIM VREMENSKIM UVJETIMA

Prvi let proveden je pod uvjetima CAVOK-a. CAVOK je skraćenica od *Ceiling And Visibility OKay*, što označava da nema oblaka ispod 1500 m ili najviše minimalne sektorske nadmorske visine, te da nema kumulonimbusa ili visokog kumulusa na bilo kojoj razini, a vidljivost mora biti 10 kilometara ili više i bez značajnih promjena vremena. Osim toga, podešeno je da nema vjetra. Ovaj let trebao je biti baza, a pristup slijetanja mogao bi se smatrati primjernim. Na slici 1. uz pomoć programa FS Instructor možemo vidjeti odstupanje zrakoplova od idealne prilazne ravnine. Na grafikonu se vide visinska razlika i bočna odstupanja u odnosu na idealnu prilaznu ravninu.

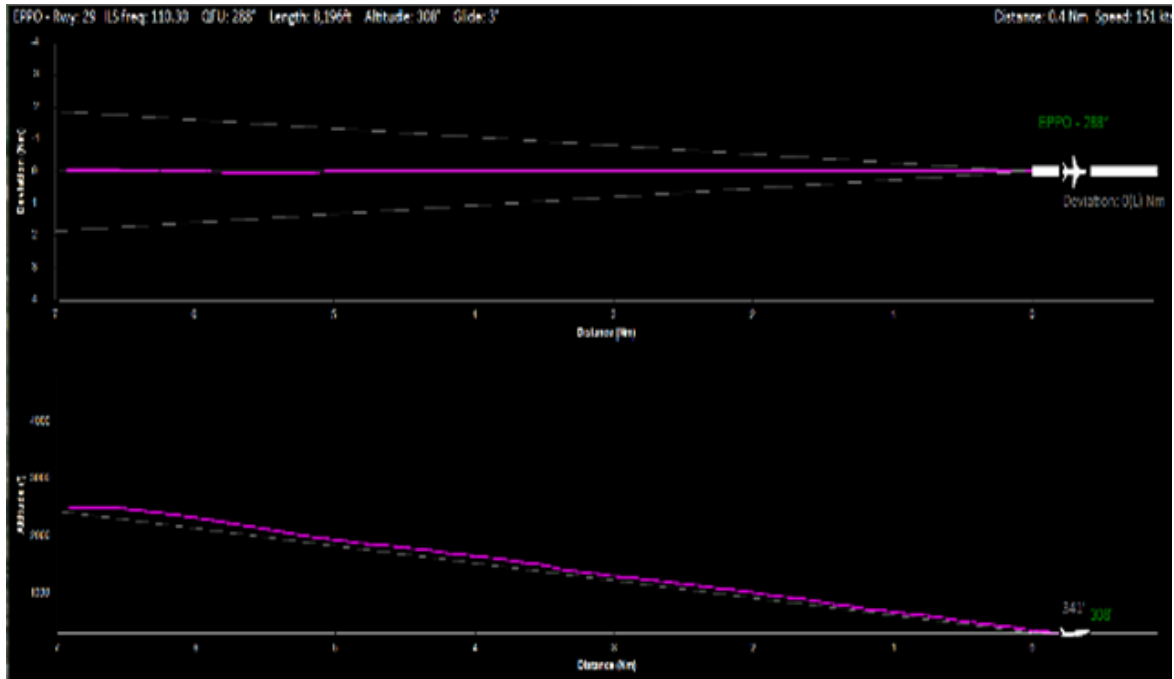


Slika 1. Prikaz prilazne ravnine u normalnim vremenskim uvjetima u programu FS Instructor. [3]

Program, uz putanju zrakoplova, primjenjuje idealnu prilaznu ravninu. Odstupanje od staze kojom se definira os uzletno-sletne staze, slično je idealnoj stazi tokom prilaza i slijetanja zrakoplova. Kod prilazne ravnine vidljiva su manja neznatna odstupanja od idealne staze ali to može biti uzrokovano kontrolom potiska motora ili ne održavanje konstantne brzine prilikom prilaza.

2.2.2. SLIJETANJE PO MAGLI

Drugi prilaz napravljen je da bi se provjerilo ispravno funkcioniranje ILS-a CAT I u uvjetima maglovitog vremena. Kao i u prvom letu, brzina vjetra postavljena je na 0. Visina se podudara s idealnom stazom tokom cijele dužine. Minimalna odstupanja su nastala zbog turbulencija ili kao u prvom slučaju ručnom kontrolom potiska.

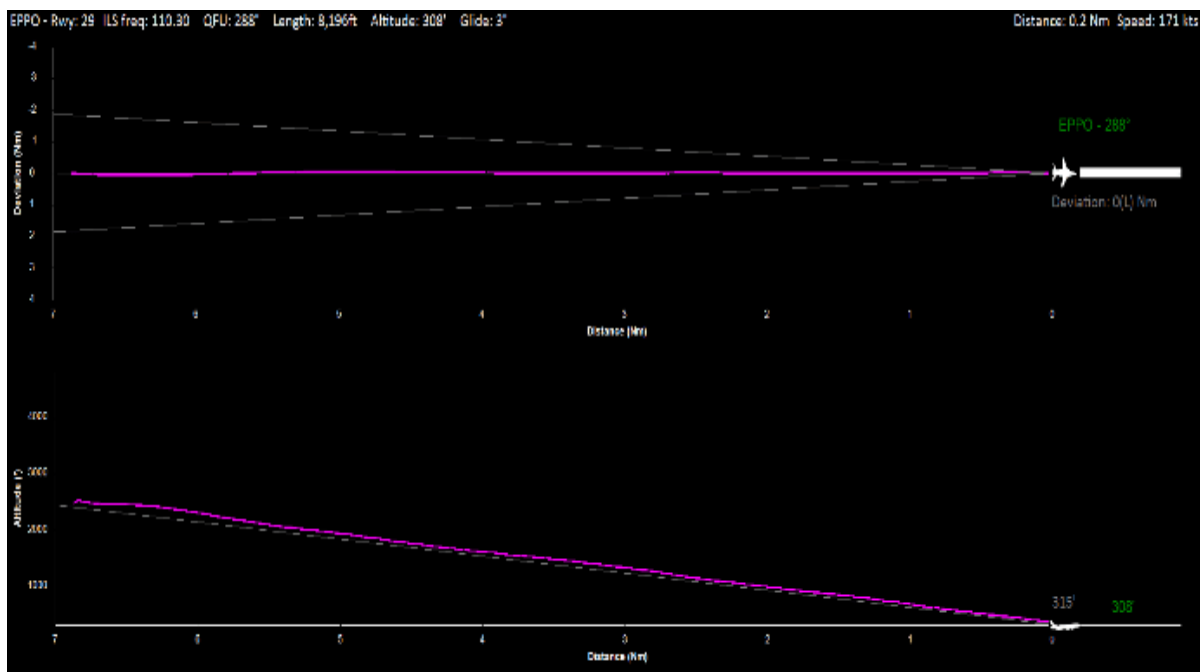


Slika 2. Prikaz prilazne ravnine u uvjetima magle u programu FS Instructor. [3]

2.2.3. SLIJETANJE PO SNIJEGU

Treći simulirani pristup bio je slijetanje u uvjetima snijega. Svrha ove simulacije bila je ispitati utjecaj snijega na pravilan rad ILS-a. U ovom slučaju, simulacija je također uključivala silu i smjer vjetra. Dvije vrste vjetra su morale biti podešene, a tu su prizemni vjetar koji je iznosio 15 km/h i vjetar na visini od 300 m čija je brzina iznosila 25 km/h.

Kod ovog prilaza razlika u odnosu na prethodni pristup je da je zrakoplov u početku odstupio od idealne staze i bio na desnoj strani od idealne putanje. Nakon otprilike 2 km zrakoplov se nalazio na lijevoj strani od idealne putanje. Zrakoplov se nije nalazio na idealnoj putanji sve do posljednjih 6 km od uzletno-sletne staze.



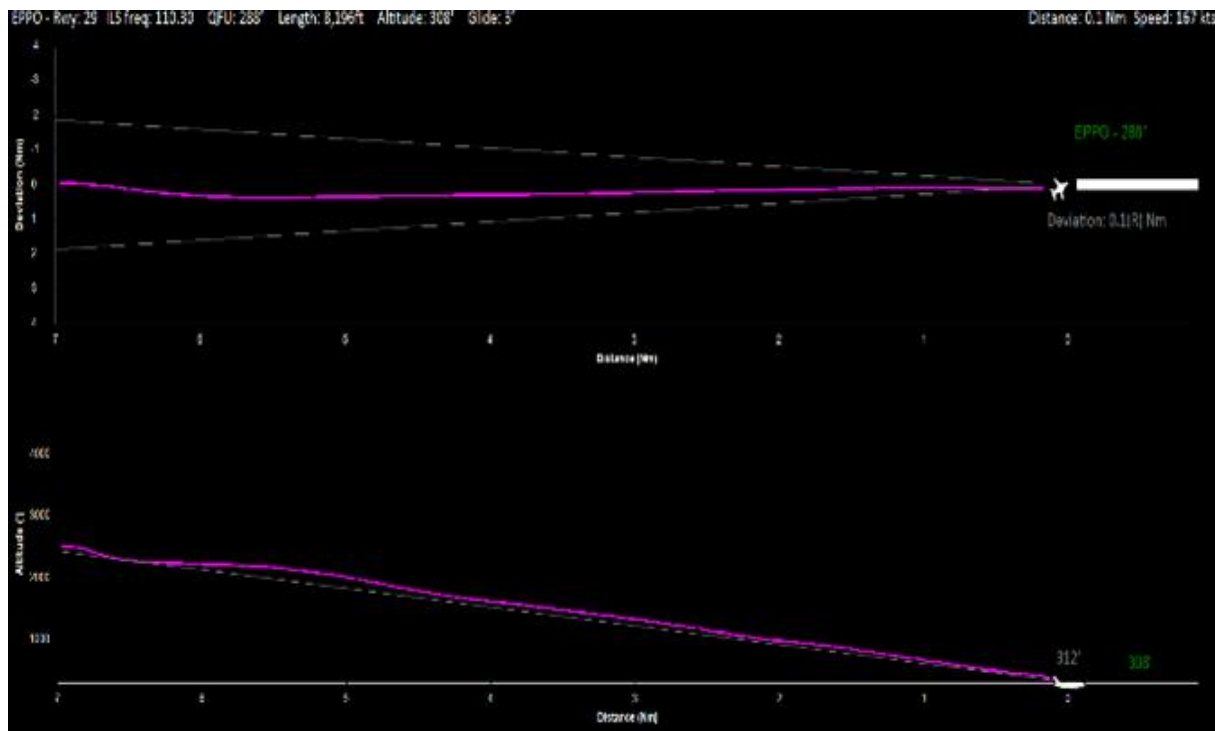
Slika 3. Prikaz prilazne ravnine pod uvjetima snijega u programu FS Instructor. [3]

2.2.4. SLIJETANJE U UVJETIMA JAKOG VJETRA

Četvrta simulacija provedena je u uvjetima jakog vjetra. Meteorološki uvjeti su izrađeni posebno za ovu studiju. Brzina vjetra je postavljena na 150 km/h, što odgovara brzini vjetra za vrijeme oluje s jačinom od 17° na Beaufort-ovoj skali. Vjetrovi slične brzine mogu se naći i tijekom uragana. Osim promjena sile vjetra, dodatna poteškoća za ILS bila je da se smjer vjetra mijenjao pri promjeni visine. Snaga turbulencije koju uzrokuje vjetar postavljena je na najvišu moguću razinu.

Na slici 4. može se vidjeti da ILS nije vodio zrakoplov do uzletno-sletne staze. Odstupanje od idealne staze odvijalo se od početka prilaza. Zrakoplov koji je vođen sustavom ILS sletio bi 15 metara od ruba uzletno-sletne staze. U slučaju slijetanja u takvim uvjetima, odgovornost pilota bila bi da prekine slijetanje.

Napravljena je i peta simulacija pri kojoj je brzina vjetra bila postavljena na najveću moguću brzinu koju se može podesiti u simulatoru, a to je 280 km/h. Pri takvoj brzini vjetra, zrakoplov uopće nije mogao biti kontroliran i samim time nije mogao uspješno sletjeti.



Slika 4. Prikaz prilazne ravnine u uvjetima jakog vjetra u programu FS Instructor.

[3]

2.2.5. ZAKLJUČAK O UTJECAJU VREMENSKIH UVJETA NA RAD ILS-A

Cilj ovog istraživanja bio je ispitati točnost ILS-a u simuliranim uvjetima. Studija se fokusirala na utjecaj vremenskih uvjeta na ispravan rad ILS-a, kao što su magla, kiša, snijeg i vjetar. Istraživanje je započelo osnovnim letom u uvjetima CAVOK-a, nakon čega su izvršena još tri leta u nepovoljnim vremenskim uvjetima.

Istraživanje je dovelo do sljedećih zaključaka o radu sustava ILS:

- Utjecaj magle, kiše i snijega na ispravno funkcioniranje ILS-a je u granicama normale, jer je zrakoplov u suradnji s ILS-om ispravno slijetao u ovim vremenskim uvjetima.
- Kod slijetanja pri jakom vjetru, brzinom od 150 km/h, ILS u suradnji s ugrađenim sustavom nije vodio zrakoplov na osi uzletno-sletne staze.
- Prilikom slijetanja u ekstremnim vremenskim uvjetima, tj. s naletima vjetra do 280 km/h, bilo je nemoguće sletjeti samo korištenjem sustava za automatsko slijetanje. [3]

3. ZEMALJSKI UREĐAJI SUSTAVA ZA INSTRUMENTALNO SLIJETANJE ZRAKOPLOVA

ILS pomoću *Localizer*-a i *Glide slope*-a omogućuje horizontalno i vertikalno vođenje zrakoplova prema uzletno-sletnoj stazi. Radiomarkeri služe kako bi piloti mogli odrediti položaj na putu do uzletno-sletne staze. Svjetlosni pokazivači nagiba prilaza koriste se kao vizualna asistencija pilotu prilikom slijetanja zrakoplova pogotovo u lošim vremenskim uvjetima.

3.1. ODAŠILJAČ PRILAZNOG PRAVCA – LOCALIZER

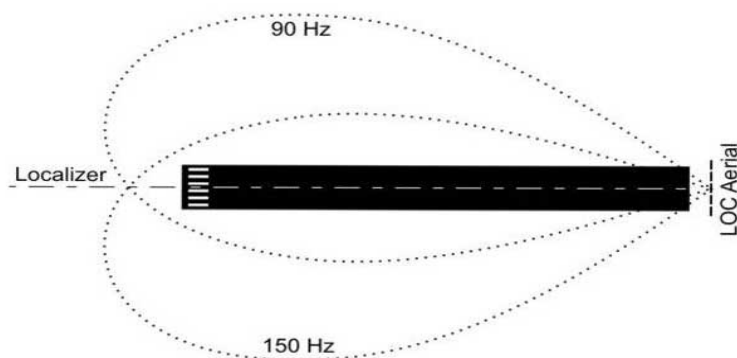
Antena *Localizer*-a nalazi se na udaljenosti od 300 metara iza uzletno-sletne staze. Sustav emitira dva signala s lijeve i desne strane produljene središnje linije uzletno-sletne staze te se tada treća frekvencija može podesiti u pilotskoj kabini zrakoplova. Dva polja signala, koja odašilje *Localizer*, preklapaju se jedna s drugom. Ukoliko se zrakoplov nalazi na idealnom putu prema uzletno-sletnoj stazi, indikator u pilotskoj kabini će pokazivat da je razlika između dviju frekvencija jednaka 60 Hz. Sustavi u zrakoplovu su zaduženi da “pronađu” tu razliku od 60 Hz. Uređaj u zrakoplovu pokazuje odstupanje od idealne putanje. [1]

Odašiljač radi na jednom od 40 ILS kanala u području VHF od 108 MHz do 112 MHz. Prva decimala iza točke svakog signala mora biti neparna kao na primjer: 108,1 MHz, 108,15 MHz, 108,3 MHz, 108,35 MHz. Razmak između frekvencija je 50 kHz. *Localizer* se sastoji od 13 do 41 VHF antene. Polarizacija mu je horizontalna. Postoje dvije vrste antena, prva su log-periodske antene, a druga vrsta su četvrtaste antene.



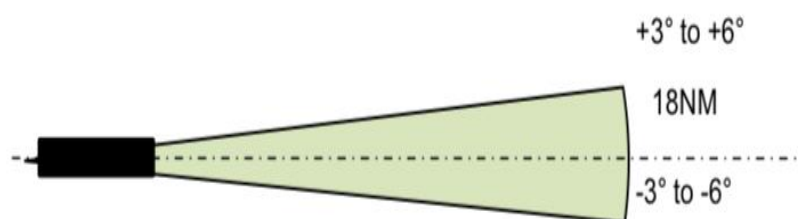
Slika 5. Primjer log-periodske antene i četvrtaste antene. [4]

Signal koji prenosi *Localizer* sastoji se od dva vertikalna snopa lepezastog oblika koji se međusobno preklapaju. Ta dva uzorka poravnata su s produženom središnjom linijom uzletno-sletne staze. Desna strana, ukoliko gledamo iz zrakoplova koji prilazi uzletno-sletnoj stazi, podešena je na 150 Hz te se često naziva i kao plavo područje, dok je lijeva strana uzorka podešena na 90 Hz i naziva se žuto područje.



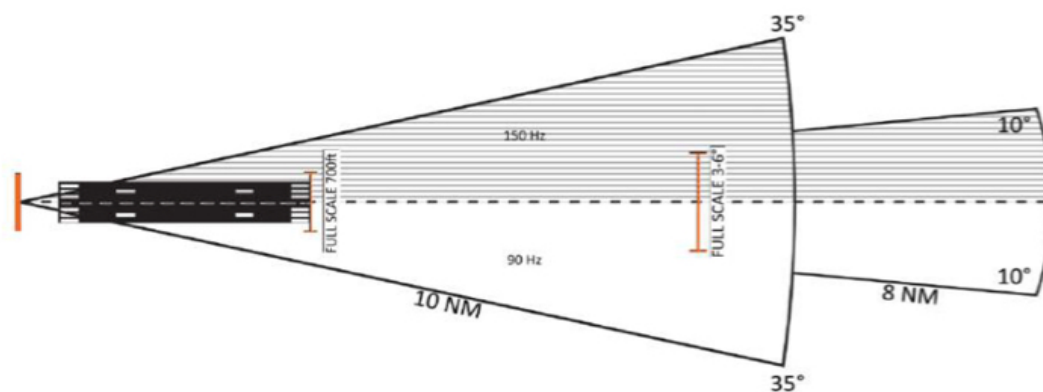
Slika 6. Signali koje prenosi *Localizer*. [4]

Signal koji emitira *Localizer* na kraju uzletno-sletne staze ograničen je unutar kuta širine između 3° i 6° . *Localizer* osigurava vertikalno (bočno) vođenje zrakoplova prema pragu uzletno-sletne staze na udaljenosti od 18 NM od antena i visine od 300 metara iznad najvišeg terena do 1400 metara.



Slika 7. Širina emitiranja signala. [4]

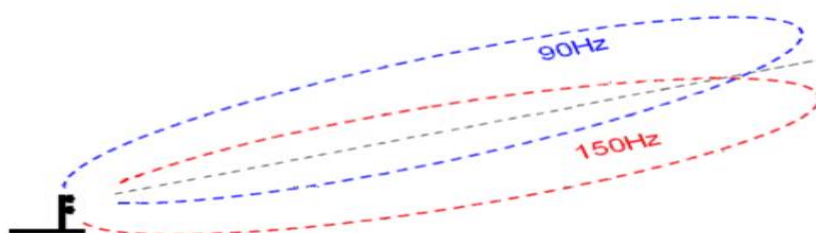
Često se područje pokrivenosti proširuje 10° na svaku stranu na udaljenost od 18 NM i 35° na udaljenost od 10 NM od antena. [4]



Slika 8. Pokrivenost antene *Localizer*-a. [4]

3.2. ODAŠILJAČ PUTANJE SLIJETANJA – *GLIDE SLOPE*

Odašiljačke antene *Glide slope*-a nalaze se 230 do 380 metara ispred praga uzletno-sletne staze i 75 do 200 metara horizontalno od produljene središnjice uzletno-sletne staze. *Glide slope* predstavlja antenski sustav koji formira putanju u vertikalnoj ravnini koja prolazi središnjicom uzletno-sletne staze. Val nosioc 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)°. [5]



Slika 9. Prikaz signala GS-a. [4]

Glide slope radi na jednom od 40 ILS kanala u UHF području od 329,15 MHz do 335 MHz. Polarizacija mu je horizontalna. *Glide slope* emitira signal samo u smjeru prilaza zrakoplova. Putem 40 radijskih kanala, koji su upareni s kanalima *Localizer*-a, 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.

Glide slope se može koristiti na udaljenostima do 10 NM, ali ta udaljenost se može produžiti na zahtjev. Prilazni nagib, koji odašilje *Glide slope*, podešen je tako da se širi 5 do 8 metara iznad uzletno-sletne staze. Ne treba očekivati da će prilazni nagib voditi zrakoplov točno na ciljnu točku uzletno-sletne staze. Prilazna ravnina je idealan put prema uzletno-sletnoj stazi, a dobije se kada se križaju *Localizer* i *Glide slope*. [4]

3.3. RADIOMARKERI

Radiomarkeri su odašiljači smješteni u produžetku osi uzletno-sletne staze s prilazne strane. Emitiranjem vertikalno uskog radijskog snopa presijecaju ravninu poniranja GS-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.

Postoje 3 vrste radiomarkera, a to su:

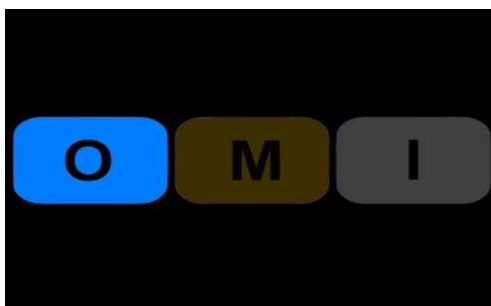
- Vanjski (Outer Marker-OM)
- Srednji (Middle Marker-MM)
- Unutarnji (Inner Marker-IM).

Kod sustava ILS obično se koriste dva VHF radiomarkera, a to su vanjski i srednji marker. Treća vrsta radiomarkera, odnosno unutarnji marker, koristi se na mjestima gdje se koristi CAT II/III. Svaki marker nalazi se na određenoj udaljenosti od praga uzletno-sletne staze. Sva tri markera rade na frekvenciji od 75 MHz, snaga im iznosi (2-3) W, a polarizacija im je horizontalna.



Slika 10. Položaj radiomarkera u odnosu na uzletno-sletnu stazu. [13]

Vanjski marker (OM) nalazi se na 3,5-6 NM od praga uzletno-sletne staze. Emitiranjem radijskog snopa zrake vanjskog markera presijecaju snop zraka *Glide slope*-a na visini od otprilike 430 metara. Isto tako na tom mjestu gdje se zrake presijecaju označava se kao ulazak zrakoplova u put nagiba poniranja i predstavlja početak završnog prilaza. Signal se modulira frekvencijom od 400 Hz. Prilikom prolaska kroz vanjski marker pilot dobiva zvučnu i vizualnu informaciju plave boje o prolasku kroz marker. Na mjestima gdje se ne može postaviti vanjski marker zbog lošeg terena, može se koristiti DME kao dio ILS-a kako bi se osiguralo ispravno vođenje prema *Localizer*-u.



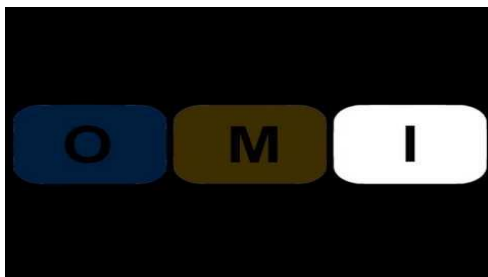
Slika 11. Vizualni prikaz OM u zrakoplovu. [5]

Srednji marker (MM) predstavlja mjesto gdje dolazi do prijelaza s prilaza s instrumentima na vizualni prilaz. Nalazi se na 0,5 do 0,8 NM od praga uzletno-sletne staze. Prilikom prelaska zrakoplova preko markera, zrakoplov se nalazi na visini od oko 70 metara. Signal se modulira frekvencijom od 1300 Hz. Prilikom prelaska preko srednjeg markera imamo zvučni signal u kokpitu koji čini 6 tonova u sekundi i vizualno upozorenje žute boje.



Slika 12. Vizualni prikaz MM u zrakoplovu. [5]

Unutarnji marker (IM) označava da se zrakoplov nalazi na visini odluke. Signal se modulira frekvencijom od 3000 Hz. Nalazi se 60 metara od praga uzletno-sletne staze i koristi se obavezno za precizne prilaze CAT II/III. Prilikom prelaska preko unutarnjeg markera imamo zvučni signal u kokpitu koji čini 6 tonova u sekundi i vizualno upozorenje bijele boje. [5]



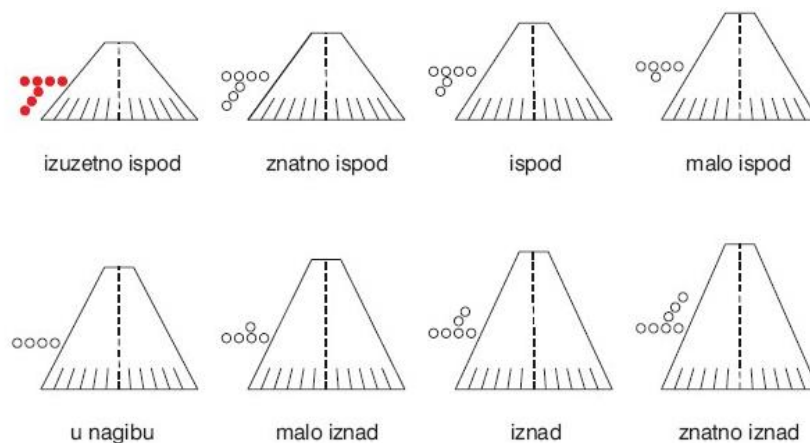
Slika 13. Vizualni prikaz IM u zrakoplovu. [5]

3.4. SVJETLOSNI POKAZIVAČI NAGIBA PRILAZA

Sustavi svjetlosnih pokazivača nagiba prilaza su PAPI (Precision Approach Path Indicator), APAPI (Abbreviated Precision Approach Path Indicator), T-VASIS (Visual Approach Slope Indicator System) i AT-VASIS (Abbreviated Visual Approach Slope Indicator System). Uvedeni su kako bi se pilotima olakšao prilaz uzletno-sletnoj stazi, te kako bi znali jesu li pogrešno procijenili visinu pri slijetanju. Svi sustavi predviđeni su za korištenje i danju i noću. PAPI, T-VASIS, AT-VASIS postavljaju se na uzletno-sletne staze kodnog broja 3 ili 4. PAPI i APAPI postavljaju se na uzletno-sletne staze kodnog broja 1 ili 2. Svjetlosni pokazivači nagiba moraju biti što niži, lagani i montirani na lako lomljivim nosačima. Kada je uzletno-sletna staza opremljena sustavom ILS/MLS, svjetlosni pokazivač nagiba prilaza je postavljen tako da su

njegove svjetlosne zrake prilagođene što je više moguće prilaznoj ravnini ILS-a ili minimalnoj prilaznoj ravnini MLS-a.

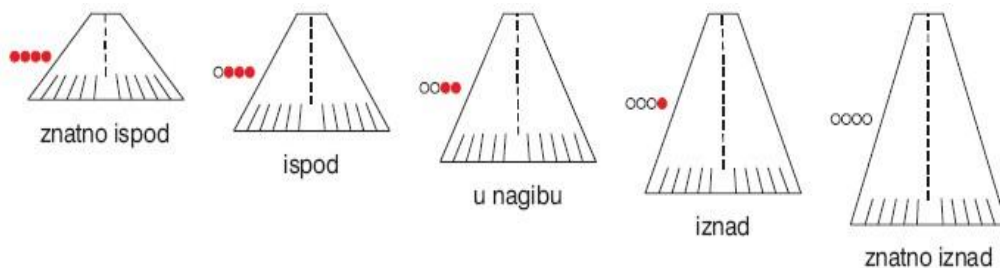
Sustav T-VASIS se sastoji od 20 individualnih svjetlosnih jedinica raspoređenih simetrično s obje strane uzletno-sletne staze, podijeljenih u dvije grupe po 10. Dvije su prečke sačinjene od 4 svjetlosne jedinice i okomite su na središnjicu uzletno-sletne staze, dok je preostalih 12 svjetlosnih jedinica (po 6 sa svake strane) paralelno sa središnjicom uzletno-sletne staze. AT-VASIS je samo dio sustava T-VASIS, jer se koristi na jednoj (najčešće lijevoj) strani uzletno-sletne staze, i ima ukupno 10 svjetlosnih jedinica, uključujući jednu svjetlosnu prečku. Sustavi su osmišljeni tako da pilot u prilazu, ukoliko se nalazi u nagibu (koji je najčešće 3°), vidi bijelu prečku/e. Ako se nalazi iznad ili ispod nagiba prilaza, tada iznad ili ispod te bijele prečke vidi još jednu ili više svjetlosnih jedinica, ovisno o tome koliko se iznad ili ispod nagiba nalazi. U iznimnim slučajevima, kada je pilot izuzetno nisko, vidjet će prečku i tri svjetlosne jedinice ispred prečke u crvenoj boji.



Slika 14. Prikaz boja svjetala T-VASIS-a i AT-VASIS-a u odnosu na visinu zrakoplova u slijetanju. [6]

PAPI je sustav koji se najčešće postavlja na lijevoj strani uzletno-sletne staze i sastoji se od krilne prečke koju čine 4 svjetiljke s oštrim prijelazom ili para jediničnih izvora svjetala, dok skraćena verzija, APAPI, ima krilnu prečku s 2 svjetiljke s oštrim prijelazom ili jedan par jediničnih izvora svjetala i postavlja se na lijevoj strani uzletno-sletne staze. Kada je na aerodromu instaliran sustav PAPI, pilot u prilazu uočava dvije crvene i dvije bijele svjetlosne jedinice ukoliko je u nagibu. Kada se pilot nalazi iznad nagiba, tada je svjetlosna jedinica najbliža uzletno-sletnoj stazi crvene boje, dok su

preostale tri bijele, a ukoliko je pilot znatno iznad predviđenog nagiba, sve će svjetlosne jedinice biti bijele boje. Ako je pak pilot ispod nagiba prilaza, tri svjetlosne jedinice bliže uzletno-sletnoj stazi su crvene boje, a preostala je bijela, tj. sve su jedinice crvene ukoliko je pilot znatno ispod nagiba. Isto tako je za APAPI, u nagibu su svjetlosne jedinice crvene (bliža uzletno-sletnoj stazi) i bijele boje, iznad nagiba obje su bijele, a ispod nagiba prilaza su crvene boje. [6]



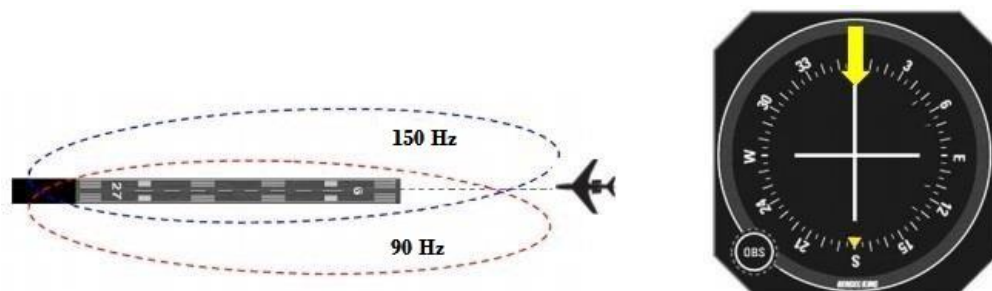
Slika 15. Prikaz boja svjetala sustava PAPI u odnosu na visinu zrakoplova u slijetanju. [6]

4. ZRAKOPLOVNI UREĐAJI ZA PRIMANJE SIGNALA PRI INSTRUMENTALNOM SLIJETANJU ZRAKOPLOVA

Oprema u zrakoplovu služi za primanje signala koji se emitiraju sa zemaljske stanice prema zrakoplovu. Nakon primanja signala obrađuju se podatci i prikazuju se na pokazivačima u zrakoplovu. Tako pilot može odrediti svoju poziciju u odnosu na uzletno-sletnu stazu i voditi zrakoplov sigurno u slijetanju. U zrakoplovu imamo prijamnik pravca prilaza i prijamnik kuta poniranja koji primaju signale od *Localizer-a* odnosno *Glide slope-a*.

4.1. PRIJAMNIK PRAVCA PRILAZA (*LOCALIZER RECEIVER*)

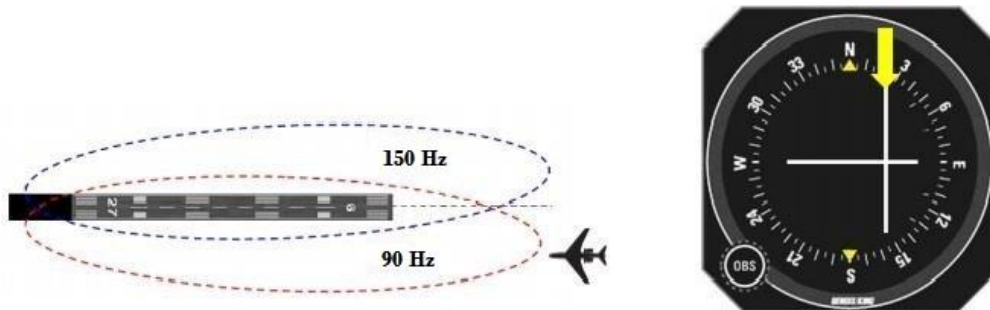
Prijamnik pravca prilaza omogućava prijam VHF signala emitiranog od strane odašiljača sa zemlje, obradu informacije i prikazivanje na pokazivaču. Pokazivač u zrakoplovu predstavlja vertikalni pokazivač koji pokazuje vertikalnu liniju, pruge ili pravokutnik koji se mogu pomicati unutar pokazivača lijevo i desno oko sredine instrumenta (centralne linije). Kada se zrakoplov nalazi u prilaznoj ravnini prema uzletno-sletnoj stazi, odnosno nema pomak u lijevu ili desnu stranu, nego se nalazi na sredini, tada se pokazivač pravca prilaza u zrakoplovu nalazi na sredini i pokazuje da nema bočnog pomaka kao što vidimo na slici 16.



Slika 16. Pokazivač pravca prilaza kada zrakoplov nema bočnog pomaka u odnosu na uzletno-sletnu stazu. [4]

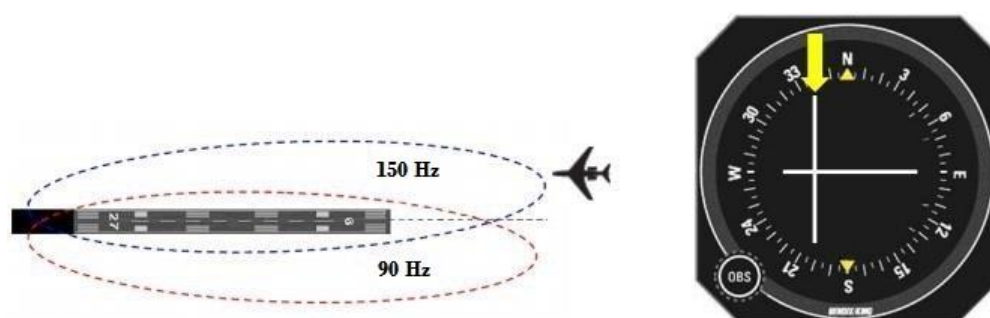
Ukoliko se zrakoplov nalazi lijevo od produžene središnjice uzletno-sletne staze na pokazivaču se može primijetiti bočni pomak od sredine pokazivača, jer se nalazi u polju sa signalom moduliranim sa 150 Hz. Vertikalni pokazivač je na desnoj strani. Sredina pokazivača uzima se kao smjer zrakoplova, a vertikalni pokazivač pravca

prilaza kao odstupanje od prilazne ravnine. Da bi se zrakoplov našao u prilaznoj ravnini pilot mora napraviti manevar u desnu stranu i na taj način vratiti vertikalni pokazivač u centralnu poziciju, a samim time i zrakoplov.



Slika 17. Pokazivač pravca prilaza kada se zrakoplov nalazi s lijeve strane u odnosu na produženu središnjicu uzletno-sletne staze. [4]

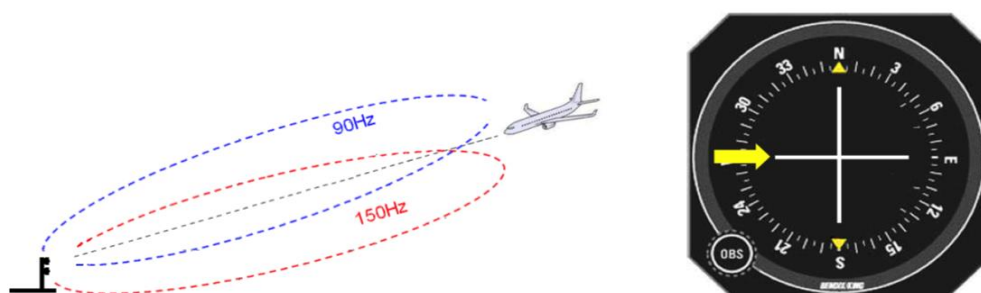
Isto tako ukoliko se zrakoplov nalazi desno od produžene središnjice uzletno-sletne staze na pokazivaču se može primijetiti bočni pomak od sredine pokazivača, jer se nalazi u polju sa signalom moduliranim sa 90 Hz. Vertikalni pokazivač je na lijevoj strani. Sredina pokazivača uzima se kao smjer zrakoplova, a pokazivač pravca prilaza kao odstupanje od prilazne ravnine. Da bi se zrakoplov našao u prilaznoj ravnini pilot mora napraviti manevar u lijevu stranu i na taj način vratiti vertikalni pokazivač u centralnu poziciju. [4]



Slika 18. Pokazivač pravca prilaza kada se zrakoplov nalazi s desne strane u odnosu na produženu središnjicu uzletno-sletne staze. [4]

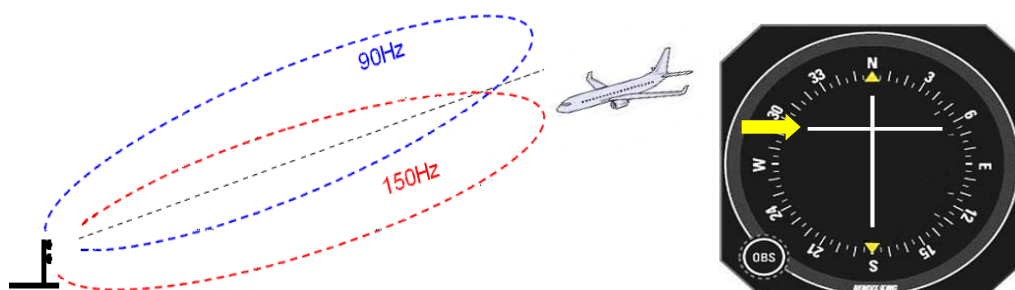
4.2. PRIJAMNIK KUTA PONIRANJA (*GLIDE SLOPE RECEIVER*)

Prijamnik kuta prilaza omogućava prijam UHF signala emitiranog od strane odašiljača sa zemlje, obradu informacije i prikazivanje na pokazivaču. Kod ovog pokazivača horizontalna linija se pomiče prema gore i prema dolje u ovisnosti od kuta prilaza zrakoplova prema uzletno-sletnoj stazi. Kut od 3° najčešće predstavlja idealan kut prilaza prema uzletno-sletnoj stazi. Tada se zrakoplov nalazi u prilaznoj ravnini i nema nikakvoga vertikalnog pomaka. Horizontalna linija nalazi se na sredini pokazivača kao što je vidljivo na slici 19.



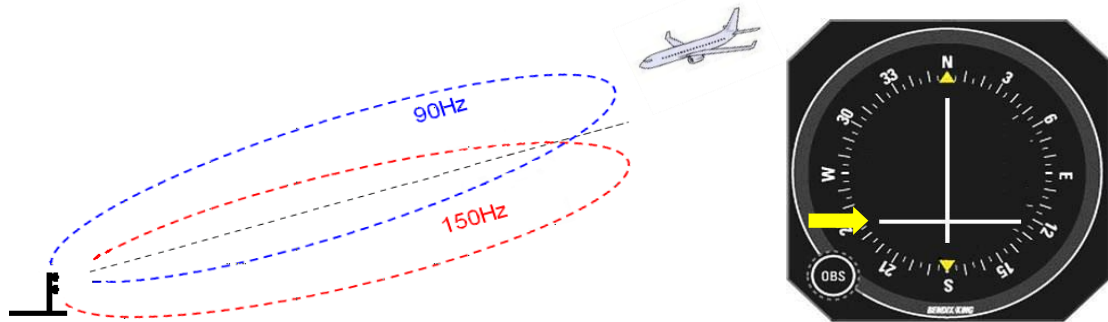
Slika 19. Pokazivač kuta poniranja kada se zrakoplov nalazi u idealnom kutu prilaza prema uzletno-sletnoj stazi. [4]

Kada se zrakoplov nalazi ispod prilazne ravnine i kuta manjeg od 3° primjećuje se vertikalni pomak horizontalne linije koja se nalazi iznad središta pokazivača. Sredina pokazivača predstavlja smjer zrakoplova, a horizontalna linija predstavlja odstupanje od prilazne ravnine i kuta od 3° . Da bi se zrakoplov našao na prilaznoj ravnini pilot mora podignuti zrakoplov odnosno napraviti manevar prema gore.



Slika 20. Pokazivač kuta poniranja kada se zrakoplov nalazi ispod prilazne ravnine. [4]

Kada se zrakoplov nalazi iznad prilazne ravnine i kuta većeg od 3° primjećuje se vertikalni pomak horizontalne linije koja se nalazi ispod središta pokazivača. Sredina pokazivača predstavlja smjer zrakoplova, a horizontalna linija predstavlja odstupanje od prilazne ravnine i kuta od 3° . Da bi se zrakoplov našao na prilaznoj ravnini pilot mora spustiti zrakoplov, odnosno napraviti manevar prema dolje te smanjiti brzinu zrakoplova. [4]



Slika 21. Pokazivač kuta poniranja kada se zrakoplov nalazi iznad prilazne ravnine. [4]

5. MIKROVALNI SUSTAV ZA SLIJETANJE ZRAKOPLOVA – MLS

Microwave landing system – MLS je standardno sredstvo za slijetanje od 1998. godine. MLS predstavlja svojevrsnu alternativu za ILS. MLS pruža informacije o azimutu, optimalnom kutu slijetanja i udaljenosti, ali ima i dodatna poboljšanja kao što su vođenje zrakoplova u prekinutom slijetanju i vođenje zrakoplova u kratkom finalu (*Flare Guidance*). Iz određenih razloga, a ponajviše napretka GPS satelitske navigacije, instalacija novih uređaja prekinuta je, stoga na europskim zračnim lukama rijetko možemo naići na MLS, dok se u SAD-u nigdje ne koristi MLS. MLS osigurava precizan prilaz i slijetanje zrakoplova gdje se prilaz ne podudara s produženom središnjicom uzletno-sletne staze. Sustav je fleksibilan zbog mogućnosti prilaza po pravcu koji ne mora biti jednak onom na produljenu središnjicu uzletno-sletne staze. Kompjuter u zrakoplovu može odrediti slijetanje iz bilo kojeg smjera, za različito orijentirane uzletno-sletne staze i zakrivljene prilaze pri slijetanju.

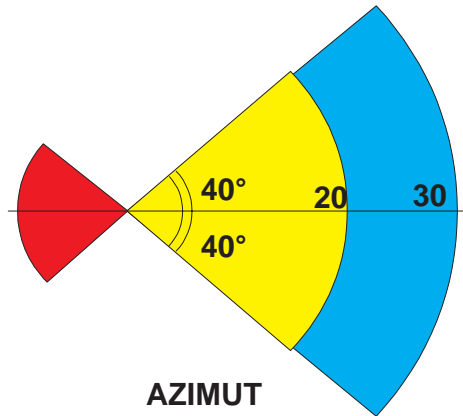
Sustav radi tako što emitira mikrovalne snopove prema području prilaza i vodi zrakoplov horizontalno i vertikalno. Zrakoplov prima signal i uz pomoć emitiranih snopova određuje svoj položaj u prostoru. Tako je položaj zrakoplova određen u horizontalnom smjeru prilaza te u vertikalnoj ravnini u bilo kojoj točki dosega emitiranog snopa. MLS odobrava ICAO za sve tri kategorije za precizni prilaz. [7]

5.1. OSNOVNI ELEMENTI MLS-A

MLS radi na jednom od 200 kanala u području 5031 - 5190,7 MHz. Domet mu je najmanje 20 NM, a sastoji se od sljedećih uređaja:

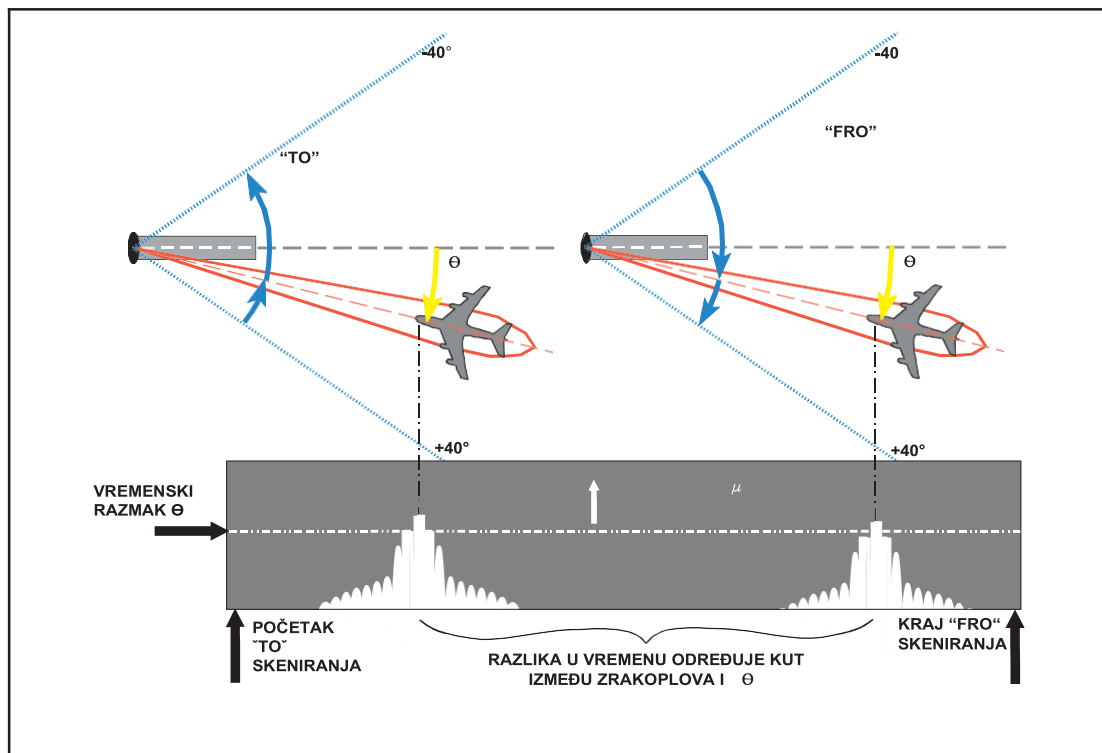
- Azimutni (odašiljački) uređaj (AZ)
- Elevacijski (odašiljački) uređaj (EL)
- Precizni DME (DME/P)
- Uređaj za davanje informacija
- Uređaj za stražnji azimut (BAZ)
- Uređaj za vođenje zrakoplova u kratkom finalu (FG, EL2).

Azimutni uređaj nalazi se 300 metara iza kraja uzletno-sletne staze. Sastoji se od odašiljača, skenirajućeg snopa, kontrolne jedinice i sustava za nadzor. Odašiljači su neusmjerene snage 20 W. Pokrivenost azimutnog uređaja je najmanje 40° na svaku stranu od središnjice uzletno-sletne staze, a proteže se u vis pod kutom od 15° do visine od najmanje 20000 ft, te dometa od 20 NM. [8]



Slika 22. Pokrivenost azimutnog uređaja. [10]

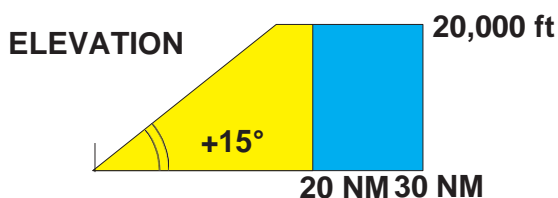
Azimutni odašiljač odašilje tanki lepezasti snop radijskog signala koji se pomiče unutar granica pokrivenosti u točno određenom vremenskom slijedu. Promatrajući iz zrakoplova u prilazu, snop počinje s lijeve strane i pomiče se udesno (TO), a zatim se vraća ulijevo (FRO). Tijekom "TO" i "FRO" skeniranja zrakoplov kroz snop prođe dva puta. Zrakoplov blizu lijeve strane pokrivenosti u prilazu imao bi veliki vremenski razmak "TO" i "FRO" skeniranja. Ukoliko bi se zrakoplov nalazio s desne strane imao bi mali vremenski razmak. Vremenski razmak koji se dobije skeniranjem "TO" i "FRO" prikazuje horizontalnu kutnu poziciju zrakoplova. [9]



Slika 23. Prikaz određivanja vremenskog razmaka između "TO" i "FRO" skeniranja.

[10]

Elevacijski uređaj najčešće se nalazi u blizini praga uzletno-sletne staze oko 125 metara u stranu. Pokrivenost elevacijskog uređaja mora biti jednaka azimutnom uređaju u vertikalnom djelu, a proteže se u vis kutom koji mora biti veći od 15° . Domet je također najmanje 20 NM. Odašilje signale na istoj frekvenciji kao i azimutni uređaj te navodi zrakoplov pomoću tankog lepezastog snopa koji se pomiče gore-dolje i tako vertikalno navodi zrakoplov. Vremenski razmak između skeniranja određuje vertikalnu kutnu poziciju zrakoplova.

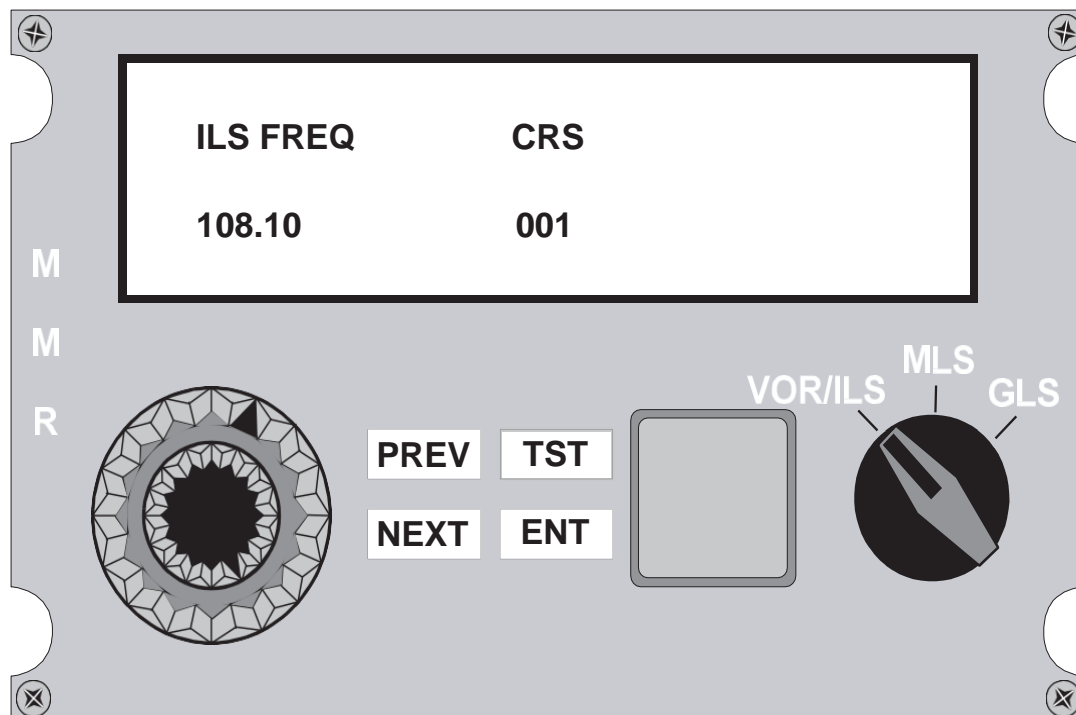


Slika 24. Pokrivenost elevacijskog uređaja. [10]

Precizni DME radi na istom principu kao i obični DME, ali ima neke tehničke razlike. Odašiljač radi u području od 926 – 1105 MHz. Preciznost je poboljšana da bude ujednačena s preciznošću koju imaju azimutni i elevacijski uređaj. Također je povećan broj kanala na 200 da se može upariti s azimutnim i elevacijskim uređajem. DME/P koristi se za određivanje udaljenosti, odnosno pridodavanja treće koordinate zrakoplovu u slijetanju . Budući da postoje dva transpondera sustava DME/P, jedan na zrakoplovu, a drugi na zemlji u prilazu, za prilaz zrakoplova do 8 NM koristi se DME uređaj na zemlji, da bi se nakon 7 NM koristio DME uređaj u zrakoplovu. Ta dva načina rada nazivaju se inicijalni prilaz i finalni prilaz. [8]

5.2. UREĐAJI U ZRAKOPLOVU

Uređaji u zrakoplovu dizajnirani su da konstantno prikazuju položaj zrakoplova u odnosu na odabranu prilaznu ravninu i udaljenost prilikom slijetanja. U zrakoplovu mora biti jedna ili više MLS antena, prijatelj MLS signala s kompjuterom za obradu podataka, MLS pokazivač (zaslon) te povezanost prijatelja s kontrolnim sustavima u zrakoplovu. Da bi zrakoplov mogao primiti ILS, MLS i GPS signale, zrakoplovi su opremljeni *multi-mode* prijateljima i zaslonima da bi olakšali posao letačkoj posadi zrakoplova. Prikaz takvog zaslona vidljiv je na slici 25. [7]



Slika 25. Multi-mode zaslon u zrakoplovu. [10]

5.3. PREDNOSTI MLS-A U ODNOSU NA ILS

ILS ima sljedeće nedostatke:

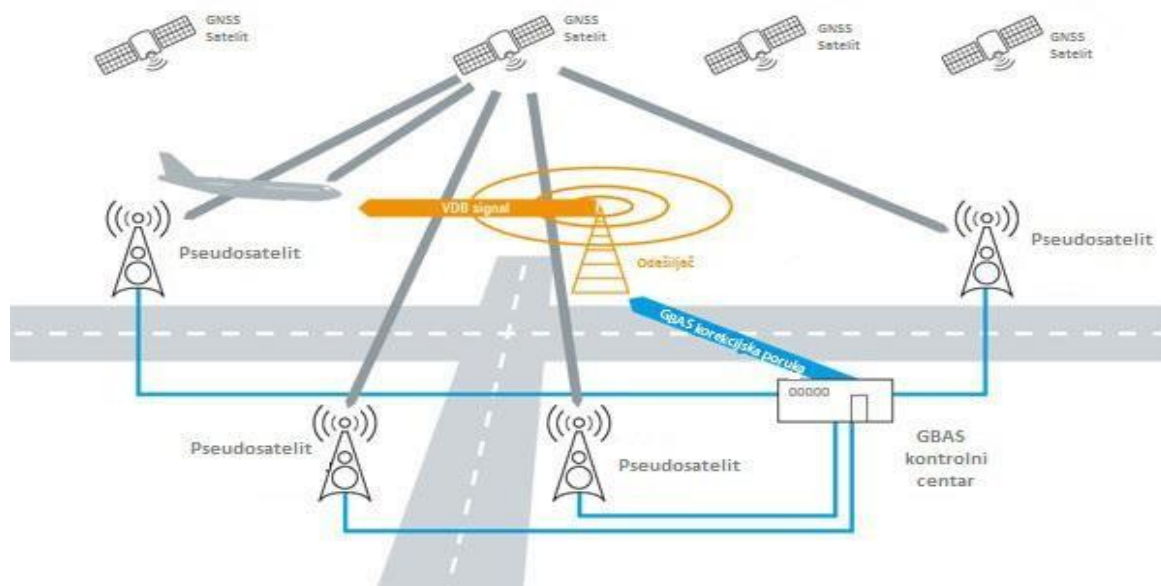
- Ima samo 40 mogućih kanala.
- Azimut i zraka *Glide slope*-a su fiksne i uske, što ima za posljedicu razdvajanje zrakoplova koji svojim čekanjem na prilaz uzrokuju kašnjenja.
- Ne postoje posebne procedure za spore zrakoplove, helikoptere i STOL (*Short Take Off and Landing*) zrakoplove.
- ILS sustav 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 *localizer*-a i *glide slope*-a.
- Vozila, zrakoplovi u taksiranju, zrakoplovi u niskom prilazu i građevine zračne luke moraju biti dovoljno udaljeni od zraka odašiljača.

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 - 30 NM .
- Otklonjeni su problemi u slučaju prekinutog slijetanja, odnosno sekundarni sistem osigurava navođenje zrakoplova.
- Djeluje u području SHF frekvencijskog područja od 5031 – 5090 MHz.
- Omogućuje pozicioniranje u brdovitim područjima. Devijacije kursa AZ 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. [10]

6. GBAS SUSTAV ZA SLIJETANJE - GLS

GBAS je sustav poboljšanja čiji se temeljni način rada zasniva na signalima sa zemaljskih postaja i senzora, te taj sustav poboljšanja pokriva određeni lokalni dio područja na zemlji. Postaja, koja prima signal sa satelita, uspoređuje poziciju dobivenu pomoću satelita s poznatom, precizno izmjerenom vlastitom pozicijom te izračunava vrijednosti pogreške pozicioniranja. Postaja se nalazi u blizini ili čak na samom aerodromu na kojem se primjenjuju procedure koje zahtijevaju povećanu točnost pozicioniranja. Podatak o pogrešci koji se izračunao na postaji, emitira se svim zrakoplovima u blizini od 20 NM te služi za korekciju pozicije i informaciju vezanu za integritet sustava. Prijamnici koji se nalaze u zrakoplovima, primljeni korigirani signal sa zemaljske postaje obrađuju na isti način kao i signal sa samog satelita, pa se postaja koja emitira signal naziva još i pseudosatelit. Taj sustav, gdje se preko pseudosatelita koji proračunava pogrešku i šalje korekcije na GPS prijamnike, naziva se diferencijski GPS. Prijamnik u zrakoplovu treba biti tehnički opremljen za prijam korekcijskih podataka koji se emitiraju sa pseudosatelitskih postaja. Takvim GPS sustavom poboljšanja postiže se metarska točnost pozicioniranja zrakoplova, a uz posebne tehničke uvjete i submetarska točnost pozicioniranja. Na slici 26. prikazan je sustav GBAS. Pojedine dijelove GBAS sustava za slijetanje možemo podijeliti kao 3 podsustava. Prvi dio je GNSS satelitski podsustav (*GNSS Satellites subsystem*), drugi i najbitniji je GBAS zemaljski podsustav (*GBAS Ground Subsystem*), a posljednji je GBAS zrakoplovni podsustav (*GBAS Aircraft Subsystem*). [11]



Slika 26. Prikaz koncepta sustava GBAS. [11]

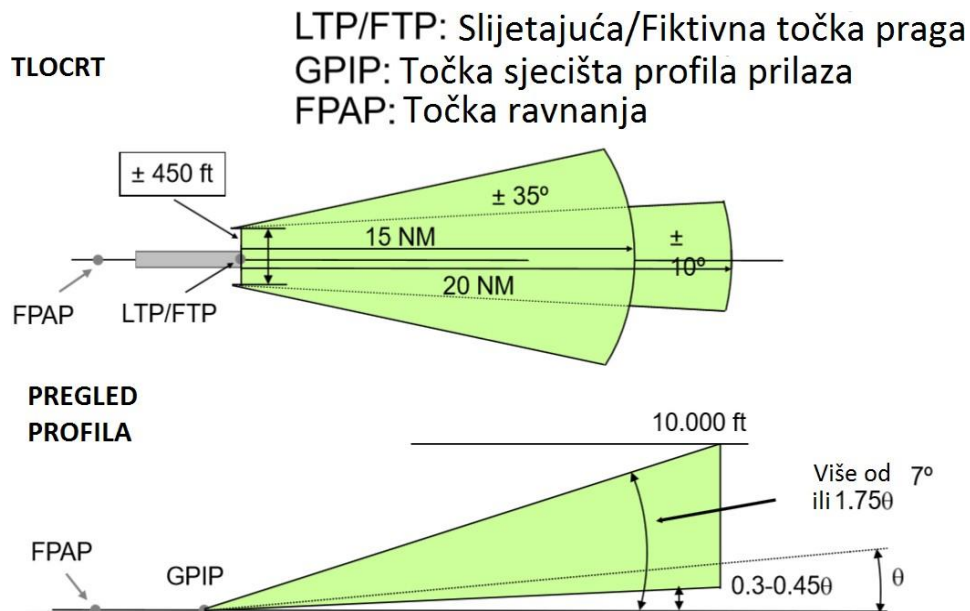
6.1. GNSS SATELITSKI PODSUSTAV

GNSS satelitski podsustav je dio sustava GBAS-a koji se nalazi u svemiru. Taj podsustav čine sateliti koji se koriste u civilnu svrhu i svima su dostupni te se pomoću satelita koji emitira signal određuje željena pozicija na zemlji koja se najčešće nalazi u blizini aerodroma.

6.2. GBAS ZEMALJSKI PODSUSTAV

GBAS zemaljski podsustav je najvažniji dio GBAS-a. Sastoji se od dva do četiri GNSS referentna prijarnika (GNSS *Reference Receivers*), VHF *Data Broadcast* (VDB) odašiljača, čiji se raspon frekvencija kreće od 108,025 MHz do 117,950 MHz, sustava za nadzor i bazu podataka prilaza (*Approach Database*). Glavna zadaća zemaljskog GBAS podsustava je osigurati korekcije pseudoudaljenosti. Također je potrebno osigurati podatke o segmentu završnog prilaženja kada pruža uslugu preciznog prilaženja, osigurati dostupnost podataka o rasponu izvora te osigurati integritet praćenja GNSS raspona izvora. Svi podatci sadržani su u navigacijskoj poruci koja je emitirana sa sustava GBAS. GBAS svojim korisnicima mora omogućiti određenu pokrivenost koja osigurava zahtijevane minimume. Osiguravanje tih

minimuma potrebno je zadovoljiti kako u horizontalnoj tako i u vertikalnoj ravnini te prikaz tih minimuma najbolje prikazuje slika 27.



Slika 27. Prikaz minimalne pokrivenosti u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini. [11]

6.3. GBAS ZRAKOPLOVNI PODSUSTAV

GBAS zrakoplovni podsustav je dio sustava GBAS-a i nalazi se u samom zrakoplovu. Glavni dijelovi koji čine ovaj sustav i osiguravaju da prima korekcije sa zemaljskih postaja je zrakoplovni GNSS prijamnik. Ovaj prijamnik prima, prati i dekodira GNSS satelitske signale. Kako bi prijamnik mogao primati za zemaljskih postaja korekcije, mora sadržavati u sebi VHF *Data Broadcast Receiver* funkciju. Ta funkcija omogućuje dekodiranje signala sa zemaljskih postaja, odnosno GBAS zemaljskog podsustava. Prijamnik također mora sadržavati funkciju *Aircraft Navigation Processing Function*, koja prima izračune pseudoudaljenosti sa funkcije GNSS prijamnika, primjenjuje razlike u korekciji primljene od VHF *Data Broadcast Receiver* funkcije i, uz izračunatu razliku korekcije, određuje točnu poziciju zrakoplova. *Aircraft Navigation Processing Function* također izračunava devijaciju od odabrane *FAS (Final approach segment)* putanje. [11]

6.4. EKONOMSKA ISPLATIVOST GBAS-A I PREDNOSTI U ODNOSU NA ILS

Cijena instalacije GBAS-a je oko 2 milijuna eura, dok je instalacija ILS-a oko 500 tisuća eura na svakom kraju uzletno-sletne staze. GBAS sustav za slijetanje može voditi zrakoplov prema više krajeva uzletno-sletne staze, maksimalno 48, iako se instalira na jednom mjestu. Kod instalacije GBAS-a najveću cijenu, od oko 500 tisuća do milijun eura, ovisno o kategoriji, ima infrastruktura na zemlji (stanica, VDB odašiljač, GNSS prijammnici). Za instalaciju, rad ljudi i razne naknade potrebno je platiti do 200 tisuća eura. Podešavanje instrumenata i probni let mogu koštati do 50 tisuća eura a izdavanje certifikata košta 30 tisuća eura. Godišnje održavanje košta oko 43 tisuće eura, no uzme li se u obzir desetogodišnje održavanje, dolazimo do cijene od 430 tisuća eura. [12]

Prednosti GBAS-a u odnosu na ILS:

- ILS navodi zrakoplov samo na jedan kraj uzletno-sletne staze, dok GBAS ima mogućnost vođenja zrakoplova na više preciznih prilaza, ne samo na zračnoj luci na kojoj je instaliran, nego i na obližnjim zračnim lukama.
- ILS može biti ometen u određenim vremenskim uvjetima, dok GBAS ne podliježe vremenskim uvjetima.
- GBAS sustav omogućuje prilaz zakrivljenom putanjom s navođenjem u vertikalnoj i horizontalnoj ravnini.
- Navođenje prilikom neuspjelog prilaza.
- Sustav pozicioniranja omogućava horizontalnu informaciju pozicije zrakoplova ili helikoptera u području operiranja GBAS-a.

7. ZAKLJUČAK

Prilaz i slijetanje predstavljaju posljednju, najkritičniju, fazu leta stoga je vrlo važno implementacijom sustava za slijetanje olakšati posao letačkom osoblju i razvijati sustave da bi se smanjio broj nesreća u slijetanju i omogućio siguran zračni prijevoz.

ILS je najrasprostranjeniji sustav za slijetanje na svijetu, a njegov razvoj ujedno je pridonio smanjenju broja zrakoplovnih nesreća. Najveći značaj u sigurnom vođenju zrakoplova ILS ima u lošim vremenskim uvjetima kao što su snijeg, kiša, magla, odnosno uvjeti loše vidljivosti kada pilot ne može vidjeti uzletno-sletnu stazu, nego se mora osloniti na instrumente u zrakoplovu koji mu pokazuju put prema uzletno-sletnoj stazi. Uređaji na zemlji šalju signale prema pravcu prilaza, *Localizer* vodi zrakoplov po horizontalnoj osi, dok *Glide slope* vodi zrakoplov po vertikalnoj osi. Radiomarkeri letačkom osoblju pružaju informacije o udaljenosti od uzletno-sletne staze. Svjetlosni pokazivači nagiba predstavljaju vizualnu asistenciju letačkom osoblju da bi mogli ostvariti kut prilaza od 3°. Prijamnici u zrakoplovu primaju signale sa zemaljskih stanica i na pokazivačima letačkom osoblju daju informacije o trenutnoj poziciji zrakoplova.

MLS je osmišljen kao svojevrsna zamjena za ILS. Zamisao je bila da se nadomjesti nedostaci koje ima ILS. Iako sustav ima 200 kanala, može se postavljati u brdovita područja i ima mogućnost voditi zrakoplov u zakrivljenom prilazu, a pojavom satelitske navigacije MLS nikada nije zaživio u komercijalnoj upotrebi zbog svoje cijene koja je puno veća od satelitskog sustava za slijetanje.

GBAS sustav za slijetanje omogućuje precizno pozicioniranje zrakoplova u okolici aerodroma. Ovaj sustav osigurava precizno pozicioniranje zrakoplova dok je u prilazu za slijetanje. Sustav je u potpunosti ekonomski isplativ, pogotovo ukoliko se instalira na zračnim lukama s više uzletno-sletnih staza, te ako u blizini ima zračnih luka koje bi također mogle imati koristi od navođenja zrakoplova ovim sustavom.

LITERATURA

- [1] <https://www.slideshare.net/awdersabr/instrument-landing-system-ils-62028203>, (svibanj 2019.)
- [2] <https://aviation.stackexchange.com/questions/35264/what-is-the-purpose-of-having-different-ils-categories>, (svibanj 2019)
- [3] Merkisz, J., Galant, M., Bieda, M. Analysis of operating instrument landing system accuracy under simulated conditions. Scientific Journal of Silesian University of Technology. 2017
- [4] https://www.iva.aero/training/documentation/books/spp_adc_navigation_ils.pdf, (svibanj 2019.)
- [5] <http://landingsystem.com/ils/>, (svibanj 2019.)
- [6] Pavlin, S.: Aerodromi I, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2006.
- [7] <http://landingsystem.com/mls/mls-onboard-equipment/>, (srpanj 2019.)
- [8] <https://www.cfinotebook.net/notebook/avionics-and-instruments/microwave-landing-system>, (srpanj 2019.)
- [9] <https://www.theairlinepilots.com/forum/viewtopic.php?f=34&t=835>,(srpanj 2019.)
- [10] <https://www.aircraftspruce.com/catalog/pdf/13-08721.pdf>, (srpanj 2019.)
- [11] Hrga, L. (2016). *Analiza mogućnosti implementacije GLS-a na zračnoj luci Split* (Završni rad). Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:992140>
- [12] Merkisz, J., Galant, M., Bieda, M. Analysis of operating instrument landing system accuracy under simulated conditions. Scientific Journal of Silesian University of Technology. 2017
- [13] http://pernerscontacts.upce.cz/30_2013/Ambrozova.pdf (srpanj 2019.)
- [14] <https://www.boldmethod.com/learn-to-fly/systems/how-an-ils-works/>,(srpanj 2019.)

POPIS SLIKA

Slika 1	Prikaz prilazne ravnine u normalnim vremenskim uvjetima u programu FS Instructor	5
Slika 2	Prikaz prilazne ravnine u uvjetima magle u programu FS Instructor	6
Slika 3	Prikaz prilazne ravnine pod uvjetima snijega u programu FS Instructor	7
Slika 4	Prikaz prilazne ravnine u uvjetima jakog vjetra u programu FS Instructor	8
Slika 5	Primjer log periodske antene i četvrtaste antene	9
Slika 6	Signali koje prenosi <i>Localizer</i>	10
Slika 7	Širina emitiranja signala	10
Slika 8	Pokrivenost antene <i>Localizer-a</i>	11
Slika 9	Prikaz signala <i>Glide slope-a</i>	11
Slika 10	Položaj radiomarkera u odnosu na uzletno-sletnu stazu	13
Slika 11	Vizualni prikaz vanjskog markera u zrakoplovu	13
Slika 12	Vizualni prikaz srednjeg markera u zrakoplovu	14
Slika 13	Vizualni prikaz unutarnjeg markera u zrakoplovu	14
Slika 14	Prikaz boja svjetala T-VASIS-a i AT-VASIS-a u odnosu na visinu zrakoplova u slijetanju.	15
Slika 15	Prikaz boja svjetala sustava PAPI u odnosu na visinu zrakoplova u slijetanju	16
Slika 16	Pokazivač pravca prilaza kada zrakoplov nema bočnog pomaka u odnosu na uzletno-sletnu stazu	17
Slika 17	Pokazivač pravca prilaza kada se zrakoplov nalazi s lijeve strane u odnosu na produženu središnjicu uzletno-sletne staze	18
Slika 18	Pokazivač pravca prilaza kada se zrakoplov nalazi s desne strane u odnosu na produženu središnjicu uzletno-sletne staze	18

Slika 19	Pokazivač kuta poniranja kada se zrakoplov nalazi u idealnom kutu prilaza prema uzletno-sletnoj stazi	19
Slika 20	Pokazivač kuta poniranja kada se zrakoplov nalazi ispod prilazne ravnine	19
Slika 21	Pokazivač kuta poniranja kada se zrakoplov nalazi iznad prilazne ravnine	20
Slika 22	Pokrivenost azimutnog uređaja	22
Slika 23	Prikaz određivanja vremenskog razmaka između "TO" i "FRO" skeniranja	23
Slika 24	Pokrivenost elevacijskog uređaja	23
Slika 25	<i>Multi-mode</i> zaslon u zrakoplovu	25
Slika 26	Prikaz koncepta sustava GBAS	28
Slika 27	Prikaz minimalne pokrivenosti u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini	29



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ završni rad
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.
Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.
Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.
Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ završnog rada
pod naslovom **Značajke sustava za prilaz i slijetanje zrakoplova**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom
repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, 19.8.2019

Križanec
(potpis)