

# Dizajn GNSS prilazne procedure

---

Sučić, Antonio

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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:119:290342>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-01**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Antonio Sučić

DIZAJN GNSS PRILAZNE PROCEDURE

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, rujan 2022

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

## **ZAVRŠNI RAD**

# **DIZAJN GNSS PRILAZNE PROCEDURE GNSS APPROACH PROCEDURE DESIGN**

Mentor: mag. ing. aero. Petar Andrašić

Student: Antonio Sučić

JMBAG: 0135258961

Zagreb, rujan 2022.

## DIZAJN GNSS PRILAZNE PROCEDURE

### SAŽETAK:

Zrakoplovna kultura je od svojih početaka bila kultura osnovana na sigurnosti. Iz ove želje za sigurnosti razvile su se standardizirane prilazne procedure zrakoplova na slijetanju. Prilazne procedure su uglavnom utemeljene na zemaljskim radionavigacijskim sredstvima, koji po načinu izvedbe imaju relativno veliku nepreciznost i ovisne su o pravilnom djelovanju istih sredstava. GNSS sustavi nude gotovo neprekidnu mogućnost vođenja zrakoplova u sve tri dimenzije i po vremenu uz veliku preciznost. Po svijetu se uvodi sve više procedura prilaza pomoću GNSS sustava (RNP prilazi). Ovaj završni rad obuhvaća zahtjeve za procedure sa zemaljskim radionavigacijskim sredstvima i GNSS procedure, uzima u obzir postojeću proceduru na zračnoj luci Lošinj, opisuje izradu i implementaciju nove GNSS procedure te analizira razliku između navedenih prilaza.

### KLJUČNI RIJEČI:

GNSS, GPS, RNP, procedure prilaza, instrumentalni prilaz

## GNSS APPROACH PROCEDURE DESIGN

### SUMMARY:

Aviation culture since its conception was a culture based on safety. Due to this necessity for safety standardised approach procedures were created to guide aircraft to landing. Approach procedures are most often based on ground radio navigation equipment, which due to their construction are inherently inaccurate and dependant on the proper functioning of ground stations. GNSS based systems allow for continuous guidance of aircraft in all three dimensions and through time whilst enabling a high degree of accuracy. Aviation authorities due to this are implementing GNSS approach procedures more over the world. This thesis goes into detail about the requirements for a ground-based approach procedure and GNSS procedure, explains and designs a GNSS procedure for Lošinj airport based on an existing procedure and analyses the differences between each system.

### KEYWORDS:

GNSS; GPS, RNP, approach procedures, instrument approach

## SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
2. Opći zahtjevi prilaznih procedura .....	2
3. PANS OPS zahtjevi VOR procedura .....	5
3.1. Segment početnog prilaženja .....	5
3.1.1. Visine početnog prilaženja .....	5
3.1.2. Putanje početnog prilaženja .....	6
3.1.3. Područje početnog prilaženja .....	6
3.1.4. Vertikalni profil početnog prilaženja.....	7
3.2. Segment međuprilaženja .....	8
3.2.1. Putanja međuprilaženja .....	8
3.2.2. Područje međuprilaženja .....	8
3.2.3. Vertikalni profil segmenta međuprilaženja.....	9
3.3. Segment završnog prilaženja .....	10
3.3.1. Putanje završnog prilaženja .....	10
3.3.2. Vertikalni profil završnog prilaženja.....	11
3.3.3. Zahtjevi nadvisivanja prepreka .....	11
3.4. Segment neuspjelog prilaženja .....	13
3.4.1. Inicijalna faza.....	13
3.4.2. Prijelazna faza .....	13
3.4.3. Završna faza .....	14
4. Postroženi zahtjevi za GNSS prilazne procedure .....	15
4.1. Segment početnog prilaženja .....	16
4.2. Segment međuprilaženja .....	16
4.3. Segment neuspjelog prilaženja.....	16
5. Analiza postojeće procedure .....	17
5.1. Definirane preletišta .....	17
5.2. Upotrijebljena radionavigacijska sredstva .....	19
5.3. Segment početnog prilaženja .....	19
5.4. Segment međuprilaženja .....	20
5.5. Segment završnog prilaženja .....	20
5.6. Segment neuspjelog prilaženja .....	20
6. Prijedlog nove procedure.....	21
6.1. Segment završnog prilaženja .....	22
6.2. Segment međuprilaženja .....	24

6.3. Segment početnog prilaženja .....	28
6.4. Segment neuspješnog prilaženja .....	32
7. Zaključak.....	34
Popis slika.....	35
Popis tablica .....	35
Literatura .....	36

Zagreb, 24. ožujka 2022.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**  
Predmet: **Zrakoplovna navigacija II**

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 6873

Pristupnik: **Antonio Sučić (0135258961)**  
Studij: **Aeronautika**  
Smjer: **Vojni pilot**

Zadatak: **Dizajn GNSS prilazne procedure**

**Opis zadatka:**

Opisati PANS OPS zahtjeve za dizajn procedure prilaza uz pomoć zemaljskih radio-navigacijskih sredstava. Opisati PANS OPS zahtjeve za dizajn GNSS procedure prilaza. Opisati postojeću proceduru prilaza odabranog aerodroma. Dizajnirati novu GNSS proceduru koja se oslanja na postojeću. Analizirati i prikazati razlike između dvije navede procedure.

Mentor:



---

dr. sc. Petar Andrašić

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

## 1. Uvod

Brojni faktori utječu na dizajn navigacijskih prilaznih procedura neki od značajnijih faktora su: nadvisivanje prepreka, dostupnost radionavigacijskih sredstava, eksploatacija aerodroma, ciljane kategorije zrakoplova, klimatološke karakteristike prostora i brojni drugi faktori. Korištenje GNSS sustava kao što su GPS, GLONAS, KOMPAS, itd. mogu povećati preciznost letenja i gotovo su uvijek dostupni zbog svoje autonomnosti.

Zračna luka Lošinj trenutno koristi neprecizne prilaze koje koriste *very high frequency omni-directional range* (VOR) sredstva. Dostupnost VOR sredstava ovisi o konfiguraciji terena, meteorološkim uvjetima te potrebnom održavanju. U ovom radu je opisan dizajn GNSS prilaznih procedura te je dizajnirana procedura za zračnu luku Lošinj.

Rad je organiziran u sedam poglavlja:

- Prvo poglavlje – Uvod
- Drugo poglavlje – Opći zahtjevi prilaznih procedura: Opisuje se zahtjevi koji se primjenjuju na svim vrstama prilaznih procedura iz ICAO dokumenta 6168.
- Treće poglavlje – PANS OPS zahtjevi VOR prilaznih procedura: Opisuje PANS OPS (Procedures for Air Navigation services – Aircraft Operations) zahtjeve za vrstu prilaženja koji se koristi za uzletno sletnu stazu 02 na zračnoj luci Lošinj.
- Četvrto poglavlje – Postroženi zahtjevi za GNSS prilazne procedure: ovo poglavlje proširuje zahtjeve iz drugog i trećeg poglavlja te ukratko opisuje GNSS sustave.
- Peto poglavlje – Analiza postojeće procedure: analizira se zračna luka Lošinj, uzletno sletne staze na zračnoj luci Lošinj, klimatologija područja na kojem se nalazi i problematika dizajniranja konvencionalnih prilaznih procedura. Detaljno se također analizira postojeća procedura po svim segmentima prilaženja i svim zahtjevima.
- Šesto poglavlje – Prijedlog nove procedure: Opisuje proces koji se koristio za dizajniranje GNSS prilazne procedure koja je temeljena na staroj VOR proceduri za pistu 02 zračne luke Lošinj po svim segmentima i zahtjevima.
- Sedmo poglavlje – Zaključak
- Na kraju rada se nalazi popis tablica, slika i literature



## 2. Opći zahtjevi prilaznih procedura

Instrumentalni prilazi mogu biti podijeljeni u pet segmenta, a to su dolazni, početni, srednji, završni i segment neuspjelog prilaženja [1]. Segmenti prilaženja su određeni pomoću preletišta, no u nekim slučajevima ne treba biti preletišta, npr. ako sljedeći segment počinje tamo gdje se sijeku trenutna visina zrakoplova i ravnina spuštanja. Preletišta su nazvana prema segmentu kojem prethode npr. *final approach fix* (FAF) za preletišta završnog prilaženja. Nije nužno da je prilazna procedura sačinjena od svih pet segmenta. [2].

Razlikujemo precizne i neprecizne instrumentalne prilazne procedure. Glavna razlika između te dvije vrste je da precizne prilazne procedure imaju mogućnost kontrole vođenja zrakoplova po vertikalnoj i horizontalnoj ravnini tj. da posada zrakoplova može u bilo kojem trenutku odrediti poziciju zrakoplova u sve tri dimenzije [1]. Također razlikujemo neprecizne APV (approaches with vertical guidance), prilazne procedure u kojima su određene visine na pojedinim točkama procedure i gradijent spuštanja između njih. Samo vođenje po visini u APV prilaznim procedurama odrađuje posada zrakoplova proračunima [2].

Izrada procedura prilaženja bi trebala početi s određivanjem putanje završnog prilaženja zbog toga što je to najstroži element određen pomoću piste za koju se izrađuje procedura. Nakon određivanja putanje završnog prilaženja mogu se odrediti ostali segmenti tako da se nadovezuju za najpovoljnije putanje za zrakoplove [3].

Kako bi se smanjila vjerojatnost pojave kontroliranog letenja u teren (*controlled flight into terrain* - CFIT) navigacijske karte završnog prilaženja moraju pokazivati sigurnosne visine nadvisivanja terena i visine same procedure. Visine procedure moraju omogućiti nadvisivanje svih prepreka i stabilno prilaženje zrakoplova gradijentom spuštanja u završnom segmentu koja završava 15m (50ft) iznad praga uzletno sletne staze (USS) . Visina procedura ne smije nikada biti manja od apsolutne visine nadvisivanja prepreka odnosno visine nadvisivanja prepreka [3].

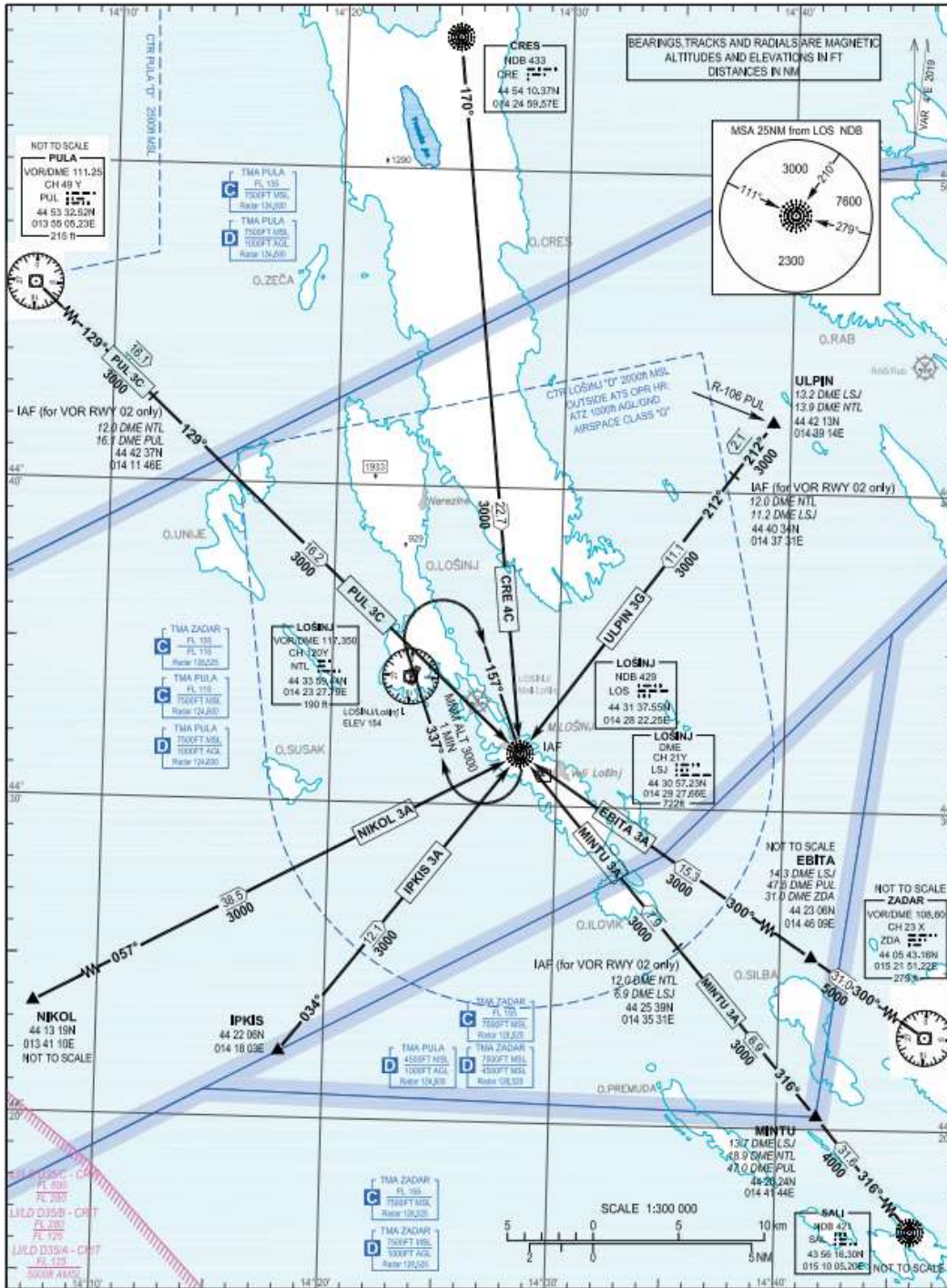
Performanse zrakoplova određuju karakteristike procedura i zračnog prostora oko aerodroma. Najznačajniji faktor performanse zrakoplova je brzina. Zbog toga je određeno pet kategorija zrakoplova ovisno o brzini, odnosno upravljivosti. Parametar koji se koristi u određivanju kategorija zrakoplova je brzina iznad praga USS ( $V_{at}$  – *airspeed at threshold*). Vrijednost  $V_{at}$  se određuje tako da se uzima onaj iznos koji je veći od: 1.3 pomnoženo s brzinom prevlačenja ( $V_{s0}$ ) ili 1.23 pomnoženo s brzinom zrakoplova u sletnoj konfiguraciji s maksimalnom certificiranom masom slijetanja. Kategorije su u daljnjem kontekstu definirane po tablici 1 [3].

Tablica 1 - Kategorije zrakoplova [3]

Kategorija	Indicirana brzina (km/h)	Indicirana brzina (kt)
A	manja od 169 km/h	manja od 91 kt
B	169 km/h i više, ali manja od 224 km/h	91 kt i više, ali manja od 121 kt
C	224 km/h i više, ali manja od 261 km/h	121 kt i više, ali manja od 141 kt
D	261 km/h i više, ali manja od 307 km/h	141 kt i više, ali manja od 166 kt
E	307 km/h i više ali manja od 391 km/h	166 kt i više ali manja od 211 kt
H	<i>Helikopteri</i>	

Brzina za helikoptere se ne može određivati istim postupkom iz razloga što helikopteri nemaju brzinu prevlačenja. Kada se uzimaju helikopteri u obzir za izradu procedura prilaženja aviona onda se smatraju kategorijom A. Procedure kategorije H se ne smiju nalaziti na kartama ostalih procedura, ali ako ne postoji procedura kategorije H, helikopteri mogu postupiti prema procedurama za zrakoplove kategorije A [3].

Prvi segment prilaženja je dolazni segment, najčešće se nazivaju standardizirani instrumentalni dolasci (*standard instrument arrival routes – STAR*). STAR može bit neovisan i univerzalan postupak koji spajaj *en route* dio leta s prilaznom procedurom [3]. STAR-ovi znatno olakšavaju rad aerodromske kontrole letenja i povećavaju sigurnost letenja [1]. STAR ne smije biti izvan pokrivenosti radionavigacijskih sredstava koji ga definiraju te bi trebali uzeti u obzir potrebe lokalnog zračnog prometa. Također bi trebali biti jednostavni, koristiti što manje zemaljskih sredstava te odgovarati što većem broju kategorija zrakoplova [3]. Primjeri ovakvih ruta na zračnoj luci Lošinj (LDLO) su: PUL 3C, ULPIN 3G i MINTU 3A te su vidljivi na slici 1. Zbog toga što zračna luka Lošinj ima postojeće dolazne procedure one se neće obraditi u ovom radu.



Slika 1 - Primjer standardiziranog instrumentalnog dolaska [6]

### 3. PANS OPS zahtjevi VOR procedura

*Very High Frequency Omni Directional Range* (VOR) stanice su najkorištenija radionavigacijska sredstva u zrakoplovstvu. VOR stanice rade na frekvencijama između 108.0 MHz i 117.95 MHz te odašilju signale u 360 radijala u svim smjerovima s razmakom od 1° [2]. Radijal je kut mjerjen u smjeru kazaljke na satu na poziciji VOR stanice od magnetskog sjevera do pravca radio smjera (zamišljeni polu-pravac koji spaja radionavigacijsko sredstvo i zrakoplov) [1]. VOR stanice mogu samo dati informacije o tome gdje se nalazi zrakoplov u odnosu na sebe, ne mogu dati nikakvu informaciju o visini, zbog toga su sve VOR prilazne procedure neprecizne vrste. Najčešće su uz VOR stanice kolocirane *distance measuring equipment* (DME) [2]. Pomoću DME moguće je odrediti položaj zrakoplova tako da se pronade sjecište trenutnog radijala i udaljenost na kojoj se zrakoplov nalazi. Uz preciznije određivanje položaja zrakoplova moguće je odrediti preletišta koja su potrebna za izradu segmenata prilaznih procedura [1].

#### 3.1. Segment početnog prilaženja

Segment početnog prilaženja počinje na mjestu preletišta početnog prilaženja (IAF – Initial Approach Fix) i završava na mjestu preletišta međuprilaženja (IF – Intermediate fix). Ako se željena putanja zrakoplova ne može odrediti pomoću VOR radijala može se koristiti DME luk [3]. DME luk je putanja zrakoplova kojom se održava konstantna udaljenost (pomoću očitavanja DME instrumenta) od radionavigacijskog sredstva, opisuje se kružna putanja konstantnog radijusa [1].

Povratni (reversal procedure) i produljeni (racetrack) postupci te spuštanja u krugu čekanja spadaju u segment početnog prilaženja sve dok se zrakoplov ne nalazi na putanji za početno prilaženje. Zbog toga što zračna luka Lošinj ne koristi povratne ni produljene procedure za pistu 02 neće se obraditi u ovom radu. U slučaju da je potrebno imati krug čekanja bilo bi poželjno da su kolocirani IAF i preletišta u postupku čekanja [3].

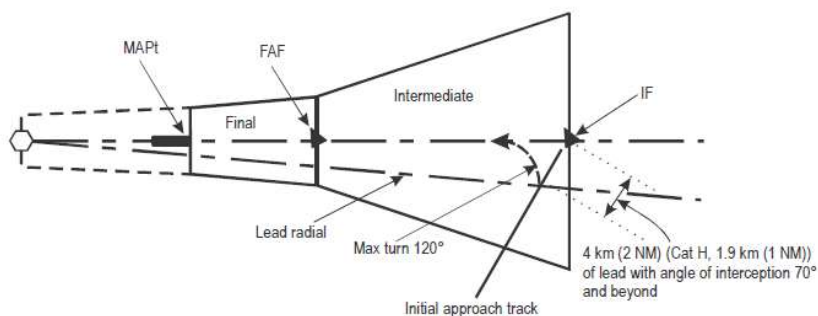
##### 3.1.1. Visine početnog prilaženja

Minimalne visine u segmentu početnog prilaženja bi se trebale zaokružiti na najbližu veću stoticu stopa te se visine procedure ne smiju nalaziti ispod visine povratnog i produljenog postupka, međuprilaženja i segmenta završnog prilaženja. U slučaju da se minimalne visine razlikuju ovisno o kategorijama zrakoplova onda se ne smiju prikazati na istoj karti [3].

Visine početnog prilaženja moraju biti definirane i publicirane te ne smiju biti manje od minimalne visine nadvisivanja prepreka (MOCA – minimum obstacle clearance altitude). Kada je moguće visine početnog prilaženja bi trebale biti definirane tako da omogućuju da zrakoplov presječe ravninu završnog prilaženja (glide slope) dok se nalazi u segmentu početnog prilaženja [3].

### 3.1.2. Putanje početnog prilaženja

Kut koji zatvaraju kursevi početno prilaženje i međuprilaženje bi trebao biti manji od  $120^\circ$ . Ako je taj kut veći od  $70^\circ$  tada treba postojati radijal, kurs, radarsko vektoriranje ili DME informacija koji olakšavaju prepoznavanje trenutka uvođenja u zaokret kao na slici 2 (2 NM prije IF ili 1 NM prije IF za kategorije H). U slučaju potrebe da skretanje bude veće od  $120^\circ$  tada se preporučuje korištenje povratne ili produljene procedure [3].

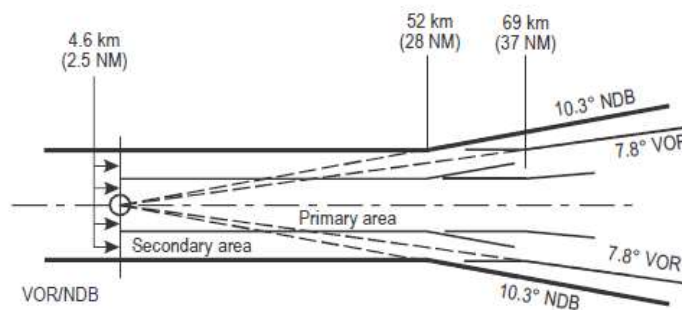


Slika 2 – Označavanje trenutka uvođenja u zaokret [3]

DME luk se može koristiti za određivanje putanje početnog prilaženja u cijelosti ili samo njezinog dijela. Radijus DME luka za početno prilaženje treba biti najmanje 7 NM za sve kategorije osim za kategoriju H gdje radijus mora biti veći od 5 NM [3].

### 3.1.3. Područje početnog prilaženja

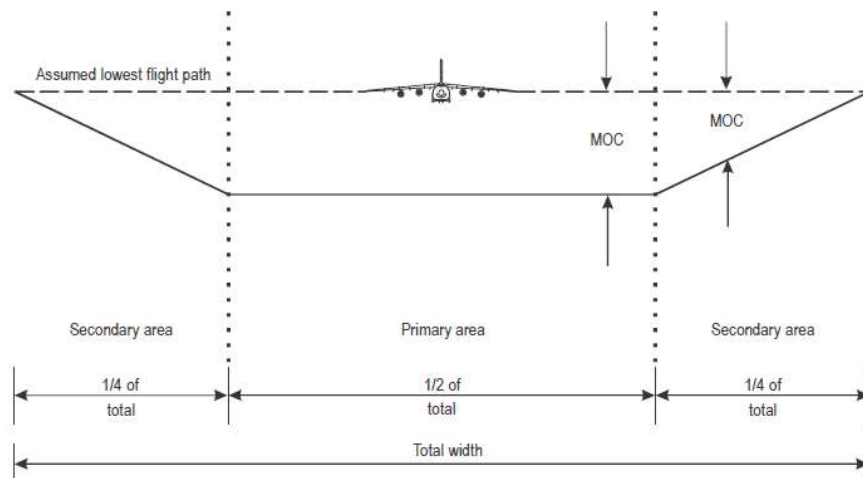
Područje početnog prilaženja nema standardnu duljinu te bi trebalo biti dovoljno dugo da omogući promjene visine koje su određene procedurom, dok se širina područja početnog prilaženja dijeli na primarno područje (2.5 NM okomito na putanje početnog prilaženja) i sekundarno područje (2.5 NM okomito na primarno područje). Kada je potrebno da se putanja početnog prilaženja nalazi 37 NM od VOR-a tada se od te točke proširuje područje početnog prilaženja po kutu od  $7.8^\circ$ , te širina primarnog područja tada iznosi pola ukupne širine područja [3]. Način proširenja područja početnog prilaženja za udaljenosti koje su veće od 37 NM od radionavigacijskog sredstva je vidljivo na slici 3.



Slika 3 - Područje početnog prilaženja za VOR procedure [3]

#### 3.1.4. Vertikalni profil početnog prilaženja

Nadvisivanje prepreka u primarnom području treba biti barem 300 m (984 ft), dok visina u sekundarnom području počinje na 300 m na unutrašnjoj strani i linearno se smanjuje tako da na rubu područja početnog prilaženja bude 0 m (slika 4). Optimalni gradijent spuštanja u početnom prilaženju je 4.0% (za kategoriju H je 6.5%), u slučaju da je potreban veći gradijent spuštanja tada je maksimalan dozvoljen gradijent 8.0% (za kategoriju H je 10% osim ako se brzina prilaženja ograniči na 90 kt IAS onda može biti do 13.2%) [3].



Slika 4 - Nadvisivanje prepreka u područjima prilaženja [3]

### 3.2. Segment međuprilaženja

Segment međuprilaženja je segment koja spaja početno prilaženje i završno prilaženje. U ovom segmentu zrakoplovi mijenjaju parametre leta kako bi omogućili što bolji prijelaz u fazu završnog prilaženja. Segment međuprilaženja omeđen je preletištem međuprilaženja i preletištem završnog prilaženja. Minimalne visine međuprilaženja trebaju zadovoljiti iste standarde kao i minimalne visine početnog prilaženja [3].

#### 3.2.1. Putanja međuprilaženja

Kurs međuprilaženja bi trebao biti isti kao i kurs završnog prilaženja te bi se segmenti trebali nadovezivati. U slučaju nemogućnosti poklapanja kurseva međuprilaženja i završnog prilaženja kada se koristi radionavigacijsko sredstvo za označavanje preletišta završnog prilaženja tada se dozvoljava odstupanje kurseva do maksimalno 30° (za kategoriju H dozvoljava se 60°). Za promjenu kurseva iznad preletišta završnog prilaženja koji su veći od 10° treba proširiti područje završnog prilaženja na vanjskoj strani zaokreta [3].

#### 3.2.2. Područje međuprilaženja

Duljina područja segmenta međuprilaženja ne smije biti veća od 15 NM (za kategoriju H, 5 NM) ni manja od 5 NM (za kategoriju H, 2 NM) osim ako se koriste sustavi ILS<sup>1</sup>, MLS<sup>2</sup>, RNAV<sup>3</sup> i radarsko vektoriranje [3].

Optimalna duljina područja je 10 NM (za kategoriju H, 5 NM), duljine veće od 10 NM bi se trebale izbjegavati osim ako su nužne iz operacijskih razloga. Kada je kut koji zatvaraju putanje početnog prilaženja i međuprilaženja veći od 90° (za kategoriju H, 60°) tada se minimalna duljina površine međuprilaženja definira po tablici 2 [3]:

Tablica 2 - Minimalne duljine područja međuprilaženja [3]

Kut zatvaranja	Minimalna duljina površine
91°-96°	6 NM
97°-102°	7 NM
103°-108°	8 NM
109°-114°	9 NM
115°-120°	10 NM
<b>Kategorija H</b>	
61°-90°	3 NM
91°-120°	4 NM

<sup>1</sup> ILS – Instrument landing system, sustav za instrumentalno slijetanje

<sup>2</sup> MLS – Microwave landing system, mikrovalni sustav za slijetanje

<sup>3</sup> RNAV – Area navigation, prostorna navigacija (DME/DME, VOR/DME, GNSS)

Širina područja međuprilaženja se smanjuje od maksimalne vrijednosti 10 NM na poziciji preletišta početnog prilaženja do širine područja na poziciji preletišta završnog prilaženja. Područje međuprilaženja se dijeli na dva simetrična područja: primarno područje i sekundarno područje [3].

### 3.2.3. Vertikalni profil segmenta međuprilaženja

U primarnom području međuprilaženja treba se osigurati nadvisivanje prepreka od 150 m dok se u sekundarnom području treba osigurati 150 m na unutarnjem rubu područja te se potrebno nadvisivanje smanjuje linearno na nula prema vanjskom rubu sekundarnog područja. Visine označene na kartama procedura za nadvisivanje prepreka u međuprilaženju se zaokružuju na višu stoticu stopa [3].

Zbog toga što se segment međuprilaženja koristi kao segment pripremanja zrakoplova za završno prilaženje, vertikalni profil leta bi trebao biti horizontalan ili ako to nije moguće treba imati dio prilaženja u kojem se ne mijenja visina. Maksimalan gradijent spuštanja u međuprilaženju je 5.2% (za kategoriju H, 10% osim ako se brzina prilaženja ograniči na 90 kt IAS, tada je 13.2%). U tim slučajevima horizontalan dio međuprilaženja treba biti barem 1.5 NM za prilaze kategorije C i D te 1 NM za prilaze kategorije A i B [3].



### 3.3. Segment završnog prilaženja

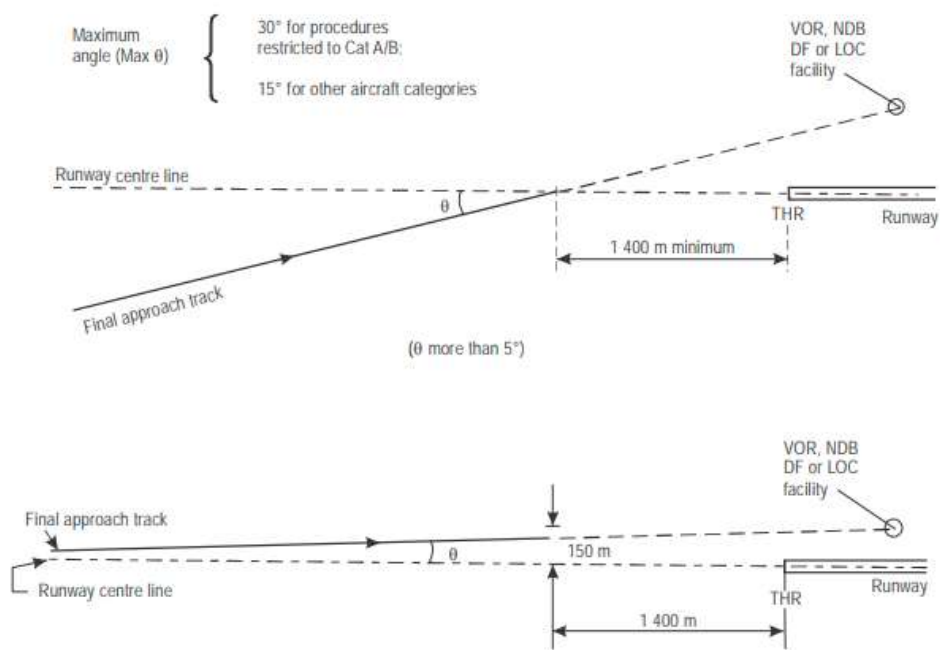
U segmentu završnog prilaženja izvršava se poravnavanje s produženom središnjicom uzletno sletne staze (USS) i spuštanje prema USS. Instrumentalni dio završnog prilaženja počinje od preletišta završnog prilaženja i završava na točki neuspjelog prilaženja (missed approach point MAPt). Vođenje po pravcu leta je obvezno u instrumentalnoj fazi završnog prilaženja [3].

#### 3.3.1. Putanje završnog prilaženja

Svi završni prilazi imaju optimalnu duljinu od 5 NM, dok je minimalna duljina 3 NM. Duljina završnog prilaženja se mjeri od preletišta završnog prilaženja do praga USS-a. Smjer putanje završnog prilaženja bi se trebao poravnati s magnetskim smjerom USS-a. Smatra se da su poravnati smjerovi USS-a i završnog prilaženja kada je razlika manja od  $5^\circ$  (u daljnjem kontekstu: poravnata staza). Odstupanje smjera se dozvoljava kada je potrebno izbjegavanje prepreka. Ne smije se koristiti odstupanje smjera zbog potreba smanjenja buke aerodroma [3]. Dozvoljena odstupanja kursa završnog prilaženja i magnetskog smjera USS-a je prikazano slikom 5.

Završno prilaženje s neporavnom USS-om se dozvoljava ako je kut koji zatvaraju USS i smjer završnog prilaženja manji od  $30^\circ$  za kategorije A i B te manji od  $15^\circ$  za ostale kategorije aviona. Sjecište produljene središnjice i putanje završnog prilaženja se treba nalaziti na maksimalnoj udaljenosti od praga USS-a od 1400 m [3].

Gdje se putanje završnog prilaženja i produljena središnjica USS-a ne sijeku (ali se nalaze) unutar površine koja je određena 150 m od okomito produljene središnjice do 1400 m od praga USS-a, maksimalno odstupanje smjerova USS-a i kurseva prilaženja je  $5^\circ$  [3].



Slika 5 - Dozvoljena odstupanja kursa završnog prilaženja i magnetskog smjera USS-a [3]

### 3.3.2. Vertikalni profil završnog prilaznja

Minimalan gradijent spuštanja u nepreciznim prilazima je ujedno i optimalan gradijent spuštanja koji iznosi 5.2%. Gradijenti spuštanja iznad 5.2% bi se trebali izbjegavati, ali se dozvoljavaju ukoliko su potrebni zbog konfiguracije terena [3].

Maksimalni gradijenti spuštanja za neprecizne prilaze su prikazani u tablici 3:

Tablica 3 - Maksimalan gradijent spuštanja po kategoriji zrakoplova [3]

Kategorija zrakoplova	Procedura s FAF	Procedura bez FAF
A i B	6.5%	655 ft/min
C, D i E	6.1%	1000 ft/min
H	10% (13.2% <sup>4</sup> )	755 ft/min

Gradijent spuštanja (G) se izračunava prema formuli 1:

$$G = \frac{h}{d} * 100 [\%] \quad (1)$$

gdje je:

h – razlika visine između 50 ft (za kategoriju H, 35 ft) i visine preletišta završnog prilaznja

d – udaljenost između praga USS-a i preletišta završnog prilaznja

### 3.3.3. Zahtjevi nadvisivanja prepreka

Za neprecizne prilaze definira se ravnina nadvisivanja prepreka u odnosu na srednju razinu mora (OCA – obstacle clearance altitude) ili u odnosu na visinu aerodroma<sup>5</sup> (OCH – obstacle clearance height) [3].

Ravnina OCA/H mora osigurati nadvisivanje svih prepreka u završnom prilaznju i u segmentu neuspjelog prilaznja. Minimalna visina nadvisivanja prepreka u ravnini OCA/H za poravnate staze su 246 ft ako procedura koristi preletišta završnog prilaznja i 295 ft za procedure bez FAF-a [3].

Za neporavnate staze definiraju se minimalne visine nadvisivanja prepreka u ravnini OCH po tablici 4:

Tablica 4 - Minimalna visina OCH po kategoriji zrakoplova [3]

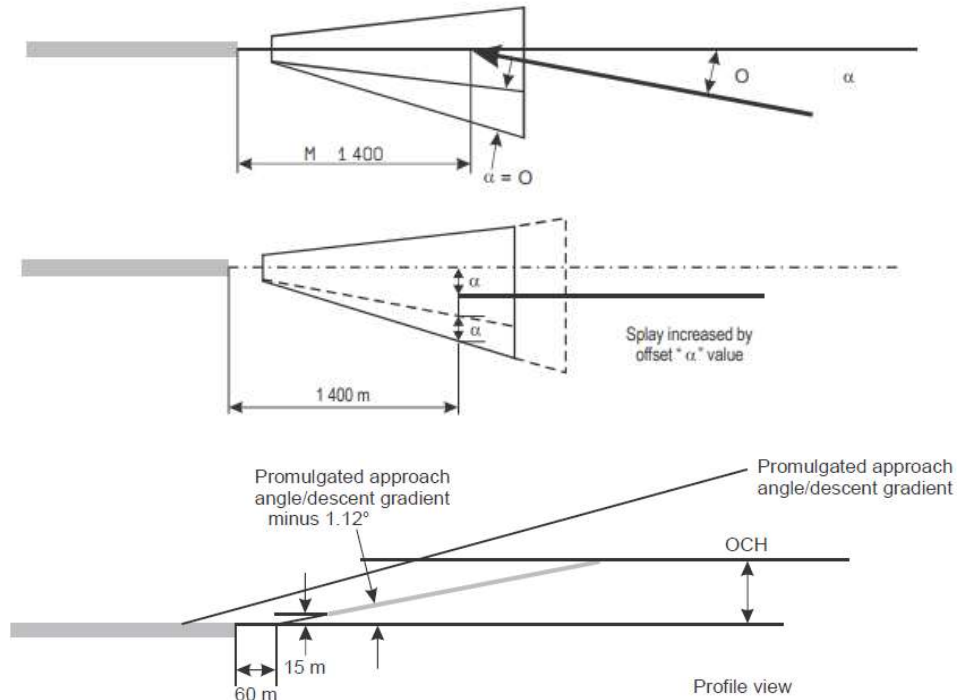
Kategorija zrakoplova	Minimalna visina OCH	
	5° < θ ≤ 15°	15° < θ ≤ 30°
A	340 ft	380 ft
B	380 ft	410 ft
C	410 ft	
D	430 ft	
E	480 ft	

<sup>4</sup> Ako je brzina prilaznja ograničena na 70 kt i odstupanje kursa završnog prilaznja i magnetskog smjera manje od 30°

<sup>5</sup> Uzima se visina praga USS ako se prag nalazi ispod 7 ft i više referente točke aerodrome

Sigurnosna ravnina za vizualno prilaženje (VSS – Visual Segment Surface) je obvezna na svim prilaznim procedurama koje su izdane nakon 15. ožujka 2007. Procedura prilaženja se ne smije izdati i mora se podvrgnuti istraživanjima ako neka prepreka prodire kroz ravninu VSS. Prepreke čija je visina iznad praga USS-a manja od 15 m i pokretne prepreke (kao na primjer zrakoplov koji čeka na crti pripreme) se mogu zanemariti kada se razmatra ravnina VSS [3].

Ravnina VSS-a počinje 60 m prije praga USS-a i jednake je širine. VSS se lateralno širi za 15% simetrično s obje strane produžene središnjice i prostire dok ne presiječe ravninu OCA/H. Za neporavnate staze proširuje se ravnina VSS-a tako da se na početku ravnine s unutrašnje strane zaokreta dodaje onoliko stupnjeva proširenja koliko su neporavnate staze. Visina VSS-a počinje na visini praga USS-a te cijela ravnina ima gradijent koji je  $1.12^\circ$  manji od kuta prilaženja [3]. Prostiranje ravnine VSS-a je prikazano na slici 6.



Slika 6 - Područje i gradijent ravnine VSS-a [3]

### 3.4. Segment neuspjelog prilaženja

Prekid slijetanja (produžavanje) je normalna i uvježbana radnja u zrakoplovstvu te se zbog toga trebaju planirati putanje zrakoplova nakon što pilot odluči prekinuti slijetanje. Piloti mogu prekinuti slijetanje u bilo kojem trenutku ako se osjećaju nesigurni tijekom prilaženja zbog loše vidljivosti, jakih udara vjetra ili slično. Segment neuspjelog prilaženja treba voditi zrakoplov nazad na sigurnu visinu za nadvisivanje prepreka, u krugu čekanja ili na ponovno prilaženje. Najkasniji trenutak prekida slijetanja je kada se zrakoplov nalazi na točki neuspjelog prilaženja, ako tada pilot ne vidi USS treba prekinuti slijetanje. Razlikujemo ravni neuspjeli prilaz (skretanjem kursa do i uključujući  $15^\circ$ ) i neuspjeli prilaz sa skretanjem (skretanjem kursa većim od  $15^\circ$ ) [3].

Točka neuspjelog prilaženja (MAPt – Missed approach point) predstavlja početak segmenta neuspjelog prilaženja i može se definirati radionavigacijskim sredstvom (kao na primjer lokator) i/ili vremenom koje je proteklo od trenutka prelijetanja preletišta završnog prilaženja. Optimalna lokacija za MAPt je iznad praga USS-a, a ako je potrebno može se lokacija pomaknuti prema FAF pod uvjetom da se ne nalazi ispod visine OCA/H [3].

Trenutak početka penjanja (SOC - start of climb) je najkasniji trenutak u kojem pilot može prevesti avion u penjanje, a da može osigurati potreban gradijent penjanja za nadvisivanje prepreka u segmentu neuspjelog prilaženja [3].

Segment neuspjelog prilaženja možemo podijeliti na inicijalnu fazu, prijelaznu fazu i završnu fazu [3].

#### 3.4.1. Inicijalna faza

Inicijalna faza neuspjelog prilaženja je najopasnija faza ovoga segmenta, počinje u točki neuspjelog prilaženja i završava u trenutku početka penjanja. U ovoj fazi pilot treba ustabiliti zrakoplov, prevesti ga u penjanje i uvući sletnu konfiguraciju. Pilot treba nastaviti letjeti u kursu kojim je letio prije pokretanja procedure produžavanja. Vertikalni profil ove faze je konstantne visine, a minimalna visina nadvisivanja prepreka mora biti ista kao i u fazi završnog prilaženja [3].

#### 3.4.2. Prijelazna faza

Prijelazna faza neuspjelog prilaženja počinje u trenutku početka penjanja. Penjanje mora biti konstantnom brzinom do trenutka kada avion može osigurati nadvisivanje prepreka od 164 ft (za kategoriju H, 132 ft). U prijelaznoj fazi dozvoljava se skretanje s kursa od maksimalno  $15^\circ$  [3].

Optimalan vertikalni profil prijelazne faze je gradijent penjanja od 2.5% (za kategoriju H, 4.2%). Može se koristiti bilo koja vrijednost između 2% i 5% ako konfiguracija terena dozvoljava ili zahtjeva<sup>6</sup>. Nadvisivanje prepreka u prijelaznoj fazi treba biti 98 ft u primarnom području i u sekundarnom području se smanjuje linearno s 98 ft na unutrašnjem rubu do nule na vanjskom rubu [3].

#### 3.4.3. Završna faza

Završna faza neuspjelog prilaznja počinje kada zrakoplov može osigurati stalno nadvisivanje prepreka od 164 ft (za kategoriju H, 132 ft) i traje do trenutka kada se može pokrenuti novi prilaz ili ući u krug čekanja. Bilo koji zaokreti se dozvoljavaju u ovoj fazi.

Optimalan vertikalni profil završne faze je isti kao u prijelaznoj fazi osim što nadvisivanje prepreka nije 98 ft nego postaje 164 ft (za kategoriju H, 132 ft) [3].

---

<sup>6</sup> Za precizne prilaze, ako će se koristiti vrijednost koja nije 2.5% onda se koristi cijeli broj (2%,3%,4%,5%)

## 4. Postroženi zahtjevi za GNSS prilazne procedure

Prostorna navigacija (RNAV – Area Navigation) je koncept u zrakoplovnoj navigaciji kojim se pomoću raznih metoda zrakoplov može voditi bilo gdje u području pokrivenosti radionavigacijskih sredstava (uključujući i autonomnih sustava) [1]. Navigacija bazirana na performansama (PBN – Performance Based Navigation) je posebna specifikacija RNAV koncepta kojom se definira minimalna preciznost (performansa) RNAV sustava zrakoplova koja je potrebna za siguran let u nekom zračnom prostoru ili za korištenje određenih procedura [1]. U PBN specifikaciji svaki RNAV sustav mora stalno pratiti svoje performanse (točnost) te obavijestiti posadu zrakoplova ako performanse padaju ispod zahtjeva [4]. Za neprecizne prilazne procedure kao što je VOR procedura piste 02 na Lošinj koristila bi se standard RNP APCH (Required Navigation Performance Approach) kojom se definira minimalna performansa RNAV sustava<sup>7</sup> [1]:

- Lateralna točnost – 220 m
- Cjelovitost –  $1 \times 10^{-7}/h$
- Vrijeme do upozorenja – 10s
- Kontinuitet – od  $1 \times 10^{-4}/h$  do  $1 \times 10^{-8}/h$
- Dostupnost – od 0.99 do 0.99999

Osim ako je u nastavku navedena promjena nekog zahtjeva uzimaju se zahtjevi iz prethodnog poglavlja.

Za tolerancije točnosti očitavanja pozicije preletišta RNP APCH postoje standardne vrijednosti koje se nalaze u tablici 5<sup>8</sup>:

Tablica 5 - Tolerancije točnosti očitavanja pozicije preletišta [3]

IF/IAF/neuspjeli prilaz <sup>9</sup>			FAF			MAPt/pravocrtni dio neuspjelog prilaza			Neuspjeli prilaz s skretanjem <sup>10</sup>		
XTT	ATT	$1/2A/W$	XTT	ATT	$1/2A/W$	XTT	ATT	$1/2A/W$	XTT	ATT	$1/2A/W$
1.00	0.80	2.50	0.30	0.24	1.45	0.30	0.24	0.95	1.00	0.80	2.00

Gdje je:

- XTT (Cross-track tolerance) – poprečna vrijednost dopuštenog odstupanja pri određivanju putne točke ili preletišta
- ATT (Along-track tolerance) – uzdužna vrijednost dopuštenog odstupanja pri određivanju putne točke ili preletišta
- $1/2A/W$  (Area semi-width) – širina područja pojedinog segmenta

<sup>7</sup> Za ovaj rad nije potrebno objašnjavati pojedine pojmove vezane uz performanse RNAV sustava zbog toga što rad ne opisuje princip rada GNSS procedura nego dizajn same procedure

<sup>8</sup> Sve vrijednosti su izražene u nautičkim miljama

<sup>9</sup> Segment neuspjelog prilaza s skretanjem do udaljenosti 15 NM od referentne točke aerodroma

<sup>10</sup> Segment neuspjelog prilaza s skretanjem od udaljenosti 15 NM do 30 NM od referentne točke aerodroma

#### 4.1. Segment početnog prilaženja

Promjene kursa u početnom prilaženju ne smiju biti veće od  $120^\circ$ , a ako je zaokret za više od  $90^\circ$  onda se preporučuje korištenje više preletišta ili korištenje putanje konstantnog radijusa između dva preletišta (RF leg – Constant radius arc to a fix).

Putanje početnog prilaženja i putanje međuprilaženja se ne smiju razlikovati za više od  $90^\circ$ .

Područje početnog prilaženja ima optimalnu duljinu od 5 NM (za kategoriju H, 3 NM) osim ako dolazna procedura prethodi prilaznoj proceduri onda je optimalna duljina 6 NM. Širina područja početnog prilaženja je definirana tablicom 5 [3].

#### 4.2. Segment međuprilaženja

Putanje međuprilaženja i putanje završnog prilaženja bi se trebale poklapati, maksimalno skretanje na FAF je  $30^\circ$  (za kategoriju H,  $60^\circ$ ).

Područje međuprilaženja ima mora imati pravocrtnu komponentu minimalne duljine 2 NM, a širina se dobije spajanjem širine na IF i FAF [3].

#### 4.3. Segment neuspjelog prilaženja

Za poravnate piste MAPt bi se trebala nalaziti na ili prije praga USS-a, a za neporavnate staze bi se trebala nalaziti na sjecištu produljene središnjice USS-a i putanje završnog prilaženja.

Najraniji trenutak MAPt-a je određen pomoću vrijednosti ATT na poziciji MAPt. Od te točke se područje neuspjelog prilaženja širi simetrično pod kutom od  $15^\circ$  do širine područja (primarnog i sekundarnog) preletišta za trenutak uvođenja u zaokret (MATF – Missed Approach Turning Fix) ako se koristi [3].

## 5. Analiza postojeće procedure

Zračna luka Lošinj se nalazi na istoimenom otoku i udaljena je od grada Malog Lošinja samo 5.9 km [5]. Ova zračna luka je osposobljena za nacionalni i međunarodni promet zrakoplova kategorije A i B te ima vatrogasnu kategoriju II [6]. Obzirom da se aerodrom nalazi na području Kvarnera, u zapadnoj Hrvatskoj, klima koja vlada je sredozemna, a najčešći vjetar je sjeverno-istočnjak (Bura) [7]. Iz operacijskih potreba na zračnoj luci Lošinj je sagrađen samo jedan USS duljine 900 m i širine 30 m te je zbog klimatoloških razloga (vjetar) geografski usmjeren (true bearing) 022° i 202°. Najčešća staza u upotrebi je staza 02 kako bi zrakoplovi slijetali s čeonom komponentom vjetra. Visina praga 02 je 129 ft i visina praga 20 je 146 ft [6]. Iako je konfiguracija terena povoljna za izradu prilaznih procedura zbog nedostatka visokih prirodnih prepreka, nije ih lako dizajnirati zbog nedostatka radionavigacijskih sredstava i nemogućnosti izgradnje istih na moru. Zbog prednosti GNSS prilaznih procedura kao što je određivanje preletišta pomoću koordinata biti će znatno lakše dizajnirati sigurniju i povoljniju prilaznu proceduru staze 02.

Proceduru koje će se analizirati i prenamijeniti će biti VOR prilaz staze 02 (Instrument Approach Chart – ICAO – VOR RWY 02 ACFT CAT A&B) i prikazana je na slici 7 [6].

### 5.1. Definirane preletišta

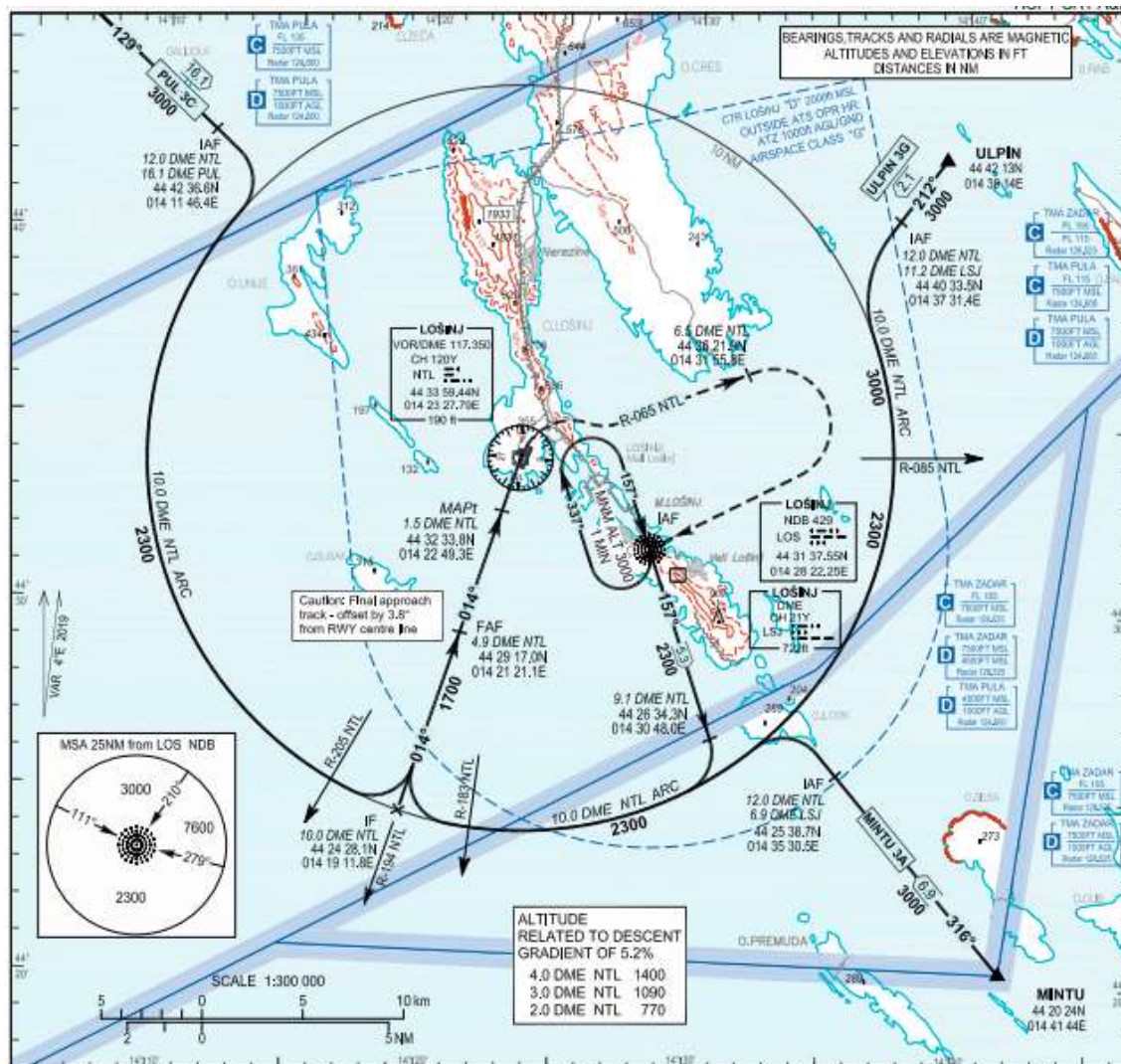
Postoji četiri različita preletišta početnog prilaženja ovisno STAR-u koji se koriste za dolazak na aerodrom Lošinj ili ako se zrakoplov nalazi u krugu čekanja. Tri preletišta su definirana sjecištem dvaju DME kružnica i nalaze se u tablici 6. Preletišta kruga čekanja koji je ujedno i četvrti IAF za prilaz iz kruga čekanja, definirana je NDB<sup>11</sup> stanicom LOS (N 44° 31' 37.55" E 014° 28' 22.25") [6].

Tablica 6 - IAF za VOR proceduru RWY 02 LDLO [6]

Dolazna procedura	Kružnica 1	Kružnica 2	Koordinate
PUL 3C	12 DME NTL	16.1 DME PUL	N 44° 42' 36.6" E 014° 11' 46.4"
ULPIN 3G	12 DME NTL	11.2 DME LSJ	N 44° 40' 33.5" E 014° 37' 31.4"
MINTU 3A	12 DME NTL	6.9 DME LSJ	N 44° 25' 38.7" E 014° 35' 30.5"

<sup>11</sup> Non-directional beacon





Slika 7 Postojeća procedura zračne luke Lošinj za USS 02: Instrument Approach Chart – ICAO – VOR RWY 02 ACFT CAT A&B [6]

Preletišta međuprilaženja se nalazi desno od produljene središnjice USS-a 02 te je definirano pomoću radijala 194 i 10.0 DME VOR/DME stanice NTL (N 44° 24' 28.1" E 014° 19' 11.8"). Također postoje dva preletišta za određivanje trenutka uvođenja u zaokret prema putanji međuprilaženja. Sa zapadne strane segmenta međuprilaženja preletišta uvođenja u zaokret je R-205 10.0 DME NTL, a s istočne strane je R-183 10.0 DME NTL [6].

Preletišta završnog prilaženja se također nalazi desno od produljene središnjice piste 02 i nalazi se na R-194 4.9 DME NTL (N 44° 32' 33.8" E 014° 21' 21.1").

Preletišta neuspjelog prilaženja je odmaknuta od praga i s desne strane USS-a, nalazi se na R-194 1.5 DME NTL (N 44° 32' 33.8" E 014° 22' 49.3") [6].

### 5.2. Upotrijebljena radionavigacijska sredstva

Za potrebe VOR prilazne procedure staze 02 koriste se 4 radionavigacijska sredstva koje su upisane u tablici 7:

Tablica 7 - Korištena radionavigacijska sredstva [6]

Vrsta sredstva	Naziv sredstva	Frekvencija (kanal)	Koordinate
VOR/DME	NTL	117.350 MHz (CH 120Y)	N 44° 33' 59.44" E 014° 23' 27.79"
VOR/DME	PUL	111.250 MHz (CH 49Y)	N 44° 53' 32.52" E 013° 55' 05.23"
DME	LSJ	CH 21Y	N 44° 30' 57.23" E 014° 29' 27.66"
NDB	LOS	429 KHz	N 44° 31' 37.55" E 014° 28' 22.25"

### 5.3. Segment početnog prilaženja

Segment početnog prilaženja je određen DME lukom 10 NM udaljenosti od VOR/DME stanice NTL. Odabire se preletišta početnog prilaženja ovisno o korištenoj dolaznoj proceduri [6].

Za prilaz iz dolazne procedure PUL 3C zrakoplovi skreću desno na IAF, spuštaju se s visine 3000 ft na 2300 ft i nastavljaju letjeti po 10.0 DME NTL u smjeru suprotno od kazaljke na satu do sjecišta radijala 205 VOR/DME stanice NTL. Nakon preleta radijala 205 zrakoplovi skreću lijevo te interceptiraju putanje međuprilaženja

Za prilaz iz dolazne procedure MINTU 3A zrakoplovi skreću lijevo na IAF, spuštaju se s visine 3000 ft na 2300 ft i nastavljaju letjeti po 10.0 DME NTL u smjeru kazaljke na satu do sjecišta radijala 183 VOR/DME stanice NTL. Nakon preleta radijala 183 zrakoplovi skreću desno te interceptiraju putanje međuprilaženja.

Za prilaz iz dolazne procedure ULPIN 3G zrakoplovi skreću lijevo na IAF, održavaju visinu 3000 ft te nastavljaju letjeti po 10.0 DME NTL u smjeru kazaljke na satu do sjecišta radijala 085 VOR/DME stanice NTL. Nakon preleta radijala 085 zrakoplovi se spuštaju na visinu 2300 ft i nastavljaju letjeti po DME luku do sjecišta radijala 183 VOR/DME stanice NTL. Nakon preleta radijala 183 zrakoplovi skreću desno te interceptiraju putanje međuprilaženja.

Za prilaz iz kruga čekanja zrakoplovi prelijeću NDM LSJ u kursu 157° te se spuštaju s visine čekanja na 2300 ft. Trenutak uvođenja u desni zaokret je 9.1 DME stanice NTL, nakon skretanja zrakoplovi nastavljaju letjeti po 10.0 DME NTL do sjecišta radijala 183 VOR/DME stanice NTL. Nakon preleta radijala 183 zrakoplovi skreću desno te interceptiraju putanje međuprilaženja.

Najviša prepreka blizu putanje početnog prilaženja je antena koja se nalazi vrhu „Pogled“ na otoku Mali Lošinj. Antena je visine 909 ft te bi minimalna visina za nadvisivanje prepreka bila 1893 ft. Ukupno nadvisivanje najviše prepreke u početnom prilaženju je 1391 ft.

#### 5.4. Segment međuprilaženja

Segment međuprilaženja počinje od trenutka izlaska u kurs 014 do preletišta završnog prilaženja. Putanja međuprilaženja i magnetski smjer USS-a se razlikuju za 3.8°. Udaljenost između IF i FAF je 5.1 NM, a u međuprilaženju zrakoplovi se spuštaju s visine 2300 ft na 1700 ft gradijentom spuštanja 5.2% (3°) [6]. Nakon spuštanja zrakoplovi imaju 3.1 NM za stabilizaciju prilaza i pripremu za završno prilaženje.

U segmentu međuprilaženja nema vertikalnih prepreka zbog toga što se cijeli segment nalazi iznad mora.

#### 5.5. Segment završnog prilaženja

Segment završnog prilaženja je u pravcu i nastavlja se na segmentu međuprilaženja. 4.9 NM je duljine i zrakoplovi se spuštaju do visine OCA 610 ft gradijentom spuštanja od 5.2% (3°). Udaljenost između FAF i MAPt je 3.4 NM. Definirana je tablica vertikalne brzine spuštanja za raspon brzine između 70 kt i 130 kt u proceduri [6].

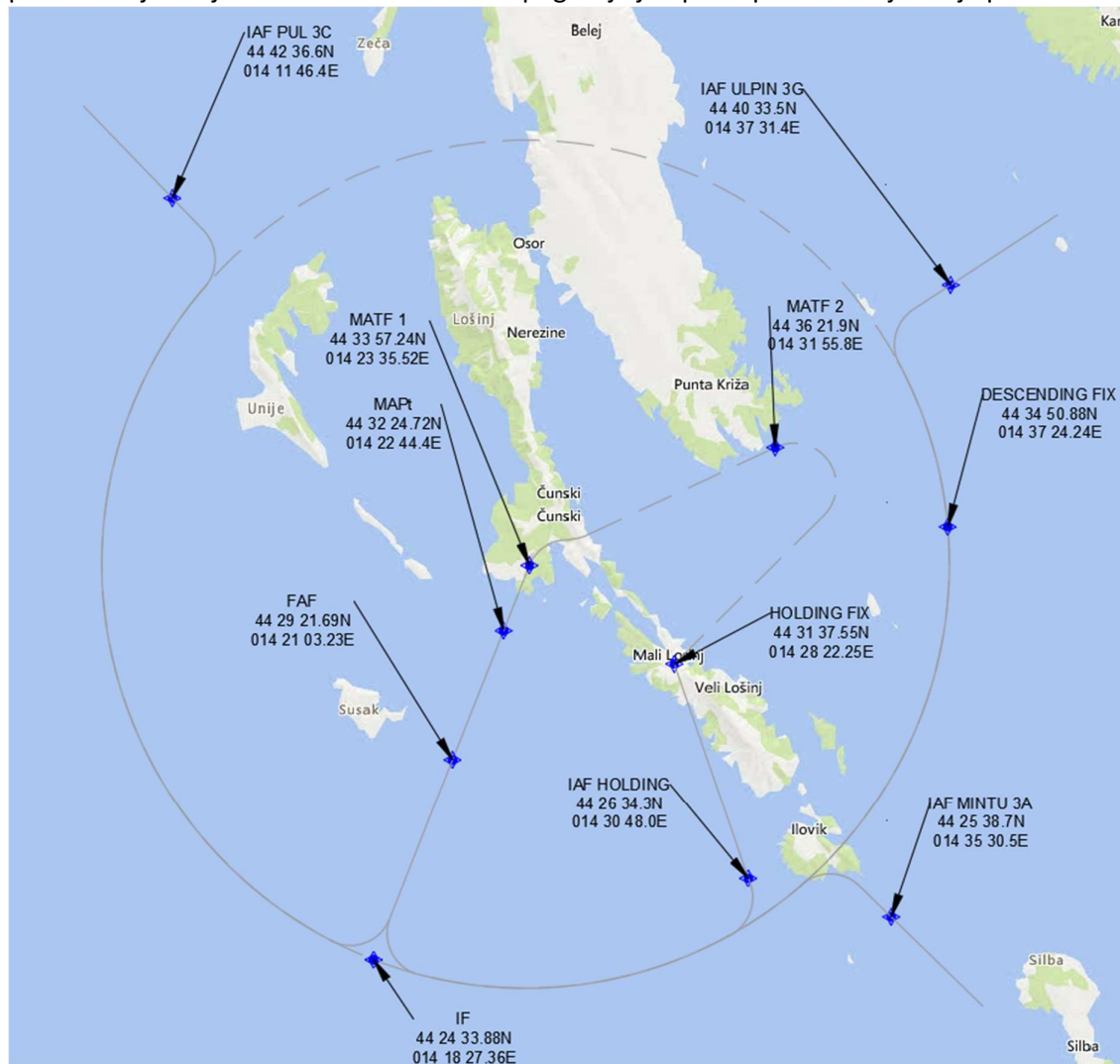
Najviši vrh u blizini putanje završnog prilaženja je vrh Vele Straže na otoku Susak visine 315 ft. Nadvisivanje najviše prepreke u blizini je 295 ft koji odgovara zahtjevima završnog prilaženja.

#### 5.6. Segment neuspjelog prilaženja

Segment neuspjelog prilaženja počinje na radijalu 194 1.5 DME NTL. Nakon pokretanja postupka neuspjelog prilaženja zrakoplovi penju ravno na radijalu 194 do trenutka prelijetanja VOR/DME NTL. Po prelijetanju uvodi se zrakoplov u desni penjući zaokret i interceptira se radijal 065 VOR/DME NTL u aktivnom odletu. Zrakoplovi se penju do visine 3000 ft i u trenutku kada se nalaze na 6.5 DME NTL skreću prema LOS NDB i ulaze u standardni desni krug čekanja iznad LOS NDB na visini 3000 ft s inicijalnom kursom 157° [6].

## 6. Prijedlog nove procedure

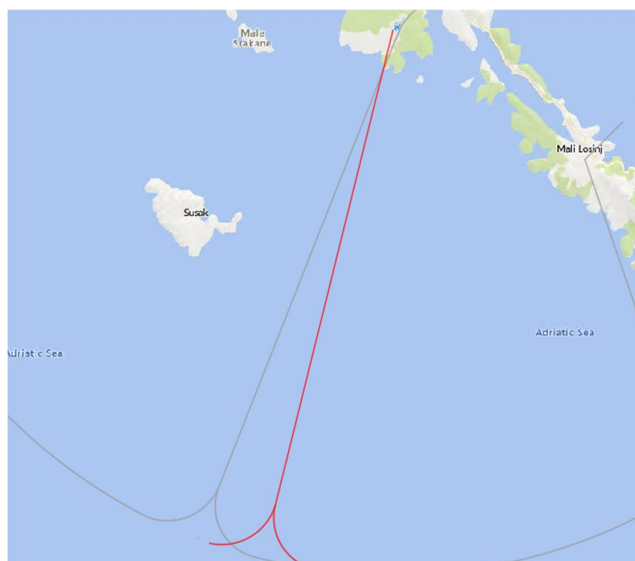
Kako bi se tok prometa na zračnoj luci Lošinj i dalje odvijao na isti način, predložena GNSS procedura će biti što sličnija originalnoj VOR proceduri. Gdje je moguće promijenit će se neki parametri kako bi se povećala sigurnost odvijanja zračnog prometa. Predložena procedura je vidljiva na slici 8 i u nastavku poglavlja je opisan proces dizajniranja procedure.



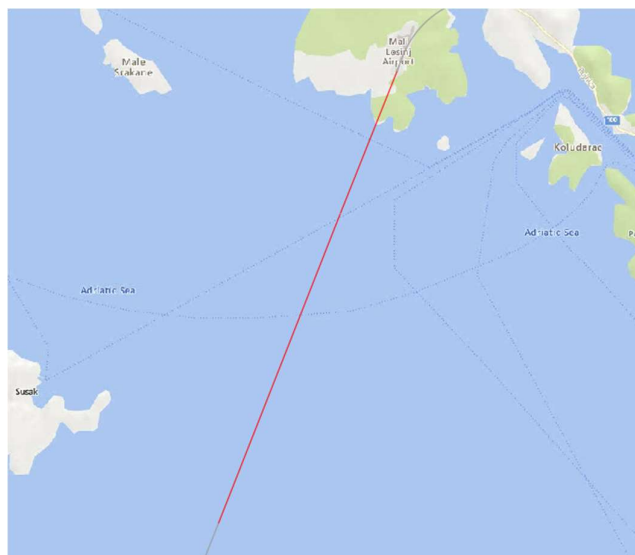
Slika 8 - Predložena GNSS procedura za zračnu luku Lošinj

### 6.1. Segment završnog prilaženja

Originalna procedura za USS 02 zračne luke Lošinj koristi segment završnog prilaženja koja odstupa  $3.8^\circ$  od magnetskog smjera piste [6]. Zbog mogućnosti određivanja preletišta bilo gdje pomoću GNSS sustava nova procedura će biti dizajnirana tako da su magnetski smjer USS-a i kurs završnog prilaženja isti te da se nastavljaju jedan na drugi [2]. Na slici 9 je prikazana razlika između putanja završnog prilaženja stare VOR procedure i predložene GNSS procedure (putanje VOR procedure označeno je crvenom bojom), a na slici 10 se nalazi predloženo putanje završnog prilaženja (crvenom bojom je označen segment završnog prilaženja).



Slika 9 – Razlika između putanje prilaženja postojeće VOR procedure i predložene GNSS procedure (crvena boja označava VOR proceduru)



Slika 10 – Predloženo putanje završnog prilaženja za GNSS prilaznu proceduru

Glavno navigacijsko sredstvo originalne procedure je VOR/DME NTL koji je izmaknut od središnjice piste 02 lijevo 0.1 NM i naprijed od praga 0.16 NM. Kako bi FAF i IF u novoj i staroj proceduri bili blizu jedan drugom, duljine u novoj proceduri će se korigirati za grešku pozicije VOR-a.

Prag USS-a 02 se nalazi na  $N 44^{\circ} 33' 48.41''$   $E 014^{\circ} 23' 30.59''$  na visini 129 ft. Geografsko usmjerenje uzletno sletne staze je  $021.58^{\circ}$  te se za izračun koordinata i putanja GNSS sustava koriste geografski smjerovi, dok se na kartama za potrebe korištenja kompasa piše magnetski smjer [3]. Magnetski smjer piste je po iznosu geografski smjer korigiran za magnetsku deklinaciju područja na kojem se nalazi. Veći dio Hrvatske pa i zračna luka Lošinj se nalazi u području magnetske deklinacije  $4^{\circ}$  istočno. Za pretvorbu geografskog smjera u magnetski se za istočne deklinacije oduzima vrijednost deklinacije s geografskog smjera, dok se za zapadne dodaje [8]. Magnetski smjer piste je tada  $017.58^{\circ}$  te se za lakšu uporabu u *cockpit-u* zaokružuje na cijeli broj. Krajnji magnetski smjer USS-a 02 je  $018^{\circ}$  i tako će se prikazivati na karti.

U originalnoj proceduri FAF se nalazi 4.9 NM udaljeno od VOR/DME stanice NTL-a. Pomoću koordinata praga i koordinata FAF može se izračunati da se originalni FAF nalazi 4.78 NM od praga USS-a. FAF za novu proceduru koja se nalazi u pravcu piste, a udaljena je od praga 4.78 NM se nalazi na koordinatama  $N 44^{\circ} 29' 21.69''$   $E 014^{\circ} 21' 03.23''$ .

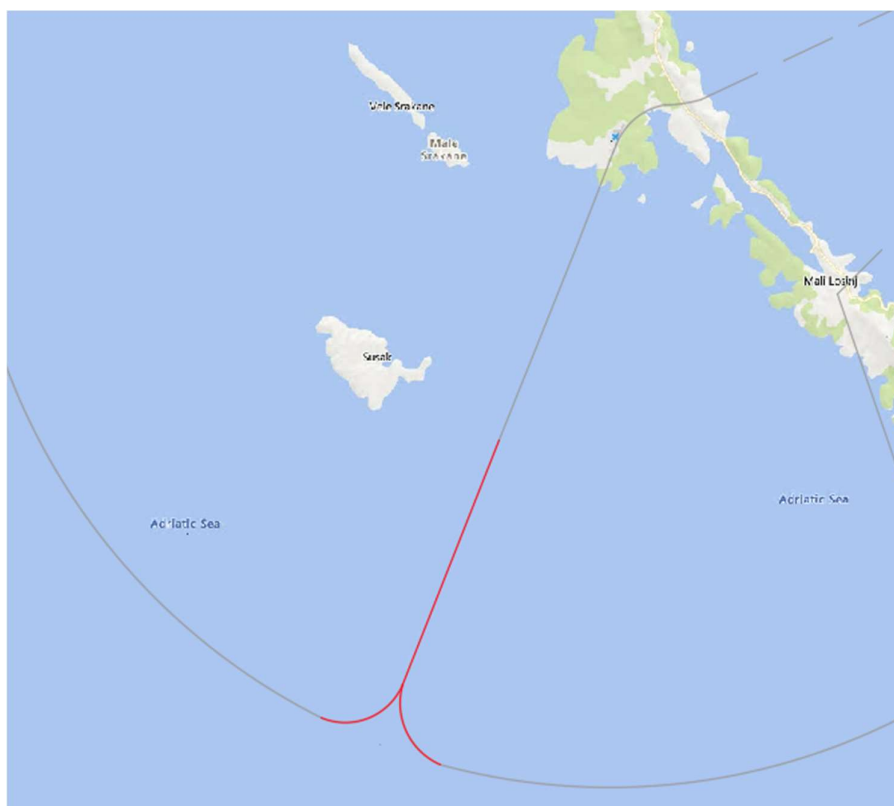
OCA/H će ostati ista u proceduri zbog toga što se radi o sličnom prilazu na istom području pa je OCA(H) 610 ft (481 ft).

Primarno i sekundarno područje završnog prilaženja se nalazi iznad mora te nema vertikalnih prepreka, zbog toga vertikalni profil može biti proizvoljan i biti će isti kao u originalnoj proceduri. Na početku završnog prilaženja zrakoplovi će biti na visini 1700 ft te će se spuštati gradijentom spuštanja od 5.2% do 610 ft i održavati će 610 ft dok se ne ostvari vizualni kontakt s USS-om.

Ravnina VSS-a je definirana tako da počinje 60 m prije praga USS-a 02, početna širina je 30m te se širi simetrično oko produljene središnjice USS-a gradijentom 15%. Vertikalni profil ravnine VSS-a počinje na visini praga USS-a 02 te se povećava gradijentom od 4.08% do visine OCA koja je 610 ft.

## 6.2. Segment međuprilaženja

Segment međuprilaženja predložene GNSS procedure je označena crvenom bojom na slici 11.



Slika 11 - Predloženi segment međuprilaženja za GNSS prilaznu proceduru

Preletište međuprilaženja je preletište tipa *fly-by* tj. preletište pokraj kojeg se prođe, a ne preleti direktno [3] te je određena sjecištem 10.0 DME VOR/DME stanice NTL i produljene središnjice USS-a. IF se nalazi na koordinatama N 44° 24' 33.88" E 014° 18' 27.36" Dizajn zaokreta je pored *fly-by* preletišta je prikazan na slici 12,a za određivanje parametara koriste se jednačbe 2, 3, 4 i 5. Jednačba 2 se koristi za izračun radijusa zaokreta.

$$r = \frac{V_{TAS}}{20 * \pi * R} \quad (2)$$

Gdje je:

- $r$  – izračunati radijus zaokreta u nautičkim miljima
- $V_{TAS}$  – stvarna brzina leta zrakoplova u zaokretu na visini u čvorovima
- $R$  – brzina kutnog skretanja u stupnjevima po sekundi, u proceduri će se koristiti standardni zaokret od 3 °/s

Stvarna brzina zrakoplova se može približno izračunati uz prihvatljivu točnost jednadžbom 3:

$$V_{TAS} = V_{IAS} + V_{IAS} * 0.02 * h \quad [3]$$

Gdje je:

- $V_{TAS}$  – izračunata brzina u čvorovima
- $V_{IAS}$  – indicirana brzina zrakoplova u čvorovima
- $h$  – visina zrakoplova u tisućama stopa, npr. 5000 ft se uvrštava kao 5

Za potrebe dizajniranja prilazne procedure dovoljno je koristiti maksimalnu brzinu najbrže kategorije zrakoplova, prema tome koristit će se  $V_{IAS} = 180$  kt i visina u početnom prilazu koja je 2300 ft za izračun stvarne brzine [3].

$$V_{TAS} = 180 + 180 * 0.02 * 2.3 \approx 188 \text{ kt}$$

Za izračunatu stvarnu brzinu od 188 kt izračunati radijus zaokreta zrakoplova je:

$$r = \frac{188}{20 * \pi * 3} \approx 1 \text{ NM}$$

Za dizajniranje *fly-by* zaokreta potrebno je još izračunati parametre L1 i L2 po jednadžbama 4 i 5:

$$L1 = r * \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (4)$$

$$L2 = c * \frac{V}{3600} \quad (5)$$

Gdje je:

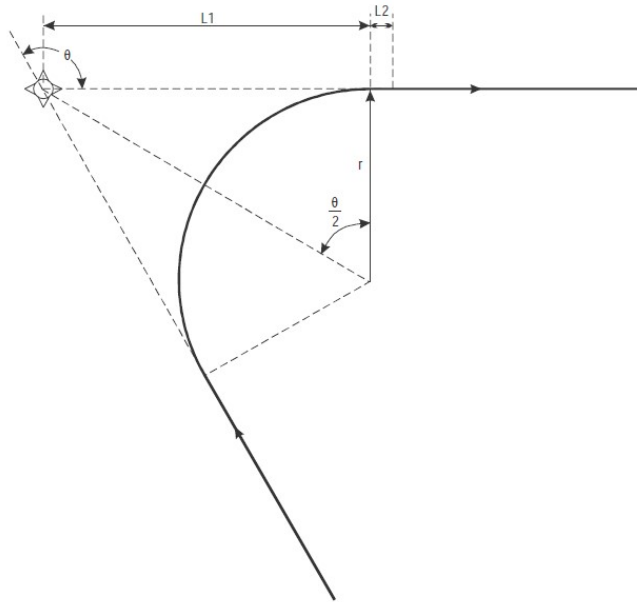
- L1 – izračunata udaljenost između *fly-by* preletišta i početne točke zaokreta u nautičkim miljima
- $r$  – radijus zaokreta mjeren u nautičkim miljima
- $\theta$  – ukupno kutno skretanje zaokreta u stupnjevima
- L2 – izračunata udaljenost koja je prijeđena za vrijeme postavljanja zaokreta mjerena u nautičkim miljima
- $c$  – vrijeme postavljanja zaokreta, standardna vrijednost je 5 s
- $V$  – stvarna brzina zrakoplova



Kutno skretanje s RF leg početnog prilaženja na putanje međuprilaženja je  $90^\circ$ , prema tome vrijednosti L1 i L2 su:

$$L1 = 2 * \tan\left(\frac{90}{2}\right) = 1 \text{ NM}$$

$$L2 = 5 * \frac{188}{3600} = 0.261 \text{ NM}$$



Slika 12 - Crtanje zaokreta u GNSS prilaznim procedurama

Postoje još termini najraniji trenutak uvođenja u zaokret i najkasniji trenutak uvođenja u zaokret koji će biti potrebni za određivanje područje međuprilaženja, a oni se izračunavaju prema formulama 6 i 7:

$$L_{ETP} = ATT + L2 \quad (6)$$

$$L_{LTP} = L2 - ATT - t * \frac{V}{3600} \quad (7)$$

Gdje je:

- $L_{ETP}$  – izračunati najraniji trenutak uvođenja u zaokret u nautičkim miljima
- $ATT$  – *Along the track* tolerancija preletišta u nautičkim miljima
- $L2$  – prijeđena udaljenost tijekom postavljanja zaokreta
- $L_{LTP}$  – izračunati najkasniji trenutak uvođenja u zaokret u nautičkim miljima
- $t$  – vrijeme reakcije pilota, u prilaznim procedurama je 6 S
- $V$  – stvarna brzina zrakoplova u čvorovima

Izračunate vrijednosti najranijeg i najkasnijeg trenutka uvođenja u zaokret su:

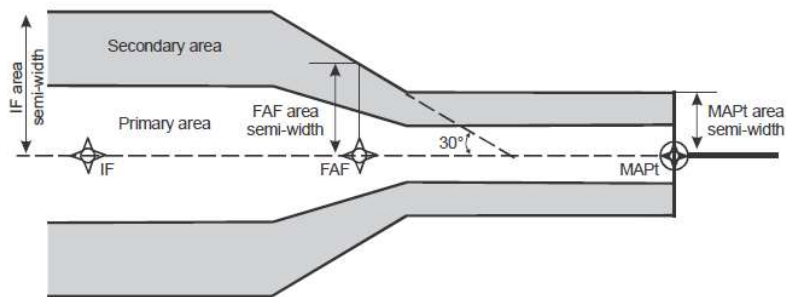
$$L_{ET} = 0.8 + 0.175 = 1.061 \text{ NM}$$

$$L_{LTP} = 0.175 - 0.8 - 6 * \frac{188}{3600} = -0.852 \text{ NM}^{12}$$

Putanja međuprilaženja je istog smjera kao i putanja završnog prilaženja te je magnetski kurs leta 018°.

Promjena visine početnog prilaženja od 2300 ft na visinu međuprilaženja od 1700 ft se radi nakon zaokreta u ravnom segmentu međuprilaženja. Ukupna duljina segmenta međuprilaženja je 5.1 NM, ali ako se oduzme prijeđeni put za spuštanje 500 ft gradijentom spuštanja od 5.2%, duljina horizontalnog dijela međuprilaženja je 3.5 NM.

Cijelo međuprilaženje se nalazi iznad mora pa prema tome nema vertikalnih prepreka. Područje međuprilaženja određeno je  $1/2A/W$  na MAPt i IF iz tablice 5 i dizajnirano je prema slici 13:

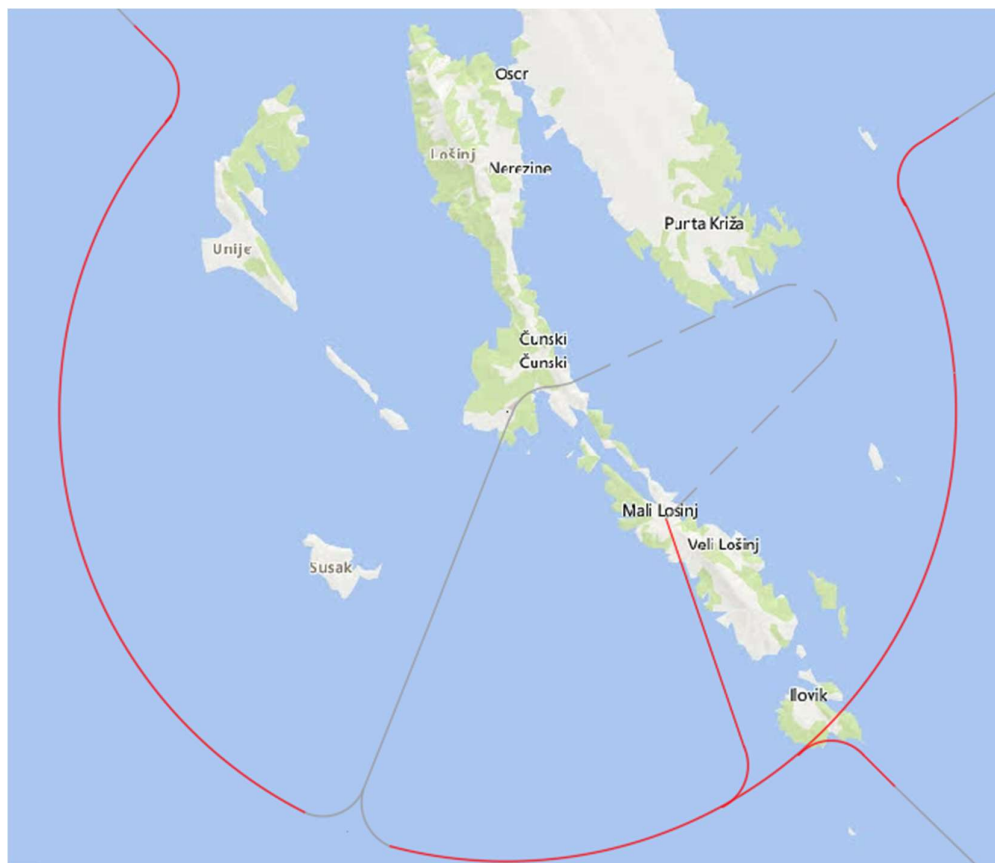


Slika 13 - Dizajn područja završnog prilaženja i međuprilaženja za GNSS procedure [3]

<sup>12</sup> Ako je izračunata vrijednost manja od nule onda se najkasniji trenutak uvođenja u zaokret nalazi nakon preletišta

### 6.3. Segment početnog prilaženja

Segment početnog prilaženja nove GNSS procedure će koristiti ista preletišta kao i za VOR proceduru osim što se u GNSS RNP proceduri definiraju njihovim koordinatama koje se mogu naći u tablici 6. Predložena putanja početnog prilaženja je crvenom bojom označena na slici 14.



Slika 14 - Predloženo putanje početnog prilaženja GNSS procedure

Putanje početnog prilaženja GNSS procedure će biti ista kao putanje početnog prilaženja VOR procedure. Putanje opisuje kružnicu 10.0 DME VOR/DME stanice NTL, ali se u GNSS prilaznim procedurama definiraju takozvanim *RF turn method-om* (Radius to fix turn method). RF luk se definira pomoću:

- Točke tangentiranja na kraju RF luka – IF
- Središte RF Luka – VOR/DME stanica NTL
- Radijus zaokreta – 10 NM
- Potreban nagib za put po RF luku [3]

Radijus zaokreta se u prilaznim procedurama izračunava pomoću jednadžbe 8:

$$r = \frac{(V + V_w)^2}{68626 * \tan(\theta)} \quad (8)$$

Gdje je:

- V – maksimalna stvarna brzina zrakoplova najbrže kategorije za koje se prilazna procedura dizajnira
- V<sub>w</sub> – maksimalna brzina vjetra na visini RF Luka definirana ICAO standardnim vjetrovima, za 2300ft se uzima 40 kt
- Θ – željeni nagib zrakoplova u letu po RF luku

Za potrebe ove procedure nagib zrakoplova se može izvesti i izračunati iz jednadžbe 8:

$$r = \frac{(V + V_w)^2}{68626 * \tan(\theta)} \Bigg| * \frac{\tan(\theta)}{r}$$

$$\tan(\theta) = \frac{(V + V_w)^2}{68626 * r} \Bigg| \tan^{-1}$$

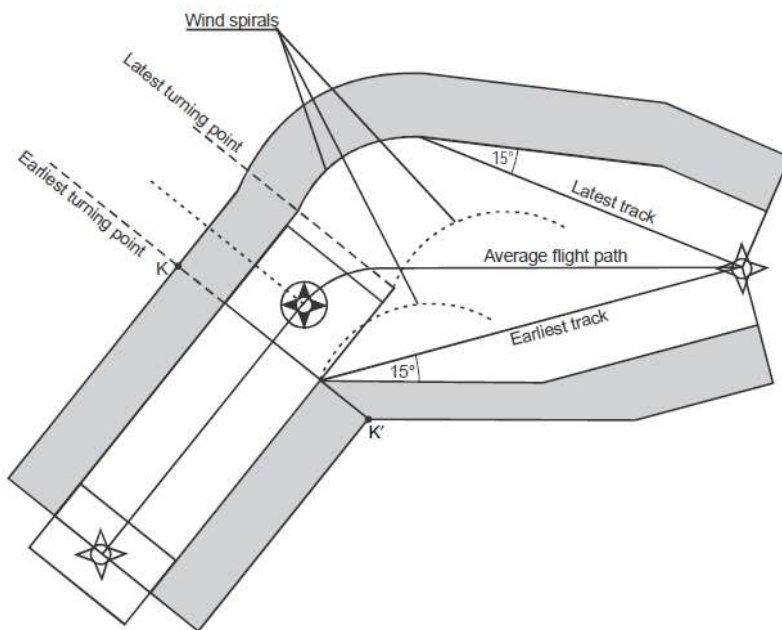
$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{(V + V_w)^2}{68626 * r}\right)$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{(188 + 40)^2}{68626 * 10}\right) = 4.33^\circ$$

Osim ako je korištena dolazna procedura bila ULPIN 3G, nakon pripadajućeg IAF zrakoplovi skreću na RF luk i spuštaju se s 3000 ft na 2300 ft gradijentom spuštanja 5.2%. Za ulazak u početno prilaženje iz ULPIN 3G procedure nakon preleta IAF zrakoplovi skreću na RF luk i ostaju na 3000 ft do preleta točke N 44° 34' 50.88" E 014° 37' 24.24" (u originalnoj proceduri točka spuštanja je određena radijalom 085 i 10.0 DME VOR/DME stanice NTL. Nakon točke spuštanja zrakoplovi spuštaju na 2300 ft gradijentom spuštanja 5.2%

Sekundarno područje početnog prilaženja je širine 2.5 NM s obje strane putanje početnog prilaženja. Širina primarnog područja početnog prilaženja je pola širine sekundarnog područja. Dizajn područja početnog prilaženja je prikazan na slici 15.

Primarno i sekundarno područje se s unutarnje strane zaokreta se proširuje tako da se iz točke paralelne s najranijim trenutkom uvođenja u zaokret crta pravac koji sječe primarno/sekundarno područje prije i nakon zaokreta pod istim kutom, tj. sječe pod kutom koja je po iznosu pola kuta skretanja. U ovom slučaju sječe područje pod 45° [3].



Slika 15 - Proširenje područja prilaznja oko zaokreta [3]

Primarno i sekundarno područje s vanjske strane zaokreta se proširuje pomoću spirale vjetra (wind spiral). Spirala vjetra se izračuje tako da se optimalna putanja u zaokretu razdvoji na dijelove (u našoj proceduri na 9 dijelova kutnog skretanja od 10°) te se na optimalnom radijusu zaokreta dodaje vrijednost  $E_\theta$ .

Dizajn spirala vjetra je prikazan na slici 16, a  $E_\theta$  se izračunava prema jednadžbi 9 [3]:

$$E_\theta = \frac{\theta}{R} * \frac{w}{3600} \quad (9)$$

Gdje je:

- $E_\theta$  – izračunati iznos proširenja optimalne putanje leta u nautičkim miljama
- $R$  – kutna brzina skretanja zrakoplova, u ovom slučaju se koristi standardni zaokret od 3 °/s
- $w$  – pretpostavljena najveća brzina vjetra na području, oko zračne luke Lošinj vjetar je između 16 kt i 20 kt 5% vremena pa za izračun spirale vjetra se koristilo vrijednost 18 kt [7]

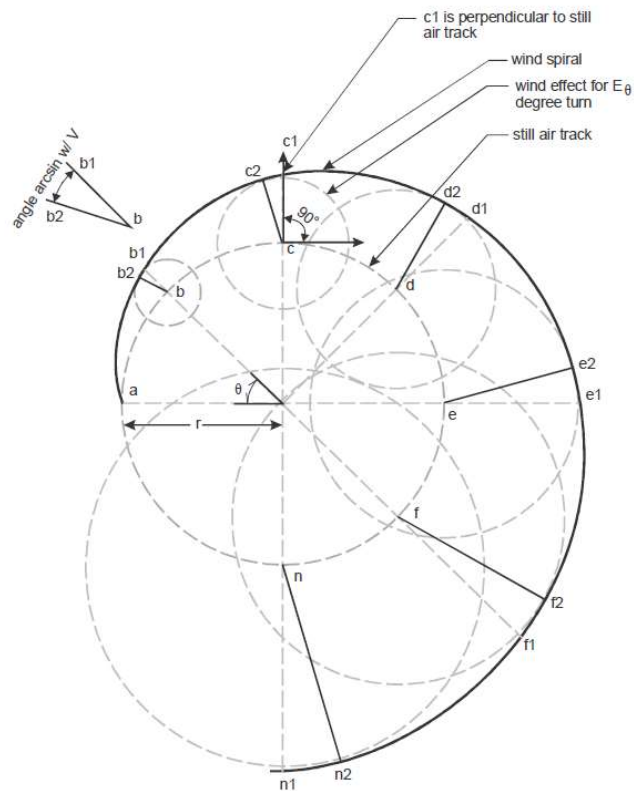
U ovoj proceduri izračunate vrijednosti spirale vjetra se mogu naći u tablici 8:

Tablica 8 - Izračunate vrijednosti za potrebe dizajniranja spirale vjetra

$\theta$	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
$E_\theta$ (NM)	0.0166	0.0333	0.0500	0.0666	0.0833	0.1000	0.1166	0.1333	0.1500

Primarno i sekundarno se područje proširuje s vanjske strane zaokreta tako da se nacrt spiralna vjetra da počinje u točki koja paralelna s najkasnijim trenutkom uvođenja u zaokret na primarnom i sekundarnom području. U slučaju da se kraj spirala vjetra nalazi van primarnog ili sekundarnog područja sljedeće etape onda se kraj spirala spaja s područjem sljedeće etape pod kutom od  $30^\circ$  [3]. U ovoj proceduri je spirala vjetra završavala unutar područja sljedeće etape te se po pravilu trebala spojiti pravcem koji sječe područje sljedeće etape pod kutom od  $15^\circ$ . Obzirom na to da se u ovoj proceduri radi o RF luku, u slučaju da se koristio kut od  $15^\circ$  ne bi došlo do sjecanja područja pa se koristio kut od  $30^\circ$ .

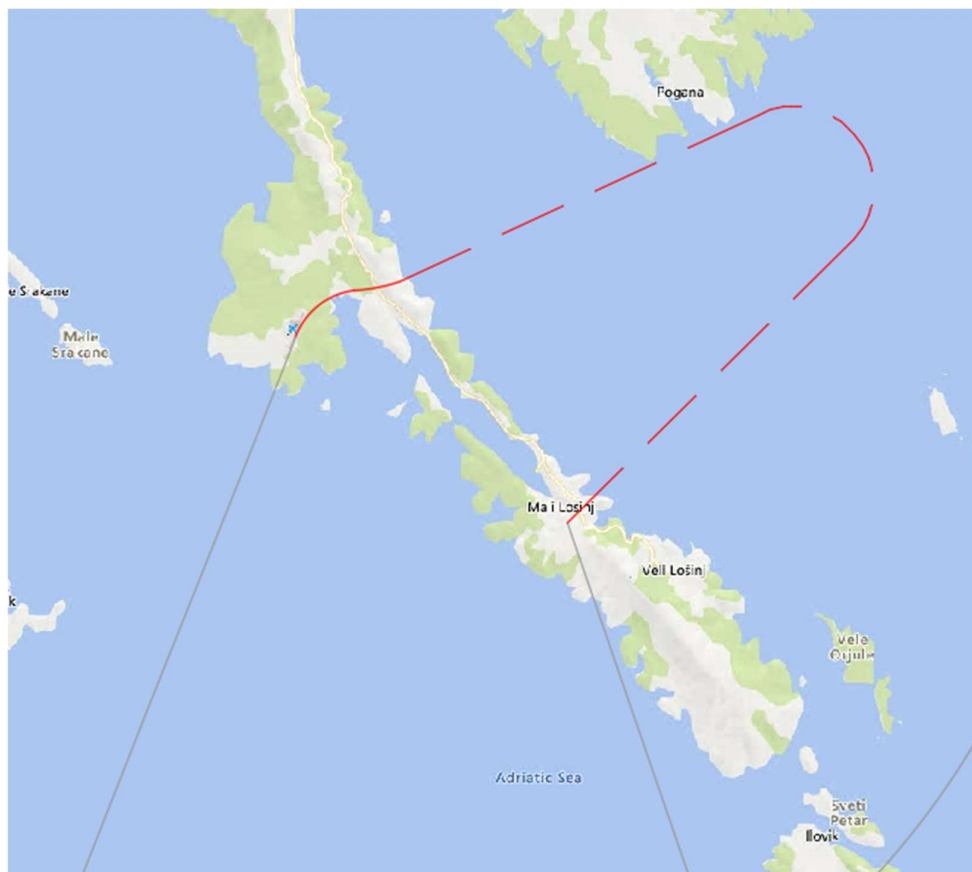
Najviši vrh u području početnog prilaženja je Lošinj (243 ft) na otoku Mali Lošinj. Potrebno nadvisivanje prepreka u početnom prilaženju je 984 ft, obzirom na to da je visina početnog prilaženja 2300 ft nadvisivanje prepreka je gotovo 2000 ft.



Slika 16 - Dizajn spirale vjetra [3]

#### 6.4. Segment neuspješnog prilaženja

Putanje i preletišta neuspješnog prilaženja nove GNSS procedure su iste kao i VOR procedure. Putanje neuspjelog prilaženja prikazano crvenom bojom na slici 17.

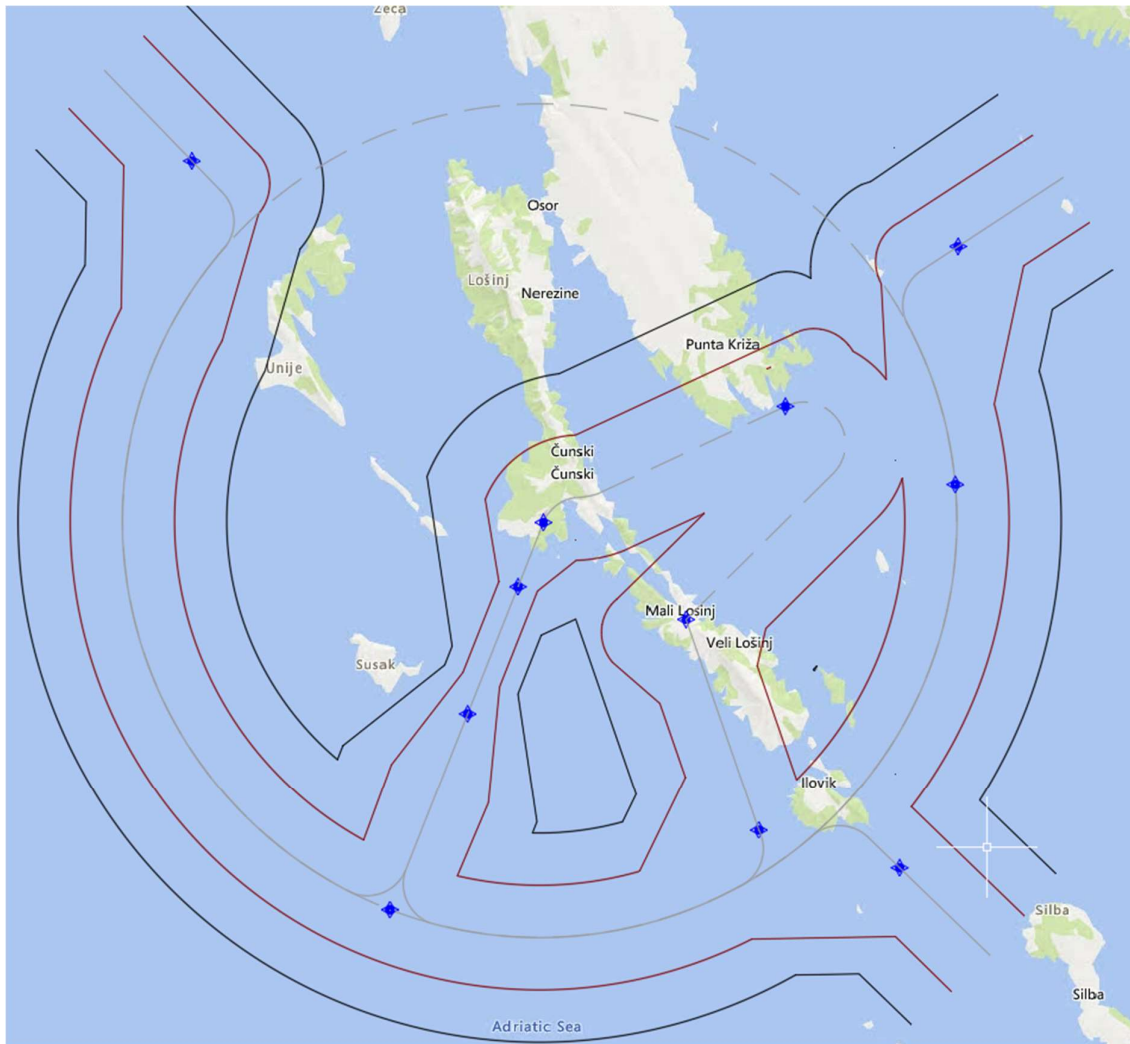


Slika 17 - Putanje neuspjelog prilaženja za GNSS prilaznu proceduru

MAPt je određena radijalom 194 i 1.5 DME VOR/DME stanice NTL, a nalazi se na koordinatama N 44° 32' 24.72" E 014° 22' 44.4". Preletište točke ulaska u prvi zaokret je abeam VOR/DME stanice NTL, a nalazi se na koordinatama N 44° 33' 57.24" E 014° 23' 35.52". Preletište točke ulaska u drugi zaokret je određena radijalom 065 i 6.5 DME VOR/DME stanice NTL, a nalazi se na koordinatama N 44° 36' 21.9" E 014° 31' 55.8".

Nakon prelaska MAPt-a zrakoplovi se penju u pravcu do prelaska prvog MATF, nakon preletišta skreću u pravac 065° te penju do 3000 ft, nakon drugog MATF zrakoplovi skreću desno prema NDB stanici LOS koja se nalazi na koordinatama N 44° 31' 37.55" E 014° 28' 22.25". Iznad NDB stanice LOS zrakoplovi ulaze u krug čekanja dolaznim kursom 157° i visinom 3000 ft.

Sekundarno područje neuspjelog prilaženja sa zaokretom je širine 2.5 NM i širina primarnog područja je pola širine sekundarnog. Korištena su ista pravila i vrijednosti za proširenje područja kod zaokreta u putanji međuprilaženja. Primarna i sekundarna područja cijele procedure su prikazane na slici 18.



Slika 18 – Primarno (crveno) i sekundarno (crno) područje nove procedure



## 7. Zaključak

Konfiguracija terena i geografski položaj otoka Lošinj u Kvarneru ograničava moguće položaje konvencionalnih radionavigacijskih sredstva kao što su VOR, NDB i DME i samim time izvedba prilaznih procedura. Autonomnost i pokrivenost GNSS sustava znatno proširuje izbor preletišta i putanja zrakoplova u prilazu.

U ovom radu dizajniran je GNSS prilaz za zračnu luku Lošinj iz razloga što je to jedina zračna luka u Hrvatskoj bez GNSS prilazne procedure. Trenutno se koriste prilazne procedure bazirane na VOR i NDB radionavigacijskim sredstvima. Zbog klimatoloških karakteristike vjetra (bure) na otoku Lošinju te zbog veće preciznosti korištena je trenutna VOR procedura za USS 02 kao smjernica dizajniranja nove procedure.

Zahvaljujući fleksibilnosti GNSS sustava nije bilo potrebno izmijeniti puno parametara prilazne procedure i zbog toga je moguće očuvati gotovo nepromijenjen i nesmetan tok zračnog prometa oko zračne luke Lošinj uz povećanje sigurnosti. GNSS sustavi omogućavaju preciznije vođenje po željenoj putanji i određivanje pozicije zrakoplova i preletišta. Putanja završnog prilaženja je sada potpuno poravnata središnjicom USS-a čime se smanjuje radno opterećenje pilota i povećava sigurnost u uvjetima manje vidljivosti.

Daljnji koraci za povećanje sigurnost operacija na zračnoj luci Lošinj bi bili izgradnja GBAS (*ground based augmentation system*) sustava i razvoj precizne prilazne procedure kojima bi se omogućilo slijetanje u uvjetima smanjenog ili bez vanjskog vidljivosti.

## Popis slika

Slika 1 - Primjer standardiziranog instrumentalnog dolaska [6].....	4
Slika 2 – Označavanje trenutka uvođenja u zaokret [3].....	6
Slika 3 - Područje početnog prilaženja za VOR procedure [3].....	6
Slika 4 - Nadvisivanje prepreka u područjima prilaženja [3].....	7
Slika 5 - Dozvoljena odstupanja kursa završnog prilaženja i magnetskog smjera USS-a [3].....	10
Slika 6 - Područje i gradijent ravnine VSS-a [3] .....	12
Slika 7 Postojeća procedura zračne luke Lošinj za USS 02: Instrument Approach Chart – ICAO – VOR RWY 02 ACFT CAT A&B [6].....	18
Slika 8 - Predložena GNSS procedura za zračnu luku Lošinj.....	21
Slika 9 – Predloženo putanje završnog prilaženja za GNSS prilaznu proceduru .....	22
Slika 10 - Razlika između putanje prilaženja postojeće VOR procedure i predložene GNSS procedure (crvena boja označava VOR proceduru).....	22
Slika 11 - Predloženi segment međuprilaženja za GNSS prilaznu proceduru .....	24
Slika 12 - Crtanje zaokreta u GNSS prilaznim procedurama .....	26
Slika 13 - Dizajn područja završnog prilaženja i međuprilaženja za GNSS procedure [3] .....	27
Slika 14 - Predloženo putanje početnog prilaženja GNSS procedure .....	28
Slika 15 - Proširenje područja prilaženja oko zaokreta [3].....	30
Slika 16 - Dizajn spirale vjetra [3] .....	31
Slika 17 - Putanje neuspjelog prilaženja za GNSS prilaznu proceduru.....	32
Slika 18 – Primarno (crveno) i sekundarno(crno) područje nove procedure.....	33

## Popis tablica

Tablica 1 - Kategorije zrakoplova [3].....	3
Tablica 2 - Minimalne duljine područja međuprilaženja [3] .....	8
Tablica 3 - Maksimalan gradijent spuštanja po kategoriji zrakoplova [3].....	11
Tablica 4 - Minimalna visina OCH po kategoriji zrakoplova [3] .....	11
Tablica 5 - Tolerancije točnosti očitavanja pozicije preletišta [3].....	15
Tablica 6 - IAF za VOR proceduru RWY 02 LDLO [5].....	17
Tablica 7 - Korištena radionavigacijska sredstva [5] .....	19
Tablica 8 - Izračunate vrijednosti za potrebe dizajniranja spirale vjetra .....	30

## Literatura

- [1] D. Novak, Zrakoplovna prostorna navigacije, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2015.
- [2] Federal Aviation Administration, Instrument Procedures Handbook, FAA-H-8083-16B, Washington, D.C.: Federal Aviation Administration, 2017.
- [3] International Civil Aviation Organization, *Doc 8168, Procedures for Air Navigation Services - Aircraft Operations Volume II, Construction of Visual and Instrument Flight Procedures*, Montreal: International Civil Aviation Organization, 2014.
- [4] International Civil Aviation Organization, Performance-based Navigation (PBN) Manual, Third Edition, Montreal: International Civil Aviation Organization, 2008.
- [5] Airport Mali Lošinj, »Airport Mali Lošinj,« Pixel, 2020. [Mrežno]. Available: <https://www.airportmalilosinj.hr/>. [Pokušaj pristupa 3 September 2022].
- [6] Croatia Control, *Aeronautical Information Publication*, Zagreb: Croatia Control, 2022.
- [7] Croatia Control, »Croatia Control Aeronautical Meteorology Service, Climatology LDLO,« Croatia Control, 22 September 2021. [Mrežno]. Available: <https://met.crocontrol.hr/web/guest/climatology/ldlo>. [Pokušaj pristupa 3 September 2022].
- [8] D. Novak, Zrakoplovna računska navigacija, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2012.

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI


Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je \_\_\_\_\_ **završni rad**  
(vrsta rada)

isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da 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/diplomskog rada pod naslovom Dizajn GNSS prilazne procedure, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 7.9.2022.

ANTONIO SVAČIĆ   
(ime i prezime, potpis)